



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO
PARA A CIÊNCIA E A MATEMÁTICA

FÁBIO RODRIGO LUCISANO

O conteúdo de gravitação nos livros didáticos de física: uma análise numa perspectiva inter e transdisciplinar

Maringá
2010

FÁBIO RODRIGO LUCISANO

O conteúdo de gravitação nos livros didáticos de física: uma análise numa perspectiva inter e transdisciplinar

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência e o Ensino de Matemática da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Educação para a Ciência e o Ensino de Matemática.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Cesar Danhoni Neves

Co-Orientadora: Profa. Dra. Polônia Altoé Fusinato

Maringá
2010

FÁBIO RODRIGO LUCISANO

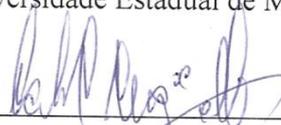
O conteúdo de gravitação nos livros didáticos de física: uma análise numa perspectiva inter e transdisciplinar

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência e a Matemática do Centro de Ciências Exatas da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Educação para a Ciência e a Matemática.

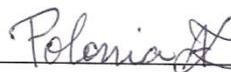
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Marcos César Danhoni Neves
Universidade Estadual de Maringá – UEM



Prof. Dr. Carlos Alfredo Argüello
Universidade Estadual de Campinas- UNICAMP



Profa. Dra. Polônia Altoé Fusinato
Universidade Estadual de Maringá – UEM

Maringá, 24 de março de 2010.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho

A minha esposa, Thaizi e a minha filha, Maria Julia, pelo incentivo, companheirismo, carinho e amor.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, professor Dr. Marcos Cesar Danhoni Neves, pela compreensão, conhecimentos transmitidos e acima de tudo pela amizade.

A minha co-orientadora, professora Dra. Polônia Altoé Fusinato, pelo incentivo e companheirismo.

Aos professores e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência e o Ensino da Matemática, pelos ensinamentos transmitidos e companheirismo.

A minha esposa e minha filha, pelo amor e pelo incentivo.

A meus pais, Vilson e Ivani, em especial, pelo apoio, incentivo e carinho.

A todos os familiares, de forma carinhosa ao Altair e a Maria Cecília, que contribuíram com apoio e incentivo.

A todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram com este trabalho, em especial aos meus primos, Antonio e Ana Paula e a minha irmã, Silmara.

A física é a mais fundamental e abrangente das ciências e exerceu um profundo efeito em todo o desenvolvimento científico. Na verdade, a física é o correspondente atual ao que costumava se chamar *filosofia natural*, da qual emergiu a maioria de nossas ciências modernas. Estudantes de vários campos vêm-se estudando física devido ao papel básico que ela desempenha em todos os fenômenos (FEYNMAN, 2004, p. 89).

O conteúdo de gravitação nos livros didáticos de física: uma análise numa perspectiva inter e transdisciplinar

RESUMO

Este trabalho consiste na análise dos livros didáticos de física (do professor) indicados pelo Programa Nacional do Livro para o Ensino Médio (PNLEM), inscritos no PNLEM/2007, para verificarmos, no que diz respeito ao conteúdo de Gravitação, se eles apresentam propostas que proporcionam um ensino em perspectiva interdisciplinar e transdisciplinar. A forma tradicional e fragmentada de difusão da ciência não atende as demandas por um ensino voltado à formação de indivíduos capazes de terem um pensamento crítico, diante das diversas informações que lhes são oferecidas. É sabido que a maioria dos professores tem como suporte pedagógico o livro didático, constituindo dessa forma um importante recurso na prática docente. Neste sentido, analisar nos livros didáticos, conteúdos e propostas que direcionem o ensino numa formação global, onde o aluno perceba a inter-relação existente entre as diversas áreas do conhecimento, poderá fornecer subsídios metodológicos e pedagógicos, constituindo-se uma nova ferramenta para o ensino de física. Dividido em quatro capítulos, destacaremos no primeiro, as definições para os termos interdisciplinaridade e transdisciplinaridade e seu contexto histórico. No segundo, apresentaremos uma abordagem histórica a respeito da Gravitação, segundo a análise de alguns pesquisadores da área. No terceiro, faremos uma reflexão sobre o papel do livro didático no processo ensino-aprendizagem e destacaremos os critérios utilizados na avaliação dos livros inscritos no PNLEM/2007. E por fim, no quarto capítulo, apresentaremos a metodologia de pesquisa e a análise dos livros didáticos, destacando as informações fornecidas pela análise.

Palavras-chave: inter e transdisciplinaridade; gravitação; livros didáticos; ensino de física.

The content of gravitation in physics textbooks: an analysis according to an inter and transdisciplinarity prospective.

ABSTRACT

The purpose of this work consists of analyzing Physics textbooks (from the teacher) indicated by the national programme for books from high school in the year of 2007. Through this study we will verify the content of Gravitation, mainly if this subject presents proposal which provides an interdisciplinarity and transdisciplinarity teaching. The traditional and fragmented way of the dissemination of science is not related to a teaching capable of turning the student a critical person in face of several information that are provided from the textbooks. We have the knowledge that the majority of teachers use the textbook as the main pedagogical support and an important resource in the education practice. In this sense, to analyze the textbooks verifying the contents and proposals on a global training education, where the student can note the interrelationship among several areas of knowledge, will be able to provide methodological and pedagogical allowances, becoming a new tool in the process of teaching Physics. The study will be divided into four chapters, in the first one we will outline the definitions for the terms interdisciplinarity and transdisciplinarity and its historical context. In the second, we will see a historical approach about Gravitation according to the analysis of some researchers. In the third chapter, we will study the role of textbooks in the teaching-learning process and we will comment the manner of evaluation used by the textbooks indicated by the national programme in 2007. Finally, in the last one, we will present a methodological research and the analysis of textbooks, indicating the information provided by this study.

Keywords: interdisciplinarity and transdisciplinarity; gravitation; Textbooks; Teaching of Physics.

ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1– Representação do Trivium e Quadrivium.....	34
Figura 2– “Escola de Atenas” de Rafael. Platão e Aristóteles estão no centro.....	40
Figura 3– O Universo Aristotélico.....	42
Figura 4 – Artíficos geométricos (ecentrico, equante, epiciclo e deferente) no sistema ptolomaico.....	45
Figura 5 – O modelo geocêntrico de Ptolomeu.....	46
Figura 6 – O modelo heliocêntrico de Copérnico.....	47
Figura 7 – Demonstração do movimento retrógrado no sistema heliocêntrico.....	48
Figura 8 – Giordano Bruno.....	50
Figura 9 – Provável face de Giordano Bruno segundo comentários de Danhoni Neves (2004).....	53
Figura 10 – Representação do observatório de Tycho Brahe.....	54
Figura 11 – Modelo de Tycho Brahe.....	54
Figura 12 – Johannes Kepler.....	56
Figura 13 – Representação do universo para Kepler com as figuras dos sólidos geométricos.....	56
Figura 14 – Representação das leis de Kepler.....	58
Figura 15– Melodia de Marte segundo Kepler.....	58
Figura 16 – Galileu Galilei.....	59
Figura 17 – Projétil lançado horizontalmente. Em (A) a trajetória segundo o modelo aristotélico. Em (B) a trajetória parabólica galileana.....	62
Figura 18 – René Descartes.....	66
Figura 19 – Representação dos vórtices propostos por Descartes.....	68
Figura 20 – Robert Hooke.....	69
Figura 21 – Representação da órbita de um planeta (P) com a respectiva reta tangente (T) ao redor do Sol (S).....	69
Figura 22 – Isaac Newton.....	70
Figura 23 – Movimento inercial da Lua e a respectiva atração gravitacional exercida pela Terra.....	73
Figura 24 – Lançamento de um projétil, mostrando a unificação das leis que regem o movimento terrestre e celeste desenvolvidas por Newton. Tanto uma maçã quanto a Lua estão em queda, atraídas pela mesma força, porém a Lua está em constante queda, fato este que faz com que a Lua permaneça em órbita ao redor da Terra e não se choque com ela.....	73

Figura 25 – Representação da órbita circular para a reconstrução do argumento de Newton a cerca da <i>lei da gravitação</i>	75
Figura 26 – Representação do experimento de Cavendish.....	76
Quadro 1 – relação dos pontos de contextualização, conexão com outras áreas do conhecimento e com outros tópicos da Física, no livro 1 da análise.....	99
Quadro 2 – texto: “ <i>A altitude dos satélites estacionários</i> ”.....	103
Quadro 3 – sugestões de atividades interdisciplinares e de contextualização.....	106
Quadro 4 – continuação das sugestões de atividades interdisciplinares e de contextualização.....	107
Quadro 5 – continuação das sugestões de atividades interdisciplinares e de contextualização.....	107
Quadro 6 – continuação das sugestões de atividades interdisciplinares e de contextualização.....	108
Quadro 7 – sete axiomas propostos por Copérnico.....	110
Quadro 8 – carta de Newton a seu aluno, Bentley.....	111
Quadro 9 – tabela de conteúdos, número de aulas e observações para a abordagem do conteúdo de Gravitação.....	113
Quadro 10 – projeto: “ <i>O Sol nosso de cada dia</i> ”, como sugestão para a abordagem do conteúdo de Gravitação numa perspectiva interdisciplinar.....	114
Quadro 11 – continuação do projeto: “ <i>O Sol nosso de cada dia</i> ”, como sugestão para a abordagem do conteúdo de Gravitação numa perspectiva interdisciplinar.	115
Quadro 12 – continuação do projeto: “ <i>O Sol nosso de cada dia</i> ”, como sugestão para a abordagem do conteúdo de Gravitação numa perspectiva interdisciplinar.....	116
Quadro 13 – texto referente a Copérnico.....	118
Quadro 14 – texto referente a Kepler.....	118
Quadro 15 – sugestões de leituras e comentários.....	123
Tabela 1 – sistematização das diferentes terminologias (multi, pluri, inter e transdisciplinaridade), empregadas por G. Michaud (1972 <i>apud</i> FAZENDA, 1996, p. 27), M. Boisot (apresentado por FAZENDA, 1996, p. 33 e 34), J. Piaget (1979 <i>apud</i> SANTOMÉ, 1998, p. 70) e E. Jantsch (1972 <i>apud</i> FAZENDA, 1996, p. 37 e 38).....	27
Tabela 2 – lei dos números ímpares consecutivos.....	62

Tabela 3 – Síntese das áreas do conhecimento e das principais contribuições dos grandes nomes da ciência para história da cosmologia e gravitação.....	78
Tabela 4 – Obras didáticas recomendadas pelo PNLEM 2009.....	87
Tabela 5 – Sistematização da metodologia utilizada na pesquisa.....	89
Tabela 6 – tópicos abordados por cada obra e número de páginas de cada capítulo.....	130
Tabela 7 – seções apresentadas nos capítulos de cada obra analisada.....	131
Tabela 8 – principais abordagens dos suplementos destinados aos professores.....	131
Tabela 9 – sistematização dos destaques fornecidos pela análise nas perspectivas inter e transdisciplinares.....	133

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	14
 Capítulo 1	
A INTER E A TRANSDISCIPLINARIDADE E SUAS IMPLICAÇÕES NO ENSINO DE CIÊNCIAS.....	17
1.1 – A fragmentação da ciência e suas implicações na educação.....	21
1.2 – As concepções de interdisciplinaridade.....	23
1.3 – Justificativa para uma proposta interdisciplinar.....	30
1.4 – A interdisciplinaridade em perspectiva histórica.....	33
1.5 – A educação em perspectiva transdisciplinar.....	35
 Capítulo 2	
DE ARISTÓTELES A NEWTON (TÓPICOS DE COSMOLOGIA E GRAVITAÇÃO NA HISTÓRIA E NA FILOSOFIA DA CIÊNCIA).....	37
2.1 – A Física aristotélica.....	40
2.2 – O modelo Ptolomaico.....	44
2.3 – Copérnico e o surgimento de um novo paradigma.....	47
2.4 – Giordano Bruno e o universo infinito.....	50
2.5 – Tycho Brahe.....	53
2.6 – Johannes Kepler.....	55
2.7 – Galileu Galilei.....	58
2.8 – Descartes.....	66
2.9 – Hooke.....	69
2.10 – Newton.....	70
2.11 – Síntese das áreas do conhecimento e das principais contribuições dos grandes nomes da ciência para a história da cosmologia e gravitação.....	78
 Capítulo 3	
O LIVRO DIDÁTICO.....	81
3.1 – O livro didático no contexto educacional.....	81
3.2 – PNLEM / Física.....	83

Capítulo 4

A METODOLOGIA DE PESQUISA.....	88
4.1- Pré-análise.....	89
4.1.1 – Escolha dos livros.....	89
4.1.2 – Escolha do conteúdo.....	90
4.1.3 – Leitura flutuante.....	91
4.1.4 – Desenvolvimento de um plano de análise.....	91
4.2- Análise.....	92
4.3- Resultado (destaque das informações fornecidas pela análise).....	130
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	135
REFERÊNCIAS.....	138
REFERÊNCIAS DAS OBRAS DIDÁTICAS.....	143

INTRODUÇÃO

O cientista que deseja ampliar ao máximo o conteúdo empírico das concepções que sustenta e que deseja entender aquelas concepções tão claramente quanto possível deve, portanto, introduzir concepções novas. [...] A ciência é uma das muitas formas de pensamento desenvolvidas pelo homem e não necessariamente a melhor. Chama a atenção, é ruidosa e impudente, mas só inerentemente superior aos olhos daqueles que já se hajam decidido favoravelmente a certa ideologia ou que já a tenham aceito, sem sequer examinar suas conveniências e limitações (FEYERABEND, 1977, p. 40 e 447).

Frente ao acelerado processo de fragmentação da ciência, com o advento crescente de especializações, áreas e subáreas, nos deparamos com uma triste realidade, a visão míope do todo. É necessário dessa forma que as lentes “divergentes” das propostas de um ensino integrado de ciências corrijam essa miopia e façam com que a educação científica possibilite “enxergar longe”. Segundo Pretto (1995, p. 18): “As tentativas de *ensino integrado das ciências* são no entanto muito importantes e devem ser estimuladas, cabendo ao professor a tarefa de estabelecer uma ponte entre as diversas disciplinas.”

É na escola que se reflete cada vez mais a difusão de uma ciência dividida em assuntos específicos e isolados, sem qualquer estabelecimento de relações entre as diversas áreas da ciência. Porém não é tarefa fácil para o professor direcionar suas aulas para um ensino integrado de ciências, uma vez que na sua grande maioria, tiveram uma formação científica fragmentada e desvinculada do todo (PRETTO, 1995).

Como nas palavras de Danhoni Neves (2006, p. 139),

A escola, meio natural para a propagação dos paradigmas, e terreno estéril, infelizmente, para a correta interpretação histórica dos fatos da ciência, tende, também, a deturpar e simplificar os vários modelos que embasaram diferentes etapas do desenvolvimento do conhecimento científico.

Entendemos, portanto, que a fragmentação da ciência tem se difundido bastante no meio educacional, e não somente o despreparo do professor, mas também, a falta de recursos didáticos adequados dificulta a abordagem dos conteúdos científicos de forma integrada. Seguindo esse raciocínio, as Diretrizes Curriculares de Física do Estado do Paraná (PARANÁ, 2006) destaca que a formação acadêmica de forma fragmentada reflete significativamente nos materiais didáticos.

[...], a ênfase dos livros didáticos recai nos aspectos quantitativos em detrimento dos qualitativos e conceituais[...]. Os livros didáticos dirigidos ao Ensino Médio refletem o mesmo enfoque disciplinar presente no meio universitário e fazem consolidar na prática pedagógica o estilo reprodutivista e disciplinar (PARANÁ, 2006, p. 27-28).

Para que o aluno esteja inserido no processo de aprendizagem, o professor deve criar situações de aprendizagem abertas e motivadoras (SOMMERMAN, 2005). É sabido que a maioria dos professores tem como suporte o livro didático e que eles constituem uma ferramenta importante para a prática pedagógica. “A escola concebe o livro (didático ou não) como um instrumento básico, um complemento primeiro das funções pedagógicas exercidas pelo professor”(SILVA, 1996, *apud* LEMOS, 2006, p. 172).

Entende-se, portanto, que a escola deve ser o local e que os recursos didáticos, em especial os livros didáticos, estejam adequados a essa nova proposta de ensino integrado da ciência, em perspectiva interdisciplinar e/ou transdisciplinar. É como Santos (2005, p. 92) diz:

A escola, [...], deve ser um espaço onde se ensine a dialogar e pensar. Deve se buscar um exercício que envolva tanto o aluno quanto o professor, construindo o seu próprio conhecimento através de análise, questionamento, argumentação, associação, comparação, entendendo outros pontos de vista, transgredindo as fronteiras epistemológicas de cada ciência.

Dessa forma, como Argüello (2005) defende, a educação científica deve potencializar no aluno um pensamento criativo, capaz de instigar nele a procura por respostas coerentes com a realidade que vivenciam. Nas palavras de Argüello (2005, p. 17 e 18),

A educação em Ciências consiste em potencializar no aluno a capacidade de saber observar a natureza, de gerar perguntas significativas sobre os fenômenos observados e de propiciar condições para construção de respostas criativas, originais, desconhecidas até então para ele. (...) se pensarmos a Ciência como ferramenta de transformação, a educação em Ciências deve se basear numa pedagogia crítica e construtiva, que possibilite a apropriação não só dos resultados da Ciência, mas sobretudo do processo de fazer Ciência.

Entendendo a função do professor no processo de ensino-aprendizagem, o catálogo do Programa Nacional do Livro para o Ensino Médio (PNLEM) de Física (BRASIL, 2008), vem destacar a importância de uma política pública voltada para a qualidade dos livros didáticos, para auxiliar o professor em sua prática.

O contexto educacional contemporâneo exige, cada vez mais, professores capazes de suscitar nos alunos experiências pedagógicas significativas, diversificadas e alinhadas com a sociedade em que estão inseridos. Nessa perspectiva, os materiais de ensino, e em particular o livro didático, têm papel relevante. As políticas públicas voltadas para a melhoria da qualidade de ensino devem levar em conta o compromisso com a melhoria e ampliação dos recursos didáticos disponíveis para o trabalho docente e para o efetivo apoio ao desenvolvimento intelectual do aluno (BRASIL, 2008, p.11).

Segundo Martins (2006), a história da ciência na educação favorece a compreensão das inter-relações entre a ciência, tecnologia e a sociedade, possibilitando ver a ciência não como algo isolado, mas como um processo, influenciado por diversos fatores (sociedade, cultura, filosofia, religião, dentre outros) e que contribuem para a construção de um conhecimento que permita a formação crítica, de forma que se tenha uma visão mais correta do desenvolvimento da ciência.

Nesse contexto, no que se refere ao ensino de Física, os conteúdos de Cosmologia e Gravitação envolvem, além de um longo período no desenvolvimento da história da Física, também diversos outros fatores que favorecem uma educação em perspectiva interdisciplinar e transdisciplinar. Como Danhoni Neves (2006, p. 145) escreve:

De todos os ramos da ciência, a Cosmologia parece ser o ramo que mais intriga as reflexões humanas. Enquanto os modelos astronômicos, que acabaram por conduzir ao universo copernicano finito, basearam-se na construção de uma geometria que pudesse prever a posição futura, no espaço-tempo, de planetas e estrelas, a busca do *o que somos e para onde vamos* resume a essência da Cosmologia.

Diante do problema da fragmentação do ensino, em particular de Física, saber se os conteúdos (em particular neste trabalho, Cosmologia e Gravitação) e as propostas apresentadas nos livros didáticos estão adequados para o ensino numa perspectiva interdisciplinar e/ou transdisciplinar, poderá fornecer subsídios metodológicos e pedagógicos para transpor os obstáculos, no intuito de divisar uma nova ferramenta para o ensino de física. Afinal, “questionar os livros didáticos é questionar o próprio ensino que neles está cristalizado.” (ALBUQUERQUE, 2002, *apud* LEMOS, 2006, p. 173)

A INTER E A TRANSDISCIPLINARIDADE E SUAS IMPLICAÇÕES NO ENSINO DE CIÊNCIAS.

Segundo os Parâmetros Curriculares Nacionais (BRASIL, 1999), o direcionamento e a organização do aprendizado nas áreas de Ciências da Natureza devem manifestar uma busca de interdisciplinaridade e contextualização, visando produzir um conhecimento efetivo, onde os objetivos educacionais além de envolverem os saberes disciplinares devem envolver a articulação interdisciplinar desses saberes, articulação esta que é favorecida nas áreas de Ciências da Natureza, pois seus conteúdos são apropriados para uma perspectiva integradora entre as diversas áreas do conhecimento científico.

A presença dessa nova dinâmica nos Parâmetros Curriculares Nacionais estimula um repensar na prática educacional, de forma que temas e conteúdos sejam propostos e tratados numa compreensão mais ampla, tendo um caráter que vão além das disciplinaridades, contemplando uma formação mais global, onde o aluno seja capaz de produzir um conhecimento efetivo, além de articular todo conhecimento adquirido e ter uma posição crítica frente ao mesmo.

Quando as Diretrizes Curriculares de Física para a Educação Básica do Estado do Paraná (PARANÁ, 2006) entende o ensino de Física, onde a ciência é fruto da produção cultural e das relações sociais, ela destaca dentre os cinco tópicos, dois que direcionam para uma perspectiva interdisciplinar, são eles:

- que embora se adote um tratamento disciplinar, deve-se ir além, visto que a Física não se separa das outras disciplinas, o que deve ser considerado no planejamento pedagógico; e
- que é preciso localizar os conteúdos a serem trabalhados num contexto social, econômico, cultural e histórico, situados no tempo e no espaço (PARANÁ, 2006, p. 30).

O caráter interdisciplinar e transdisciplinar nas Ciências da Natureza devem contemplar e estimular a percepção da inter-relação entre os fenômenos e para que o homem compreenda o seu papel em seu meio natural, não só como construtor, mas também como transformador deste meio. Os assuntos relacionados a área de Ciências da Natureza devem ser propostos e trabalhados desde uma compreensão global de mundo, onde seja possível articular as competências desenvolvidas em cada disciplina e também no conjunto dessas disciplinas, pois

uma perspectiva mais abrangente pode transpor os limites que cada disciplina possui (BRASIL, 1999).

A Física, por sistematizar propriedades gerais da matéria, de certa forma como a Matemática, que é sua principal linguagem, também fornece instrumentos e linguagens que são naturalmente incorporados pelas demais ciências. A cosmologia, no sentido mais amplo de visão de mundo, e inúmeras tecnologias contemporâneas, são diretamente associadas ao conhecimento físico, de forma que um aprendizado culturalmente significativo e contextualizado da Física transcende naturalmente os domínios disciplinares estritos (BRASIL, 1999, p. 212).

Considerando as novas perspectivas que a ciência vem apresentando, faz-se necessário uma profunda revisão do modelo de racionalidade científica voltado para uma visão disciplinar. Modelo este, que desde os séculos XVI e XVII, quando houve a cisão entre filosofia e ciência e quando foi proposto como único caminho para a produção do conhecimento científico o método experimental, até os dias atuais está enraizada nas práticas educacionais. Esse modelo de racionalidade científica voltado para uma visão disciplinar apresenta como princípios a objetividade, a neutralidade, a quantificação e a fragmentação da ciência (BOCHNIAK, 1998).

Contudo, ainda seguindo a idéia de Bochniak (1998), hoje, em função dos avanços alcançados com as pesquisas científicas, admite-se que a ciência não é neutra e apresenta uma ampla gama de subjetividades. A produção do conhecimento científico direciona para pesquisas onde se recorre a análises qualitativas, e há uma preocupação com a fragmentação, procurando distanciá-la para que se tenha uma visão da totalidade.

Não precisamos fazer uma análise muito profunda para constatar que a visão fragmentada, dicotômica, disciplinar do mundo se faz presente nos dias atuais, afetando negativamente o processo ensino-aprendizagem. Nesse sentido, como Bochniak (1998) destaca, o resgate de um trabalho interdisciplinar é uma evidência poderosa de que há uma tendência em agrupar as disciplinas, como, por exemplo, a reaproximação da ciência e da filosofia. Percebe-se que as produções científicas, nos seus mais variados campos do conhecimento, têm indicado um trabalho interdisciplinar. As pesquisas numa determinada área do conhecimento científico têm repercutido nas demais áreas, indicando, assim, a emergência de um novo momento histórico no desenvolvimento do pensamento científico.

Segundo Piaget (1973), cada especialista tem sua disciplina em particular, porém é fundamental um olhar para além das fronteiras disciplinares, pois cada disciplina apresenta parâmetros estratégicos, empregáveis em outras disciplinas, abrindo assim um vasto campo de colaborações interdisciplinares.

Porém, desenvolver o conhecimento científico em perspectiva interdisciplinar e transdisciplinar exige um novo pensar, uma abertura para novas propostas e principalmente um desejo intenso de buscar novos conhecimentos. Podemos até usar o mito da caverna que Platão descreve no capítulo VII da obra *República*, para percebermos nessa metáfora a necessidade de uma abertura ao conhecimento em sua totalidade.

514a – c

– Em seguida – continuei – , imagina a nossa natureza relativamente à educação ou à sua falta, de acordo com a seguinte experiência. Suponhamos uns homens numa habitação subterrânea em forma de caverna, com uma entrada aberta para a luz, que se estende a todo comprimento dessa gruta. Então lá dentro desde a infância, algemados de pernas e pescoços, de tal maneira que só lhes é dado permanecer no mesmo lugar e olhar em frente; são incapazes de voltar a cabeça, por causa dos grilhões; serve-lhes de iluminação um fogo que se queima ao longe, numa elevação, por detrás deles; entre a fogueira e os prisioneiros há um caminho ascendente, ao longo do qual se construiu um pequeno muro, no gênero dos tapumes que os homens dos “robertos” colocam diante do público, para mostrarem as suas habilidades por cima deles.

– Eu os vejo – disse ele.

515a – e – Veja também ao longo deste muro homens que transportam toda a espécie de objetos, que o ultrapassam: estatuetas de homens e de animais, de pedra e de madeira, de toda a espécie de lavor; como é natural, dos que os transportam, uns falam, outros seguem calados.

– Estranho quadro e estranhos prisioneiros são esses de que tu falas – observou ele.

– Semelhante a nós – continuei. – Em primeiro lugar, pensas que, nestas condições, eles tenham visto, de si mesmo e de outros, algo mais que sombras projetadas pelo fogo na parede oposta da caverna?

– Como não – respondeu ele – , se são forçados a manter sempre a cabeça imóvel?

– E os objetos transportados? Não se passa o mesmo com eles?

– Sem dúvida

– Então, se eles fossem capazes de conversar uns com os outros, não te parece que eles julgariam estar a nomear objetos reais, quando designavam o que viam?

– Realmente.

– E se a prisão tivesse também um eco na parede do fundo? Quando algum dos transeuntes falasse, não te parece que eles não julgariam outra coisa, senão que era a voz da sombra que passava?

– Por Zeus, que sim!

– De qualquer modo – afirmei – , pessoas nessas condições não pensavam que a realidade fosse senão a sombra dos objetos.

- Exatamente – disse ele.
- Considera pois – continuei – o que aconteceria se eles fossem soltos das cadeias e curados da sua ignorância, para ver se, regressados à natureza, as coisas se passavam deste modo. Logo que alguém soltasse um deles, e o forçasse a endireitar-se de repente, a voltar o pescoço, a andar e a olhar para a luz, ao fazer tudo isso, sentiria dor, e o deslumbramento impedi-lo-ia de fixar os objetos cujas sombras via outrora. Que julgas tu que ele diria, se alguém lhe afirmasse que até então ele só vira coisas vãs, ao passo que agora estava mais perto da realidade e via de verdade, voltado para objetos mais reais? E se ainda, mostrando-lhe cada um desses objetos que passavam, o forçassem com perguntas a dizer o que era? Não te parece que ele se veria em dificuldades e suporia que os objetos vistos outrora eram mais reais do que os que agora lhe mostravam?
- Sem dúvida – afirmou.
- Portanto, se alguém o forçasse a olhar para a própria luz, doer-lhe-iam os olhos e voltar-se-ia, para buscar refúgio junto dos objetos para os quais podia olhar, e julgaria ainda que estes eram na verdade mais nítidos do que lhe mostravam?
- Seria assim – disse ele.
- E se arrancassem dali à força e o fizessem subir o caminho rude e íngrime, e não o deixassem fugir antes de o arrastarem até à luz do Sol, não seria natural que ele se doesse e agastasse, por ser assim arrastado, e, depois de chegar à luz, com os olhos deslumbrados, nem sequer pudesse ver nada daquilo que agora dizemos serem verdadeiros objetos?
- 516a – e** – Não poderia de fato, pelo menos de repente.
- Precisava de se habituar, julgo eu, se quisesse ver o mundo superior. Em primeiro lugar, olharia mais facilmente para as sombras, depois disso, para as imagens dos homens e dos outros objetos, refletidas na água, e, por último, para os próprios objetos. A partir de então, seria capaz de contemplar o que há no céu, e o próprio céu, durante a noite, olhando para a luz das estrelas e da lua, mais facilmente do que se fosse o Sol e o seu brilho de dia.
- Pois não!
- Finalmente, julgo eu, seria capaz de olhar para o Sol e de o contemplar, não já a sua imagem na água ou em qualquer outra parte, mas a ele mesmo, no seu lugar.
- Necessariamente.
- Depois já compreenderia, acerca do Sol, que é ele que causa as estações e os anos e que tudo dirige no mundo visível, e que é o responsável por tudo aquilo de que eles viam um arremedo.
- É evidentemente que depois chegaria a essas conclusões.
- E então? Quando ele se lembrasse da sua primitiva habitação, e do saber que lá possuía, dos seus companheiros de prisão desse tempo, não crês que ele se regozijaria com a mudança e deploraria os outros?
- Com certeza (PLATÃO, 2000, p. 210-212).

Fazendo uma analogia aos dias atuais, a abertura para novos conhecimentos, como vimos na metáfora acima, exige uma ruptura com os antigos métodos e práticas pedagógicas tradicionais e essencialmente fragmentadas, que na maioria das vezes estão entranhados de tal forma no sistema educacional que dificultam enxergar os raios de “Sol” do conhecimento em sua totalidade.

1.1 – A fragmentação da ciência e suas implicações na educação

A fragmentação no ensino tem sido nos últimos anos, um tema bastante discutido, dado seu impacto negativo no processo ensino-aprendizagem. Segundo Weil (1993), essa fragmentação começa quando os sistemas separam sujeito, conhecimento e objeto, num processo de registro realizado gradualmente onde o conhecimento se dá de forma externa ao homem, ficando clara a separação entre conhecedor, conhecimento e conhecido. Essa fragmentação do ser e do conhecimento é percebida na pouca ou nenhuma relação entre as diversas áreas do conhecimento. Se recorrermos à história da ciência perceberemos a não separação desses elementos, os pré-socráticos por exemplo, no que se refere ao conhecimento, tinham uma postura mais ampla, mais geral, caracterizando assim um ensino onde sujeito, conhecimento e objeto estavam inseridos no mesmo processo (WEIL, 1993).

As civilizações gregas do século VI a.C. revelavam um mundo onde seus elementos se apresentavam em profunda unidade. Para Ferreira (1993) a investigação dos fenômenos em sua totalidade não separava a ciência da filosofia, dando, assim, significado para o termo *physis*, onde na sua essência, o termo *physis* revela a íntima relação entre a ciência e a interdisciplinaridade. A essência desse termo proporcionou às civilizações gregas daquele século, enxergar os fenômenos naturais a partir de uma experiência total e profunda do ser. Contudo, esse termo *physis* começa a perder sua essência quando há uma emigração para a civilização latina. A *physis* sem sua essência começa a mostrar um universo fragmentado (FERREIRA, 1993).

Na maioria das vezes nos é apresentada a idéia de separação entre o homem e a natureza. Os fenômenos naturais são apresentados de forma desconexa e fragmentados, gerando, pois, uma não compreensão da totalidade. “O que permeia esse processo [...] é a perda da unidade universal. Surge, dessa forma, a ciência como tal, multiplicada em reinos [...] cada qual seguindo o seu caminho, desencontradas” (FERREIRA, 1993, p. 21).

Segundo Carbonara (2004), foi o positivismo que trouxe como herança um olhar histórico de maneira isolada, transformando toda a realidade em fragmentos. Conseqüência disso é a forma tradicional como é apresentado o conhecimento científico. A figura do “gênio” ainda é bastante difundida, dando a idéia de que as grandes invenções e descobertas se deram por pessoas totalmente alienadas do contexto social e histórico que viviam.

A forma fragmentada com que a ciência é apresentada também revela uma descontextualização e uma separação do cotidiano. Para se criar uma concepção de ciência mais significativa é fundamental se pautar em valores éticos e humanísticos de forma que o conhecimento científico possa ir além de um simples conhecimento de conceitos, leis e teorias. O resgate da emoção, da criatividade, da imaginação, ligados à racionalidade é de fundamental importância para a formação de indivíduos conscientes de seu papel como cidadãos. Dessa forma, a compreensão da ciência de forma significativa deve se levar em conta não só os aspectos cognitivos, mas também os aspectos afetivos, pessoais e sociais dos sujeitos envolvidos nesse processo (FUSINATO, 2009).

A ausência de perspectivas entre os sujeitos envolvidos no processo ensino-aprendizagem, no que se refere a um ensino mais significativo, tem dificultado que eles enxerguem os benefícios gerados pela não separação do ensino com o cotidiano e tem levado a uma discussão onde diferentes linhas pedagógicas estão pensando em metodologias capazes de dar aos alunos uma formação que atenda as atuais demandas sociais, políticas e econômicas (WEIGERT; VILLANI; FREITAS, 2005).

Santomé (1998) destaca que o fato dos pesquisadores perfilarem e precisarem os problemas a serem estudados para resolvê-los de forma célere, tem sido uma das causas desta política de fragmentação disciplinar, acarretando numa ciência exageradamente dividida em compartimentos.

O fato das ciências se dividirem em especialidades, assinalada com a industrialização e a segmentação do trabalho, refletiu também no âmbito escolar, se apresentando de forma cartesiana e com uma abordagem disciplinar e compartimentada do conhecimento (AUGUSTO; CALDEIRA; CALUZI; NARDI, 2004).

A preocupação com a formação global do homem deveria levar os educadores a compreenderem e utilizarem metodologias capazes de superar a visão fragmentada do conhecimento, uma vez que a forma tradicional e fragmentada de transmissão do conhecimento dificilmente poderá dar a seus detentores a capacidade de enfrentarem as situações novas. À medida que se aprofunda nessa forma tradicional e fragmentada de transmissão do conhecimento, perde-se a visão do todo (D'AMBROSIO, 1997).

“Além disso, a hiperespecialização dos saberes disciplinares reduziu a migalhas o saber científico [...]” (MORIN, 1998, p. 119).

Essa visão é percebida nos dias atuais, na qual “as disciplinas voltadas para o ensino de ciências mantém noções de ensino-aprendizagem baseadas na transmissão-recepção, ou seja, na ênfase nos processos memorísticos e mecanicistas da aprendizagem”(SANTOS, 2005, p. 83).

Hodiernamente, percebe-se também que a fragmentação do conhecimento conduz para o fechamento no discurso e na interação entre as diversas áreas do conhecimento. Percebe-se também que com as idéias mais amplas, mais globais de conhecimento, fica cada vez mais difícil para os educadores enquadrarem os fenômenos que ocorrem no cotidiano, numa perspectiva apenas disciplinar, desprovida de qualquer interação entre as diversas disciplinas que compõem as áreas do conhecimento. Diante disto, a interdisciplinaridade emerge como uma forma de estabelecer a intercomunicação entre as disciplinas e de reconstruir toda unidade perdida (MACHADO, 2005).

A interdisciplinaridade é um tema que merece destaque no meio educacional, principalmente devido a crescente fragmentação da ciência. Essa nova concepção constitui um importante momento na educação, capaz de provocar uma ruptura com os arcaicos modelos e propostas ditas “pedagógicas”, mas que trazem em sua raiz um método tradicional e cartesiano de ensino, não sendo capaz de formar o sujeito crítico, participante e transformador do meio em que está inserido e consciente de sua responsabilidade nesse meio.

1.2 – As concepções de interdisciplinaridade

Segundo Fazenda (1996), em dezembro de 1969 um grupo de peritos provenientes da Alemanha, França e Grã-Bretanha, num estudo inicial, apresentou um relatório que revelou “a falta de uma precisão terminológica pelo preconceito no trato de questões referentes à integração e pelo desconhecimento mesmo da necessidade de certos pressupostos básicos para a interdisciplinaridade”(FAZENDA, 1996, p. 26 e 27).

Para sanar os problemas de falta de terminologia, podendo, dessa forma, abrir caminhos para uma reflexão epistemológica, em fevereiro de 1970, um grupo de especialistas, dentre eles E. Jantsch procurou aprofundar o estudo a respeito do termo interdisciplinaridade, partindo de uma análise do documento de Guy Michaud (FAZENDA, 1996). Nesse documento encontramos as seguintes terminologias:

Disciplina – Conjunto específico de conhecimentos com suas próprias características sobre o plano do ensino, da formação dos mecanismos, dos métodos, das matérias.

Multidisciplina – Justaposição de disciplinas diversas, desprovidas de relação aparente entre elas. Ex.: música + matemática + história.

Pluridisciplina – Justaposição de disciplinas mais ou menos vizinhas nos domínios do conhecimento. Ex.: domínio científico: matemática + física.

Interdisciplina – Interação existente entre duas ou mais disciplinas. Essa interação pode ir da simples comunicação de idéias à integração mútua dos conceitos diretores da epistemologia, da terminologia, da metodologia, dos procedimentos, dos dados e da organização referentes ao ensino e à pesquisa. Um grupo interdisciplinar compõe-se de pessoas que receberam sua formação em diferentes domínios do conhecimento (disciplinas) com seus métodos, conceitos, dados e termos próprios.

Transdisciplina – Resultado de uma axiomática comum a um conjunto de disciplinas (ex. Antropologia considerada como “a ciência do homem e de suas obras”, segundo a definição de Linton) (MICHAUD, 1972 *apud* FAZENDA, 1996, p. 27).

Tendo como referência as diferenciações terminológicas acima mencionadas, em setembro de 1970, realizou-se em Nice um seminário, onde um dos temas era aquele de esclarecer os conceitos de pluri, inter e transdisciplinaridade, partindo de uma reflexão epistemológica (FAZENDA, 1996). Dentre as análises desenvolvidas pelos participantes desse seminário, destacaremos a de M. Boisot, de J. Piaget e de E. Jantsch.

Segundo Fazenda (1996), Boisot distingue três níveis de interdisciplinaridade, partindo da idéia de considerar uma disciplina como uma estrutura, ou seja, nas palavras de Boisot (1972 *apud* FAZENDA, 1996, p. 33), “aquilo que designa um sistema no qual se reconhece uma organização e no qual a soma de suas partes não coincide com sua totalidade.”

Os três níveis de interdisciplinaridade que Boisot propõe são apresentados e esclarecidos de forma sintética por Fazenda (1996):

- a) *Interdisciplinaridade Linear* – em que um conjunto de leis de uma disciplina pode ser aplicada com sucesso a outras [...]. Segundo Boisot, a

denotação linear, advém da possibilidade de um modelo ser comum a duas ou mais disciplinas, ou seja, quando houver a possibilidade de um conjunto de leis de determinada disciplina, adaptar-se à outra. Como exemplo disto, tem-se a equação de propagação de D'Alembert aplicada à acústica, eletromagnetismo e mecânica ondulatória.

- b) *Interdisciplinaridade Estrutural* – a interação de duas ou mais disciplinas resulta na criação de um campo de leis novas, compondo a ossatura de uma nova disciplina [...]. Como exemplo disto, tem-se o eletromagnetismo, que hoje compreende não só a eletrostática e o magnetismo, como também as equações de Maxwell (que se constituem num prolongamento da relatividade Einsteiniana), originando uma disciplina totalmente nova e diversa das disciplinas que lhe deram origem.
- c) *Interdisciplinaridade Restrita* – em dado projeto, cada disciplina delimita seu raio de ação, impondo certas restrições ou barreiras à interação com as demais [...] (FAZENDA, 1996, p. 33 e 34).

Para Piaget a interdisciplinaridade é uma forma de reorganização do saber. Dessa maneira, “não temos mais que dividir a realidade em compartimentos impermeáveis ou plataformas superpostas correspondentes às fronteiras aparentes de nossas disciplinas científicas; pelo contrário, vemo-nos compelidos a buscar interações e mecanismos comuns” (PIAGET, 1979 *apud* SANTOMÉ, 1998, p. 50). Uma das formas de integração entre as disciplinas, proposta por Piaget, apresenta três níveis de integração entre as disciplinas:

1. *Multidisciplinaridade*. O nível inferior de integração. Ocorre quando, para solucionar um problema, busca-se informação e ajuda em várias disciplinas, sem que tal interação contribua para modificá-las ou enriquecê-las. Esta costuma ser a primeira fase da constituição de equipes de trabalho interdisciplinar, porém não implica em que necessariamente seja preciso passar a níveis de maior cooperação.
2. *Interdisciplinaridade*. Segundo nível de associação entre disciplinas, em que a cooperação entre várias disciplinas provoca intercâmbios e, conseqüentemente, enriquecimentos mútuos.
3. *Transdisciplinaridade*. É a etapa superior de integração. Trata-se da construção de um sistema total, sem fronteiras sólidas entre as disciplinas, ou seja, de “uma teoria geral de sistemas ou de estruturas, que inclua estruturas operacionais, estruturas de regulamentação e sistemas probabilísticos, e que una estas diversas possibilidades por meio de transformações reguladas e definidas”(PIAGET, 1979 *apud* SANTOMÉ, 1998, p. 70).

A forma positivista de pensar é a grande causadora da fragmentação do saber. Dessa forma, o fato de Piaget assumir uma postura interdisciplinar significa uma oposição à filosofia positivista que limita o campo da ciência. Porém, há muito que percorrer para se chegar a um sistema total, onde as fronteiras disciplinares seriam inexistentes, prova disso é que Piaget ao criar o termo transdisciplinaridade, considerava-o uma etapa sonhadora e superior de

integração. Nessa etapa o nível de coordenação das disciplinas e interdisciplinas teriam por objetivo alcançar um sistema global (JAPIASSU, 1976).

Piaget considerava a pesquisa interdisciplinar como uma forma de reorganizar o saber, onde o intercâmbio entre as diversas áreas do saber fosse capaz de superar as limitações que dificultam o avanço científico (SANTOMÉ, 1998).

E. Jantsch admite que o ensino é um agente de renovador, cabe então organizar as disciplinas com base nos graus de coordenação e cooperação existentes entre elas para que ocorra de forma efetiva a interdisciplinaridade. Pensando então na ação educacional, estabelece uma diferenciação terminológica entre multi, pluri, inter e transdisciplinaridade que completa a de Guy Michaud anteriormente estudada por ele (FAZENDA, 1996).

Multidisciplinaridade – ... gama de disciplinas que propõe-se *simultaneamente*, mas, sem fazer aparecer as relações que possam existir entre elas; destina-se a um sistema de um só nível e de objetivos múltiplos, mas, sem nenhuma cooperação.

Pluridisciplinaridade – Justaposição de diversas disciplinas, situadas geralmente no mesmo nível hierárquico e agrupadas de modo a fazer aparecer as relações existentes entre elas; destina-se a um tipo de sistema de um só nível e de objetivos múltiplos, onde existe *cooperação*, mas não *coordenação*.

Interdisciplinaridade – destina-se a um sistema de dois níveis e de objetivos múltiplos onde há coordenação procedendo do nível superior.

Transdisciplinaridade – Coordenação de todas as disciplinas e interdisciplinas do sistema de ensino inovado, sobre a base de uma axiomática geral – destina-se a um sistema de nível e objetivos múltiplos – há coordenação com vistas a uma finalidade comum dos sistemas (JANTSCH, 1972 *apud* FAZENDA, 1996, p. 37 e 38).

Além dessas terminologias, Jantsch também introduz uma etapa intermediária denominada *disciplinaridade cruzada*, que segundo o próprio Jantsch (1972 *apud* FAZENDA, 1996, p. 37), “[...] é a axiomática de uma só disciplina, imposta a outras disciplinas do mesmo nível hierárquico.”

Segundo Fazenda (1996), o modo com que Jantsch concebe o ensino, um meio renovador e transformador da ciência e da sociedade (presente e engajado nas realidades políticas e sociais), traduz um sistema onde a ciência é organizada numa dinâmica interdisciplinar.

A partir das diferentes terminologias empregadas por G. Michaud (1972 *apud* FAZENDA, 1996, p. 27), M. Boisot (apresentado por FAZENDA, 1996, p. 33 e 34), J. Piaget (1979 *apud* SANTOMÉ, 1998, p. 70) e E. Jantsch (1972 *apud* FAZENDA, 1996, p. 37 e 38), organizamos um quadro sistematizado, destacando a idéia principal de cada pesquisador:

Tabela 1: sistematização das diferentes terminologias (multi, pluri, inter e transdisciplinaridade), empregadas por G. Michaud (1972 *apud* FAZENDA, 1996, p. 27), M. Boisot (apresentado por FAZENDA, 1996, p. 33 e 34), J. Piaget (1979 *apud* SANTOMÉ, 1998, p. 70) e E. Jantsch (1972 *apud* FAZENDA, 1996, p. 37 e 38).

	G. Michaud	M. Boisot	J. Piaget	E. Jantsch
Disciplinaridade	Conjunto específico de conhecimentos com suas próprias características.			
Multidisciplinaridade	Justaposição de disciplinas diversas, desprovidas de relação aparente entre elas.		Ocorre quando, para solucionar um problema, busca-se informação e ajuda em várias disciplinas, sem que tal interação contribua para modificá-las ou enriquecê-las.	Gama de disciplinas que propõe-se simultaneamente, mas, sem fazer aparecer as relações que possam existir entre elas.
Pluridisciplinaridade	Justaposição de disciplinas mais ou menos vizinhas nos domínios do conhecimento.			Justaposição de diversas disciplinas, situadas no mesmo nível hierárquico e agrupadas de modo a fazer aparecer as relações existentes entre elas.
Interdisciplinaridade	Interação existente entre duas ou mais disciplinas. Essa interação pode ir da simples comunicação de idéias à integração mútua dos conceitos diretores da epistemologia, da terminologia, da metodologia, dos procedimentos, dos dados e da organização	É apresentada em três níveis: <i>Interdisciplinaridade Linear</i> – em que um conjunto de leis de uma disciplina pode ser aplicada com sucesso a outras. <i>Interdisciplinaridade Estrutural</i> – a interação de duas ou mais disciplinas resulta na criação de um campo de leis novas, compondo a	Segundo nível de associação entre disciplinas, em que a cooperação entre várias disciplinas provoca intercâmbios e, conseqüentemente, enriquecimentos mútuos.	Destina-se a um sistema de dois níveis e de objetivos múltiplos onde há coordenação procedendo do nível superior.

	referentes ao ensino e à pesquisa.	ossatura de uma nova disciplina <i>Interdisciplinaridade Restrita</i> – em dado projeto, cada disciplina delimita seu raio de ação, impondo certas restrições ou barreiras à interação com as demais.		
Transdisciplinaridade	Resultado de uma axiomática comum a um conjunto de disciplinas.		Etapas superior de integração. Trata-se da construção de um sistema total, sem fronteiras sólidas entre as disciplinas.	Coordenação de todas as disciplinas e interdisciplinas do sistema de ensino inovado, sobre a base de uma axiomática geral.

Santomé (1998) destaca que, de todas as classificações que se referem aos níveis de interdisciplinaridade, as distinções entre *multidisciplinaridade*, *pluridisciplinaridade*, *disciplinaridade cruzada*, *interdisciplinaridade* e *transdisciplinaridade*, que sejam mais conhecidas e divulgadas, é a realizada por Erich Jantsch no Seminário da OCDE (Organização de Cooperação e Desenvolvimento Econômico) de 1979.

Segundo Santomé (1998, p.71), “os conceitos desta classificação referem-se às formas de relação entre as diversas disciplinas, às diferentes etapas de colaboração e coordenação entre as diferentes especialidades”.

- A *Multidisciplinaridade* reflete o nível mais baixo de coordenação. A comunicação entre as diversas disciplinas ficaria reduzida a um mínimo. Seria a mera justaposição de matérias diferentes, oferecidas de maneira simultânea, com a intenção de esclarecer alguns dos seus elementos comuns, mas na verdade nunca se explicitam claramente as possíveis relações entre elas. Assim, por exemplo, o agrupamento das disciplinas de história, física e pintura, porém sem estabelecer claramente os nexos de interligação entre elas. [...]
- A *Pluridisciplinaridade* é a justaposição de disciplinas mais ou menos próximas, dentro de um mesmo setor de conhecimentos. Por exemplo: física e química; biologia e matemática; sociologia e história... É uma forma de cooperação que visa a melhorar as relações entre essas disciplinas. Vem a ser uma relação de mera troca de informações, uma simples acumulação de conhecimentos. Um elemento positivo desta intercomunicação é que se produz um plano de igual para igual, sem que uma não imponha à outra, baseando-se, por exemplo, em que em

um determinado momento goza de uma situação privilegiada ou de maior prestígio que a outra. Mas na verdade não se contribui para uma profunda modificação da base teórica, problemática e metodológica dessas ciências em sua individualidade. É uma comunicação que não as modifica internamente. Neste nível ainda não existe uma profunda interação ou coordenação. [...]

- *A Disciplinaridade cruzada.* Envolve uma abordagem baseada em posturas de força; a possibilidade de comunicação está desequilibrada, pois uma das disciplinas dominará sobre as outras. A matéria considerada importante determinará o que as demais disciplinas deverão assumir. Por exemplo, quando a axiomática de apenas uma disciplina, seus conceitos, métodos e marcos teóricos, são impostos a outras que se encontram no mesmo nível hierárquico. Assim, cria-se uma rígida polarização que cruza as disciplinas rumo à axiomática dessa disciplina de maior prestígio e poder. Existe um controle rígido imposto por um objeto de uma disciplina concreta, por exemplo, quando o uso de métodos de pesquisa próprios de uma matéria são transferidos mecanicamente para outras. [...]
- *A interdisciplinaridade* propriamente dita é algo diferente, que reúne estudos complementares de diversos especialistas em um contexto de estudo de âmbito mais coletivo. A interdisciplinaridade implica em uma vontade e compromisso de elaborar um contexto mais geral, no qual cada uma das disciplinas em contato são por sua vez modificadas e passam a depender claramente umas das outras. Aqui se estabelece uma interação entre duas ou mais disciplinas, o que resultará em intercomunicação e enriquecimento recíproco e, conseqüentemente, em uma transformação de suas metodologias de pesquisa, em uma modificação de conceitos, de terminologias fundamentais, etc. entre as diferentes matérias ocorrem intercâmbios mútuos e recíprocas integrações; existe um equilíbrio de forças nas relações estabelecidas. [...]
- *A Transdisciplinaridade.* Conceito que aceita a prioridade de uma transcendência, de uma modalidade de relação entre as disciplinas que as supere. É o nível superior da interdisciplinaridade, de coordenação, onde desaparecem os limites entre as diversas disciplinas e se constitui um sistema total que ultrapassa o plano das relações e interações entre tais disciplinas. A cooperação é tal que já podemos falar do aparecimento de uma nova macrodisciplina. Aqui a integração ocorre dentro de um sistema onicompreensivo, na perseguição de objetivos comuns e de um ideal de unificação epistemológico e cultural (SANTOMÉ, 1998, p. 71-74).

Com base nas análises das diversas terminologias, Fazenda (1996) também apresenta um esclarecimento dos termos pluridisciplinaridade, multidisciplinaridade, interdisciplinaridade e transdisciplinaridade de acordo com os níveis de cooperação existentes entre as disciplinas. Segundo ela, no nível de multidisciplinaridade e pluridisciplinaridade ocorre apenas uma justaposição de conteúdos de disciplinas que são de naturezas diferentes. No nível de interdisciplinaridade ocorre uma interação entre as disciplinas, sendo perceptível uma relação de reciprocidade entre os diferentes domínios do conhecimento. Por fim o nível da

transdisciplinaridade, iniciado nos níveis inferiores (pluridisciplinaridade, multidisciplinaridade, interdisciplinaridade), é a etapa superior das relações entre as disciplinas e entre os diferentes domínios do conhecimento.

Para Japiassu (1976), a interdisciplinaridade não possui um sentido epistemológico estável, nem único e nem sempre é compreendida a sua função e seu significado da mesma forma, porém, segundo Japiassu (1976, p. 74), “o princípio de distinção é sempre o mesmo: a interdisciplinaridade se caracteriza pela intensidade das trocas entre os especialistas e pelo grau de integração real das disciplinas, no interior de um projeto específico de pesquisa.”

Baseados em todas as definições para os termos interdisciplinaridade e transdisciplinaridade citados ao longo do item 1.2 do capítulo 1, podemos sintetizar que a interdisciplinaridade se refere a uma interação entre as diversas disciplinas, ficando claro nessa interação a relação de reciprocidade e dependência entre elas. Quanto a transdisciplinaridade, esta se refere a uma etapa de interação superior a interdisciplinaridade, de forma que essa interação seja também perceptível em diferentes domínios do conhecimento.

1.3 – Justificativa para uma proposta interdisciplinar

Para Santomé (1998), o conhecimento tem sido reorganizado, as tendências pendem para uma maior unificação do saber, fruto disso, uma das dinâmicas constatadas na construção e difusão do conhecimento, surgindo com bastante força, resultados de pesquisas interdisciplinares que tem como objetivo compreender problemas significativos, apoiados em vários campos do conhecimento. Essa ruptura das fronteiras disciplinares tem favorecido o surgimento de modelos significativos, muito mais potentes do que os que caracterizam apenas uma especialidade disciplinar, uma vez que a complexidade de mundo exige cada vez mais um olhar amplo.

Segundo Japiassu (1976), a interdisciplinaridade, nos seus mais diversos domínios de pesquisa, emerge como um protesto:

- a) contra um saber fragmentado, em migalhas, pulverizado numa multiplicidade crescente de especialidades, em que cada uma se fecha como que para fugir ao verdadeiro conhecimento;

- b) contra o divórcio crescente, ou esquizofrenia intelectual, entre uma universidade cada vez mais compartimentada, dividida, subdividida, setorizada e subsetorizada, e a sociedade em sua realidade dinâmica e concreta, onde a “verdadeira vida” sempre é percebida como um todo complexo e indissociável. Ao mesmo tempo, porém, contra essa própria sociedade, na medida em que ela faz tudo o que pode para limitar e condicionar os indivíduos a funções estreitas e repetitivas, para aliená-los de si mesmos, impedindo-os de desenvolverem e fazerem desabrochar todas as potencialidades e aspirações mais vitais;
- c) contra o conformismo das situações adquiridas e das “idéias recebidas” ou impostas (JAPIASSU, 1976, p. 43).

Não só como um protesto, mas a interdisciplinaridade também emerge para Japiassu (1976), como uma forma de responder uma sucessão de demandas:

- a) há uma demanda ligada ao *desenvolvimento da ciência*: a interdisciplinaridade vem responder à necessidade de criar um fundamento ao surgimento de novas disciplinas;
- b) há uma demanda ligada às *reivindicações estudantis* contra um saber fragmentado, artificialmente cortado, pois a realidade é necessariamente global e multidimensional: a interdisciplinaridade aparece como símbolo da “anti-ciência”, do retorno ao vivido e às dimensões sócio-históricas da ciência;
- c) há uma demanda crescente por parte daqueles que sentem mais de perto a necessidade de uma *formação profissional*: a interdisciplinaridade responde à necessidade de formar profissionais que não sejam especialistas de uma só especialidade;
- d) há uma demanda *social* crescente fazendo com que as universidades proponham novos temas de estudo que, por definição, não podem ser encerrados nos estreitos compartimentos das disciplinas existentes (JAPIASSU, 1976, p. 53-54).

Segundo Bochniak (1998), a interdisciplinaridade, de um modo geral, vem sendo concebida como uma integração de conteúdos entre as disciplinas que compõe o currículo escolar. Porém a prática docente revela que essa integração não é tão simples como se parece. O fato dos professores das diversas áreas do conhecimento verem a interdisciplinaridade como um mero exercício de integração de conteúdos, sem conhecerem na essência esse termo, faz com que eles não consigam avançar nessa prática e tenham uma idéia equivocada da interdisciplinaridade.

Com base no aprofundamento de pesquisas, Bochniak (1998) apresenta uma concepção radical de interdisciplinaridade:

atitude de superação de todas e quaisquer visões fragmentadas e/ou dicotômicas – sedimentadas pelo modelo de racionalidade científica da

Modernidade – que ainda mantemos de nós mesmos, do mundo e da realidade, sem que se desconsidere qualquer dos segmentos ou pólos indicados (corpo e mente; pensamento, sentimento e movimento; trabalho manual e intelectual; objetividade e subjetividade; teoria e prática; idealismo e realismo; obrigação e satisfação; quantidade e qualidade) e sem que se anule a identidade das disciplinas e/ou áreas da produção e expressão do conhecimento contempladas (física, matemática, história, sociologia, anatomia...; ciências físico-naturais e ciências humanas e sociais...; ciência, filosofia, arte e religião). Ou, simplesmente, interdisciplinaridade: atitude de superação de toda e qualquer visão fragmentada e/ou dicotômica que ainda mantemos de nós mesmos, do mundo e da realidade (BOCHNIAK, 1998, p. 27 e 28).

A interdisciplinaridade surge como uma forma de restabelecer a ordem perdida e sufocada pelas formas tradicionais e fragmentadas que se estabeleceu de maneira pragmática nos diversos níveis de ensino. Assumir uma postura interdisciplinar na educação é assumir uma atitude aberta, sem preconceitos, valorizando o conhecimento em sua totalidade. Porém assumir essa postura exige comprometimento, sensibilidade e principalmente atitude (FAZENDA, 1996).

Diante disso, como Assumpção (1993) destaca, podemos encarar essa proposta interdisciplinar sob dois pontos de vista, um estático e outro dinâmico. Do ponto de vista estático, a visão cartesiana faria com que enxergássemos apenas pontos de ligação entre os diferentes mundos humanos (do educador, do matemático, do físico, do filósofo, etc.). Já do ponto de vista dinâmico, o homem seria recuperado de seu pensar fragmentado, ultrapassando toda segmentação.

Para Japiassu (1976) a interdisciplinaridade congrega os resultados de várias disciplinas, proporcionando uma integração entre as mesmas, além disso, o empreendimento interdisciplinar:

1. proporciona trocas generalizadas de informações e de críticas, contribuindo, dessa forma, para uma reorganização do meio científico e para fornecer toda espécie de transformação institucional a serviço da sociedade e do homem;
2. amplia a *formação geral* de todos quantos se engajam na pesquisa científica especializada, permitindo-lhes descobrir melhor suas aptidões, assegurar melhor sua orientação a fim de definir o papel que deverá ser o seu dentro da sociedade, “aprender a aprender”, situar-se melhor no mundo de hoje, compreender e criticar todas as informações recebidas;
3. questiona a possível comodação dos cientistas em seus pressupostos implícitos, em suas comunicações restritas que tornam difíceis as trocas e, com isso, favorece a explicitação de seus postulados epistemológicos,

- cada um deles fazendo dessa explicitação o acompanhamento necessário de sua prática e de suas eventuais descobertas;
4. prepara melhor os indivíduos para a formação profissional que, hoje em dia, cada vez mais exige a contribuição de várias disciplinas fundamentais, conseqüentemente, certa formação polivalente;
 5. prepara e engaja os especialistas na pesquisa em equipe, fornecendo-lhes os instrumentos conceituais para que saibam analisar as situações e colocar os problemas; para que aprendam a conhecer os limites de sua própria metodologia e possam dialogar, de forma produtiva, com os outros especialistas: pelo trabalho comum, pelo confronto dos métodos, pela “concertação” dos pontos de vista e dos resultados;
 6. assegura e desenvolve a *educação permanente* que permite aos pesquisadores o prolongamento constante, no decurso da vida, de sua formação geral, universitária ou profissional, através do que se convencionou chamar *reciclagem* continuada das atividades de todos aqueles que desejam manter-se atualizados nos vários setores do conhecimento e conservar num permanente desabrochar suas personalidades engajadas na vida social (JAPIASSU, 1976, p. 32-34).

1.4 – A interdisciplinaridade em perspectiva histórica

Na história do pensamento, o saber unificado sempre existiu. Se analisarmos o surgimento do cosmos, no mundo grego, perceberemos a unificação do saber. Esse saber, no mundo grego se apresentava de forma racional, separando o cognoscente do conhecido e entranhado no horizonte epistemológico do cosmos. Na Idade Média, com a ciência vinculada à filosofia, também há uma valorização do saber em sua totalidade, o conhecimento disciplinar só tinha significado se fosse direcionado para o todo, dessa forma, a educação tanto no mundo grego como no medieval revelava que as disciplinas existentes articulavam-se e se completavam. Com as grandes descobertas, impulsionadas no advento da Idade Moderna, o saber unificado começa a desintegrar-se, uma nova situação epistemológica emerge e a proliferação de novos saberes, enraizados nas especialidades e nas formas disciplinares e fragmentados, sufoca as perspectivas interdisciplinares (JAPIASSU, 1976).

Embora a interdisciplinaridade seja um assunto atual, é importante destacarmos que em épocas passadas podemos também perceber uma ciência unificada, caracterizando, pois, uma perspectiva interdisciplinar. Platão, por exemplo, pode ter sido o primeiro grande intelectual a depositar na filosofia essa grande tarefa de apresentar a ciência no seu todo (unificada). O *trivium* (gramática, retórica e dialética) e o *quadrivium* (aritmética, geometria, astronomia e música) são os primeiros exemplos de um ensino integrado. O primeiro (*trivium*) agrupava todos os conhecimentos de letras, o segundo (*quadrivium*) agrupava todos os conhecimentos

de ciências. A Escola de Alexandria também pode ser considerada a mais antiga instituição a tratar o conhecimento (aritmética, mecânica, gramática, medicina, geografia, música, astronomia, dentre outras) de forma integrada (SANTOMÉ, 1998).

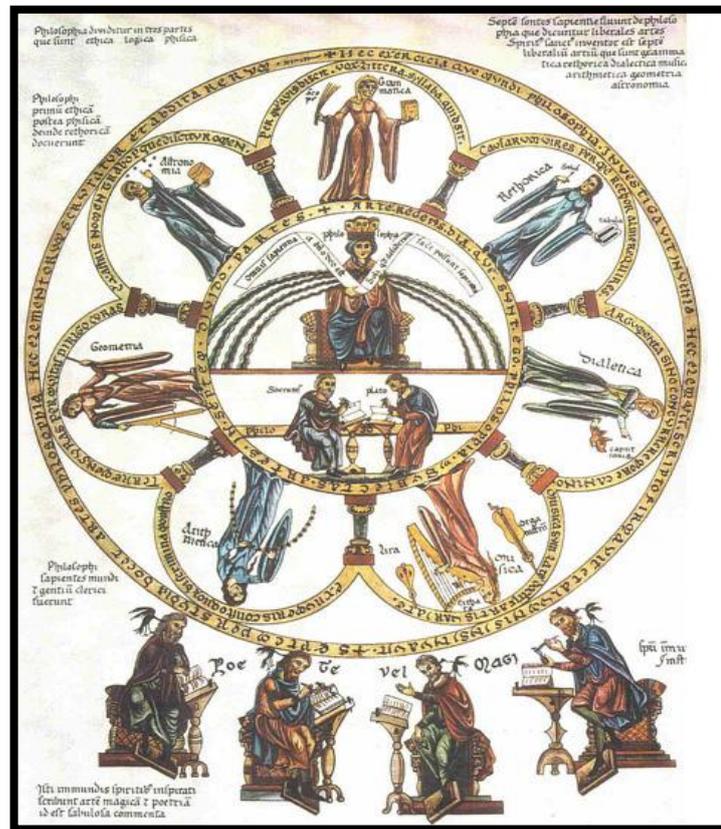


Figura 1– Representação do Trivium e Quadrivium.

Fonte: < http://www.uwec.edu/CAS/libed/images/Septem-artes-liberales_Herrad-von-Landsberg_Hortus-deliciarium_1180.jpg >.

Segundo Japiassu (1976), a educação grega almejava o saber em sua totalidade, não se reduzia a um mero enciclopedismo ou a um acúmulo de conhecimento, mas buscava uma formação integral, onde as disciplinas não eram herméticas, pelo contrário, se completavam harmoniosamente. A sociedade e o pensamento atual abandonaram tal concepção de educação e adotou outros métodos que estão longe de serem eficazes como foi o dos gregos.

Como vimos, a história revela que sempre houve uma preocupação com a unidade do saber. Francis Bacon, pensador renascentista, verificou a necessidade de um saber unificado, quando em sua obra *New Atlantis*, descrevendo a casa de Salomão, mostra um centro de pesquisa interdisciplinar. No século XVII, Juan Amós Comenio contempla a cosmovisão como unidade do saber. Os intelectuais René Descartes, Auguste Comte, Emmanuel Kant, dentre

outros, também se preocuparam com a fragmentação e buscaram estabelecer relações interdisciplinares em suas propostas (SANTOMÉ, 1998).

Segundo Fazenda (1996), a crise que se instaurou com o advento das especializações e a multiplicação das tarefas causou um grande impacto na civilização contemporânea, sendo necessário restabelecer a ordem perdida, buscando a volta do saber unificado.

Esse advento das especializações, que surgiu de forma exagerada, principalmente a partir do século XIX, não respeitou os limites das disciplinas científicas e culminou numa crescente fragmentação. Nessa perspectiva faz-se necessário restabelecer um diálogo interdisciplinar e uma reflexão inovadora do conceito de ciência e filosofia e a metodologia interdisciplinar surge como uma ferramenta, abrindo novos caminhos. A interdisciplinaridade é um tema que merece ser tratado com relevância diante desse esfacelamento do saber causado pela fragmentação das disciplinas científicas (JAPIASSU, 1976).

1.5 – A educação em perspectiva transdisciplinar

Assumir uma postura transdisciplinar de ensino, exige uma atitude aberta, de cooperação e integração do conhecimento, almejando uma visão global, onde o homem é parte integrante do Cosmo, segundo D’Ambrosio (1997, p. 15), “poder-se-ia dizer que o projeto transdisciplinar é intra e interdisciplinar, abarcando o que constitui o domínio das ciências da cognição, da epistemologia, da história, da sociologia, da transmissão do conhecimento e da educação.”

Para D’Ambrosio (1997), o conhecimento é resultado de um processo que compreende os estágios de geração, organização intelectual e social e difusão, significando a capacidade adquirida de sobrevivência e transcendência. Porém, ainda segundo D’Ambrosio (1997), esses estágios, devem de modo integrado e contextualizado, incluir estudos cognitivos (geração), epistemológicos (organização intelectual), históricos (organização social), políticos e de educação (difusão), visando uma reflexão mais ampla da sociedade.

O domínio dos conteúdos específicos de cada disciplina é importante para o processo ensino-aprendizagem, porém com os altos índices de evasão escolar, percebe-se que somente esse

domínio não tem dado resultados satisfatórios na educação. Nesse sentido é importante para a prática docente, a busca por novas metodologias que estimulem uma reflexão aprofundada, contextualizada, incorporando modelos interdisciplinares e transdisciplinares, visando uma educação mais abrangente, abrindo novas perspectivas e estimulando a criatividade de forma que o conhecimento e as práticas educacionais se tornem atraentes (D'AMBROSIO, 1997).

Para Morin (1998), as disciplinas estão cada vez mais se fechando e demarcando seu território soberano, apresentando os fenômenos de forma fragmentada, não sendo perceptível a unidade entre elas, nem comunicação umas com as outras. Nesse contexto, a necessidade de ir além, de fazer as fronteiras disciplinares desabarem faz com que surja a proposta transdisciplinar. Desde o século XVII o desenvolvimento da ciência ocidental não tem sido somente disciplinar, mas também transdisciplinar. Se recorrermos à história da ciência perceberemos grandes unificações transdisciplinares, sendo a formalização e a matematização dois princípios transdisciplinares fundamentais para a ciência. Segundo Morin (1998, p. 135 e 136), “a ciência nunca teria sido ciência se não tivesse sido transdisciplinar”.

A abordagem transdisciplinar além de romper com as fronteiras científicas, reconhece a pluralidade de aprendizagens, porém deve se ter bem implícito que o estabelecimento de uma educação a partir da transdisciplinaridade exige assumir uma nova postura, exige o rompimento com as práticas tradicionais e uma abertura para a pesquisa e o diálogo entre os diferentes saberes (CARBONARA, 2004).

DE ARISTÓTELES A NEWTON (TÓPICOS DE COSMOLOGIA E GRAVITAÇÃO NA HISTÓRIA E NA FILOSOFIA DA CIÊNCIA)

Neste capítulo, destacaremos a visão de vários pesquisadores na área de ensino, história e epistemologia da Ciência, procurando mostrar a forma como esses vários pesquisadores abordam os conceitos de Cosmologia e Gravitação. É importante também frisarmos que para se ter um conhecimento amplo com perspectivas interdisciplinares e transdisciplinares, primeiramente se devem conhecer os conteúdos a serem trabalhados em cada disciplina, fundamentados teórico e historicamente. Portanto, além de mostrar a evolução dos sistemas de mundo e, conseqüentemente, a Física, que acarretou na Gravitação como a conhecemos hoje. Tentaremos também relacioná-los com o conhecimento global que possuíam os grandes nomes da ciência envolvidos na evolução desses conceitos.

Segundo Rios (1995), na década de 80 havia um embate entre os educadores, de um lado os tecnicistas ou conteudistas, que se preocupavam com a competência técnica, de outro lado os chamados românticos, que se preocupavam com a valorização política do educador. Como Rios (1995) destaca, não se pode desconsiderar nenhuma das duas, principalmente se pretendemos um ensino que forme cidadãos críticos, com conhecimento científico capaz de fazê-los conscientes de suas responsabilidades frente ao mundo em constantes transformações, porém é necessário reconhecer nesse embate a dimensão ética como mediadora entre técnica e a política. Entendemos com essa idéia de Rios (1995), que: primeiro, é fundamental no ensino de ciências essa dimensão ética, para que haja abertura às propostas inter e transdisciplinares, e, em segundo, essas propostas não devem esbarrar nas barreiras da fragmentação.

Segundo as Orientações Curriculares para o Ensino Médio (BRASIL, 2008), a tecnologia, por aparecer nos Parâmetros Curriculares Nacionais como parte integrante da área de Ciências da Natureza, merece uma atenção especial, deve ser tratada como uma atividade humana, considerando os aspectos práticos e sociais. O conhecimento científico e tecnológico deve ir além dos conteúdos disciplinares escolares, deve formar competências. Isso implica uma formação sólida, onde o aluno esteja apto a ser crítico, capaz de discutir abertamente as questões éticas e políticas que envolvem ciência e tecnologia, além de opinar nessas esferas.

A escola deve oferecer subsídios e possibilidades para que o aluno construa competências, nesse sentido deve ser levada em consideração a contextualização.

A contextualização deve dar ao aluno uma competência crítico-analítico de representação da realidade. Para tal competência surge a necessidade de se pensar sob uma perspectiva interdisciplinar. Essa perspectiva exige o rompimento com os saberes disciplinares para que se possa explorar ao máximo cada área do conhecimento (BRASIL, 2008). Diríamos mais, para que o aluno tenha a competência crítico-analítico, além de se pensar sob uma perspectiva interdisciplinar também deve se pensar sob uma perspectiva transdisciplinar.

Uma dimensão da contextualização caracterizada nas Orientações Curriculares para o Ensino Médio (BRASIL, 2008), relaciona o conhecimento científico com o cotidiano. Estamos cercados de ciência e tecnologia, vemos os avanços dessas áreas a cada dia, porém, a grande maioria das pessoas não possui uma formação capaz de ampliar a compreensão científica e tecnológica do mundo que os rodeia. Isso faz com que muitas das explicações que são dadas diante desse mundo em transformação, se baseiem no “senso comum” (BRASIL, 2008).

Segundo Hazen e Trefil (2005), cada vez mais as questões científicas e tecnológicas estão ganhando importância. Diante disso se faz necessário o conhecimento científico para que o ser humano saiba se relacionar com o mundo em constante transformação. O fato do ser humano estar em contato diariamente com avanços científicos e tecnológicos não significa que ele tenha o conhecimento necessário para situar-se no contexto científico em questão, é necessário ir além, é necessária uma alfabetização científica, ou seja, como destacam Hazen e Trefil (2005, p. 12), “ter o conhecimento necessário para entender os debates públicos sobre as questões de ciência e tecnologia.”

Entendemos dessa forma que ser alfabetizado cientificamente e situar-se no contexto científico exige ultrapassar as fronteiras disciplinares. O conhecimento fragmentado não permite entender os debates públicos sobre as questões de ciência e tecnologia, faz-se necessário uma reformulação na abordagem disciplinar tradicional e fragmentada, pois as atuais abordagens não atendem as demandas por um ensino capaz de levar o homem a compreender qual o seu lugar e sua responsabilidade no planeta. Entendemos também que para ser alfabetizado cientificamente o ser humano precisa “entender” ciência e não somente “ver” ciência, sua formação deve compreender valores, competências e habilidades que o

permitam contextualizar e ter um pensamento crítico frente aos bombardeios de informações e avanços nas áreas científicas e tecnológicas que o planeta vem sofrendo.

Outra dimensão da contextualização caracterizada nas Orientações Curriculares para o Ensino Médio (BRASIL, 2008) é a utilização da História e Filosofia da ciência para que os alunos conheçam as origens e os caminhos que culminaram nas teorias e modelos que fazem parte do saber científico.

Com base nesta última dimensão, podemos destacar que desde a antiguidade o homem vem tentando decifrar os enigmas do Universo, como por exemplo, a queda dos corpos. A palavra gravidade, por exemplo, segundo Martins (2006), já era falada mais de mil anos antes de Newton e a queda dos corpos já era descrita desde os primórdios das civilizações e significava apenas a propriedade dos corpos pesados, não trazendo uma explicação nem uma interpretação para a queda dos corpos nem para a atração que a Terra exercia sobre os mesmos. Muitas vezes, somos induzidos por idéias errôneas, como por exemplo, a anedota da maçã¹, em aceitar que toda a teoria da gravitação surgiu como num passe de mágica, simplesmente pelo fato de Newton observar a queda daquela fruta. Isso se deve provavelmente, ao fato de o ensino de ciências muitas vezes não utilizar textos adequados e fundamentados teoricamente, tornando-se um ensino tradicional e fragmentado, mostrando assim uma ciência linear e desprovida de historicidade.

A História é sem dúvida um instrumento poderoso para o ensino de ciências, através dessa ferramenta é possível levantar questões que são fundamentais para o entendimento dos conceitos científicos. Ziman (1981, p. 17), em suas palavras, destaca que é conveniente ver a Ciência “[...] como um ponto de equilíbrio ao longo de três dimensões da existência – a intelectual, a pessoal e a social [...]. Para se compreender o estado atual da Ciência, é necessário saber-se como chegou ela a este ponto [...]”.

Para Piaget (1973), os ensinamentos históricos constituem uma importante ferramenta de investigação interdisciplinar, não como simples reconstituição de acontecimentos, mas apoiando-se nos aspectos histórico-evolutivo.

¹ MARTINS, R. A.; *A maçã de Newton: história, lendas e tolices*. In: SILVA, C. C. (org.); *Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino*. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006.

Embora o homem sempre tenha tentado entender o universo, o estudo sistemático e propriamente científico iniciou-se com os filósofos gregos, em seus mais variados campos, fazendo, assim, com que a Filosofia, a Matemática, a Astronomia, a Oratória e todas as áreas do conhecimento chegassem ao seu ponto culminante (PONCZEK, 2002).

Para Chassot (2004), nenhum outro povo influenciou tão decisivamente na civilização ocidental como os gregos. Em sua obra “*A ciência através dos tempos*”, destaca quatro fatores que favoreceram o desenvolvimento da ciência em meio aos gregos:

- a) uma grande curiosidade intelectual, que os levou a absorver conhecimentos e técnicas de outras culturas mais complexas;
- b) a ausência de uma organização administrativo-religiosa que impusesse pautas rígidas de comportamento e conduta;
- c) o pequeno tamanho das cidades-Estados, que facilitava a participação ativa de todos os cidadãos nos assuntos públicos, e sua proximidade física com as técnicas de produção; e
- d) sua tendência à reflexão e seu aperfeiçoamento à argumentação e à dialética, que os impelia a contrastar as idéias de cada um com as idéias dos demais (CHASSOT, 2004, p. 35).

2.1 – A Física aristotélica

Dentre os diversos ícones da filosofia grega, destacamos Aristóteles que foi um ponto de referência importante e que mais influenciou na história e na filosofia da ciência. Nascido em Estagira, uma pequena cidade da península Calcídica, aos dezessete anos começa a estudar na Academia de Platão, lá permanece até seu rompimento com Platão, como muitos afirmam. Após esse episódio, Aristóteles organiza e constrói sua própria escola, o Liceu. O ensino no Liceu era bastante dinâmico (DANHONI NEVES, 2008).



Figura 2– “Escola de Atenas” de Rafael. Platão e Aristóteles estão no centro.

Fonte: PEDUZZI, L. O. Q. Disponível em: <<http://www.fsc.ufsc.br/pesqpeduzzi/imagens-thg2.htm>>.

Sobre a forma dinâmica como Aristóteles desenvolvia seu ensino, podemos destacar:

O ensino de Aristóteles compreende duas séries de lições; da parte da manhã, ocupa-se de questões meramente teóricas, é o ensino acromático ou esotérico, reservados aos iniciados; da parte da tarde, Aristóteles dirige-se a um público mais vasto; as questões tratadas são mais acessíveis desempenhando aí a retórica um importante papel; é o ensino esotérico. Aristóteles prossegue com suas lições durante doze anos; mas possui uma tal capacidade de trabalho que ainda arranja tempo para escrever e publicar inúmeras obras que abrangem quase todos os ramos do saber humano (CRESSON, 1981 *apud* DANHONI NEVES, 2008, p. 67).

Para Aristóteles, a filosofia era concebida como uma ciência, onde as disciplinas distintas podiam ser articuladas em um sistema organizado, objetivando a compreensão da realidade, realidade esta presente nas mínimas coisas que povoam o universo (DANHONI NEVES, 2008).

Aristóteles pode ser considerado o primeiro grande enciclopedista, pelo fato de ter reunido de forma tão sistemática todo conhecimento produzido até então, entre seus escritos está a *Physis*, composta de quatorze livros, onde ele discute a forma e a lei do universo, além de abordar diversos assuntos como filosofia da natureza, o movimento, o tempo e o espaço, sempre partindo do pressuposto que a ciência se baseia não só na definição, mas também na demonstração (CHASSOT, 2004).

“Questiona-se, frequentemente, se um único homem seria capaz de produzir tão vasto e profundo conhecimento em áreas tão díspares como Lógica, Geometria, Astronomia, Mecânica, Botânica, Biologia, Medicina, Física, Estética, Moral e Filosofia” (PONCZEK, 2002, p. 63). Porém, todo esse conhecimento, que pode ser classificado como global, com perspectivas inter e transdisciplinares, fizeram de Aristóteles um dos ícones da história da ciência. Suas contribuições se estendem a diversas áreas do conhecimento ².

Para Koyré (1991) o aristotelismo, antes de qualquer coisa é ciência, devido a seu valor de saber ciência.

² Segundo Chassot (2004, p. 55), “não houve campo do conhecimento científico no qual Aristóteles não tenha prestado alguma contribuição”.

A obra *Aristóteles-Metafísica*³, revela o desejo que Aristóteles tinha em adquirir novos conhecimentos. Esse fato é o motivo inspirador de sua busca pela *Metafísica*⁴. A obra ressalta ainda que essa forma de conhecimento (*a metafísica*) merece mais o nome de sabedoria. É esta sabedoria o mais amplo de todos os conhecimentos. É a ciência das causas primeiras ou mais universais.

Com relação à física aristotélica, podemos destacar que ela revela um universo dividido em dois mundos, um sublunar (abaixo da esfera da lua) e outro supralunar (acima da esfera da lua). No mundo sublunar, dividido em quatro elementos terrestres (Terra, água, ar e fogo), somente o movimento retilíneo era aceito e estava relacionado com a densidade desses elementos. Em primeiro estava a Terra, por ser mais grave (pesada), depois a água, logo em seguida o ar e por fim o fogo. O movimento natural da Terra e da água era retilíneo e para baixo, já o movimento natural do ar e do fogo era o retilíneo e para cima. Qualquer movimento desses elementos terrestres que alterasse o seu sentido natural era considerado violento. O mundo supralunar, no qual a Lua, o Sol, os planetas visíveis na época (Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno) e as estrelas fixas faziam parte, era preenchido de éter, o quinto elemento que Aristóteles acreditava não se misturar com os elementos do mundo sublunar. No mundo supralunar somente o movimento circular perfeito era concebido. Para Aristóteles a existência do vácuo seria impossível (DANHONI NEVES, 2008).

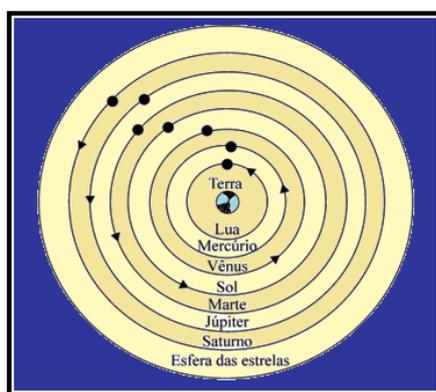


Figura 3– O Universo Aristotélico.

Fonte: Adaptado de: < <http://www.scielo.br/img/revistas/rbef/v26n3/a12fig01.gif>>.

³ Biblioteca dos séculos, **Aristóteles Metafísica**. Tradução de Leonel Vallandro. Porto Alegre: Editora Globo, 1969.

⁴ Segundo Pereira (2001, p. 43), “[...] esse texto da *Metafísica* explicitamente refere a necessidade da demonstração científica”.

Para Cohen (1988), a física aristotélica pode ser considerada a “física do senso comum”, pois essa física antiga é uma física baseada na intuição, exigindo apenas inteligência nata, sem qualquer conhecimento científico moderno, o que se adapta a idéia aristotélica da Terra imóvel no centro do Universo.

Outra questão importante que encontramos na física aristotélica é a forma como ele concebia o movimento. Para Aristóteles:

[...] deve-se ter presente que todo movimento é ou por violência ou por natureza. Mas a existência do movimento violento pressupõe necessariamente aquele do movimento natural (de fato, o movimento violento é contra a natureza e, se é contra a natureza, é posterior àquele natural); de modo que se não existirá para qualquer corpo físico um movimento natural, não existirá sequer nenhum dos outros movimentos. Mas como poderá haver um movimento natural ao longo do vazio e infinito, se nestes não persiste nenhuma diferença? [...] o deslocamento natural [...] tem suas diferenças de modo que os objetos que naturalmente se movem são diferentes. Assim, ou não existe por natureza nenhum deslocamento em nenhum lugar e por nenhuma coisa, [e] se isto existe, não existe de fato um vácuo. Além do mais, os projéteis se movem ainda, se não os tocam mais aqueles que os lançaram, e movem ou por reação, [...] ou porque o ar, empurrado, empurra por sua vez com um movimento mais veloz daquele deslocamento do corpo empurrado em virtude do qual o corpo mesmo é deslocado em direção ao seu lugar próprio. Nenhuma dessas coisas podem ser verificadas no vácuo e nenhuma coisa poderá ser deslocada, senão mediante um veículo. (ARISTÓTELES, 1993 *apud* DANHONI NEVES, 2008, p. 44 e 45).

Aristóteles, portanto, negava a existência do vácuo, de acordo com suas idéias, sempre será necessária uma ação violenta para deslocar um corpo, ou seja, não existe inércia, pois cessada a causa cessa-se o efeito (*cessante causa cessat effectus*) (DANHONI NEVES, 2008). Dessa forma, numa linguagem formulística, como encontramos em Danhoni Neves (2008), podemos representar de forma algébrica a lógica de Aristóteles para a queda dos corpos graves da seguinte forma:

$$v = k \cdot (P / \rho)$$

Onde:

v = velocidade de queda do corpo;

P = peso do corpo;

ρ = densidade;

k seria uma constante qualquer de proporcionalidade.

Apoiado em princípios metafísicos, a física aristotélica procura analisar a queda dos corpos a partir de uma observação geral, indicando uma reflexão científica sobre questões que são pertinentes ao movimento dos corpos (PIAGET e GARCIA, 1987).

Embora tivesse seus críticos como Hiparco, “ a concepção dinâmica da força e a cinemática descrita dos movimentos, elaborada por Aristóteles, permaneceu durante um tempo muito longo na história da ciência” (DANHONI NEVES, 2008, p. 46).

Não foi com uma visão fragmentada que Aristóteles desenvolveu sua física ⁵ e suas idéias sobre o movimento e queda dos corpos. Como vimos anteriormente, seu conhecimento ultrapassava as barreiras disciplinares, contribuindo sem dúvida para uma física, mesmo que mais tarde refutada, de fundamental importância para o desenvolvimento de todo um pensamento científico. Acreditamos que a física aristotélica contribuiu não somente para o desenvolvimento da própria Física, mas para o desenvolvimento de todo um pensamento científico, pensamento este capaz de transpor as fronteiras disciplinares e dar a todos que o adere um conhecimento global.

2.2 – O modelo Ptolomaico

Nesse percurso histórico, merece também destaque o astrônomo Claudius Ptolomeu. Viveu em Alexandria entre 100 e 170 d.C.. Sua obra, “*Grande Síntese Matemática*”, chamada pelos árabes de “*Almagesto*”, serviu de base da astronomia matemática até os séculos XVII (CHASSOT, 2004).

O sistema ptolomaico, que durou aproximadamente treze séculos era sustentado pela física aristotélica, que, além de dar coerência, possibilitava uma ordem aos fenômenos celestes e aos terrestres, além de possibilitar, também, às civilizações da Europa Ocidental

⁵ Danhoni Neves (2008), faz o seguinte comentário, sintetizando toda a física aristotélica: “ A concepção de um universo subdividido em duas partes: mundo supralunar e mundo sublunar; a concepção equivocada da dinâmica e da cinemática do movimento; o mundo pleno (dos quatro elementos sublunares: terra, água, ar e fogo), sem a aceitação da idéia do vazio; a centralidade da Terra, e, portanto, o geocentrismo, em seu grande esquema cosmológico; os aspectos equivocadas de sua biologia, anatomia e aspectos da reprodução; não ferem a filosofia de Aristóteles. Pelo contrário, estas concepções servirão de base para toda a ciência que se seguirá nos 2.000 anos vindouros” (DANHONI NEVES, 2008, p. 71).

localizarem-se no mundo, ao ponto de empreenderem a navegação pelos oceanos (BRAGA, GUERRA, REIS, 2004).

Não sendo diferente dos grandes na história de ciência, Ptolomeu também introduziu em seu modelo conhecimentos de diversas áreas. Segundo Cohen (1988), o sistema ptolomaico se baseou nos conceitos de Apolônio de Perga (geômetra) e Hiparco (astrônomo), sendo ele (sistema ptolomaico) de grande complexidade, diferentemente do sistema das esferas homocêntricas de Aristóteles, e considerado o segundo mais importante da antiguidade.

Apesar de toda complexidade do sistema ptolomaico, em utilizar artifícios geométricos (excêntrico, equante, epiciclo e deferente) e pelo fato de Ptolomeu imaginar todo o sistema do Universo formado pelas orbes que se encaixavam sem deixar espaços vazios, ele proporcionava grande precisão nos fenômenos observados. A descrição matemática, apresentada por Ptolomeu, dos movimentos do Sol e da Lua eram capazes de precisar as datas dos eclipses solares e lunares. No sistema ptolomaico, os planetas, o Sol e a Lua se moviam em torno de epiciclos (para alguns planetas eram necessários vários epiciclos girando em diferentes planos em torno de um círculo excêntrico). Cada epiciclo se movia em movimento uniforme, com seu centro em um círculo maior (o deferente). O centro do deferente não precisava ser necessariamente a Terra, mas um ponto simétrico entre ela e o equante. Em síntese, com estes artifícios Ptolomeu conseguiu atribuir órbitas elípticas aos planetas, usando o círculo como figura básica (PONCZEK, 2002).

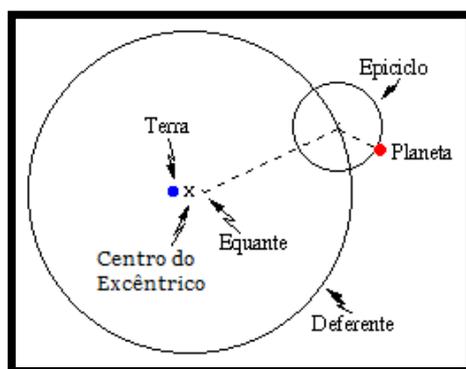


Figura 4 – Artifícios geométricos (eцентриco, equante, epiciclo e deferente) no sistema ptolomaico.
 Fonte: Adaptado de: < <http://astro.if.ufrgs.br/p1/eq.gif>>.

Segundo John Henry (1998), com o sistema astronômico de Ptolomeu foi possível identificar uma perspectiva mais realista, pois o realismo admitia que a análise matemática revelava

como deveriam ser as coisas. Se os cálculos para uma determinada teoria funcionassem é porque essa teoria era verdadeira ou estaria muito próxima da verdade.

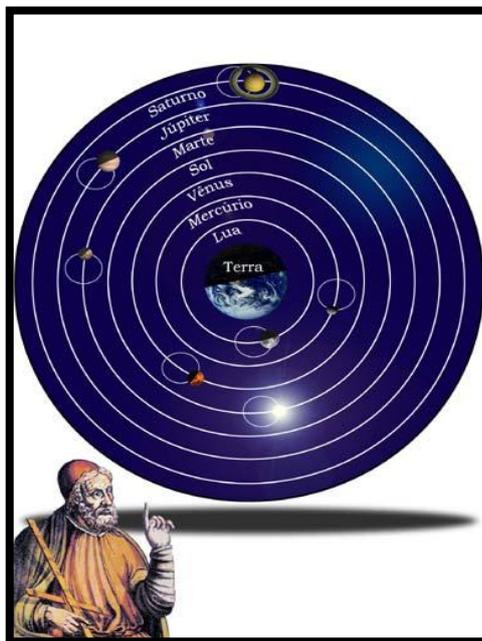


Figura 5 – O modelo geocêntrico de Ptolomeu.

Fonte: < <http://www.trekbrasilis.org/classico/sn/rumoaoinfinito/1-1.jpg>>.

A propósito do sistema ptolomaico ⁶, Cohen (1988, p. 57) destaca:

O sistema de Ptolomeu não só funcionava ou podia ser posto a funcionar, como se integrava perfeitamente no sistema da física de Aristóteles. Às estrelas, aos planetas, ao Sol e à Lua eram atribuídos «movimentos naturais», enquanto a Terra não partilhava desse movimento, ocupando o seu lugar «natural», em repouso, no centro do universo. Para explicar o sistema ptolomaico não foi necessário procurar uma física diferente da que era igualmente congruente com o sistema de esferas homocêntricas. Por vezes, estes dois sistemas designam-se por «geoestáticos», uma vez que em ambos a Terra está em repouso; mas a definição mais comum é «geocêntricos», pois em ambos os sistemas a Terra ocupa o centro do universo.

⁶ Segundo Reale e Antiseri (1990, p. 360): “O engenho com que Ptolomeu apresentou os cálculos, jogando com epiciclos e círculos excêntricos, garantiu à sua teoria um sucesso sem precedentes no campo astronômico, fazendo-o tornar-se a autoridade por excelência na matéria durante catorze séculos!

Ademais, o modo elegante com que soube conjugar este racionalismo geométrico de visão do cosmo com a doutrina das influências astrais sobre a vida dos homens tornou a doutrina ptolomaica ainda mais aceita na tardia greccidade, que reencontrava, transcrito em termos de razão matemática, a sua antiga fé no destino que governa todas as coisas.”

2.3 – Copérnico e o surgimento de um novo paradigma

Contrariando as idéias de que a Terra estava em repouso no centro do universo, Copérnico em sua obra *De revolutionibus orbium coelestium* (Sobre as revoluções dos orbes celestes), publicada em 1543, introduz um novo modelo astronômico, modelo este, no qual a Terra se move em volta do Sol (que está em repouso). Embora esse modelo já houvesse sido manifestado na literatura, mais especificamente por Aristarco, no século III a. C., mas sem aceitação naquela época, é Copérnico que vai sugerir e divulgar para toda humanidade esse novo sistema de mundo (COHEN, 1988).

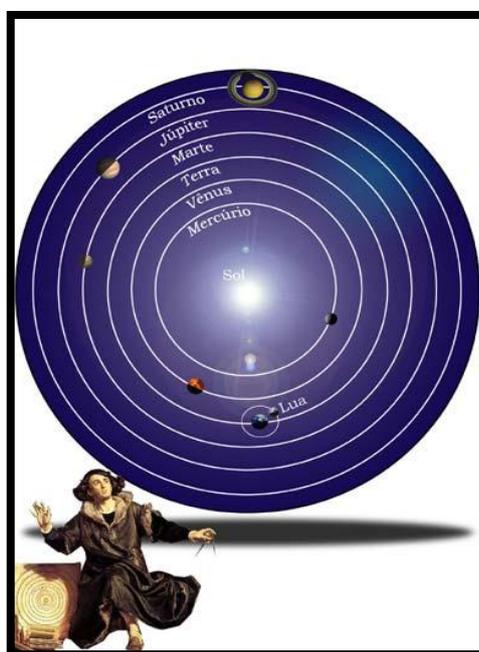


Figura 6 – O modelo heliocêntrico de Copérnico.

Fonte: < <http://www.trekbrasilis.org/classico/sn/rumoaoinfinito/1-2.jpg> >.

Nicolau Copérnico (Niklas Koppernigk) nasceu em 19 de fevereiro de 1473 na cidade polonesa Torun. Em 1491 estava matriculado na Universidade Jagelônica de Cracóvia, cursando “artes”. Foi também em Cracóvia que Copérnico estudou geometria, trigonometria e astronomia. Em 1496 Copérnico foi para Itália com a finalidade de estudar o campo jurídico. Em 1497 ele recebeu o benefício de um canonicato na diocese de Warnia, na qual seu tio era bispo. No período de 1496 a 1501 Copérnico se dedicou a estudar direito canônico e astronomia em Bolonha. Em 1501 obteve permissão para prosseguir seus estudos, cursando assim medicina em Pádua. Em 1503, em Ferrara foi laureado doutor em direito canônico. Mesmo Copérnico servindo na vida eclesiástica com o título de cônego e desempenhando

Samos, Pitágoras, Platão, dentre outros. Dessa forma, Copérnico ao colocar o Sol no centro do mundo segue uma inspiração já existente na literatura, porém o rompimento e a oposição ao pensamento ocidental dominante na época (cosmologia aristotélica e a astronomia ptolomaica), fez com que a ciência sofresse uma revolução, mesmo diante das inúmeras críticas desse novo modelo, principalmente de suas bases metafísicas.

Esse conhecimento amplo, de filosofia e história da ciência que Copérnico possuía, mostrando-nos que não foi de forma mágica que desenvolveu seu sistema de mundo, fica claro num dos trechos do prefácio de Nicolau Copérnico aos livros sobre as Revoluções, dedicado a Sua Santidade Paulo III, sumo pontífice. A saber:

Andando eu, pois, há muito tempo a medir comigo nesta incerteza dos ensinamentos tradicionais das matemáticas acerca da dedução dos movimentos das esferas do Universo, comecei a desgostar-me o fato de os filósofos não terem conhecimento firme de nenhuma explicação da máquina do Mundo que por nossa causa fora construída pelo mais qualificado e modelar artista de todos, eles que, aliás, fazem afinal profundas investigações a respeito das mais minuciosas coisas deste Universo.

Por isso dei-me à tarefa de ler os livros de todos os filósofos que pudesse adquirir, disposto a indagar se nunca nenhum teria opinado a existência de outros movimentos das esferas do mundo, diferentes dos que lhes apresentavam quantos ensinavam Matemática nas escolas. E de fato descobri, primeiro com Cícero, que Nicetas reconhecera que a Terra se move. Depois também em Plutarco verifiquei que tinha havido outros da mesma opinião. Para que as suas palavras sejam acessíveis a todos pareceu-me bem transcrevê-las aqui:

«Outros pensam que a Terra está fixa. Mas o pitagórico Filolao diz que ela gira em órbita à volta do fogo, num círculo oblíquo à semelhança do Sol e da Lua. Heráclides do Ponto e o pitagórico Ecfanto atribuem movimento à Terra, não de maneira a sair da sua posição mas girando como uma roda do Ocidente para Oriente, à volta do seu centro».

Assim, aproveitei, desde logo a oportunidade e comecei também eu a especular acerca da mobilidade da Terra. E embora a idéia parecesse absurda, contudo, porque eu sabia que a outros antes de mim fora concedida a liberdade de imaginar os círculos que quisessem para explicar os fenômenos celestes, pensei que também me fosse facilmente permitido experimentar se, uma vez admitido algum movimento da Terra, poderia encontrar demonstrações mais seguras do que as deles para as revoluções das esferas celestes.

E deste modo, admitindo os movimentos que eu à Terra atribuo na obra *infra*, com perguntas e longas observações, descobri que, se estabelecermos relação entre a rotação da terra e os movimentos dos restantes astros, e os calcularmos em conformidade com a revolução de cada um deles, não só se não-de deduzir daí os seus fenômenos mas até se não-de interligar as ordens e grandezas de todas as esferas e astros assim como o próprio céu, de modo que, em parte nenhuma, nada de si se possa deslocar sem a confusão das restantes partes e de toda a universalidade (COPÉRNICO, 1996, p. 8 e 9).

Segundo Cohen (1988), o modelo apresentado por Copérnico causou mudanças não somente na ciência, mas também no pensamento humano, porém esse modelo não pode sustentar-se por si próprio, foi necessário rever toda sua estrutura a cerca das leis e teorias que regem o universo. É nesse contexto que nas palavras de Cohen (1988, p. 74) destacamos: “A assim chamada revolução copernicana é, na realidade, a revolução mais tarde levada a cabo por Galileu, Kepler e Newton.”

A grandiosidade do sistema copernicano ⁷ se dá devido a toda mudança de um pensamento, que surge com essa nova teoria. O fato de a Terra sair do centro do Universo também muda de lugar o homem, que até então ocupava juntamente com a Terra o centro do Universo, fato este que causou uma revolução no mundo das idéias, pois exige por parte do homem uma transformação do pensamento, da relação e de seu lugar no Universo (REALE, ANTISERI, 1990).

2.4 – Giordano Bruno e o universo infinito

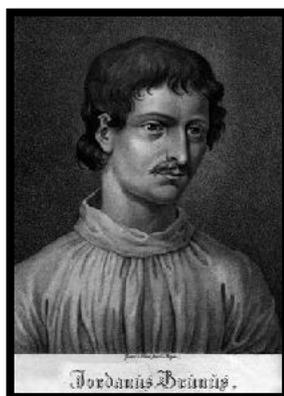


Figura 8 – Giordano Bruno.

Fonte: PEDUZZI, L. O. Q. Disponível em: <<http://www.fsc.ufsc.br/pesqpeduzzi/imagens-thg4.htm>>.

⁷ A respeito de Copérnico e seu modelo de mundo, Japiassú e Marcondes (2006, p. 58) apresentam de forma sintetizada, na qual destacamos: “Considerado o fundador da moderna astronomia e um dos criadores da nova concepção de universo desenvolvida pela ciência moderna. [...]. Criticou o sistema ”geocêntrico ptolomaico, então universalmente aceito, desenvolvendo um sistema heliocêntrico inspirado no astrônomo grego Aristarco de Somos (séc. III a.C.). Em sua obra principal *As revoluções dos orbes celestes* (1543), procurou demonstrar matematicamente as hipóteses de que a Terra é redonda e gira em torno do Sol através de um movimento uniforme. Suas teorias encontraram forte reação, sobretudo por parte da Igreja e das doutrinas escolásticas, por abalarem a visão tradicional de mundo da Idade Média, principalmente ao manter que a Terra não é o centro do Universo, o que trazia graves e profundas conseqüências políticas e religiosas para a ordem hierárquica então em vigor.

Giordano Bruno nasceu em Nola no ano de 1548. Ingressou no convento de São Domingos ainda em sua juventude e no ano de 1572, com aproximadamente 24 anos de idade, foi ordenado sacerdote. Sua maneira de olhar o mundo, considerada muitas vezes herege pela Igreja, lhe rendeu vários processos. E diante dos processos o objetivo do Santo Ofício era que o filósofo Giordano Bruno se retratasse de algumas de suas idéias filosóficas e religiosas que eram contrárias aos dogmas da Igreja, mas Giordano Bruno com seu espírito de revolta e insubordinação, não renegou seu credo, sendo assim condenado a morte na fogueira, sentença executada em fevereiro de 1600 no Campo dei Fiori (REALE, ANTISERI, 1990).

A idéia defendida por Giordano Bruno acerca do universo infinito, rejeitando a finitude do universo propagada ao longo de vários anos pela cosmologia aristotélica e ptolomaica é apoiada em varias fontes de pensamento da antiguidade como, por exemplo, dos atomistas gregos, Demócrito, Epicuro, Lucrecio, Heráclito, Marcilio Ficino, Pico della Mirandola, Nicolau de Cusa e também teve forte influência da tradição hermética cuja difusão se deu na Renascença. Ao Copérnico afirmar que a Terra tivesse dimensões pequenas se comparadas ao diâmetro das estrelas fixas, davam conta de uma interpretação da infinitude cósmica, mas por razões epistemológicas se absteve em dar o passo no sentido de configurar ao seu modelo cosmológico a idéia de um Universo infinito. Giordano Bruno⁸ por sua vez defende a idéia do Universo infinito, idéia fundada na unidade divina e na imensidão cósmica, derrubando de vez a centralidade da Terra e de toda humanidade. Como os dogmas cristãos na Idade Média eram fundamentados no Aristotelismo e nos modelos ptolomaicos, a idéia de Bruno foi vista como uma conspiração contra a Igreja, que por sua vez, através do tribunal da Santa Inquisição o condenou à morte (DANHONI NEVES, 2004).

Em se tratando de cosmologia e astronomia, o ponto marcante na idéia de Giordano Bruno é que ele, refutando as teorias aristotélicas e ptolomaicas, apresenta a idéia de que o mundo é infinito e dessa forma, não existe um elemento que seja o centro do Universo. Essa

⁸ Japiassú e Marcondes (2006, p. 34), em se tratando de Giordano Bruno destacam: “Converteu-se numa espécie de profeta do infinito cósmico. [...]. Seus livros principais são: *Da causa, do princípio e do Uno e Do universo finito* (1585). Neles, defende uma espécie de *panteísmo imanentista*, tentando conciliar a infinitude do universo com a perfeição de Deus. Fala de um Deus universal agindo como “*natura naturans*”, isto é, como natureza criadora que forma o mundo, como força natural por excelência, força interior imamente ao mundo. [...]. Considerado o último visionário do Renascimento, Giordano Bruno defendeu um “entusiasmo heróico” (*eroico furore*), permitindo ao sábio deste mundo fundar-se no universo sem se preocupar com as futilidades individuais e com as imperfeições da existência.”

concepção, ao mesmo tempo em que profética também poética, foi considerada avançada demais para a época em que vivia e, por essa razão seu reconhecimento no campo científico veio de forma tardia. Mas, mesmo tardia a idéia do universo infinito, a influência na ciência e na filosofia moderna tem seu merecido destaque na história do conhecimento científico (KOYRÉ, 2001).

É interessante destacarmos que Bruno apresenta uma noção de referencial e de um sistema inercial, porém o conceito de inércia que culminou em Newton, tem sua origem moderna no trabalho de Descartes. Em Bruno, podemos perceber a exposição de seu sistema inercial no discurso de seus personagens SMITH e TEÓFILO sobre o experimento imaginário do navio (DANHONI NEVES, 2004).

[SMITH]: Você deu-me grande satisfação e abriu-me egregiamente muitos segredos da natureza que estão escondidos (...) Respondeu ao argumento dos ventos e das nuvens e se pode inferir também a resposta a esse outro argumento de Aristóteles no livro segundo de sua obra *Sobre o Céu e o Mundo*, quando diz que seria impossível a uma pedra atirada para o alto voltar a cair abaixo segundo a mesma linha reta perpendicular, uma vez que a enorme velocidade da terra, verso Ocidente, deixaria a pedra muito para trás, uma vez que, em estando presente este movimento à Terra seria necessário que o movimento desta fosse todo alterado em relação à verticalidade e obliquidade, pois são diferentes o movimento do navio e as coisas que estão no navio. Se isto não fosse correto, se concluiria que quando o navio navega velozmente pelo mar ninguém jamais poderia levar algo de um lugar para outro do navio segundo uma linha reta e seria impossível saltar e retornar a cair com o pé no mesmo lugar de onde saltou.

[TEÓFILO]: Com a Terra, pois, se movem todas as coisas que se encontram nela. Por isso, desde um lugar fora da Terra, se se jogasse um objeto em direção a ela, resultaria que tal objeto perderia a perpendicularidade por causa do movimento da Terra. É o que ocorreria no navio AB que passa pelo rio: se alguém atira uma pedra desde a orla C segundo uma trajetória retilínea, o tiro falhará na medida da velocidade da corrente. Mas, se alguém se encontra no mastro do navio, pode correr [navegar] com a velocidade que queira, pois nunca falhará o tiro, da forma que a pedra ou qualquer grave atirado não caia segundo uma linha reta desde o ponto E em cima do mastro (...) até o ponto D na base do mastro ou em outra parte do ventre ou corpo do navio. Assim, [se] uma pessoa situada dentro do navio atira, segundo uma linha reta, uma pedra desde um ponto D até um ponto E, tal pedra voltará de novo abaixo segundo a mesma trajetória retilínea, por mais que se mova o navio, a menos que ele se incline (BRUNO, 1987, *apud* DANHONI NEVES, 2004, p. 28-29).

Um comentário bastante interessante e que passa desatento entre os diversos pesquisadores e estudiosos principalmente das áreas de história e filosofia da ciência, encontramos em

Danhoni Neves (2004). Segundo ele, dentre as diversas faces apresentadas de Giordano Bruno (como por exemplo, a figura 8 deste trabalho), existe uma, inédita, que foi apresentada em Londres, no Warburd Institut, pelo professor Lars Berggren (2002), da Universidade de Lund (Suécia). Como o próprio Danhoni Neves (2004) descreve,

(...). A figura representada no quadro é, provavelmente, o verdadeiro Bruno. Encontra-se nas dependências de um edifício da Universidade de Helmstadt (Alemanha). O pintor e o retratado são desconhecidos, mas existem algumas razões para se acreditar que este seja o filósofo nolano: i) apesar de o quadro não conter nenhuma identificação do representado ou de seu autor, e, muito menos, uma data, a figura parece seguir o estilo vigente na época de Bruno; ii) o filósofo esteve em Helmstadt, e, como era praxe naquela época, todos os grandes estudiosos que ali permaneciam para dar lições eram homenageados com pinturas, posteriormente expostas nas paredes do edifício da universidade.

Se esse for o verdadeiro Bruno, quão distinta é a imagem que dele fazemos. O ar sereno que ele revela na pintura não permite antever a acusação de vilão herético que seus críticos e detratores lhe impuseram. De fato, a serenidade parece ter-lhe sobrevivido... (DANHONI NEVES, 2004, p. 202-203).



Figura 9: Provável face de Giordano Bruno segundo comentários de Danhoni Neves (2004).
Fonte: DANHONI NEVES, M. C. *Do infinito, do mínimo e da inquisição em Giordano Bruno*. Ilhéus, Ba: Editus, 2004. p. 203.

2.5 – Tycho Brahe

Na evolução do conhecimento cosmológico, a história revela mais um importante astrônomo, Tycho Brahe (1546 – 1601), o qual, em se tratando de um bom observador do céu e catalogador de um conjunto extenso de observações, é considerado o melhor de sua época. Com fortes evidências de que Brahe era um matemático realista, podemos situar suas idéias entre os modelos de mundo de Ptolomeu e Copérnico, uma vez que ele desconsiderava o movimento da Terra, porém em seu modelo os demais planetas descreviam um movimento circular ao redor do Sol e este por sua vez se movia, também em círculos ao redor da Terra (HENRY, 1998).

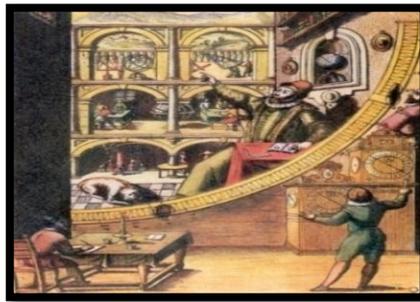


Figura 10 – Representação do observatório de Tycho Brahe.

Fonte:< http://www.on.br/site_edu_dist_2008/site/conteudo/modulo1/5-cosmologia-renascenca/tycho-brahe/imagens/tycho3.jpg>.

Melhor detalhando, segundo o modelo de mundo de Tycho Brahe, a Terra ocupa o centro das órbitas do Sol, da Lua e da esfera das estrelas fixas. O Sol por sua vez também ocupa um centro, que é o das órbitas dos outros cinco planetas (Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno) (REALE, ANTISERI, 1990). Um sistema, pois, semi heliocêntrico semi geocêntrico.

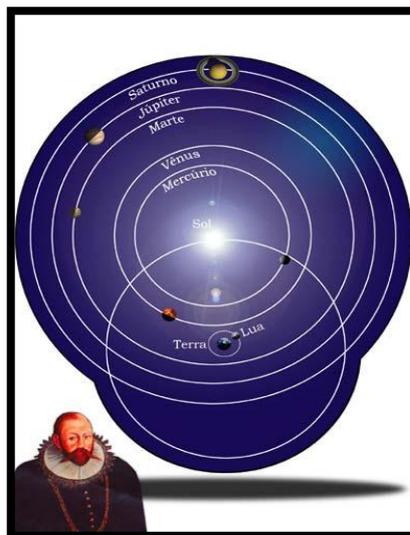


Figura 11 – Modelo de Tycho Brahe.

Fonte:< <http://www.trekbrasilis.org/classico/sn/rumoaoinfinito/1-3.jpg>>.

Outro ponto importante na astronomia de Brahe é o registro da observação do surgimento de uma nova estrela (supernova), com esse registro, Tycho Brahe causa controvérsia ao sistema aristotélico, uma vez que este último considerava o céu perfeito e imutável. Não só esse fato, mas também as observações de cometas proporcionaram a ele traçar a trajetória dos mesmos e essas trajetórias rompiam também com a idéia aristotélica das esferas cristalinas e fixas (HENRY, 1998).

Para Koyré (1991), o sistema astronômico proposto por Tycho Brahe deveria ter surgido antes do sistema copernicano. Koyré (1991) ainda questiona as razões que teriam levado Tycho Brahe retroceder em relação ao modelo copernicano, uma vez que por questão de lógica, seu modelo deveria situar entre Ptolomeu e Copérnico. Tal fato, nas próprias palavras de Koyré (1991, p. 87), revela o seguinte: “a história do pensamento científico não é inteiramente lógica”. Uma das razões que Koyré (1991) destaca para o retrocesso de Tycho Brahe em relação ao modelo de Copérnico é o fato dele ter uma forte convicção religiosa, impedindo-o de aceitar uma doutrina que fosse contrária à Bíblia Sagrada. Outra razão era o fato do paradigma da imobilidade da Terra ser muito forte, principalmente até a revolução científica do século XVII.

O fato de Brahe negar o sistema ptolomaico, principalmente ao afirmar que não era a Terra o centro das revoluções dos planetas, evitava perseguições e acusações por parte das autoridades religiosas. Isso fez com que os astrônomos que estavam insatisfeitos com o sistema ptolomaico e também não queriam críticas nem confusões com a Igreja, o aderissem com bastante aprovação (REALE, ANTISERI, 1990).

Reale e Antiseri (1990, p. 233) ainda destacam: “Em Uraniborg, na ilha de Hven, além do observatório, Brahe possuía também um laboratório químico”. Diante disso percebemos que o conhecimento científico de Tycho Brahe não era fragmentado e ultrapassava as fronteiras disciplinares.

2.6 – Johannes Kepler

Vivendo num período de transição entre a Idade Média e o Renascimento, Johannes Kepler, que nasceu no ano de 1571 e aos treze anos, em seminários protestantes, iniciou os estudos,

que eram baseados no *trivium* e no *quadrivium*, possuía profunda admiração pela astronomia e pela geometria. Todo esse apreço pelos números e sólidos regulares fazia dele um pitagórico. Nesse contexto geométrico é que Kepler representou seu primeiro modelo de Universo, com esferas concêntricas que se encaixavam a sólidos regulares (PONCZEK, 2002).

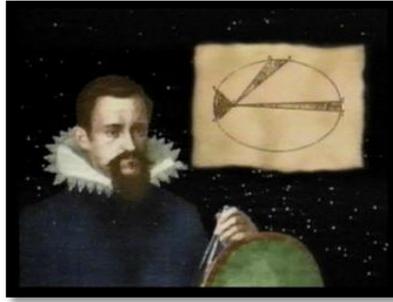


Figura 12 – Johannes Kepler

Fonte: <<http://astro.if.ufrgs.br/movplan2/kepler.jpg>>.

John Henry (1998) destaca que Kepler, considerado o maior astrônomo copernicano, tinha a preocupação de todo astrônomo ser considerado também um filósofo natural. Destaca ainda que é graças a essas convicções que Kepler contribuiu de maneira significativa à astronomia.

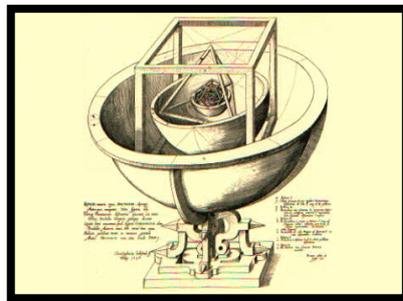


Figura 13 – Representação do universo para Kepler com as figuras dos sólidos geométricos.

Fonte: PEDUZZI, L. O. Q. Disponível em: <<http://www.fsc.ufsc.br/pesqpeduzzi/imagens-thg9.htm>>.

Kepler era assistente de Tycho Brahe e seu entusiasmo pela astronomia, principalmente pela teoria copernicana, fez com que ele juntasse os conhecimentos teológicos e astronômicos, culminando em 1597 no livro “*Um precursor dos tratados cosmográficos contendo os mistérios do universo*”. Kepler, com a morte de Brahe, adquiriu todo seu acervo (CHASSOT, 2004).

Sendo uma das principais preocupações de Kepler, buscar uma explicação física para entender os artifícios matemáticos, ele conseguiu mostrar que os planetas possuem trajetórias elípticas ao redor do Sol e que a velocidade dos planetas variam a medida que eles se aproximam ou se afastam do Sol (mais próximos do Sol a velocidade aumenta, mais afastados, diminui), sendo que para todos esses movimentos celestes, Kepler apresentou uma base física para explicá-los. Kepler, embasado numa filosofia magnética, propôs que a orientação dos planetas no espaço se devia a uma interação magnética entre eles e o Sol (HENRY, 1998).

Danhoni Neves (2008, p.50) ainda destaca:

O sucessor de Copérnico, Johannes Kepler, além de formular as leis para o movimento dos planetas, acreditava que estes permaneciam em sua órbita porque existiam forças de origem (ou semelhantes àquelas) magnéticas, emanando de um corpo central, o sol, como gigantescos braços que empurrassem os planetas sobre suas órbitas.

O enunciado das três leis surgiu quando Kepler se deparou na época em que vivia, com um problema que se arrastava por muito tempo no meio astronômico: o de explicar o movimento irregular de Marte. Nem Ptolomeu, nem Copérnico e nem Tycho Brahe, que realizou inúmeros estudos e observações, não conseguiram explicar. Kepler encarou a missão de desvendar esse problema e após longos anos de estudos e observações percebeu que se atribuísse órbita elíptica a Marte o problema estaria solucionado. Nasce, assim, a primeira lei: *Os planetas descrevem órbitas elípticas ao redor do Sol que ocupa um dos focos* (REALE, ANTISERI, 1990).

Kepler acreditava que o Sol exercia uma força magnética sobre os planetas. Ligadas a essa força que ele atribuía ao Sol, capaz de variar a velocidade dos planetas, é que surgem os enunciados da segunda e da terceira leis. A segunda lei tem o seguinte enunciado: *“A linha que liga o Sol aos planetas cobre áreas iguais em intervalos de tempo também iguais”*. Por fim, a terceira tem por enunciado: *“O quadrado dos períodos das órbitas que os planetas descrevem tem a mesma proporção que os cubos de suas distâncias ao Sol”* (PONCZEK, 2002).

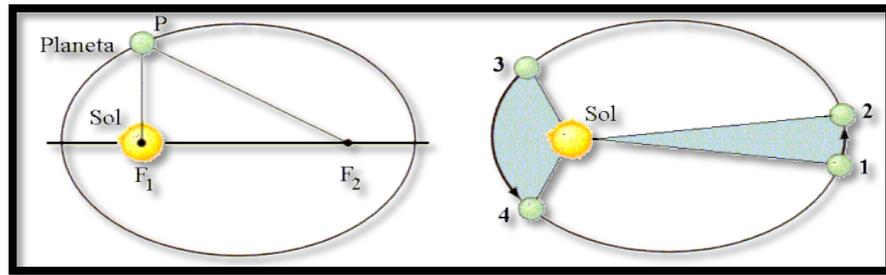


Figura 14 – Representação das leis de Kepler.

Fonte: < <http://br.geocities.com/saladefisica9/biografias/kepler31.gif>>.

Kepler publicou sua 3ª lei em 1619, no prefácio de seu livro “*Harmonices Mundi*” (...). O título do livro se refere a uma interpretação literal por Kepler da “harmonia das esferas”, procurando demonstrar que os planetas, em seu movimento, executam uma espécie de música celeste. Cada planeta emitiria uma ou mais notas musicais, conforme suas variações de velocidade na órbita (NUSSENZVEIG, 2002, p. 195).



Figura 15– Melodia de Marte segundo Kepler.

Fonte: NUSSENZVEIG, H. M.; *Curso de Física básica – vol. 1*. 4ª edição rev.; São Paulo: Blucher, 2002. p. 195.

Burt (1991, p. 47) faz o seguinte comentário a respeito da forma como Kepler desenvolveu suas três leis:

A diferença entre Kepler e os que antes dele praticaram de algum modo a filosofia [...], está em que Kepler insistia em aplicar com exatidão a teoria aos fatos observados. Seu pensamento era genuinamente empírico no sentido moderno do termo. A revolução de Copérnico e o mapeamento estelar de Tycho Brahe foram necessários para propiciar uma teoria matemática nova e importante, a ser desenvolvida e confirmada, e um conjunto mais amplo de dados no qual a confirmação, se possível, deveria ser obtida. Foi por esse método e por essa razão que Kepler chegou à descoberta das famosas três leis, fato que marcou sua época.

2.7 – Galileu Galilei

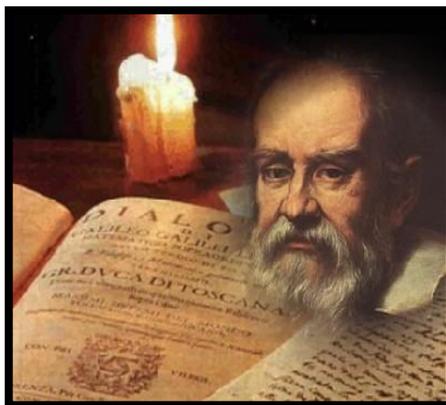


Figura 16 – Galileu Galilei.

Fonte: <<http://www.aceav.pt/blogs/fpereira/Lists/Fotografias/galileu.jpg>>

Nesse percurso histórico, iniciado em Aristóteles, passando por Ptolomeu, Copérnico, Giordano Bruno, Tycho Brahe e Kepler, uma nova física estava surgindo. Uma física que evoluiu ao longo desse período, que passou por reformas e que estava rompendo com antigos paradigmas para o surgimento de novos, e, sobretudo, de novas formas de pensar e de ver o mundo. É nesse contexto histórico que surge a figura de um ilustre cientista, Galileu Galilei, que vai influenciar, perpetuar e deixar registrado na história da ciência sua importante e significativa passagem.

Galileu nasceu no ano de 1564 na cidade de Pisa, na Itália. Enviado pelo pai à Universidade de Pisa para estudar medicina, percebeu logo que essa não era sua vocação. Galileu então se inclina e se dedica à matemática, à física e à astronomia. Adepto do sistema copernicano, Galileu introduziu o telescópio como um instrumento astronômico e estabeleceu as bases da nova física e da nova astronomia, fundamentadas principalmente na observação. Galileu não foi o único a utilizar o telescópio, porém para fins astronômicos, ele pode ser considerado o primeiro cientista a registrar suas observações do universo com auxílio deste instrumento. É nesse contexto que Galileu descreveu a paisagem lunar como sendo montanhosa, além de realizar observações dos demais corpos celestes, tais como os planetas e descobrir uma infinidade de novas estrelas dispersas no meio das já conhecidas e muito distantes da Terra, com isso o sistema aristotélico perde sua força no que se refere a imutabilidade do céu (COHEN, 1988).

Ainda segundo Cohen (1988), esse novo panorama, causado pelas descobertas de Galileu, através de suas observações telescópicas, levantou no meio científico a discussão acerca da dimensão do universo. Embora Copérnico, tal como Galileu (adepto do sistema copernicano),

acreditassem num universo finito, as observações de Galileu davam conta da existência de inúmeras estrelas a distâncias infinitas, o que remete a idéia de um universo também infinito.

Porém, no que se refere a questão da infinitude do universo, Galileu foi bastante prudente, não opinando em relação ao assunto. O fato das condenações proferidas pela inquisição a alguns nomes, como o de Bruno (que foi um dos maiores defensores da infinitude do universo) possa ter interferido na abstenção de Galileu em relação ao tema (KOYRÉ, 2001).

Embora Galileu, adepto do sistema copernicano tivesse trabalhado bastante em defesa desse sistema e consequentemente contribuído de forma ímpar na astronomia, era a mecânica terrestre que despertava maior interesse nele, principalmente devido a sua insatisfação com as explicações aristotélicas a cerca do movimento dos graves (HENRY, 1998).

Cohen (1988) ainda destaca que nesse novo panorama, Galileu se vê com a necessidade de encontrar uma explicação para o movimento dos graves na Terra em movimento, e seus trabalhos nesse sentido introduz a base e estabelece novos princípios de uma física moderna no que se refere ao movimento no geral.

Koyré (1986) nos apresenta a física de Galileu como sendo a física dos graves, ou seja, dos corpos que caem, mostrando dessa forma a gravidade, além de uma propriedade natural dos corpos, também uma fonte de movimento. Koyré (1986) ainda destaca que a queda dos corpos sempre foi um assunto desafiador para a física. Desafio este que Galileu abraçou e empreendeu esforços para dar uma explicação a esse problema.

Galileu estava insatisfeito com a física aristotélica, no que se refere à queda dos corpos. Nesse sentido, Danhoni Neves, *et al* (2005) destaca um trecho dos *Discorsi Intorno a Due Nuove Scienze* onde fica claro tal insatisfação, a saber:

SAVIATI: (...) eu duvido muito que Aristóteles tivesse experimentado (...) que duas pedras, uma mais grave que outra dez vezes, deixadas cair no mesmo instante de uma altura (...) de dez braças, tivessem velocidades tão diferentes, que, na chegada da pedra maior à terra, a outra se encontrasse ainda não ter descido nem sequer dez braças.

SIMPLICIO: Se vê por suas palavras que ele mostra tê-lo feito porque ele diz: vemos o mais grave: aquele “ver” acena para uma experiência feita.

SEGREDO: Mas eu, Sr. Simplicio, que fiz a prova, vos asseguro que uma bala de artilharia, que pese cem, duzentas ou mais libras, não antecipará de

um palmo (...) à chegada a terra de uma bala de mosquete, que pese meia (libra), vinda de uma altura de duzentas braças (GALILEU, 1953, *apud* DANHONI NEVES, *et al*, 2005, p. 148).

Seguindo ainda a insatisfação de Galileu em relação à física aristotélica, encontramos, ainda em Danhoni Neves, *et al* (2005), um trecho, também dos *Discorsi Intorno a Due Nuove Scienze*, mostrando a contradição na fórmula $[v = k \cdot (P / \rho)]$, fórmula esta, que como destacamos no item 2.1 deste capítulo (A física aristotélica), expressa o movimento dos graves segundo Aristóteles.

SAVIATI: Quando, portanto, se tivéssemos dois móveis, e as velocidades naturais daqueles sendo desiguais, é manifesto que se nós ligássemos o mais lento ao mais veloz, este último seria em parte retardado, e o mais lento ganharia um pouco mais de velocidade do mais veloz. Não concordastes vós com esta opinião?

SIMPLICIO: Para mim, parece que é assim que deva ocorrer.

SALVIATI: Mas se é assim, e é verdadeiro que uma pedra grande se mova, por exemplo, com oito graus de velocidade, e uma menor com quatro, assim, ligando-as, o composto se moverá com velocidade menor que oito graus: mas, as duas pedras ligadas juntas, fazem uma pedra maior que a primeira, que se movia com oito graus de velocidade: portanto, esta maior se move mais velozmente que a menor, o que está contra vossa suposição. Vedes pois como, da suposição de que o móvel mais grave se move mais velozmente que o menos grave, eu concluo que o mais grave (cai) menos velozmente (GALILEU, 1953, *apud* DANHONI NEVES, *et al*, 2005, p. 148).

Nesse contexto, Galileu apresenta uma nova abordagem para a queda dos corpos, porém ele utiliza alguns artifícios, pois para apresentar uma nova base para a cinemática é necessário medir o tempo de queda de um corpo em queda livre, algo impossível na época. Galileu então imagina que os corpos em queda caem em um plano inclinado de 90^0 , como a medida desse tempo de queda era impossível, Galileu então diminui a inclinação do plano, aumentando assim o tempo de queda e sendo dessa forma possível medi-lo. Com isso Galileu chega à lei dos números ímpares consecutivos (DANHONI NEVES *et al*, 2005).

Dessa forma, como encontramos em Danhoni Neves *et al* (2005), a linguagem matemática moderna da descoberta de Galileu pode ser escrita da seguinte forma:

$$d = k t^2$$

sendo $k = a/2$, onde $a =$ aceleração.

Seguindo ainda essa idéia de Galileu, destacaremos abaixo uma tabela mostrando a lei dos números ímpares consecutivos:

Tabela 2: lei dos números ímpares consecutivos.

Fonte: adaptado de DANHONI NEVES, M. C. *et al.* *O aparelho de Morin e uma história para o pêndulo no Ensino de Física.* (2005. p. 150)

Tempo de queda	Espaço percorrido
1	1
2	$1 + 3 = 4$
3	$1 + 3 + 5 = 9$
4	$1 + 3 + 5 + 7 = 16$
5	$1 + 3 + 5 + 7 + 9 = 25$

Segundo Assis (2005) a obra: *Dois Novas Ciências*, escrita por Galileu e publicada em 1638, apresenta a base da física moderna no que se refere a mecânica, constituindo em termos científicos sua principal obra. Assis (2005) ainda destaca que nessa obra, dentre as diversas coisas que são abordadas, Galileu mostra que no vácuo todos os corpos caem com a mesma aceleração constante, mostra que na queda livre o espaço e a velocidade percorridos aumentam com o tempo e mostra que a trajetória de um projétil é uma parábola.

Sendo a mecânica dos movimentos terrestres que despertava maior interesse em Galileu, com seus trabalhos, conseguiu demonstrar algumas coisas que contrariavam a física aristotélica. A trajetória dos projéteis, por exemplo, é uma delas. Galileu mostrou que os projéteis descrevem trajetórias parabólicas, combinando o movimento natural e forçado. Para Aristóteles, o movimento dos projéteis se dava de forma retilínea, na direção da força imprimida nele, cessada essa força, o projétil caía em direção a Terra (HENRY, 1998).

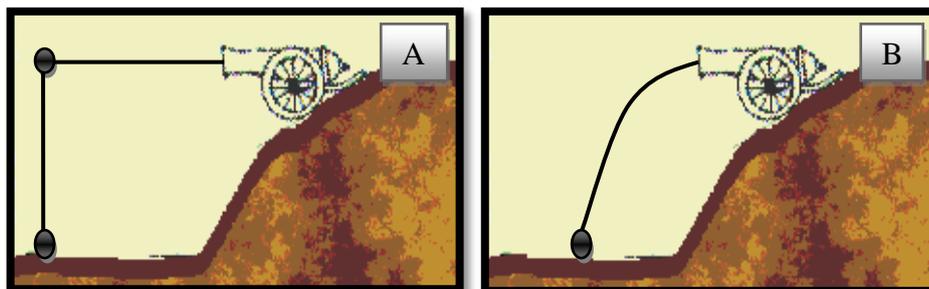


Figura 17 – Projétil lançado horizontalmente. Em (A) a trajetória segundo o modelo aristotélico. Em (B) a trajetória parabólica galileana.

Fonte: Adaptado de PEDUZZI, L. O. Q. Disponível em: <<http://www.fsc.ufsc.br/pesqpeduzzi/imagens-thg7.htm>>

Como Danhoni Neves (2005) destaca, Galileu sofreu a influencia da física medieval, fato que se destaca com bastante evidência em seu tratado *De Motu*, escrito por volta de 1590, porém não publicado. Essa influência, podemos dizer, revela um Galileu profundamente conhecedor da história da ciência e dos grandes nomes que contribuíram para ela. Nas palavras de Danhoni Neves *et al* (2005, p. 149): “A intenção de Galileu não é destruir a base de toda a física conhecida, mas descrever o fenômeno do movimento com uma nova abordagem. Essa nova abordagem encontra a sua origem na tradição medieval (...).”

Galileu também sofreu, como outros na história de ciência, processos por parte da Santa Inquisição. A respeito desse fato, Assis (2005) comenta que, como as idéias de Galileu eram contrárias aos dogmas da Igreja, ele também foi julgado e condenado pela inquisição, fato este que fez com que Galileu renunciasse solenemente suas idéias, jurando perante o tribunal da Santa Inquisição nunca mais defendê-las. Mesmo assim, Galileu ainda publica clandestinamente um livro, “sendo essa sua principal obra científica e que forma a base da Mecânica Moderna: *Duas Novas Ciências*”(ASSIS, 2005, p.138)

A respeito dessa grandiosa obra, Cohen (1988), numa análise das contribuições de Galileu à física, apresenta um resumo das descobertas mais importantes de Galileu no que se refere a ciência do movimento. Sintetizando toda a física de Galileu, destacaremos os pontos principais que Cohen (1988) verificou na obra citada. São eles:

- 1) Contrariamente à crença popular, um objeto pesado e um objeto leve não caem de um lugar alto (por exemplo, uma torre) com velocidades proporcionais aos pesos, mas com velocidades quase idênticas;
- 2) Se um corpo cai no ar (ou noutro meio que ofereça resistência), a resistência aumentará em função da velocidade. Quando a resistência iguala o peso do corpo, a aceleração cessa e o corpo continuará a cair com velocidade uniforme;
- 3) Em determinadas circunstâncias (por exemplo, num plano horizontal perfeitamente liso ou quando a resistência do ar iguala o peso) o corpo continuará o movimento que lhe foi comunicado (Galileu supôs que este princípio restrito de inércia se aplica também a uma vasta superfície esférica concêntrica com a Terra, por exemplo a própria superfície da Terra, e também relacionou este princípio com a tendência de um corpo para manter a rotação);
- 4) Na aceleração natural, ou no movimento uniformemente acelerado, a velocidade aumenta na mesma proporção que os inteiros, 1, 2, 3, ... (escrevemos esta lei algébrica na forma $V \propto T$ [ou $V = AT$] para um

móvel que parte do repouso). Segue-se que a distância aumenta com o quadrado do tempo ou $D \propto T^2$ (realmente $D = \frac{1}{2} AT^2$). Galileu mostrou experimentalmente que a relação $D \propto T^2$ é válida para o movimento de uma bola que rola no plano inclinado.

a) Em tal movimento, as distâncias percorridas em sucessivos intervalos de tempo iguais estão entre si como os números ímpares consecutivos, 1, 3, 5, 7, ..., porque as distâncias totais percorridas são como os quadrados (1, 4, 9, 16, ...) e $4 - 1 = 3$, $9 - 4 = 5$, $16 - 9 = 7$, ...;

- 5) ⁹Queda livre e movimento descendentes no plano inclinado são exemplos de movimento uniformemente acelerado. Daí que as leis de queda livre sejam

$$V \propto T \quad \text{e} \quad D \propto T^2$$

a) A queda no ar não é um exemplo de movimento uniformemente acelerado puro, devido à resistência do ar; é por isso que, quando dois corpos de peso diferente são deixados cair de uma torre, o mais pesado atingirá o solo um pouco antes do leve;

- 6) No movimento ao longo de um plano inclinado, a velocidade final será a mesma para todos os ângulos de inclinação desde que o ponto de partida esteja à mesma altura acima do plano horizontal.

a) O tempo de descida é o mesmo ao longo de todas as cordas de um círculo vertical que terminam no ponto mais baixo do círculo.

b) Se o corpo é uniformemente acelerado durante um determinado período de tempo e depois deflectido de modo a mover-se uniformemente com a velocidade adquirida, mover-se-á – durante um intervalo de tempo

⁹ A respeito da queda livre, na física de Galileu, Cohen (1998, p. 130-131), ainda comenta: “Galileu demonstrou matematicamente que um movimento iniciado a partir do repouso, em que a velocidade experimenta a mesma alteração em todos os intervalos de tempos iguais (chamado movimento uniformemente acelerado), corresponde a percorrer distâncias que são proporcionais aos quadrados dos tempos decorridos. Galileu mostrou experimentalmente que essa lei se exemplifica pelo movimento no plano inclinado. A partir desses dois resultados, Galileu concluiu que o movimento de queda livre é um caso de movimento uniformemente acelerado. Na ausência do ar, o movimento de um corpo em queda livre será sempre acelerado, de acordo com essa lei. Quando Robert Boyle, cerca de trinta anos depois, foi capaz de fazer o vácuo num cilindro, mostrou que num tal vácuo todos os corpos caem com velocidades idênticas, não importando as suas formas. Estava concretizada a prova da afirmação de Galileu – uma extrapolação a partir da experiência – que, desprezando a resistência do ar, todos os corpos caem na mesma proporção, com a mesma aceleração. Assim a velocidade da queda de um corpo, exceptuando-se o factor desprezável da resistência do ar, depende apenas do intervalo de tempo durante o qual o corpo cai e não do seu peso ou da força que o move, (...). A maior realização de Galileu não foi apenas provar que Aristóteles estava errado e descobrir que todos os corpos, exceptuando o factor da resistência do ar, caem ao mesmo tempo, não obstante as diferenças de peso; (...)! O que foi original em Galileu e revolucionário nas suas implicações foi a descoberta das leis da queda dos corpos e a introdução de um método que combinava a dedução lógica, a análise matemática e a experiência.”

análogo – uniformemente ao longo de uma distância que é o dobro da distância percorrida com a aceleração inicial;

- 7) As componentes vertical e horizontal de um movimento composto são independentes; então um corpo (*e. g.*, um projétil) pode ter uma componente vertical independente de movimento uniformemente acelerado;
- 8) A trajetória de um projétil (desprezando o fator da resistência do ar) é uma parábola. A razão é que o movimento horizontal para frente é uniforme e o movimento vertical é uniformemente acelerado. Em coordenadas retangulares $x = V_0T$ e $y = \frac{1}{2} kT^2$. Uma vez que V_0 e $\frac{1}{2} k$ são constantes, c e k , estas equações tornam-se $x = cT$ e $y = kT^2$, donde $x/c = T$ e $y/k = T^2$, e assim $y = Kx^2$ (onde $K = k/c^2$), que é a equação da parábola;
- 9) Disse Galileu que o movimento podia ser um «estado» equivalente «estado de repouso»o que equivale a dizer que o movimento pode continuar indefinidamente e por si próprio, sem a intervenção de qualquer força externa. O conceito de «estado de movimento» foi desenvolvido por Descartes e tornou-se a pedra angular da mecânica racional de Newton (COHEN, 1988, p. 267-269).

Galileu foi sem dúvida um ponto de referência na história da ciência. A influência de sua física e de seu método provocou na história do pensamento uma nova forma de interpretar o universo. Fazendo uma análise das realizações de Galileu, de seu método e de sua filosofia, Burtt (1991), destaca:

É realmente difícil encerrar esta apreciação sobre Galileu sem uma pausa para refletir sobre as realizações simplesmente estupendas que deixou. (...) consideremos o que a história do pensamento deve a esse indivíduo que, por meio da contestação experimental, derrubou uma ciência venerável, por meio de fatos concretos confirmou uma nova teoria do universo que, até então, permanecia em bases apenas apriorísticas, e estabeleceu as bases da mais fabulosa conquista intelectual dos tempos modernos, a ciência matemática da natureza física; e, como se isso não bastasse, encontramos nele também o filósofo que percebeu o suficiente das implicações maiores de seus postulados e métodos para apresentar o esboço de uma nova metafísica – uma interpretação matemática do universo – para fornecer a justificativa final para a marcha progressiva do conhecimento mecânico. (...). Em virtude de tais desempenhos múltiplos e radicais, Galileu deve ser visto como um dos grandes intelectos de todos os tempos. Em todos os campos importantes ele abriu ou preparou o caminho para as duas únicas mentes que, nessa corrente do progresso do pensamento, podiam comparar-se à sua própria – Descartes e Sir Isaac Newton (BURTT, 1991, p. 81 e 82).

Para a educação e, principalmente, para o ensino de física, é importante o conhecimento histórico da ciência de forma ampla, com perspectivas inter e transdisciplinares, para que o aluno perceba como se deu a evolução de um determinado conceito científico e como esse

conceito pode influenciar a sua percepção de mundo. Dessa forma, Assis (2005), no que se refere a uma educação para a ciência, defende a idéia dos alunos terem acesso à história, conhecendo os textos e as obras de Galileu, traduzidas para o português, não ficando presos somente a fragmentos, muitas vezes distorcidos e presentes na grande maioria dos livros didáticos. E ainda valoriza o caráter interdisciplinar para se trabalhar a história da ciência. “Pode-se discutir com os alunos diversos aspectos de História da Ciência e da liberdade de expressão. Pode-se fazer um trabalho interdisciplinar envolvendo os professores de História e de Artes (encenando-se o julgamento de Galileu) etc” (ASSIS, 2005, p. 142).

Porém, “é importante que os alunos fiquem cientes de que, embora a Inquisição formal tenha perdido força atualmente, ela sempre existiu e sempre existirá em todas as sociedades, tendo mais ou menos força dependendo da reação da comunidade envolvida” (ASSIS, 2005, p. 142).

2.8 – Descartes

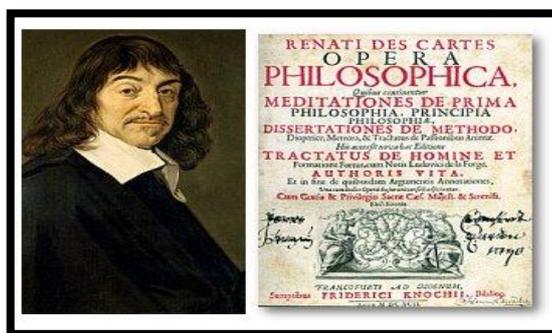


Figura 18 – René Descartes.

Fonte: < <http://www.btinternet.com/~glynhughes/squashed/descartes.jpg> >

Em se tratando de Descartes, Reale e Antiseri (1990) apresentam algumas citações de Russell que dizem respeito a um grande nome da História, René Descartes (1596-1650), podendo este, segundo as citações, ser considerado um grande pensador e filósofo, influenciado pela nova física e pela nova astronomia.

Descartes, de família nobre, nasceu em 31 de março de 1596 em La Haye, na Tourenne. Enviado para um dos colégios mais conceituados da época, o colégio jesuíta de La Flèche, sua formação se baseou em conhecimentos filosóficos e científicos. Porém existia uma certa cautela em se tratando dos conhecimentos científicos, haja visto que a religião católica na

época, era contrária a qualquer forma de ver o mundo que não estivesse de acordo com sua doutrina. Descartes então confuso, com as diversas maneiras de pensamento da época, sente a necessidade de um método que o guiasse na busca da verdade (REALE e ANTISERI, 1990).

A frase: *Cogito, ergo sum* (penso, logo existo), proposto em seu *Discurso do método* de 1637, é uma síntese famosa de seus principais argumentos filosóficos. Além de filósofo, Descartes também possuía conhecimentos de matemática, música, óptica e mecânica. Sua dedicação em conhecer o mundo, com sua interpretação dos fenômenos físicos a partir de uma linguagem matemática, fez de seu método a base de um novo sistema para a física, além de conduzir a uma nova metafísica (HENRY, 1998).

Segundo Danhoni Neves (2005, p. 174), “Descartes foi outro grande nome da Física, na busca de um conceito unificador que permitisse a explicação do *por que* da persistência do movimento”. O trecho abaixo, escrito por Jammer, destaca os principais pontos da física de Descartes. A saber:

Se bem que Descartes fizesse referência, sobretudo em seus primeiros escritos, as forças de atração exercidas pela terra sobre objetos cadentes, e explicasse o movimento acelerado de tais objetos mediante a ação cumulativa da força, mais tarde ele concebeu a “força” simplesmente em termos de aparência fictícia. A absoluta dicotomia do existente em pura matéria e puro espírito, segundo o que ele sustentava, lhe parecia incompatível com a suposição de forças na matéria ou exercitadas pela matéria mesma, enquanto as forças, aos seus olhos, eram ainda noções de tipo, sobretudo psíquicas. A matéria devia ser despojada de todo constituinte espiritual, de todas as formas ou tendências inatas. Somente a extensão e o eterno movimento eram suas características. Por consequência, na carta a Mersenne de 13 de novembro de 1629, ele discute a queda livre sem nenhuma referência a forças do tipo atrativo. Na tentativa de eliminar o conceito de força de seu sistema, ele utiliza nesta ocasião o conceito medieval de *impetus*, mas mais tarde recorrerá à teoria dos vórtices, que, para ele, tinham uma característica puramente cinemática. O acumular-se de experiências com forças diversas e a sempre crescente massa de informações concernentes à pneumática e à hidrostática, nas quais apareciam forças que contrastavam à inércia, enquanto a gravidade era de todo irrelevante, empurraram o conceito de inércia para primeiro plano nas considerações teóricas de Descartes, de Pierre Gassendi e de Giovanni Battista Baliani. Sobre o terreno do princípio de inércia, Descartes pensava que fosse possível eliminar a força enquanto conceito físico isolado. Ele sustentava que todos os fenômenos físicos deviam ser deduzidos de somente duas suposições fundamentais de tipo cinemático: a lei da conservação da quantidade de movimento – que, para ele, não era um corolário do princípio de inércia, mas sim o seu real conteúdo físico – e a sua teoria dos vórtices de éter girantes. De fato, refutando toda a possibilidade de ação à distância, Descartes construiu a teoria dos vórtices para render inteligibilidade aos distantes

movimentos celestes. Ele sustentava que assumir uma ação à distância para explicar estes movimentos equivalia a atribuir a partículas materiais uma forma de conhecimento e a torná-las efetivamente divinas, “quase como se pudessem ser conscientes, sem intermediações, do que ocorre em lugares muito distantes daquelas.” O conceito de força não encontrava lugar na física de Descartes... (JAMMER, 1979, *apud* DANHONI NEVES, 2005, p. 174-175).

Mesmo formulando o princípio da inércia e introduzindo a noção de quantidade de movimento, Descartes comete um equívoco ao utilizar sua teoria dos vórtices, rejeitando o conceito de força (DANHONI NEVES, 2005).

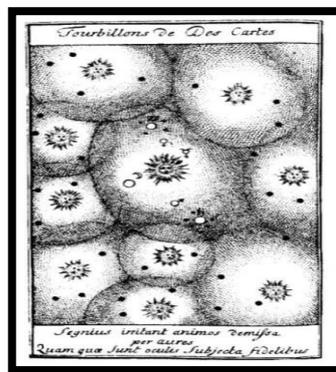


Figura 19 – Representação dos vórtices propostos por Descartes.

Fonte: PEDUZZI, L. O. Q. Disponível em: < <http://www.fsc.ufsc.br/pesqpeduzzi/des-turb.jpg>>

Para Henry (1998), mesmo apresentando controvérsias, esse novo sistema cartesiano de Descartes, onde a física unificada à matemática baseava-se numa análise geométrica do movimento, apresentou forte influência nas questões filosóficas relacionadas a mecânica. E “por mais extraordinariamente especulativos e não convincentes que esses exemplos de explicação possam nos parecer, Descartes estava convicto de sua verdade (...)” (HENRY, 1998, p. 70).

Descartes também estudou o sistema de circulação sanguínea, explicando-o com base na mecânica, propôs uma fisiologia baseada em sistemas hidráulicos (HENRY, 1998). Como Braga, Guerra e Reis (2004) destacam, para Descartes o corpo humano funcionava como uma máquina.

Isso reafirma aquilo que estamos destacando em todo o capítulo, a História da Ciência é testemunha de que seus construtores eram dotados de um conhecimento que ultrapassava as

fronteiras disciplinares, podendo ser percebido em diversos momentos, que tais conhecimentos direcionavam à práticas interdisciplinares.

“Seja como for, Descartes marcou-nos a todos, mesmo que seja apenas por uma visão mecanicista da realidade, em que o mundo físico e seus fenômenos são concebidos como uma máquina e suas partes, ainda que a fórmula seja, também neste caso excessiva.” (OMNÈS, 1996, p. 91)

2.9 – Hooke

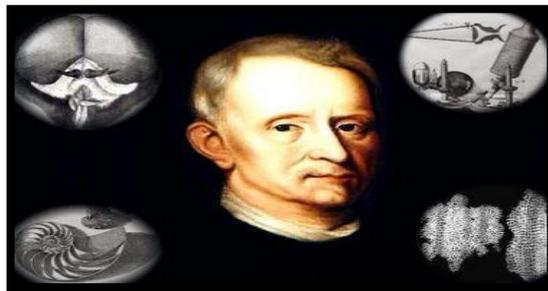


Figura 20 – Robert Hooke.

Fonte: <http://www.mundoeducacao.com.br/upload/conteudo_legenda/176e2d2a5a35d57fb33a7de32cb56f7.jpg>

Nesse percurso histórico, de cosmologia e gravitação, Hooke aparece com um contributo muito importante. Ele proporciona a Newton uma forma correta para a análise do movimento curvilíneo. Para Hooke os planetas se mantinham em órbita devido a uma força de atração que, segundo ele, é inversamente proporcional ao quadrado da distância, onde a velocidade é inversamente proporcional a distância (COHEN, 1988).

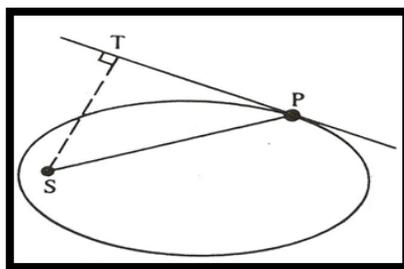


Figura 21 – Representação da órbita de um planeta (P) com a respectiva reta tangente (T) ao redor do Sol (S).

Fonte: COHEN, I. B. *O nascimento de uma nova física*. Tradução de Alice Gomes da Costa. Lisboa: Gravia, 1988. p. 275

Para Hooke $V \propto 1/SP$, ou seja, a velocidade é inversamente proporcional a distância SP. Já Newton demonstra que $V \propto 1/ST$, ou seja, a velocidade não é inversamente proporcional a distância SP, mas sim a distância medida na perpendicular à tangente, no caso a distância ST. Dessa forma, Newton mostrou que a suposição de Hooke, de que a velocidade é inversamente proporcional a distância, estava errada (COHEN, 1988).

Para Cohen (1988, p. 276-277):

Newton estava certo ao julgar que Hooke não compreendia as conseqüências da sua suposição de que a força de atração varia na razão inversa do quadrado da distância e que, portanto, ele não merecia crédito pela descoberta da lei da gravitação universal. (...). A reclamação de Hooke da prioridade na descoberta da lei do inverso do quadrado escondeu a maior dívida de Newton para com Hooke: a análise do movimento curvilíneo. Exigindo demasiada honra, Hooke efetivamente negou a si próprio o crédito que lhe era devido numa idéia seminal.

Não sendo diferente dos grandes nomes da História da Ciência, Moreira (2003) destaca que Hooke, , também era possuidor de um amplo conhecimento, deixando suas contribuições nas diversas áreas do conhecimento, tais como: física, biologia, geologia, química, meteorologia e astronomia. Moreira (2003) ainda destaca que Hooke realizou significativos inventos graças a sua habilidade mecânica, foi autor do livro “Micrographia” (1665), livro que causou grande impacto no meio científico, pois aparecem nele pela primeira vez, as descrições que Hooke fez das observações microscópicas, demonstrando assim o talento artístico que possuía.

2.10 – Newton



Figura 22 – Isaac Newton.

Fonte: <<http://www.biographyonline.net/scientists/images/newton.jpg>>

Nascido no ano de 1642, mesmo ano da morte de Galileu, Newton foi o responsável pela difusão de uma nova física, a então chamada *física clássica*. Levando a termo a revolução científica, Newton se dedicou a diversas áreas do conhecimento, sendo que suas contribuições no campo da física e da matemática e até mesmo sua preocupação por questões teológicas o fizeram merecer um lugar de destaque na história e filosofia da ciência (REALE e ANTISERI, 1990).

No ano de 1661, Newton entra para o Trinity College de Cambridge e num tempo muito curto, adquire conhecimentos matemáticos que impressionam seu mestre Isaac Barrow. Nos anos de 1665-1666, Newton deixa Cambridge e parte para Woolsthorpe, fugindo da peste bubônica. Foi em Woolsthorpe que Newton desenvolveu sua idéia sobre a gravitação universal, que segundo relatos de Voltaire se deu a partir da meditação da queda de uma maçã da árvore na qual Newton descansava (REALE e ANTISERI, 1990). Ponczek (2002) destaca que esse período em que Newton se refugiou em Woolsthorpe é também conhecido como *annus mirabiles*.

Segundo Martins (2006), muitos autores contestam o episódio da maçã, porém há registros de Newton, já idoso, descrevera tal episódio para algumas pessoas próximas. Martins (2006) destaca algumas fontes históricas onde se encontram registros do episódio da maçã. Dessas fontes apresentaremos o registro de William Stukeley. Segundo Martins (2006), Voltaire teria sido o primeiro a publicar tal episódio, motivado pela conversa que teve com Catherine Barton, sobrinha de Newton e quem lhe contou o episódio segundo relatos de Newton. Quanto ao registro de William Stukeley, amigo de Newton e membro da *Royal Society*, ele relata uma das conversas que teve com Newton em abril de 1726, a saber:

[...] Depois do almoço, como o tempo estava quente, fomos para o jardim e tomamos chá sob a sombra de algumas macieiras, somente ele e eu. Entre outras coisas, disse-me que ele estava exatamente na mesma situação em que, muito tempo atrás, a idéia da gravitação veio à sua mente. “Por que uma maçã deve sempre descer verticalmente ao solo?” pensou ele consigo mesmo, por ocasião da queda de uma maçã, enquanto estava sentado em uma atitude contemplativa (STUKELEY, citado por McKie & Beer, 1951, *apud* MARTINS, 2006, p. 176).

Para Martins (2006), Newton não desenvolveu a teoria da gravitação a partir do episódio da queda da maçã, muito antes Newton já teria estudado diversas obras filosóficas e procurado uma explicação para a queda dos corpos. Segundo Cohen (1988, p.285), “Newton consagrou

muito tempo e energia a uma cronologia das suas descobertas que situa muitas delas numa data anterior aquela que documentos históricos indicam.”

Porém, como Assis (1999) destaca, somente em 1685, quase vinte anos depois do período que se refugiou em Woolsthorpe, após correspondências com Hooke é que Newton formula claramente sua teoria da gravitação, universalizando a força de atração gravitacional.

Com o intuito de discutir questões relacionadas ao movimento dos planetas, no ano de 1684 se reúne o notável astrônomo Edmond Halley, Sir Christopher Wren e Robert Hooke. Segundo Hooke a lei da força inversamente proporcional ao quadrado da distância deveria reger o movimento dos corpos celestes. Wren então dá um tempo para que Hooke formule uma demonstração dessa lei, mas Hooke não consegue formular. Halley procura Newton então para saber qual a sua opinião com relação a órbita de um planeta, regido pela lei da força inversamente proporcional ao quadrado da distância, Newton responde que mediante os cálculos que já havia feito, a órbita seria uma elipse. Não encontrando no momento os cálculos que fizera, Newton os envia mais tarde a Halley que diante da grandiosidade do trabalho motiva e convence Newton a publicá-los, encarregando-se ele próprio (Halley) da publicação. Nascia, assim, uma das maiores obras científica da história, *Philosophiae naturalis principia mathematica*, mais conhecida como os *Principia* de Newton, publicada em 1687. Newton, porém, quase desistiu da publicação, devido as controvérsias com Hooke (REALE e ANTISERI, 1990).

Cohen (1988), a respeito dessa grandiosa obra de Newton, destaca:

A publicação dos *Principia* de Isaac Newton, em 1687, foi um dos acontecimentos mais notáveis de toda a história da Física. Nessa obra encontramos o clímax de milhares de anos de esforços para compreender o sistema do mundo, os princípios da força e do movimento e a física dos corpos em movimento através de meios diferentes. É um testemunho significativo do gênio científico de Newton o facto de, embora a física dos *Principia* tenha sido alterada, aperfeiçoada, a até contestada, ainda solucionarmos hoje muitos problemas de mecânica celeste e de física dos corpos comuns procedendo, no essencial, como Newton fez há cerca de 300 anos. Os princípios newtonianos da mecânica celeste guiam os nossos satélites artificiais, os nossos *space shuttles* e todos os *spacecrafts* que lançamos para explorar as vastas extensões do sistema solar. E, se isto não for suficiente para satisfazer os cânones de grandeza, Newton era igualmente grande como matemático puro. Inventou o cálculo diferencial e integral (elaborado simultânea e independentemente pelo filósofo alemão Gottfried Wilhelm Leibniz), que é a linguagem da física; desenvolveu o teorema do

binómio e várias propriedades das séries numéricas e lançou as bases para o cálculo variacional. Em óptica, Newton começou o estudo experimental de análise e composição da luz, mostrando que a luz branca é uma mistura de luzes de muitas cores, cada uma delas com um determinado índice de refração. Destas investigações nasceu a ciência da espectroscopia e os métodos de análise da cor. Newton inventou um telescópio reflector e mostrou aos astrónomos como ultrapassar os limites do telescópio construído com lentes. Eram, verdadeiramente, descobertas científicas fantásticas – de um tipo que nunca foi igualado e não voltará a sê-lo (COHEN, 1988, p. 185 e 186).

Para Cohen (1988), Newton inventou a história da maçã, usando-a para difundir sua idéia a respeito da força de atração gravitacional que a Terra exerce sobre a Lua e vice-versa. Cohen (1988) destaca que, para Newton, a mesma força que faz com que uma maçã caia em direção a Terra, atrai a Lua, também em direção a Terra. Caso contrário, a Lua seguiria em linha reta num movimento inercial (trajetória AB da fig. 21). Cohen (1988) ainda destaca que o que ocorre, segundo as idéias de Newton, é que enquanto a Lua segue uma trajetória AB, devido ao movimento inercial, a força de atração gravitacional que a Terra exerce sobre ela, também a faz cair em contínua queda para a Terra (trajetória AB para C da fig. 21).

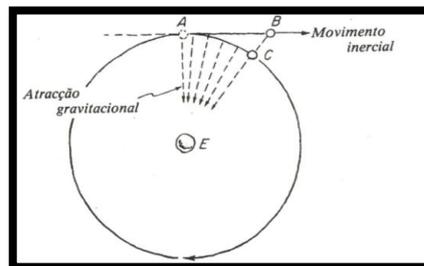


Figura 23 – Movimento inercial da Lua e a respectiva atração gravitacional exercida pela Terra.
Fonte: COHEN, I. B. *O nascimento de uma nova física*. Tradução de Alice Gomes da Costa. Lisboa: Gravia, 1988. p. 209

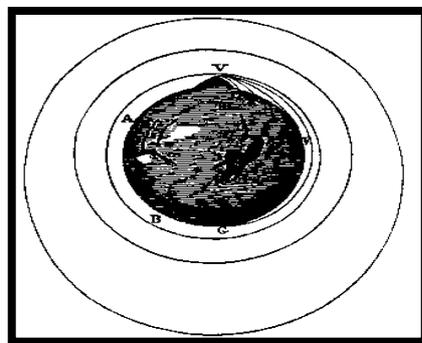


Figura 24 – Lançamento de um projétil, mostrando a unificação das leis que regem o movimento terrestre e celeste desenvolvidas por Newton. Tanto uma maçã quanto a Lua estão em queda, atraídas pela mesma força, porém a Lua está em constante queda, fato este que faz com que a Lua permaneça em órbita ao redor da Terra e não se choque com ela.

Fonte: <<http://www.fisica.ufs.br/CorpoDocente/egsantana/celeste/kepler4/newton.gif>>

Ponczek (2002) destaca que associado ao episódio da maçã, para Newton a força que atrai um objeto a uma pequena distância da Terra para o centro dela, seria a mesma que atrairia, por exemplo, a Lua e os demais corpos celestes, situados a uma longa distância do centro da Terra, com uma força que implicava no inverso do quadrado da distância do corpo ao centro da Terra. Newton estava dessa forma unificando os movimentos dos corpos celestes e terrestres numa única lei: “*A matéria atrai a matéria na razão direta de suas massas e na razão inversa do quadrado das distâncias que a separam.*” (PONCZEK, 2002, p. 104)

Segundo Cohen (1988), Newton ao descrever a lei da gravitação universal, mostra que os fenômenos da órbita de um planeta ao redor do Sol, da órbita de um satélite, da queda dos corpos e das marés são regidos por uma única força, a força de atração gravitacional. Numa linguagem matemática essa lei pode ser escrita da seguinte forma:

$$F = G \frac{m m'}{D^2}$$

Dando uma explicação da magnitude dessa Lei descrita por Newton, Lei esta que unificou os mundos sublunar (abaixo da esfera da Lua) e supralunar (acima da esfera da Lua), Cohen (1988, p. 205), escreve:

Esta lei diz que entre dois corpos quaisquer, de massas m e m' , em qualquer parte do universo, que estejam separadas por uma distância D , há uma força de atração *mútua*, e cada corpo atrai o outro com uma força de magnitude idêntica, *diretamente proporcional ao produto das massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre eles*. G é uma constante de proporcionalidade e tem o mesmo valor em todas as circunstâncias – quer na atração mútua entre uma pedra e a Terra, entre a Terra e a Lua, entre o Sol e Júpiter, entre uma estrela e outra, ou entre dois seixos de uma praia.

Nussenzveig (2002), reconstrói o argumento de Newton, referente a lei da gravitação universal, considerando a órbita dos planetas como sendo circulares, pelo fato de ser bem mais fácil tratar a órbita como circular do que elíptica. E como em vários planetas a excentricidade da órbita elíptica é bastante pequena, a órbita circular serve como boa aproximação, aplicável também à Lua. Como Nussenzveig (2002) nos apresenta:

Para uma órbita circular, a 2ª lei de Kepler implica que o movimento é *uniforme*. (...), a aceleração neste caso é centrípeta, e é dada, para uma órbita circular de raio R e de velocidade angular $\omega = 2\pi/T$ (T = período) por

$$\mathbf{a} = -\omega^2 R \hat{\mathbf{r}} = -4\pi^2 \frac{R}{T^2} \hat{\mathbf{r}} \quad (10.6.1)$$

onde $\hat{\mathbf{r}}$ é o vetor unitário na direção radial. Se m é a massa do planeta, a força que atua sobre ele é dada pela 2ª lei de Newton.

$$\mathbf{F} = m\mathbf{a} = -4\pi^2 m \frac{R}{T^2} \hat{\mathbf{r}} \quad (10.6.2)$$

que é uma força atrativa central (dirigida para o Sol). Pela 3ª lei de Kepler (...), temos

$$\frac{R^3}{T^2} = C = \text{constante} \quad (10.6.3)$$

onde C tem o mesmo valor para todos os planetas. Logo podemos reescrever a (10.6.2) como

$$\mathbf{F} = -4\pi^2 C \frac{m}{R^2} \hat{\mathbf{r}} \quad (10.6.4)$$

Vemos assim que a lei dos períodos de Kepler leva à conclusão de que a força gravitacional varia inversamente com o quadrado da distância do planeta ao Sol, (...). A (10.6.4) mostra que ela é também proporcional à massa do planeta. Pela 3ª lei de Newton, o planeta exerce uma força igual e contrária sobre o Sol, a qual deve também ser proporcional à massa M do Sol. Newton foi assim levado à expressão

$$\mathbf{F} = -G \frac{mM}{R^2} \hat{\mathbf{r}} \quad (10.6.5)$$

onde G seria agora uma “constante universal”, característica da força gravitacional. Esta é a *lei de Newton da gravitação* (...) (NUSSENZVEIG, 2002, p. 198).

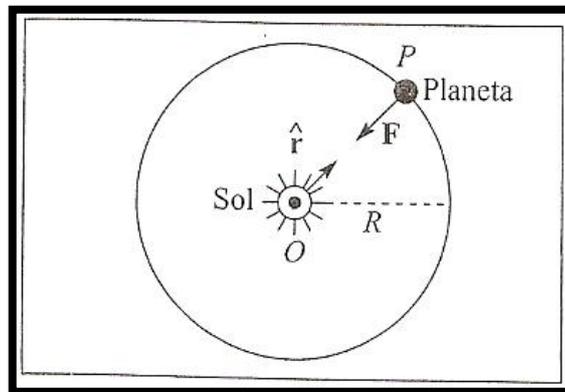


Figura 25 – Representação da órbita circular para a reconstrução do argumento de Newton a cerca da *lei da gravitação*.

Fonte: NUSSENZVEIG, H. M.; *Curso de Física básica – vol. 1*. 4ª edição rev.; São Paulo: Blucher, 2002. p. 198.

Nussenzveig (2002), ainda apresenta a descrição do experimento que possibilitou Cavendish, em 1798, realizar a primeira medida da constante gravitacional G , relatando que tal experimento, foi realizado com o auxílio da *balança de torção*, um aparelho cujo aparato é extremamente sensível. Segue a descrição do experimento:

Um par de esferas de massa m , nas extremidades de uma barra, é suspenso pelo centro da barra por uma fibra fina de quartzo numa posição de equilíbrio AB (...). Trazem-se então outras duas esferas de massas M à mesma distância das esferas de massa m (Fig.), o que produz um torque, pelas forças gravitacionais entre cada par de esferas. Esse torque faz girar a barra de um ângulo θ , produzindo uma torção correspondente da fibra, que é calibrada de forma a poder medir o torque, e por conseguinte as forças gravitacionais, pelo ângulo de torção. Este ângulo é medido pelo desvio de um feixe de luz refletido por um espelhinho preso no fio (alavanca ótica). Cavendish obteve $G = 6,71 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$, que é bastante próximo do valor atualmente aceito, $G = 6,6739 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$ (...) (NUSSENZVEIG, 2002, p. 204).

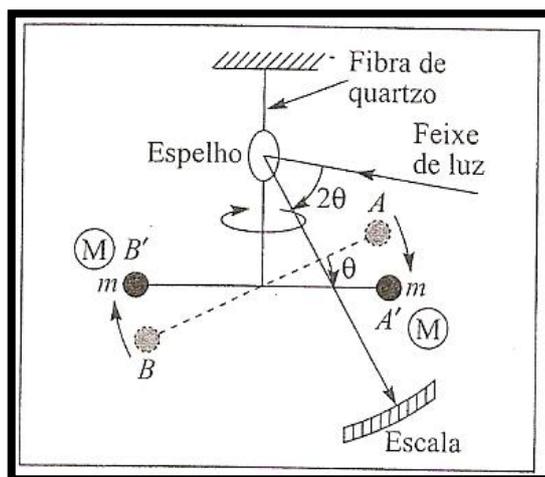


Figura 26 – Representação do experimento de Cavendish.

Fonte: NUSSENZVEIG, H. M.; *Curso de Física básica – vol. 1*. 4ª edição rev.; São Paulo: Blucher, 2002. p. 204.

“O conhecimento da constante da gravitação universal G tem não apenas um interesse intrínseco, mas também aplicações práticas na determinação das distribuições de densidade nos interiores da terra, ou de lua, ou de outros planetas e de estrelas distantes” (TIPLER, 1995, p. 10).

Embora Galileu tivesse tentado explicar o fenômeno das marés, com seus argumentos cinemáticos, onde, segundo ele, as marés ocorriam devido aos movimentos de rotação e

translação da Terra e, devido a inércia das águas dos oceanos, é Newton quem vai explicar corretamente o fenômeno. Segundo essa explicação, as marés são formadas principalmente em função da força de atração gravitacional que a Lua exerce sobre a Terra e as águas dos oceanos, enquadrando-se na lei da gravitação universal de Newton (PONCZEK, 2002).

Um dos grandes feitos, também desenvolvido pelo cientista inglês Isaac Newton, além da lei da Gravidade, que possibilitou a explicação de vários fenômenos, foi o desenvolvimento do cálculo diferencial e integral, um marco histórico e uma poderosa ferramenta matemática na resolução de problemas. O princípio utilizado por Newton é o que aprendera com Descartes, o de decompor um vasto problema em outros pequenos problemas e resolvê-los um a um. É esse o princípio do cálculo, o de decompor um problema dinâmico, por exemplo, em vários degraus, sendo cada degrau um problema passível de resolução. Porém Newton não foi o único a desenvolver o cálculo diferencial e integral, Leibniz também o desenvolvera de maneira independente, publicando-o em 1684 (BRENNAN, 2003).

Como Brennan (2003) destaca, nos dias atuais, é mundialmente reconhecido que Newton desenvolveu o cálculo diferencial e integral primeiro que Leibniz, porém, o fato de Newton ter desenvolvido o cálculo em 1665 e ter mantido-o em segredo sem publicá-lo, fez com que uma batalha de amplitudes internacionais, pelo reconhecimento do primeiro cientista a desenvolvê-lo, fosse travada entre os dois. Segundo Brennan (2003), Newton na época era presidente da Royal Society, e nomeou uma comissão para investigar de quem seria o mérito da descoberta, escorado e favorecido pelo poder de tal cargo, o próprio Newton escreveu o relatório final da investigação, sendo dele o mérito da descoberta.

Newton foi, sem dúvida, um grande nome da história da ciência. Suas Leis são responsáveis por inúmeros feitos na história e filosofia da ciência. Numa reflexão filosófica acerca da História da Ciência e de Newton, Japiassu e Marcondes (2006, p. 201) destacam:

A contribuição de Newton à física levou ao amadurecimento da concepção de ciência moderna inaugurada por Francis Bacon, Galileu e Descartes. Sua mecânica é a primeira formulação elaborada de uma teoria geral unificada do movimento, aplicando-se não só ao movimento de um corpo na superfície da Terra como ao movimento dos corpos celestes, tendo como princípio básico a lei da gravitação universal. Newton empregou com sucesso o formalismo matemático na construção de sua teoria física, ao mesmo tempo defendeu a necessidade e a importância do método experimental. Foi grande a influência de Newton no desenvolvimento da ciência, podendo-se considerar que sua

física fornece um paradigma de ciência que irá vigorar praticamente até o período contemporâneo, tendo também grande influência na filosofia. As implicações da mecânica de Newton tiveram grande impacto na filosofia dos empiristas ingleses, sobretudo em Locke, que pretende explicar o conhecimento humano do mundo natural levando em conta a nova descrição desse mundo formulada por Newton. Kant considerava a física de Newton um modelo de ciência desenvolvida e acabada, devendo servir de inspiração à filosofia e às demais ciências. (...). Além de suas notáveis contribuições à física, Newton teve também grande interesse por questões as mais diversas, incluindo a alquimia e a teologia.

2.11 – Síntese das áreas do conhecimento e das principais contribuições dos grandes nomes da ciência para história da cosmologia e gravitação.

Nesse breve relato histórico a respeito de cosmologia e gravitação, percebemos que os grandes nomes nele envolvido (Aristóteles, Ptolomeu, Copérnico, Giordano Bruno, Tycho Brahe, Kepler, Galileu, Descartes, Hooke e Newton), além de profundamente conhecedores de história e filosofia da ciência, também possuíam conhecimentos nas mais diversas áreas, prefigurando assim uma perspectiva interdisciplinar e transdisciplinar, percebível na história da ciência.

Destacaremos abaixo uma tabela, com base nas referências citadas ao longo do capítulo 2 deste trabalho, mostrando as áreas do conhecimento e principais contribuições dos grandes nomes da ciência para a história da cosmologia e gravitação.

Tabela 3: Síntese das áreas do conhecimento e das principais contribuições dos grandes nomes da ciência para história da cosmologia e gravitação.

Grandes nomes da história da cosmologia e gravitação	Áreas do conhecimento	Principais contribuições dos cientistas para o desenvolvimento da Cosmologia e da Gravitação
Aristóteles	Lógica; Geometria; Astronomia; Mecânica; Botânica; Biologia; Medicina; Física; Estética; Moral; Filosofia.	Sistema de mundo baseado no geocentrismo, com o universo dividido em dois mundos, um sublunar (abaixo da esfera da lua) e outro supralunar (acima da esfera da lua).

Ptolomeu	Geometria; Astronomia.	Imaginou todo o sistema do Universo formado pelas orbes que se encaixavam sem deixar espaços vazios e utilizou artifícios geométricos (excêntrico, equante, epiciclo e deferente) para descrever seu sistema de mundo.
Copérnico	Artes; Geometria; Trigonometria; Astronomia; Direito canônico; Medicina.	Introduziu o modelo heliocêntrico, iniciando assim a revolução científica.
Giordano Bruno	Filosofia; Cosmologia.	Introduziu o modelo cosmológico baseado na idéia do universo infinito.
Tycho Brahe	Astronomia; Matemática; Química.	Introduziu um modelo na qual desconsiderava o movimento da Terra. Os demais planetas descreviam um movimento circular ao redor do Sol e este por sua vez se movia, também em círculos ao redor da Terra.
Kepler	Iniciou os estudos baseados no <i>trivium</i> e no <i>quadrivium</i> , dedicando-se à: Astronomia; Geometria.	Apresenta suas três leis: 1 ^o) <i>Os planetas descrevem órbitas elípticas ao redor do Sol que ocupa um dos focos;</i> 2 ^o) <i>A linha que liga o Sol aos planetas cobre áreas iguais em intervalos de tempos iguais;</i> 3 ^o) <i>O quadrado dos períodos das órbitas que os planetas descrevem tem a mesma proporção que os cubos de suas distâncias ao Sol.</i>
Galileu	Iniciou o estudo de medicina, inclinando-se à: Matemática; Física; Astronomia.	Introduz o telescópio como um instrumento astronômico; Introduz a idéia do plano inclinado para explicar a queda dos corpos, chegando dessa forma à lei dos números ímpares consecutivos, mostrando assim que na queda livre o espaço e a velocidade percorridos aumentam com o tempo;

		<p>Mostra que no vácuo todos os corpos caem com a mesma aceleração constante;</p> <p>Mostra que a trajetória de um projétil é uma parábola;</p> <p>Tentou explicar o fenômeno das marés.</p>
Descartes	Filosofia; Matemática; Música; Óptica; Mecânica.	<p>Introduz sua teoria dos vórtices;</p> <p>Formulou o princípio da inércia;</p> <p>Introduziu a noção de quantidade de movimento.</p>
Hooke	Física; Biologia; Geologia; Química; Meteorologia; Astronomia.	<p>Introduz sua idéia da força de atração como sendo inversamente proporcional ao quadrado da distância.</p>
Newton	Física; Matemática; Teologia; Alquimia.	<p>Descreveu a lei da gravitação universal, unificando os movimentos terrestres e celestes.</p> <p>Explicou o fenômeno das marés.</p>

Neste capítulo, procuramos destacar a forma como diversos pesquisadores na área de ensino, história e epistemologia da Ciência, abordam a história e a filosofia da ciência, no que diz respeito a Cosmologia e a Gravitação. Percebemos, como destacamos ao longo do capítulo, que o desenvolvimento do pensamento científico, de Aristóteles a Newton, se deu por pensadores que possuíam um conhecimento que ultrapassava as barreiras disciplinares. Fica muito clara, na abordagem dos pesquisadores, a estreita relação entre as diversas áreas do conhecimento tais como: física, história, matemática, filosofia, biologia, dentre outras. Diante disso, vale questionar: teriam esses grandes nomes da história da Cosmologia e da Gravitação (Aristóteles, Ptolomeu, Copérnico, Giordano Bruno, Tycho Brahe, Kepler, Galileu, Descartes, Hooke e Newton), formulado suas idéias e influenciado no pensamento científico e filosófico com tamanha proporção, como a própria história testemunha, com um conhecimento fragmentado, sem uma perspectiva inter e/ou transdisciplinar?

O LIVRO DIDÁTICO.

O livro didático é entendido como um material impresso, estruturado, destinado ao processo de aprendizagem ou formação acadêmica, sendo utilizado de forma sistemática. É possível, a partir daí, distingui-lo de outros livros e materiais escolares, como texto-base, as antologias e os livros de referências (MARTINS; SALES; SOUZA, 2009, p. 13).

3.1 – O livro didático no contexto educacional

Historicamente, a concretização de uma política voltada para o livro didático no Brasil se deu no Estado Novo, tendo forte influência do movimento modernista e nacionalista, que foram os grandes divulgadores dos ideais do Estado Novo (ordem da Nação, segurança nacional e brasilidade) (SCHÄFFER, 2003).

Mesmo criado em 1929 o Instituto Nacional do Livro (INL), somente em 1938 por meio do Decreto-Lei n. 1006 de 30/12/38 que é instituído a Comissão Nacional do Livro Didático (CNLD). Estabelece-se, portanto, uma política que passaria a controlar tanto a produção quanto a circulação do livro didático no país, porém com caráter político e ideológico se destacando bem mais que o didático. Este fato que se consolidou, com o autoritarismo do Estado Novo, implicou na imposição de critérios baseados na soberania nacional para a aprovação de um livro didático (MARTINS; SALES; SOUZA, 2009).

Segundo Schäffer (2003, p. 136), “o uso do livro didático está associado a uma função social e pedagógica relevante: a construção do conhecimento através do trabalho com o texto impresso, o que permite a ampliação deste universo de conhecimento.”

Nesse sentido, o professor tem um papel importante, pois, ao selecionar um livro, ele estará selecionando um material que servirá de apoio pedagógico e norteará sua prática docente. Por isso é fundamental conhecer o livro didático num contexto amplo, de forma que as informações nele contidas proporcionem uma aprendizagem mais significativa (SCHÄFFER, 2003).

É sabido que a grande maioria dos professores tem como suporte o livro didático. Dessa forma, ele constitui-se um importante recurso de apoio à prática pedagógica. Nesse contexto, podemos encontrar em Schäffer (2003, p. 144) o destaque:

O livro didático mantém-se como o recurso mais presente em sala de aula, quando não a própria aula, a voz principal no ensino. Admitido como informação científica e segura, o livro didático transforma-se, para muitos professores, na principal fonte de atualização e de consulta.

Conscientes da importância do livro didático no contexto educacional, de sua função e de sua influência, Martins, Sales e Souza (2009, p.11) destacam:

O livro didático é uma poderosa ferramenta pedagógica. Além de ser uma fonte de pesquisa e orientação para professores e alunos, exerce papel de grande importância na prática educacional e na aprendizagem, transmitindo conhecimentos, ideais e valores sobre determinados conteúdos.

O livro didático, por ser um dos principais recursos do professor, torna-se muito importante no processo ensino-aprendizagem, podendo ele “ser decisivo para a qualidade do aprendizado resultante das atividades escolares.” (LAJOLO, 1996, p. 4)

Podemos dizer dessa forma que o crescente número de pesquisas a cerca do livro didático, nas mais diversas áreas do conhecimento, podem auxiliar no intuito de cada vez mais os conteúdos neles contidos, as formas e metodologias com que são abordados atendam as necessidades educacionais, atingindo o principal objetivo, a aprendizagem.

Ainda nesse sentido, Martins, Sales e Souza (2009, p.21), vão destacar que “a maior parte dos professores estuda o conteúdo nos próprios livros didáticos, por vezes acompanhados de um guia do livro do professor.”

A orientação do professor quanto ao uso do livro didático é fundamental. Nesse sentido, o professor deve conhecer a obra no todo, principalmente os exemplares destinados a eles, mais conhecidos como *livro do professor*. Em tal contexto, Lajolo (1996, p. 4), afirma:

O livro do professor precisa interagir com seu leitor-professor não como a mercadoria dialoga com seus consumidores, mas como dialogam aliados na construção de um objetivo comum: ambos, professores e livros didáticos, são parceiros em um processo de ensino muito especial, cujo beneficiário final é o aluno. Esse diálogo entre livro didático e professor só se instaura de forma conveniente quando o livro do professor se transforma no espaço onde

o autor põe as cartas na mesa, explicitando suas concepções de educação, as teorias que fundamentam a disciplina de que se ocupa seu livro. Ou seja, quando, no livro do professor, o autor franquear a seus leitores-professores os bastidores de seu livro, mostrando as cartas com que se faz seu jogo: os pressupostos teóricos que assume e segue relativamente tanto à matéria de que se trata o livro quanto a questões de educação e aprendizagem.

Metodologicamente, o livro do professor precisa apresentar uma proposta que seja coerente com o livro didático do aluno, de forma que os encaminhamentos nele contido proporcionem “(...) a articulação dos conteúdos com outras áreas do conhecimento e com as experiências de vida dos alunos (...)” (BRASIL, 2008, p. 18).

Como podemos perceber, o livro didático desempenha um importante papel no processo ensino-aprendizagem. A forma como ele traz os conteúdos, as propostas e as metodologias podem auxiliar o professor na formação de sujeitos com um amplo conhecimento e com uma competência crítico-analítica. Nesse contexto, este trabalho procura contribuir com uma parcela, em prol de cada vez mais os livros didáticos se fundamentarem em propostas que direcionem o ensino de ciências numa dimensão ampla do conhecimento e não apenas em fragmentos.

3.2 – PNLEM / Física

Visando a melhoria da qualidade dos livros didáticos e, conseqüentemente da qualidade da Educação Básica, a idéia de um livro didático, destinado a atender os alunos do ensino médio, deveria ser aquela de ampliar o horizonte de conhecimento que esse aluno adquiriu ao longo de todo o Ensino Fundamental. Deveria conter ainda, em seus textos, informações que direcionassem os alunos a buscar novos conhecimentos de forma crítica, reflexiva e autônoma, contribuindo, pois, para a inserção dos mesmos no mercado de trabalho. Deveria finalmente, oferecer ao professor informações e subsídios atualizados, contribuindo assim para a formação continuada e, conseqüentemente para a prática docente. Nesse sentido, o Programa Nacional de Livro para o Ensino Médio (PNLEM) submeteu os livros didáticos de Física, inscritos para o PNLEM/2007, a uma criteriosa avaliação, realizada por um grupo de especialistas em Ensino de Física de várias universidades públicas do Brasil. Essa avaliação seguiu alguns critérios comuns, de caráter eliminatório e de qualificação, que apresentaremos a seguir, com base no catálogo do PNLEM / Física (BRASIL, 2008).

Quanto aos critérios eliminatórios:

Todas as obras deverão observar os preceitos legais e jurídicos (Constituição Federal, Estatuto da Criança e do Adolescente, Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional, Lei nº 10.639/2003, Diretrizes Curriculares Nacionais do Ensino Médio, Resolução e Pareceres do Conselho Nacional de Educação, em especial, o Parecer CEB nº 15/2000, de 04/07/2000, o Parecer CNE/CP nº 003/2004, de 10/03/2004 e Resolução nº 1, de 17 de junho de 2004) e ainda serão sumariamente eliminadas se não observarem os seguintes critérios:

- correção e adequação conceitual e correção das informações básicas;
- coerência e pertinência metodológicas;
- preceitos éticos.

A não-observância de qualquer um desses critérios, por parte de uma obra didática, resultará em uma proposta contrária aos objetivos a que ela deveria servir, o que justificará, *ipso facto*, sua exclusão do PNLEM.

Tendo em vista preservar a unidade e a articulação didático-pedagógica da obra, será excluída toda a coleção que tiver um ou mais volumes excluídos no presente processo de avaliação (BRASIL, 2008, p.13).

Nos critérios eliminatórios, quanto à correção e adequação conceituais e correção das informações básicas:

Respeitando as conquistas e o modo próprio de construção do conhecimento de cada uma das ciências de referência, assim como as demandas próprias da escola, a obra didática deve mostrar-se atualizada em suas informações básicas, e, respeitadas as condições da transposição didática, em conformidade conceitual com essas mesmas ciências.

Em decorrência, sob pena de descaracterizar o objeto de ensino-aprendizagem e, portanto, descumprir sua função didático-pedagógica, será excluída a obra que:

- formular erroneamente os conceitos que veicule;
- fornecer informações básicas erradas e/ou desatualizadas;
- mobilizar de forma inadequada esses conceitos e informações, levando o aluno a construir erroneamente conceitos e procedimentos (BRASIL, 2008, p. 13-14).

Nos critérios eliminatórios, quanto a coerência e pertinência metodológicas:

Na base de qualquer proposta científico-pedagógica está um conjunto de escolhas teórico-metodológicas, responsável pela coerência interna da obra e por sua posição relativa no confronto com outras propostas ou com outras possibilidades. Nesse sentido, será excluída a obra que:

- não explicitar suas escolhas teórico-metodológicas;
- caso recorra a diferentes opções metodológicas, apresente-as de forma desarticulada, não evidenciando a compatibilidade entre elas;

- apresente incoerência entre as opções declaradas e a proposta efetivamente formulada;
- não alerte sobre riscos na realização das atividades propostas e não recomende claramente os cuidados para preveni-los;
- não contribua, por meio das opções efetuadas, para:
 - a consecução dos objetivos da educação em geral, do ensino médio, da área de conhecimento e da disciplina;
 - o desenvolvimento de capacidades básicas do pensamento autônomo e crítico (como a compreensão, a memorização, a análise, a síntese, a formulação de hipóteses, o planejamento, a argumentação), adequadas ao aprendizado de diferentes objetos de conhecimento;
 - a percepção das relações entre o conhecimento e suas funções na sociedade e na vida prática (BRASIL, 2008, p. 14).

Nos critérios eliminatórios, quanto aos preceitos éticos:

Como instrumento a serviço da Educação Nacional, é de fundamental importância que as obras didáticas contribuam significativamente para a construção da ética necessária ao convívio social e ao exercício da cidadania; considerem a diversidade humana com equidade, respeito e interesse; respeitem a parcela juvenil do alunado a que se dirigem.

No contexto do PNLEM, as obras que se destinam às escolas da rede pública do país devem respeitar o caráter laico do ensino público.

Em consequência, será excluída a obra que:

- privilegiar um determinado grupo, camada social ou região do país;
- veicular preconceitos de origem, cor, condição econômico-social, etnia, gênero, orientação sexual, linguagem ou qualquer outra forma de discriminação;
- divulgar matéria contrária à legislação vigente para a criança e o adolescente, no que diz respeito a fumo, bebidas alcoólicas, medicamentos, drogas e armamentos, entre outros;
- fazer publicidade de artigos, serviços ou organizações comerciais, salvaguardada, entretanto, a exploração estritamente didático-pedagógica do discurso publicitário;
- fazer doutrinação religiosa;
- veicular idéias que promovam o desrespeito ao meio ambiente (BRASIL, 2008, p.14-15).

Quanto aos critérios de qualificação:

As obras diferenciam-se em maior ou menor grau no que diz respeito aos aspectos teórico-metodológicos ou de conteúdo. Para melhor orientar os professores no momento da escolha, serão utilizados critérios de qualificação comuns, os quais permitem distinguir, entre si, as obras selecionadas.

- Quanto à construção de uma sociedade cidadã, espera-se que a obra didática aborde criticamente as questões de sexo e gênero, de relações étnico-raciais e de classes sociais, denunciando toda forma de violência na sociedade e promovendo positivamente as minorias sociais.

- Espera-se que a obra seja caracterizada pelo uso de uma linguagem gramaticalmente correta.
- Quanto ao livro do professor, é fundamental que ele:
 - descreva a estrutura geral da obra, explicitando a articulação pretendida entre suas partes e/ou unidades e os objetivos específicos de cada uma delas;
 - oriente, com formulações claras e precisas, os manejos pretendidos ou desejáveis do material em sala de aula;
 - sugira atividades complementares, como projetos, pesquisas, jogos etc;
 - forneça subsídios para a correção das atividades e exercícios propostos aos alunos;
 - discuta o processo de avaliação da aprendizagem e sugira instrumentos, técnicas e atividades;
 - informe e oriente o professor a respeito de conhecimentos atualizados e/ou especializados indispensáveis à adequada compreensão de aspectos específicos de uma determinada atividade ou mesmo de toda a proposta pedagógica da obra.
- Quanto à estrutura editorial e aos aspectos gráfico-editoriais, além de seguir as orientações contidas no Anexo I, item 2, do Edital de Seleção, espera-se que:
 - o texto principal esteja impresso em preto e que títulos e subtítulos apresentem-se numa estrutura hierarquizada, evidenciada por recursos gráficos;
 - o desenho e tamanho da letra, bem como o espaço entre letras, palavras e linhas, atendam a critérios de legibilidade;
 - a impressão não prejudique a legibilidade no verso da página;
 - o texto e as ilustrações estejam dispostos de forma organizada, dentro de uma unidade visual; que o projeto gráfico esteja integrado ao conteúdo e não seja meramente ilustrativo;
 - as ilustrações auxiliem na compreensão e enriqueçam a leitura do texto, devendo reproduzir adequadamente a diversidade étnica da população brasileira, não expressando, induzindo ou reforçando preconceitos e estereótipos. Essas ilustrações devem ser adequadas à finalidade para as quais foram elaboradas e, dependendo do objetivo, devem ser claras, precisas, de fácil compreensão, podendo, no entanto, também intrigar, problematizar, convidar a pensar, despertar a curiosidade;
 - a obra recorra a diferentes linguagens visuais; que as ilustrações de caráter científico indiquem a proporção dos objetos ou seres representados; que haja explicitação do uso de cores-fantasia, quando utilizadas; que os mapas tragam legenda dentro das convenções cartográficas, indiquem orientação e escala e apresentem limites definidos;
 - todas as ilustrações estejam acompanhadas dos respectivos créditos, assim como os gráficos e tabelas tragam os títulos, fonte e data;
 - a parte pós-textual contenha referências bibliográficas, indicação de leituras complementares e glossário. É fundamental que esse glossário não contenha incongruências conceituais ou contradições com a parte textual; e
 - o sumário reflita a organização interna da obra e permita a rápida localização das informações (BRASIL, 2008, p. 15-16).

Seguido esses critérios de avaliação, o PNLEM/Física para 2009 recomendou as seguintes obras didáticas:

Tabela 4: Obras didáticas recomendadas pelo PNLEM 2009.

1	Universo da Física Volumes 1, 2 e 3 José Luiz Pereira Sampaio e Caio Sérgio Vasques Calçada 2ª Edição – 2005 Editora Saraiva	4	Física Volume único José Luiz Pereira Sampaio e Caio Sérgio Vasques Calçada 2ª Edição – 2005 Editora Saraiva
2	Física – Ciência e Tecnologia Volumes 1, 2 e 3 Paulo Cesar M. Penteado e Carlos Magno A. Torres 1ª Edição – 2005 Editora Moderna	5	Física Volume único Alberto Gaspar 1ª Edição – 2005 Editora Ática
3	Física Volumes 1, 2 e 3 Antonio Máximo Ribeiro da Luz e Beatriz Alvarenga Álvares 1ª Edição – 2005 Editora Scipione	6	Física Volume único Aurélio Gonçalves Filho e Carlos Toscano 1ª Edição – 2005 Editora Scipione

Embora o catálogo do Programa Nacional do Livro para o Ensino Médio (PNLEM/2009) de Física tenha apresentado uma análise geral das obras recomendadas, a análise que adotaremos aqui, difere da apresentada pelo catálogo. Não buscaremos um caráter geral de análise das obras. Verificaremos, de forma mais detalhada, o conteúdo de gravitação, procurando, nas obras selecionadas para a pesquisa, sugestões e propostas para que o professor possa abordá-lo numa perspectiva inter e transdisciplinar.

A METODOLOGIA DE PESQUISA.

Foi utilizado como procedimento metodológico nesta pesquisa a “Análise de Conteúdo”, da obra de Laurence Bardin (1977), para interpretar se o conteúdo das mensagens contidas nos livros didáticos de física (do professor), indicados pelo PNLEM/2009, favorecem o ensino numa perspectiva interdisciplinar e/ou transdisciplinar. A análise de conteúdo é um instrumento metodológico de investigação definido como:

Um conjunto de técnicas de análise das comunicações visando obter, por procedimentos, sistemáticos e objectivos de descrição do conteúdo das mensagens, indicadores (quantitativos ou não) que permitam a inferência de conhecimentos relativos às condições de produção/recepção (variáveis inferidas) destas mensagens (BARDIN, 1977, p.42).

Na análise utilizamos os três pólos cronológicos propostos por Bardin (1997). O primeiro é a pré-análise, que é uma fase de organização, no qual são sistematizadas as idéias iniciais e desenvolvido um plano de análise. Nesta fase foi feita a leitura e a escolha do conteúdo “Gravitação Universal” para ser submetido à análise e a elaboração de indicadores que fundamentarão a interpretação final. O segundo é a exploração do material que consiste numa codificação desse material. Codificação esta que corresponde a uma transformação dos dados brutos do texto, ou seja, o tratamento do material de forma que se possa atingir uma representação desses conteúdos, e da forma com que eles são propostos, sendo possível assim o esclarecimento das características apresentadas no texto, como diz O. R. Holsti:

A codificação é o processo pelo qual os dados brutos são transformados sistematicamente e agregados em unidades, as quais permitem uma descrição exacta das características pertinentes do conteúdo (HOLSTI, 1969, *apud* BARDIN, 1977, p. 103-104).

Em terceiro e último, o tratamento dos resultados obtidos e a interpretação das informações obtidas na análise do material. Esse terceiro pólo permite, como Bardin (1977, p. 101) destaca: “estabelecer quadros de resultados, diagramas, figuras e modelos, os quais condensam e põe em relevo as informações fornecidas pela análise.”

De forma resumida, estabelecemos um quadro, sistematizando a metodologia utilizada no desenvolvimento da pesquisa.

Tabela 5: Sistematização da metodologia utilizada na pesquisa.

Polo Cronológico	Atividades Desenvolvidas
Pré-análise	<ul style="list-style-type: none"> - Escolha dos livros - Escolha do conteúdo - Leitura flutuante - Desenvolvimento de um plano de análise
Análise	<ul style="list-style-type: none"> - Exploração do material
Tratamento dos Resultados	<ul style="list-style-type: none"> - Síntese e seleção dos resultados - Destacar as informações fornecidas pela análise.

4.1- Pré-análise

A respeito da pré-análise, Bardin (1977, p. 95) destaca:

É a fase de organização propriamente dita. Corresponde a um período de intuições, mas, tem por objetivo tornar operacionais e sistematizar as idéias iniciais, de maneira a conduzir a um esquema preciso do desenvolvimento das operações sucessivas, num plano de análise. Recorrendo ou não ao ordenador, trata-se de estabelecer um programa que, podendo ser flexível (quer dizer, que permita a introdução de novos procedimentos no decurso da análise), deve, no entanto, ser preciso.

Podemos destacar que a pré-análise constitui-se numa das fases mais importante da pesquisa. É nela que ocorre a escolha do material para a análise, a leitura e principalmente, o desenvolvimento de um plano de análise, que é o orientador e o direcionador da pesquisa na exploração do material.

4.1.1 – Escolha dos livros

Os livros didáticos de física escolhidos para a análise são os seguintes livros (do professor), indicados pelo Programa Nacional do Livro para o Ensino Médio (PNLEM/2009):

Livro 1:

SAMPAIO, J. L. ; CALÇADA, C. S. *Universo da física, 2 : hidrostática, termologia, óptica*. 2. Ed. São Paulo: Atual, 2005.

Livro 2:

GASPAR, A. *Física, volume único: livro do professor*. 1. Ed. São Paulo: Ática, 2005.

Livro 3:

FILHO, A. G. ; TOSCANO, C. *Física, volume único: ensino médio*. São Paulo: Scipione, 2005.

Livro 4:

LUZ, A. M. R. ; ÁLVARES, B. A. *Física: volume 1*. São Paulo: Scipione, 2005.

Livro 5:

PENTEADO, P. C. M. ; TORRES, C. M. A. *Física – ciência e tecnologia. Volume 1*. São Paulo: Moderna, 2005.

4.1.2 – Escolha do conteúdo

O conteúdo escolhido para a análise foi o conteúdo “Gravitação Universal”, partindo da idéia de que este conteúdo favorece um ensino em perspectiva inter e transdisciplinar, pois abrange um amplo conhecimento, que ultrapassa as fronteiras disciplinares e são percebidas na história da ciência, além de todos os avanços tecnológicos presenciados na atualidade, questões éticas, políticas e econômicas que envolvem esse conteúdo. Nesse conteúdo podemos também verificar a influência da Cosmologia na história e filosofia da científica. E como já citamos na introdução deste trabalho:

De todos os ramos da ciência, a Cosmologia parece ser o ramo que mais intriga as reflexões humanas. Enquanto os modelos astronômicos, que

acabaram por conduzir ao universo copernicano finito, basearam-se na construção de uma geometria que pudesse prever a posição futura, no espaço-tempo, de planetas e estrelas, a busca do *o que somos e para onde vamos* resume a essência da Cosmologia (DANHONI NEVES, 2006, p.145).

4.1.3 – Leitura flutuante

O termo “leitura flutuante”, foi cunhado por Bardin (1977), entendendo-o como a primeira atividade que consiste em: “estabelecer contato com os documentos à analisar e em conhecer o texto deixando-se invadir por impressões e orientações” (BARDIN, 1977, p. 96).

A partir da leitura flutuante se estabelece um maior contato com o texto, esse contato proporciona uma organização e uma interpretação de tal forma que é possível reter do texto aquilo que é mais relevante para a pesquisa. Segundo Bardin (1977, p. 96): “Pouco a pouco a leitura vai-se tornando mais precisa, em função de hipóteses emergentes, da projeção de teorias adaptadas sobre o material e da possível aplicação de técnicas utilizadas sobre materiais análogos”.

4.1.4 – Desenvolvimento de um plano de análise

Para o desenvolvimento do plano de análise, destacamos alguns aspectos que julgamos importante para a pesquisa:

1. Quanto à disposição geral do livro:

1.1 – Número total de páginas;

1.2 – Número de páginas destinadas ao conteúdo “Gravitação Universal”;

1.3 – O conteúdo compreende um capítulo ou uma unidade?

1.4 – Tópicos abordados no capítulo ou unidade;

1.5 – Descrição e comentários do capítulo ou unidade;

1.6 – O livro apresenta um suplemento metodológico e pedagógico destinado ao professor?

1.7 – Descrição e comentários do suplemento.

2. Quanto à perspectiva inter e transdisciplinar:

- 2.1 – O livro apresenta alguma definição para inter e transdisciplinaridade? Qual?
- 2.2 – O livro apresenta alguma proposta pedagógica para trabalhar o conteúdo em perspectiva inter e transdisciplinar? Como (qual metodologia)?
- 2.3 – O livro apresenta elementos (história e filosofia da ciência, tecnologia) de forma integrada, caracterizando a construção do conhecimento científico em perspectiva inter e transdisciplinar?

4.2- Análise

Livro 1:

SAMPAIO, J. L. ; CALÇADA, C. S. *Universo da física, 2 : hidrostática, termologia, óptica*. 2. Ed. São Paulo: Atual, 2005.

1. Quanto à disposição geral do livro:

A obra de 520 páginas, que compreende o volume 2, está estruturada em quatro unidades e dezoito capítulos. Além disso, traz um suplemento de 47 páginas destinado ao professor. Das 520 páginas, 29 são destinadas ao Capítulo 1 (p. 2-31), que tem por título: *Gravitação*, e este pertence a Unidade I, intitulada: *Tópicos especiais de Mecânica*. Os autores utilizam basicamente neste capítulo, recursos como: textos teóricos, figuras e ilustrações coloridas, aplicações matemáticas e exercícios. Curiosamente, o conteúdo de Gravitação faz parte do volume 2, geralmente o volume 2 da maioria das obras de Física não trazem assuntos relacionados à Mecânica, mas à Termologia e a Óptica. O capítulo 1 – Gravitação, está estruturado em seis itens e um complemento, são eles:

1. De Aristóteles à Tycho Brahe. p. 2-4
2. As Leis de Kepler. p. 5-11
3. Lei da Gravitação Universal. p. 11-16
4. Corpos em órbitas circulares. p. 16-19
5. Aceleração da gravidade e Campo gravitacional. p. 19-23
6. Energia Potencial. p. 23-26

Das páginas 27 à 30 a obra traz um complemento referente as marés, que é relacionado à Lei da Gravitação de Newton e, das páginas 30 à 31, há questões de revisão, desafios e aprofundamento e as seguintes sugestões de leituras:

- 1) *Newton e a gravidade em 90 minutos*, de Paul Strathern (Rio de Janeiro, Ed. Zahar, 1998).
- 2) *História da Ciência*, de William C. Dampier, cap. 5 (São Paulo, Ed. Ibrasa, 1986).
- 3) *Newton e a gravitação*, de Steven Parker (São Paulo, Ed. Scipione, 1996).
- 4) *Os segredos do Universo*, de Paulo Sérgio Bretones (São Paulo, Ed. Atual, 1995).
- 5) *Os segredos do Sistema Solar*, de Paulo Sérgio Bretones (São Paulo, Ed. Atual, 1993).
- 6) *Cosmos*, de Carl Sagan (Rio de Janeiro, Ed. Francisco Alves, 1992).
- 7) *Atlas do espaço*, de Heather Couper e Nigel Henbest (São Paulo, Ed. Martins Fontes, 1994).

Antes de abordarem o item 1, os autores introduzem o capítulo com uma pergunta. Apresentando uma foto da nave exploratória *Galileu* e, descrevendo sua órbita ao ser lançada da Terra com destino a Júpiter, através de uma figura ilustrativa, os autores fazem o seguinte questionamento com relação a órbita descrita: “(...) *em vez de ir diretamente a Júpiter, descreveu a trajetória indicada na figura, passando mais duas vezes perto da Terra e uma vez perto de Vênus. Por quê?* ”(p. 2). Sem dar uma resposta ao questionamento, os autores, em seguida, fazem menção do volume 1, destacando a obra: *Principia* de Newton. Revisitando o volume 1, Unidade 3 – Dinâmica, capítulo 10 – As leis de Newton, encontramos uma breve apresentação dos *Principia* de Newton, onde os autores ressaltam o entusiasmo e o incentivo de Halley, para que Newton publicasse a obra. Voltando ao volume 2, os autores destacam que embora outros cientistas tivessem intuído alguns aspectos da lei da gravitação, fora Newton quem a desenvolveu. E encerram essa breve introdução destacando como objetivo do Capítulo: discutir a Lei da Gravitação de Newton.

Iniciando o item 1 (De Aristóteles à Tycho Brahe. p. 2-4), os autores, fazem novamente menção do volume 1, quando destacam Aristóteles. Revisitando o volume 1, Unidade 1 – Introdução à Física, capítulo 1 – O que é a Física, encontramos a figura da escola de Atenas, na qual, se encontram Aristóteles e Platão, um ao lado do outro. Encontramos também um comentário a respeito de Aristóteles, de seu conhecimento, de sua *physis* e de seu modelo de mundo (sublunar e supralunar), porém sem a ilustração desse modelo. Voltando ao volume 2, os autores descrevem o modelo (geocêntrico) bem resumidamente e também sem ilustração (p. 2). Em seguida à essa breve descrição, destacam que surgiram outros modelos e citam

Heráclides de Ponto (movimento de rotação da Terra) e Aristarco de Samos (modelo heliocêntrico), porém prevaleceu o modelo aristotélico, devido a sua forte convicção da imobilidade da Terra no centro do Universo.

Em seguida (p. 3), ainda item 1, os autores apresentam o modelo ptolomaico de forma mais detalhada que o aristotélico, destacando os artifícios geométricos (epiciclo, epicentro, deferente e excêntrico) e representando-os com ilustrações.

Referindo-se a Copérnico (p. 4), item 1, os autores apenas citam como biografia que ele aos 23 anos estudou Direito e Astronomia, descrevem seu modelo (heliocêntrico) sem apresentarem ilustração, e por fim destacam a insatisfação que esse modelo causou tanto nos católicos como nos protestantes pelo fato de, nesse modelo, a Terra não ocupar o centro do Universo. Embora os autores façam menção da Revolução Científica no volume 1, Unidade 1 – Introdução à Física, capítulo 1 – O que é a Física, vale destacar que ao abordarem Copérnico, no capítulo 1 do volume 2, os autores não fazem referência à Revolução Científica e nem menção dela no volume 1. A única menção que fazem do volume 1 ao abordarem Copérnico, é a explicação do movimento retrógrado, contido no volume 1, Unidade 1 – Introdução à Física, capítulo 3 – Introdução à Mecânica.

Em seguida, e finalizando o item 1, os autores apresentam o modelo de Tycho Brahe (p. 4), com ilustração e destacam que ele foi um eminente astrônomo.

Nesse item 1, podemos perceber que a abordagem, principalmente quanto a Aristóteles e a Copérnico, cujas influências na história do pensamento foi de grande magnitude, é apresentada de forma bastante reducionista. Numa perspectiva inter e transdisciplinar, o capítulo poderia explorar a história da ciência de forma um pouco mais ampla, poderia explorar mais os pensadores que contribuíram na evolução da gravitação, seus modelos e, principalmente a influência do conhecimento científico na história da humanidade. No caso da obra em questão, encontramos ainda uma dificuldade: para uma melhor abordagem da gravitação, faz-se necessário a revisitação em vários momentos do volume 1, isso dificulta o trabalho, pois, para ampliar a abordagem deste capítulo 1 - Gravitação, no volume 2, é preciso também ter em mãos o volume 1. Fato que, na maioria das vezes não ocorre.

O item 2 (As Leis de Kepler. p. 5-11), inicia-se com um breve relato histórico (p. 5), destacando principalmente a ligação que Kepler tinha com Brahe. Em seguida, os autores utilizando de textos e ilustrações apresentam a definição da primeira Lei de Kepler, explicando também o afélio e o periélio (p. 5). Apresentam a definição de elipse (p.5) e mostram uma regra prática para construí-la (p. 5-6). Ao definirem a segunda Lei, também com textos e ilustrações, os autores mostram que em consequência dessa Lei, as velocidades dos planetas são variáveis (p. 7). Além de definir a terceira Lei com textos e ilustrações, os autores também apresentam uma linguagem matemática (p. 7) e trazem um exemplo (p. 8) explorando a terceira Lei nessa linguagem matemática. Destacam que, devido a Lei da Gravitação de Newton, as Leis de Kepler são válidas para qualquer caso onde se tenha um corpo girando ao redor de outro de massa maior e, exploram isso com a ilustração da órbita de um satélite ao redor da Terra, explicando também os pontos apogeu e perigeu (p. 8). Fazem uma descrição do sistema solar (p. 9) com texto, ilustração e uma tabela destacando para cada planeta do sistema solar, a inclinação da órbita em relação à eclíptica, a excentricidade da órbita, a distância máxima, mínima e média ao sol, o período de translação em anos terrestres, o período de rotação, a velocidade orbital média e o número de satélites naturais. Por fim, trazem uma série de exercícios de aplicação e reforço, explorando os conceitos abordados.

No item 3 (Lei da Gravitação Universal. p. 11-16) é definida a Lei da Gravitação Universal com texto e ilustração, apresentando-a também numa linguagem matemática. Não há abordagem histórica e, o item é constituído basicamente de exemplos e exercícios que exploram a linguagem matemática dessa Lei. Os autores (p. 14) fazem uma pequena descrição da experiência de Cavendish utilizando recursos como texto e ilustração.

No item 4 (Corpos em órbitas circulares. p. 16-19) os autores explicam, utilizando um texto com ilustrações, a imponderabilidade (p. 16-17), destacando que:

Esse efeito tem uma aplicação prática muito importante. Estão sendo projetadas naves espaciais providas de laboratórios para a fabricação de remédios e outros produtos, pois, há uma série de processos químicos que se realizam com muito mais facilidade na ausência dessa compressão entre as partículas. A insulina (usada no tratamento de diabetes) é um dos importantes remédios que serão fabricados nesses laboratórios (p. 17).

Neste momento, em virtude desse comentário favorecer uma perspectiva inter e transdisciplinar, os autores poderiam ter apresentado uma proposta para abordá-lo nestas

perspectivas, porém, a ausência de uma metodologia e de um direcionamento dificulta tal abordagem. Ainda no item 4, os autores demonstram a terceira Lei de Kepler para o caso de uma órbita circular. O restante do item é constituído basicamente de exercícios de aplicação e reforço fixando os conceitos abordados.

No item 5 (Aceleração da gravidade e Campo gravitacional. p. 19-23), os autores iniciam fazendo também menção do volume 1, destacando que lá (volume 1), viram como obter o valor da aceleração da gravidade experimentalmente. Em seguida, utilizando de textos e figuras ilustrativas, os autores apresentam num exemplo (p. 20), o cálculo da aceleração da gravidade através da Lei da Gravitação Universal de Newton. Destacam a influência do movimento de rotação, definindo aceleração centrífuga. Apresentam uma foto ilustrativa de uma planta que cresceu num vaso mantido girando, explicando tal processo. Apresentam duas tabelas, uma destacando o valor de g em função da altitude (p. 20) e outra destacando o valor de g em função da Latitude (p. 22). Finalizam o item com exercícios de aplicação e reforço, fixando os conceitos abordados.

Por fim, no item 6 (Energia Potencial. p. 23-26) os autores, novamente fazem menção do volume 1, destacando que lá (volume 1), viram que a força peso é conservativa. Voltando ao volume 2, utilizando de textos e figuras ilustrativas, apresentam uma definição para energia potencial, numa situação onde a aceleração de gravidade não é constante. Explicam velocidade de escape e efeito estilingue (p. 25) (dando, portanto, neste momento, a resposta para o questionamento inicial, o da órbita da nave espacial *Galileu* ao sair da Terra rumo a Júpiter). E, finalizam o item com exercícios de aplicação e reforço, fixando os conceitos abordados.

No complemento – Marés, os autores destacam a tentativa de Galileu em explicar o fenômeno e a correta explicação de Newton. Neste complemento, utilizam os recursos como: textos e ilustrações. Este é outro momento no capítulo, que favorece uma perspectiva inter e transdisciplinar. Embora os autores reconheçam tal perspectiva e a citam no *Manual do professor* (p. 16), que este complemento é uma forma de praticar a interdisciplinaridade, percebemos novamente, uma ausência de metodologias e direcionamentos, para uma abordagem nestas perspectivas.

No suplemento destinado ao professor e intitulado: *Manual do Professor*, os autores trazem primeiramente seus perfis (p. 3), vale destacar que não consta nestes perfis formação especificamente de Licenciatura em Física. Em seguida fazem uma apresentação da obra (p. 5), e destacam alguns pontos de documentos que norteiam o ensino médio brasileiro (p. 6-9), tais como: Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB), Lei 9394/96 e Diretrizes Curriculares Nacionais do Ensino Médio. Em seguida os autores apresentam os objetivos gerais da obra (p. 9), apresentam o tópico *Conheça esta coleção* (p. 9), onde abordam os temas (p. 9-10), a estrutura da coleção (p. 10) e o texto: linguagem, contextualização e história da ciência (p. 10). Destacam várias leituras recomendadas ao professor (p. 11), classificando-as em: livros de aprofundamento em Física (p. 11), obras sobre história da ciência (p. 11-12), obras de caráter geral e paradidáticos (p. 12-13), revistas (p. 13), além de apresentarem alguns sites de física (p. 14). No suplemento os autores ainda trazem comentários específicos, apresentando a obra (p. 14), destacam os objetivos específicos (p. 15) e apresentam sugestões para alguns tópicos abordados na obra (p. 15-17). É interessante destacar que os autores trazem uma relação dos pontos de contextualização, conexão com outras áreas do conhecimento e com outros tópicos da Física (p. 18-19). Por fim trazem a resolução dos desafios e alguns exercícios propostos (p. 19-47).

2. Quanto à perspectiva inter e transdisciplinar:

A obra apresenta no suplemento destinado ao professor (*Manual do professor, p.1-47*), dentro da citação dos documentos que norteiam o ensino médio brasileiro, mais especificamente na citação das Diretrizes Curriculares Nacionais do Ensino Médio (p. 7), um item relacionado a interdisciplinaridade, destacando que:

A interdisciplinaridade deve ir além da mera justaposição de disciplinas e ao mesmo tempo evitar a diluição das mesmas generalidades. De fato, será principalmente na possibilidade de relacionar as disciplinas em atividades ou projetos de estudo, pesquisa e ação que a interdisciplinaridade poderá ser uma prática pedagógica e didática adequada aos objetivos do ensino médio. O conceito de interdisciplinaridade fica mais claro quando se considera o fato trivial de que todo conhecimento mantém um diálogo permanente com outros conhecimentos, que pode ser de questionamento, de confirmação, de complementação, de negação, de ampliação, de iluminação de aspectos não distinguidos (p. 7).

O *Manual do professor* ainda destaca como um dos objetivos gerais da obra: “possibilitar ao aluno o reconhecimento das inter-relações entre os vários campos da Física, e desta com

outras áreas do conhecimento”(p. 9). Quando os autores citam: “*e desta com outras áreas do conhecimento*”, no final deste objetivo, caracteriza-se uma perspectiva interdisciplinar. Porém, quando os autores citam: “*possibilitar ao aluno o reconhecimento das inter-relações entre os vários campos da Física*”, no início deste objetivo, embora nos remeta à idéia, e seja importante para o ensino de Física, fica difícil enquadrá-la numa característica interdisciplinar, pois, como vimos no capítulo 1 deste trabalho, mais especificamente no item 1.2 – As concepções de interdisciplinaridade – percebemos que as definições dadas pelos pesquisadores, Piaget e Michaud, por exemplo, lá citados, direcionam a interdisciplinaridade para a interação entre duas ou mais disciplinas, e não entre campos de uma única disciplina.

Para Piaget: “*Interdisciplinaridade. Segundo nível de associação entre disciplinas, em que a cooperação entre várias disciplinas provoca intercâmbios e, conseqüentemente, enriquecimentos mútuos*” (PIAGET, 1979 *apud* SANTOMÉ, 1998, p. 70, grifo nosso).

Para Michaud:

*Interdisciplina – Interação existente entre duas ou mais disciplinas. Essa interação pode ir da simples comunicação de idéias à integração mútua dos conceitos diretores da epistemologia, da terminologia, da metodologia, dos procedimentos, dos dados e da organização referentes ao ensino e à pesquisa. Um grupo interdisciplinar compõe-se de pessoas que receberam sua formação em diferentes domínios do conhecimento (disciplinas) com seus métodos, conceitos, dados e termos próprios (MICHAUD, 1972 *apud* FAZENDA, 1996, p. 27, grifo nosso).*

Santomé (1998) também, ao comentar as classificações realizadas por Erich Jantsch no Seminário da OCDE (Organização de Cooperação e Desenvolvimento Econômico) de 1979, destacando que: “os conceitos desta classificação referem-se às formas de relação entre as diversas disciplinas, às diferentes etapas de colaboração e coordenação entre as diferentes especialidades” (SANTOMÉ, 1998, p. 71, grifo nosso), nos apresenta uma definição para o termo interdisciplinaridade, como sendo a interação entre duas ou mais disciplinas.

A interdisciplinaridade propriamente dita é algo diferente, que reúne estudos complementares de diversos especialistas em um contexto de estudo de âmbito mais coletivo. A interdisciplinaridade implica em uma vontade e compromisso de elaborar um contexto mais geral, no qual cada uma das disciplinas em contato são por sua vez modificadas e passam a depender claramente umas das outras. Aqui se estabelece uma interação entre duas ou mais disciplinas, o que resultará em intercomunicação e enriquecimento recíproco e, conseqüentemente, em uma transformação de suas metodologias de pesquisa, em uma modificação de conceitos, de terminologias fundamentais, etc. entre as diferentes matérias ocorrem intercâmbios mútuos

e recíprocas integrações; existe um equilíbrio de forças nas relações estabelecidas. [...] (SANTOMÉ, 1998, p. 71-74, grifo nosso).

Nas sugestões gerais, ainda no *Manual do professor* (p. 15), a interdisciplinaridade é definida como sendo a integração entre outras partes da Física. Percebe-se que, como vimos acima, a obra apresenta a interdisciplinaridade como a interação das diversas partes ou conteúdos, dentro de uma mesma disciplina. Isso é bem percebido, quando é destacada a conexão com outras áreas da Física e outras áreas do conhecimento, no *Manual do professor* (p. 18). Vale lembrar que o capítulo 1 – Gravitação, compreende as páginas 2-31, da obra.

Manual do Professor

Relação dos pontos de contextualização, conexão com outras áreas do conhecimento e conexão com outros tópicos de Física

Este livro contém uma grande quantidade de pontos em que há contextualização e conexão entre tópicos de Física. Assim, a lista que se segue é parcial, pois escolhemos alguns casos mais significativos.

Páginas	Conexão com outras áreas da Física e outras áreas do conhecimento
2-5	História da Física
5	Matemática
16	Força centrípeta
19	Segunda Lei de Newton
23	Energia potencial
24 e 25	Conservação da energia mecânica
25	Colisões e coeficiente de restituição
29	Centro de massa e aceleração centrífuga
36	Exercícios 3 e 4: Biologia
47	Exercício 31: Força elástica
68	História da Física
77	Exercício 47: Biologia
82	História da Física
87	História da Física
95-97	Biologia
97 e 98	Exercícios 92, 93, 95-97, 98: Biologia
113	Biologia
121	História da Física
123	Momento de uma força
135 e 136	Cinemática
137	Exercícios 7 e 8: Biologia
170	Energia cinética
184	Densidade
194	Veja bem!: Biologia
213	História da Física

Páginas	Conexão com outras áreas da Física e outras áreas do conhecimento
218-221	História da Física
226-228	Pressão
254-256	Química
258 e 259	Pressão
260	História da Física
273	Densidade
274	Pressão
275	Quantidade de movimento
276	Energia cinética
282	Trabalho de uma força; pressão
284	Energia cinética
319 e 320	História e Literatura
324 e 325	História da Física
326	Astronomia
336	Astronomia
347	Física atmosférica
348	Leitura: Biologia
350	História da Física
350	Movimento Circular Uniforme
353	Pintura
372 e 373	Geometria
409	Geometria
413	Princípio de mínima ação
489-491	Biologia

Página	Contextualização
12	Exemplo 2
15	Exercícios 12, 13, 15 e 17
16 e 17	Texto
18	Exercícios 23 e 27
22	Texto
22	Exercícios 34, 35 e 37
27-30	Leitura
33	Texto

Página	Contextualização
33-35	Exemplos
35	Texto
36-38	Exercícios 1, 3-5, 7-9 e 11
43	Texto
44-46	Exercícios 15-17, 20, 21 e 23-26
47 e 48	Texto
51	Desafio <i>a</i>

18

Quadro 1 - relação dos pontos de contextualização, conexão com outras áreas do conhecimento e com outros tópicos da Física, no livro 1 da análise.

Fonte: SAMPAIO, J. L. ; CALÇADA, C. S. *Universo da física, 2 : hidrostática, termologia, óptica*. 2. Ed. São Paulo: Atual, 2005. (*Manual do professor*, p. 18)

Como vemos, somente das páginas 2 à 5 do capítulo 1 – Gravitação, os autores destacam conexão com História da Física e Matemática (nos itens 1 e 2), o restante das páginas do capítulo, os autores destacam conexão entre outras partes da Física, tais como: Força centrípeta (no item 4), Segunda Lei de Newton (no item 5), Energia Potencial, Conservação da energia mecânica, colisões e coeficiente de restituição (no item 6) e Centro de massa e aceleração centrífuga (no complemento das marés).

A obra não apresenta definição para o termo transdisciplinaridade, nem propostas e nem metodologias para tal perspectiva. Percebemos que essa ausência pode configurar hoje, aquilo que Piaget já considerava, uma etapa “*sonhadora*” e superior de integração.

Embora a obra reconheça a necessidade de uma prática interdisciplinar e, no *Manual do professor*, faça inúmeras referências às práticas interdisciplinares, também ao transcrever trechos do documento “*Ciências da Natureza, Matemática e suas tecnologias, no ensino médio*”, da SEMTEC/MEC – 1998 (p. 8-9), destacando as competências e habilidades em relação à Física no ensino médio, citando, no que se refere à investigação e compreensão: “*Articular o conhecimento físico com conhecimento de outras áreas do saber científico*” (p. 9). E, citando, no que se refere à percepção sociocultural e histórica:

- *Reconhecer a Física como construção humana, aspectos de sua história e relações com o contexto cultural, social, político e econômico.*
- *Estabelecer relações entre o conhecimento físico e outras formas de expressão da cultura humana.*
- *Reconhecer o papel da Física no sistema produtivo, compreendendo a evolução dos meios tecnológicos e sua relação dinâmica com a evolução do conhecimento científico.*
- *Dimensionar a capacidade crescente do homem propiciada pela tecnologia.*
- *Ser capaz de emitir juízos de valor em relação a situações sociais que envolvam aspectos físicos e/ou tecnológicos relevantes (p. 9).*

A ausência de propostas, com direcionamentos metodológicos, para desenvolver o conteúdo de gravitação numa perspectiva inter e transdisciplinar, é o ponto que mais se destaca nessa análise, tanto no *Manual do professor*, quanto no capítulo 1 – Gravitação.

Percebemos essa ausência de propostas e metodologias, quando os autores, no *Manual do professor* (p. 15-16), apenas destacam que a segunda Lei de Kepler, a Lei da Gravitação Universal de Newton, o efeito estilingue e o complemento referente ao fenômeno das marés

são formas de praticar a interdisciplinaridade, porém sem apresentarem formas e/ou metodologias para tal prática.

Por fim, embora a obra apresente uma linguagem clara, com ilustrações que favorecem a compreensão de alguns conceitos físicos, percebemos que no capítulo 1 – Gravitação, os elementos: História e Filosofia da Ciência poderiam ser abordados de forma mais detalhada. A forma sintetizada como estão, dificulta a construção do conhecimento científico, sendo, portanto, difícil perceber a relação entre a História e a Filosofia da Ciência e, suas conexões com outras áreas do conhecimento, podendo até, induzir o aluno a uma visão fragmentada da ciência. Percebemos também que poderia haver tópicos específicos, que apresentassem as inúmeras aplicações tecnológicas que o conteúdo favorece abordar, para a percepção de uma ciência numa perspectiva inter e transdisciplinar.

Livro 2:

GASPAR, A. *Física, volume único: livro do professor*. 1. Ed. São Paulo: Ática, 2005.

1. Quanto à disposição geral do livro:

A obra com 552 páginas compreende o volume único. Está estruturada em 4 unidades e 46 capítulos, além de duas seções: “*Introdução – O que é Física?*” e “*Física Moderna*”. Traz também um suplemento para o professor com 208 páginas, intitulado: *Manual do professor*. Das 552 páginas, 9 compreendem o capítulo 19 – *Gravitação* (p. 178-187). Este capítulo, constituído de um texto central, figuras (fotos e representações esquemáticas), exercícios resolvidos, exercícios propostos (*Para analisar e concluir*) e as caixas de texto (*Para você pensar; Para você resolver; Atividade em grupo*), está estruturado em 4 itens:

1. Sistemas planetários. (p. 178-180)
2. Leis de Kepler. (p. 180-181)
3. Lei da Gravitação Universal. (p. 181-182)
4. Terceira Lei de Kepler e velocidade orbital. (p. 182-183)

Antes de iniciar o item 1, o autor apresenta duas fotos (p. 178), uma do movimento aparente das estrelas em torno do pólo norte celeste (Amanda/P. Bellrichard/U.S. Naval Observatory/Science Photo Library) e outra da sequência de nove exposições tiradas durante o eclipse total da Lua em 21 de janeiro de 2000 (Dr. Fred Espenak/Science Photo Library),

traz também uma introdução, onde destaca a busca ao longo dos séculos, por respostas que levassem a compreensão do Universo e do movimento dos astros.

No item 1, o autor faz um relato histórico de forma bastante sintética, destacando que o primeiro modelo capaz de explicar e prever o movimento dos astros foi o de Ptolomeu. Em seguida destaca o modelo proposto por Copérnico, enfatizando ser este já proposto por Aristarco de Samos. Além de um texto central, o autor utiliza como recursos, figuras ilustrativas e uma seção em forma de caixa de texto (*Para você pensar*), onde destaca a viabilidade de hoje, com toda tecnologia, os navegadores ainda poderem se orientar pelas estrelas, admitindo a Terra como centro do Universo e, questiona se estaria correto supor para tal, que a Terra esteja em repouso e no centro do Universo (p. 180).

No item 2, o autor destaca que Kepler, analisando os dados compilados pelo astrônomo Tycho Brahe, formulou as três leis dos movimentos dos planetas. Apresenta de forma bastante objetiva as três leis, traz uma ilustração para a segunda lei, apresenta uma linguagem algébrica para a terceira lei e destaca que, a órbita de Marte que levou Kepler a concluir que as órbitas dos planetas são elípticas e que as leis de Kepler confirmam a teoria de Copérnico (p. 180). Além do texto e figuras, são apresentados no item: exercício resolvido (aplicação algébrica da terceira lei de Kepler); as seções (*Para você pensar*), onde o autor apresenta a figura da órbita de um planeta ao redor do Sol e questiona qual o ponto de máxima e mínima velocidade (p.180), e (*Para você resolver*), onde o autor propõe um exercício de aplicação matemática da terceira lei de Kepler (p.181).

No item 3, o autor basicamente apresenta a Lei da Gravitação Universal proposta por Newton. Utiliza como recursos: figuras, exercícios resolvidos (aplicação matemática da Lei da Gravitação Universal) e as seções: (*Para você resolver*), onde são propostos dois problemas de aplicação matemática da Lei da Gravitação Universal (p. 182), e (*Para você pensar*), onde o autor questiona o por que de um lápis e uma borracha, colocados sobre uma mesa, não se atraírem, já que a Lei da Gravitação Universal é válida para todos os corpos do universo (p.182).

No item 4, o autor, após uma breve fundamentação teórica, apresenta uma expressão para a terceira lei de Kepler ($T^2 = \frac{4\pi^2}{GM} \cdot r^3$), apresenta também uma expressão para a velocidade

orbital $\left(v = \sqrt{\frac{GM}{r}}\right)$. Traz exercícios resolvidos, que são aplicações das duas expressões citadas neste parágrafo e a seção (*Para você resolver*) que são também aplicações das expressões acima citadas (p. 183).

Finalizando o capítulo, o autor traz uma série de exercícios (*Para analisar e concluir – p.183*), onde explora os conceitos abordados e uma seção (*Atividade em grupo – p. 186*), onde propõe a leitura do texto destacado abaixo, seguido de alguns questionamentos.

Atividade em grupo: A altitude dos satélites estacionários

Leiam atentamente o texto a seguir:

A idéia de lançar satélites de telecomunicações surgiu pouco depois da Segunda Guerra Mundial. Em 1945, no número de outubro da revista *Wireless World*, foi publicado um artigo intitulado "Relés extraterrestres" cujo autor era um oficial de radar da RAF [Força Aérea inglesa] chamado Arthur C. Clarke. Ele, que mais tarde seria conhecido principalmente por seus livros de divulgação e ficção científica, propunha em seu artigo a colocação em órbita de três repetidores separados entre si de 120° , a 36 000 km sobre a superfície da Terra, em uma órbita situada em um plano coincidente com o do equador terrestre. Esse sistema poderia estabelecer comunicações de rádio e televisão para todo o globo. Embora Clarke tenha sido o primeiro a expor a idéia do emprego da órbita geoestacionária para comunicações, essa idéia já rondava a cabeça de muitos outros. Mas, a tão pouco tempo do final da guerra, não havia meios para colocar satélites em órbita terrestre baixa, muito menos geoestacionária; os primeiros experimentos de utilização do espaço para radiocomunicações foram realizados pelo exército americano em 1951 e em 1955 utilizando nosso satélite natural, a Lua, como refletor passivo. [...]

Os sistemas passivos que imitavam a utilização primitiva da Lua pelo exército norte-americano foram testados ainda durante algum tempo. Os satélites Eco 1 e 2 eram grandes globos refletores de Mylar. Seu uso se limitava a estabelecer ligação entre pares de estações terrestres das quais esses globos podiam ser vistos ao mesmo tempo. Os cientistas geodésicos concluíram que eles seriam mais úteis como balizas para o traçado de mapas feitos do exterior da Terra. Os engenheiros concluíram que seria necessário um sistema de transmissão ativo, uma versão orbital das torres de retransmissão por microondas utilizadas nos sistemas telefônicos. Durante algum tempo se discutiu a conveniência de colocar vários satélites em órbita geoestacionária (o que comportaria custos de lançamento mais elevados) ou uma enorme quantidade de satélites em órbitas mais baixas (com o conseqüente aumento no custo dos satélites). A polémica concluiu-se em favor da solução geoestacionária, pois esses satélites seriam de acompanhamento muito mais fácil.

(Traduzido e adaptado de: *Historia de los satelites de telecomunicaciones*, <<http://www.geocities.com/CapeCanaveral/3241/historis.htm>> [acesso em 19/4/2005].)

Quadro 2: texto: “A altitude dos satélites estacionários”.

Fonte: GASPAR, A. *Física, volume único: livro do professor*. 1. Ed. São Paulo: Ática, 2005. p. 186.

No manual do professor, o autor faz uma apresentação da obra, destacando os critérios de seleção e de sequência dos conteúdos abordados no livro, além de sua preocupação com uma

abordagem correta e que tenha ligação com a realidade. Comenta as quatro unidades (I-Mecânica, II-Ondas e Óptica, III-Termodinâmica, IV-Eletromagnetismo), o complemento sobre Física Moderna e os respectivos exercícios, questões, atividades e experimentos que acompanham cada capítulo.

Em seguida, o autor apresenta alguns pontos principais dos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) no que se refere às Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Apresenta um conjunto de sugestões para o aprimoramento profissional do professor, onde destaca publicações, encontros e entidades. Apresenta também sugestões de atividades interdisciplinares e de contextualização. Por fim, traz orientações para o desenvolvimento de cada capítulo com comentários, sugestões, destaca as competências de cada capítulo e traz a resolução dos exercícios e questões propostos no livro.

2. Quanto à perspectiva interdisciplinar e transdisciplinar:

A obra apresenta no manual do professor textos com elementos que caracterizam o ensino de Física numa perspectiva inter e transdisciplinar e sugerem uma definição para o termo interdisciplinaridade. No texto onde são apresentados os pontos principais dos PCNs, citado pelo autor na obra, destacamos inicialmente dois parágrafos:

A demarcação disciplinar não deve impedir a articulação interdisciplinar de forma a conduzir organicamente o aprendizado pretendido. Uma compreensão atualizada do conceito de energia não é função apenas da física, mas também da química e é essencial à biologia. A conservação da energia, princípio básico da física, é essencial na interpretação de fenômenos naturais e tecnológicos e pode ser verificada em processos de natureza biológica, como a fermentação, ou em processos químicos, como a combustão, contando em todos os casos com o instrumento matemático para o seu equacionamento e a sua quantificação.

A física, ciência que sistematiza as propriedades gerais da matéria, fornece instrumentais e linguagens que são incorporados pelas demais ciências. Inúmeras tecnologias contemporâneas são diretamente associadas ao conhecimento físico, de forma que um aprendizado culturalmente significativo e contextualizado da física transcende os domínios disciplinares estritos. Essas relações disciplinares e interdisciplinares não restringem às disciplinas da área; há vínculos e interligações importantes com as disciplinas das outras áreas. Os problemas socioambientais e as questões econômico-produtivas não são apenas científico-tecnológicos, mas também histórico-geográficos. O aprendizado das ciências da natureza e da matemática é também um aprendizado de linguagens e códigos (p. 7).

Em seguida destacamos ainda na apresentação dos pontos principais dos PCNs, as Competências e habilidades em ciências, no que se refere a Investigação e compreensão, um item que também direciona o ensino numa perspectiva interdisciplinar: “*Relações entre conhecimentos disciplinares, interdisciplinares e interáreas – articular, integrar e sistematizar fenômenos e teorias dentro de uma ciência, entre as várias ciências e áreas do conhecimento*” (p. 8). E nas Competências em Física, no que se refere a Contextualização sociocultural o seguinte item que também nos remete a uma perspectiva interdisciplinar:

compreender a física como parte integrante da cultura contemporânea, identificando sua presença em diferentes âmbitos e setores, como nas manifestações artísticas ou literárias, em peças de teatro, letras de músicas, etc., estando atento à contribuição da ciência para a cultura humana (p. 13).

Não há definição direta para o termo transdisciplinaridade, porém há elementos que podem dar uma interpretação para o termo. Na apresentação dos pontos principais dos PCNs, contido no manual do professor, encontramos os seguintes destaques nas competências em Física, mais especificamente no que se refere a Contextualização sociocultural – Ciência e tecnologia, ética e cidadania:

- *Compreender a responsabilidade social que decorre da aquisição de conhecimento, sentindo-se mobilizado para diferentes ações, seja na defesa da qualidade da vida e da qualidade das infra-estruturas coletivas, seja na defesa de seus direitos como consumidor.*
- *Promover situações que contribuam para a melhoria das condições de vida da cidade onde vive ou da preservação responsável do ambiente, conhecendo as estruturas de abastecimento de água e eletricidade de sua comunidade e dos problemas delas decorrentes, sabendo posicionar-se, argumentar e emitir juízos de valor.*
- *Reconhecer que, se a tecnologia melhora a qualidade de vida do ser humano, ela também pode ter efeitos que precisam ser ponderados quanto a um posicionamento responsável. Por exemplo, o uso de radiações ionizantes apresenta benefícios e riscos para a vida humana.*
- *Reconhecer em situações concretas a relação entre física e ética, seja na definição de procedimentos para a melhoria das condições de vida, seja em questões como do desarmamento nuclear ou em mobilizações pela paz mundial.*
- *Reconhecer que a utilização dos produtos da ciência e da tecnologia nem sempre é democrática, tomando consciência das desigualdades e da necessidade de soluções de baixo custo, como para ampliar o acesso à eletricidade (p. 13).*

A obra ainda traz sugestões de atividades interdisciplinares e de contextualização. Para o capítulo 19 – Gravitação o autor apresenta as seguintes sugestões:

Capítulo 19: Gravitação

Nesse capítulo a interdisciplinaridade pode ser feita com história, contextualizando a época em que viveram Nicolau Copérnico, Tycho Brahe e Kepler. O professor pode iniciar com os seguintes boxes:

História: Nicolau Copérnico

O astrônomo polonês Nicolau Copérnico (1473-1543) estudou matemática, direito e medicina na Polônia e na Itália. Seu trabalho em astronomia se baseava mais na pesquisa teórica e nas informações obtidas da literatura que em sua própria observação dos astros. Dessa forma, demonstrou que o modelo planetário proposto por Ptolomeu poderia ser muito simplificado com a colocação do Sol, em vez da Terra, no centro do Universo. A Terra e os demais planetas descreviam órbitas perfeitamente circulares em torno do Sol. O movimento das estrelas, à noite, e do Sol, durante o dia, é aparente. Na realidade é a Terra, como os demais planetas, que gira em torno de si mesma, em um movimento de rotação.

Embora essas idéias tivessem aparecido inicialmente em um manuscrito de 1514, ele as desenvolveu durante anos até completá-las em 1530, no livro *De revolutionibus orbium coelestium (Das revoluções dos mundos celestes)*. Talvez por temer represálias da Igreja católica, abalada na época pela Reforma protestante, Copérnico retardou sua publicação, que só ocorreu no ano de sua morte.

Apesar da oposição religiosa e científica, as idéias de Copérnico consolidaram-se com o apoio e a contribuição de outros cientistas, particularmente Galileu, Kepler e Newton.

História: Tycho Brahe e Kepler

Tycho Brahe (1546-1601) dedicou sua vida ao aprimoramento das observações astronômicas. Foi o maior observador astronômico da história da humanidade até a invenção do telescópio.

Em 1572, quando Kepler tinha apenas um ano e meio de idade, Tycho fez seu trabalho mais notável: durante 18 meses observou e descreveu o aparecimento de uma supernova, estrela cujo brilho chegou a ser tão extraordinário que pôde ser visto até durante o dia. Além de consagrar Tycho como astrônomo, esse acontecimento pôs em dúvida o dogma aristotélico da imutabilidade dos céus.

Quadro 3: sugestões de atividades interdisciplinares e de contextualização.

Fonte: GASPAR, A. *Física, volume único: livro do professor*. 1. Ed. São Paulo: Ática, 2005. p. 22.

No fim de 1577 ele observou um grande cometa e, com base em suas observações, provou que os cometas eram astros e não fenômenos atmosféricos, como se pensava na época. Em 1585, apresentou seu modelo planetário, que, de certa forma, conciliava os de Ptolomeu e Copérnico. Outros astrônomos da época reivindicaram a autoria desse modelo, acusando-o de plágio.

Em 1597, passou a residir em Praga, como matemático da corte do imperador. Lá, em 1600, recebeu Kepler como discípulo e, mais tarde, sucessor, a quem encarregou de estudar a órbita de Marte. Em 1609, depois de uma infinidade de cálculos sobre os dados coligidos durante vinte anos por Tycho Brahe, Kepler concluiu que a única órbita que combinava com os dados experimentais do planeta Marte era a elíptica. Kepler estendeu essa conclusão aos demais planetas. Seus trabalhos contribuíram de forma decisiva para consolidar o sistema heliocêntrico proposto por Copérnico, com o qual Tycho Brahe não concordava.

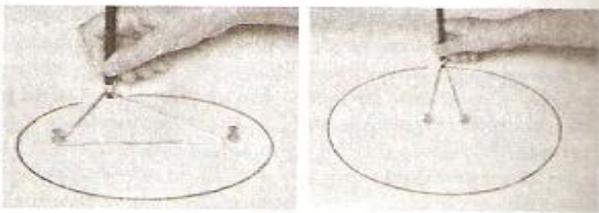
A geometria pode ser utilizada para desenvolver uma atividade interdisciplinar interessante: o traçado da elipse. Essa atividade pode ser realizada em física e em matemática e é muito útil para que o aluno perceba que uma elipse pode ser aproximadamente uma circunferência e que esse é o caso das órbitas dos planetas em torno do Sol. Como subsídio apresentamos o seguinte boxe:

Quadro 4: continuação das sugestões de atividades interdisciplinares e de contextualização.
 Fonte: GASPAR, A. *Física, volume único: livro do professor*. 1. Ed. São Paulo: Ática, 2005. p. 22.

Matemática: A elipse

Elipse é o lugar geométrico dos pontos de um plano cuja soma das distâncias a dois pontos fixos desse plano é constante. Os pontos fixos são chamados de **focos** e a distância entre eles é **d**.

Observe as fotos a seguir: com um barbante e dois alfinetes de mapa, fixos em uma base de madeira, pode-se construir uma elipse. Os alfinetes são os focos da elipse. Se estiverem bem próximos (foto da direita), a forma da elipse se aproxima da de uma circunferência.



A distância da ponta da caneta ao foco F_1 é d_1 e ao foco F_2 é d_2 . Como o comprimento do barbante esticado é constante, a soma de d_1 e d_2 é constante porque d é fixo.

A excentricidade da elipse é dada pela razão entre a distância dos focos e seu eixo maior. Quanto mais distantes entre si os focos, mais ovalada a elipse. Quando a excentricidade for 1, a elipse se tornará um segmento de reta limitado pelos focos. Quanto mais próximos entre si os focos, mais circular a elipse. A circunferência é a elipse cujos focos coincidem ou cuja excentricidade é zero.

Quadro 5: continuação das sugestões de atividades interdisciplinares e de contextualização.
 Fonte: GASPAR, A. *Física, volume único: livro do professor*. 1. Ed. São Paulo: Ática, 2005. p. 22.

A astronomia não existe como disciplina, mas, caso seja estudada em geografia, são sugestões interessantes para atividades interdisciplinares:

- uma descrição mais detalhada do sistema solar;
- uma relação em escala entre as dimensões dos planetas, do Sol e da distância entre eles;
- a discussão da impossibilidade de se construir um modelo adequado em escala do sistema solar, dada a disparidade muito grande dessas dimensões.

Quadro 6: continuação das sugestões de atividades interdisciplinares e de contextualização.
 Fonte: GASPAR, A. *Física, volume único: livro do professor*. 1. Ed. São Paulo: Ática, 2005. p. 23.

Embora o autor traga uma gama de citações que proporcionem uma compreensão dos termos inter e transdisciplinaridade e apresente sugestões para aplicá-los no capítulo, seria necessário que o direcionamento metodológico fosse mais amplo, explorando mais a forma de desenvolver tais sugestões e os objetivos a serem alcançados.

No que se refere a História e Filosofia da Ciência, como vimos no capítulo 2 deste trabalho, grandes pensadores contribuíram na história da gravitação. Fica muito vago para uma perspectiva inter e transdisciplinar, a abordagem reducionista, pois não fornece elementos para que o aluno perceba as conexões da Física com outras áreas do conhecimento.

Livro 3:

FILHO, A. G. ; TOSCANO, C. *Física, volume único: ensino médio*. São Paulo: Scipione, 2005.

1. Quanto à disposição geral do livro:

A obra de 472 páginas compreende o volume único e está estruturada em quatro partes (unidades), sendo estas subdivididas em 21 capítulos. Traz no final, listas de exercícios, respostas dos exercícios, tábua de funções trigonométricas, bibliografia consultada e

bibliografia indicada, além de um suplemento para o professor de 112 páginas intitulado : “*Assessoria Pedagógica*”. Das 472 páginas, 16 (p. 64-79) são destinadas ao capítulo 4 – “*Gravitação*”, que faz parte da primeira unidade – Mecânica.

Os autores utilizam basicamente, na abordagem do capítulo 4, recursos como: textos, figuras coloridas, ilustrações, exercícios e uma seção (“*Texto e interpretação*”) no final do capítulo. Para a abordagem da Gravitação, os autores apresentam o capítulo estruturado em quatro itens:

1. As órbitas dos planetas e dos satélites: as leis de Kepler. (p. 65-69)
2. Lei da Gravitação Universal. (p. 70-71)
3. Campo gravitacional. (p. 72-74)
4. Força centrípeta. (p. 74-78)

Introduzindo o capítulo, os autores fazem o seguinte comentário:

Com o estudo da gravitação, é possível compreender fenômenos corriqueiros – como a queda de frutas maduras das árvores, o caminhar, o erguer-se e o saltar – e entender por que a Lua orbita em torno da Terra, assim como a Terra e os outros planetas orbitam em torno do Sol. A força de atração gravitacional é responsável ainda por manter unidos os 100 bilhões de estrelas da Via Láctea, as galáxias e os aglomerados de galáxias. Iniciaremos este capítulo apresentando diferentes visões acerca do sistema solar e do universo, concentrando nossa atenção nas leis elaboradas nos séculos XVI, XVII e XX (p.64).

Iniciando o item 1, os autores destacam de forma bastante sintetizada, alguns aspectos de História da Ciência. O primeiro, é o fato de Aristóteles, Platão, Ptolomeu e Tycho Brahe admitirem como modelo planetário o geocêntrico, com órbita circular. O segundo, é o fato de Copérnico, Galileu, Kepler e Newton admitirem como modelo planetário o heliocêntrico. Porém, para Copérnico e Galileu o movimento dos planetas era circular, já para Kepler e Newton, descreviam órbitas elípticas. Para essa primeira abordagem histórica, os autores utilizam como recurso um texto e representações dos modelos planetários de Ptolomeu e de Copérnico. Sem dar ênfase à Revolução Científica, os autores ainda destacam sete axiomas propostos por Copérnico e citam que eles produziram uma revolução no pensamento científico da época (p. 66).

1. Nem todas as esferas celestes giram em torno de um único centro. (Entende-se por esfera celeste uma esfera imaginária na qual estariam fixados os astros e cujo centro corresponde ao olho do observador.)
2. O centro da Terra não é o centro do universo, mas apenas o centro de sua própria gravidade e o da órbita da Lua.
3. Todas as esferas giram em torno do Sol e, conseqüentemente, o Sol é o centro do universo.
4. A distância entre a Terra e as estrelas fixas é tão grande que, em comparação, a da Terra ao Sol é insignificante.
5. Os movimentos que aparecem no firmamento não provêm do movimento dele, e sim da Terra, que, a cada dia, gira em torno do seu próprio eixo.
6. O que nos parece o movimento do Sol é apenas o movimento da Terra, que, como os outros planetas, gira em torno do Sol.
7. Os movimentos aparentemente retrógrados dos planetas devem-se apenas ao movimento da Terra, que, como os outros planetas, gira ao redor do Sol.

Quadro 7: sete axiomas propostos por Copérnico.

Fonte: FILHO, A. G. ; TOSCANO, C. *Física, volume único: ensino médio*. São Paulo: Scipione, 2005. p. 66.

Destacam também, que o fato de Galileu tentar comprovar o modelo de Copérnico, principalmente com o auxílio do telescópio, trouxe descobertas que contrariavam alguns dogmas da Igreja Católica, sendo, portanto, obrigado a reconhecer seus feitos como um erro, para escapar da inquisição (p. 66). Os autores apresentam no item a confissão de Galileu diante do tribunal, extraído de CANIATO, R. *O Céu* (p.66). Apresentam as três leis de Kepler, com ilustrações, trazem exercícios referentes ao conteúdo abordado no item e por fim, um texto intitulado: “*A formação do sistema solar*”, com fotos extraídas de – Space Telescope Science Institute/SPL/Stock Photos, que mostram as fases de formação e morte de uma estrela (p.68-69). Percebe-se com este texto, a introdução de temas relacionados à Física Moderna.

Os autores iniciam o item 2 com o seguinte questionamento: “*o que nos mantém atraídos a Terra é o que mantém a Lua presa ao nosso planeta?*” (p.70). Apresentam, tanto em texto como em linguagem algébrica, a Lei da Gravitação Universal, formulada por Newton. Enfatizam o fato da Terra exercer uma força gravitacional sobre a Lua, da mesma forma que o

Sol exerce sobre a Terra, sendo esta portanto aplicada em qualquer lugar do universo. Finalizam o item com exercícios (p.71), referente ao conteúdo abordado (um deles, nº 10, há um comentário sobre a experiência de Cavendish) e com três questões, 12, 13 e 14 (referente ao texto sobre a formação do sistema solar, apresentado no final do item 1).

O item 3, também é iniciado com um questionamento: “*Será que a maneira como você entende a palavra “campo” tem algo a ver com o “campo” da Física?*” (p.72). Em seguida, os autores trazem (ainda página 72), um trecho da carta de Newton a seu aluno, Bentley.

“A idéia de que a gravidade é inata, inerente e essencial à matéria, de forma que um corpo pode atuar sobre outro a distância através do vácuo[...], me parece tão absurda que ninguém que possua em assuntos filosóficos uma faculdade competente de pensar possa acreditar nela. A gravidade deve ser causada por um agente que atue constantemente de acordo com certas leis; mas a questão de se esse agente é material ou imaterial a deixo à consideração do leitor.”

(Carta de Newton a seu aluno, Bentley. In: *The Correspondence of Isaac Newton*. Cambridge: Ed. H. W. Turbull. 7 v. Citado por Roberto Andrade Martins em “A impossibilidade da ação a distância”, no livro *Descartes 400 anos: um legado científico e filosófico*. Rio de Janeiro: Relume Dumará, 1997.)

Quadro 8: carta de Newton a seu aluno, Bentley.

Fonte: FILHO, A. G. ; TOSCANO, C. *Física, volume único: ensino médio*. São Paulo: Scipione, 2005. p. 72.

Os autores ainda abordam e representam as linhas de força do campo gravitacional (p.72), trazem uma tabela (p.72), com valores do campo gravitacional da Terra em função da altura em relação ao nível do mar. Demonstram como chegar ao valor do campo gravitacional na superfície da Terra, exploram o conceito de massa gravitacional e massa inercial e encerram o item com exercícios referentes aos conceitos abordados.

No item 4, os autores fazem uma explanação a respeito da força centrípeta. Iniciam com o questionamento: “*O que acontece com a roupa quando a máquina de lavar está*

centrifugando?” (p.74). Dão ênfase à ação de uma força gravitacional, apresentando-a como a ação que mantém um satélite em órbita. Abordam o item, também apresentando a força centrípeta numa linguagem algébrica e com figuras que ilustram situações em que as forças em questão, desempenham o papel de força centrípeta (p.75). Respondem a questão inicial, introduzindo o conceito de força centrífuga e trazem exercícios referentes aos conceitos abordados.

Por fim (p.78-79), trazem na seção: “*Texto e Interpretação*” um texto cujo título é: “*Teoria da gravitação ontem e hoje*”, onde abordam as teorias de Newton e de Einstein e suas diferenças, destacando a criação da teoria do “*big-bang*”, após a formulação da teoria da gravitação de Einstein. Encerrando, trazem quatro questões que exploram o conteúdo do texto. Percebemos mais uma vez a introdução de temas de Física Moderna.

No suplemento para o professor, intitulado “*Assessoria Pedagógica*”, os autores trazem uma orientação teórica-metodológica da obra, destacando o objetivo central da mesma (p.5-6). Apresentam uma estruturação geral da obra, com sugestões para a distribuição do conteúdo em três anos (p.7-8). Dão ênfase à questões relacionadas ao processo de avaliação (p.9-10). Fazem um detalhamento do curso, com comentários, sugestões para o trabalho em classe e distribuição do conteúdo por número de aulas semanais. Nesse detalhamento, os autores destacam para o capítulo 4 – Gravitação:

O tema desse capítulo constitui uma das mais belas elaborações do pensamento científico. Tentar representar o mundo real com modelos e teorias é um procedimento constante do homem. Há farta documentação histórica dessas tentativas, não só de desenvolvimento de teorias científicas como de modelos de mundo desde a Antiguidade até nossos dias. Do mesmo modo, pode-se perceber que essas representações se tornam cada vez mais complexas.

Abordamos o tema evidenciando os aspectos principais dos vários modelos. Copérnico, Kepler e Newton são os grandes personagens dessa história. Procuramos, entretanto, reservar espaço para o que há de mais moderno, finalizando o capítulo com alguns aspectos da teoria da gravitação elaborada por Albert Einstein, da primeira metade do século XX.

Quanto à organização e sequência buscamos superar o trajeto “do antigo ao moderno”, abordando os modelos geocêntrico e heliocêntrico de forma concomitante, para não ressaltar a idéia de que o desenvolvimento do pensamento científico vai do ingênuo/errado ao moderno/certo. Partilhamos da tese de que as elaborações científicas são contextualizadas tanto no tempo quanto no espaço, o que significa dizer, embora “verdadeiras”, as teorias são sempre limitadas e provisórias.

A força centrípeta é tratada nesse capítulo com base na discussão da mudança de direção da velocidade de um planeta que orbita em torno do Sol ou de satélites que orbitam em torno da Terra (p. 13-14).

E apresentam a seguinte tabela:

CONTEÚDO	Nº DE AULAS SEMANAIS		OBSERVAÇÕES E SUGESTÕES PARA O TRABALHO EM CLASSE
	2	3	
1 – As órbitas dos planetas e dos satélites: as leis de Kepler	(2)	(2)	Nesse item são apresentados os modelos geocêntrico e heliocêntrico, suas características e seus defensores mais importantes. Vale a pena ressaltar o caráter transitório dos modelos, seus aperfeiçoamentos e suas rupturas. Cabe destacar ainda o “termo de compromisso” que Galileu foi obrigado a ler e assinar para poder viver em prisão domiciliar. Neste manual indicamos um projeto de trabalho interdisciplinar acerca desse tema, intitulado “O Sol nosso de cada dia”.
2 – Lei da gravitação universal	(2)	(2)	Essa lei é uma das maiores contribuições de Newton para a ciência e merece ser enfatizada pelo seu alcance explicativo. Em contrapartida, é importante comentar o que ela deixou em discussão: a questão da ação a distância. Os exercícios desse item são básicos e, por isso, achamos necessário que todos sejam feitos em classe. Nesse momento, não enfatizamos o fato de que a distância para a lei da gravitação universal vai do centro de um planeta ao centro do outro. O boxe A formação do sistema solar apresenta um assunto muito interessante e pode ser aprofundado com uma pesquisa sobre o Big-Bang e a origem do universo.
3 – Campo gravitacional	(1)	(1)	A utilização do conceito de campo para a gravitação é bem posterior a Newton. Ocorre, entretanto, que esse conceito será fundamental para o estudo da eletricidade e do magnetismo. Por isso, sua abordagem nesse momento é uma oportunidade de começar a estudá-lo de forma introdutória, evitando tratá-lo como sinônimo de aceleração da gravidade.
4 – Força centrípeta	(2)	(3)	Nesse item, há um boxe de aprofundamento em que são discutidos os referenciais inerciais, universo de validade das três leis do movimento. Analisam-se situações em que o referencial realiza movimento de rotação, como na máquina de lavar roupa e no rotor do parque de diversões, nas quais o “efeito centrífugo” aparece. Caso sua turma tenha poucas aulas semanais, é conveniente falar apenas da força centrípeta.
Texto e interpretação: teoria da gravitação ontem e hoje	(1)	(1)	A teoria da gravitação elaborada por Einstein é bastante complexa. Consideramos, entretanto, que alguns aspectos podem ser abordados já nesse momento. No texto, apresentamos dois: a idéia de gravidade como propriedade do espaço-tempo e o problema da instantaneidade da ação da gravidade sobre os corpos, que estava embutida na formulação de Newton. Para facilitar a compreensão, estabelecemos algumas analogias.
Lista de exercícios	–	(2)	Sugerimos que a maioria dos exercícios seja feita em casa, restando para a classe apenas a discussão das dúvidas.
Total	(8)	(11)	

Quadro 9: tabela de conteúdos, número de aulas e observações para a abordagem do conteúdo de Gravitação.

Fonte: FILHO, A. G. ; TOSCANO, C. *Física, volume único: ensino médio*. São Paulo: Scipione, 2005. (Assessoria Pedagógica, p. 14)

Nessa *Assessoria Pedagógica*, os autores ainda trazem uma proposta de se trabalhar alguns conteúdos com projetos. Para tal, apresentam alguns projetos com os respectivos encaminhamentos metodológicos (p.33-43). Por fim, trazem a resolução de exercícios (p.44-92), textos suplementares com questões referente aos mesmos (p.93-104), sugestões de filmes e séries, com procedimentos metodológicos para os mesmos (p.105-107) e indicações bibliográficas para o professor (p.108-109). O restante é um espaço para anotações (p.109-112).

2. Quanto à perspectiva interdisciplinar e transdisciplinar:

A obra não apresenta definição direta para os termos inter e transdisciplinaridade. Porém, indicam um projeto (dentro das sugestões para o capítulo 4) de trabalho numa perspectiva interdisciplinar. Segue abaixo a apresentação do projeto:

Projeto: “O Sol nosso de cada dia”

Este projeto é destinado aos alunos de 1ª série do ensino médio que, ao longo de seu curso de física, venham a estudar os conceitos de energia e/ou de gravitação universal e poderá ser proposto antes da sistematização dos conteúdos citados, constituindo, assim, um elemento desencadeador desse estudo.

■ **OBJETIVOS**

Serão realizadas atividades que:

- facilitem a integração de conhecimentos elaborados e adquiridos nas aulas de física com os de outras disciplinas, como história, biologia, geografia, literatura e artes;
- possibilitem o aprofundamento dos conhecimentos obtidos nos cursos de física a respeito do Sol (considerando os conceitos de energia e/ou aqueles ligados à gravitação universal);
- encaminhem o aluno a analisar o tema pela pesquisa em diferentes meios que estiverem ao seu alcance;
- permitam o trabalho de expressão de seus conhecimentos por intermédio de diferentes meios, como fotos e painéis;
- levem os alunos a socializar as informações e conhecimentos adquiridos;
- desenvolvam no aluno a capacidade de organizar e montar painéis com fotos, tendo como objetivo a exposição do material elaborado e a realização de um concurso.

■ **ETAPAS**

O projeto consiste em oito etapas:

- Atividade introdutória: proposição de concurso de fotografias;
- Apresentação de questões;
- Aula conjunta: professores de artes, biologia, física, geografia, história e literatura;
- Pesquisa bibliográfica e consulta a jornais, revistas e internet;
- Elaboração de textos que sintetizem as respostas às questões propostas;
- Apresentação para o grupo/classe do trabalho realizado;
- Elaboração, organização e montagem de ensaio fotográfico;
- Realização do concurso de fotografias.

1. Atividade introdutória: proposição de concurso de fotografias

Um dos fatores que contribuem para o sucesso de um projeto é a possibilidade de haver atividades diferenciadas e/ou lúdicas ao longo de sua realização.

Para este projeto, podemos propor aos alunos que realizem um concurso de fotografias com o tema “pôr-do-sol”.

Cada aluno terá seis semanas para fotografar paisagens com o pôr-do-sol. Ao final desse período, ele inscreve uma ou duas fotos (a quantidade deve ser escolhida de acordo com o número de alunos na série). A inscrição deve ser feita com o professor, que estabelecerá as seguintes regras:

- tamanho das fotos (sugestão: 10 cm por 15 cm);
- as fotos não devem conter informações sobre o autor. Para tanto, o professor deve numerá-las, utilizando pequenas etiquetas adesivas, marcando na lista de alunos o número de fotos referente a cada aluno.
- A premiação: dependendo da condição financeira da escola, pode ser oferecido aos alunos um prêmio. Há ainda a possibilidade de se pagar uma quantia simbólica pela foto no ato da inscrição. Nesse caso, o professor deve formar uma comissão de alunos para administrar o dinheiro recolhido e comprar o prêmio. Esse tipo de atividade pode ser bastante educativa para o grupo/classe se for bem conduzido pelo professor. Sugerimos premiar os alunos com um CD.

Quadro 10: projeto: “*O Sol nosso de cada dia*”, como sugestão para a abordagem do conteúdo de Gravitação numa perspectiva interdisciplinar.

Fonte: FILHO, A. G. ; TOSCANO, C. *Física, volume único: ensino médio*. São Paulo: Scipione, 2005. (Assessoria Pedagógica, p. 33)

2. Apresentação de questões

Ao iniciar o trabalho com as questões, indicamos a leitura do livro paradidático *Sol e energia no terceiro milênio*, de Ronaldo Rogério de Freitas Mourão, da coleção Ponto de Apoio, da editora Scipione. Essa obra, cuja leitura será feita ao longo do trabalho de pesquisa, fundamentará o trabalho teórico que será realizado.

As cinco questões apresentadas a seguir constituem parte fundamental do projeto, ou seja, são norteadoras dos trabalhos de pesquisa que os grupos realizarão.

O professor divide a classe em dez grupos, dos quais dois são sorteados e escolhem uma das cinco questões listadas abaixo.

1) O que representou no pensamento científico e na história a passagem do modelo geocêntrico para o modelo heliocêntrico?

A questão tem como objetivo fazer com que o aluno relacione os conteúdos estudados em física e em história. Para complementar a bibliografia para o grupo que escolher desenvolvê-la, o professor pode indicar os seguintes livros: *A Dança do Universo*, de Marcelo Gleiser, Companhia das Letras, e *Filosofando* – introdução à filosofia, de Maria Lúcia Arruda Aranha e Maria Helena Pires Martins, Moderna.

2) Energia solar versus energias sujas? Quais as vantagens de utilizar a energia solar?

A questão pretende permitir ao aluno relacionar conteúdos estudados em física e em biologia. Aqueles que quiserem aprofundar o assunto podem pesquisar temas como a reciclagem. Para complementar a bibliografia para o grupo que escolher esta questão, o professor pode indicar os seguintes livros: *Florestas: desmatamento e destruição*, de Maria Elisa Marcondes Helene, Scipione, e *Ozônio: aliado e inimigo*, de Vera Lúcia Duarte de Novais, Scipione.

3) Qual a importância do Sol para a vida na Terra?

Esta questão deve levar o aluno a relacionar os conteúdos estudados em física com os ciclos que ocorrem na natureza, assunto da biologia.

4) Como se dá a influência do Sol sobre a Terra em relação ao clima das diferentes regiões, à seca e à formação dos ventos?

Esta questão tem como objetivo fazer com que o aluno relacione os conteúdos desenvolvidos em física e em geografia física.

5) Como o Sol é tratado em poemas, crônicas, etc.? Afinal, o que ele representa para a literatura?

A questão pretende fazer com que o aluno perceba que o astro descrito pela física apresenta um caráter simbólico. Ele poderá estabelecer relações com os movimentos literários que estuda nas aulas de português. Portanto, a colaboração do professor dessa disciplina é fundamental para a orientação dos alunos que escolherem tal questão.

3. Aula conjunta: professores de artes, biologia, física, geografia, história e literatura

Se houver possibilidade, o professor de física pode programar uma aula com seus colegas de artes, biologia, geografia, história e literatura. Os professores poderiam falar sobre a maneira pela qual cada disciplina estuda e/ou encara o tema Sol. Eles não devem responder às questões anteriormente propostas, e sim dar indicações para que seus alunos realizem as pesquisas.

4. Pesquisa bibliográfica e consulta a jornais, revistas e internet

Esta fase do projeto é fundamental para o aprimoramento conceitual sobre o tema trabalho e para o levantamento de novas questões. Caso a biblioteca da escola não disponha desses livros, podemos sugerir aos alunos que façam pesquisas em bibliotecas públicas. Outro meio de comunicação que pode ser consultado é a internet.

À medida que os alunos obtêm informações na internet, pode-se criar um mural com o material recolhido da rede. A troca de informações é fundamental no trabalho do projeto, porque motiva os alunos a procurar mais informações e, conseqüentemente, a contribuir com o mural da classe ou com o mural interclasses.

A pesquisa em jornais e revistas também pode ser feita pela internet, dado que jornais e revistas têm reproduzido seu material impresso em sites.

5. Elaboração de textos que sintetizem as respostas às questões propostas

Os alunos devem trazer as informações obtidas a respeito da questão escolhida.

Em uma aula (se possível dupla, de aproximadamente 100 min), os grupos elaboram textos que sintetizem respostas às questões propostas. Essas sínteses devem ser recolhidas e avaliadas pelo professor.

Quadro 11: continuação do projeto: “*O Sol nosso de cada dia*”, como sugestão para a abordagem do conteúdo de Gravitação numa perspectiva interdisciplinar.

Fonte: FILHO, A. G. ; TOSCANO, C. *Física, volume único: ensino médio*. São Paulo: Scipione, 2005. (Assessoria Pedagógica, p. 34)

É necessário que os alunos façam cópia dos textos entregues ao professor, pois eles são fundamentais na preparação para a apresentação aos colegas de sala na semana seguinte.

6. Apresentação para o grupo/classe do trabalho realizado

Nesta etapa do projeto, os alunos apresentam aos colegas suas sínteses e conclusões.

Para isso, eles podem utilizar cartazes, quadros, resumo, etc.

As apresentações devem ser curtas para que não sejam cansativas e para que debates entre os colegas sejam realizados.

7. Elaboração, organização e montagem de ensaio fotográfico

Para que o grupo/classe realize uma síntese de seu trabalho, o professor pode propor a seus alunos que montem um painel com as fotos inscritas para o concurso.

As fotos devem ser fixadas em um local visível (pode-se utilizar papel kraft, cartão ou um mural da escola, se disponível). Entre as fotos, podem ser escritos trechos das sínteses dos alunos, de forma que qualquer pessoa que passe pelo local consiga relacionar as fotos aos textos escritos. Um texto ao lado do painel descrevendo as etapas do projeto e objetivos pode ser interessante para explicar a função do painel.

8. Realização do concurso de fotografias

Montado o painel (com as fotos já numeradas), o professor, de acordo com a direção da escola, escolhe as séries que votarão no concurso para a escolha da melhor foto sobre o tema "pôr-do-sol".

Uma estratégia interessante para a votação é aquela em que os alunos que realizaram o projeto escolhem três fotos diferentes e os das demais séries, outras duas. Isso permite ao aluno participante do projeto votar na sua própria foto, mas o obriga a votar em duas de outros colegas.

■ CRONOGRAMA

O projeto "O Sol nosso de cada dia" foi elaborado para ser realizado ao longo de oito semanas, nas quais o professor de física dedicaria uma aula/semana para que seus alunos concluam as atividades listadas e para que ele os oriente e os avalie continuamente.

Sugestão de cronograma de atividades

SEMANA	ETAPAS
1ª	1 e 2
2ª	3
3ª	4
4ª	4
5ª	Elaboração de textos e cartazes.
6ª	6
7ª	7 e 8
8ª	7 e 8

Quadro 12: continuação do projeto: "O Sol nosso de cada dia", como sugestão para a abordagem do conteúdo de Gravitação numa perspectiva interdisciplinar.

Fonte: FILHO, A. G. ; TOSCANO, C. *Física, volume único: ensino médio*. São Paulo: Scipione, 2005. (Assessoria Pedagógica, p. 35)

Embora o projeto proporcione a construção de um conceito para o termo interdisciplinaridade, vale destacar que seria interessante à obra, aliada a proposta de trabalho interdisciplinar, apresentar a definição do termo. É importante que o professor tenha uma fundamentação e um esclarecimento do conceito de interdisciplinaridade para bem aplicá-lo, uma vez que a proposta apresentada sugere uma articulação e um diálogo com professores de outras disciplinas.

No que se refere a história e filosofia da ciência, como articuladores para uma proposta inter e transdisciplinar, ressaltamos que, embora a obra destaque os conflitos e controvérsias científicas na história da ciência, que favorecem a construção do conhecimento científico, a

forma sintetizada e reducionista como é apresentado no capítulo 4, associada a ausência de uma definição para os termos inter e transdisciplinaridade, podem dificultar a abordagem da gravitação nestas perspectivas, principalmente para aqueles que não possuem uma boa fundamentação teórica. Como sugestão, quando os autores destacam a confissão de Galileu, seria uma oportunidade para aplicar aquilo que destacamos no capítulo 2, item 2.7 deste trabalho: “Pode-se discutir com os alunos diversos aspectos de História da Ciência e da liberdade de expressão. Pode-se fazer um trabalho interdisciplinar envolvendo os professores de História e de Artes (encenando-se o julgamento de Galileu) etc” (ASSIS, 2005, p. 142).

Destacamos ainda que para as perspectivas inter e transdisciplinares, a obra poderia explorar mais amplamente as inúmeras aplicações tecnológicas que o conteúdo favorece.

Livro 4:

LUZ, A. M. R. ; ÁLVARES, B. A. *Física: volume 1*. São Paulo: Scipione, 2005.

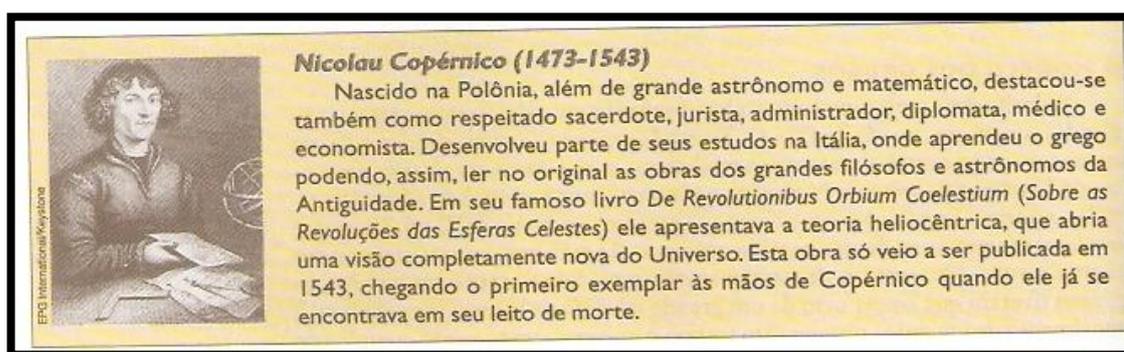
1. Quanto à disposição geral do livro:

A obra de 376 páginas, compreende o volume 1 e está estruturada em 4 unidades e 8 capítulos. Traz no final um suplemento de 152 páginas, destinado ao professor, cujo título é: “*Assessoria Pedagógica*”. Das 376 páginas da obra, 31 compreende o capítulo 6, que traz por título: “*Gravitação Universal*” e este, está estruturado em seis itens, são eles:

1. Introdução. (p. 207)
2. As leis de Kepler. (p. 208)
3. Gravitação Universal. (p. 212)
4. Movimento de Satélites. (p. 217)
5. Variação da aceleração da gravidade. (p. 221)
6. O triunfo da Gravitação Universal. (p. 225)

Explorando no capítulo recursos como: figuras coloridas (fotos e representações esquemáticas), textos, exemplos e exercícios de fixação. Os autores ainda trazem no final do capítulo, seções que auxiliam na compreensão e fixação dos conceitos abordados, são elas: *revisão* (p. 228), *algumas experiências simples* (p. 229), *problemas e testes* (p. 230), *questões de vestibular* - que se encontram no final do livro (p. 233) e *problemas suplementares* (p. 233).

No item 1, os autores fazem uma breve abordagem histórica, destacando que as primeiras tentativas para explicar o movimento dos corpos celestes se deram com os gregos. Destacam e ilustram o sistema de Ptolomeu e apresentam (sem ilustração) o sistema heliocêntrico de Copérnico. Ao abordarem o sistema heliocêntrico de Copérnico, os autores enfatizam sua reluta, em virtude de seu modelo ser fundamentalmente contrario a filosofia aristotélica e as doutrinas religiosas da época. Apresentam ainda em forma de caixa de texto, o seguinte comentário a respeito de Copérnico:

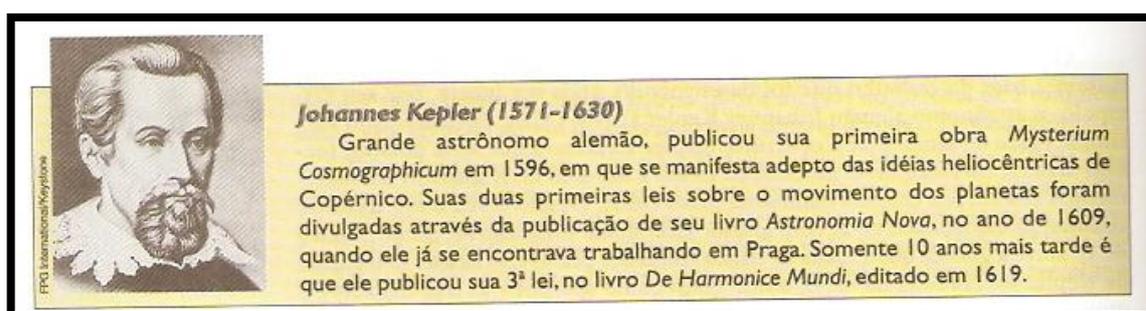


Quadro 13: texto referente a Copérnico.

Fonte: LUZ, A. M. R. ; ÁLVARES, B. A. *Física: volume 1*. São Paulo: Scipione, 2005. p. 208.

E encerram o item com uma série de exercícios de fixação.

Os autores iniciam o item 2 destacando a influência das observações e registros de Tycho Brahe nos trabalhos de Kepler. Trazem as definições das leis de Kepler, explicando-as satisfatoriamente e explorando recursos textuais e figuras coloridas (representações esquemáticas). Exploram a linguagem algébrica da terceira lei e trazem uma série de exercícios de fixação que exploram os conceitos abordados. Apresentam também, em forma de caixa de texto, o seguinte comentário a respeito de Kepler:



Quadro 14: texto referente a Kepler.

Fonte: LUZ, A. M. R. ; ÁLVARES, B. A. *Física: volume 1*. São Paulo: Scipione, 2005. p. 210.

E encerram o item com um comentário dos trabalhos de Kepler que julgamos importante destacá-lo:

Com o trabalho de Kepler, as leis básicas do movimento dos planetas haviam sido descobertas e as bases da Mecânica Celeste estavam lançadas. Entretanto, o que Kepler fez foi descrever este movimento sem se preocupar com suas causas; em outras palavras, as leis de Kepler constituem a Cinemática do movimento planetário. (...), alguns anos mais tarde, Newton, baseado nos trabalhos de Kepler, desenvolveu a Dinâmica do movimento dos planetas e descobriu uma das leis fundamentais da natureza: a Lei da Gravitação Universal (p. 211).

No item 3, os autores apresentam a lei da Gravitação Universal. Introduzem o item destacando que Newton, apoiado nas leis de Kepler admitia que as leis do movimento fossem válidas tanto para a Terra como para a esfera celeste. Apresentam a lei da Gravitação Universal, explorando também sua expressão matemática, segundo as conclusões de Newton a cerca da força de atração que a Terra exerce sobre a queda de uma maçã (como os autores apresentam no texto), ser a mesma que a Terra exerce sobre a Lua.

Ainda no item 3, os autores trazem a verificação experimental da lei da Gravitação Universal, com uma representação esquemática da balança de torção, segundo a experiência do físico inglês Henry Cavendish (p. 214). Apresentam um exemplo da medida da massa da Terra (p. 214-215) e uma série de exercícios de fixação dos conceitos abordados. Explorando recursos como textos, figuras coloridas (fotos e representações esquemáticas), os autores encerram o item com um texto explicando o buraco negro e com uma representação esquemática das tendências de expansão e contração de uma estrela. Percebe-se com este texto, que os autores introduzem temas relacionados à Física Moderna.

No item 4, intitulado “*Movimento de Satélites*”, os autores, explorando recursos textuais, figuras ilustrativas, sendo uma delas o famoso desenho encontrado nos *Principia* de Newton, onde ele demonstra como é possível colocar um objeto em órbita ao redor da Terra (figura 22 deste trabalho), fotos e representações algébricas, abordam os seguintes tópicos: *como é possível colocar um satélite em órbita* (p. 217), *o cálculo da velocidade do satélite* (p. 218), *período de satélite* (p. 218), *o satélite estacionário* (p. 218-219).

Ainda no item 4, trazem um exemplo, onde determinam o valor da velocidade horizontal para que um objeto entre em órbita ao redor da Terra e, uma série de exercícios de fixação.

Encerram o item com um texto, seguido de representações esquemáticas, destacando que a força de atração gravitacional que a Terra exerce sobre um corpo qualquer em sua superfície é dirigida para o centro de nosso planeta.

No item 5, os autores apresentam a expressão matemática da aceleração da gravidade, comentam a equação ($g = GM / r^2$), apresentam duas tabelas, uma da variação da g com a altitude, outra da variação de g com a latitude. Explicam e trazem um exemplo da expressão da aceleração da gravidade na superfície da Terra e de outros corpos celestes. Destacam em forma de caixa de texto, um texto com representação esquemática do peso aparente de um corpo no Equador (p. 223-224), e finalizam o item com uma série de exercícios de fixação.

Finalizando o capítulo, no item 6, intitulado “*O triunfo da Gravitação Universal*”, apresentado como um tópico especial, os autores abordam, utilizando recursos como texto e figuras coloridas (fotos e representações esquemáticas), os seguintes tópicos: *as marés são causadas pelas atrações gravitacionais do Sol e da Lua* (p. 225), *o eixo da Terra muda de direção contínua e lentamente* – explicação do fenômeno da precessão (p. 226), *os planetas sofrem pequenas perturbações em suas órbitas elípticas* (p. 227), *a descoberta do planeta Netuno* (p. 227). Encerram o item com uma série de exercícios de fixação.

Na Assessoria Pedagógica, os autores fazem a apresentação da obra, iniciando com a seguinte fala de Richard Feynman proferida, conforme os autores destacam em nota de rodapé, durante a 1ª Conferência Interamericana de Ensino de Física, na década de 1950, durante sua estada no Brasil. A saber:

“O problema de ‘ensinar física na América Latina’ é apenas parte de um problema maior, que é o de ‘ensinar física em qualquer lugar’ que, aliás, está incluído num problema mais amplo, que é o de ‘ensinar qualquer coisa em qualquer lugar’ e para o qual não é conhecida uma solução satisfatória”
(FEYNMAN, 1950, apud LUZ, ÁLVARES, 2005, p. 4).

Em seguida, trazem em forma de tabela a sequência dos tópicos abordados nos três volumes de cada livro (p.5). Apresentam os aspectos gerais da obra (p.6), destacando os cuidados com a linguagem e a atenção para os princípios e conceitos e as características da obra (p.7). Comentam os exercícios diversos (p.8), tópico especial (p.8), atividades experimentais (p.9), problemas e testes, problemas suplementares e questões de vestibular (p.9). Finalizando a apresentação destacam o ensino de Física e os PCNEM (p.10).

Trazem sugestões de bibliografia recomendada aos professores para informações e pesquisas, com ênfase nos seguintes temas:

1. Introdução à filosofia, educação, pesquisas em educação e assuntos correlatos (p.12)
2. Física para o ensino fundamental e médio (p.13)
3. Física para graduação (p.14)
4. Exercícios, problemas, questões de vestibulares e atividades experimentais (p.14)
5. Física moderna e contemporânea (p.15)
6. Áreas específicas de Física: Astronomia, Astrofísica e Cosmologia (p.16)
7. História da ciência (p.17)
8. Divulgação e popularização da ciência (p.18)

Trazem também páginas da internet recomendadas aos professores para informações e pesquisas. Tais páginas são divididas em:

- Instituições (p.19)
- Revistas de ensino de física (p.20)
- Materiais para demonstrações experimentais em Física (p. 20)
- Ferramentas de busca (p.20)

Apresentam sugestões para o planejamento do curso e comentam cada capítulo do livro e suas respectivas seções. Trazem as resoluções dos problemas e testes, dos exercícios de fixação, e por fim, das questões de vestibular propostas para cada capítulo.

2. Quanto à perspectiva interdisciplinar e transdisciplinar:

Embora os autores apresentem os seguintes comentários:

No início da segunda década do século passado, o psicólogo suíço Jean Piaget, que também se interessava por estudos de Biologia e Epistemologia, lançava as primeiras idéias sobre sua teoria do conhecimento, especialmente sobre o desenvolvimento cognitivo das crianças, sugerindo que o pensar não seria um processo refinado de “tentativas e erros”. Com sua colaboração e de outros pesquisadores da área, que começava a crescer, novas teorias envolvendo pensamento e a linguagem foram surgindo (p.11).

Uma ótima oportunidade para apresentarem as idéias e as definições de Piaget para os termos inter e transdisciplinaridade (como vimos no capítulo1, item 1.2, deste trabalho), não

encontramos na obra, definições para os termos, nem propostas seguidas de encaminhamentos metodológicos, para se trabalhar o conteúdo numa perspectiva inter e transdisciplinar. A ausência dessas definições dificulta a aplicação nestas perspectivas, principalmente para aqueles que não possuem uma boa fundamentação teórica, nem um esclarecimento a respeito dos termos em questão.

Embora a obra traga uma gama de sugestões bibliográficas e demonstre a importância da abordagem histórica e filosófica da ciência, o elemento história da ciência é abordado no capítulo, de forma superficial e reducionista. Podemos destacar como exemplo, quando os autores citam que o sistema de Copérnico era fundamentalmente contra a filosofia aristotélica, seria interessante apresentarem (no capítulo) o modelo aristotélico, destacando a grande influência que esse filósofo teve na História da Ciência, pois como vimos no capítulo 2 deste trabalho: “não houve campo do conhecimento científico no qual Aristóteles não tenha prestado alguma contribuição” (CHASSOT, 2004, p. 55). Outra questão, que também iria favorecer uma perspectiva inter e transdisciplinar, seria destacar a influência da Revolução Científica no pensamento humano.

Percebemos na obra uma preocupação com questões tecnológicas e temas atuais que abordam conceitos de Física Moderna, apresentadas ao longo do capítulo e principalmente no tópico especial. Tal disposição do conteúdo pode favorecer uma abordagem inter e transdisciplinar, porém, como destacamos, a ausência de uma definição e de propostas pedagógicas, seguidas de encaminhamentos metodológicos e direcionadas especificamente para uma perspectiva inter e transdisciplinar, não estimulam a abordagem do capítulo em tais perspectivas.

Livro 5:

PENTEADO, P. C. M. ; TORRES, C. M. A. *Física – ciência e tecnologia. Volume 1*. São Paulo: Moderna, 2005.

1) Quanto à disposição geral do livro

A obra de 230 páginas, compreende o volume 1 e está estruturada em duas unidades e oito capítulos. Traz também um suplemento de 31 páginas destinado ao professor, intitulado: *Suplemento para o professor*. Das 230 páginas, 26 são destinadas ao conteúdo de gravitação (p. 173-199). Este conteúdo é abordado no capítulo 7, cujo título do capítulo é: “*Gravitação*

Universal” e este, pertence a unidade 2, intitulada: “*Força e energia*”. O capítulo 7 (Gravitação Universal) está dividido em sete itens:

1. O que sabemos do universo. (p. 173-177)
2. Um recuo no tempo. (p. 177-182)
3. As leis de Kepler do movimento planetário. (p. 182-187)
4. A lei da Gravitação Universal. (p. 187-190)
5. Satélites em órbita. (p. 190-194)
6. Os satélites de comunicação. (p. 194-196)
7. A aceleração da gravidade. (p. 196-199)

Os autores abordam os sete itens do capítulo utilizando textos, figuras coloridas, exemplos e exercícios, seções de atividade em grupo, aplicações tecnológicas, o que diz a mídia, proposta experimental e uma seção de questionamento intitulada: “*Você sabe por quê?*”.

Na página 199 a obra ainda traz sugestões de leitura, com comentários de cada obra sugerida.

Abaixo destacaremos as sugestões apresentadas na obra:

Sugestões de leitura

A harmonia dos mundos, capítulo III de *Cosmos*, de Carl Sagan (Rio de Janeiro, Livraria Francisco Alves Editora, 3. ed., 1992)
De modo muito agradável e didático, o autor, brilhante divulgador da ciência, descreve os caminhos dos cientistas para alcançar a verdade do conhecimento científico.

***Big Bang*, de Heather Couper e Nigel Henbest (São Paulo, Editora Moderna, 1. ed., 1998)**
Com grande quantidade de ilustrações e numa linguagem acessível, mas sem perder o rigor científico, os autores contam como teria surgido o Universo a partir dessa grande explosão primordial e discorrem sobre o empenho dos cientistas em encontrar provas de que realmente foi assim que aconteceu.

***Buracos negros*, de Heather Couper e Nigel Henbest (São Paulo, Editora Moderna, 1. ed., 1997)**
Com uma profusão de excelentes ilustrações, os autores explicam de maneira clara o surgimento de um buraco negro. Procuram, assim, desvendar um pouco do mistério que cerca esse ao mesmo tempo fantástico e aterrador elemento de nosso Universo.

***Estação Terra – comunicação no tempo e no espaço*, de Dora Incontri (São Paulo, Editora Moderna, 5. ed., 1993, Coleção Desafios)**
Embora não seja um livro específico de comunicação por satélites, ele proporciona, com uma linguagem bem acessível, uma viagem através da história da comunicação, desde o advento da palavra até os modernos recursos tecnológicos de comunicação.

***Nós e o Universo*, de Elisabeth Barolli e Aurélio Gonçalves Filho (São Paulo, Editora Scipione, 5. ed., 1993, Coleção O Universo da Ciência)**
Os autores, de maneira bem didática, discutem como as estrelas evoluem, como se dá o movimento dos astros no sistema solar, discutindo como as idéias se modificaram no decorrer dos séculos. A seguir, apresentam a lei da gravitação universal e suas implicações, como por exemplo o fenômeno das marés. Há ainda, ao final, a proposição de várias e interessantes atividades práticas.

***Os segredos do sistema solar*, de Paulo Sérgio Bretones (São Paulo, Atual Editora, 8. ed., 1993, Coleção Projeto Ciência)**
Numa linguagem clara e acessível, o autor faz, de início, um passeio através da história da Astronomia, ressaltando como os povos antigos entendiam o céu e os fenômenos astronômicos. Passando pela verdadeira revolução determinada pelos trabalhos de Copérnico, Galileu e Kepler, chega às idéias atuais sobre o sistema solar, descrevendo com pormenores as características dos vários planetas e de outros astros, como os asteróides e os cometas.

***Vida de Galileu in Teatro completo*, de Bertold Brecht (São Paulo, Editora Paz e Terra, 4. ed., 1991, v. 6)**
Embora romaneada, esta peça teatral do grande autor alemão Brecht dá uma idéia do compromisso de um homem com a verdade científica, mesmo que para isso tenha de enfrentar a prepotência e o autoritarismo.

Quadro 15: sugestões de leituras e comentários.

Fonte: PENTEADO, P. C. M. ; TORRES, C. M. A. *Física – ciência e tecnologia*. São Paulo: Moderna, 2005. p. 199.

No item 1, dividido em três subitens: A teoria do Big Bang; Os buracos negros; A formação do sistema solar. Os autores fazem uma abordagem do cenário atual, no que se refere aos conhecimentos do Universo. Utilizando os recursos (textos, figuras coloridas, o que diz a mídia e atividade em grupo), trazem à tona tópicos de Física Moderna ligados aos conhecimentos cosmológicos. Para abordarem a teoria do Big Bang, os autores citam que esta foi reformulada pelo físico George Gamow e põe em relevo a radiação cósmica de fundo, como uma forte evidência da teoria (p. 173). Mostram uma figura da fonte: Scientific American, que representa um esquema da evolução do universo (p. 174) e apresentam um tópico: “*O que diz a mídia!*”, onde trazem um artigo de Gregg Eastbrook, a respeito da expansão do universo, publicado no O Estado de S. Paulo, 26 de julho de 1998, tradução de Ruth Helena Bellighini, cujo título é: “*A trajetória de uma teoria*” (p. 174).

Ao abordarem *Os buracos negros*, os autores apresentam seu processo de formação, utilizando como recursos: textos e figuras coloridas (representação esquemática) (p. 175). Propõe ainda nesta abordagem uma atividade em grupo (p.175), tal atividade sugere que os alunos assistam o filme *Contato*, do cineasta Robert Zemeckis, cuja a origem está no romance *Contato*, de autoria do físico Carl Sagan e ao término discutam os principais aspectos científicos que o filme aborda.

Por fim, os autores fazem uma abordagem referente a formação do sistema solar. Utilizam como recursos: textos e figuras coloridas que representam esquematicamente a formação do sistema solar (p. 176).

O item 2, é dividido em cinco subitens: Os filósofos da Grécia antiga; O modelo de Ptolomeu; O modelo de Copérnico; As contribuições de Galileu Galilei e O trabalho de Johannes Kepler. Neste item, os autores trazem um cenário histórico, abordando-o através de textos e figuras coloridas. Introduzem o item (p. 177), destacando que as primeiras observações astronômicas remontam aos tempos pré-históricos, porém, sem cunho científico. Como exemplo, os autores destacam as observações realizadas pelos povos egípcios e chineses e suas crendices.

Em seguida, abordam resumidamente as idéias de alguns filósofos gregos da antiguidade, tais como: Tales de Mileto, Anaximandro, Anaximenes, Pitágoras, Anaxagoras, Platão, Aristóteles e Aristarco de Samos (p. 178). Vale destacar que os autores abordam Aristóteles e

Aristarco de Samos de forma pouco mais ampla que os demais filósofos, apresentando suas concepções de universo e seus modelos, porém, sem ilustrações, apenas de forma textual.

Continuando a abordagem histórica, os autores apresentam o modelo ptolomaico (p. 179). Iniciam destacando as várias contribuições de Hiparco de Nicéia para a Astronomia e citam que o modelo geocêntrico de Hiparco foi sistematizado por Ptolomeu. Utilizando recursos textuais e representações esquemáticas, os autores abordam o modelo planetário de Ptolomeu destacando algumas de suas contribuições, principalmente para as grandes navegações.

Explorando ainda o cenário histórico, os autores também apresentam o modelo de Copérnico. Iniciam destacando a ousadia de Giordano Bruno em propagar a idéia de um universo infinito, além de ser um defensor do sistema planetário copernicano. A descrição do modelo heliocêntrico, proposto por Copérnico, é feita através de texto e de uma figura, datada de 1708, que representa o sistema planetário de Copérnico (p. 180). Como sugestão, a obra poderia ter explorado nesta abordagem, alguns fatos importantes, tal como a Revolução Científica e sua influência no rompimento de antigos paradigmas.

De forma bastante sintética, Galileu também é citado pelos autores (p. 181). Ele aparece nesse cenário histórico, devido ao aperfeiçoamento dos instrumentos astronômicos por ele realizado e em virtude de suas observações apresentarem evidências que confirmam o modelo copernicano.

Encerrando o item 2, os autores apresentam um tópico, abordando o trabalho de Johannes Kepler (p. 181). Iniciam destacando as contribuições de Tycho Brahe para a Astronomia, alguns fatos que o fizeram ter fortes inclinações para os estudos astronômicos, como por exemplo, o surgimento de uma nova estrela. Apresentam um esquema de seu sistema planetário e destacam seu mérito em registrar com precisão as posições planetárias. Em seguida, os autores enfatizam a grande sacada de Kepler, conhecedor dos registros de Tycho Brahe, em provar que a órbita descrita pelos planetas é uma elipse.

No item 3, dividido em três subitens: Primeira lei de Kepler ou lei das órbitas; Segunda lei de Kepler ou lei das áreas e Terceira lei de Kepler ou lei dos períodos. Os autores trazem num texto central a definição das leis de Kepler, apresentando-as também numa linguagem matemática, além de utilizarem para a primeira e segunda lei, figuras ilustrativas.

Além do texto central, exemplo da aplicação matemática da terceira lei e dos exercícios propostos no item, os autores trazem quatro seções em forma de caixas de texto. A primeira é uma proposta experimental (p. 183), que consiste na construção de uma elipse para representar as órbitas dos planetas e para verificar a excentricidade, seguida de alguns questionamentos referente a posição do Sol. A segunda é uma atividade em grupo (p. 184), onde os autores propõem uma pesquisa, seguida de uma apresentação referente aos planetas do sistema solar, comparando os tamanhos, as distâncias em relação ao Sol e os períodos, organizados numa tabela. Na terceira (*Você sabe por quê?*), os autores fazem uma breve introdução, descrevendo o cometa Halley, em seguida lançam um questionamento referente a excentricidade e os períodos dos cometas (p. 184). Por fim, na quarta seção (*O que diz a mídia!*), os autores trazem um artigo (p. 186-187), de Hertton Escobar, com The Times e Associated Press, publicado no O Estado de S. Paulo em 21 de fevereiro de 2001. O artigo tem por título: *Planetas como a Terra podem ser comuns na galáxia*. E por subtítulo: *Descoberta fortalece teoria de que existe vida abundante em outros sistemas planetários*.

No item 4, os autores definem a lei da Gravitação Universal. Apresentam um primeiro enunciado destacando que: *“Matéria atrai matéria na razão direta de suas massas e na razão inversa do quadrado da distância”* (p.187). Trazem uma figura da queda da maçã e relacionam a força de queda como sendo de mesma natureza da força que mantém a Lua em órbita (p. 187). Fazendo um comentário do avanço da ciência, os autores destacam:

É interessante citar aqui as palavras de Newton, ao valorizar os trabalhos e as conclusões a que chegaram Kepler e Galileu em relação aos movimentos dos astros: “Se consegui enxergar tão longe foi porque subi nos ombros de gigantes”. Que notável reconhecimento ao trabalho de seus antecessores! Isso mostra que a ciência não é fruto da intuição e da iluminação de uma única pessoa, mas resulta de um esforço coletivo, não no sentido de se trabalhar junto, mas de que é muito importante saber o que foi feito antes, a fim de se ter uma base para novas descobertas, novas teorias, novos modelos. É assim que a ciência avança e foi assim que o ser humano conseguiu chegar ao desenvolvimento tecnológico de nossos dias (p. 187-188).

Em seguida, os autores trazem um segundo enunciado e uma fórmula que constitui a lei da Gravitação Universal. Destacam que o valor da constante de Gravitação Universal foi obtido de forma experimental, em 1798, por Henry Cavendish, cientista inglês, porém, no item, os autores não descrevem tal experimento. Além de apresentarem uma figura representando esquematicamente a intensidade da força de atração gravitacional, exemplo e exercícios que

exploram os conceitos e a formulação matemática abordados no item, os autores trazem uma seção (*Você sabe por quê?*), que se constitui num questionamento referente ao fenômeno das marés.

No item 5, os autores fazem uma introdução, destacando três questionamentos referentes aos satélites, são eles:

- *Com que velocidade e com que período os satélites se movimentam?*
- *A que altura em relação à Terra eles devem ser colocados?*
- *Será que não há perigo de eles se chocarem?* (p.190)

O desenvolvimento do item é basicamente as respostas dos questionamentos. Para o primeiro questionamento, eles exploram a linguagem algébrica, mostrando como calcular a velocidade e o período de um satélite. Para o segundo e terceiro questionamentos os autores trazem uma breve resposta em forma de texto. Os autores trazem também no item uma explicação sintetizada da imponderabilidade em órbita. Além de apresentarem fotos de satélites, tais como: satélite meteorológico Meteosat-6 em construção, no ano de 2000 (p.191), do telescópio Hubble (p.191) e de uma representação esquemática de um satélite em órbita (p.190), os autores trazem uma série de exercícios que exploram os conceitos abordados.

O item 6 é constituído de esquemas ilustrativos e de um texto central onde é abordado a importância e as condições para que um satélite geoestacionário seja colocado em órbita. Após os comentários sobre a utilidade dos satélites na transmissão de um sinal de rádio e TV, os autores trazem uma série de exercícios que exploram os conceitos abordados e uma seção intitulada "*Aplicação Tecnológica*", onde os autores apresentam fatos relacionados aos avanços da Astronáutica.

Por fim, no item 7 os autores apresentam uma linguagem algébrica para a aceleração da gravidade. Introduzem o item com o conceito de campo gravitacional e o encerram com uma série de exercícios que exploram os conceitos abordados.

O suplemento para o professor é dividido em três partes: Apresentação; Parte geral e Parte específica. Na apresentação (p.5), os autores fazem uma breve descrição da obra e de seus aspectos pedagógicos-metodológicos. Na parte geral, os autores destacam as competências e

habilidades de acordo com os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN), no que se refere ao ensino de Física listado pela Secretaria de Educação Média e Tecnológica (Semtec) (p.6-7). Apresentam alguns destaques de pesquisas na área de ensino de Ciência, no que se refere às práticas pedagógicas. Trazem as características da coleção (p. 7-8), destacando os objetivos da obra. Comentam as atividades e seções apresentadas nos capítulos (p. 9-10). Trazem sugestões para a utilização da obra (p.10-11), destacando: leitura silenciosa, exemplos resolvidos, exposição do professor e exercícios propostos. Apresentam um trecho das “Orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais”, in PCN + Ensino Médio; Ciências da Natureza, Matemática e suas tecnologias (p. 11-12), referente ao processo de avaliação. Trazem a indicação de locais onde podem ser obtidas diversas informações sobre educação (p. 12-13). E, encerrando a Parte Geral, destacam algumas referências bibliográficas, divididas em: metodologia e didática do ensino de História da Física. Na parte específica, os autores fazem a descrição do Volume 1 e comentários discriminados por capítulos, onde são apresentados objetivos, conceitos principais, estratégias didáticas, resolução de exercícios e respondem os questionamentos da seção *Você sabe por quê?*

2) Quanto à perspectiva inter e transdisciplinar

Destacando, no suplemento para o professor, que: *“As habilidades e competências a serem desenvolvidas, aliadas às práticas pedagógicas sugeridas, evidenciam que o Ensino Médio deve transcorrer de forma contextualizada e interdisciplinar.”*(p. 7). A obra ainda apresenta um parágrafo, onde os autores fazem menção do termo interdisciplinaridade, neste parágrafo, eles destacam:

A interdisciplinaridade propõe que os conteúdos e as situações de aprendizagem sejam trabalhados de modo a destacar as múltiplas interações com as várias disciplinas do currículo, superando, na medida do possível, a separação entre elas. Algumas disciplinas, como a Física e a Matemática, por exemplo, têm muitas afinidades e pontos em comum, portanto os professores dessas disciplinas podem aplicar, conjuntamente, projetos de investigação, visando ao desenvolvimento do aluno nas duas (ou mais) matérias. De modo geral, as Ciências Naturais – Física, Química e Biologia – “conversam entre si” usando a linguagem da Matemática (p. 7).

Os autores trazem também alguns trechos que caracterizam uma definição para o termo interdisciplinaridade. Primeiramente ao transcreverem as competências e habilidades no

ensino de Física, listadas pela Secretaria de Educação Média e Tecnológica (Semtec), no que se refere a investigação e compreensão: *“Articular o conhecimento físico com conhecimento de outras áreas do saber científico.”* (p. 6). E no que se refere a contextualização sociocultural, que nos remete a uma perspectiva inter e transdisciplinar:

- *Reconhecer a Física enquanto construção humana, aspectos de sua história e relações com o contexto cultural, social, político e econômico.*
- *Reconhecer o papel da Física no sistema produtivo, compreendendo a evolução dos meios tecnológicos e sua relação dinâmica com a evolução do conhecimento científico.*
- *Dimensionar a capacidade crescente do homem propiciada pela tecnologia.*
- *Estabelecer relações entre o conhecimento físico e outras formas de expressão da cultura humana.*
- *Ser capaz de emitir juízos de valor em relação a situações sociais que envolvam aspectos físicos e/ou tecnológicos relevantes* (p. 6-7).

A definição apresentada para o termo interdisciplinaridade tem coerência com as definições apresentadas no capítulo 1, item 1.2 deste trabalho. Como citamos, baseados em todas as definições para os termos interdisciplinaridade lá apresentadas, podemos sintetizar que a interdisciplinaridade se refere a uma interação entre as diversas disciplinas, ficando claro nessa interação a relação de reciprocidade e dependência entre elas. Como Piaget destaca: *“Interdisciplinaridade. Segundo nível de associação entre disciplinas, em que a cooperação entre várias disciplinas provoca intercâmbios e, conseqüentemente, enriquecimentos mútuos”* (PIAGET, 1979 *apud* SANTOMÉ, 1998, p. 70).

Ainda identificando trechos na obra que caracterizam uma definição para os termos inter e transdisciplinaridade, percebemos que os autores destacam num dos objetivos da obra: *“Aplicar os conceitos da Física a outras áreas do conhecimento, como a Química, a Biologia, a Astronomia, a Medicina, assim como a Matemática, que é utilizada nos principais manuais didáticos como uma linguagem universal dessas áreas”* (p. 8). E ressaltam que a seção *“Atividade em grupo”* também direciona para um trabalho numa perspectiva interdisciplinar, como os próprios autores destacam:

As atividades dessa seção estimulam também o desenvolvimento da habilidade de articular o conhecimento físico com conhecimentos de outras áreas do saber científico e a competência para reconhecer a Física enquanto construção humana, aspectos de sua história e relações com o contexto cultural, social, político e econômico (p. 9).

A obra não traz nenhuma definição direta para o termo transdisciplinaridade.

Embora a obra traga em seu conteúdo elementos que definem o termo interdisciplinaridade e, a disposição do conteúdo no capítulo, as seções, os textos sobre questões tecnológicas e principalmente os tópicos de História da Ciência (que se constitui num instrumento articulador, cuja forma e idéias expostas favorecem em diversos momentos a compreensão da evolução do conhecimento científico), tem relevância e pode ser um instrumento favorecedor de um trabalho numa perspectiva inter e transdisciplinar. Porém, verificamos nesta análise, que há ausência de propostas pedagógicas com as respectivas metodologias e isso é um fator que dificulta a concretização de uma abordagem em tais perspectivas. Uma vez que a obra define o termo, mas não expõe como aplicá-lo.

4.3- Resultado (destaque das informações fornecidas pela análise)

1. Quanto à disposição geral dos livros:

A análise das cinco obras, indicadas pelo PNLEM/2009, no que se refere a abordagem e disposição do conteúdo de Gravitação, revelou algumas características e semelhanças comuns às cinco obras. Primeiramente, as cinco obras apresentam o conteúdo com clareza e de forma bem estruturado, abordando os conceitos principais que são característicos do conteúdo (Introdução Histórica, Leis de Kepler e Leis da Gravitação Universal). Essa disposição é feita, de forma comum nas cinco obras, intercalando textos, figuras (sendo elas fotos e/ou representações esquemáticas) e exercícios. Algumas obras, além dessa estrutura geral comum, trazem algumas particularidades (sendo três as que julgamos principais), abordando conceitos que são pertinentes e enriquecem o conteúdo de Gravitação. A tabela abaixo nos trará a primeira particularidade, os tópicos abordados em cada livro e o número de páginas destinadas a cada capítulo.

Tabela 6: tópicos abordados por cada obra e número de páginas de cada capítulo

Obras analisadas	Tópicos abordados em cada obra	Número de páginas de cada capítulo
Livro 1	1. De Aristóteles à Tycho Brahe. 2. As Leis de Kepler. 3. Lei da Gravitação Universal. 4. Corpos em órbitas circulares. 5. Aceleração da gravidade e Campo gravitacional. 6. Energia Potencial.	29

Livro 2	1. Sistemas planetários. 2. Leis de Kepler. 3. Lei da Gravitação Universal. 4. Terceira Lei de Kepler e velocidade orbital.	9
Livro 3	1. As órbitas dos planetas e dos satélites: as leis de Kepler. 2. Lei da Gravitação Universal. 3. Campo gravitacional. 4. Força centrípeta.	16
Livro 4	1. Introdução. 2. As leis de Kepler. 3. Gravitação Universal. 4. Movimento de Satélites. 5. Variação da aceleração da gravidade. 6. O triunfo da Gravitação Universal.	31
Livro 5	1. O que sabemos do universo. 2. Um recuo no tempo. 3. As leis de Kepler do movimento planetário. 4. A lei da Gravitação Universal. 5. Satélites em órbita. 6. Os satélites de comunicação. 7. A aceleração da gravidade.	26

A segunda particularidade, é que as obras, além dos recursos: textos, figuras e exercícios (de diversos títulos), trazem as seções apresentadas na tabela abaixo:

Tabela 7: seções apresentadas nos capítulos de cada obra analisada

Obras analisadas	Seções
Livro 1	Complemento; revisão; desafios; aprofundamento; sugestões de leituras
Livro 2	Para você pensar; Para você resolver; Atividade em grupo
Livro 3	Texto e interpretação
Livro 4	Revisão; algumas experiências simples; problemas e testes; questões de vestibular; problemas suplementares
Livro 5	atividade em grupo; aplicações tecnológicas; o que diz a mídia; proposta experimental; “Você sabe por quê?”

As cinco obras têm em comum, a presença de um suplemento destinado ao professor. Porém, cada suplemento tem suas particularidades. Como terceira particularidade principal das obras, destacamos abaixo as diversas abordagens que cada suplemento traz:

Tabela 8: principais abordagens dos suplementos destinados aos professores

Obras analisadas	Título do suplemento	Principais abordagens do suplemento	Número de páginas do suplemento
Livro 1	<i>Manual do Professor</i>	-apresentação dos perfis dos autores; -apresentação da obra;	47

		<ul style="list-style-type: none"> -destaque de alguns pontos de documentos que norteiam o ensino médio brasileiro, tais como: Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB), Lei 9394/96 e Diretrizes Curriculares Nacionais do Ensino Médio; -objetivos gerais da obra; -tópico: “<i>Conheça esta coleção</i>”; -destacam várias leituras e sites direcionados ao professor; -comentários específicos; -relação dos pontos de contextualização, conexão com outras áreas do conhecimento e com outros tópicos da Física; -resolução dos desafios e alguns exercícios propostos. 	
Livro 2	<i>Manual do professor</i>	<ul style="list-style-type: none"> -apresentação da obra; -comenta as quatro unidades, o complemento sobre Física Moderna e os respectivos exercícios, questões, atividades e experimentos que acompanham cada capítulo; -apresenta alguns pontos principais dos PCNs; -apresenta um conjunto de sugestões para o aprimoramento profissional do professor; -apresenta sugestões de atividades interdisciplinares e de contextualização; -traz orientações para o desenvolvimento de cada capítulo; -resolução dos exercícios e questões propostos no livro. 	208
Livro 3	<i>Assessoria Pedagógica</i>	<ul style="list-style-type: none"> -trazem uma orientação teórica-metodológica da obra, destacando o objetivo central da mesma; -apresentam uma estruturação geral da obra, com sugestões para a distribuição do conteúdo em três anos; -dão ênfase à questões relacionadas ao processo de avaliação; -Fazem um detalhamento do curso, com comentários, sugestões para o trabalho em classe e distribuição do conteúdo por número de aulas semanais; -trazem uma proposta de se trabalhar alguns conteúdos com projetos; -trazem a resolução de exercícios, textos suplementares com questões referente aos mesmos, sugestões de filmes e séries, com procedimentos metodológicos para os mesmos e indicações bibliográficas para o professor. 	112
Livro 4	<i>Assessoria Pedagógica</i>	<ul style="list-style-type: none"> -apresentação da obra; -apresentam os aspectos gerais da obra; -comentam os exercícios diversos, tópico especial, atividades experimentais, problemas e testes, problemas suplementares e questões de vestibular; -destacam o ensino de Física e os PCNEM (p.10). -trazem sugestões de bibliografia recomendada aos professores para informações e pesquisas; -trazem páginas da internet recomendadas aos professores para informações e pesquisas; -apresentam sugestões para o planejamento do curso; -comentam cada capítulo do livro e suas respectivas seções; -trazem as resoluções dos problemas e testes, exercícios de fixação e por fim das questões de vestibular propostas para cada capítulo. 	152
Livro 5	<i>Suplemento</i>	-descrição da obra e de seus aspectos pedagógicos-	31

	<i>para o professor</i>	metodológicos; -destacam as competências e habilidades de acordo com os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) no que se refere ao ensino de Física listados pela Secretaria de Educação Média e Tecnológica (Semtec); -apresentam alguns destaques de pesquisas na área de ensino de Ciência, no que se refere às práticas pedagógicas; -trazem as características da coleção, destacando os objetivos da obra; -comentam as atividades e seções apresentadas nos capítulos; -trazem sugestões para a utilização da obra; -apresentam um trecho das “Orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais”, in PCN + Ensino Médio; Ciências da Natureza, Matemática e suas tecnologias referente ao processo de avaliação; -trazem a indicação de locais onde podem ser obtidas diversas informações sobre educação; -destacam algumas referências bibliográficas; -fazem a descrição do Volume 1 e comentários discriminados por capítulos, onde são apresentados objetivos, conceitos principais, estratégias didáticas, resolução de exercícios e respondem os questionamentos da seção <i>Você sabe por quê?</i>	
--	-------------------------	--	--

Além dessas três particularidades, apresentadas nas tabelas acima, percebemos nos livros 3, 4 e 5, a introdução de temas de Física Moderna ligados o Cosmologia, dentro do próprio conteúdo de Gravitação.

2. Quanto à perspectiva interdisciplinar e transdisciplinar:

A análise das obras numa perspectiva inter e transdisciplinar revelaram alguns destaques que foram sistematizados na tabela abaixo:

Tabela 9: sistematização dos destaques fornecidos pela análise nas perspectivas inter e transdisciplinares

Pontos principais detectados na análise	Obras analisadas
Obras que citam e trazem uma definição para o termo <u>interdisciplinaridade</u> .	Livros 1, 2 e 5
Obras que citam e trazem uma definição para o termo <u>transdisciplinaridade</u> .	
Obras que trazem elementos que podem direcionar para a compreensão do termo <u>interdisciplinaridade</u> .	Livros 1, 2, 3, e 5
Obras que trazem elementos que podem direcionar para a compreensão do termo <u>transdisciplinaridade</u> .	Livros 1, 2 e 5
Obras que destacam tópicos (dentro do capítulo sobre Gravitação),	Livros 1 e 5

como forma de praticar a <u>interdisciplinaridade</u> .	
Obras que destacam tópicos (dentro do capítulo sobre Gravitação), como forma de praticar a <u>transdisciplinaridade</u> .	
Obras que trazem propostas com procedimentos metodológicos para abordar o conteúdo de Gravitação numa perspectiva <u>interdisciplinar</u> .	Livros 2 e 3
Obras que trazem propostas com procedimentos metodológicos para abordar o conteúdo de Gravitação numa perspectiva <u>transdisciplinar</u> .	
Obras que trazem definições para os termos <u>inter e/ou transdisciplinaridade</u> , diferentes dos apresentados no capítulo 1, item 1.2 deste trabalho.	Livro 1

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As pesquisas nas áreas de educação para a ciência têm avançado muito nos últimos anos. Esse avanço tem contribuído bastante no processo ensino-aprendizagem, fornecendo subsídios para a construção de propostas pedagógicas e recursos didáticos que acompanham a evolução do saber científico. Se olharmos ao nosso redor perceberemos que estamos cercados de tecnologias. Esse cerco faz com que a educação científica tenha um papel importantíssimo na sociedade, o de despertar nos cidadãos, a importância que a educação para a ciência faz na formação de indivíduos conscientes de seu papel nesse processo de evolução do conhecimento científico. Nesse sentido, Fusinato (2009) diz que:

Nas últimas décadas do século XX, grandes mudanças aconteceram no mundo, ligadas, principalmente, à evolução advinda do desenvolvimento da ciência e da tecnologia em todas as áreas do conhecimento humano. Vivemos um tempo de expectativas, de perplexidades e de crise de concepções e paradigmas, não porque participamos do início de um novo milênio, mas porque estamos num momento novo e rico em possibilidades.

Independente dos acordos entre as nações, a ciência ultrapassou as fronteiras surpreendendo a sociedade com novas terminologias, avanços científicos e tecnológicos nunca antes imaginados. Os meios de comunicação utilizados pela mídia divulgam quotidianamente os resultados da grande revolução científica. Nesse contexto, a formação de um cidadão crítico exige sua inserção numa sociedade em que o conhecimento científico e tecnológico é cada vez mais valorizado.

Um dos grandes méritos do início deste século é o fato da humanidade ter despertado sua consciência para a importância da educação. Importância essa traduzida pela necessidade fundamental de se viver em plenitude como pessoa e como cidadão participante da sociedade (FUSINATO, 2009, p. 11).

Porém, uma das fronteiras de maior destaque que a educação científica tem para superar, é o saber fragmentado, que ainda é uma realidade entranhada no meio educacional. Como Danhoni Neves (1998, p. 74) diz: “O que temos visto nas últimas décadas é a ciência sendo apreendida como um dado e não como uma possibilidade de construção e integração com as demais ciências e com as necessidades diárias do cidadão comum”. Percebemos que essa fragmentação ocorre não somente devido ao despreparo do professor, mas também devido a ausência de materiais didáticos que apresentem propostas concretas e não camufladas de um ensino de ciência de forma integrada, sendo perceptível as relações inter e transdisciplinares existentes no universo do conhecimento científico.

Destacando novamente e fazendo a releitura de um trecho do catálogo do programa nacional do livro para o ensino médio de física, vamos entender a importância de saber se os conteúdos

e as propostas apresentadas nos livros didáticos estão adequados para o ensino de Física numa perspectiva inter e/ou transdisciplinar.

O contexto educacional contemporâneo exige, cada vez mais, professores capazes de suscitar nos alunos experiências pedagógicas significativas, diversificadas e alinhadas com a sociedade em que estão inseridos. Nessa perspectiva, os materiais de ensino, e em particular o livro didático, têm papel relevante. As políticas públicas voltadas para a melhoria da qualidade de ensino devem levar em conta o compromisso com a melhoria e ampliação dos recursos didáticos disponíveis para o trabalho docente e para o efetivo apoio ao desenvolvimento intelectual do aluno (BRASIL, 2008, p.11).

Como já visto neste trabalho, tanto os Parâmetros Curriculares Nacionais, quanto as Orientações Curriculares para o Ensino Médio, direcionam para um ensino de Física contextualizado, com propostas inter e transdisciplinares. Todavia, o ensino de Física, embora tenha avançado no sentido de ampliar tais abordagens, caracteriza-se, ainda, por sua forma tradicional, onde as propostas inter e transdisciplinares aparecem na maioria das vezes de forma camuflada, discreta, sem causar o impacto necessário para que os educadores percebam a importância de tais perspectivas na educação para a ciência, em particular, no ensino de Física.

Percebemos na análise das cinco obras, no que diz respeito ao conteúdo de Gravitação, que todas são bem estruturadas, apresentam o conteúdo de forma clara, explorando os mais variados recursos. Porém, verificamos também, que o maior desafio dos autores de livros didáticos de Física, é incorporar no conteúdo, o conhecimento que transcende as fronteiras disciplinares. Com a análise não podemos dizer que não há essa preocupação, porém, fica em relevo que em algumas obras a preocupação com tais perspectivas se acentua mais do que em outras e, como vimos no resultado da análise, há uma grande disparidade na abordagem do conteúdo de Gravitação nas perspectivas inter e transdisciplinares, ficando claro que ainda há um longo percurso para a concretização de um ensino de Física integrado com as demais ciências.

Acreditamos que esta pesquisa pode favorecer e ser um instrumento de reflexão das práticas atuais, auxiliando os leitores na compreensão dos termos inter e transdisciplinaridade e sendo um material de apoio, fornecendo subsídios metodológicos e pedagógicos para transpor os obstáculos, divisando assim uma nova ferramenta para o ensino de Física. Também, para que

novas idéias possam surgir e novas pesquisas sejam feitas nessa área. O conhecimento de Física, acumulado ao longo dos séculos, se revela intimamente ligados a outras áreas do conhecimento científico. Nesse sentido, é fundamental que os livros didáticos caminhem para um mesmo objetivo, independente das características de cada um, o de organizar o saber científico de forma que favoreça a formação de sujeitos, cujo pensamento científico não seja fragmentado, mas que seja global e atenda as demandas que os atuais avanços científicos e tecnológicos estão exigindo.

Como já destacamos neste trabalho e é fundamental lembrarmos, a preocupação com a formação global do homem deveria levar os educadores a compreenderem e utilizarem metodologias capazes de superar a visão fragmentada do conhecimento, uma vez que a forma tradicional e fragmentada de transmissão do conhecimento dificilmente poderá dar a seus detentores a capacidade de enfrentarem as situações novas (D'AMBROSIO, 1997).

Em síntese, acreditamos que os avanços das pesquisas nessas áreas irão proporcionar obras didáticas cada vez mais adaptadas às novas propostas pedagógicas, apresentando a ciência de forma integrada, derrubando as cascas que camuflam tais propostas, concretizando assim o ensino pelo qual todos os educadores comprometidos com a formação de sujeitos críticos e reflexivos, almejam.

REFERÊNCIAS

ARGÜELLO, C. A.; *A educação potencializadora em Ciências*. In: DANHONI NEVES, M. C.; SAVI, A. A (Orgs.). *De experimentos, paradigmas e diversidades no ensino de física: construindo alternativas*. 1. ed. Maringá: Ed. Massoni, 2005. p. 17-22.

ASSIS, A. K. T. *Derivando a lei do pêndulo experimentalmente, obtendo a aceleração de gravidade e discutindo a liberdade acadêmica*. In: DANHONI NEVES, M. C.; SAVI, A. A (Orgs.). *De experimentos, paradigmas e diversidades no ensino de física: construindo alternativas*. 1. ed. Maringá: Ed. Massoni, 2005. p. 127-144.

ASSIS, A. K. T.; *Uma nova física*. São Paulo: Editora Perspectiva, 1999.

ASSUMPÇÃO, I. *Interdisciplinaridade: uma tentativa de compreensão do fenômeno*. In: FAZENDA, I. C. A. (org.); *Práticas Interdisciplinares na Escola*. 2 ed. São Paulo: Cortez, 1993. p. 23-25.

AUGUSTO, T. G. S.; CALDEIRA, A. M. A.; CALUZI, J. J.; NARDI, R.; *Interdisciplinaridade: Concepções de professores da área de ciências da natureza em formação em serviço*. Revista Ciência e Educação, v.10, 2004. p. 277-289.

BARDIN, L.; *Análise de Conteúdo*. Lisboa: Edições 70, 1977.

Biblioteca dos séculos, *Aristóteles Metafísica*. Tradução de Leonel Vallandro. Porto Alegre: Editora Globo, 1969.

BOCHNIAK, R.; *Questionar o conhecimento: A interdisciplinaridade na escola... e fora dela*. 2 ed. São Paulo: Loyola, 1998.

BRAGA, M.; GUERRA, A.; REIS, J. C. *Breve história da ciência moderna, volume 2: das máquinas do mundo ao universo-máquina*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 2004.

BRASIL, *Física: catálogo do programa nacional do livro para o ensino médio: PNLEM/2009*. Secretaria de Educação Básica, Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação. – Brasília: Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica, 2008.

BRASIL, Ministério da Educação. *Orientações Curriculares para o Ensino Médio: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias*. – Brasília: Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica, 2008.

BRASIL, Ministério da Educação, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. *Parâmetros Curriculares Nacionais : ensino médio*. – Brasília: Ministério da Educação, 1999.

BRENNAN, R. P.; *Gigantes da física: uma história da física moderna através de oito biografias*. Tradução, Maria Luiza X. de A. Borges; revisão técnica, Hélio da Motta Filho e Henrique Lins de Barros. – ed. rev. – Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 2003.

BURTT, E. A. *As bases metafísicas da ciência moderna*. Trad. De José Viegas Filho e Orlando Araújo Henriques. Brasília: Editora Universidade Brasília, 1991.

CARBONARA, V.; *Concepções ético-epistemológicas que fundamentam a ação interdisciplinar e transdisciplinar no ensino fundamental e médio*. In: CANDIDO, C., CARBONARA, V.; *Filosofia e ensino: um diálogo transdisciplinar*. Ijuí: Ed. Unijuí, 2004. p. 89-107.

CHASSOT, A. *A ciência através dos tempos*. São Paulo: Moderna, 2004.

COHEN, I. B. *O nascimento de uma nova física*. Tradução de Alice Gomes da Costa. Lisboa: Gravia, 1988.

COPÉRNICO, N. *As revoluções dos orbes celestes*. Tradução de A. Dias Gomes e Gabriel Domingues. Introdução e notas de Luiz Albuquerque. 2.ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1996.

DANHONI NEVES, M. C. *Do infinito, do mínimo e da inquisição em Giordano Bruno*. Ilhéus, Ba: Editus, 2004.

DANHONI NEVES, M. C.; *Do mundo fechado da astronomia à cosmologia do universo fechado de big bang: revisitando novos dogmas da ciência astronômica*. In: SILVA, C. C. (org.); *Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino*. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006. p. 139-166.

DANHONI NEVES, M. C.; SILVA, J. A. P. *Evoluções e Revoluções: o mundo em transição*. Maringá: Massoni, 2008.

DANHONI NEVES, M. C. *Memórias do invisível: uma reflexão sobre a história no ensino de física e a ética da ciência*. Maringá: Eduem, 2008.

DANHONI NEVES, M. C. *et al.* *O aparelho de Morin e uma história para o pêndulo no Ensino de Física*. In: DANHONI NEVES, M. C.; SAVI, A. A (Orgs.). *De experimentos, paradigmas e diversidades no ensino de física: construindo alternativas*. 1. ed. Maringá: Ed. Massoni, 2005. p. 145-161.

DANHONI NEVES, M. C. *Uma investigação sobre a natureza do movimento ou sobre uma história para a noção do conceito de força*. In: DANHONI NEVES, M. C.; SAVI, A. A (Orgs.). *De experimentos, paradigmas e diversidades no ensino de física: construindo alternativas*. 1. ed. Maringá: Ed. Massoni, 2005. p. 163-187.

DANHONI NEVES, M. C. *A história da ciência no ensino de Física*. Revista Ciência e Educação, vol. 5, nº 1, 1998. p. 73-81.

D'AMBROSIO, U.; *Transdisciplinaridade*. São Paulo: Palas Athena, 1997.

FAZENDA, I. C. A.; *Integração e Interdisciplinaridade no Ensino Brasileiro: efetividade ou ideologia*. 4 ed. São Paulo: Loyola, 1996.

FERREIRA, M. E. M. P.; *Ciência e interdisciplinaridade*. In: FAZENDA, I. C. A. (org.); *Práticas Interdisciplinares na Escola*. 2 ed. São Paulo: Cortez, 1993. p. 19-22.

FEYERABEND, P. *Contra o Método*. Tradução de MOTA, O. S. e HEGENBERG, L.; Rio de Janeiro: F. Alves, 1977.

FEYNMAN, R. P.; *Física em seis lições*. Tradução Ivo Korytowski; [introdução de Paul Davies]. Rio de Janeiro: Ediouro, 2004.

FUSINATO, P. A.; *Formação de professores de física e a prática docente*. In: DANHONI NEVES, M. C. [et al]. *Reflexões sobre o ensino de física no ensino médio: um universo sem fronteiras*. 1. Ed. Maringá: Massoni, 2009. p. 11-24.

HAZEN, R. M., TREFIL, J.; *Saber Ciência*. Tradução de Cecília Prada; revisão técnica e notas Marcelo Damato. 2 ed. São Paulo: Editora de Cultura, 2005.

HENRY, J.; *A revolução científica e as origens da ciência moderna*. Tradução Maria Luiza X. de A. Borges; revisão técnica Henrique Lins de Barros. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 1998.

JAPIASSÚ, H.; MARCONDES, D. *Dicionário básico de filosofia*. 4 ed. atual. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 2006.

JAPIASSU, H.; *Interdisciplinaridade e Patologia do saber*. Rio de Janeiro: Imago, 1976.

KOYRÉ, A. *Do mundo fechado ao universo infinito*. Tradução de Donaldson M. Garschagen. – 3.ed. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 2001.

KOYRÉ, A. *Estudos de história do pensamento científico*. Tradução e revisão técnica de Márcio Ramalho. Rio de Janeiro: Ed. Forense Universitária, 1991.

KOYRÉ, A. *Estudos Galilaicos*. Tradução de Nuno Ferreira da Fonseca. Lisboa: Publicações Dom Quixote, 1986.

LAJOLO, M. *Livro didático: um (quase) manual de usuário*. In: *Em aberto – O livro didático e qualidade de ensino*. Brasília, INEP, n. 69, v. 16, jan/mar, 1996. Disponível em: <http://www.publicacoes.inep.gov.br/arquivos/%7B5F8D6FDF-2BF0-476F-927188ADE36BAD1A%7D_Em_Aberto_69.pdf>. Acesso em: 21 de julho de 2009.

LEMOS, M. P. F.; *O estudo do tratamento da informação nos livros didáticos das séries iniciais do ensino fundamental*. Revista Ciência e Educação, v. 12, 2006. p. 171-183.

MACHADO, N. J. *Interdisciplinaridade e contextualização*. In: Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. *Exame Nacional do Ensino Médio (Enem): fundamentação teórico-metodológica*. Brasília: O Instituto, 2005. p. 41-53.

MARTINS, E. F.; SALES, N. A. O.; SOUZA, C. A. *O Estado, o mercado editorial e o professor no processo de seleção dos livros didáticos*. Estudos em avaliação educacional, v. 20, n. 42, São Paulo, jan/ abr. 2009. p. 11-26.

MARTINS, R. A.; *A maçã de Newton: história, lendas e tolices*. In: SILVA, C. C. (org.); *Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino*. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006. p. 167-189.

MARTINS, R. A.; *Introdução: A história das ciências e seus usos na educação*. In: SILVA, C. C. (org.); *Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino*. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006.

MOREIRA, I. C.; *Robert Hooke (1635-1703) - Retrato da pesquisa quando jovem*. Folha de S.Paulo - domingo, 02 de novembro de 2003. Disponível em : <[http://www.pion.sbfisica.org.br/pdc/index.php/por/artigos/o legado de hooke](http://www.pion.sbfisica.org.br/pdc/index.php/por/artigos/o_legado_de_hooke)>. Acesso em : 08 de julho de 2009.

MORIN, E.; *Ciência com consciência*. Tradução de Maria D. Alexandre e Maria Alice Sampaio Dória. – Ed. revista e modificada pelo autor – 2 ed. – Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998.

NUSSENZVEIG, H. M.; *Curso de Física básica – vol. 1*. 4ª edição rev.; São Paulo: Blucher, 2002.

OMNÈS, R.; *Filosofia da ciência contemporânea*. Tradução de Roberto Leal Ferreira. – São Paulo: Editora da Universidade Estadual Paulista, 1996.

PARANÁ, Governo do Estado do Paraná, Secretaria de Estado da Educação, Superintendência da Educação. *Diretrizes Curriculares de Física para a Educação Básica*. Curitiba, 2006.

PEREIRA, O. P. *Ciência e dialética em Aristóteles*. São Paulo: Editora UNESP, 2001.

PIAGET, J. *Problemas Gerais da Investigação Interdisciplinar e Mecanismos Comuns*. Volume VIII. Tradução de Maria Barros. Lisboa: Livraria Bertrand, 1973.

PIAGET, J. , GARCIA, R. *Psicogênese e História das Ciências*. Lisboa: Publicações Don Quixote, 1987.

PLATÃO, *A República*. São Paulo: Martin Claret, 2000.

PONCZEK, R. L. *Da bíblia a Newton: uma visão humanística da Mecânica*. In: ROCHA, J. F. M. (org.). *Origens e evolução das idéias da física*. Salvador: EDUFBA, 2002. p. 17-135.

PRETTO, N. De L.; *A ciência nos livros didáticos*. – 2. ed. – Campinas: Editora da Unicamp; Salvador: Editora da Universidade Federal da Bahia, 1995.

REALE, G.; ANTISERI, D. *História da filosofia: Antiguidade e Idade Média*. Vol. 1. São Paulo: Paulus, 1990.

REALE, G.; ANTISERI, D. *História da filosofia: do Humanismo a Kant*. Vol. 2. São Paulo: Paulus, 1990.

RIOS, T. A. *Ética e Interdisciplinaridade*. In: FAZENDA, I. C. A. (org). *A pesquisa em educação e as transformações do cotidiano*. Campinas, SP: Papyrus, 1995. p. 121-136.

SANTOMÉ, J. T.; *Globalização e Interdisciplinaridade: o currículo integrado*. Porto Alegre: Artes Médicas Sul Ltda., 1998.

SANTOS, A. C. S.; *Formação de professores e os aspectos interdisciplinares e transdisciplinares da educação em química: uma experiência vivida através da prática de ensino*. In: LIBÂNEO, J. C.; SANTOS, A. (orgs). *Educação na Era do Conhecimento em Rede e Transdisciplinaridade*. Campinas – SP: Alínea, 2005. p. 83-99.

SCHÄFFER, N. O. *O livro didático e o desempenho pedagógico: anotações de apoio à escolha do livro texto*. In: CASTROGIOVANNI, A. C.; CALLAI, H. C.; SCHÄFFER, N. O.; KAERCHER, N. A. (Orgs.). *Geografia em sala de aula: práticas e reflexes*. – 4.ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/Associação dos Geógrafos Brasileiros, 2003. p. 136-150.

SOMMERMAN, A.; *Pedagogia e a transdisciplinaridade*. In: LIBÂNEO, J. C.; SANTOS, A. (orgs). *Educação na Era do Conhecimento em Rede e Transdisciplinaridade*. Campinas – SP: Alínea, 2005. p. 149-164.

TIPLER, P.; *Física: Gravitação, Ondas e Termodinâmica. Volume 2*. Terceira Edição. Tradução: Horacio Macedo. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1995.

ZIMAN, J. *A força do conhecimento*; tradução Eugênio Amado. Belo Horizonte: Ed. Itatiaia; São Paulo: Ed. da Universidade de São Paulo, 1981.

WEIGERT, C.; VILLANI, A.; FREITAS, D.; *A interdisciplinaridade e o trabalho coletivo: análise de um planejamento interdisciplinar*. Revista Ciência e Educação, v.11, 2005. p. 145-164.

WEIL, P.; *Axiomática transdisciplinar para um novo paradigma holístico*. In: WEIL, P.; D'AMBROSIO, U.; CREMA, R.; *Rumo à nova transdisciplinaridade: sistemas abertos de conhecimento*. São Paulo: Summus, 1993. p. 9-73.

REFERÊNCIAS DAS OBRAS DIDÁTICAS

FILHO, A. G. ; TOSCANO, C. *Física, volume único: ensino médio*. Livro do Professor. São Paulo: Scipione, 2005.

GASPAR, A. *Física, volume único: livro do professor*. Livro do Professor. 1. Ed. São Paulo: Ática, 2005.

LUZ, A. M. R. ; ÁLVARES, B. A. *Física: volume 1*. Livro do Professor. São Paulo: Scipione, 2005.

PENTEADO, P. C. M. ; TORRES, C. M. A. *Física – ciência e tecnologia. Volume 1*. Livro do Professor. São Paulo: Moderna, 2005.

SAMPAIO, J. L. ; CALÇADA, C. S. *Universo da física, 2 : hidrostática, termologia, óptica*. Livro do Professor. 2. Ed. São Paulo: Atual, 2005.