

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

INSTITUTO DE FÍSICA

Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física

Mestrado Profissional em Ensino de Física

Érico Kemper

A Inserção de Tópicos de Astronomia Como Motivação Para o Estudo da  
Mecânica em Uma Abordagem Epistemológica Para o Ensino Médio

Porto Alegre

2008

ÉRICO KEMPER

A Inserção de Tópicos de Astronomia Como Motivação Para o Estudo da  
Mecânica em Uma Abordagem Epistemológica Para o Ensino Médio \*

Dissertação de Mestrado em Ensino de Física  
Para a obtenção do título de Mestrado em  
Física  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Centro de Pós-Graduação e Pesquisa  
Instituto de Física

Orientadora: Fernanda Ostermann

Co-orientadora: Maria de Fátima Oliveira Saraiva

Porto Alegre

2008

---

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

Dedico este trabalho:

a meus pais pelo incentivo, desde pequeno, aos estudos,  
à nossa filha a quem desejo a melhor educação  
à esposa e grande companheira e,  
aos meus irmãos.

## Agradeço

Às professoras orientadoras, Fernanda e Fátima, pelas valiosas contribuições dadas.

A todos os professores do curso pela aposta no ensino de física de qualidade.

Aos familiares e amigos pelo incentivo e compreensão.

## RESUMO

Neste trabalho apresentamos o desenvolvimento, a implementação e os resultados de uma proposta motivadora aplicada no ensino de Física em nível médio. Defendemos que questões epistemológicas e elementos da história da ciência possibilitam ricas discussões em grupo, contribuindo para mostrar o verdadeiro processo da construção da Física. Nossa proposta de trabalho consistiu em apresentar uma abordagem epistemológica, embasada nas filosofias de Popper, Lakatos e Kuhn, no estudo da mecânica, partindo de tópicos de astronomia ou inserindo-os no contexto da área em estudo, de forma a facilitar uma aprendizagem significativa. Essa abordagem nos orientou na produção do material instrucional, que disponibilizamos na forma de texto, assim como na metodologia utilizada na sua implementação. Paralelamente, incluímos vídeos que abordam alguns temas em questão por utilizarem a poderosa ferramenta audiovisual da comunicação da atualidade. Na seção dos procedimentos apresentamos a listagem de vídeos utilizados que é uma sugestão de excelente material de apoio no ensino da mecânica, astronomia e cosmologia no ensino da física.

**Palavras-chave:** audiovisuais; astronomia e mecânica; ensino de física.

## **ABSTRACT**

In this work we present the development, implementation and results of a motivating proposal for Physics teaching in secondary school level. We believe that epistemological questions and elements of the history of science make possible rich group discussions, showing the true process of the development of Physics. Our proposed work method makes an epistemological approach, based on the philosophies of Popper, Lakatos and Kuhn, to the study of mechanics, starting with astronomy topics or inserting them in the study of the area to facilitate a meaningful learning. This approach was our guideline for the production of the instructional material, that we make available in text form, and in the methodology used in its implementation. We also include educational videos about the covered subjects to exploit the power of audiovisual tools. In the section on procedures we present a list of the used videos as a suggestion of excellent supporting material for the teaching of physics topics such as mechanics, astronomy and cosmology.

**Keywords:** audiovisual; astronomy and mechanics; Physics teaching.

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	8
1 ESTUDOS RELACIONADOS .....	12
1.1 Estudos que utilizaram vídeos em sala de aula .....	12
1.2 Estudos sobre a inclusão da história e da filosofia da ciência e de tópicos de astronomia no ensino de Física .....	15
2 REFERENCIAL TEÓRICO EPISTEMOLÓGICO .....	20
2.1 Elementos da epistemologia de Popper .....	20
2.2 Elementos da epistemologia de Lakatos.....	21
2.3 Elementos da epistemologia de Kuhn .....	22
3 PROCEDIMENTOS.....	26
3.1 Metodologia de Ensino .....	26
3.2 O material instrucional .....	27
4 DESCRIÇÃO DAS AULAS .....	30
4.1 Do Módulo I .....	30
4.2 Do Módulo II.....	34
4.3 Do Módulo III.....	38
4.4 Do Módulo IV .....	42
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	44
5.1 Do Material na Forma de Texto .....	44
5.2 Dos Audiovisuais.....	51
5.3 Das Observações com Telescópio .....	54
5.4 Das Dificuldades .....	56
CONCLUSÃO.....	57
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	61
APÊNDICE A – Textos de Apoio.....	65
APÊNDICE B – Fichas de Audiovisuais .....	123
APÊNDICE C – Roteiros e Ilustrações de Experimentos .....	126

## INTRODUÇÃO

A realidade educacional do ensino de física vem manifestando uma verdadeira crise, evidenciada pela falta de interesse e dificuldades de aprendizagem nas escolas de ensino médio e pela evasão de alunos das salas de aula bem como pelos índices elevados de analfabetismo científico.

Para promover uma aprendizagem significativa os estudantes deverão estar motivados e pré-dispostos. A inclusão de informações fornecidas pela história e pela filosofia da ciência na prática do ensino de ciências pode fornecer algumas respostas que amenizam a crise verificada nessa área de ensino. Essa forma de abordagem humaniza a disciplina e seu corpo de conhecimento motiva os alunos dando significado ao que está sendo estudado e possibilitando aulas desafiadoras e reflexivas. Uma compreensão melhor dos conceitos em estudo e da própria ciência é incentivada, demonstrando que ela não está acabada e que o conhecimento científico atual está sujeito a transformações, desenvolvendo com essa prática uma epistemologia mais rica e autêntica (MATTHEWS, 1995).

A inserção de conteúdos de astronomia nos cursos de nível médio de física torna-se pertinente por mostrarem-se de grande interesse pelo público jovem que os freqüentam. Esse interesse fica evidenciado pelas dúvidas e perguntas que os alunos trazem às aulas, bem como a participação e a motivação manifestada por eles quando esses conteúdos são abordados. A grade programática dos conteúdos de física sugerida nos PCNEM+ contempla a astronomia por despertar amplo interesse em relação aos enigmas da vida e do universo “propiciando-lhes uma visão cosmológica das ciências.” (BRASIL, 2002, p. 78).

O uso de vídeos na sala de aula é um importante recurso tecnológico disponível atualmente e de fácil utilização pelos professores. A televisão passou a ser o meio de comunicação, informação e formação mais importante da sociedade moderna. O uso adequado do vídeo no ensino de ciências permite uma melhora nas atividades do professor em sala de aula. Um vídeo pode motivar a aprendizagem de conteúdos pelo forte atrativo emocional que possui. Outro aspecto muito explorado através de filmes é o de demonstração. Há muitos efeitos que só podem ser bem observados quando filmados ou produzidos em

animações de computação gráfica. Na aprendizagem de novos conceitos um vídeo pode também servir de material instrucional bastante útil como conhecimento prévio além de servir como instrumento de apoio à exposição do professor.

Os objetivos do presente trabalho consistem em:

- motivar os alunos iniciantes a estudar física pelo uso de recursos tecnológicos disponíveis que possam ser utilizados por professores da área e inseridos em suas aulas;
- despertar maior interesse nos alunos através de uma abordagem epistemológica contemporânea subjacente nos materiais e na metodologia didática para promover a evolução conceitual;
- estimular a criatividade, a reflexão e o trabalho em grupo, encorajando os alunos a enfrentarem melhor as dificuldades encontradas nos estudos, através de atividades extra-classe, como observações, tomadas de medidas e resolução de problemas;
- tornar mais interessante o estudo da mecânica abordando-a pelo enfoque da astronomia;
- disponibilizar um produto educacional, na forma de texto, destinado a professores e estudantes de física do ensino médio na área da mecânica e da astronomia.

O material contém, além de textos para consulta e pesquisa, sugestões de vídeos com suas respectivas fichas de estudo e sugestões de questionários para exercícios e avaliações.

Damos em nosso trabalho importância a dois aspectos que foram investigados: o uso de vídeos e a abordagem epistemológica no estudo da mecânica partindo de tópicos de astronomia ou inserindo-os no estudo da área para os estudantes, para facilitar uma aprendizagem significativa. Quanto ao uso de vídeos, os limitamos a documentários e vídeos educacionais, de produção nacional e estrangeira, divulgados pela TV Escola, com temáticas relacionadas diretamente aos conteúdos e atividades a serem desenvolvidos em aula, que de forma geral, são conteúdos de astronomia e de mecânica. Na parte da astronomia, priorizamos a astronomia antiga, abordando as contribuições mais importantes de personagens como Eratóstenes nas medidas do diâmetro da Terra e na distância Terra-Lua e de Aristóteles na física. Damos ênfase aos modelos de universo de Ptolomeu, Copérnico, Brahe e Kepler, salientando suas limitações e os ajustes sofridos por eles para se manterem válidos e destacamos a importância das descobertas de Galileu com seu telescópio. Na mecânica foram estudados os conteúdos de inércia, enunciados primeiro por Galileu e posteriormente por Newton, a explicação da queda de corpos por Galileu, o movimento circular uniforme, a força

centrípeta, as leis do movimento de Newton, culminando o estudo da mecânica com a lei da Gravitação Universal de Newton. No estudo da lei da Gravitação Universal, destacamos a demonstração feita por Newton no livro “*Princípios Matemáticos da Filosofia Natural*” na obtenção da relação matemática para a atração gravitacional da Lua com a Terra, numa versão adaptada para o ensino médio (DIAS *et al.*, 2004; FREIRE JR *et al.*, 2004). Abordamos também o movimento de satélites, a detecção de planetas extra-solares e a teoria do Big-Bang – conteúdos que geralmente não constam nos livros-texto do ensino médio. Várias sugestões de vídeos acompanharam os conteúdos nas aulas. Nas aulas práticas, foram programadas saídas de campo para fazer observações com telescópio. Eventuais demonstrações e tomadas de medidas para estudar alguns fenômenos também foram feitas no decorrer dos estudos.

A crise enfrentada pelo ensino de ciências em nível médio não faz distinção entre escolas públicas e privadas, porém o problema se manifesta mais intensamente em escolas públicas. O descaso político com a educação no país deixou nosso sistema educacional numa superficialidade tal que, mesmo com os avanços proporcionados com a orientação dos Parâmetros Curriculares Nacionais, o ensino de ciências continua marginalizado, com carga horária reduzida, limitando a ação do professor apenas ao estudo introdutório de conceitos. Outro agravante é quanto à qualificação dos professores que atuam na área: enquanto muitos ainda não concluíram a graduação, outros são formados em cursos não relacionados ao ensino de ciências e educação. Existem também as escolas que têm como única preocupação a preparação para o vestibular, apresentando a física como um conjunto volumoso de conceitos estanques e fórmulas.

Com freqüência as escolas públicas enfrentam o problema da falta de professores na área de ciências ou a falta de qualificação destes profissionais. Enquanto há escolas que iniciam o ano letivo sem professor, em outras, os professores evadem das salas de aula por melhores condições de trabalho e remuneração. Quem mais perde com toda essa problemática é o aluno, que se torna analfabeto em alguns campos de conhecimento, sentindo-se cada vez mais desmotivado, em alguns casos chegando a abandonar a escola antes de concluí-la.

Quanto à manutenção e à estrutura, as escolas públicas de ensino médio padecem de falta de investimentos. São poucas as escolas que possuem laboratório de ciências ou espaço destinado a esse fim e um número mais reduzido ainda possui laboratório de informática, um recurso tecnológico atualmente indispensável no ensino em diversas áreas, mas que precisa estar em condições de uso para alunos e professores desenvolverem seus projetos de estudos.

O presente projeto foi aplicado em três turmas do primeiro ano do ensino médio de uma escola estadual de São Leopoldo, RS, localizada no bairro Cristo Rei. O prédio da escola

possui nove salas de aula amplas, uma biblioteca, um laboratório de ciências, uma sala de audiovisuais com uma televisão de 29” mais videocassete e dvd *player* e outras salas, entre elas a de professores, a da direção, a de coordenação pedagógica e a secretaria. A escola não possui laboratório de informática e sequer um microcomputador disponível para uso com alunos, daí darmos ênfase neste projeto ao uso de audiovisuais.

A escola funciona nos turnos da manhã, tarde e noite. No turno da manhã, atende a turmas das séries finais do ensino fundamental e todas as séries do ensino médio; à tarde, atende a turmas das séries finais do ensino fundamental e 1ª e 2ª séries do ensino médio; e à noite somente a turmas do ensino médio.

Embora a escola se localize em um bairro de classe média da cidade, os alunos dessa classe que a freqüentam são a minoria e a maioria destes freqüenta a escola no turno da manhã, os demais são alunos de bairros vizinhos, de classe social menos privilegiada. Quanto à evasão dos alunos nessa escola, ela é bastante pronunciada no turno da noite, diminuindo significativamente para o turno da tarde e passando praticamente despercebida no turno da manhã. As turmas contempladas para a implementação do projeto foram as do turno da manhã.

## **1 ESTUDOS RELACIONADOS**

Dentro da revisão de literatura encontramos vários artigos referentes à utilização de vídeo na sala de aula e muitos outros incentivando a inclusão da história e da filosofia da ciência para a melhoria do ensino de ciências.

A revisão de literatura foi realizada principalmente em revistas da área de ensino de Física, de publicações do período entre 1995 a 2006, a saber: *Física na Escola*, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, *Revista ABRAPEC* e *Investigações em Ensino de Ciências* e em dissertações de mestrado em ensino de física.

### **1.1 Estudos que utilizaram vídeos em sala de aula**

Sobre o uso de recursos audiovisuais em sala de aula foram encontrados cinco artigos. Todos os autores defendem sua inclusão como poderosa ferramenta aliada do professor no processo de ensino e aprendizagem. Da forte presença da televisão como instrumento de informação e comunicação na vida das pessoas, Kenski (2005) comenta sobre sua influência dizendo que ela afeta a vida de pessoas de todas as idades, condições econômicas e níveis intelectuais. Algumas pessoas incorporaram em suas vidas valores, hábitos e comportamentos exibidos por personagens de televisão, pois “(...) não conseguem mais viver distante da televisão e assimilam acriticamente tudo o que é ali veiculado.” (KENSKI, 2005, p. 94).

No mesmo artigo, a autora escreve sobre as mudanças na forma de viver e aprender provocadas com a chegada do telefone, da televisão e do computador.

A mídia televisiva, como tecnologia de comunicação e informação, invade o cotidiano e passa a fazer parte dele. Não é mais vista como tecnologia, mas como complemento, como companhia, como continuação do espaço da vida das pessoas. Por meio do que é transmitido pela televisão, as pessoas adquirem informações e transformam seus comportamentos. Tornam-se ‘teledependentes’, consumidores ativos, permanentes e acrílicos de tudo o que é oferecido pelo universo televisivo. (KENSKI, 2005, p. 94).

Ela conclui o artigo destacando o grande desafio a ser enfrentado pela escola e pelos professores diante do que a televisão apresenta no sentido de viabilizar um espaço crítico a essa realidade e refletir com seus alunos sobre a influência da televisão em seus cotidianos.

A televisão aberta tem como finalidade o entretenimento e seus programas, na sua grande maioria, não apresentam conteúdo científico-cultural-educacional. Por outro lado, a televisão possui uma poderosa linguagem que seduz o telespectador passando, com grande facilidade, do mundo real para o imaginário, para um universo mais abstrato e complexo, que Moran descreve no seguinte trecho:

A força da linguagem audiovisual está em que consegue dizer muito mais do que captamos, chegar simultaneamente por mais caminhos do que conscientemente percebemos, encontrando dentro de nós uma repercussão em imagens básicas, centrais, simbólicas, com as quais nos identificamos ou que se relacionam conosco de alguma forma. (MORAN, 2005, p. 97-98).

É pertinente a introdução desse poderoso meio tecnológico na sala de aula e na vida do aluno como forma de ampliar seu conhecimento nas mais diversas áreas bem como desenvolver nele uma visão crítica dos programas apresentados em nossas emissoras de televisão. Na tentativa de introduzir a TV e o vídeo no sistema educacional brasileiro, o governo federal fez elevados investimentos criando a TV Escola que mantém seu sinal no sistema de transmissão via satélite nos sistemas de recepção analógico e digital abertos, pela *Sky*, *DirectTV* e *Tecsat*. A introdução de programas educativos de vídeo na sala de aula também é destacada por Moran, que escreve:

Diante dessas linguagens tão sofisticadas, a escola pode partir delas, conhecê-las, ter materiais audiovisuais mais próximos da sensibilidade dos alunos. Gravar matérias da TV Escola, alguns dos canais comerciais, dos canais da TV a cabo ou por satélite e planejar estratégias de inserir esses materiais e atividades que sejam dinâmicas, interessantes, mobilizadoras e significativas. (MORAN, 2005, p. 98).

O autor termina seu artigo colocando que na questão da inserção de programas audiovisuais ainda há muito por fazer e estamos apenas no começo. No texto que segue, ele escreve sobre a importância da pesquisa nessa área:

Vivemos uma época de grandes desafios no ensino focado na aprendizagem. Vale a pena pesquisar novos caminhos de integração do humano e do tecnológico; do sensorial, do emocional, do racional e do ético; do presencial e do virtual; de integração da escola, do trabalho e da vida. (MORAN, 2005, p. 99).

Como proposta de utilização do vídeo, Moran, em outro artigo, aponta sua finalidade como sensibilização, ilustração, simulação e conteúdo de ensino:

Um bom vídeo é interessantíssimo para introduzir um novo assunto, para despertar a curiosidade, a motivação para novos temas. (...) O vídeo muitas vezes ajuda a mostrar o que se fala em aula, a compor cenários desconhecidos dos alunos. (...) O vídeo pode simular experiências de química que seriam perigosas em laboratório ou que exigiriam muito tempo e recursos. (MORAN, 1995).

No ensino de ciências, a utilização dos recursos audiovisuais pode melhorar e enriquecer bastante as aulas no sentido de motivar e demonstrar, além de possibilitar uma aprendizagem efetiva. Quem também defende essa idéia é Rosa (2000) que escreve:

Um filme ou um programa multimídia têm um forte apelo emocional e, por isso, motivam a aprendizagem dos conteúdos apresentados pelo professor. (...) Há certos efeitos que são melhor observados, se filmados. (...) Os instrumentos audiovisuais exercem um papel de apoio à dissertação do professor mostrando particularidades dos assuntos os quais ele discorre. (ROSA, 2000; p. 39-40).

O uso adequado do vídeo e da televisão sugere vários cuidados. O material apresentado deve estar relacionado ao conteúdo em estudo e é necessária a apresentação prévia do conteúdo. É preciso preparar a atenção do aluno para os pontos importantes a serem observados. “Este trabalho é fundamental para dirigir a atenção dos alunos. Sem esta base, quem garante que os alunos olhem para os pontos que o professor quer chamar a atenção?” (ROSA, 2000, p.42).

Um trabalho importante relacionado ao uso de vídeo no ensino de física é o de Mujica e Medeiros (1996). O artigo apresenta os resultados de um trabalho de pesquisa sobre a comparação de dois métodos distintos do uso de vídeos nas aulas de física. Em um método, o professor se deteve em apresentar um vídeo que mostrava várias informações sobre o conteúdo em estudo sem interromper o filme; em outro, usando os mesmos vídeos, o professor os interrompia em lugares especificamente escolhidos para introduzir explicações de uma determinada lei física e buscava exemplos nos quais esta lei se manifesta. Logo após a exibição dos vídeos, cada grupo de estudantes respondeu a questionários com as mesmas perguntas sobre aspectos observados no vídeo. Mujica e Medeiros concluem seu trabalho apontando resultados superiores encontrados no grupo em que o vídeo foi interrompido para análise. Também chamam a atenção que a interrupção do vídeo não pode ser feita arbitrariamente, pois o aluno pode perder a seqüência lógica de raciocínio trazendo resultados negativos de seu uso.

Assim como Moran, Rosa, Mujica e Medeiros, achamos importante a discussão do vídeo no grupo logo após sua apresentação. Para sua melhor compreensão sugere-se um trabalho que envolve um questionário que será respondido pelos alunos e depois comentado no grande grupo. Em alguns casos torna-se necessário exibir o vídeo mais de uma vez.

Notamos que a utilização de recursos audiovisuais em sala de aula requer a habilidade do professor, não só na escolha de programas, mas na preparação de um material adequado de estudo dos programas utilizados.

## **1.2 Estudos sobre a inclusão da história e da filosofia da ciência e de tópicos de astronomia no ensino de Física**

Pesquisamos também artigos que tratam de uma abordagem diferenciada daquela encontrada na maioria dos livros-texto utilizados nas escolas, que fazem a introdução da física no ensino médio pela mecânica começando pela cinemática. Nessa etapa, o aluno geralmente é levado a resolver, exaustivamente, listas de exercícios com interpretação de gráficos e problemas nada concretos, enfatizando a abstração e a utilização de fórmulas em situações artificiais distantes da realidade do aluno. Além disso, a abordagem dada aos demais tópicos de mecânica nos livros-texto, “(...) apresentam o conhecimento como um produto acabado, fruto da genialidade de mentes como a de Galileu, Newton ou Einstein, contribuindo para que os alunos conclua que não resta mais nenhum problema a resolver.” (BRASIL, 1999, p.229).

Defendemos que a introdução da física no ensino médio deve ser pela mecânica, por ser concreta, mas em uma abordagem epistemológica onde a história e a filosofia da ciência são os pontos de partida na instauração de um diálogo construtivo no sentido de problematizar e contextualizar os conteúdos. “Assim, ao lado de um caráter mais prático, a Física revela também uma dimensão filosófica, com uma beleza e importância que não devem ser subestimadas no processo educativo.” (BRASIL, 1999, p. 229).

A história da astronomia e a história e filosofia da ciência da época de Galileu e Newton é muito rica e cativante quando incluída no ensino de ciências.

A introdução de tópicos de astronomia no ensino médio da física também é sugerida nos PCN do ensino médio, por possibilitar um conteúdo contextualizado e integrador:

Apresentar uma Física que explique a queda dos corpos, o movimento da Lua ou das estrelas no céu, o arco-íris e também os raios laser, as imagens da televisão e as formas de comunicação. (...) Uma Física que discute a origem do universo e sua evolução. (...) Uma Física cujo significado o aluno possa perceber no momento posterior ao aprendizado. (BRASIL, 1999, p. 230).

Neves (2000a) apresenta a longa história da Astronomia na busca de modelos e descrições geométricas na determinação da forma da Terra, suas dimensões e sua posição no universo, que vai do período da Antiguidade à Revolução Copernicana, e “(...) no intuito de mostrar o quão árduo foi esta aventura do conhecimento, e quão presente ela deveria estar para aqueles que trabalham com ensino e, principalmente, para aqueles que trabalham com pesquisa em ensino de ciências.” (NEVES, 2000, p. 557).

Uma abordagem diferenciada da física já na 8ª série do ensino fundamental foi defendida por Mees (2004) em sua dissertação de mestrado:

(...) a nossa proposta de ensino de ciências na 8ª série a partir da Astronomia, procurando mostrar aos alunos uma ciência em construção, totalmente articulada com diversas áreas do conhecimento e com questionamentos metafísicos, despertando neles o prazer da investigação e da descoberta. (MEES, 2004, p. 12).

Na dissertação, Mees apresenta vários relatos escritos de alunos que ele obteve na ocasião da aplicação do projeto. A leitura desses relatos deixa claro a motivação e o interesse verificado nos alunos e Mees conclui seu trabalho apresentando, entre algumas dificuldades encontradas nas avaliações com os alunos, os resultados positivos obtidos.

Em uma dissertação mais recente, Schmidt (2006) defende a inserção de tópicos de astronomia no estudo de radiações na disciplina de física do terceiro ano do ensino médio. Ele colocou que os assuntos de astronomia despertam grande interesse para os alunos além de gerarem interdisciplinaridade com química e biologia, sendo notoriamente reconhecidos pelos professores dessas disciplinas pela motivação que os alunos demonstraram em estender seus estudos para essas disciplinas.

Um trabalho importante e bastante extenso como revisão de literatura que defende com maior ênfase a inclusão de material histórico e filosófico para a melhoria do ensino de ciências, é de Matthews, que coloca:

A história, a filosofia e a sociologia da ciência (...) podem tornar as aulas mais desafiadoras e reflexivas, permitindo, deste modo, o desenvolvimento do pensamento crítico; podem contribuir para a superação do “mar de falta de significação” que se diz ter inundado as salas de aula de ciências, (...) podem melhorar a formação do professor auxiliando o desenvolvimento de uma epistemologia mais rica e autêntica, ou seja, de uma maior compreensão da estrutura das ciências bem como o espaço que ocupam no sistema intelectual das coisas. (MATTHEWS, 1995, p.165).

No mesmo trabalho o autor apresenta as idéias de alguns estudiosos da temática em questão que atacam o uso da história da ciência no ensino de ciências argumentando que essa estratégia enfraquecia as convicções científicas necessárias dos estudantes à conclusão bem sucedida da aprendizagem da ciência. Por outro lado, a objetividade em história é, num certo nível, impossível; a história é recontada a partir de fontes e materiais, de tomadas de decisões sobre a relevância das contribuições de fatores internos e externos para a mudança científica que, por sua vez, sofrem influências das visões sociais, nacionais, psicológicas e religiosas do historiador. Por isso, ela seria uma pseudo-história ou uma história de má qualidade e, então, seria melhor não se usar história do que usar-se história de má qualidade. Thomas Kuhn, entre outros, argumenta contra o uso de história genuína nos cursos de ciências. Ele afirma que, da forma como é conduzida nos livros-texto não passa de uma mera iniciação dogmática de uma tradição pré-estabelecida. No ensino de ciências “a história deveria ser distorcida para que os

cientistas do passado fossem retratos como se trabalhassem o mesmo conjunto de problemas trabalhados pelos cientistas modernos”. (MATTHEWS, 1995, p. 176). Dessa forma, o estudante sentir-se-ia parte integrante de uma tradição bem sucedida na busca da verdade. Mas, não é assim que acontece e, por isso, a história da ciência deveria ser censurada. Essas opiniões contrárias ao uso da história e filosofia da ciência nas aulas são contestadas por Matthews. Ele apresenta argumentos a favor da inclusão da história e da filosofia da ciência nos programas de formação de professores dessa área. Quando os estudantes chegam a resultados inesperados, “um pouco de história da ciência pode preparar os professores para esse resultado. Um pouco de filosofia da ciência pode auxiliar os professores a interpretar os resultados para os alunos.” (MATTHEWS, 1995, p. 182).

A Revolução Copernicana é um assunto de elevada importância no ensino de ciências porque sua compreensão é fundamental para a formação de uma visão de mundo moderno que destaca a produção do conhecimento científico e situa a Terra em seu lugar no espaço. Com relação à teoria copernicana, Medeiros e Monteiro (2002) fazem um estudo da abordagem feita nos livros-texto sobre o assunto e relatam que ela é (nas palavras dos autores) pálida, incompleta e distorcida. Essa abordagem introduz problemas no processo ensino-aprendizagem que os autores expressam da seguinte forma:

Se admitirmos que boa parte dos problemas do ensino e da aprendizagem da física parece decorrer de uma compreensão falha das relações entre observação e teoria, assim como de uma percepção mais clara dos pressupostos e dos limites de validade das construções científicas, muito precisa ser feito para melhorar o atual tipo de abordagem do modelo heliocêntrico conferido pelos livros-texto. (MEDEIROS e MONTEIRO, 2002, p. 46).

Além da análise das mensagens dos livros-texto, os autores apresentam os pressupostos e as limitações do sistema copernicano e sua importância na inclusão desse material no ensino de ciências.

Para uma compreensão contemporânea do desenvolvimento científico, a ciência galileana guarda seu lugar de destaque no processo de ensino e aprendizagem em ciências. Para ganhar terreno, a ciência galileana precisou se contrapor à física aristotélica, provocando uma ruptura conceitual e metodológica frente às concepções aristotélicas. Teixeira e Freire (1999) realizaram um trabalho de pesquisa em um estudo de caso da compreensão de professores de física, do ensino médio, acerca da natureza da ciência galileana. O resultado por eles obtido revela a fragilidade no entendimento da mudança conceitual e metodológica representada pela ciência galileana. No levantamento, as respostas equivocadas e inconsistentes superam em muito as respostas coerentes. Os autores vêem neste resultado

(...) Que a formação dos nossos professores de ciências parece estar na contramão das tendências contemporâneas do ensino de ciências. Diversos projetos (...) convergem em relação à necessidade de que os cursos de ciências sejam mais contextualizados, mais históricos e mais reflexivos. (TEIXEIRA e FREIRE, 1999, p. 39 – 40).

O grande marco da física clássica é o trabalho de Isaac Newton (1642- 1727) que culmina com a lei da Gravitação Universal. Não há dúvidas que o maior colaborador para esse cenário foi Galileu (1564- 1642) com seus trabalhos sobre inércia e sobre o movimento de projéteis. Um trabalho de grande importância encontrado na literatura sobre o cenário filosófico imediatamente anterior à época de Newton é de Barbatti (1999), onde ele apresenta a trama de influências que levariam Newton à formulação de suas concepções filosóficas e físicas. Quanto à introdução dessas concepções no ensino de ciências, ele coloca:

Independentemente da opinião pessoal sobre como a história da física deve ou não ser utilizada no ensino desta ciência, sem dúvida, para o professor, o domínio da origem histórica do seu objeto de ensino é uma experiência enriquecedora, abrindo várias possibilidades para a reflexão didática. (BARBATTI, 1999, p. 153).

Da forma como fazê-lo, o autor afirma:

Contextualizar Newton em seu tempo já não é mais nenhuma novidade para a história da física, nem encontraremos divergências sobre a importância dessa espécie de estudo para a compreensão global de sua obra. O que não é consenso é como fazê-lo. (BARBATTI, 1999, p. 153).

De mesma importância do trabalho anterior encontramos um artigo de grande utilidade prática a ser introduzida no ensino de ciências. Nesse artigo, os autores fazem *Uma Exposição Didática de como Newton Apresentou a Força Gravitacional* (FREIRE JR *et al.*, 2004, p. 30). A “experiência de pensamento”, a da “queda da Lua”, feita por Newton, é a mais emocionante demonstração dos *Principia*. No artigo é apresentado o argumento original e um argumento adequado ao ensino médio sugerindo sua introdução nos cursos de física do ensino médio.

Ao fazê-lo, estaremos ensinando um bom conteúdo de Física, de modo atrativo, e contextualizado-o nos marcos do conhecimento científico da época. Estaremos, também, introduzindo os estudantes em uma reflexão sobre a produção da própria Física, examinando, em particular, o papel dos experimentos de pensamento e o papel das estratégias de persuasão na construção do conhecimento. (FREIRE JR *et al.*, 2004, p. 30).

Da mesma forma, também acreditamos que essa abordagem é atrativa, acessível e adequada para a inclusão no ensino de física em nível médio.

Em outro artigo, que também apresenta um texto para o ensino médio sobre a Gravitação Universal, os autores defendem que a história da física mostre os elementos que dão significado ao conceito. Eles comentam que:

A história da Física apresenta os problemas que levaram à formulação de um particular conceito; ela revela os ingredientes, lógicos ou empíricos, que foram realmente importantes nesse processo (...) a História da Física clarifica conceitos, revelando-lhes o significado. (DIAS *et al.*, 2004, p. 258).

Os autores também defendem sua integração no processo de ensino-aprendizagem como papel importante na inclusão de novos conceitos à estrutura cognitiva, funcionando como *organizadores prévios* da teoria de aprendizagem significativa de David Ausubel.

Nossa revisão de literatura também se estendeu aos trabalhos relacionados às concepções epistemológicas contemporâneas subjacentes às atividades de sala de aula no ensino de física. Encontramos vários artigos de diversos autores que, reiteradamente, insistem que o ensino em ciências deve buscar na epistemologia da ciência uma fundamentação segura e atualizada para a sua prática. Selecionamos para o nosso trabalho, os artigos relacionados às epistemologias de Popper, Lakatos e Kuhn, tendo em vista sua forte influência no ensino de física. No próximo capítulo, apresentamos um estudo mais aprofundado sobre esses autores.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO EPISTEMOLÓGICO**

Vemos na epistemologia da ciência, mais especificamente nas filosofias de Popper, Lakatos e Kuhn, uma fundamentação sólida e atualizada, que nos orientou na produção do material instrucional e na metodologia utilizada na sua implementação (SILVEIRA, 1996a; SILVEIRA, 1996b; OSTERMANN, 1996; ARRUDA *et al*, 2001; LABURÚ *et al*, 1998; SILVEIRA e OSTERMANN, 2002).

### **2.1 Elementos da epistemologia de Popper**

De acordo com teoria do conhecimento de Karl Popper (1902- 1994), a aprendizagem decorre da existência de problemas. Estamos sempre ocupados em resolver problemas. A apropriação de um novo conhecimento é resultado da modificação de conhecimentos prévios. O conhecimento prévio é todo conhecimento que já possuímos, podendo ser, inclusive, os conhecimentos inatos que são determinados geneticamente. É através da linguagem, na forma de proposições, que se diferencia o conhecimento humano dos demais seres vivos. “Assim ele se torna comunicável, objetivo, acessível a outros seres humanos e criticável” (SILVEIRA, 1996a, p. 10). O conhecimento científico não é detentor da verdade única e absoluta, ele é questionável e passível de mudança. A argumentação é a função da linguagem mais elevada da capacidade humana de pensar racionalmente. É através da argumentação crítica que proposições ou asserções descritivas são validadas ou eliminadas. Quando essas se mostrarem consistentes, coerentes e não contraditórias são aceitas e sobreviverão, mas podendo no futuro serem contestadas e substituídas por outras que melhor expliquem os fatos.

Para Popper, o desenvolvimento da ciência é uma característica essencial do caráter racional e empírico do conhecimento científico. A expansão do conhecimento científico não é um processo de acumulação, mas, de sucessivas substituições de teorias por outras cada vez mais bem-sucedidas. As teorias são essencialmente tentativas de explicar o mundo que nos rodeia e estas são progressivamente aperfeiçoadas por meio do trabalho experimental, cujos resultados invalidam determinadas teorias. Nas palavras de Popper “as teorias podem vistas como livres criações da nossa mente, o resultado de uma intuição quase poética, da tentativa de compreender intuitivamente as leis da Natureza” (POPPER *apud* SILVEIRA, 1996a, p.

12). O sucesso em testes que tentam refutá-la marca a qualidade da teoria, o que não quer dizer que ela seja verdadeira, mas apenas melhor que suas concorrentes, isto é, ela contém mais informação empírica ou conteúdo. Toda teoria científica é susceptível de refutação; embora seja impossível provar que uma teoria é verdadeira, sempre é possível provar que ela é falsa. Na filosofia popperiana as teorias científicas não podem ser jamais provadas ou confirmadas, elas são corroboradas. O progresso científico de Popper é muito bem sintetizado da seguinte forma:

A ciência começa com problemas, problemas estes associados à explicação do comportamento de alguns aspectos do mundo ou universo. Hipóteses falsificáveis são propostas pelos cientistas como soluções para o problema. As hipóteses conjecturadas são então criticadas e testadas. Algumas serão rapidamente eliminadas. Outras podem se revelar mais bem sucedidas. Estas devem ser submetidas a críticas e testes ainda mais rigorosos. Quando uma hipótese que passou por uma ampla gama de testes rigorosos com sucesso é eventualmente falsificada, um novo problema, auspiciosamente bem distante do problema original resolvido, emergiu. Este novo problema pede a invenção de novas hipóteses, seguindo-se a crítica e testes renovados. E, assim, o processo continua indefinidamente. (CHALMERS *apud* MASSONI, 2005, p. 12).

Dessa forma fica evidente que a observação não é a fonte do conhecimento. Por isso, Popper também faz sérias críticas às idéias empiristas sobre o papel da observação no conhecimento científico. Para os empiristas as hipóteses (idéias) surgem da observação, que sempre é neutra e livre de preconceitos. Para Popper, as observações são sempre dirigidas por nossos problemas, expectativas e interesses (teoria do holofote). Não existe observação neutra; toda observação está impregnada de teoria e situações inesperadas, ao conflitarem com nossas expectativas podem suscitar problemas.

Para planejarmos o que observar temos que ter anteriormente uma hipótese, conjectura ou teoria que nos oriente a selecionar as percepções pretensamente relevantes à solução do problema. Não é possível observar tudo e, portanto, as observações são sempre seletivas. (SILVEIRA, 1996a, p. 9).

## 2.2 Elementos da epistemologia de Lakatos

Outro grande filósofo da ciência do século XX, defensor do racionalismo crítico e de Popper e, ao mesmo tempo, crítico em relação à sua epistemologia, é Imre Lakatos (1922-1974). Suas concepções epistemológicas pretendem dar uma explicação lógica à prática científica através da metodologia dos programas de pesquisa. Para Lakatos, o desenvolvimento científico resulta da competição entre vários programas de pesquisa. “Os programas de pesquisa, em linhas gerais, são diretrizes metodológicas responsáveis pela decisão acerca da construção e modificação das teorias” (LABURÚ *et al*, 1998, p. 26). “Um programa de pesquisa é caracterizado por seu ‘núcleo firme’: teoria ou conjunção de hipóteses contra a qual não é aplicada a ‘retransmissão da falsidade’” (SILVEIRA, 1996b, p.

221). Um conjunto de hipóteses e teorias auxiliares, bem como os métodos observacionais, formam o *cinturão protetor* que resguarda o *núcleo firme* de anomalias e refutações. A verificação da falsidade incidirá sempre sobre as hipóteses auxiliares do *cinturão protetor* e nunca sobre o *núcleo firme* (heurística negativa). As anomalias dentro de um programa de pesquisa são vistas “como algo que deve ser explicado em função do mesmo, ou seja, é um desafio para este” (LABURÚ *et al*, 1998, p.26), por isso, ele é “constantemente modificado, expandido, complicado” (SILVEIRA, 1996b, p. 222). Frente às anomalias, as normas epistemológicas e metodológicas do programa orientarão os cientistas para superá-las, modificando o *cinturão protetor* (heurística positiva). Às vezes a incompatibilidade teórica do *núcleo firme* leva à modificação do *cinturão protetor*. Dessa forma, um programa de pesquisa vai crescendo em complexidade e explicando um número cada vez maior de fatos. Um programa é considerado *progressivo* quando as modificações no cinturão protetor levam a explicar teoricamente novos fatos e ao menos alguns deles são corroborados além de explicar os fatos que os motivaram. Quando as modificações dão apenas conta de explicar as anomalias, sem antecipar fatos novos, o programa é *degenerativo*. O crescimento do conhecimento científico resulta da existência de programas concorrentes (rivais). Um programa de pesquisa só pode ser superado mediante a existência de outro melhor, considerado progressivo, quando se verifica que esse programa é corroborado pela experiência, através de um longo retrospecto, enquanto outros programas fracassam em explicar os mesmos fatos. Por isso, o abandono de um programa não acontece de uma hora para outra, é um processo demorado.

### 2.3 Elementos da epistemologia de Kuhn

Outra concepção epistemológica de maior relevância em nosso trabalho é a de Thomas Kuhn sobre o desenvolvimento científico que, a nosso ver, apresenta uma proposta muito rica a cerca do uso de estratégias no ensino de ciências. Kuhn, assim como Popper e Lakatos, defende que nenhuma observação é neutra, sempre estão subjacentes pressupostos teóricos que guiam a atenção do observador; ele “reconhece o caráter construtivo, inventivo e não definitivo do conhecimento” (OSTERMANN, 1996, p. 184). Para Kuhn, o desenvolvimento científico ocorre numa seqüência de três períodos: *pré-paradigmático*, *ciência normal* e *crise*. O progresso científico ocorre no período de *ciência normal*. Nesse período, todos os membros de determinada comunidade aderem a um único paradigma, isto é, todos compartilham e aceitam um mesmo conjunto de valores, técnicas e crenças metodológicas e teóricas interligadas. Os fundamentos teóricos, conceituais, metodológicos e instrumentais do

paradigma são aceitos acriticamente e os cientistas concentram seus esforços em aproximar a natureza e o paradigma. Nessa atividade, os problemas “exemplares” orientarão a solução de novos problemas propostos, devidamente escolhidos e possíveis de solução dentro dos limites preestabelecidos pelo paradigma, que vão progredindo em conhecimento científico na medida em que descrevem fatos cada vez mais concretos. Para confrontar a teoria com os fatos são inventados, construídos e aperfeiçoados equipamentos, cuja concepção está baseada no próprio paradigma e que não tem o papel de validar ou falsear uma teoria (como havia proposto Popper e Lakatos), mas sim uma relação adaptativa. A teoria e o experimento são complementos importantes na estruturação do paradigma. A atividade mais importante do período de *ciência normal* é a articulação da teoria. Ela “consiste no trabalho empreendido para articular a teoria do paradigma, resolvendo algumas ambigüidades e permitindo a solução de problemas até então não resolvidos” (OSTERMANN, 1996, p. 193). Em muitas situações, as teorias são reformuladas para adaptá-las à nova área de estudo. Essa atividade também propõe experiências que são conduzidas para a determinação de leis empíricas. Há períodos em que os problemas, que deveriam ser resolvidos através dos preceitos metodológicos e teóricos utilizados pela prática usual dos cientistas, passam a ser considerados como anomalias. Enquanto as dificuldades empíricas persistem, um estado de *crise* marcado por “investigações extraordinárias” se instala na área de pesquisa, levando a comunidade científica a um novo paradigma. Kuhn denomina de “revolução científica” a transição para um novo paradigma e destaca que a crise é uma consequência natural do período de ciência normal. Quanto mais aumentam a precisão e o alcance do paradigma, mais sensível este se torna como indicador de anomalias. A *crise*, que se inicia com a consciência da anomalia, pode levar à descoberta de uma nova teoria, que Kuhn classifica como “um acontecimento complexo, que envolve o reconhecimento, tanto da existência de algo, como de sua natureza” (KUHNS apud ARRUDA *et al*, 2001 p. 4). Uma nova teoria traz uma concepção de natureza e um novo paradigma emerge de reconstrução da área de estudo a partir de um novo conjunto de compromissos que a comunidade vai assumindo. No período de transição existe uma competição entre o antigo paradigma e o novo. Uma teoria será bem sucedida quando, além de resolver as anomalias deixadas pelo velho paradigma, leva a prever fatos novos. Dessa forma, podemos pensar que o processo de aquisição de conhecimentos provém do esforço em ajustar ou adaptar teorias e fatos.

Considerando os aspectos importantes das concepções epistemológicas de Popper, Lakatos e Kuhn, há uma compatibilidade muito forte entre suas idéias sobre o desenvolvimento do conhecimento científico. Todos concordam que a aprendizagem é um

processo interno de cada indivíduo no qual as idéias são precursoras e agem sobre os fatos. São as idéias e as concepções acerca da natureza que orientam nossas observações, são elas que nos dizem o que e para onde devemos dirigir nossa atenção. Há uma convergência entre os ‘programas de pesquisa’ de Lakatos e os ‘paradigmas’ de Kuhn. O progresso científico ocorre no período quando dois ‘programas’ ou dois ‘paradigmas’ concorrem – competição entre duas diferentes concepções de mundo. A substituição do antigo programa ou paradigma por um novo é um processo longo e complexo, requerendo uma reestruturação das bases teóricas e metodológicas da área de estudo. Por outro lado, existe uma divergência entre as idéias de Popper e Lakatos, de um lado e Kuhn, de outro, em relação ao papel do experimento no fazer científico, entre outros aspectos. Para Popper e Lakatos o experimento tem a finalidade de comprovar ou falsear a teoria e para Kuhn, uma relação adaptativa entre teoria e fatos – os fatos são adequados à teoria.

Nossa proposta de trabalho consiste em promover a evolução conceitual nos estudantes através de estratégias instrucionais fundamentadas nas epistemologias de Popper, Kuhn e Lakatos. Assegurando tal postura, faremos uma analogia do processo de construção de conhecimento em ensino de física com os ‘programas de pesquisa’ de Lakatos e as ‘revoluções científicas’ de Kuhn. Comparamos o conhecimento prévio (concepções alternativas) trazido para sala de aula pelos estudantes como um ‘programa de pesquisa’ ou ‘paradigma’ vigente. O primeiro passo consiste em fazer um levantamento das idéias de senso comum dos alunos para conscientizá-los de suas concepções alternativas destacando que elas possuem um conteúdo de verdade (OSTERMANN, 1996; SILVEIRA, 1996b). Em seguida (segundo passo), as concepções prévias dos alunos são colocadas num impasse, em conflito com a realidade através da introdução de anomalias. Esta situação gerará uma crise e uma sensação de desconforto e insatisfação se instalará no aluno frente suas concepções. Elas fracassam em prever e explicar alguns fatos. “Demonstrações, argumentos teóricos podem ser aplicados. É o equivalente instrucional ao período de ciência extraordinária, no modelo de Kuhn” (OSTERMANN, 1996). O próximo passo (terceiro) é a apresentação da teoria científica. Nesta etapa, o professor faz uma exposição clara da nova teoria destacando os ‘antagonismos conceituais’ com as concepções alternativas bem como a superioridade em ‘acomodar as anomalias’ (SILVEIRA, 1996b; OSTERMANN, 1996). Finalmente (quarto passo) é feita a interpretação da teoria. Nesta fase, equivalente ao período de ‘ciência normal’, são propostas atividades de resolução de problemas teóricos e práticos visando a ‘articulação conceitual’ (OSTERMANN, 1996). Também são realizadas atividades práticas (demonstrações e experiências) para promover uma adaptação entre os fatos (fenômenos) e a

teoria. Os dados (qualitativos e/ou quantitativos) obtidos em uma experiência são compreendidos de diferentes formas pelos alunos em conformidade com suas concepções prévias e, muitas vezes, de forma equivocada (ARRUDA *et al*, 2001). É importante destacar que

o que está em jogo é aprendizagem da linguagem científica e, em especial, o ajuste entre um discurso teórico e um experimental, os quais, apesar de problemáticos, cada um deles a seu modo, irão compor, ao final um todo, a linguagem única e coerente do paradigma que está sendo ensinado. (ARRUDA *et al*, 2001).

A maioria dos alunos que ingressa no ensino médio apresenta conceitos de física ou de astronomia geralmente mal assimilados e mal compreendidos, e as interpretações de fenômenos da natureza estão fundamentados em concepções de senso comum. Uma exposição muito clara e precisa do paradigma “aristotélico”, que era o fundamento teórico do sistema ptolomaico, levará os alunos a reconhecerem que as concepções de senso comum possuem conteúdo de verdade. Por exemplo, um objeto só podia manter-se em movimento sob a ação de uma força, ou se a Terra realiza um movimento diurno em torno de seu próprio eixo, de oeste para leste, como prevê o sistema copernicano, uma flecha lançada verticalmente para o alto deverá ser deixada para trás, ou seja, a flecha deveria cair a certa distância à oeste do ponto de onde foi lançada. Mas, em várias situações, essas concepções falham ou apresentam inconsistências lógicas, por exemplo, como pode ser observado em um avião que se encontra em pleno vôo, onde a comissária de bordo serve o cafezinho aos tripulantes sem se preocupar com o movimento do avião. A “nova física”, estruturada, dentre outros, por Galileu e Newton, além de explicar os movimento e suas respectivas causas, dá um suporte teórico consistente ao modelo copernicano. O paradigma aristotélico é confrontado com o paradigma da “nova física”, que explica tudo aquilo que o anterior explicava, além de explicar os fatos problemáticos e prever fatos novos.

De fato, quando queremos promover a aprendizagem temos que ter consciência de que este é um processo complexo e demorado, de muitas idas e vindas, motivado pelo debate e a discussão e orientado pelo professor na reestruturação do conhecimento em uma linguagem científica, e que não é adequado imaginar que os alunos, simplesmente, abandonam suas idéias prévias quando aprendem a concepção cientificamente aceita e viu que estas podem co-existir.

### **3 PROCEDIMENTOS**

Nesta sessão descreveremos a metodologia utilizada na implementação do projeto, que ocorreu em três turmas da primeira série do ensino médio do turno da manhã de uma escola estadual, bem como descrevemos as aulas ministradas. O número médio é de trinta alunos por turma.

#### **3.1 Metodologia de Ensino**

As aulas foram predominantemente de caráter expositivo dialogado, participativo e colaborativo. O aluno sempre foi instigado a participar da aula, contribuindo com suas idéias para as discussões e debates a partir de temas geradores e situações polêmicas trazidas pelo professor ou pelo aluno. A discussão e o debate são instrumentos efetivos de ensino e aprendizagem na promoção da evolução conceitual, nos quais cada indivíduo constrói seu próprio conhecimento através da interação social fomentada por essa forma de comunicação (LABURÚ *et al.*, 1998). Sempre que os temas permitiam, as questões geradoras de discussões e debates foram as questões e os problemas contextualizados na própria história e filosofia de suas descobertas.

O material de apoio didático às aulas foi por nós construído e distribuído ao aluno na forma de fotocópias do texto impresso em apostilas. Os alunos não tiveram livro-texto de apoio às aulas, mas tinham acesso a livros para consulta disponíveis na biblioteca da escola em horário no contra turno.

Destacamos no nosso trabalho o uso de vídeos como motivação e ferramenta de aprendizagem. Os programas que foram exibidos foram previamente selecionados, a partir de uma extensa lista de títulos já digitalizados e disponíveis em acervo particular, e estão relacionados diretamente com os conteúdos em estudo. A apresentação do vídeo ocorreu, predominantemente, depois da apresentação do conteúdo em aula e teve por objetivo ilustrar, demonstrar e complementar os estudos. Antes da exibição de cada programa, os alunos recebiam uma pequena ficha onde constava o nome do programa (e da série – se fosse o caso) e duas ou três questões sobre seu conteúdo. Acharmos importante colocar algumas questões (e não muitas) para dirigir a atenção dos telespectadores, pois são as nossas concepções de

mundo e expectativas que guiam nossa observação (SILVEIRA, 1996a). Fez-se também uma discussão sobre os programas para logo após sua apresentação.

Foram propostas atividades de resolução de problemas e questionários, para serem respondidos em aula e em casa durante a semana, incentivando o trabalho em grupo, observações do céu noturno e diurno. Para a contextualização dos conceitos, foram realizadas várias atividades práticas demonstrativas no grande grupo, confecção de painéis feita por alunos e saídas de campo para observações do céu noturno e diurno, a olho nu e com auxílio de telescópio. Todas as observações foram realizadas no campus da UNISINOS com o telescópio do curso de física da instituição. Na ocasião, os alunos foram convidados a essas atividades e se encontraram no campus da universidade, na hora e local previamente marcados. As observações foram efetuadas com um telescópio refletor de 12" (30 cm) de abertura que foi montado a céu aberto naqueles dias.

A avaliação dos alunos foi baseada na participação do aluno, na realização das tarefas propostas em aula e em casa e em duas provas escritas em cada um dos trimestres. O período para a aplicação do material e sua avaliação ocorreu ao longo de todo o ano letivo, que iniciou na primeira quinzena de abril, devido à greve dos professores estaduais, e terminou ao fim da primeira quinzena de dezembro, totalizando, em média, 60 horas-aula ministradas em cada turma.

Procuraremos avaliar os aspectos relacionados à motivação e à evolução conceitual promovida através do processo de ensino e aprendizagem. Por isso é importante conhecer as concepções prévias dos alunos e acompanhar o progresso para sua 'conversão' ao 'programa' ou 'paradigma' científico. Podemos notar a aceitação ou não do programa ou paradigma científico através do vocabulário que o aluno utiliza na sua comunicação em situações de diálogo e escrita. O aluno deverá mostrar, ao longo do curso, que é capaz de aprender uma nova linguagem, a linguagem científica, para compreender e explicar vários fatos cotidianos. Contudo, há situações que levam o indivíduo a recorrer às suas antigas concepções em função de dificuldades encontradas em aplicar ou entender os conceitos naquele contexto.

### **3.2 O material instrucional**

Dada a importância da inclusão da história e da filosofia da ciência no ensino de Física para uma compreensão mais profunda dessa ciência e a inserção de tópicos de astronomia como motivação à aprendizagem, buscamos disponibilizar um material instrucional na forma de texto que procura atender essa perspectiva. Para sua elaboração pesquisamos em diversas fontes bibliográficas, procurando selecionar aquelas reconhecidas por sua seriedade, quer

pelos autores ao tratar-se de livros didáticos ou livros-texto, quer pelos artigos publicados em periódicos. A lista de conteúdos constantes no material foi distribuída em quatro módulos, obedecendo a seguinte ordem:

Módulo I. Astronomia Antiga: Pitágoras. Aristóteles: as fases da Lua e os eclipses. Aristarco: primeiro modelo heliocêntrico. Eratóstenes: diâmetro da Terra. Hiparco: distância Terra-Lua e o tamanho da Lua. Modelo de Ptolomeu: os epiciclos. Modelo de Copérnico: cálculo da distância dos planetas internos ao Sol. Modelo de Brahe.

Módulo II. Galileu e a nova Física: inércia, velocidade média, movimento uniforme, aceleração média, movimento uniformemente variado, lançamento de projéteis e as descobertas em astronomia. As Leis de Kepler.

Módulo III. Newton e as Leis do movimento: Princípio da Inércia, Princípio da Ação e Reação, Princípio fundamental da Dinâmica, movimento circular, aceleração e força centrípeta, a lei da Gravitação Universal.

Módulo IV. Satélites naturais e artificiais, tópicos de astronomia e astrofísica moderna e contemporânea: detecção de planetas extra-solares, teoria do Big Bang e o Sol: fonte de energia e evolução das estrelas.

As bibliografias que trouxeram expressivas contribuições relacionadas aos aspectos da história e da filosofia da ciência, presentes nos três primeiros módulos, são da coleção *Especial Gênios da ciência* da revista *Scientific American Brasil*, dos artigos em periódicos nacionais como *Física na Escola*, *Revista Brasileira de Ensino de Física* e *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* e do livro texto de ROCHA *et al.*, 2002.

Os conceitos de mecânica presentes em todo o material foram pesquisados em livros didáticos de ensino médio e superior e em alguns artigos de revistas. Os temas de astronomia abordados nos quatro módulos que compõe o material foram baseados em alguns livros-texto de astronomia e astrofísica e na *Astronomy Brasil*, revista de divulgação científica de renome internacional que iniciou suas publicações no Brasil em 2006.

A lista de conteúdos, à primeira vista, pode parecer extensa. Mas como o objetivo do trabalho é motivar e estimular, entre outros, o estudante ingressante no ensino médio ao estudo da Física, o processo que leva o indivíduo a uma visão científica introdutória é moroso. Podemos compará-lo à aprendizagem de um novo idioma. Nos textos que disponibilizamos, procuramos atender esses objetivos através da clareza, objetividade e precisão nos conceitos desenvolvidos. Não foi possível abordar todos os aspectos históricos e filosóficos relacionados aos períodos estudados e também não foi possível aprofundar muito a aplicação dos conceitos. Mas, acreditamos que, da forma como foi feito, é possível

proporcionar aos estudantes, que tiverem acesso ao material, uma visão sólida sobre a estrutura, o funcionamento e o desenvolvimento da física, garantindo uma boa formação conceitual da mecânica.

## **4 DESCRIÇÃO DAS AULAS**

### **4.1 Do Módulo I**

Iniciamos o módulo I do projeto fazendo um retrospecto histórico da visão que o homem tinha do Universo na Antigüidade, bem como os modelos que formulou para descrevê-lo e explicar fenômenos relacionados. Procuramos sempre instigar o aluno sobre aquilo que ele próprio conhecia, seja a partir do que já estudou ou leu, seja a partir das concepções que têm fundamentado suas observações cotidianas. Os relatos espontâneos e individuais dos alunos demonstraram uma fácil assimilação do modelo descrito a partir do referencial da Terra, de onde, de fato, observamos o Universo. A pergunta, lançada de início, “A Terra está em repouso ou em movimento? Qual é a prova?”, deixou alguns alunos perturbados.

Solicitou-se aos alunos a leitura antecipada do texto de apoio do módulo I<sup>2</sup> em casa para terem o primeiro contato com os temas que foram abordados em aula. Mesmo assim, no decorrer das aulas, vários trechos foram lidos pelos alunos em voz alta, individualmente, para dar início às discussões. Notou-se que vários aspectos sobre as descobertas em astronomia na antiguidade chamaram a atenção dos alunos. As determinações do tamanho da Terra e a distância Terra-Lua, efetuadas já em época que datam antes de Cristo, foram os que mais surpreenderam os alunos. Também chamou a atenção dos alunos o primeiro modelo heliocêntrico para o Universo, proposto por Aristarco, mais de dois séculos antes de Cristo, que, por falta de evidências na época e por contradizer uma premissa básica de um vasto corpo de conhecimentos bem estruturado e aceito, foi rejeitado.

No estudo referente à determinação da circunferência da Terra discutimos o texto 1.6, do módulo I (ver apêndice A), reproduzimos no quadro a figura I.3, do mesmo texto, comentando do procedimento e o resultado obtido por Eratóstenes.

Para tornar significativo e atual repetimos a experiência de Eratóstenes para a determinação do tamanho da Terra. Para a realização dessa experiência tivemos a colaboração de uma pessoa conhecida do autor do projeto que mora na cidade de Tabatinga, no estado do

---

<sup>2</sup> Os textos de apoio estão reunidos no apêndice A e os do módulo I são os textos da subclassificação 1 desse apêndice.

Amazonas, para fazer observações da sombra projetada por uma estaca e nos fornecer os resultados. A experiência consistia em colocar uma estaca vertical em um terreno plano desprovido de árvores e construções maiores no entorno. A tarefa do nosso observador em Tabatinga era observar o dia e o horário em que, ao meio dia solar, não havia nenhuma sombra projetada pela estaca, isto é, o momento em que o Sol está bem na vertical daquele lugar. Trocamos as informações por *e-mail* e já uns dias antes da data prevista para a incidência vertical destes raios, enquanto ainda havia uma pequena sombra projetada por aquela estaca ao meio dia solar fomos informados do horário em que isso acontecia, pois nesse momento devemos, aqui em São Leopoldo, também efetuar a medida da sombra projetada por uma estaca posicionada verticalmente. Mas, foi no dia 10 de março que ele nos comunicou que, às 13 h e 45 min, no horário de Brasília, o Sol estava exatamente no zênite naquela cidade. No mesmo dia e horário a medida da sombra projetada por nossa estaca nos deu um ângulo de  $30,0^\circ$  entre a vertical e a direção da incidência dos raios solares. Com o auxílio de um “globo” e uma régua medimos a distância em linha reta que separa as duas cidades. Com esses dados propomos, aos alunos, o exercício de calcular a circunferência da Terra. Vários alunos tiveram dificuldade em converter a medida da régua sobre o globo na distância em km que separa as cidades. Mas, os resultados obtidos foram satisfatórios, chegando a valores muito próximos dos encontrados em livros e em tabelas. O roteiro que orientou os alunos para a atividade acima descrita está no apêndice C.

Para completar o estudo sobre as fases da Lua e os eclipses do Sol e da Lua foram exibidos dois capítulos da série “Espaçonave Terra”<sup>3</sup>: os programas semana 41 e semana 11, que tratam, respectivamente, das fases da Lua e dos eclipses. Na ocasião os alunos levaram em mãos uma ficha de vídeo que continha questões sobre os programas, que foram respondidos por eles durante e após a exibição dos mesmos. A ficha que contempla as questões sobre esses vídeos encontra-se no apêndice B – ficha 1.

Da mesma forma como fizemos anteriormente, discutimos o texto 1.7 e refizemos a figura I.4 no quadro para discutir os elementos presentes naquela figura para compreender como foi realizada a primeira estimativa na determinação do diâmetro da Lua e sua distância à Terra. Os alunos acharam esse procedimento bem mais complexo que o da determinação da circunferência da Terra.

---

<sup>3</sup> “Espaçonave Terra” é uma série de 52 programas; o número corresponde às semanas de um ano, com utilização de sofisticados recursos de animação gráfica em 3D mostrando o que ocorre quando a Terra gira em torno do Sol. Cada programa/capítulo tem duração de aproximadamente 7 minutos. A série foi produzida na França e exibida no Brasil pela TV Escola.

O modelo geocêntrico proposto por Ptolomeu foi apresentado com destaque como sendo o primeiro modelo completo na descrição dos movimentos dos astros no céu. Introduzimos o estudo desse modelo através da análise da figura I.6 do texto que mostra as posições do planeta Marte, de 15 em 15 dias, no seu movimento em relação às estrelas de fundo, realizado no período entre os meses de agosto de 2005 e fevereiro de 2006. Na mesma figura fica evidenciado também o movimento retrógrado que o planeta fez nos meses de outubro, novembro e início de dezembro de 2005. Esse modelo permaneceu supremo por 13 séculos pelas previsões nas posições dos planetas e eclipses que permitiu realizar com relativa precisão enquadrando-se em todos os aspectos na teoria de Aristóteles. Era o primeiro modelo geométrico a descrever com amplo sucesso os movimentos dos astros no céu tal como eram observados na Terra.

Houve boa aceitação dos alunos na apresentação desse modelo. Eles conseguiram assimilar facilmente a visão geocêntrica do modelo ptolomaico, embora alguns reclamassem de sua complexidade. Para explicar o movimento retrógrado dos planetas fizemos uma representação geométrica do deferente e de vários epípiclos que simularam o movimento de um planeta em torno da Terra; ligando-se os vários pontos que mostram o planeta em diferentes posições podemos observar, da posição do centro do deferente que representa a posição de um observador aqui na Terra, um movimento que inverte seu sentido por certo período de tempo. A figura feita no quadro tinha aspecto semelhante a da figura I.7 do texto.

O estudo sobre a Revolução Copernicana foi introduzido com a seguinte pergunta: “Qual foi a motivação de Copérnico ao propor o modelo heliocêntrico?”. Todos os alunos foram convidados a dar sua opinião. A existência do dia e da noite e das estações do ano foram as idéias apresentadas pelos alunos para justificar a proposta heliocêntrica de Copérnico. Após essa discussão inicial um aluno convidado leu o trecho do texto onde o próprio Copérnico relata sua inspiração metafísica, colocando o Sol como astro mais importante, que foi transcrito para o texto de apoio. O conjunto de pressupostos astronômicos que sustenta a hipótese heliocêntrica de Copérnico também foi lido por alunos e discutido no grande grupo. A parte inicial do modelo de Copérnico foi recebida sem maiores dificuldades pelos alunos, porém era novidade a inspiração metafísica do cientista para defender seu modelo.

Passamos a expor a forma como Copérnico explica o movimento retrógrado dos planetas. Para isso, utilizamo-nos de um esquema feito no quadro parecido ao da figura I.9.

Além de explicar o movimento retrógrado dos planetas sem fazer uso de epípiclos, anunciamos a grande vantagem desse modelo: a possibilidade de determinar as distâncias dos

planetas ao Sol em relação a distância Terra-Sol, conhecida como unidade astronômica, que Copérnico fez utilizando-se da geometria. Como exercício, calculamos a menor e a maior distância de Mercúrio ao Sol e a distância de Vênus ao Sol através dos valores das elongações máximas desses planetas constantes no material.

O que surpreendeu os alunos foi o fato de Copérnico não ter tido nenhuma prova concreta da validade de seu modelo.

Para visualizar o movimento retrógrado dos planetas como sendo uma “ultrapassagem” que a Terra realiza em relação aos planetas exteriores assistimos ao vídeo das semanas 06, 18 e 21, da série Espaçoave Terra, que enfatiza essa visão para o planeta Marte.

Seguindo a cronologia dos grandes personagens da história da ciência chegamos ao nome de Tycho Brahe. Para aquela aula, foi solicitado aos alunos lerem, com antecedência, o texto “o modelo de Tycho Brahe”, mas mesmo assim, alguns trechos foram lidos por alguns alunos para o grupo.

Começamos a aula relatando um pouco da história da infância de Brahe baseado no artigo de Medeiros (2001). Esse tipo de abordagem é muito importante, pois gera no grupo uma atmosfera de elevada atenção pelos fatos e pelo personagem. O aluno é levado a situar-se no contexto da época em aspectos científicos, filosóficos, políticos e tecnológicos. Mas foram as descobertas que contrariaram a imutabilidade do mundo supralunar de Aristóteles que geraram as maiores discussões no grupo. Para enfatizar a importância histórica dessas descobertas, retomamos e comentamos o texto 1.4 da física aristotélica.

Destacamos o modelo planetário de Tycho numa representação geométrica feita no quadro e discutimos o porquê da opção desse modelo pelo cientista. Esse modelo estava baseado no referencial da Terra que era imóvel uma vez que Brahe não conseguiu detectar paralaxe das estrelas.

O último parágrafo do texto nos remete ao fato de que a ciência, para poder progredir, necessita de apoio político e financeiro como aconteceu com Brahe, que teve a colaboração da corte da Dinamarca, em particular do Rei Frederico II.

Terminamos o estudo dessa seção esquematizando em tópicos as contribuições de Brahe para o avanço nas descobertas em astronomia, pondo em xeque a teoria aristotélica. A dúvida gerada quanto à validade da teoria do mundo supralunar preparou o terreno para os cientistas da época e os subsequentes pensarem e criarem uma nova teoria para os fenômenos físicos, que foi iniciada por Kepler e Galileu e concluída por Newton menos de um século depois. Para isso, os dados das medições sobre o movimento dos planetas deixadas por Brahe, representam uma preciosidade incalculável.

## 4.2 Do Módulo II

O estudo ao módulo II foi introduzido com a seguinte questão: “*É necessária a ação de uma força sobre um corpo para mantê-lo em movimento sobre um plano horizontal?*”

Todos os alunos foram convidados a dar seu parecer sobre a questão. Enquanto alguns não participaram da discussão o restante da turma defendeu a idéia dizendo que sim.

Prosseguindo, fizemos uso de um dispositivo, previamente construído para esse fim, um trilho construído de três trechos distintos, um declive, um horizontal e um aclave, de onde se deixou rolar uma esfera maciça de aço (rolamento de 1” de diâmetro). O dispositivo em questão encontra-se ilustrado no apêndice C. Mas, antes de deixar a esfera rolar discutimos sobre a altura que a esfera atingiria no aclave. Tivemos opiniões diferentes: alguns alunos acharam que a esfera iria chegar à mesma altura, outros opinaram que ela atingiria uma altura um pouco menor, e outros ainda, que a esfera subiria apenas um pouco e retornaria para parar no trecho plano.

A demonstração prática mostrou, para surpresa da maioria dos alunos, que a esfera desceu o declive, percorreu o trecho horizontal e subiu o aclave até quase a mesma altura de onde foi abandonada. Assim, a esfera realizou inúmeros movimentos de vai-e-vem até parar no trecho horizontal do trilho. A partir do que observamos discutimos as causas da gradativa diminuição da altura máxima que a esfera atingia a cada oscilação. Os alunos tiveram boa participação nessa discussão.

Em seguida montamos um pêndulo, construído com um fino fio de *nylon* de 1,0 m de comprimento com uma pequenina esfera de chumbo na extremidade, fixado num gancho disponível na borda superior do quadro. Quando posto a oscilar, a cada oscilação a esfera voltava praticamente para a mesma posição de onde havia saído no movimento anterior. O tempo que o pêndulo oscilava até parar era muito maior do que o tempo que a esfera realizava o movimento de vai-e-vem sobre o trilho até parar. A partir dessas observações discutimos noções de atrito entre superfícies e a resistência do ar bem como introduzimos as bases da física moderna fundada por Galileu.

Passando ao estudo do texto de apoio do módulo II (o texto 2 do apêndice A), introduzimos as bases da física moderna, lançadas por Galileu e, estabelecendo uma ligação com as demonstrações citadas anteriormente, enunciamos o conceito de inércia. Exemplificamos o conceito de inércia através das viagens de sondas interplanetárias, que

jamais seriam possíveis caso houvesse necessidade de manter os foguetes ligados em todo percurso, e da importância do uso do cinto de segurança para os ocupantes de automóveis.

Para introduzir o conceito de movimento e repouso lançamos a seguinte questão: “Como podemos saber se um corpo está em movimento ou não?” Discutimos o mesmo exemplo apresentado no texto 2.3, o das estrelas, e outros como o dos passageiros de um trem que passa por uma estação, ou a Terra e o Sol. Só depois dessa discussão, que teve significativa participação dos alunos, apresentamos os conceitos de velocidade média e velocidade instantânea. Chamamos a atenção quanto às unidades de medida para velocidade. Resolvemos alguns exemplos da aplicação do conceito de velocidade média no quadro e logo em seguida os alunos resolveram os exercícios 08 ao 15 que constam no questionário ao final do material dos textos do módulo II. Alguns exercícios os alunos fizeram em aula, onde tinham a liberdade de trocar idéias com os colegas e pedir o auxílio ao professor, e o restante dos exercícios ficaram como tema de casa. Os alunos manifestaram dificuldades nas unidades de medida, conversões de unidades e alguns tiveram até dificuldade em interpretar e entender o enunciado do problema.

A respeito do movimento de queda de corpos lemos e discutimos o texto 2.4, “movimento de queda”, que toma como ponto de partida o movimento de queda em meios resistivos como, azeite, água e ar. As experiências descritas no texto foram de fácil compreensão para os alunos. O único conflito de idéias gerado no grupo foi quanto ao movimento de queda de esferas de mesmo material, mas de diâmetros diferentes, que caem em certo meio resistivo: um grupo defendeu que a esfera maior chegava antes e outro que a esfera menor chegava primeiro. Resolvemos o impasse através da experiência realizada com duas garrafas *pet*, de 2 litros, transparentes, cortadas com água à mesma altura, onde duas esferas de aço, uma em cada garrafa, de diâmetros diferentes na proporção de quatro por um foram abandonadas simultaneamente.

A discussão sobre o movimento de queda em meios resistivos é muito importante para conceituar o movimento de queda livre, pois prepara o estudante para compreender corretamente esse conceito, uma vez que queda livre somente ocorre no vácuo e apenas com boa aproximação para queda de corpos em pequenas alturas com a densidade do corpo muitas vezes maior que a densidade do ar. Essas foram as idéias que reforçamos no decorrer das aulas. Enunciamos a Lei da Queda Livre e conceituamos movimento naturalmente acelerado ou uniformemente variado conforme fez Galileu, em 1604, fazendo a leitura conforme consta no texto. Dispusemos de uma aula para demonstrar, partindo da mesma idéia de Galileu, *que um corpo em queda livre tem acréscimos iguais de velocidade em intervalos de tempos*

*iguais*, a obtenção da Lei de Queda Livre. Salientamos que a relação entre a altura de queda e o tempo (altura de queda proporcional ao quadrado do tempo) foi estabelecida teoricamente, através da matemática, e a esfera rolando nos planos inclinados apenas foi uma forma de corroborar sua teoria.

A partir da relação da distância percorrida no movimento de queda livre de Galileu, de um corpo que parte do repouso, fizemos um exemplo de aplicação da altura de queda e velocidade adquirida para uma pequena esfera que cai durante certo intervalo de tempo sem a resistência do ar. Em seguida os alunos resolveram exercícios de queda livre que foram passados no quadro.

Na continuidade definimos aceleração média. Exemplificamos aceleração através do próprio movimento de queda livre e na variação da velocidade de um carro. Resolvemos exemplos sobre aceleração média no quadro e salientamos sobre as unidades de medida e sobre a importância do significado do sinal da aceleração. Para complementar o estudo da aceleração média, os alunos resolveram os exercícios 16 ao 22 do questionário ao final do texto do módulo II.

Iniciamos o estudo do movimento de projéteis questionando o grupo sobre a trajetória de uma bala de canhão e a bala de fuzil atirado em campo aberto. Houve um consenso de que a bala do canhão segue uma trajetória curva, mas em relação ao movimento inicial da bala, alguns alunos acharam que no início ela seguiria uma trajetória retilínea até perder velocidade. Quanto ao disparo do fuzil, a maioria dos alunos defendeu que a bala segue grande distância sempre em linha reta até perder velocidade e começar a cair. Em seguida discutimos a trajetória dos projéteis, como eram descritas antes de Galileu e por ele próprio. Para determinar as trajetórias de projéteis, a partir das condições iniciais conhecidas, adotamos o procedimento desenvolvido por Galileu: a composição dos movimentos de queda livre e do retilíneo e uniforme. Resolvemos no quadro os exemplos 01 e 02 que se encontram no final do texto 2.6. Os exercícios 23 a 30, do questionário, foram resolvidos pelos alunos e a maioria deles demonstrou sérias dificuldades no começo. Na medida em que mais exercícios foram sendo resolvidos, entre eles e com o auxílio do professor, essas dificuldades foram aos poucos sanadas.

Passando ao texto 2.7, “as descobertas de Galileu na astronomia”, fizemos primeiro uma discussão no grande grupo. Comentamos sobre a construção das lunetas astronômicas feitas por Galileu e a visão de um novo céu que ela propiciou: montanhas e crateras na superfície lunar, um sistema de quatro satélites em torno de Júpiter, as fases de Vênus, as manchas na superfície do Sol que se deslocavam e um céu repleto de estrelas, em número

muitas vezes maior do que aquele perceptível a olho nu, revelando um Universo novo, diferente daquele concebido, divulgado e defendido pelos gregos desde a antiguidade. Refletimos sobre as conseqüências dessas descobertas trazidas ao corpo de conhecimentos e a cultura vigentes na época. O mundo físico descrito por Aristóteles, há quase dois mil anos antes de Galileu, mostrava-se, agora, falho perante o Universo observado por telescópios. As primeiras provas convincentes a favor do heliocentrismo se concretizavam. Da mesma forma, a perfeição e imutabilidade dos céus caiu por terra. Era necessário criar uma nova teoria para esse novo Universo, mas as bases da nova teoria já estavam lançadas: a lei da Inércia e a lei da queda livre por Galileu.

Em seguida à discussão assistimos a mais alguns capítulos da série de vídeos “Espaçonave Terra”, os programas das semanas 31, 20, 26 e 28. e os alunos levaram em mãos um pequeno questionário sobre algumas questões apresentadas naqueles vídeos. O questionário encontra-se no apêndice B e está indicado como ficha 3. Os programas exibidos mostraram aspectos práticos das observações celestes com telescópios, da Via-láctea, dos satélites de Júpiter, do planeta Vênus e das manchas solares.

Marcamos também uma data e fizemos observações com telescópio, num espaço reservado a céu aberto, no campus da Unisinos. Na oportunidade observamos a Lua, Mercúrio, Marte, Júpiter e Saturno. Tivemos a presença de pouco mais da metade dos alunos participantes do projeto, mas todos haviam sido convidados a participar das observações.

No estudo dessa seção e da prática das observações com o telescópio, vários aspectos chamaram a atenção dos alunos: as manchas solares e a rotação do Sol, a observação de planetas a olho nu e ao telescópio e as fases de Vênus. Também foi solicitado aos alunos participantes das observações com telescópio a fazerem um pequeno relatório comentando sobre os pontos que mais lhe chamaram a atenção. A maioria apresentou o relatório e as análises pertinentes sobre eles serão apresentadas na próxima seção.

Ainda no mesmo módulo, tratamos das Leis de Kepler. Introduzimos o estudo sobre tais Leis abordando alguns aspectos marcantes em sua infância e os estudos de Johannes Kepler até seu primeiro emprego como professor. Destacamos dos seus trabalhos a busca persuadida de um modelo geométrico que ligasse as órbitas dos planetas com seus respectivos períodos de revolução em torno do Sol e a explicação de uma causa física para a posição central do Sol. O primeiro modelo proposto por ele, o modelo dos sólidos platônicos, foi apenas apresentado sem, no entanto, aprofundar seu estudo, enquanto as três leis foram estudadas mais detalhadamente. Foram necessários anos de dedicação e esforços exaustivos,

através da matemática, para chegar à descrição da forma das órbitas dos planetas, baseados nos preciosos dados obtidos e deixados por Brahe.

Enunciamos a primeira chamando a atenção para o movimento orbital da Terra, em sua distância ao Sol, no periélio e no afélio. Mostramos também como se obtém a figura de uma elipse, utilizando-se um tubo de caneta por onde se passou um barbante amarrando-se as extremidades entre si. No desenho da elipse localizamos os focos, o periélio, o afélio e a distância média do planeta ao Sol.

Questionando os alunos sobre o fato de a Terra estar no periélio ou no afélio ter alguma influência sobre o clima, alguns alunos opinaram sendo esses os motivos das diferentes estações ao longo do ano. Esta dúvida foi sanada através da discussão sobre a oposição das estações do ano verificadas entre os hemisférios norte e sul.

A segunda lei foi apenas tratada em seus aspectos quantitativos. Fizemos numa elipse representações de diferentes trechos que um planeta percorre em sua órbita para intervalos de tempo iguais, salientando que para a área demarcada por um segmento de reta imaginário que liga o planeta ao Sol ser igual em cada um dos intervalos considerado, a velocidade do planeta é maior quando está mais perto do Sol porque o percurso em sua órbita deve ser maior.

Estudamos a terceira lei pelo seu enunciado, conforme apresentado no texto 2.8, e comentamos sobre sua aplicação. Usamos os dados do período e da distância ao Sol, da tabela do mesmo texto, dos planetas Mercúrio, Vênus e Marte para testar a terceira lei de Kepler. Fizemos exercícios aplicando a terceira lei para determinar o período de revolução de Saturno em torno do Sol conhecendo-se sua distância média, o período de revolução de um asteroide hipotético em torno do Sol ou de um cometa, para trabalhar a questão da distância média de uma órbita mais excêntrica.

Finalizamos o estudo dessa seção respondendo às questões e resolvendo os exercícios do 31 ao 42 do questionário ao final do texto. Ainda assistimos um programa da série “Espaçonave Terra” que trata das órbitas elípticas dos planetas.

### **4.3 Do Módulo III**

Passamos agora à descrição da aplicação do material do módulo III, cujos textos encontram-se na seção 3 do apêndice A, que tratam do conceito de força e das Leis de Newton. Seguimos rigorosamente os tópicos na seqüência em que constam no material, solicitando-se sempre aos alunos a leitura prévia desses em casa. Os textos sobre “conceito de força”, “força: uma grandeza vetorial” e “tipos de forças e força resultante”, respectivamente os textos 3.1, 3.2 e 3.3, foram discutidos no grupo seguindo o raciocínio e os exemplos dos

próprios textos. Levamos alguns dinamômetros às aulas e os alunos tiveram a oportunidade de manipulá-los para conhecer sua estrutura e seu funcionamento.

No estudo de grandezas vetoriais houve dúvidas sobre a direção e o sentido, ou seja, alguns alunos confundiam a direção com o sentido de grandezas vetoriais. Nos tipos de forças destacamos àquelas que mais são usadas para explicar e entender diferentes situações práticas, como por exemplo, a resistência do ar, a normal de apoio, o peso, o atrito estático e o atrito cinético.

A força resultante foi precisamente definida e bem discutida para que os estudantes pudessem compreender corretamente, e sem maiores dificuldades, a Mecânica Newtoniana. Discutimos os mesmos exemplos apresentados no texto e realizamos a montagem experimental apresentada na figura III.7. Acharmos muito importante a realização das leituras nos dinamômetros formando um ângulo entre si e a tradução dessas medidas para um diagrama em escala, pois dessa forma, o aluno terá uma visão mais concreta de grandezas vetoriais e de força resultante. Apresentamos alguns exemplos de força resultante na forma numérica e gráfica. Em seguida, os alunos resolveram e responderam as questões 1 ao 8 do “questionário e problemas” do respectivo material texto.

Iniciamos o estudo da Mecânica Newtoniana fazendo um breve comentário sobre a vida de Isaac Newton, na infância, nos estudos e na carreira como físico e matemático<sup>4</sup>. Falamos também dos *Principia* como a primeira grande e importante obra na física, escrita pelo cientista. Além disso, apresentamos e discutimos aspectos do trabalho mais geral do cientista que são os dedicados estudos relacionados com a alquimia e a teologia e que tiveram influência marcante na sua obra científica. Na ocasião os alunos tiveram a oportunidade de manusear o livro I dos *Principia* com tradução em português.

Enunciamos a Primeira Lei do movimento de acordo com Newton, conforme os *Principia* com a tradução em português. Esse enunciado encontra-se transcrito no nosso texto indicado como 3.5. Discutimos o enunciado da Primeira Lei nos exemplos do movimento de uma bala disparada por um canhão e de uma esfera colocada sobre o piso de um trem em movimento, seja em linha reta, em movimento uniforme, aumentando ou diminuindo a velocidade, ou descrevendo uma curva. Salientamos a importância dos referenciais inerciais para a validade da Mecânica Newtoniana. Exemplificamos situações em que corpos ou sistemas sujeitos à resultante nula de forças encontram-se em repouso ou em movimento retilíneo e uniforme e, da mesma forma, corpos ou sistemas em repouso ou em movimento

---

<sup>4</sup> Os fatos históricos da vida de Newton foram baseados nas leituras dos artigos da revista *Scientific American* Especial “Gênios da Ciência - Newton”.

retilíneo e uniforme estão sujeitos à ação resultante nula de forças. Para testar a compreensão e a aplicação da primeira lei foi proposta aos alunos responderem às questões 9, 10 e 11 da lista no final do respectivo material.

Começamos o estudo da Segunda Lei pela leitura de seu enunciado no texto 3.6, que é a transcrição da tradução ao português, da segunda lei nas palavras de Newton. Discutimos, acompanhando os esquemas da figura III.8, as diferentes mudanças de movimento de um corpo quando sujeito a uma força resultante não nula aplicada em diferentes ângulos em relação a direção do movimento que possui. No mesmo texto também discutimos detalhadamente o trecho transcrito em que Newton utiliza a linguagem geométrica para explicar a segunda Lei do movimento. Através da leitura desse texto pudemos perceber que expressões como “diretamente proporcional” e “inversamente proporcional” eram novas para os alunos.

Introduzimos o conceito de massa quando apresentamos a equação do movimento da Segunda Lei. Resolvemos alguns exemplos de sua aplicação no quadro, chamando a atenção para as unidades de medida de cada grandeza presente na equação da Segunda Lei. Em seguida os alunos resolveram os problemas 18 à 25 que tratam sobre os conceitos de força resultante, aceleração e massa de um corpo.

A Lei da “ação e reação”, a Terceira Lei, também foi enunciada nas palavras de Newton conforme transcrito para o texto 3.7. Para sua melhor compreensão discutimos os exemplos do texto e mais alguns outros, como o caminhar de uma pessoa e o ato de subir uma escada. Questionados sobre o sentido da força que a pessoa faz com as pernas quando caminha normalmente ou sobe uma escada, praticamente todos responderam que é para frente quando caminha e para cima quando sobe a escada. Levados a analisar mais profundamente a questão, eles próprios deram-se conta do equívoco.

Nesta sessão também estudamos a primeira lei de conservação: a conservação da quantidade de movimento, que é uma consequência da aplicação prática da terceira Lei de Newton. O fizemos limitando-nos à discussão das três experiências apresentadas no texto. Os alunos não demonstraram maiores dificuldades no entendimento das experiências. Sobre esse estudo os alunos responderam às questões 12 a 16 do “questionário e problemas 03”.

O “peso de um corpo” foi abordado como um caso particular da aplicação da segunda Lei de Newton. Muitos alunos sustentaram a idéia de que não há atração gravitacional da Terra fora da atmosfera e na superfície lunar. Por essa razão, afirmaram esses alunos, na Lua os objetos não cairiam, simplesmente flutuariam.

Concluimos o estudo das Leis de Newton assistindo a três episódios da série “O Mundo de Beakman”, ‘inércia’, ‘ação e reação’ e ‘gravidade’. Também demonstramos o princípio do funcionamento da propulsão de foguetes através de uma experiência, ilustrada no apêndice C, em que utilizamos um balão de festa inflado, fixado com fita adesiva pela lateral a um canudinho de refrigerante por onde foi passada uma linha de pesca que foi esticada entre duas paredes da sala. Assim que bico do balão foi aberto, o balão saiu disparado até a outra parede. Muitos alunos ficaram surpresos com a demonstração, achando-a muito interessante. Também foram resolvidos os exercícios 26 ao 31 do “questionário e problemas”.

Passamos agora ao estudo da força centrípeta. O conhecimento dessa força é essencial na abordagem da teoria da Gravitação Universal. O fizemos de maneira abreviada, mas sem abrir mão na precisão de sua definição, incluindo o estudo de outras grandezas presentes no movimento circular, como o período, a velocidade e a aceleração centrípeta. Acreditamos que dessa forma os alunos terão requisitos importantes e suficientes para melhor acompanhar o desenvolvimento das aulas que abordam temas de mecânica do sistema solar e os movimentos de satélites. Para aprofundar o estudo da força centrípeta e outras grandezas relacionadas foram resolvidos os problemas de movimento circular e força centrípeta que constam na lista do ‘questionário e problemas’.

O ápice da Mecânica Newtoniana é a teoria da Gravitação Universal. Não podemos deixar passar a valiosa oportunidade de levar ao conhecimento dos estudantes a importância dessa teoria para a consolidação da Nova Física iniciada por Galileu. Nossa proposta no projeto foi a de apresentar a teoria da Gravitação Universal de Newton seguida da demonstração, através de argumentos matemáticos, de sua validade e aplicação. Seguimos rigorosamente a demonstração apresentada no texto, que é uma adaptação, numa linguagem atualizada da matemática para o ensino médio, da demonstração feita por Isaac Newton nos *Principia*.

No decorrer da exposição, os alunos manifestaram muitas dificuldades, em vários aspectos, na compreensão da demonstração. O desenvolvimento matemático e o grande número das variáveis presentes foram as maiores dificuldades manifestadas. A retomada da explicação e a exploração de pormenores que acompanham a demonstração melhoraram a compreensão.

Também introduzimos o conceito de campo gravitacional e apresentamos a equação para determinar sua intensidade para corpos esféricos em pontos fora destes. Foram resolvidos problemas de calcular a força de atração entre duas pessoas próximas, entre a Terra e a Lua, a aceleração da gravidade na superfície da Terra e a altura da órbita da estação espacial

internacional e a aceleração gravitacional na superfície da Lua. Para ilustrar a Gravitação Universal na dinâmica do sistema solar e na formação das marés assistimos ao vídeo da semana 7 da série “Espaçonave Terra”.

#### 4.4 Do Módulo IV

O módulo IV, o último da nossa produção textual do material instrucional, contempla vários tópicos de astronomia e física moderna. Os textos desse módulo estão na seção 4 do apêndice A. Seu estudo foi dividido em duas partes, onde em cada uma delas, os alunos receberam o texto, para sua leitura em casa, uma semana antes da aula quando também tiveram que entregar respondido o questionário ao final do respectivo texto.

A primeira parte desse material faz uma abordagem do movimento orbital da Lua a dos satélites artificiais incluindo o estudo das equações do período de revolução e da velocidade orbital desses satélites. Nesta parte, também foi feito um estudo da história da corrida espacial, desde os preparativos do lançamento do primeiro satélite artificial à conquista da Lua, em seus aspectos tecnológicos e políticos da época. Além do nosso texto os alunos também tiveram que ler três capítulos: “Exploração da Lua”, “Missão Apollo” e “Apollo – A Conquista da Lua”, do *Livro de Ouro do Universo* (MOURÃO, 2000).

Do desenvolvimento dessas aulas, apenas uma, na qual deduzimos as expressões matemáticas da velocidade e do período orbital dos satélites e resolvemos as equações para o satélite Sputnik I, ocorreu na sala de aula e as demais ocorreram na sala de vídeo. Cinco vídeos acompanharam o estudo da primeira parte: semana 3 da série ‘Espaçonave Terra’, que trata das hipóteses da formação da Lua; “A Chegada do Homem à Lua”; “Foguete Saturno V”; “Satélites de Comunicação” e “Viagem à Lua”, os dois últimos são da Série “Por que será?”. Também foi feito um trabalho sobre esse vídeos e o respectivo questionário está na ficha 4 do apêndice B. Sobre esses vídeos tivemos uma extensa discussão que prosseguiu na aula seguinte.

Na segunda parte foram abordados aspectos sobre características, formação e constituição do Sistema Solar. Temas de cosmologia, como a atual teoria do nascimento do Universo, e a busca por planetas extra-solares foram destaques na produção textual.

O desenvolvimento das aulas sobre Sistema Solar, Universo e planetas extra-solares foi feito integralmente na sala de aula de vídeo. Foram exibidos trechos de doze capítulos da série “Espaçonave Terra”, na seguinte seqüência: semana 7 – Gravitação Universal; semana 25 – o Sol; semana 43 – Júpiter; semana 46 – Saturno; semanas 8, 14 e 15 – sobre cometas;

semana 16 – asteróides; semana 31 – Via-Láctea e Big Bang; semana 47 – vida fora da Terra; semana 36 – espaço-tempo de Einstein; semana 37 – Plutão: planeta, lua ou asteróide?

Após a exibição desses filmes fizemos uma discussão sobre os temas abordados a qual os alunos tiveram boa participação, provavelmente nessas duas últimas sessões a participação foi mais saliente, na maioria delas sobre questões apresentadas nos vídeos ou sobre dúvidas pessoais sobre as quais o vídeo não respondeu. Para essa sessão de vídeos os alunos também entregaram uma ficha de vídeo com as questões respondidas. A respectiva ficha de vídeo está no apêndice B como ficha 5.

Assim finalizamos a aplicação do nosso projeto.

## **5 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **5.1 Do Material na Forma de Texto**

No decorrer da aplicação do projeto, em especial na aplicação do primeiro módulo<sup>5</sup>, os alunos manifestaram elevado interesse, demonstrado por perguntas por eles levantadas, em questões ligadas diretamente ou indiretamente aos assuntos em discussão. Muitas eram perguntas soltas e as mais freqüentes, que fugiam aos assuntos em estudo, mas estavam de alguma forma relacionadas à matéria, foram: ‘existe vida extraterrestre?’, ‘existem discos voadores?’, ‘qual a composição da Lua, do Sol, dos planetas, dos anéis de Saturno?’, ‘o que são as estrelas cadentes?’ e ‘o homem realmente chegou a pousar na Lua?’

As perguntas trazidas pelos alunos, muitas vezes, evidenciam seus anseios primários. Algumas indagações surgem durante as discussões em aula enquanto outras o indivíduo traz de fora do contexto escolar, seja a partir da leitura de algum artigo em revista ou jornal, de uma reportagem apresentada na televisão, ou simplesmente de anúncios de manchetes em jornais ou revistas. Esse tipo de perguntas demonstra a curiosidade e o conhecimento limitado sobre questões básicas de astronomia, física e cosmologia que os alunos têm quando ingressam no ensino médio. Em um primeiro momento as perguntas foram respondidas abreviadamente, ressaltando que, em momentos futuros, seriam feitos estudos mais aprofundados sobre os assuntos.

O aluno, quando entra numa sala de aula, tem expectativas em relação às disciplinas que vai estudar. Abordar temas e discutir questões trazidas por ele significa promover a sua motivação e interesse ao estudo. A motivação e o interesse são aspectos importantes e fundamentais no processo de ensino e aprendizagem.

O primeiro módulo culminou com o estudo do modelo de Copérnico e as descobertas de Brahe que contrariam a teoria da imutabilidade dos céus de Aristóteles. Em várias oportunidades reforçamos as dificuldades, de natureza física, astronômica e religiosa, na aceitação do modelo copernicano à época de sua publicação. Enquanto que a teoria heliocêntrica de Copérnico não contava com nenhuma prova concreta para sua aceitação e

---

<sup>5</sup> Os materiais do módulo 1 referem-se ao estudo de tópicos das grandes descobertas em astronomia na Antiguidade, passando pelos modelos de Universo de Aristóteles, Ptolomeu, Copérnico e Brahe.

defesa, as descobertas de Brahe, que decretam a falência da crença aristotélica da perfeição e da imutabilidade dos céus acima da esfera lunar, são sustentadas por bases observacionais, feitas por ele mesmo. Mas, mesmo havendo esse antagonismo em suas bases de sustentação, essas teorias foram as sementes que provocaram a maior revolução na história da ciência, que foi iniciada por Galileu, que lançou as bases de uma nova física, e continuada, entre outros, por Newton, que conseguiu fazer a síntese da Mecânica em sua famosa obra dos Principia.

Sobre a proposta heliocêntrica de Copérnico, colocamos uma questão no teste de avaliação desse estudo, solicitando aos alunos escreverem um pequeno texto sobre as inovações que esse modelo permitiu introduzir, a prova que Copérnico apresenta para a defesa desse modelo, bem como sua aceitação na época.

Selecionamos textos de alguns alunos e os transcrevemos onde constam alguns aspectos, de modo geral, que achamos relevantes serem apresentados para fins de avaliação dos objetivos do nosso projeto. Selecionamos os textos a partir da clareza e objetividade nas idéias e pela representatividade da maioria do grupo.

Copérnico disse: não existe um centro único das esferas, ele explicou mais facilmente o modelo heliocêntrico, matematicamente era genial, mas “fisicamente” não havia sentido, não foi aceito, por causa da física aristotélica que falava uma coisa contrária, e ele não conseguiu explicar algumas coisas como: como que as coisas caem para a Terra e não para o Sol? (L. B.B.)

O modelo de Copérnico, ao contrário do de Ptolomeu, dizia que o Sol é o centro do universo, mas essa teoria não foi facilmente aceita na época. Ele também conseguiu calcular com precisão para a época, a distância dos planetas ao Sol. Os números não eram exatos, mas chegaram bem perto dos números atuais. (R. M. S.)

Era polonês, vivia na época renascentista, seu modelo foi o melhor modelo heliocêntrico porque explicava de maneira simples, escreveu varias obras, “a revolução das esferas celestes”, foi a principal, o movimento retrógrado ocorria quando a Terra ultrapassava o planeta, pois seu movimento era mais rápido por estar mais próximo do Sol, não foi aceito na época, por não se encaixar no modelo geocêntrico de Aristóteles. (A. C.)

Copérnico apresenta o Sol como centro do Universo, afirma que só a Lua gira em torno da Terra os demais giram em torno do Sol. Diz também que a Terra faz dois movimentos de rotação em torno do si mesma e o de translação em torno do

Sol, sendo assim o Sol não gira em torno da Terra e sim a Terra gira em torno do Sol. (H. S.)

Ele disse que o Sol era o centro de tudo, que como ele poderia iluminar tudo se não estivesse no centro, que o Sol era uma lanterna. Ele cuida durante algum tempo as estrelas e vê que não se movimentam, que os planetas giram em torno do Sol e não da Terra. Não foi aceito o seu modelo heliocêntrico porque contrariava a expectativa do senso comum baseado na física de Aristóteles vigente na época dificultando sua aceitação. (S. A. G. C.)

O modelo de Copérnico permitiu muitas descobertas, foi através desse modelo que foram calculadas as distâncias dos planetas ao Sol, e mesmo os que não acreditavam na sua teoria utilizavam essas medidas. Copérnico também pôde explicar o movimento retrógrado dos planetas, que mais nada é, do que uma impressão de quem vê da Terra. Esse modelo não foi aceito, pois Copérnico não tinha provas concretas de sua veracidade. Além disso, sua teoria contrariava a física aristotélica, que era vigente na época e era aceita pela igreja e outros físicos e astrônomos. Sem essa teoria, provavelmente nossa tecnologia moderna não seria a mesma, e nossos conhecimentos sobre o Universo seriam precários e inexatos. (A. E. G.)

De modo geral, pela leitura dos textos dos alunos, podemos notar que a maioria deles, depois de concluído o estudo do módulo I, tem muito clara a idéia de que o modelo copernicano não foi aceito, ou tinha forte resistência em ser aceito, por contrariar o senso comum da época e alguns alunos colocam que esse senso comum está apoiado na física aristotélica, que tinha um grande número de argumentos em defesa da imobilidade da Terra. Além disso, esse modelo tem a vantagem sobre o antigo, pois permitiu calcular a distância de cada planeta ao Sol em termos de distância Terra-Sol, bem como determinar seus períodos orbitais. Alguns alunos também chegaram a mencionar a inspiração metafísica de Copérnico para o heliocentrismo, onde o Sol é o centro de todas as coisas pela importância em iluminar e aquecer o Universo.

Acreditamos que o estudo da proposta heliocêntrica de Copérnico, bem como sua dificuldade de aceitação na época, deve merecer atenção especial e ser discutido com profundidade com os estudantes. Essa prática os tornará conscientes de que descobertas no meio científico muitas vezes vão contra o senso comum e aí sua dificuldade em serem aceitas. A teoria do Big Bang, por exemplo, sustentada pelo afastamento mútuo das galáxias, que observamos com sofisticados instrumentos no Universo, por décadas, tem vários argumentos

a favor de sua validade, mas ainda apresenta alguma resistência à sua aceitação, como fora observado com os alunos na ocasião da exibição de um pequeno vídeo que abordava a Via-láctea e sua constituição, quando alguns deles se manifestaram incomodados no momento em que o narrador expõe o afastamento das galáxias e comenta brevemente sobre a teoria do Big Bang.

Aqui, aspectos da história, filosofia e epistemologia da ciência ganham importância no processo de ensino-aprendizagem. Devemos provocar nos estudantes uma verdadeira revolução em sua maneira de pensar, só assim, de fato, pode ocorrer a aprendizagem. Desafiar o aluno, em um primeiro momento, sobre quais os argumentos que defenderam a teoria copernicana e provocaram sua aceitação é colocar em dúvida todo conhecimento que eles têm sobre esse assunto quando são confrontados com os argumentos baseados na física aristotélica<sup>6</sup>. Essa dúvida estimula e convida os alunos a estudarem a física de Galileu, de Kepler e de Newton pelo seu valor histórico e teórico, provocando uma verdadeira revolução em sua maneira de pensar e de ver o processo de construção da Física.

No estudo dos movimentos, cujos textos de apoio constituem o módulo II, notamos que, através de um levantamento oral feito com os alunos, para a grande maioria deles uma esfera que rola ou corpo que desliza sobre uma superfície horizontal decresce em velocidade e acaba parando porque “perde a força”. Alguns alunos diziam que era devido ao atrito e, mesmo aqueles que assim pensavam, não tinham muita clareza de como isto ocorria. Com a discussão aprofundada sobre o conceito de inércia, inclusive justificando a razão que levou Galileu a formular a Nova Física, com o motivo de ter argumentos em defesa do sistema copernicano e provar a insustentabilidade da teoria aristotélica, houve melhor compreensão do fenômeno citado anteriormente. Mas as respostas dos alunos às perguntas do questionário relativas ao conceito de inércia<sup>7</sup> denunciou que aproximadamente metade dos alunos apresentavam inconsistências em suas respostas. Essas respostas evidenciaram que aqueles alunos não tinham a definição clara de força.

Retomamos o estudo desse tópico pela discussão das próprias questões do questionário. O resultado que tivemos, demonstrado com questões de teste, foi positiva pois a maioria dos alunos conseguiu responder corretamente sobre questões que envolvem situações de movimento com a presença de forças resistivas ou de ausência de forças.

---

<sup>6</sup> Os alunos, em quase sua unanimidade diziam ser o dia e a noite e as estações do ano a prova da validade do heliocentrismo.

<sup>7</sup> As perguntas sobre o conceito de inércia são as questões do 1 ao 7 do questionário encontrado no final do material do texto de apoio do módulo II.

Podemos afirmar que, até certo ponto, houve mudança conceitual nesse processo. Uma situação prática nos confirmou isto: algumas semanas mais tarde, no estudo das leis de Newton, em particular no estudo da Primeira Lei, a resposta que obtivemos dos alunos sobre o questionamento da razão pela qual um objeto em movimento sobre um plano horizontal acaba parando, foi surpreendente. Um aluno, transferido de outra escola e que não tinha participado das aulas do primeiro módulo II respondeu que é porque o objeto “perde a força”. Quando questionado de como isto seria possível os próprios colegas o auxiliaram dizendo que o objeto não está com força, mas é o atrito com a superfície que o faz parar.

Na resolução de problemas envolvendo conceitos de velocidade média e aceleração média tivemos êxito porque a maioria dos alunos os conseguiu resolver sem maiores dificuldades. Mas a resolução de problemas sobre lançamento de projéteis mostrou-se penosa. Tivemos que aumentar o número de exemplos que havíamos inicialmente proposto e, da mesma forma, os exercícios de fixação. Embora todos os alunos tenham conseguido resolver os exercícios propostos, a maioria pela ajuda mútua durante as aulas destinadas para este fim, nos testes já não tivemos o mesmo resultado. Mais da metade dos alunos não conseguiu resolver corretamente as questões que envolviam problemas de lançamento de projéteis. Possivelmente, aumentando-se mais ainda o número de exercícios e de aulas sobre esse estudo teríamos resultados mais satisfatórios.

A outra novidade do nosso projeto é a inserção da demonstração de Newton, através do argumento da “queda da Lua”, para provar a validade da Lei da Gravitação Universal<sup>8</sup>. Ao propor essa atividade estávamos cientes de que isso exigiria certo preparo dos alunos por envolver relações matemáticas que são mais do que relações diretas ou inversamente proporcionais e envolverem conceitos importantes como de inércia, de aceleração, de força centrípeta e de período no movimento circular uniforme. Por isso, preparamos os alunos com o estudo bem feito da grandeza física de força, dos tipos de forças, da força resultante, das leis do movimento de Newton e da força centrípeta. No estudo da força centrípeta já fizemos a primeira relação da importância da atração gravitacional no movimento orbital dos satélites artificiais. Todos os temas que acabamos de mencionar foram bem recebidos pelos alunos na forma em que constam no texto e na abordagem feita em aula. Notamos uma elevada motivação dos alunos na participação das discussões e na resolução dos problemas sobre esses tópicos.

---

<sup>8</sup> A demonstração que Newton fez é a de que a força de atração gravitacional entre dois corpos é inversamente proporcional ao quadrado da distância que os separa e a mesma atração que age sobre uma pedra na superfície da Terra também mantém a Lua em órbita.

Da leitura do texto da seção que aborda a teoria da Gravitação Universal, o último texto tratado no material de textos de apoio do módulo III, os alunos acharam difícil a linguagem utilizada. A dificuldade maior, conforme os relatos dos alunos, foi a quantidade de raciocínios envolvidos para se chegar ao resultado e as relações matemáticas do inverso do quadrado. Muitos alunos até conseguiram compreender a essência da demonstração feita no texto que é a de que a Lua é mantida em órbita pela atração gravitacional da Terra e esta diminui com o quadrado da distância, mas havia dificuldade em compreender os raciocínios utilizados para sua demonstração. A discussão do texto em sala de aula proporcionou boa participação dos alunos para o esclarecimento de dúvidas sobre a sua leitura. Mostramos, passo a passo, cada um dos resultados que aparecem no texto, tornando-o compreensível e, com isso, atingindo o seu objetivo.

Acreditamos que mesmo com certo grau de complexidade, a demonstração do argumento da “queda da Lua”, é uma matéria que deve ser obrigatória na Física do ensino médio. Esse argumento tem vários ingredientes ricos que mostram a essência da Física como uma construção humana que tem suas bases na Física moderna. As teorias se originam no mundo das idéias, no mundo do papel, e confrontadas com a realidade, através da experimentação, são validadas ou descartadas de acordo com os resultados obtidos. Além disso, os conceitos envolvidos, como atração e campo gravitacional, são fundamentais para a compreensão da mecânica do sistema solar.

Se quisermos estudantes motivados a estudar física, devemos não só apresentar uma lista de conceitos, mas mostrar como esses conceitos são construídos, quais são os processos envolvidos e, dessa forma, mostrar que a física é uma atividade de construção humana que passa por transformações e está em constante evolução. Essa idéia de física demonstrou-se muito clara para os alunos ao final do projeto quando foram levados à responder a seguinte questão num teste: “Você acha que as teorias se originam da experiência, ou são as teorias que originam as experiências? Explique.” A maioria respondeu que são as teorias que originam as experiências. Transcrevemos abaixo as respostas de alguns alunos que englobam as idéias da maioria em relação à questão anterior:

Eu acho que as teorias vem primeiro, pois para fazer uma experiência é necessário a teoria que é a base. Pois você precisa ‘desconfiar’ de algo para tentar provar sua teoria. (J. N.)

As teorias que originam a experiência. Porque antes de tudo temos que pensar o que queremos para depois podermos elaborar uma forma de poder desenvolver algo. Tendo a teoria faz-se a prática. (M. P.)

As experiências que originam as teorias. Na minha opinião se fazemos uma teoria nova e tentamos fazer a experiência, pode não dar certo, mas também pode dar certo. (B. S.)

As duas coisas acontecem e sem um não tem o outro, pois o cientista para saber se sua teoria é certa alguma coisa ele vai testar, fazer experiências até chegar a uma conclusão, podendo assim concluir a teoria. Porém para se fazer uma experiência é preciso ter uma teoria em mente para depois fazer a experiência. (L. G. S.)

As duas estão certas porque a teoria pode originar uma experiência como Galileu que defendeu o movimento da Terra e a experiência pode a teoria como Newton que a maçã caiu em sua cabeça então descobriu a gravidade, descobriu que as coisas são atraídas para a Terra pela força gravitacional. (R. M.)

Acho que as experiências se originam das teorias. Acho isso, pois na experiência precisamos de dados, temos que calcular e também desenhar. (R.C.)

Na minha opinião são as teorias que se originam das experiências. Um bom exemplo é Newton, quando a maçã caiu na cabeça dele, daí ele foi estudar a teoria da gravidade. Ou seja, acho que primeiro se faz a experiência para depois se montar uma teoria em cima daquilo que foi constatado na experiência. (M. S.).

Se compararmos esse resultado com as concepções que os mesmos alunos tinham no início da aplicação do projeto, de que é a experiência que leva à construção de teorias, podemos mais uma vez dizer que houve mudança conceitual em relação à visão sobre a construção das teorias na física.

A aprendizagem também ocorreu com o conceito de campo gravitacional. No início da aplicação do projeto vários alunos manifestaram a concepção de que o campo gravitacional terrestre estava limitado à atmosfera. Fora da atmosfera terrestre não há mais a atração gravitacional o que também acontecia na Lua e por isso as “coisas” lá “flutuavam”. Mas, os resultados das questões de teste mostraram uma nova concepção: a de um campo gravitacional terrestre que se estende para além da Lua e a de que a Lua possui seu próprio campo.

O questionário do material do texto do módulo IV foi muito importante para consolidar uma ampla gama de conceitos de mecânica, estudados no decorrer do projeto. As respostas dos alunos àquelas questões demonstraram que ainda havia algumas dificuldades conceituais por parte de muitos alunos. Mas o resultado do teste feito sobre esse material em aula posterior à discussão das questões no grande grupo mostrou que a maioria dos estudantes conseguiu responder corretamente metade das questões ou mais.

Notamos que o estudo do módulo IV foi o que mais envolveu os alunos quanto aos aspectos de atenção, expectativa e participação nas aulas. Como a maior parte desse estudo fez-se através da exibição de vídeos, os resultados pertinentes serão comentados mais adiante. Mas antes vamos falar acerca de um fato que, de certo modo, marcou o desenvolvimento e a

aplicação do projeto. A concepção inicial de muitos alunos em relação ao Universo e sua origem sofreram mudança, de modo que, o que inicialmente era complicado compreender e aceitar, passou a ser alvo de ricas discussões. A conquista da Lua gerou a discussão sobre a física presente nas viagens espaciais. A exploração dos planetas mais distantes do sistema solar bem como a busca por planeta extra-solares levou à discussão sobre os diferentes mundos e possíveis mundos que podem abrigar vida fora da Terra. O Big Bang, inicialmente alvo de sérias críticas, passou a ser uma teoria, apesar de chocante para muitos, com fundamentação sólida possível de ser compreendida. Esse resultado nos levou a crer que houve mudança conceitual em relação à própria Física como ciência. A Física era vista como um corpo de conhecimentos distante, pertencente ao mundo das idéias dos cientistas, sendo complicada e sem sentido. Agora a Física é vista como um engenho de construção humana que é passivo de mudança, que procura descrever o macro e o micro Universo, a qual pertencemos, de maneira concreta, buscando adequar-se da melhor forma dentro dos limites tecnológicos acessíveis e conhecidos. Embora sendo complicado para estudar, é interessante pela poderosa ferramenta que ela constitui no mundo atual.

A unidade astronômica como unidade padrão de distância no sistema solar passou por moroso processo de adaptação. Na primeira vez em que foi mencionada, na apresentação do modelo de Copérnico, vários alunos perguntaram o quanto vale essa medida e uma resposta do tipo “é a distância correspondente à distância da Terra ao Sol”, não satisfez a expectativa deles. Eles queriam, na verdade, saber quantos quilômetros ou quantos metros era uma unidade astronômica, mas a resposta em quilômetros também soava um tanto estranho para eles: eram quilômetros demais e fugiam da conta. Essa unidade de medida foi retomada no estudo das leis de Kepler e notadamente sua compreensão já era melhor. Ao final da aplicação do projeto, no último módulo quando estudamos o sistema solar, não havia mais dúvidas quanto ao seu significado e à sua utilização.

## **5.2 Dos Audiovisuais**

O uso do vídeo como complemento dos estudos na sala de aula demonstrou-se bastante eficaz em vários aspectos: na motivação, na linguagem audiovisual e na aprendizagem. Sempre que foi anunciada uma sessão de vídeos os alunos demonstraram-se bastante interessados em participar. A sugestão em fazer uma atividade contígua aos vídeos exibidos, como a de responder um pequeno questionário explorando alguns pontos importantes destacados nos filmes, em nada mudou a motivação. O questionário passado no quadro foi copiado pelos alunos num ambiente de elevado silêncio e concentração e em tempo

recorde o que já nem sempre ocorria em outras ocasiões, como por exemplo, ao copiar um enunciado de um problema a ser resolvido no quadro. Esse mesmo ambiente também se estendeu durante a exibição dos vídeos.

Os audiovisuais, mesmo durante as aulas, são vistos pela maioria dos alunos como uma forma de entretenimento (é ao menos a expectativa demonstrada pela maioria deles). Muitos ficaram impressionados na primeira sessão pelo conteúdo e apresentação visual dos filmes exibidos. Após a apresentação alguns perguntaram sobre a origem dos vídeos porque se interessaram em assisti-los em casa. Outros declararam ser uma boa fonte de estudos e compreensão pelo aspecto visual da dinâmica das imagens. Alguns alunos solicitaram a inclusão de mais atividades deste tipo porque conseguiram acompanhar bem os vídeos, aprender coisas novas e interessantes e realizar com êxito a atividade proposta. Um aluno que entrou na escola na metade do ano, transferido de outra, depois de ter participado da primeira sessão de vídeos, declarou ser muito interessante os vídeos que assistiu. Também disse não ter conhecimento da existência desse material e perguntou se mais atividades desse tipo aconteceriam em aulas futuras.

A inclusão de audiovisuais nas aulas de física é uma poderosa ferramenta aliada do professor no processo ensino-aprendizagem quando feita com planejamento. Notamos que é importante que os alunos levem em mãos um questionário, com algumas questões-chave, pois isso levará o aluno a prestar o máximo de atenção e ter uma orientação para dirigir sua atenção. Os alunos sempre tiveram a preocupação em responder corretamente as questões propostas nos questionários durante a exibição dos vídeos. Quando o tema em questão era as fases da Lua praticamente todos os alunos foram surpreendidos quanto à forma da Lua crescente e minguante que observamos no céu. O vídeo iniciou apresentando, nas palavras do narrador, que a Lua é mentirosa, porque na fase crescente a forma observada é um D e na fase minguante um C. Só depois disso foi informado que o sistema de referencia é o hemisfério norte<sup>9</sup> e que para o hemisfério sul ela não é mentirosa, apresentando-se como C na fase crescente e como D na fase decrescente. Isso levou os alunos a refazerem a resposta daquela questão. O sistema de referência situado no hemisfério norte também chamou a atenção de alguns alunos pelo fato das estações do ano estarem invertidas em relação à nossa latitude. Essas dúvidas surgidas foram geradoras de discussões de importantes aspectos como sistema de referência, movimento anual do Sol e datas de festas religiosas como a Páscoa e o Natal.

---

<sup>9</sup> A série foi produzida na França e por essa razão o sistema de referencia é o hemisfério norte.

O estudo sobre as descobertas de Galileu na astronomia com o uso de suas lunetas também foi complementado com a exibição de alguns vídeos. Primeiro discutimos o nosso texto produzido sobre esse tema na sala de aula. Mas, foi na exibição dos vídeos que os alunos tiveram maior participação apresentando dúvidas e comentários. Alguns relataram que desconheciam aspectos sobre a Via-láctea, as fases de Vênus, o movimento em perspectiva das luas de Júpiter, as manchas solares e o movimento de rotação do Sol. As manchas solares e o movimento de rotação do Sol motivaram alguns alunos a observar o Sol com telescópio. Essa parte do estudo teve grande influência na motivação dos alunos a participarem das observações astronômicas com telescópio que aconteceu na segunda semana seguinte.

O vídeo destaca-se não só por sua linguagem visual, que é marcante, mas também pelo áudio. A linguagem falada, utilizada pelo narrador para comentar o vídeo também estava presente em alguns comentários falados e escritos dos alunos, inclusive para responder questões de teste. Transcrevemos abaixo dois textos de respostas dadas por alunos em questões de testes e grifamos a linguagem utilizada pelo vídeo que ele também usa.

(...), o movimento retrogrado ocorria quando a Terra ultrapassava o planeta, pois seu movimento era mais rápido por estar mais próximo do Sol... (A. C.)

(...) Um bom exemplo é Newton, quando a maçã caiu na cabeça dele, daí ele foi estudar a teoria da gravidade... (M. S.)

Da mesma forma, também é importante reservar um espaço, logo após a exibição dos vídeos, para discuti-los. De modo geral, as discussões sobre os vídeos apresentados renderam bastante participação dos alunos com perguntas, dúvidas e opiniões próprias sobre os temas abordados. Na ocasião da exibição de vídeos sobre a conquista da Lua, o Sistema Solar, o Big Bang e a vida fora da Terra tivemos uma discussão acalorada e extensa sobre esses assuntos que magicamente prendeu a atenção e estimulou a participação de praticamente todos os alunos presentes. Não resta dúvida que temas como esses que abordam questões de cosmologia, despertam grande interesse nos alunos e por essa razão deve ser incluídas nas aulas como parte dos estudos e desta forma promover o seu interesse e motivação para estudar física.

Fazendo uma aproximação das aulas de vídeo sobre o sistema solar com as observações com telescópio os alunos começaram a perceber que os planetas deixam de ser simplesmente planetas para serem mundos com características próprias, cada um com sua peculiaridade.

### 5.3 Das Observações com Telescópio

As observações planetárias com telescópio foram aguardadas com grande expectativa pelos alunos. Ao total realizamos duas sessões de observações astronômicas: a primeira ocorreu em 15 de maio (2006) quando observamos Saturno, Marte, Júpiter, Alfa Centauro e a Nebulosa de Órion e a segunda sessão em 2 de outubro (do mesmo ano) com as observações de Mercúrio, Júpiter, Lua<sup>10</sup>, Antares<sup>11</sup>, e o aglomerado estelar M7<sup>12</sup>. Em cada sessão estavam presentes, aproximadamente, pouco mais da metade dos alunos participantes do projeto.

A atividade proposta aos alunos participantes era a de representar com desenhos, numa folha de papel apropriada, os objetos celestes observados com a descrição de um aspecto que mais chamou sua atenção, na primeira sessão, e um relato sobre os aspectos observados, de modo geral, de todas as observações feitas, que mais lhe chamaram a atenção, na segunda sessão, bem como suas possíveis contribuições para o estudo.

Analisando os escritos apresentados pelos alunos sobre as observações astronômicas notamos que essa atividade, conforme pode ser verificado em depoimentos de alguns alunos que transcrevemos abaixo, é de grande interesse por parte deles.

Gostei muito do que eu observei e com o telescópio pude ver que o espaço tem muito a nos oferecer na parte do estudo e da observação. A olho nu não dá para ver como os planetas e estrelas são realmente e com o telescópio vi como é bonito o universo. De modo geral o que mais me chamou atenção foram o tamanho e as formas dos planetas Saturno e Marte. (A. S. F.)

As observações tiveram muita importância para mim, pois eu fiquei impressionada com os planetas e sua luz e também com a Lua, pois olhando pelo telescópio foi como se eles estivessem muito próximos de mim, fiquei encantada com o planeta Mercúrio, pois com sua luz tão forte e brilhante parecia que era como o Sol, e também por ser tão brilhante parecia que estava pegando fogo. Com certeza essas observações contribuirão muito para mim, pois esses conhecimentos dos planetas, da Lua e constelações me fizeram ficar mais interessada na matéria da física, pois com a física e essas observações, percebi que podemos conhecer o mais sobre o Universo sem nem sair do lugar. (S. F.)

Fiquei impressionada ao ver as estrelas, os planetas e a Lua, tão de perto, pois achava que eram muito diferentes. Achei incrível ver os formatos, as luzes como realmente eles são. A Lua foi a que mais me chamou a atenção por sua luz e suas cavidades. A contribuição que teve para mim foi que os planetas deixaram de ser somente 'bolas' agora eu sei como realmente eles são. (A. S.)

As observações realizadas na Unisinos tiveram muita importância para mim, pois através do telescópio utilizado pude perceber muitos detalhes que a olho nu não é possível ver. Detalhes que com maior precisão teve-se com o auxílio do telescópio e gostei muito do que vi. De tudo o que foi observado o que mais me chamou atenção foi a Lua. [...] Aprendi muito coisa interessante, que me ajudou no meu aprendizado e me despertou para que eu comece a observar com mais frequência os

<sup>10</sup> A lua estava no seu quarto crescente.

<sup>11</sup> Antares é uma gigante vermelha da constelação de Escorpião.

<sup>12</sup> O aglomerado estelar M7 localiza-se na cauda da constelação de Escorpião.

planetas e as estrelas, tive uma maior curiosidade. Gostei muito e se tiver uma próxima vez gostaria de ir novamente. (A. S. F.)

Confesso que não gostava muito dessas coisas sobre planetas e universo, coisa assim. Mas fui à Uni pra ver e não me arrependi, achei muito interessante. Achava que os planetas tinham alguma cor e eram bem escuros, mas lá vi que eles são mais legais e tem um brilho muito bonito. Os planetas eram (são) super-legais, mas o que mais me chamou a atenção foi ver a Lua, é maravilhosa, em alguns aspectos como crateras e montanhas é parecida com a Terra, além de ter um brilho muito 'tri'. Isso enriqueceu muito minha cultura e aprendizado, porque não gostava muito disso, mas depois daquele dia quero observar mais vezes os planetas e principalmente a Lua. (F.B.)

As observações tiveram uma grande importância para mim, pois eu nunca tinha observado as estrelas, os planetas e a Lua tão atentamente e com instrumentos certos, somente tinha observado a olho nu. Com as observações na Unisinos eu consegui matar muitas curiosidades. Por exemplo, do porquê a Lua tem manchas escuras, de olhar para o céu e saber onde fica a constelação de escorpião e saber também que cor e como são os outros planetas, todas essas curiosidades graças ao passeio eu já não tenho mais, e nunca imaginei que a Lua, os planetas e as estrelas fossem tão lindos. Levarei esses momentos para minha vida inteira porque contribuíram muito para o meu aprendizado, e me incentivaram a conhecer ainda mais sobre o Universo e tudo o que há nele. (P. S. G.)

Podemos também ter a certeza de que as observações astronômicas por telescópio foram um marco no estudo da mecânica celeste para os estudantes. O próprio equipamento utilizado<sup>13</sup>, surpreendeu vários alunos que esperavam por um equipamento mais sofisticado, por um lado, mas por outro, se encantaram com a imagem proporcionada dos objetos observados. O nome dos planetas que tanto foram citados nas aulas, durante o estudo dos modelos de Universo de Ptolomeu e Copérnico, das descobertas de Galileu com suas lunetas astronômicas e das leis de Kepler, deixam de ser apenas figuras imaginárias para se tornarem objetos reais ao alcance, inclusive, para uma primeira vista, do olho sem necessidade de instrumentos. A riqueza dos detalhes da superfície lunar, dos anéis de Saturno, dos satélites e da atmosfera de Júpiter desmistificaram a idéia de que as imagens em livros, revistas e televisão “não são montagens artísticas de computação gráfica” como alguns alunos haviam declarado no momento das observações, mas de um universo imenso e diversificado que se estende à nossa volta. Essas observações contribuíram também para o estudo do último módulo do projeto, em que estudamos o sistema solar, demonstrado pelo tipo de perguntas e comentários feitos pelos alunos no decorrer das aulas. A participação dos alunos demonstrou que praticamente não havia mais dúvidas ou simplesmente curiosidades sobre elementos básicos do sistema solar, e dessa forma, puderam se concentrar em tópicos mais aprofundados no estudo.

---

<sup>13</sup> Um telescópio refletor de 12” de montagem dobsoniana.

#### **5.4 Das Dificuldades**

Algumas dificuldades de ordem prática foram evidenciadas no decorrer da aplicação do projeto. A carga horária reduzida (duas aulas de 50 minutos cada por turma) e o grande número de alunos por turma (em média 30 alunos), são um empecilho para atender os alunos que tem maiores deficiências e dificuldades nos estudos. A dispersão na atenção dos alunos durante as aulas assim como o não cumprimento das propostas de atividades extra-classe como realizar os temas e leituras sugeridas também é um obstáculo que interfere no bom aproveitamento e no rendimento nos estudos. Percebe-se que muitos alunos não têm nenhum compromisso com os estudos, tanto dentro quanto fora da sala de aula, pois consideram que a escola tem pouca finalidade para suas vidas. Esses alunos vêm a escola como um mero compromisso social e, em muitos casos, como um momento de socialização em que indivíduos com afinidades em comum se encontram para trocarem idéias e experiências do cotidiano. Esse, provavelmente, é o maior desafio que os profissionais em educação tem pela frente: mudar a atual cultura de escola para uma cultura de ensino e aprendizagem na qual cada indivíduo é o maior responsável pela construção de seu próprio conhecimento.

## CONCLUSÃO

A realidade educacional brasileira, de modo geral, demonstra-se fracassada ante o padrão internacional, ficando atrás de vários países, inclusive, da América Latina quando o indicador é a qualidade. Mas, em particular, é no ensino de física que a crise evidencia-se pela falta de interesse e dificuldades de aprendizagem nas escolas de ensino médio e pela evasão de alunos das salas de aula bem como pelos índices elevados de analfabetismo científico. É necessária vontade política para realizar investimentos no sistema educacional do país que, ao menos, acompanhem o crescimento do PIB (produto interno bruto) para amenizar essa crise. Esses investimentos também devem contemplar o profissional da educação com valorização salarial e formação continuada para que ele tenha acesso a resultados da pesquisa em ensino, colocando-os em prática, ou seja, as mudanças devem ocorrer também dentro do ambiente escolar.

O objetivo desse trabalho foi o de apresentar uma proposta motivadora no ensino de física, concretizada pela inserção de tópicos de astronomia e de elementos da história e filosofia da ciência no estudo da mecânica, pois a motivação e a pré-disposição são ingredientes fundamentais no processo ensino/aprendizagem. Também disponibilizamos um produto educacional, na forma de texto por nós construído, que está embasado nessa abordagem. São vários os trabalhos na literatura, como foi destacado na seção 1 desse trabalho, que trazem propostas e/ou resultados de práticas com essas abordagens confirmando seus resultados positivos.

As bases teóricas que nos orientaram ao longo de todo o trabalho, desde a elaboração do projeto, construção do texto de apoio, aplicação e avaliação, estão baseadas na epistemologia da ciência, mais especificamente nas filosofias de Popper, Lakatos e Kuhn, que nos fornecem uma fundamentação sólida e atualizada do fazer científico, podendo ser aplicado no processo de ensino aprendizagem da física.

O aluno de ensino médio demonstra muitas dúvidas, interesses e curiosidades, manifestadas nas aulas de Física, muitas vezes sobre elementos básicos de astronomia e ao abordá-los notamos uma efetiva e entusiasmada participação geral dos alunos nas discussões

pertinentes. A participação generalizada nas discussões foi verificada em diversas ocasiões e destacadamente quando os temas em questão eram de astronomia.

Defendemos que a introdução da física no ensino médio deve ser pela mecânica, por ser concreta, mas em uma abordagem epistemológica onde a história e a filosofia da ciência são os pontos de partida na instauração de um diálogo construtivo no sentido de problematizar e contextualizar os conteúdos.

Da mesma forma como a astronomia foi o pano de fundo motivador na formulação da Física Clássica, ela o foi na elaboração do material na forma de texto e sua abordagem na aplicação. Mereceram destaque alguns temas da astronomia antiga com o estudo dos primeiros modelos planetários dos gregos ao copernicano; o uso da luneta por Galileu nas observações astronômicas; a demonstração de Newton da Lei da Gravitação Universal; o sistema solar; origem do Universo e a busca por planetas extra-solares. Todos os temas de astronomia abordados mostraram-se, para a grande maioria dos alunos, de grande interesse.

A Revolução Copernicana é um assunto de elevada importância no ensino de ciências porque sua compreensão é fundamental para a formação de uma visão de mundo moderna que destaca a produção do conhecimento científico e situa a Terra em seu lugar no espaço. Para uma compreensão contemporânea do desenvolvimento científico, a ciência galileana guarda seu lugar de destaque no processo de ensino e aprendizagem em ciências. Para ganhar terreno, a ciência galileana precisou contrapor-se à física aristotélica, provocando uma ruptura conceitual e metodológica com essas concepções. Ao trilhar os caminhos de Galileu na formulação das bases da Física Moderna, proporcionamos uma visão muito mais rica sobre a construção das teorias na física, bem como melhoramos a compreensão dos conceitos envolvidos. É dessa forma que a física como ciência ganhou seu verdadeiro significado deixando de ser aquela “coisa” inacessível e muitas vezes mística que ela é para muitos alunos. Da mesma forma, tornou-se importante abordar questões epistemológicas que envolveram Newton na formulação da Mecânica.

Foi notória a aprendizagem em relação à construção das teorias na física, sobre o movimento de projéteis, as leis de Newton, a lei da Gravitação Universal, a composição do sistema solar e sua formação, o Universo e as teorias de sua origem. Essa aprendizagem foi evidenciada na participação das discussões em aula através da linguagem/vocabulário utilizada pelos alunos e nas respostas dadas quando respondiam questionários e avaliações escritas.

A utilização do telescópio para observações de planetas, estrelas, nebulosas e da Lua desmistificaram a idéia de que as imagens em livros, revistas e televisão “não são montagens

artísticas de computação gráfica” como alguns alunos haviam declarado no momento das observações, mas de um universo imenso e diversificado que se estende à nossa volta.

O uso de vídeos também teve grande importância nesse processo. A inclusão de audiovisuais nas aulas de física é uma poderosa ferramenta aliada do professor no processo ensino-aprendizagem quando feita com planejamento. Notamos a importância de os alunos levarem em mãos um questionário, pois isso os estimulou a prestar o máximo de atenção e ter uma orientação para dirigir sua atenção. Os alunos sempre tiveram a preocupação em responder corretamente as questões propostas nos questionários durante a exibição dos vídeos. Feito geralmente para complementar o estudo na sala de aula, o uso do vídeo demonstrou-se bastante eficaz em vários aspectos: na motivação, na linguagem audiovisual e na aprendizagem. O estudo sobre sistema solar e sua formação, o Universo e sua origem e a busca por planetas extra-solares, que ocorreu com expressiva utilização de vídeos, gerou acaloradas e extensas discussões em grupo sobre esses assuntos. Não resta dúvida que temas que abordam questões de astronomia e cosmologia, despertam grande interesse nos alunos e por essa razão deve ser incluídas nas aulas como parte dos estudos e desta forma promover o seu interesse e motivação para estudar física.

A aceitação e os resultados animadores obtidos na implementação desse trabalho nos propõem novos desafios em diversos aspectos. Em relação aos temas abordados podemos destacar que um estudo mais aprofundado da física aristotélica, no que se refere à questão do “horror ao vácuo” e à teoria do ímpetus, poderá contribuir valiosamente para uma melhor compreensão, por exemplo, da força que atua sobre um projétil à luz daquela teoria. Na seção “das contribuições de Galileu na astronomia”, ao final da mesma, seria importante tecer comentários por escrito das implicações que as observações celestes com a luneta trouxeram ao conhecimento científico e à filosofia da época. Se o trabalho for aplicado em escolas com laboratório de informática, softwares interativos de lançamento de projéteis, de movimento de queda livre e em meios resistivos, de colisões entre esferas, de movimento de satélites, simuladores do céu que exploram movimentos planetários, entre outros, são poderosos recursos de ensino/aprendizagem que devem ser explorados. Da mesma forma como introduzimos elementos de história e filosofia da ciência, inserimos tópicos de astronomia e utilizamos documentários para o estudo da mecânica para o ensino médio, podemos fazê-lo em outros segmentos da física como, por exemplo, no estudo do calor e da termodinâmica, do eletromagnetismo, da relatividade e da física quântica que nos fornecem ingredientes epistemológicos muito ricos e cativantes quando incluídos no ensino da física. Cada um desses segmentos seria uma proposta para um novo trabalho.

Acreditamos que esse modesto trabalho servirá como mais um valioso instrumento, entre outros já existentes, disponível aos profissionais da educação, da componente curricular de física, que apostam numa educação de qualidade sem discriminação, apesar das limitadas condições de trabalho e recursos que esses profissionais das escolas públicas enfrentam. São pessoas que acreditam no poder transformador da educação em cada indivíduo e no poder de transformação de cada indivíduo na sociedade. Uma educação de qualidade para todos é garantia de uma sociedade melhor e mais justa. Esse é o primeiro passo que precisa ser dado para a formação de uma cultura que valoriza a educação.

## REFERÊNCIAS

- ARRUDA, S. M.; SILVA, M. R.; LABURÙ, C. E. Laboratório didático de física a partir de uma perspectiva kuhniana. **Investigações em ensino de ciências**. V. 6, n. 1, 2001. Porto Alegre.
- BARBATTI, M. A filosofia natural à época de Newton. **Revista Brasileira de Ensino de Física** v. 21, n. 1, p. 153-160, mar. 1999.
- BELLONE, E. Galileu: Universo em Movimento. **Scientific American: Gênios da Ciência**, n.5. São Paulo, 2005. Série especial da Revista Scientific American Brasil, publicada pela Ediouro.
- BRASIL, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais: ensino médio**, Brasília: MEC/SEF, 1999.
- \_\_\_\_\_. **PCN+ Ensino Médio: Orientações Educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Linguagens, códigos e suas tecnologias**. Brasília: Ministério da Educação/Secretaria de Educação Média e Tecnológica, 2002.
- \_\_\_\_\_. Ministério da Educação e Secretaria de Educação a distância. **TV Escola: guia de programas**: Brasília: MEC/SEED, 2004.
- BÜHRKE, T. O mundo como um relógio. **Scientific American: História**. São Paulo, n. 2, p. 26 – 31. 2005a. Série especial da Revista Scientific American Brasil, publicada pela Ediouro.
- \_\_\_\_\_. O novo cosmos. **Scientific American: História**, n. 2: p. 32 – 39. São Paulo, 2005b. Série especial da Revista Scientific American Brasil, publicada pela Ediouro.
- CARVALHO, G. C. C.; SOUZA, C. L. **Química: de olho no mundo do trabalho**. São Paulo: Scipione, 2004.
- CONTATO. Direção: Robert Zemeckis. Roteiro: Carl Sagan. Atores: Jodie Foster, Matthew McConaughey, Rob Lowe, Jena Malone, James Woods. 1997. 1DVD (153 min).
- DIAS, P. M. C.; SANTOS, W. M. S. S.; SOUZA, M. T. M. A Gravitação Universal. **Revista Brasileira De Ensino De Física** v.26, n. 3: p. 257-271, dez. 2004.
- DOS BUMERANGUES à balística: a ciência dos projéteis. Produção: BBC Wildvision, Grã-Bretanha, 2000. (48 min). Exibido pela TV Escola.
- ESPAÇONAVE Terra. Direção: Nicolas Gessner. Realização: Fantôme Animation, França, 1996. DVD (9 min cada programa), dubl., color., série de 52 programas exibido pela TV Escola.
- FREIRE JR, O. J. e MATOS, M. e VALLE, A. L. Uma exposição didática de como Newton apresentou a força gravitacional. **Física na Escola**, v. 5, n. 1, p. 25-30, 2004.
- GASPAR, A. **Física: Mecânica**. São Paulo: Ática, 2002. v.1.

GUICCIARDINI, N. Newton: pai da Física Moderna. **Scientific American: Gênios da Ciência**, n.1. São Paulo, 2005. Série especial da Revista Scientific American Brasil, publicada pela Ediouro.

HEWITT, P. G. Física Conceitual, PortoAlegre: ARTMED, 2002.

KENSKI, V. As tecnologias invadem nosso cotidiano. **Integração das tecnologias na Educação**. Brasília. Ministério da Educação, 2005.

LABURÚ, C. E.; ARRUDA, S. M.; NARDI, R. Os programas de pesquisa de Lakatos: uma leitura para o entendimento da construção do conhecimento em sala de aula em situações de contradição e controvérsia. **Ciência e Educação**. V. 5, n.2: p. 23- 38, 1998.

LINHARD, F. O gênio aristocrata. **Scientific American: História**, n.2: p. 40 –41. São Paulo, 2005. Série especial da Revista Scientific American Brasil, publicada pela Ediouro.

LOMBARDI, A. M. Kepler: A Harmonia dos Astros. **Scientific American: Gênios da Ciência**, n. 8. São Paulo, 2005. Série especial da Revista Scientific American Brasil, publicada pela Ediouro.

MATSUURA, O. Nossa estrela, o Sol. **Astronomy Brasil**, São Paulo, v. 1, n. 6, p. 10-11, out. 2006.

MASSONI, N. T. Epistemologias do século XX. **Textos de apoio ao professor de Física**, Porto Alegre, v. 16, n.3, 2005.

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

McEWEN, A. S. Cassini desvenda Saturno. **Astronomy Brasil**, São Paulo, v. 1, n. 3, p.20-25, jun.2006.

MEES, A. A. **Astronomia: motivação para o ensino de física na 8ª série**. Dissertação de Mestrado (Mestrado Profissionalizante em ensino de Física). Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004.

MEDEIROS, A. Entrevista com Kepler: do seu nascimento à descoberta das duas primeiras leis. **Física na Escola**, v. 3 n. 2: p. 20-33, 2002

\_\_\_\_\_. Entrevista com Tycho Brahe. **Física na Escola** v. 2, n. 2, p. 20-30, 2001.

MEDEIROS, A.; MONTEIRO, M. A. A invisibilidade dos Pressupostos e das Limitações da Teoria Copernicana Nos Livros de Física. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**. Florianópolis. v. 19, n. 1, p. 29-52, abr. 2002.

MORAN, J. M. Desafios da televisão e do vídeo à escola. **Integração das Tecnologias na Educação**. Brasília. Ministério da Educação, 2005.

\_\_\_\_\_. O vídeo na sala de aula. **Revista Comunicação e Educação**, São Paulo, n. 2, jan./abr. 1995. Disponível em: <<http://www.eca.usp.br/comueduc/>>. Acesso em 12 out. 2007.

MOURÃO, R. R. F. **O livro de Ouro do Universo**. Rio de Janeiro: Ediouro, 2000.

MUJICA, V. M.; MEDEROS, M. J. A. A. Algunos metodos activos para el uso del video en la ensenanza de la física. **Investigações em ensino de ciências**. V. 1, n. 3, dez. 1996. Porto Alegre.

NASA. 20.º aniversário da Apollo 11: 1969 – 1994. Disponível em:  
<<http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/lunar/apollo11info.html>>. Acesso em 12 out. 2007.

\_\_\_\_\_. Veículo lançador Saturno V. Disponível em:  
<<http://www.nasm.si.edu/collections/imagery/apollo/FIGURES/Fig49a.jpg>>. Acesso em 12 out. 2007.

NEVES, M. C. D. A Terra e sua posição no universo: formas, dimensões e modelos orbitais. **Revista Brasileira de Ensino de Física** v. 22, n. 4, p. 557-567, dez. 2000a.

\_\_\_\_\_. Uma investigação sobre a natureza do movimento ou sobre uma história para a noção do conceito de força. **Revista Brasileira de Ensino de Física** v. 22, n. 4, p. 543-556, dez. 2000b.

NEWTON, I. **Principia**: princípios matemáticos de filosofia natural. São Paulo: Nova Stella, 1990, v.1. Tradução de T. Ricci; L. G. Brunet; S. T. Gehring e M. H. C. Célia.

\_\_\_\_\_. **Princípios Matemáticos, óptica, o peso e o equilíbrio dos fluídos**. São Paulo: Nova Cultural; EDUSP, 2000. Tradução de Mattos, C. L.; Miraconda, P. R.; Possas, L. (Coleção Os pensadores).

NUSSENZVEIG, M. **Curso de Física Básica**: Mecânica. São Paulo: Edgar Blücher, 1996. v.1.

O CÉU de Outubro. Direção: Joe Johnston. Produção: Larry J. Franco e Charles Gordon. Atores: Jake Gyllenhaal; Chris Cooper; Laura Dern; Chris Owen; William Lee Scott; Chad Lindberg; Natalie Canerday; Scott Miles; Randy Stripling; Chris Ellis; Elya Baskin; Courtney Fendley; David Dwyer; Terry Loughlin; Kailie Hollister; David Copeland. Universal Pictures, 1999. 1DVD (114 min), color.

O COSMOS. Produção: System TV, França, 1998. (10 min cada programa). Série de 10 programas exibidos pela TV Escola.

OLIVEIRA FILHO, K. S.; SARAIVA, M. F. O. **Astronomia e Astrofísica**. Porto Alegre: Editora UFRGS, 2000.

O MUNDO de Beakman: Ação, reação e pássaros. Realização: Columbia/sony Entertainment, EUA, 1992. DVD (20 min), dubl., color., exibido por TV Escola.

\_\_\_\_\_: Gravidade e inércia. Realização: Columbia/sony Entertainment, EUA, 1992. DVD (20 min), dubl., color., exibido por TV Escola.

OSTERMANN, F. A epistemologia de Kuhn. **Caderno Catarinense de Ensino de Física** v.13, n. 3, p. 184-196, dez. 1996. Florianópolis.

POEIRA das estrelas. Direção: Frederico Neves. Texto: Marcelo Gleiser e Frederico Neves. Produção: Rede Globo, São Paulo, 2006. (10 min cada programa). Exibido por Rede Globo no Fantástico.

POR que será? O homem na Lua. Direção: Caroline Voitrici. Canadá: TV Ontário, 1997. DVD (7 min), dubl., color., exibido por TV Escola.

\_\_\_\_\_. Satélites. Direção: Caroline Voitrici. Canadá: TV Ontário, 1997. DVD (7 min), dubl., color., exibido por TV Escola.

RAMALHO, R.J.; NICOLAU, G. F.; TOLEDO, A. T. S. **Os fundamentos da física**: Mecânica. 8.ed. São Paulo, 2003. v.1.

REDDY, F. O século dos grandes cometas. **Astronomy Brasil**, São Paulo, v. 2, n. 13, p. 40-41, maio. 2007.

\_\_\_\_\_. O julgamento de Plutão. **Astronomy Brasil**, São Paulo, v. 1, n. 8, p. 60-61, dez. 2006.

\_\_\_\_\_. Uma introdução aos cometas. **Astronomy Brasil**, São Paulo, v. 2, n. 13, p.36-37, maio. 2007.

ROCHA, J. F.; PONCZEK, R. I. L.; PINHO, S. T. R.; ANDRADE, R. F. S.; FREIRE JR, O.; FILHO, A. R. **Origens e evolução das idéias da Física**. Salvador: Edufba, 2002.

ROSA, P. R. S. O Uso de Recursos Audiovisuais e o Ensino de Ciências. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**. Florianópolis. v. 17, n. 1, p. 33-49, abr. 2000.

SILVA, D. N. **Física**. 6. ed. São Paulo: Ática, 2004.

SILVEIRA, F. L. A filosofia da ciência de Karl Popper: o racionalismo crítico. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**. v.13, n. 3, p. 197-218, dez. 1996a. Florianópolis.

\_\_\_\_\_. A metodologia dos programas de pesquisa: A epistemologia de Imre Lakatos. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**. Florianópolis. v. 13, n. 3, p. 219-230, dez. 1996b.

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

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

SCMIDT, C. O uso da Astronomia como instrumento para a introdução ao estudo das radiações eletromagnéticas no ensino médio (Mestrado Profissionalizante em ensino de Física). Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006.

TALCOTT, R. McNaught, o grande cometa de 2007. **Astronomy Brasil**, São Paulo, v.2, n.13, p.46-51, mai.2007.

TEIXEIRA, E. S.; FREIRE, O. A Ciência galileana: uma ilustre desconhecida. **Caderno Catarinense de Ensino de Física** v. 16, n. 1, p. 35-42, abr. 1999. Florianópolis.

WHITE, M. **Rivalidades produtivas: disputas e brigas que impulsionaram a ciência e a tecnologia**. Rio de Janeiro: Record, 2003.

## **APÊNDICE A – Textos de Apoio**

## MÓDULO I – Texto 1

### UMA HISTÓRIA DAS GRANDES DESCOBERTAS EM ASTRONOMIA

#### 1.1 - Introdução

A humanidade sempre se sentiu fascinada em contemplar o céu em uma noite limpa e escura, que exibe todo seu esplendor depois que o Sol se põe: é a Lua mostrando as diferentes fases, as estrelas surgem como uma miríade de pontos brilhantes, entre as quais os planetas se diferem por seu brilho e movimento.

A curiosidade e o interesse dos homens em acompanhar o movimento dos astros no céu, de encontrar regularidades para construir calendários, prever a melhor época para o plantio e para a colheita e determinar as estações do ano remontam à antiguidade. Stonehenge, na Inglaterra, é o observatório astronômico mais antigo que se conhece. Ele é construído a partir de um conjunto de pedras em forma de círculo e, do seu centro algumas pedras estão alinhadas com o nascer e o pôr do Sol no início do inverno e do verão. Destinado também à observação da Lua, esse monumento data de 3000 a 1500 a.C. Foi em meio a esse cenário que nasceu a astronomia, a mais antiga das ciências (MOURÃO, 2000).

#### 1.2 - Pitágoras de Samos (~572 – 497 a.C.)

Para Pitágoras a forma do Universo é esférica por essa ser a forma mais perfeita na geometria. Além de acreditar na esfericidade da Terra e dos objetos celestes, como o Sol, a Lua, os planetas e a estrelas, acreditava que esses objetos estavam incrustados em esferas de cristais concêntricas à Terra, que os transportavam ao seu redor.

#### 1.3 - Aristóteles de Estagira (384 – 322 a.C.)

Aristóteles foi o primeiro a explicar corretamente as fases da Lua e os eclipses do Sol e da Lua. A Lua apresenta fases porque ao longo do seu curso ao redor da Terra ela mostra mais ou menos sua face iluminada pelo Sol à Terra. Na fase da Lua cheia, a Terra fica entre o Sol e a Lua e a face da Lua iluminada pelo Sol está toda voltada para a Terra. A lua nova ocorre quando a Lua fica entre o Sol e a Terra e o lado voltado para a Terra é o lado escuro dela. Nas fases quarto crescente e quarto minguante não há nenhum alinhamento entre esses astros e a Lua só exibe metade de face iluminada pelo Sol. Na fase crescente é possível ver a Lua durante o dia à tarde enquanto na fase minguante é possível vê-la de manhã (MOURÃO, 2000).

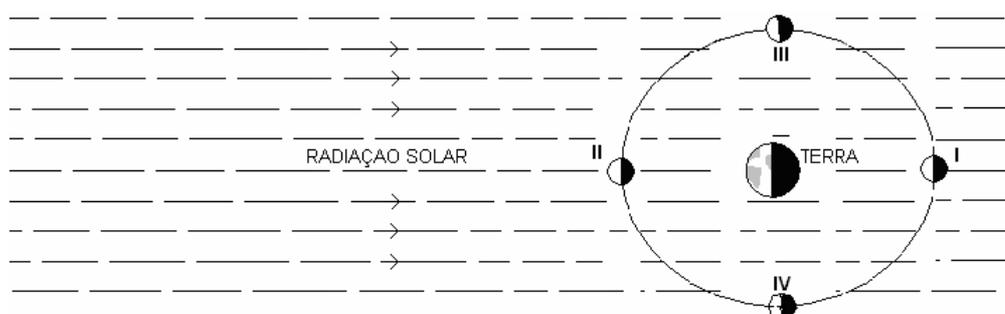


Figura I.1. O esquema mostra o sistema Terra-Sol-Lua (fora de escala) com a posição relativa da Lua nas fases cheia (I), nova (II), quarto crescente (III) e quarto minguante (IV).

Um eclipse do Sol ocorre quando a Lua passa entre a Terra e o Sol e por isso só acontece na lua nova. Quando o disco da Lua encobre totalmente o disco do Sol acontece o eclipse solar total, que só pode ser visto por uma pequena região da superfície da Terra. Um eclipse da Lua só ocorre quando a Lua entra no cone de sombra da Terra e isto só acontece na Lua cheia.

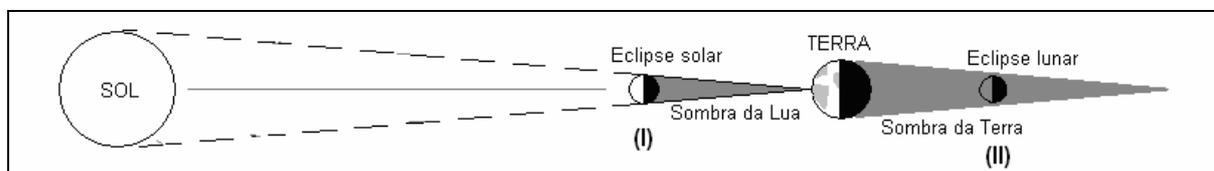


Figura 1.2. Aqui estão representados os alinhamentos Sol-Terra-Lua com as posições relativas da Lua num eclipse do Sol (I) e num eclipse da Lua (II).

Foi também na observação de um eclipse lunar que Aristóteles notou a forma esférica da Terra pela sombra arredondada projetada por ela sobre o disco lunar.

#### 1.4 - A física aristotélica

O universo, segundo Aristóteles, é finito, esférico e totalmente preenchido – não há vazio. A Terra está imóvel e ocupa o centro do universo. Os corpos celestes giram em torno dela em esferas concêntricas e a primeira delas, que transporta a Lua, separa o mundo sublunar – abaixo da esfera da Lua – e mundo supralunar – acima da esfera da Lua. O mundo sublunar era considerado imperfeito, passível de alteração e corrupção, composto pelos elementos terra, água, ar e fogo. Todas as coisas tinham seu lugar natural e o *repouso era considerado o estado natural dos corpos*. Um objeto que não estivesse em seu lugar natural se “esforçará” para alcançá-lo. O “movimento natural” da terra e da água (corpos pesados) é para baixo, para o centro do Universo, e do ar e do fogo (corpos leves) é para cima, para os limites do mundo sublunar. A rapidez com que os objetos caem depende de seu peso: quanto mais pesado o objeto, mais rápido ele cai. Qualquer alteração desta tendência (movimento diretamente para cima ou para baixo) é entendida como “violência” ou “corrupção” da natureza. Enquanto todo “movimento natural” se dá *sem* a ação de forças, os movimentos ditos “violentos” ou “forçados” requerem a ação de forças. É necessário empurrar um carro de mão para mantê-lo em movimento, assim, da mesma forma, para lançar uma flecha e mantê-la em movimento seria necessário empurrar ou puxar. Aristóteles justifica a imobilidade da Terra, argumentando que ela estaria em seu lugar natural e devido ao seu grande tamanho e peso não existiria nenhuma força de magnitude suficiente para movimentá-la. No mundo supralunar reinavam a perfeição e a imutabilidade. Essa região é preenchida por éter com movimentos naturais circulares e eternos. A aparição de um cometa no céu era classificada como um fenômeno sublunar, de origem atmosférica, para “salvar as aparências” da perfeição e imutabilidade do mundo supralunar (DIAS *et al*, 2004).

#### Atividades complementares:

Sugestões de vídeos: episódios da série “Espaçonave Terra”; *semana 41 e semana 11*. Estudos relacionados a esses programas: as fases da lua e os eclipses do Sol e da Lua.

### 1.5 - Aristarco de Samos (310 – 230 a.C)

Aristarco, provavelmente, foi o primeiro a propor um sistema heliocêntrico para a explicação do universo. Nesse modelo, o movimento de rotação que a Terra realiza diariamente em torno de seu próprio eixo explica o movimento diário das estrelas fixas e do Sol, que na realidade estariam imóveis. A Terra também realiza um movimento em torno do Sol em uma órbita circular com o Sol localizado no centro dessa órbita. No entanto, a maioria dos astrônomos da sua época e de vários séculos posteriores rejeitaram estas idéias porque eram inconsistentes com a física aristotélica. Além disso, se a Terra realiza uma rotação completa em um dia, os objetos e tudo que se encontra sobre o seu equador teriam uma velocidade tão grande que a força centrífuga os lançaria para o espaço. Outro argumento que rejeitava o movimento da Terra em torno do Sol era a ausência de paralaxe das estrelas. Isto é, se a Terra estivesse em movimento, as posições relativas das estrelas nas diferentes estações deveria mudar; o que não era observado.

### 1.6 - Eratóstenes de Cirênia (276 – 194 a.C.)

Eratóstenes foi o primeiro a estimar de maneira simples, mas muito engenhosa e com boa aproximação, o comprimento da circunferência da Terra. Ele sabia que no dia do solstício de verão, ao meio dia, os raios solares atingiam o fundo de um poço em Siena (hoje Aswan), no Egito. Enquanto o Sol, naquele mesmo dia, incidia perpendicularmente à Terra em Siena, em Alexandria, mais ao norte, uma estaca vertical fazia sombra. Eratóstenes imaginou que o prolongamento dos raios solares que caíam no poço em Siena, para o interior da Terra, devia passar no seu centro, da mesma forma, o prolongamento de uma linha vertical que acompanha a estaca para o interior da Terra, deveria também passar pelo seu centro. Medindo a sombra projetada pela estaca, Eratóstenes verificou que ela correspondia a  $1/8$  da altura da estaca e o ângulo correspondente entre os raios do Sol e a estaca vertical em Alexandria é de aproximadamente  $1/50$  de uma circunferência. Logo, a distância entre Alexandria e Siena deveria ser  $1/50$  da circunferência da Terra. Como era sabido por Eratóstenes que a distância entre essas cidades era de 5000 estádios ele calculou a circunferência da Terra como  $50 \times 5000 = 250\ 000$  estádios. Na verdade, não se sabe exatamente o valor do estádio utilizado por Eratóstenes, mas provavelmente a diferença pela medida obtida por ele em relação ao valor atualmente conhecido (40 000 km) é menor do que 5%. Dividindo-se o valor da circunferência por  $2\pi$  obtém-se o raio da Terra, que nas unidades modernas vale 6370 km (HEWITT, 2002).

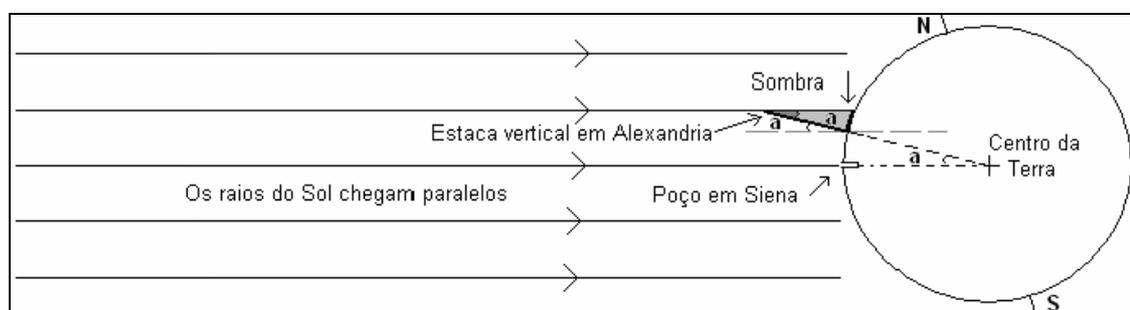


Figura 1.3. Quando os raios solares incidiam diretamente em um poço em Siena, uma estaca vertical projetava uma sombra em Alexandria, localizada 5000 estádios ao norte. O ângulo ( $a$ ) formado entre os prolongamentos dessas retas que se encontram no centro da Terra é o mesmo ângulo ( $a$ ) formado entre a estaca vertical e Alexandria e os raios solares. O ângulo é  $1/50$  da

circunferência da Terra e multiplicando-se a distancia entre Alexandria e Siena (5000 estádios) por 50 obtém-se o tamanho da circunferência da Terra (250 000 estádios).

### 1.7 - Hiparco de Nicéia (160 – 125 a.C.)

Hiparco é considerado o maior astrônomo observacional da era pré-cristã. Entre suas várias contribuições em astronomia, mapeou o céu com a posição de 850 estrelas e determinou, com boa concordância, o tamanho da Lua e sua distância até a Terra. Hiparco baseou-se em observações de um eclipse total da Lua, seguindo o método anteriormente desenvolvido por Aristarco. Na ocasião de um eclipse lunar a Lua passa pelo cone de sombra projetada pela Terra. Medindo a duração da passagem da Lua pelo cone de sombra, ou seja, o tempo decorrido entre a entrada e a saída da Lua no cone de sombra projetado pela Terra, Hiparco concluiu que a largura do cone de sombra nesse lugar era de aproximadamente 2,5 vezes o diâmetro lunar. A partir dessa observação, Hiparco obteve o valor do tamanho da Lua. Uma maneira simples de entender o método seguido pode ser feito através da análise da figura I.4. Admitindo-se que a distância do Sol à Terra é muitas vezes maior que a distância da Lua à Terra, os raios de luz provenientes de qualquer ponto da borda do disco solar chegam à Terra praticamente paralelos, fazendo com que a abertura angular dos cones de sombra da Terra e da Lua sejam quase exatamente iguais. Como o Sol e a Lua têm o mesmo diâmetro aparente vistos da Terra, então a abertura angular do cone de sombra da Lua coincide com o diâmetro angular (aparente) da Lua. Podemos, portanto, concluir que até a distância da Lua, onde ocorre o eclipse da Lua, o estreitamento do cone de sombra da Terra é de um diâmetro lunar. Como a largura do cone de sombra da Terra nesse ponto, é 2,5 vezes o tamanho da Lua, levando em conta esse estreitamento, o diâmetro verdadeiro da Terra deve ser  $(2,5+1) = 3,5$  vezes maior que o diâmetro da Lua. Logo, o diâmetro da Lua é o diâmetro da Terra dividido por 3,5. O valor obtido por Hiparco difere em menos de 5% do valor atualmente conhecido (3640 km) (HEWITT, 2002).

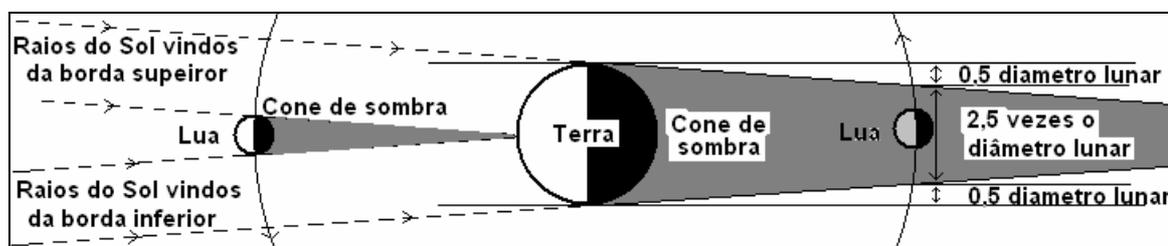


Figura I.4. Pela duração da passagem da Lua pelo cone da sombra projetada pela Terra em um eclipse total da Lua é possível determinar a largura da sombra da Terra na Lua. O cone de sombra da Terra sofre um estreitamento que, até a órbita da Lua, corresponde a *um* diâmetro lunar. Somando-se um diâmetro lunar com a largura da sombra da Terra na Lua obtemos para o diâmetro da Lua um valor aproximadamente 3,5 vezes menor que o diâmetro da Terra.

Uma vez determinado o tamanho da Lua fica muito simples estimar sua distância à Terra. Usando a matemática da semelhança de triângulos (figura I.5) Hiparco obteve para a distância da Terra à Lua 59 vezes o raio da Terra. O valor correto é de 60 raios terrestres.

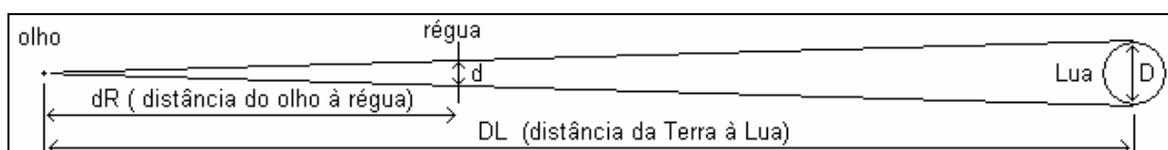


Figura I.5. Com o auxílio de uma régua milimetrada, mede-se o diâmetro aparente da Lua, segurando-se a régua em pé com o braço esticado. Pela matemática dos triângulos semelhantes,

comparam-se a medida do diâmetro aparente ( $d$ ) com diâmetro real da Lua ( $D$ ) e a distância do olho à régua ( $dR$ ) com a distancia da Terra à Lua ( $DL$ ). A última será calculada por:  $DL = D \times dR / d$ .

### 1.8 - Cláudio Ptolomeu (85 - 165 d.C.)

Ptolomeu foi o maior e o último dos grandes astrônomos gregos. Entre as várias obras que escreveu, a mais famosa é a *Syntaxis Mathématica*, organizada em 13 volumes. Nesta obra, conhecida como Almagesto, Ptolomeu reúne grande parte dos conhecimentos astronômicos da Antiguidade em um modelo geocêntrico na explicação dos movimentos dos corpos celestes.

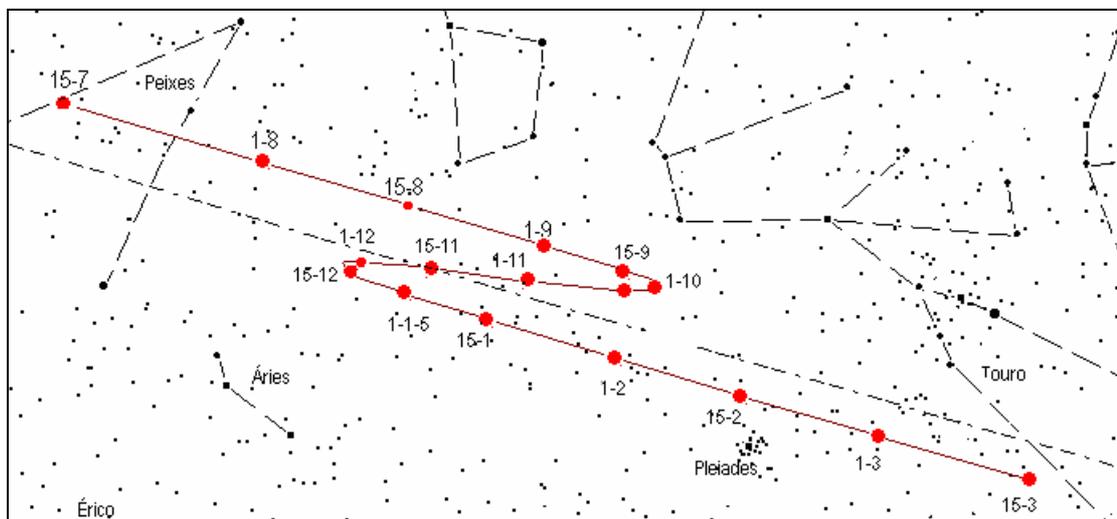


Figura 1.6. A figura mostra o movimento do planeta Marte, de 15 em 15 dias, em relação às estrelas de fundo, no período entre os meses de agosto de 2005 e fevereiro de 2006. Em 06 de novembro o planeta estava em sua maior aproximação com a Terra e melhor de ser observado.

Os planetas, em relação ao fundo das estrelas fixas, apresentam um movimento irregular que ainda não havia sido explicado. Observando o movimento dos planetas ao longo do ano, percebe-se que eles se movimentam entre as estrelas de fundo, geralmente, de oeste para leste. Mas em certas épocas o movimento muda, passando a ser de leste para oeste. Essa inversão em seu movimento, denominado de movimento retrógrado, pode durar vários meses (de acordo com cada planeta), até que fica mais lento e o planeta reverte novamente seu sentido, retomando o movimento normal. Enquanto o planeta realiza o movimento retrógrado, seu brilho aparente é maior, sugerindo estar mais próximo da Terra.

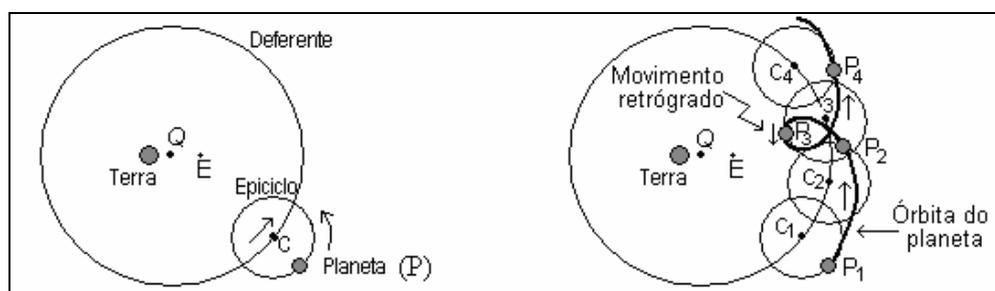


Figura 1.7. No modelo de Ptolomeu o movimento do planeta é resultado da combinação dos movimentos ao longo do epiciclo (círculo menor) e ao longo do deferente (círculo maior). O planeta P desloca-se sobre o epiciclo em torno de C, enquanto C se move sobre o deferente de centro Q. A linha em destaque representa a órbita do planeta.

A inovação proposta por Ptolomeu é uma teoria geométrica para explicar, através da matemática, os movimentos e posições aparentes dos astros no céu representados por percursos circulares. Para explicar o movimento irregular dos planetas, ele propôs um modelo onde o movimento de cada planeta,

visto da Terra, é resultado da combinação de dois movimentos circulares e uniformes. Na figura 1.7 representamos o movimento de um planeta que se move ao longo de um pequeno círculo, chamado *epiciclo*, cujo centro (C) se move em um círculo maior, chamado *deferente*. O que diferenciava o movimento de um planeta e outro era o tamanho do *epiciclo* e do *deferente* e as suas velocidades relativas de rotação, que eram ajustadas para concordar com as observações.

A Terra fica numa posição um pouco afastada do centro (Q) do *deferente*. Além dessa modificação, para corrigir as irregularidades nos movimentos dos planetas, Ptolomeu introduziu o artifício do *equante* (E), que é um ponto deslocado do centro (Q) do *deferente* e oposto à posição da Terra, em torno do qual o centro (C) do *epiciclo* realiza um movimento uniforme. Dessa forma, o Sol ou os planetas observados da Terra não mostram movimentos uniformes em relação às estrelas fixas, mesmo quando eles o realizam. Haverá momentos em que o Sol ou um planeta estará mais perto da Terra e outros, em que ele estará mais afastado da Terra. Assim, Ptolomeu conseguiu explicar o movimento retrógrado dos planetas e seu conseqüente aumento de brilho, devido à sua aproximação com a Terra (NUSSENZVEIG, 1996, p. 191).

Apesar de sua complexidade, esse modelo permitia prever a posição e o movimento dos planetas com precisão notável para a época além de se integrar, em vários aspectos, à física de Aristóteles.

### 1.9 - Nicolau Copérnico (1473 - 1543)

Copérnico viveu no período renascentista, cuja época foi marcada por uma “ruptura com os valores medievais” e um resgate das idéias dos pensadores gregos da Antigüidade, no campo das artes, letras, filosofia e ciência. A reforma do calendário, que havia acumulado erros por séculos e as grandes navegações, para se orientar em alto mar, exigiam melhores conhecimentos em astronomia.

Motivado pela concepção neoplatônica, ressurgida na época, Copérnico rejeita o modelo geocêntrico por contrariar o ideal platônico do movimento circular e uniforme dos objetos celestes, quando utiliza o artifício dos *equantes* em sua descrição. Contrapondo a esse modelo, que ele considerava insatisfatório, Copérnico escreve sua grande obra intitulada “*Sobre as Revoluções das Esferas Celestes*” (1543), onde propôs o modelo heliocêntrico, acreditando ser mais simples. A idéia de tomar o Sol como centro do universo vem, sobretudo, de uma inspiração metafísica, comprometida com o neoplatonismo, explicitada pela seguinte passagem do *de Revolutionibus*:

*No centro de tudo, repousa o Sol. Pois, quem colocaria essa lâmpada de um belo templo em outro ou melhor lugar do que esse, de onde ela pode iluminar tudo ao mesmo tempo? De fato, é [uma] feliz [expressão] que alguns o chamem de lanterna; outros, de mente e outros, ainda, de piloto do mundo. Trimegisto o chama de “Deus visível”; a Electra de Sófocles, “aquilo que faz arder em chamas todas as coisas”. E, assim, o Sol, como se [estivesse] repousando em um trono régio, governa a família dos astros que o rodeiam. [...] A Terra, além disso, é fertilizada pelo Sol e concebe crias todos os anos (Copérnico apud Dias, 2004).*

O modelo de Copérnico estava baseado na hipótese heliocêntrica proposta por Aristarco de Samos e fundamentada em um novo conjunto de pressupostos astronômicos:

\* não existe um centro único para o movimento dos corpos celestes, o centro da Terra é apenas o centro do movimento da Lua. Os demais objetos se movem em torno do Sol, inclusive a Terra, e o centro do mundo está *perto* do Sol.

\* o Sol e a esfera das estrelas estão permanentemente imóveis. Qualquer movimento aparente observado no céu não pertence ao mesmo, mas é devido à Terra que realiza um movimento

diário de rotação constante em torno de seus pólos. Qualquer movimento aparente do Sol é devido ao movimento anual da Terra em torno dele, como qualquer outro planeta. O movimento da Terra é suficiente para explicar as irregularidades de seus movimentos. Portanto, a Terra realiza dois movimentos: o movimento diário de *rotação*, em torno de si mesma, e o movimento anual de *translação* (revolução), em torno do Sol.

O Sol realiza ao longo do ano, um movimento aparente percorrendo as constelações (grupos de estrelas) do zodíaco. O zodíaco é uma faixa circular imaginária no céu que não só contém a trajetória do Sol, mas também as trajetórias da Lua e dos planetas e está dividida em doze constelações, chamadas de signos (Áries, Touro, Gêmeos, Câncer, Leão, Virgem, Libra, Escorpião, Sagitário, Capricórnio, Aquário e Peixes). Esse movimento é perfeitamente entendido pelo movimento que a Terra realiza em volta do Sol, que parece atravessar o zodíaco, sempre na extremidade oposta da órbita da Terra (veja figura I.8).

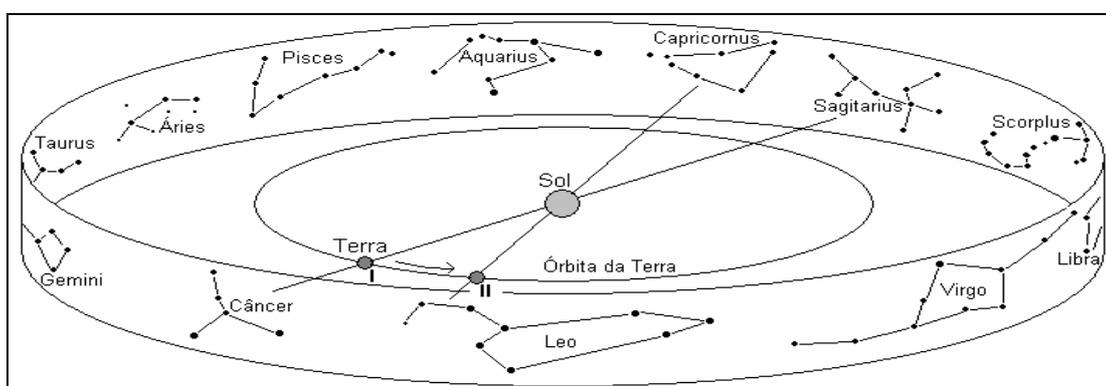


Figura I.8. Quando o Sol está em Sagitário, em janeiro, a Terra (I) está na extremidade oposta ao Sol, na mesma direção. Algumas semanas mais tarde o Sol estará em Capricórnio, porque a Terra avançou em sua órbita (II). Note que os signos astrológicos não estão mais de acordo com a posição do Sol nas constelações do zodíaco como era há 2 000 anos.

O movimento retrógrado dos planetas, no modelo de Copérnico, ocorre sempre que a Terra passa entre o Sol e o planeta (exterior à órbita da Terra), realizando uma espécie de ultrapassagem. Isto acontece porque a Terra avança mais rápido em sua órbita ao redor do Sol do que o planeta que está mais distante e em relação às estrelas ao fundo o planeta realiza movimento retrógrado. Impressão semelhante também se tem quando se está em um carro que ultrapassa outro e durante a manobra de ultrapassagem o outro carro parece andar para trás. Mas, na verdade, tanto o movimento do planeta quanto do carro sendo ultrapassado jamais se inverteu. É nesse período que o planeta está mais próximo da Terra, justificando seu maior brilho (OLIVEIRA e SARAIVA, 2000).

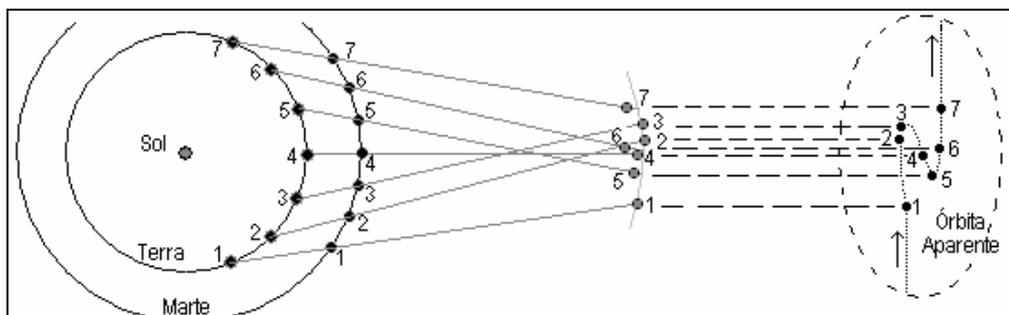


Figura I.9. Como Marte é mais lento em seu movimento em torno do Sol, a Terra o ultrapassa a cada quase dois anos, e devido a essa ultrapassagem Marte parece retroceder no céu, o que na verdade não acontece. É apenas seu movimento aparente em relação às estrelas de fundo.

O modelo heliocêntrico possibilitou a Copérnico calcular, pela primeira vez, as distâncias relativas dentro do sistema solar. Ele adota como padrão de medida para as distâncias entre os planetas e o Sol, a *distância da Terra ao Sol*, denominada *unidade astronômica* (U.A.). Isto quer dizer que a distância da Terra ao Sol é de 1 U.A., ou ainda, um planeta que está 30 vezes mais afastado do Sol do que a Terra tem o raio de sua órbita igual a 30 U. A. Para calcular a distância dos planetas internos (Mercúrio e Vênus) ao Sol é necessário saber apenas sua elongação máxima ( $e_{\text{máx}}$ ), que corresponde ao ângulo medido entre o planeta e o Sol quando eles estão em seu afastamento máximo vistos da Terra. Para Mercúrio esse ângulo varia de 23° a 28° e para Vênus é de 46°.

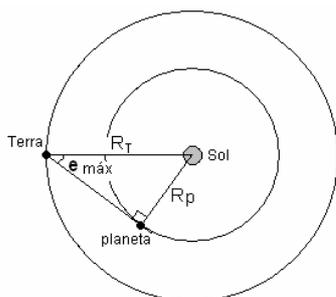


Figura I.10. Quando um planeta interno está em sua elongação máxima, conforme aparece na figura, temos um triângulo retângulo formado pelo Sol, planeta e a Terra, com ângulo reto no vértice do planeta. Medindo-se o ângulo ( $e_{\text{máx}}$ ) a partir da Terra e aplicando a relação trigonométrica do seno calcula-se a distância do planeta ao Sol ( $R_p$ ).  $R_T$  é a distância da Terra ao Sol.

$$\text{sen}(e_{\text{máx}}) = \frac{R_p}{R_T}$$

Por um raciocínio parecido obtém-se as distâncias para os planetas externos. Copérnico também calculou os períodos de revolução de cada planeta em torno do Sol. A tabela a seguir apresenta os valores das distâncias dos planetas ao Sol e seus respectivos períodos calculados por Copérnico (encontrados em seu livro *de Revolutionibus*) e aqueles conhecidos atualmente. Os planetas Urano e Netuno não eram conhecidos na época.

Planeta	Raio médio da órbita em U. A.		Período orbital em anos	
	Copérnico	Atual	Copérnico	Atual
Mercúrio	0,376	0,387	0,24	0,24
Vênus	0,719	0,723	0,62	0,62
Terra	1	1	1	1
Marte	1,520	1,524	1,88	1,88
Júpiter	5,219	5,203	11,87	11,86
Saturno	9,174	9,539	29,44	29,46
Urano	-----	19,18	-----	84,04
Netuno	-----	30,06	-----	164,8

Copérnico conseguiu mostrar a superioridade de seu modelo heliocêntrico em relação ao modelo geocêntrico, por explicar todos os fenômenos observados de maneira mais simples (ter menos elementos) e sem ferir o ideal platônico, embora não com maior precisão. No entanto, a teoria copernicana contrariava a expectativa de senso comum, baseada na física aristotélica vigente na época, dificultando sua aceitação. Foram os trabalhos de Galileu (1564- 1642) e Newton (1642- 1727), mais tarde, que lançaram as bases de uma nova física (a mecânica) que deram suporte teórico consistente para sua aceitação.

#### Atividades complementares:

Sugestões de vídeos: episódios da série “Espaçonave Terra”; *semanas 06, 18 e 21*. Estudos relacionados: o movimento retrógrado dos planetas e o modelo de Copérnico.

### 1.10 - O modelo de Tycho Brahe (1546 - 1601)

Tycho é considerado o maior astrônomo observacional da era pré-telescópica. Durante 20 anos de observações cuidadosas feitas no maior observatório astronômico do mundo da época, projetado por ele e financiado pelo Rei Frederico II da Dinamarca, revolucionou os conhecimentos astronômicos com suas descobertas. Os instrumentos de observação foram concebidos e aperfeiçoados pelo próprio Tycho que, devido a suas grandes proporções, conseguiu obter medidas das posições dos planetas e das estrelas dez vezes mais precisas que as melhores até então disponíveis (o erro ficava limitado a 1 minuto de arco). Diferente dos astrônomos anteriores, que só faziam medições dos planetas em ocasiões especiais, ele fez observações rigorosas e sistemáticas por um longo período de tempo (MEDEIROS, 2001).

O interesse de Tycho por astronomia começou cedo, na sua juventude, com a ocorrência de eclipse parcial do Sol. Ele ficara impressionado com a possibilidade dos astrônomos conhecerem o movimento dos astros com exatidão e prever suas posições futuras. Outro fato que chamou sua atenção foi a aproximação de Júpiter e Saturno em 17 de agosto de 1563. Ele notou que as tabelas construídas a partir do modelo geocêntrico erraram em várias semanas ao predizer o evento e as tabelas de Copérnico erraram por vários dias. Tycho acreditava que novas e melhores tabelas podiam ser construídas a partir de dados mais precisos, obtidos com sistemáticas observações cuidadosas por um longo período de tempo.

Em novembro de 1572, Tycho observou uma estrela nova no céu, mais brilhante que Vênus, que podia ser vista, inclusive, durante o dia. A atenção dos astrônomos de todo mundo tinha se voltado àquela estrela para saber se era um fenômeno atmosférico ou se estava além da esfera da Lua, contrariando a imutabilidade do mundo supralunar de Aristóteles. As medidas precisas de Tycho revelaram que a estrela nova não apresentava paralaxe, ou seja, não tinha nenhum movimento em relação às demais estrelas, e sua localização deveria ser, no mínimo, para além da esfera de Saturno. Depois de 18 meses a estrela nova começou a perder brilho rapidamente até desaparecer. Cinco anos mais tarde, em 1577, apareceu um cometa no céu e Tycho estudou sua órbita. Ele concluiu que os cometas, que até então eram vistos como fenômenos atmosféricos situados próximos à Terra, descrevem uma órbita regular ao redor do Sol atravessando as esferas dos planetas. Essas descobertas, pela primeira vez na história da ciência, colocavam em dúvida a validade da crença aristotélica da perfeição e imutabilidade dos céus acima da esfera lunar.

Tycho acreditava que tanto o modelo geocêntrico de Ptolomeu quanto o modelo heliocêntrico de Copérnico estavam errados. Ele concordava com a idéia de que os planetas giram em torno do Sol, mas não que a Terra tivesse qualquer movimento. Se a Terra se movesse em torno do Sol, as estrelas deveriam apresentar paralaxes, ou seja, deveriam mostrar deslocamentos aparentes. Tycho mediu as posições de várias estrelas em um intervalo de 6 meses, tempo suficiente para a Terra passar para o outro lado de sua órbita em torno do Sol, e não verificou nenhuma paralaxe. Logo, concluiu que a Terra não se move.

O modelo proposto por Tycho era um modelo intermediário entre os de Ptolomeu e de Copérnico. Para Tycho, o Sol e a Lua giram em torno da Terra, que permanece imóvel, enquanto os demais planetas giram em torno do Sol (figura I.11).

Com a morte do Rei Frederico II, Tycho perdeu o incentivo da corte às suas pesquisas e se viu obrigado a deixar seu país pelas perseguições que sofria. Mudou-se para Praga, onde escreveu e publicou um livro (*Instrumentos para a Astronomia Restaurada*, 1599) com a dedicatória ao Imperador Rodolfo II. Com essa dedicatória Tycho ganhou o posto, a convite do Imperador, de Matemático Imperial. Seu trabalho era fazer horóscopos para o Imperador, ao mesmo tempo que tentava ajustar seu modelo de mundo aos dados que havia coletado. Mas ele encontrava sérias dificuldades em ajustar seu modelo. A pedido de Tycho, o Imperador contratou novos auxiliares, entre eles o grande matemático Johannes Kepler (1571-1630), que foi trabalhar com ele em 1600. Dezoito meses depois, Tycho morre sem conseguir realizar seu grande desejo, o de provar a validade e a superioridade de seu modelo de universo (MEDEIROS, 2001).

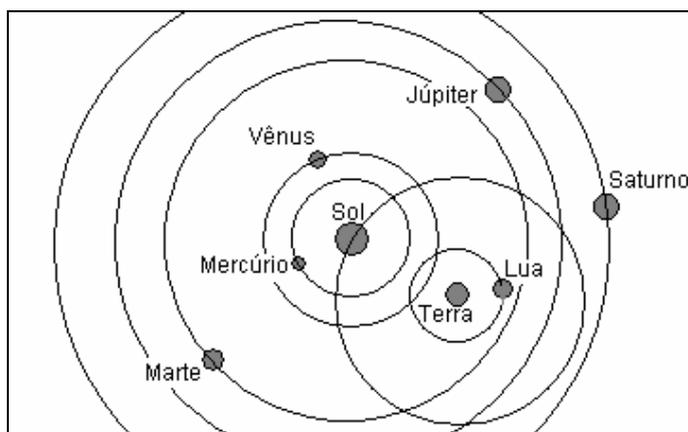


Figura I.11. Modelo do sistema solar de Brahe: a Terra é o centro imóvel do mundo; apenas a Lua e o Sol realizam movimento em torno da Terra. Os planetas giram em torno do Sol.

### Questionário 01

01. É possível, em alguma de suas fases principais, não ver a Lua durante a noite?
02. É possível ver a Lua durante o dia? Se sim, em qual fase (ou fases)?
03. Qual a fase (ou as fases) da Lua em que pode ocorrer um eclipse do Sol? E da Lua?
04. Quais as diferenças entre os mundos sublunar e supralunar de Aristóteles?
05. As medidas do tamanho da Terra e da Lua e a distância da Terra à Lua, realizadas antes de Cristo, eram todas equivocadas? Justifique.
06. Cite ao menos três aspectos que fez o sistema de mundo de Ptolomeu se enquadrar na física aristotélica.
07. O que são os deferentes e os epiciclos no modelo de Ptolomeu? Para que servem estes artifícios?
08. Em quais aspectos os modelos de Ptolomeu e Copérnico se assemelham? Em quais aspectos eles divergem?
09. Por que as idéias de Copérnico não foram aceitas na sua época?
10. Cite uma descoberta feita por Tycho Brahe. Qual a consequência que essa descoberta teve, na época?
11. O modelo para o universo proposto por Tycho foi geocêntrico ou heliocêntrico? Justifique.

## MÓDULO II – Texto 2

### A NOVA FÍSICA DO MOVIMENTO E AS LEIS DE KEPLER

#### 2.1 - Introdução

A indicação de que fenômenos celestes como a estrela nova de 1572 e cometas pertenciam ao mundo supralunar contrariou sua imutabilidade, gerando controvérsias sobre a validade da física aristotélica que já perdurava por quase 2000 anos.

O matemático Galileu Galilei (1564 – 1642) da Universidade de Pádua (Itália) introduziu a matematização e a experimentação como nova forma de fazer ciência. Até então, a matemática só era aplicada para descrever os movimentos da Lua, do Sol, dos planetas e das estrelas, por serem movimentos circulares, pertencentes ao mundo perfeito supralunar. Aos fenômenos do mundo sublunar, como o movimento dos corpos na superfície terrestre, não era possível aplicar a matemática. O lançamento de um objeto para o alto, por exemplo, durante seu movimento de subida, realizava movimento “violento”, que era bruscamente interrompido quando atingia o ponto mais elevado, para dar início a um movimento “natural” para baixo. Não havia continuidade entre os dois movimentos e a matemática não podia ser aplicada (BELLONE, 2005).

A física de Galileu propõe, para o estudo dos fenômenos, previsões teóricas com base em argumentos vindos do “mundo das idéias” que são confrontados com “experiências sensíveis”. Essas previsões teóricas seriam validadas quando os resultados das “experiências sensíveis” fossem razoavelmente próximos dos valores previstos. Ele conclui que, devido à complexidade dos fenômenos e dos numerosos fatores envolvidos, não é possível chegar a um conhecimento exato dos fenômenos.

É bastante comum encontrar nos livros didáticos de física, relatos históricos de um Galileu empirista, ou seja, um cientista que faz suas descobertas a partir de resultados observacionais aplicando o método científico<sup>14</sup>. Porém, para a epistemologia contemporânea, a idéia empirista na construção do conhecimento científico é inadequada e limitada. A motivação dos trabalhos de Galileu em propor um suporte teórico consistente à teoria copernicana. Galileu realizava dois tipos de experiências: as de pensamento e as de observação; estas são apenas os procedimentos necessários (dispositivos e tomadas de dados) para a verificação daquelas, que são as bases teóricas com a origem no “mundo das idéias”. (SILVEIRA e PEDUZZI, 2006).

#### 2.2 - O conceito de inércia

Defensor do sistema copernicano, Galileu trabalhou exaustivamente na formulação de uma nova física que desse um suporte consistente ao modelo heliocêntrico, uma teoria que aproximasse a física dos movimentos planetários à física dos movimentos dos objetos na superfície terrestre. A ruptura com a física aristotélica ocorre quando Galileu enuncia pela primeira vez, em 1593, sua teoria sobre o movimento e o repouso. Ele afirma que, em uma situação ideal, nenhuma força é necessária para que um corpo mantenha seu movimento retilíneo com velocidade constante. Para chegar a essa conclusão,

---

<sup>14</sup> O método científico é uma atividade realizada na ciência na elaboração de teorias numa determinada seqüência, a saber: 1. observação (fato, dados); 2. reflexão ou raciocínio (hipótese); 3. experimentação; 4. generalização (lei); 5. teoria (CARVALHO e SOUZA, 2004, pg. 9-10).

ele propôs uma experiência de pensamento idealizada com uma esfera e uma superfície plana perfeitamente lisa. Essa experiência está esquematizada na figura II.1. A esfera sempre parte do repouso em A, percorre o plano inclinado AB e chega a B com certa velocidade. Se ela continuar seu movimento percorrendo o plano BC, ela irá aumentar cada vez mais sua velocidade, pois ela está descendo o plano. Quando a esfera for obrigada a percorrer o plano BD, a velocidade que ela adquiriu no trecho AB vai constantemente diminuindo até parar em D. Se a esfera percorrer um plano com menor inclinação, como os trechos BE e BF, sua velocidade vai diminuir gradativamente até parar, percorrendo uma distância maior para a menor inclinação do plano (trecho BF). Mas não havendo inclinação nenhuma, como o plano BH, não haverá redução na velocidade da esfera e ela percorrerá toda a extensão do plano, mesmo ele sendo muito extenso, sem parar.

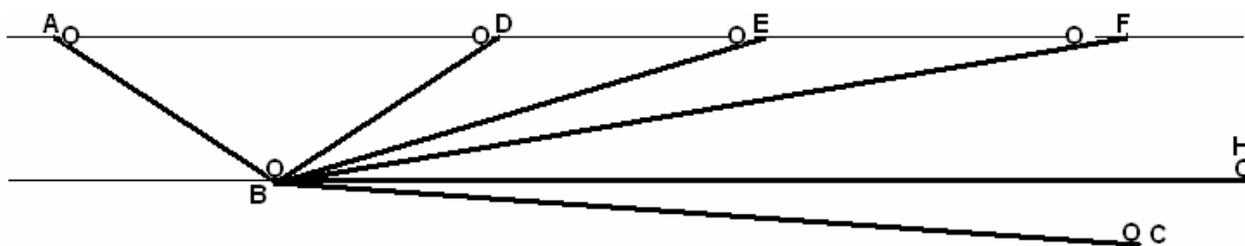


Figura II.1. Os diferentes planos na experiência mental idealizada por Galileu.

A experiência demonstra que o movimento retilíneo com velocidade constante é tão natural quanto o estado de repouso, isto é, assim como todo corpo em repouso tende a permanecer em repouso todo corpo em movimento tende a permanecer em movimento retilíneo uniforme. A essa propriedade, inerente a todos os corpos, Galileu denominou de *inércia*.

No dia a dia os objetos em movimento sobre superfícies horizontais cessam seus movimentos não pela ausência de forças, mas pela presença de forças resistivas que se opõem ao movimento, como o atrito existente entre as superfícies em contato e a resistência do ar.

Com o conceito de inércia, Galileu tem argumentos para defender a mobilidade da Terra como havia proposto Copérnico. A física aristotélica prevê a imobilidade da Terra dizendo que um objeto que é lançado verticalmente para o alto deveria ser deixado para trás caso a Terra estivesse em movimento, e não retornar ao local de lançamento, como de fato se observa. De acordo com Galileu, o objeto ao ser lançado verticalmente para cima compartilha, desde o início, o mesmo movimento que a Terra realiza pelo espaço e, durante seu movimento de subida e descida, o objeto também se desloca, assim como a Terra, retornando ao mesmo local de onde foi lançado. Esse fato também pode ser observado quando uma pessoa, que se encontra em um trem em movimento retilíneo com velocidade constante, deixa cair uma moeda. Todas as pessoas que estão paradas naquele vagão verão a moeda cair aos pés da pessoa que a largou, e não cair para trás como muitos imaginam.

### 2.3 - Conceito de movimento e repouso

Como podemos saber se um corpo está em movimento ou se está em repouso?

Para entender essa questão analisaremos a seguinte situação: em uma noite de verão, procure localizar no céu a constelação de Órion. Espere algumas horas e retorne a localizar novamente Órion. As estrelas estão em repouso ou em movimento?

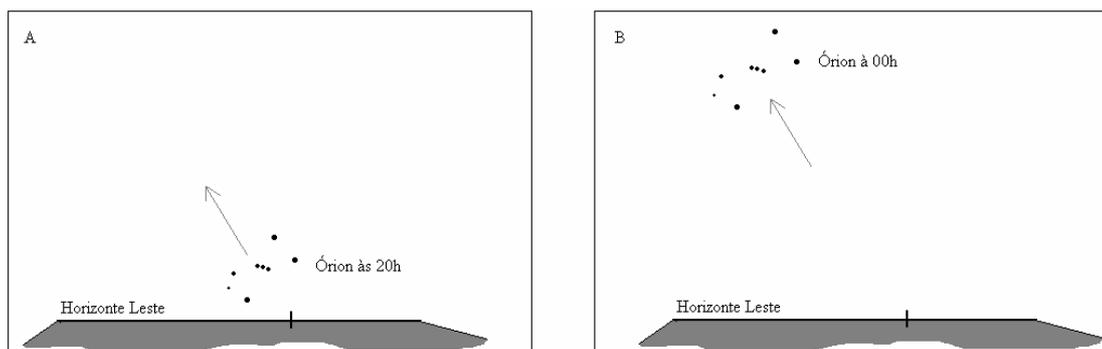


Figura II.2. No quadro da esquerda a constelação de Órion surge sobre o horizonte leste no início da noite em dezembro. À meia noite, no mesmo dia, no quadro da direita, Órion está cerca de  $60^\circ$  acima do horizonte.

O que você provavelmente terá observado é que a posição das estrelas em relação a você mudou com o passar do tempo. Também deve ter notado que as estrelas não se moveram umas em relação às outras (motivo pelo qual são denominadas de *estrelas fixas*). Isso quer dizer que as estrelas estão em movimento em relação a uma casa, uma árvore ou um observador aqui na Terra, mas cada uma está em repouso em relação às demais estrelas no céu. Portanto, falar em movimento ou em repouso só faz sentido se considerarmos um **referencial**, em relação ao qual descrevemos as posições de um corpo. Referencial pode ser entendido como o lugar de onde alguém está observando.

Para descrever a rapidez com que um corpo se movimenta, usamos o conceito de **velocidade**. Define-se *velocidade média* ( $v_m$ ) de um móvel através da razão entre o *deslocamento* ( $\Delta s$ ) realizado e o correspondente *intervalo de tempo* ( $\Delta t$ ):

$$v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

Para melhor entender esse conceito, suponha que um automóvel, em uma viagem, percorreu uma distância de 320 km demorando 4 h. A velocidade média desenvolvida pelo carro foi de 80 km/h.

Será que durante a viagem a velocidade do carro sempre era de 80 km/h? Certamente não! O velocímetro do carro deve ter marcado velocidades diferentes, às vezes menor, outras vezes maior, outras vezes igual a 80 km/h. O velocímetro mostra a velocidade do móvel no exato momento em que é observado, a cada instante, sendo o valor lido, denominado **velocidade instantânea**. Podemos obter a velocidade instantânea, com boa aproximação, quando o deslocamento é tomado no mínimo intervalo de tempo possível de ser medido, ou seja, num intervalo de tempo tendendo a zero. Mas também é fácil de perceber que, se a velocidade fosse sempre mantida igual a 80 km/h, durante todo o percurso, o carro percorreria aqueles 320 km no mesmo tempo de 4 h. Nestas condições, dizemos que o carro está em movimento uniforme. Isto é, um corpo realiza movimento uniforme quando, em intervalos de tempos iguais, percorre distâncias iguais. Portanto, podemos afirmar que o módulo da velocidade em um movimento uniforme é *constante*.

São exemplos de movimentos uniformes a extremidade do ponteiro de um relógio, uma gota de chuva na parte final da queda e um satélite em órbita circular.

A unidade de velocidade no *sistema internacional* é o metro por segundo (m/s). Na prática, é bastante comum medir a velocidade em quilômetros por hora (km/h).

A mesma expressão para se calcular a velocidade média ( $v_m$ ) também pode ser utilizada para calcular o deslocamento ou a distância percorrida ( $\Delta s$ ). Para isso, basta isolar o deslocamento da expressão, que se obtém: ( $\Delta s = v_m \cdot \Delta t$ ).

Vamos retomar o conceito de velocidade instantânea através da leitura de um pequeno texto que segue.

“Para ilustrar este conceito, vamos parafrasear uma anedota utilizada por Feynman em seu curso. Ela tem a forma de um diálogo entre um estudante (E) que estava dirigindo seu carro de forma a não chegar atrasado na aula de física e o guarda (G) que o fez parar, acusando-o de excesso de velocidade:

G: O seu carro estava a 120 km/h, quando o limite de velocidade aqui é de 60 km/h!

E: Como é que eu podia estar a 120 km por hora se só estava dirigindo há cerca de 1 minuto, e não durante uma hora?

G: O que quero dizer é que, se continuasse em frente do jeito que estava, teria percorrido 120 km em uma hora.

E: Se tivesse continuado sempre em frente, eu teria ido bater no prédio da Física!

G: Bem, isso seria verdade se tivesse seguido em frente por uma hora. Mas, se tivesse continuado em frente por um minuto, teria percorrido  $120\text{km}/60 = 2$  km, e em 1 s teria percorrido  $2\text{ km}/60 = 33,3$  m, e em 0,1 s teria percorrido 3,33 m, e teria dado perfeitamente para prosseguir durante 0,1 s.

E: Mas o limite de velocidade é de 60 km/h, e não de 1,66 m em 0,1 s!

G: É a mesma coisa: o que conta é a velocidade instantânea.”

(NUSSENZVEIG, 1996, Pg. 25).

## 2.4 - Movimento de queda

Quando abandonamos simultaneamente, da mesma altura, duas bolas de mesmo tamanho, uma de aço e outra de isopor, qual delas chegará primeiro ao chão?

Assim como prevê a teoria aristotélica, e para a maioria de nós, a resposta parece ser óbvia: devido ao maior peso, a esfera de aço chegará primeiro.

Realizemos agora uma experiência em que usaremos duas esferas de mesmo tamanho e feitas de mesmo material e um cilindro comprido cheio de água. Deixemos as esferas caírem simultaneamente, uma através do ar e outra através da água (figura II.3). Observando seus movimentos notaremos que a esfera que cai através da coluna de água se atrasará em relação à outra que cai pelo ar. Podemos repetir a experiência com esferas de outros materiais ou outros tamanhos, mas teremos sempre o mesmo resultado: a velocidade da esfera na água é menor que a velocidade da esfera no ar. Podemos ainda realizar uma outra experiência com um segundo tubo comprido cheio de azeite. Quando deixamos cair simultaneamente duas esferas idênticas, aquela que cai na água chega mais depressa ao fundo do que aquela que cai no azeite. A resistência ao movimento do azeite é maior do que a resistência da água. Como a resistência ao movimento da água é maior que a resistência do ar, necessariamente a resistência do azeite é maior que a do ar.

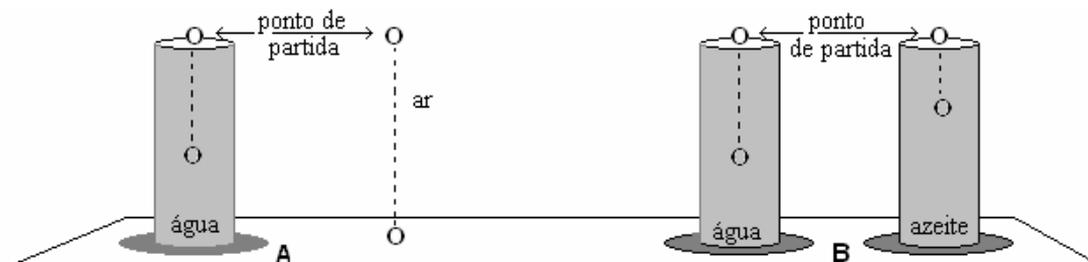


Figura II.3. Estão representadas esferas idênticas, de mesmo tamanho e peso, que são abandonadas de mesma altura. Na água a velocidade de queda é maior que no azeite, e no ar a

velocidade é maior que na água. Meios diferentes se opõem ao movimento com resistências diferentes.

Para os aristotélicos o peso do objeto é o fator determinante na velocidade em um meio resistivo. O tamanho, por exemplo, deveria atrasar a esfera maior, mas não é o que se observa. Pois quando deixamos cair simultaneamente uma esfera pequena e uma maior, ambas de aço, em um cilindro comprido cheio de água, a esfera grande, a mais pesada, chega ao fundo antes da esfera menor, que é mais leve. Da mesma forma, quando largamos uma esfera de aço e outra de vidro, ambas de mesmo tamanho, a esfera mais pesada chegará ao fundo primeiro, isto é, a esfera de aço irá vencer muito melhor a resistência do meio que se opõe ao movimento (SILVA, 2004, p. 13 – 20).

De acordo com Lei Aristotélica do Movimento, ao deixarmos cair no mesmo meio (ar ou água) duas esferas de mesmo tamanho, mas de diferentes pesos, de modo que uma tenha o dobro do peso da outra a velocidade da esfera mais pesada deve ser o dobro da mais leve. Experiências cuidadosas desse tipo, que podem ser realizadas em casa com uma bolinha de vidro e outra de aço, revelam resultados que contrariam as previsões da teoria aristotélica.

Galileu já conhecia este fato e descreve que para percursos de queda pequenos, do teto ao chão de uma sala, por exemplo, as bolinhas cairão juntas e uma pequena diferença apenas seria observada para distâncias de queda muito maiores.

Estudando o movimento de queda em meios resistivos, Galileu, em 1604, anunciara a Lei da Queda Livre: *no vácuo, os movimentos de queda são os mesmos para todos os corpos, independentemente de seu peso e sua forma, quando abandonados simultaneamente*. Galileu chegou a esta conclusão notando que a diferença entre o movimento de queda de objetos de pesos e formas diferentes é cada vez menor à medida que esses objetos caem em meios de resistência cada vez menores. Ele estava convencido de que, por mais fluido, suave e tranquilo que seja o meio, ele se opõe ao movimento com uma resistência que está diretamente relacionada com a velocidade do objeto. Experiências para esse fim podem ser idealizadas diminuindo-se a ação perturbadora do ar ao mínimo, onde os movimentos devem acontecer de forma muito mais lenta do que o de um objeto em queda livre, utilizando-se pêndulos com pequenas oscilações.

Quando a resistência do meio é desprezível a velocidade de queda de um objeto abandonado de certa altura aumenta gradativamente até atingir o chão. Galileu denominou esse movimento de naturalmente acelerado ou uniformemente acelerado e o conceituou dizendo que o *movimento uniformemente variado é aquele que, partindo do repouso, adquire, em tempos iguais, variações iguais da velocidade*.

Hoje sabemos que a variação da velocidade de corpos em queda livre é aproximadamente 10 m/s em cada segundo (denominada de aceleração da gravidade –  $g$ ), isto é, quando abandonamos uma esfera de chumbo de certa altura, depois do primeiro segundo de queda, sua velocidade é de 10 m/s, ao final de 2 s, sua velocidade é de 20 m/s e assim por diante.

A distância percorrida por um corpo em movimento uniformemente acelerado é igual à distância que seria percorrida no movimento uniforme com a velocidade média ( $\Delta s = v_m \cdot \Delta t$ ). Por exemplo, um móvel que aumenta sua velocidade uniformemente de 10 m/s para 20 m/s em um intervalo de 4 s, percorre uma distância igual a 60 m ( $v_m = 15$  m/s vezes 4 s) nesse intervalo.

Galileu apresenta em sua teoria da queda dos corpos que, *se um corpo se move com movimento uniformemente acelerado, as distâncias por ele percorridos em qualquer tempo, são proporcionais aos quadrados desses tempos* ( $\Delta s \propto t^2$ ). A constante para tornar esta equação uma igualdade, para corpos em queda livre, é a altura de queda no primeiro segundo. Galileu nunca conseguiu determinar esse valor corretamente, mas hoje sabemos que é aproximadamente 5. Logo, a expressão para as distâncias percorridas de corpos que caem do repouso é  $\Delta S = 5 \cdot t^2$ .

Galileu apresenta a seguinte demonstração para a obtenção da lei da queda livre (Dias *et al*, 2004, p. 261):

$$\text{Pelo teorema da velocidade média:} \quad \frac{S_1}{S_2} = \left( \frac{v_1}{v_2} \right) \times \left( \frac{t_1}{t_2} \right) \quad (01)$$

$$\text{Por definição de movimento uniformemente acelerado:} \quad \frac{v_1}{v_2} = \frac{t_1}{t_2} \quad (02)$$

$$\text{Logo:} \quad \frac{S_1}{S_2} = \left( \frac{t_1}{t_2} \right)^2 \quad (03)$$

$$\text{Da mesma forma:} \quad \frac{S_1}{S_2} = \left( \frac{v_1}{v_2} \right)^2 \quad (04)$$

Atualmente, as expressões 03 e 04 são escritas, respectivamente, assim:

$$\Delta S = \frac{a}{2} t^2 \quad \text{e} \quad \Delta S = \frac{v^2}{2a}, \quad \text{onde } a \text{ é a aceleração do movimento.}$$

Para testar a validade da relação matemática da queda livre ( $\Delta s \propto t^2$ ) Galileu realizou experiências com plano inclinado. Ele descreve os experimentos utilizando-se de uma caneta com cerca de 12 braças (aproximadamente 7m), inclinada, onde deixou rolar uma esfera de bronze muito lisa. Primeiramente mediu, com um relógio d'água, o tempo necessário para a esfera percorrer toda a canaleta. Em seguida deixou rolar apenas um quarto da canaleta (3 braças) e o tempo medido era rigorosamente a metade do tempo medido anteriormente. Galileu ainda relata que essas experiências foram repetidas inúmeras vezes e os resultados sempre comprovavam a validade da relação do espaço percorrido com o quadrado do tempo, independente da inclinação da canaleta.

A famosa experiência da torre de Pisa, muito divulgada em livros didáticos de física, onde Galileu teria deixado cair duas bolas de chumbo, uma grande e outra pequena, simultaneamente, para mostrar que chegariam juntas ao chão ao pé da torre nunca foi por ele realizada. Galileu tinha a certeza de que as bolas de chumbo não chegariam juntas devido a presença do ar, pois essa teoria é válida apenas no vácuo (SILVEIRA e PEDUZZI, 2006).

## 2.5 - Conceito de aceleração.

Em termos da Física, a aceleração indica a rapidez com que ocorre uma determinada *variação na velocidade* de um móvel. Um carro cuja velocidade aumenta de zero a 60 km/h estará acelerando. Se um outro carro puder ter essa mesma variação de velocidade, mas em intervalo de tempo menor, dizemos que esse segundo carro tem uma aceleração maior.

Define-se *aceleração média* ( $a_m$ ) como sendo a razão entre a *variação da velocidade* ( $\Delta v$ ) de um móvel e o correspondente *intervalo de tempo* ( $\Delta t$ ):

$$a_m = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

Consideremos um automóvel que partindo do repouso atinge, depois de 5 s, a velocidade de 20 m/s. Nesse caso, a aceleração média do carro será de 4 m/s em cada segundo. O resultado nos informa que a cada segundo, em média, a velocidade do carro aumenta de 4 m/s, ou seja, partindo do repouso no instante zero, no instante 1 s, a velocidade instantânea é 4 m/s, no instante 2 s, 8 m/s, no instante 3 s, 12m/s, no instante 4 s, 16 m/s e no instante 5 s, 20 m/s.

Na unidade do *sistema internacional*, a aceleração é medida em metro por segundo por segundo (m/s/s) que também corresponde ao metro por segundo ao quadrado (m/s<sup>2</sup>).

## 2.6 - Lançamento de projéteis

Ao resolver o problema da queda dos corpos, Galileu também resolve a questão da trajetória dos projéteis, que até então ainda não havia sido completamente resolvida e que tinha grande importância para fins militares. Ele assegura que a trajetória de um projétil lançado em ângulo que não seja na vertical tem a forma parabólica (é importante salientar que a órbita parabólica é uma aproximação de uma órbita elíptica muito alongada). É difícil conseguir perceber a forma da trajetória olhando para um projétil que se movimenta pelo ar. Mas Galileu relata que é possível observar essa trajetória através de uma experiência em que lançamos obliquamente sobre um plano inclinado, quase perpendicularmente ao horizonte, uma bola coberta de tinta: durante seu movimento ela irá desenhar uma linha parabólica muito precisa (BÜHRKE, 2005a).

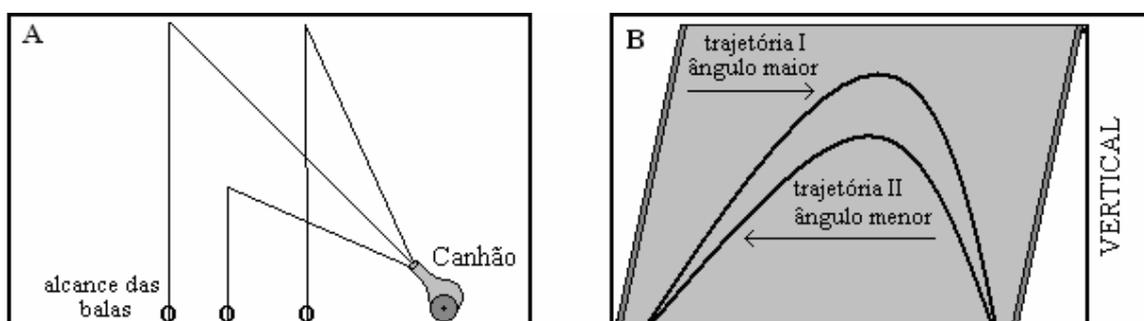


Figura II.4. Em A, estão representadas as trajetórias das balas de um canhão como eram descritas antes de 1600. Em B, estão representadas as trajetórias de bolas banhadas em tinta, lançadas obliquamente em ângulos diferentes, em um plano ligeiramente inclinado com a vertical.

Para determinar a forma parabólica das trajetórias dos movimentos de projéteis, Galileu aplica a técnica da composição dos movimentos, que era usada para descrever os complicados movimentos dos planetas no modelo de Ptolomeu. É possível descrever a trajetória de qualquer projétil em movimento pela composição do movimento de queda e do movimento retilíneo uniforme. Enquanto o projétil realiza um movimento retilíneo uniforme na direção em que é lançado, realiza ao mesmo tempo, a partir do momento em que é lançado, um movimento de queda. Com a composição desses dois movimentos é possível traçar a sua trajetória. Para entender a técnica da composição de movimentos apresentamos a seguir dois exemplos.

**Exemplo 01:** Uma esfera de vidro é lançada, verticalmente para cima, com velocidade de 30 m/s, a partir do solo. Qual é a velocidade e a altura da esfera 1s, 3s e 5s após seu lançamento?

**Solução:**

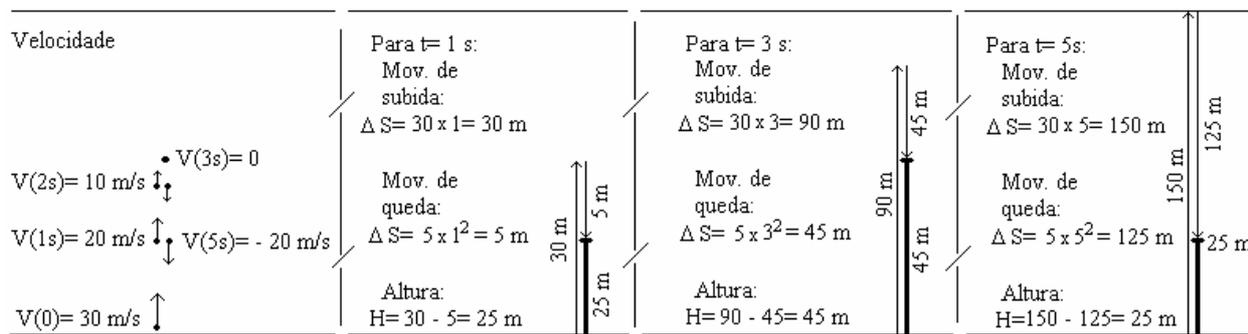


Figura II.5. O primeiro esquema mostra o valor da velocidade da esfera após o lançamento que diminui 10 m/s em cada segundo. O segundo, mostra a altura da esfera 1 s após o lançamento, ela sobe, pelo movimento uniforme, 30 m e cai 5 m e pela composição temos a altura igual a 25 m. Para 3s a esfera sobe 90 m, cai 45 m e a altura que ela se encontra é 45 m. Para 5 s após o lançamento a esfera terá subido 150 m, caído 125 m e ela estará a altura de 25 m.

**Exemplo 02:** Uma bala de canhão é lançada a 50 m/s, em direção a um ponto situado a 160 m acima e a 120 m à frente do ponto de lançamento.

(a) Determine a trajetória dessa bala.

(b) Qual a altura máxima que a bola atinge e qual seu alcance?

**Solução:**

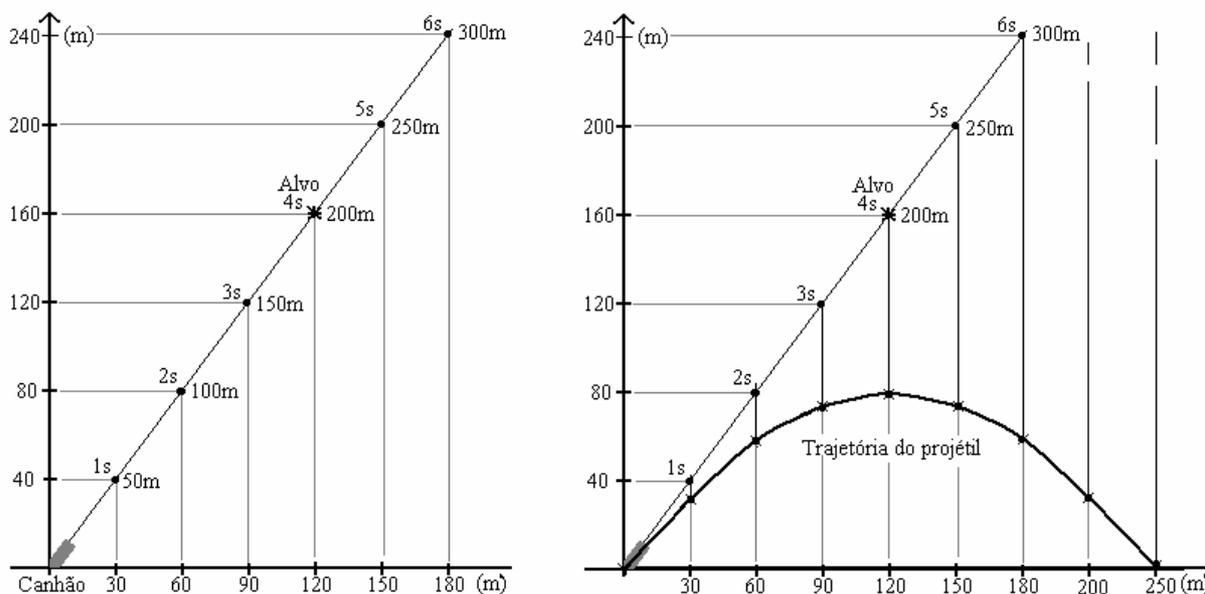


Figura II.6. No primeiro gráfico está representada a trajetória do projétil devido ao movimento retilíneo uniforme. No segundo diagrama estão representadas as quedas que o projétil sofre depois de cada segundo e a trajetória parabólica do projétil que é o resultado da combinação dos dois movimentos.

## 2.7 – As contribuições de Galileu na astronomia

A primeira pessoa a observar os céus com uma luneta e divulgar seus resultados foi o cientista italiano Galileu Galilei no ano de 1609. Mas, na mesma época das primeiras observações de Galileu outros cientistas também já estudavam a Lua e os planetas através desse instrumento. Há registros de que lentes e óculos já eram conhecidos havia alguns séculos, sendo usados por cardeais para auxiliar a leitura e a luneta já era usada como instrumento de magnificação para observação de objetos distantes.

Galileu soube da existência desse instrumento, e em pouco tempo, sem jamais ter visto um, compreendeu seu funcionamento e construiu um exemplar com um aumento de oito vezes. Em seguida confeccionou outras lunetas melhorando muito seu desempenho nas observações das estrelas.

Foram necessárias somente algumas semanas de observações para publicar um relatório sobre suas grandes descobertas. Em maio de 1610 publicou um pequeno livro de astronomia, intitulado "*A Mensagem das Estrelas*" no qual resume suas observações celestes, através da luneta, que deram uma nova visão do Universo (BELLONE, 2005).

✧Ao observar a Lua, verificou que ela não era "polida, regular e de uma esfericidade perfeita como pensava a maioria dos filósofos, mas sim irregular, rugosa, provida de vales e montanhas, como a própria superfície da Terra, que se tornou diferente em todo lugar pelas alturas das montanhas e profundezas dos vales". Acrescentou também à descrição feita, desenhos que mostram os detalhes que eram observados com a luneta. Chegou a estimar a altura de montanhas elevadas a partir da sombra projetada pelos raios solares.

✧Ao apontar a luneta para uma região qualquer do céu, ele ficou espantado pelo imenso número de estrelas que aparecem e que não podem ser vistas a olho nu. Na constelação de Órion a luneta fazia aparecer, em seu pequeno campo de observação, mais de 500 novas estrelas. Descobriu que a Via Láctea, sugerida até então como uma "luminosidade leitosa, percebida como uma nebulosidade esbranquiçada" era constituída apenas por uma infinidade de estrelas.

✧As observações do planeta Júpiter foram as que mais lhe chamaram a atenção: na primeira e na segunda noite, nos dias 7 e 8 de janeiro de 1610, notou três pequenas, mas brilhantes pontos brilhantes perto dele que mudavam de posição de uma noite para outra. Na noite do dia treze do mesmo mês, Galileu observou que as estrelas móveis em torno de Júpiter eram quatro. Depois de algumas semanas de observações ele concluiu que os corpos que descrevem círculos menores ao redor de Júpiter se movimentam mais rápido do que aqueles que fazem círculos maiores (como Mercúrio e Vênus ao redor do Sol).



Figura II.7. A posição das luas de Júpiter conforme as anotações de Galileu (figura baseada em BELLONE, 2005, p.49-50).

✧Uma série de observações do planeta Vênus revelou que ele mostrava "fases" assim como a Lua. Vênus aparecia às vezes completamente iluminado, para em seguida estar parcialmente iluminado, em quarto "minguante", depois estreitando-se cada vez mais até desaparecer, seguindo um ciclo que não era observado com o planeta Marte. Essas observações levaram Galileu a concluir que os planetas não têm luz própria, apenas refletem a luz do Sol, e Vênus gira em torno do Sol, assim como Mercúrio e todos os outros planetas conforme descrito por Copérnico e contradizendo frontalmente o modelo de Ptolomeu, segundo o qual, Vênus está sempre entre o Sol e a Terra (o que o mostraria no máximo como um crescente iluminado).

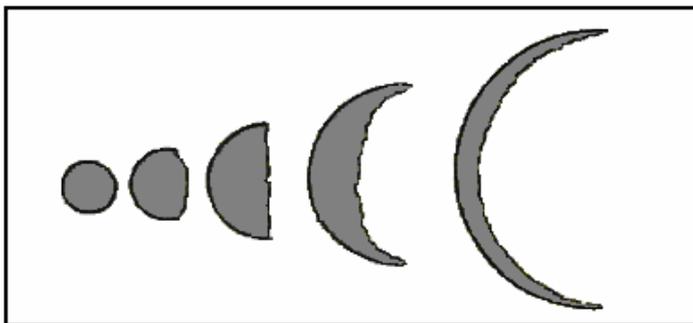


Figura II.8. No quadro a representação do aspecto de Vênus numa seqüência de observações, da esquerda para a direita, feitas com telescópio (figura adaptada de BELLONE, 2005, p.54).

✖As observações de Saturno mostraram que o planeta não aparecia esférico, mas em forma de azeitona e, pouco depois, com instrumento mais potente, como um sistema composto por três corpos esféricos alinhados. Os dois corpos exteriores, posicionados diametralmente opostos ao do centro, eram bem menores que este, dando a um aspecto de “orelhas” ao planeta. “Para minha grande surpresa, observei que Saturno não é uma estrela única, mas três em conjunto, que se tocam, ficando imóveis em relação a si mesmas” (GALILEI apud BELLONE, 2005, p.55). Observações futuras de Saturno, com equipamentos mais sofisticados, revelaram que as “orelhas” desse planeta são apenas anéis que o circundam.

✖Galileu também fez extensas observações do Sol, com sua luneta, para estudar as manchas solares. O Sol, considerado realmente como um corpo celeste sem nenhum defeito, mostrava manchas escuras em sua superfície que se deslocavam, revelando uma verdadeira rotação do Sol, que arrastaria as manchas com ele. Galileu conseguiu estimar em um mês o tempo para o Sol realizar uma rotação completa em torno de si mesmo.

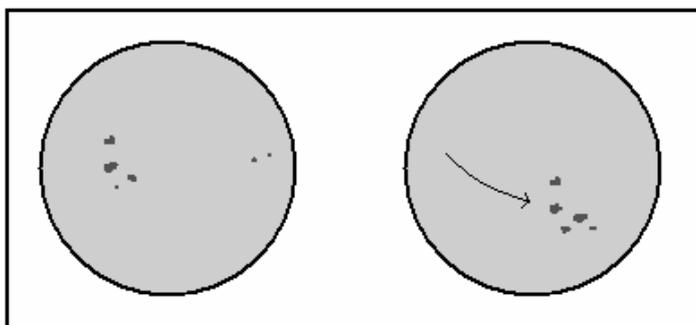


Figura II.9. No quadro o Sol quando observado com telescópio, equipado com filtros adequados, em duas datas com intervalo de alguns dias. O grupo de manchas que aparece na figura do Sol à esquerda se deslocou no sentido da seta da figura da direita. Enquanto algumas manchas evoluem, aumentando de tamanho, outras reduzem de tamanho ou simplesmente desaparecem.

As teorias divulgadas e as descobertas astronômicas feitas por Galileu sofreram resistência pela elite intelectual da época e Galileu foi acusado de subverter a filosofia natural aristotélica e as sagradas escrituras.

#### Atividades complementares:

Sugestões de vídeos: episódios da série “Espaçonave Terra”; *semanas 31, 20, 26 e 28 e Julgamento de Galileu*. Estudos relacionados a esses programas: aspectos relacionados às observações celestes com telescópios, da Via-láctea, dos satélites de Júpiter, do planeta Vênus, das manchas solares e encenação contextualizada do julgamento de Galileu.

## 2.8 - As leis de Kepler

O cientista alemão Johannes Kepler (1571 - 1630) foi outro personagem de destaque na história da ciência, que contribuiu de forma notável para a astronomia. Filho de família humilde, destacava-se nos estudos da escola normal, conseqüência de seu esforço e dedicação, o que lhe garantiu uma vaga com bolsa para o ingresso ao ensino superior. Ele tinha grande estima por seus professores, os pastores luteranos, e via neles elevado prestígio social porque constituíam a elite intelectual reconhecida. Este fato provocava em Kepler fortes desejos de seguir essa carreira. Seu maior interesse nos estudos era a astronomia, provavelmente despertado já na infância em duas ocasiões inesquecíveis por ele relatadas: quando a mãe o leva para um lugar alto para melhor observar um cometa, aos 6 anos de idade, e quando seu pai lhe mostra um eclipse da Lua em que ela assume um tom avermelhado, 3 anos mais tarde (LOMBARDI, 2005).

Quando faltavam apenas alguns meses para ser ordenado pastor, em 1694, Kepler recebe um convite e vai a Graz, na Áustria, como matemático provincial e professor de matemática. Como professor, sentia muitas dificuldades e ele mesmo considerava suas aulas confusas e pouco atraentes. Embora nunca tenha acreditado que a posição dos astros no céu tivesse alguma influência sobre a vida das pessoas, adquiriu notoriedade como astrólogo após a confirmação de duas previsões que ele havia feito: uma intensa onda de frio e a invasão dos turcos (MEDEIROS, 2002).

Kepler era defensor ferrenho do sistema copernicano. Ele persegue o ideal de encontrar uma forma matemática que relacionasse as diferentes órbitas dos planetas a uma descrição física do Universo. Acreditava que deve existir uma causa física para a posição central do Sol no Universo.

Em seu primeiro livro que escreve, o *Mistério Cosmográfico*, em 1596, ele defende clara e abertamente o sistema copernicano e apresenta os “sólidos platônicos” para explicar as relações entre as diferentes órbitas dos planetas (Figura II.10). Os “sólidos platônicos” são poliedros regulares e existem em número de cinco: o cubo (6 quadrados), o tetraedro (4 triângulos), o octaedro (8 triângulos), o dodecaedro (12 pentágonos) e o icosaedro (20 triângulos). As esferas dos planetas eram separadas por cada um desses sólidos que se encaixavam, mantendo a mesma razão entre si que os raios das órbitas de Copérnico, para formar o sistema solar. Só as órbitas de Mercúrio e de Saturno não se encaixavam muito bem. Isso não deixara Kepler satisfeito. Sua ambição era encontrar um modelo que fosse “precisamente exato” e não “aproximadamente”. As discrepâncias observadas deveriam vir de erros nas tabelas de Copérnico e não em seu elegante modelo geométrico. Ele precisava ter acesso a dados observacionais bem mais precisos que aqueles deixados por Copérnico e seu interesse voltou-se na direção de Tycho Brahe que era conhecido em toda Europa pelo seu trabalho.

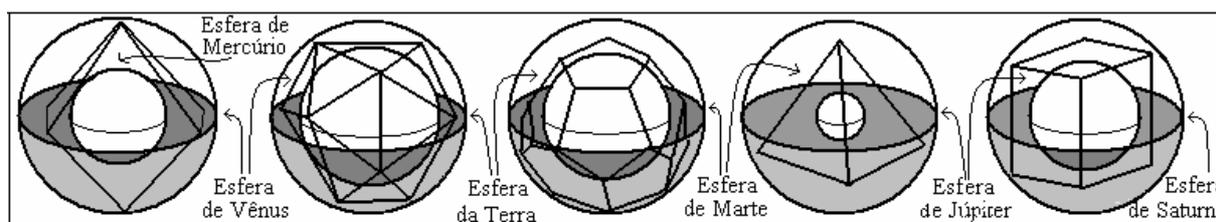


Figura II.10. Os “sólidos de Platão” que separam as esferas dos planetas (embora estejam encaixadas aqui elas aparecem separadas): octaedro (entre Mercúrio e Vênus), icosaedro (entre Vênus e Terra), dodecaedro (entre Terra e Marte), tetraedro (entre Marte e Júpiter), cubo (entre Júpiter e saturno). (figura adaptada de LOMBARDI, 2005, p.18)

Em 1598 começou a perseguição aos protestantes em Graz e a escola em que Kepler trabalhava foi fechada. Seu trabalho agora se limitava a fazer horóscopos até o ano seguinte, quando preferiu deixar Graz a se converter ao catolicismo. Na mesma época Tycho sente a necessidade de convidar Kepler para ser seu assistente. Tycho não estava conseguindo adequar os dados observacionais ao seu modelo e só uma pessoa talentosa como Kepler, com inspiração e conhecimentos matemáticos, poderia provar a superioridade de seu modelo.

O encontro entre Johannes Kepler e Tycho Brahe aconteceu em fevereiro de 1600. A personalidade explosiva de ambos os levou a vários desentendimentos. Tycho preferiu não compartilhar seus dados e só passou a Kepler aqueles referentes à órbita de Marte, por estarem em maior desacordo com seu próprio modelo. Enquanto o destino favoreceu Kepler, que ali iniciou sua brilhante carreira de astrônomo, foi triste para Tycho, que veio a morrer vinte meses depois desse encontro.

De posse dos preciosos dados observacionais de Tycho, com determinação Kepler se pôs a calcular a órbita do planeta Marte. O que ele imaginou se concretizar em poucos dias acabou se tornando numa tarefa exaustiva, penosa e quase interminável. Demorou dois anos para perceber que era preciso abandonar a idéia de epiciclos e do movimento circular uniforme dos planetas. Primeiro teve que calcular a órbita da Terra e descobriu que ela realiza um movimento que não é uniforme em torno do Sol o qual se encontra deslocado em relação ao centro dessa órbita: a distância da Terra ao Sol não é sempre a mesma. Quando a Terra está mais próxima do Sol, no *periélio*, ela se desloca mais rapidamente, e quando está mais afastada, no *afélio*, desloca-se mais devagar. Para elucidar a órbita de Marte foram necessários mais quatro longos anos de cálculos, até concluir que a órbita de Marte, assim como a da Terra, é uma elipse e não um círculo como ele tanto havia insistido. Ele publicou seus achados em 1609 em *Astronomia Nova*, onde generaliza os resultados enunciando as duas primeiras leis (LOMBARDI, 2005).

1. **Lei das órbitas elípticas:** "A órbita de cada planeta é uma elipse, com o Sol em um dos focos".

O periélio corresponde ao ponto da órbita de um planeta do sistema solar em que ele fica mais próximo do Sol. O afélio corresponde ao ponto de maior afastamento do planeta em relação ao Sol. O periélio da Terra ocorre no início do mês de janeiro, quando a distância entre o planeta e o Sol chega a 147 milhões de quilômetros. No afélio, que acontece no início do mês de julho, a distância entre o planeta e o Sol chega a 152 milhões de quilômetros.

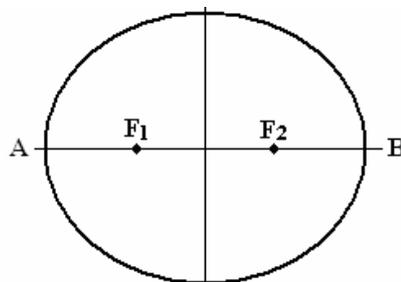


Figura II.11. Os pontos  $F_1$  e  $F_2$  na figura são os focos da elipse. O Sol ocupa um dos focos das órbitas elípticas de cada planeta. Se a posição do Sol for  $F_1$ , o planeta em sua órbita está no periélio em  $A$  e no afélio em  $B$ . A elipse aqui apresentada é bastante alongada, de forma a destacar as posições dos focos. As órbitas dos planetas são muito menos alongadas do que isso; se fossemos representar fielmente a sua forma em uma figura deste tamanho teríamos que desenhar uma circunferência, pois os focos estariam separados de menos de 1 mm e, portanto, ficariam praticamente no mesmo ponto. A mesma observação vale para figura II.12.

**2. Lei das áreas:** “Um planeta em órbita em torno do Sol não se move com velocidade constante, mas de tal forma que uma linha traçada do planeta ao Sol varre áreas iguais em intervalos de tempo iguais”.

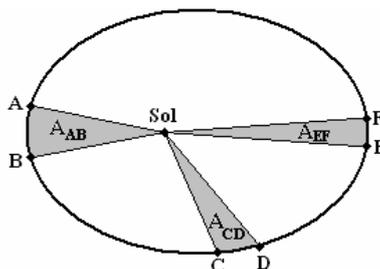


Figura II.12. Se o tempo necessário para o planeta ir de *A* para *B* é o mesmo quando vai de *C* para *D* e de *E* para *F* então as áreas  $A_{AB}$ ,  $A_{CD}$  e  $A_{EF}$  são iguais. Como a distância percorrida pelo planeta em cada um dos percursos é diferente a sua velocidade também o será. A velocidade no periélio sempre é maior do que no afélio. A velocidade da Terra ao redor do Sol é cerca de 30,3 km/s no periélio e 29,3 km/s no afélio.

**3. Lei dos períodos:** "O quadrado do período (*T*) de revolução dos planetas é diretamente proporcional ao cubo de sua distância média (*R*) ao Sol."

$$T^2 \propto R^3 \quad \text{ou} \quad \frac{T_1^2}{R_1^3} = \frac{T_2^2}{R_2^3}$$

Esta lei estabelece que planetas com órbitas maiores, mais afastados do Sol, movem-se mais lentamente em torno do Sol do que os planetas mais próximos a ele.

A tabela abaixo mostra os períodos dos planetas, em anos, e sua distância média ao Sol, em unidades astronômicas (u.a.)<sup>15</sup>.

Planeta	Mercúrio	Vênus	Terra	Marte	Júpiter	Saturno	Urano	Netuno
T(anos)	0,241	0,615	1,00	1,881	11,862	29,457	84,04	164,8
R(u.a.)	0,387	0,723	1,00	1,524	5,203	9,539	19,18	30,06

A terceira lei também é conhecida por “lei harmônica” e foi publicada em *Harmonia do Mundo* no ano de 1618. Kepler acreditava que assim como existe uma harmonia nos sons (música) e nas cores (pintura) deveria existir uma harmonia no Universo. A concepção da terceira lei lhe permitiu confirmar sua própria visão harmônica do universo, cuja busca começou em 1596 com o modelo dos poliedros regulares em *Mysterium Cosmographicum*. Embora essa harmonia não fosse confirmada nos “sólidos de Platão”, ela foi encontrada na precisa proporção 3/2, que é a base do sistema musical pitagórico, que liga os tempos periódicos dos planetas com suas distâncias médias ao Sol.

#### Atividades complementares:

Sugestões de vídeos: um episódio da série “Espaçonave Terra”; *semana 06*. Estudos relacionados a esses programas: as leis de Kepler no movimento de translação da Terra.

<sup>15</sup> 1 unidade astronômica é a distância média da Terra ao Sol (aproximadamente 150 milhões de km).

**Questionário 02**

01. Por que um livro atirado sobre uma mesa de modo a deslizar, acaba parando?
02. Lançado sobre um piso horizontal muito liso, um bloco desloca-se em linha reta com velocidade constante. Alguém que observa o movimento afirma que, sobre o bloco, atua uma força para frente que mantém esse movimento. Esta afirmação está correta? Como você justifica o movimento do bloco?
03. Uma bola está rolando sobre um plano com velocidade de 2,0 m/s e nenhuma força age sobre ela. Qual será sua velocidade depois de 10 s?
04. Um ônibus está se movendo em uma estrada reta, com certa velocidade. Ao frear bruscamente, uma pessoa é "lançada" para frente. Há alguma força que atua no passageiro, lançando-o para frente? Explique.
05. Por que você vai para frente quando o trem em movimento desacelera para uma parada e vai para trás, quando o trem acelera partindo do repouso? O que aconteceria se o trem entrasse em uma curva com velocidade constante em módulo?
06. Um pára-quedista e seu pára-quedas sofrem a força de atração gravitacional (peso) exercida pela Terra. Quando esta força for maior que a resistência do ar que se opõe ao movimento, o que acontece com a velocidade dele? E quando as forças forem iguais?
07. Considere a seguinte situação: "Uma pequena esfera pende de um fio preso ao teto de um trem em movimento."
- (a) Se o movimento do trem for uniforme, o fio permanecerá na vertical?
  - (b) Se o trem acelerar, o fio se inclinará? Em que sentido?
  - (c) Se o trem frear, o fio se inclinará? Em que sentido?
08. Um ciclista percorre uma pista com velocidade de 54 km/h. Calcule a velocidade do ciclista em m/s.
09. Um automóvel se move com velocidade de 40 km/h e um ciclista, com velocidade de 10 m/s. Qual deles se move com maior velocidade?
10. Um nadador percorre a extensão de uma piscina de 50 m de comprimento em 5 s. Determine a velocidade média, em m/s e em km/h, desse nadador.
11. Qual a velocidade média, em km/h e em m/s, de uma pessoa que percorre, a pé, 2000 m em 20 min?
12. Um trem demora 40 min para ir de uma estação a outra distante 40 km. Qual a velocidade do trem em km/min; km/h e m/s?
13. Um avião vai de São Paulo a Recife em 1 h e 30 min. A distância entre essas cidades é de aproximadamente 3000 km. Qual a velocidade média do avião em km/h?
14. Um automóvel sai de São Leopoldo às 9 horas e chega a Santa Maria às 13 horas depois de percorrer 320 quilômetros. Qual a duração da viagem? Qual foi a velocidade desse automóvel?
15. A velocidade média de um trem, para ir de uma estação a outra, é de 60 km/h. Qual é a distância, em km, que separa as estações se o tempo gasto, para o trem ir de uma à outra, foi de 1 h e 30 min?
16. Um veículo parte do repouso e atinge a velocidade de 20 m/s após 5 s. Qual a aceleração média do veículo nesse intervalo de tempo?

17. Numa pista de teste automobilístico, uma *Ferrari*, arrancando do repouso, atinge a velocidade de 100 km/h em um tempo de 4,1 s. Qual a aceleração média da *Ferrari* neste teste?

18. A velocidade de um carro aumenta de 36 km/h para 108 km/h em 5,0 s. Calcule a aceleração média produzida pelo motor do carro.

19. A velocidade de um carro é de 72 km/h; após 10 s, muda para 36 km/h. Determine a aceleração do carro no intervalo de tempo dado.

20. Um automóvel, correndo com uma velocidade de 90 km/h, é freado com uma aceleração constante e pára em 5 s. Qual a aceleração induzida pelos freios?

21. Um móvel parte com velocidade de 4 m/s de um ponto de uma trajetória retilínea com aceleração constante de  $2,5 \text{ m/s}^2$ . Ache sua velocidade 2,0 s após.

22. Um carro, deslocando-se em linha reta, passa pelas posições de A até I, em cada um dos instantes mostrados na tabela seguinte, que apresenta também as velocidades do carro em cada um desses instantes.

Posição	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Tempo (s)	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Velocidade (m/s)	1	2	4	6	6	6	5	8	10

- Entre quais posições a aceleração é nula?
- Entre quais posições o movimento é uniformemente variado?
- Entre quais posições do carro sua aceleração é negativa?
- Calcule sua aceleração entre as posições A e D.

23. Uma pequena esfera de aço é abandonada de certa altura demorando 2 s para atingir o solo. Determine:

- a altura do ponto em que a esfera foi abandonada;
- a velocidade com que atingiu o solo.

24. Uma pessoa solta uma bolinha de vidro do alto de um edifício de 45 m de altura. Determine:

- O tempo de queda até atingir o solo;
- a velocidade da bolinha ao atingir o solo.

25. Em um canteiro de obras uma ferramenta cai e atinge o solo com uma velocidade de 20 m/s.

- Durante quanto tempo ela esteve caindo?
- De que altura ela caiu?

26. Um parafuso se desprende do telhado de um edifício de 20 m de altura. Determine:

- O tempo de queda até atingir o solo;
- A velocidade da bolinha ao atingir o solo.

27. Uma pedra é largada do alto de um penhasco de 90 metros de altura. Quanto tempo ela demora para cair, desprezando-se a resistência do ar, à base?

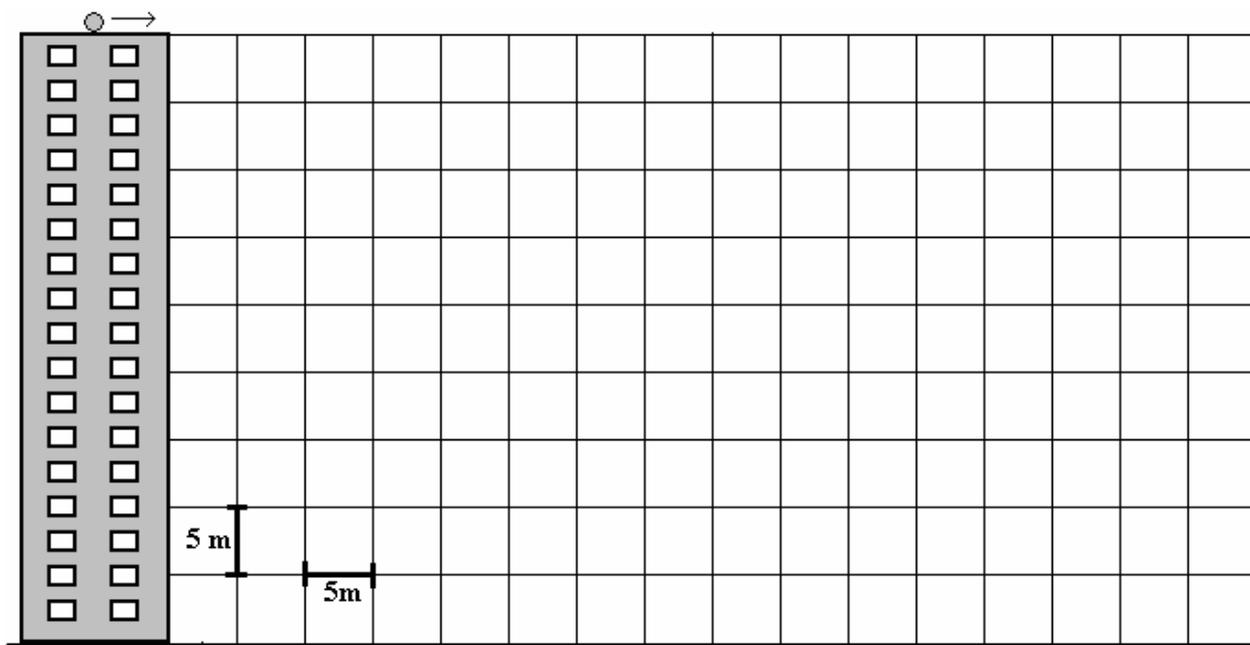
28. Gotas de chuva caem no solo provenientes de uma nuvem a 2400 metros acima. Se elas não sofressem a resistência do ar, qual seria a duração da queda e com que velocidade estariam se movimentando ao chegar ao solo?

29. Uma esfera de vidro é lançada, verticalmente para cima, com velocidade de 40 m/s, a partir do solo.

- Qual é a velocidade da esfera 2 s, 4 s e 6 s após seu lançamento?
- Qual é a altura da esfera a 2 s, 4 s, e 6s após seu lançamento?

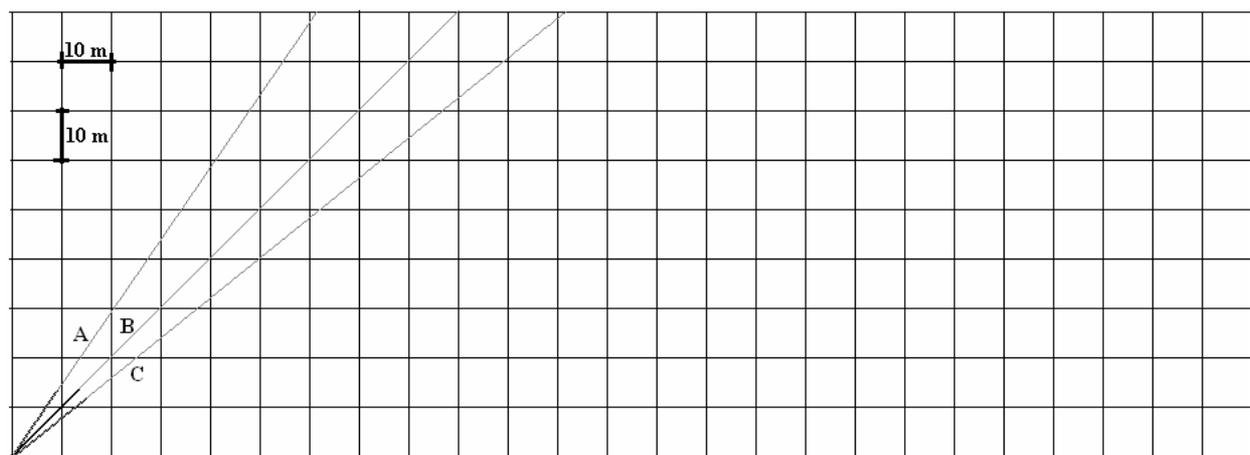
30. Uma esfera rola sobre um telhado horizontal do alto de um prédio de 45 m de altura. Em cada situação a seguir, represente a trajetória da esfera caindo e encontre a distância que a esfera atinge o solo.

- quando a velocidade horizontal da esfera for de 10 m/s;
- quando velocidade for de 20m/s.



31. Balas de canhão são disparadas com velocidade de 50 m/s sobre um extenso terreno perfeitamente plano. A figura a seguir mostra três disparos (A, B e C) feitos a partir de um mesmo ponto com diferentes inclinações.

- Represente na figura a trajetória de cada bala.
- Qual das balas (A, B e C) atingirá maior altura?
- Qual das balas (A, B e C) terá maior alcance? Quantos metros?

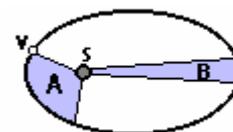


32. As descobertas de Galileu com o uso do telescópio estavam de acordo com qual modelo de universo: o geocêntrico ou o heliocêntrico? Justifique.

33. Qual foi a fonte de informações que possibilitou a Kepler descobrir suas leis?

34. O trabalho de Kepler introduziu uma alteração fundamental nas órbitas planetárias em relação às de Copérnico e Galileu. Que alteração foi essa?

35. Suponha que a figura dada represente a órbita elíptica realizada por um asteróide V em torno do Sol. De acordo com as leis de Kepler sobre o movimento planetário e de cometas, o que podemos dizer acerca da velocidade do asteróide V em cada um dos trechos em destaque? Justifique sua resposta.



36. De quantos anos terrestres seria o período de um planeta que, girando em torno do Sol, tivesse o raio médio de sua órbita 9 vezes maior do que o raio médio da órbita da Terra?

37. Suponha que se tenha descoberto um novo planeta e que sua distância seja o dobro da distância de Urano ao Sol. Qual será o período de revolução desse planeta em torno do Sol?
38. Seria possível existir um planeta a uma distância de 12 u.a. do Sol com período de 10 anos? Por quê?
39. O período de revolução da Terra em torno do Sol é de 365 dias (1 ano) aproximadamente. Supondo que o raio médio da órbita da Terra em torno do Sol fosse o dobro do valor atual, determine o novo período de revolução.
40. Quantos anos são necessários para que um planeta dê uma volta completa em torno do Sol, admitindo-se que a distância entre eles seja 30 vezes maior do que o raio médio da órbita da Terra.
41. Dois satélites de um planeta têm períodos de revolução de 32 dias e 256 dias, respectivamente. Se o raio da órbita do primeiro satélite vale 1 unidade, calcule o raio da órbita do segundo.
42. Io, Europa, Ganimedes e Calisto são as quatro luas de Júpiter observadas por Galileu em 1610. O período de revolução de Io ao redor de Júpiter é de 1,8 dias e sua distância média ao planeta é de 421 800 km. Determine o período de revolução de Europa sabendo que sua distância média ao centro do planeta é 670 900 km.
43. O cometa Halley tem um período de 76 anos e, em 1986, teve uma distância de máxima proximidade ao Sol, chamada *periélio*, de 0.60 u.a. Esta distância está entre as órbitas de Mercúrio e Vênus. Determine a distância média do cometa ao Sol e seu *afélio*.

## MÓDULO III – Texto 3

## A DINÂMICA E AS LEIS DE NEWTON

## 3.1 - Conceito de força

O estado de repouso ou de movimento é afetado por ações que chamamos de “forças”. Nossa idéia intuitiva de força está relacionada com o esforço muscular, pois é através dele que somos capazes de colocar objetos em movimento, ou parar objetos que estão em movimento, ou ainda, mudar a trajetória de um objeto através de uma força aplicada lateralmente ao movimento que possui. Essa idéia está de acordo com o conceito de força em física, que pode ser descrito como sendo a ação capaz de alterar a velocidade de um corpo, seja em seu módulo ou direção. Embora correta, essa idéia é incompleta. Em estruturas, como prédios e pontes, existem inúmeras forças que atuam sem que haja movimento, sem falar da ‘misteriosa’ força gravitacional que faz cair um objeto abandonado de certa altura, conflitando com nossas concepções de forças por contato associada, geralmente, à idéia de puxar ou empurrar (GASPAR, 2002, pg. 113).

Medir o efeito de uma força é fazer uma descrição quantitativa de “quanto” ou “quão forte” ela empurra ou puxa, em termos de uma unidade padrão de força. O instrumento utilizado para medir a intensidade de força é denominado de **dinamômetro**. Os dinamômetros possuem uma mola no seu interior, presa por uma de suas extremidades, que, devido às suas propriedades elásticas, deforma-se quando aplicada uma força na sua outra extremidade. A força aplicada sobre a extremidade livre da mola é medida pelo grau de deformação que ela sofre: quanto maior a intensidade da força aplicada, maior a deformação registrada. De maneira bastante prática pode-se graduar um dinamômetro na unidade *quilograma-força* (kgf). O zero, na graduação da escala de força, corresponde à posição do ponteiro antes da aplicação da força. Um corpo de 1kg pendurado na extremidade livre da mola, distende-a e leva o ponteiro até a posição que corresponde a 1 kgf. Um corpo de 2 kg distende a mola e leva o ponteiro à posição correspondente a 2 kgf, e assim por diante (figura III.1 a, b, c). Uma pessoa que puxa a extremidade dessa mola até levar o ponteiro na posição correspondente a 2 kgf, exerce sobre ela uma força de mesmo valor (figura III.1 d) (NUSSENZVEIG, 1996, Pg. 70).

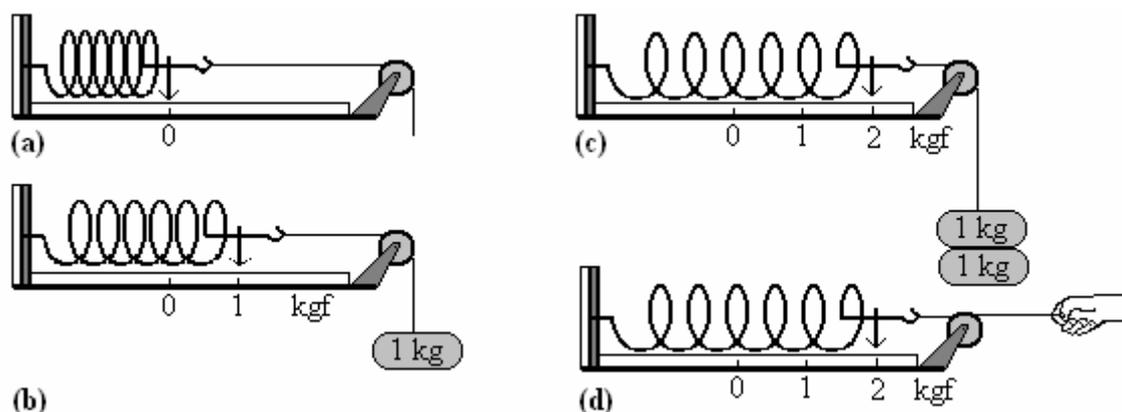


Figura III.1. A graduação de um dinamômetro na unidade de quilograma-força (kgf), na seqüência (a), (b) e (c) para os valores correspondentes, respectivamente, a 0, 1 kgf e 2 kgf. Em 'd' uma pessoa puxa a mola exercendo uma força de 2 kgf.

### 3.2 - Força: uma grandeza vetorial

Considere uma caixa de leite que se encontra em repouso sobre um piso horizontal e alguém aplica sobre ela uma força de 12 kgf. O que acontece com a caixa de leite? Ela será comprimida contra o piso ou irá deslocar-se para a direita ou para a esquerda? Embora se tenha dito, anteriormente, a intensidade da força (12 kgf) que a pessoa aplica sobre a caixa não há como responder às perguntas apenas com essa informação. Para determinar o possível efeito da força sobre a caixa de leite deve-se informar, além da intensidade da força, a sua orientação, ou seja, a *direção* e o *sentido* da força. Para comprimi-la contra o piso, a direção da força será *vertical* e o sentido é *para baixo*. Para deslocá-la para a direita ou para a esquerda, a direção da força pode ser *horizontal* com sentido *para a direita* ou *para a esquerda*.

A força é uma grandeza física que só é completamente caracterizada quando informamos sua intensidade (ou módulo), sua direção e seu sentido e sua representação é feita utilizando-se um *vetor*. O vetor pode ser representado por um segmento de reta, que determina sua direção, com uma seta em uma de suas extremidades que indica seu sentido. O tamanho do vetor é proporcional à intensidade da força. Por isso, a força é denominada de *grandeza vetorial*. Outros exemplos de grandezas vetoriais são o deslocamento, a velocidade e a aceleração. Por exemplo, a intensidade da aceleração da gravidade, nas proximidades da superfície terrestre, é de  $9,8 \text{ m/s}^2$ , com direção vertical e sentido para baixo. A representação de uma grandeza vetorial é identificada com uma seta sobre o símbolo (letra) que a representa ou em negrito, como por exemplo:  $\vec{F}$  ou **F** para força (lê-se “vetor F”),  $\vec{d}$  ou **d** para deslocamento (lê-se “vetor d”),  $\vec{v}$  ou **v** para velocidade (lê-se “vetor v”) e  $\vec{a}$  ou **a** para aceleração (lê-se “vetor a”).

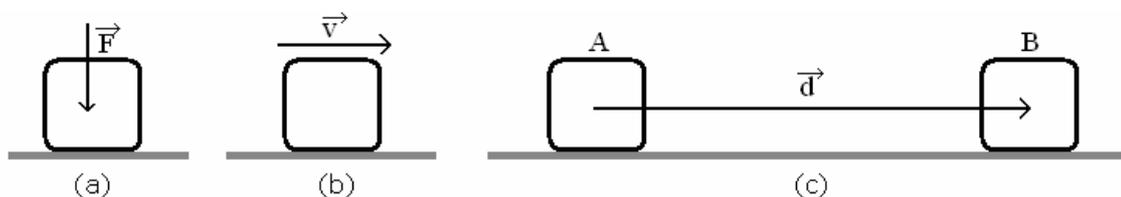


Figura II.2. A figura mostra a representação de alguns vetores. Em (a) o vetor força (**F**) é vertical para baixo e a caixa é comprimida contra o piso; em (b) a caixa é movimentada sobre o piso horizontal e, por isso, o vetor velocidade (**v**) é horizontal para a direita e em (c) está representado o deslocamento, pelo vetor **d**, da caixa que foi de A para B.

### 3.3 - Tipos de forças

Quando um corpo é abandonado de certa altura a única força que, inicialmente, atua sobre ele é o peso (**P**), que é a força de atração gravitacional exercida pela Terra sobre o corpo, orientada verticalmente para baixo. Durante a queda, a velocidade vai aumentando e, conseqüentemente, a intensidade da força de *resistência do ar* (**R<sub>ar</sub>**), força que se opõe ao movimento do corpo, aumenta. Quando a intensidade da força de resistência do ar se iguala à intensidade do peso, o corpo atinge a velocidade limite, isto é, a velocidade de queda, a partir desse momento, se mantém constante, como é o caso da queda de gotas de chuva e de flocos de neve.

Quais são as forças que atuam numa caixa em repouso sobre um piso horizontal? Neste caso, além do peso, a caixa tem ação de contato com o piso. A caixa exerce no piso uma força de compressão de intensidade igual ao seu peso e o piso exerce sobre ela uma força igual, porém contrária que mantém

a caixa em equilíbrio. Toda superfície que sofre a ação de uma força de contato responderá com uma força que sempre é perpendicular ( $90^\circ$ ) à superfície e, por isso, é denominada de *normal* ( $\mathbf{N}$ ) ou *normal de apoio*.

Um corpo suspenso, em equilíbrio, por um fio está sujeito à ação de duas forças: a ação da gravidade (peso) e a ação do fio que o sustenta. A força de contato do fio sobre o objeto, denominada de *tração* ( $\mathbf{T}$ ), tem intensidade igual ao peso do objeto. Fios, cordas e cabos têm a finalidade de transmitir forças.

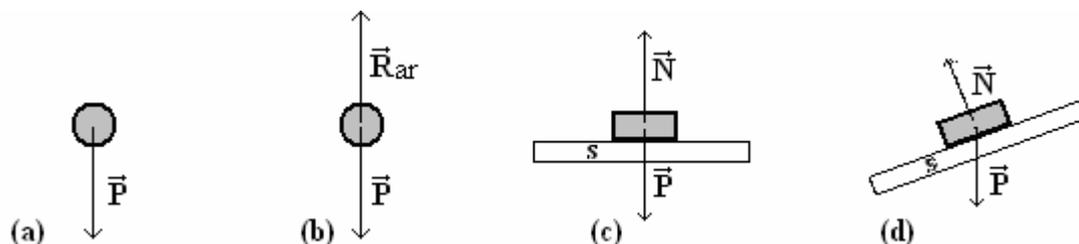


Figura III.3. Em 'a' o peso ( $\mathbf{P}$ ) é a única força que atua no corpo no momento em que é abandonado; em 'b', quando a resistência do ar ( $\mathbf{R}_{ar}$ ) tem intensidade igual ao peso do corpo, ele cai com velocidade constante. Em 'c' e em 'd' a força normal ( $\mathbf{N}$ ) sempre é perpendicular à superfície (s) de contato.

Consideremos um bloco que repousa sobre uma superfície horizontal, ao qual uma pessoa aplica, através de uma mola, uma força horizontal que tende a deslocá-lo. Enquanto a pessoa puxa a mola o bloco permanece em repouso até que a mola atinja determinado alongamento  $x_1$  (figura III.4-a). A partir desse alongamento, o bloco começa a se mover e o alongamento  $x_2$  da mola, para manter o bloco em movimento, é um pouco menor do que o alongamento  $x_1$  observado na iminência do movimento do bloco (figura III.4-b). Como a intensidade da força exercida pela mola sobre o bloco é proporcional ao seu alongamento, conclui-se que para colocar o bloco em movimento é necessário que a força atinja certo valor máximo e que esse valor é maior do que o da força necessária para mantê-lo em movimento. Há, portanto uma força que se opõe ao deslocamento do bloco quando está em repouso sobre a superfície que equilibra a força exercida pela mola. Esta força é denominada de *atrito estático* e manifesta-se sempre se opondo à tendência do movimento relativo entre as superfícies de dois corpos sólidos. O valor máximo que ela atinge, na iminência do movimento, é denominado de *força de atrito estático máximo*. Uma vez atingido esse valor, depois que o bloco começa a deslizar, nota-se uma diminuição da força de atrito, pois é necessária uma força de intensidade menor para mantê-lo em movimento. A força que se opõe ao movimento do bloco quando ele desliza é denominada de *atrito cinético*. A força de atrito cinético geralmente é menor que a força de atrito estático máximo entre duas superfícies em contato. A intensidade da força de atrito depende principalmente da força que comprime um corpo contra outro e não depende da área das superfícies em contato (GASPAR, 2002, pg. 147 – 148).

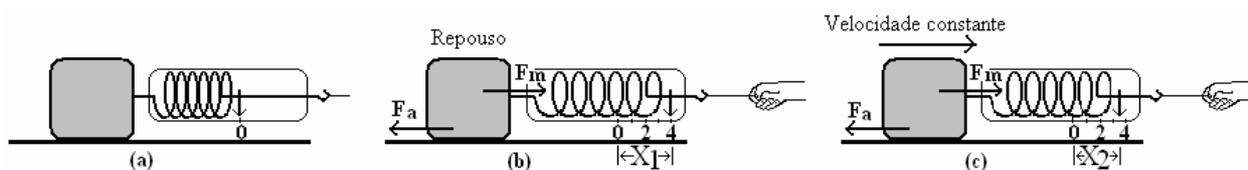


Figura III.4. Em (a) nenhuma força está sendo feita sobre a mola e o ponteiro do dinamômetro registra a posição 0. Em (b) a mola sofre um alongamento  $x_1$  na iminência do movimento do bloco que é maior que o alongamento  $x_2$  para manter o bloco em movimento com velocidade constante (em 'c').

Quando um corpo permanece em repouso em relação a um dado referencial ele está em equilíbrio nesse referencial e a *força resultante* sobre ele é nula. O peso de uma caixa em repouso sobre um piso horizontal é equilibrado pela força normal de contato exercida pelo piso sobre a caixa, ou seja, o peso e a força normal sobre a caixa se anulam. Quando uma força horizontal **T** for aplicada à caixa, se ela permanecer em repouso a força de atrito equilibrará a força **T** e, se a caixa mover-se em linha reta com velocidade constante a força de atrito também equilibrará a força horizontal **T** com intensidade de mesmo valor. Nas duas situações, repouso e movimento retilíneo com velocidade constante, a caixa está em equilíbrio e a força resultante sobre ela é nula.

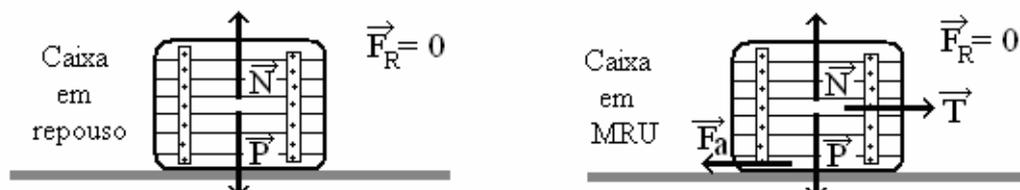


Figura III.5. Nas situações ilustradas a caixa está em equilíbrio e a força resultante sobre ela é nula.

É possível determinar sempre a força resultante de duas ou mais forças que agem sobre um corpo desde que conheçamos a direção, o sentido e a intensidade de cada uma das forças. Quando as forças que atuam tiverem a mesma direção, a resultante é obtida com uma simples operação matemática de *soma* ou de *subtração*: forças de mesmo sentido são somadas algebricamente e as de sentidos contrários serão subtraídas, permanecendo o sentido da força envolvida de maior intensidade.

Consideremos um exemplo onde um carrinho está sendo puxado por duas pessoas, A e B, uma delas (A) exerce uma força de 40 kgf e a outra (B) de 60 kgf. Quando ambas as forças tiverem a mesma direção e o mesmo sentido, a força resultante sobre o carrinho é obtida pela soma algébrica das forças, ou seja, a força resultante sobre o carrinho tem mesma direção e sentido das forças aplicadas com intensidade de 100 kgf (figura III.6-a). Se a pessoa A continuar exercendo a mesma força no mesmo sentido, mas B fizer a mesma força em sentido oposto, teremos atuando sobre o carrinho duas forças de mesma direção, mas de sentidos contrários. A resultante das forças aplicadas terá intensidade de 20 kgf, obtida pela subtração das forças, na mesma direção e com o sentido da força de maior intensidade - a força da pessoa B (figura III.6-b).

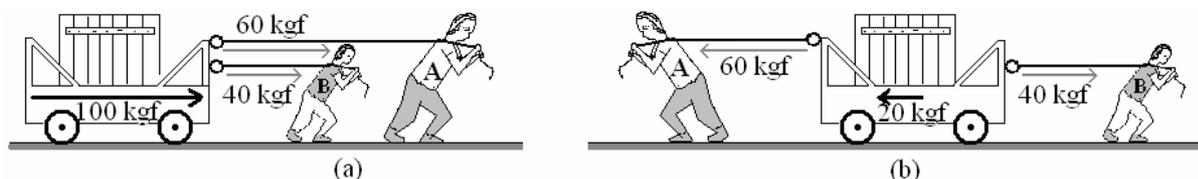


Figura III.6: Na figura da esquerda, as forças exercidas sobre o carrinho tem mesmo sentido e a força resultante é obtida pela soma algébrica dessas forças. Na figura da direita, as forças têm sentidos opostos e a intensidade da força resultante é obtida pela subtração das forças com sentido para a esquerda, sentido da força de maior intensidade.

O que acontece com a força resultante que age sobre um praticante de pára-quedismo enquanto ele cai? O pára-quedista salta com o pára-quedas fechado. À medida que ele cai, sua velocidade vai aumentando e conseqüentemente aumenta a força de resistência do ar, cuja intensidade é diretamente proporcional ao quadrado da velocidade de queda; enquanto o peso permanece inalterado durante a

queda toda. Durante os primeiros instantes de queda a força resultante sobre o pára-quedista é vertical para baixo com intensidade que vai diminuindo de um valor que é igual ao seu peso, no momento do salto, até anular-se ao atingir a velocidade limite, quando a força de resistência do ar se igualar à intensidade do peso. Então o pára-quedista passa a cair com velocidade constante. Ao acionar o pára-quedas, quando este se abrir por completo, a força de resistência do ar torna-se muito maior que o peso, e a resultante sobre o pára-quedista está orientada para cima. Isso faz diminuir a velocidade da queda até que a nova força de resistência do ar tenha intensidade igual à do peso. A partir daí, quando a resultante torna-se nula novamente, o movimento volta ser uniforme com velocidade limite bem menor do que aquela com o pára-quedas fechado.

Existem, no entanto, inúmeras situações em que as forças que atuam num corpo têm direções diferentes, isto é, não são paralelas. Sobre uma esfera suspensa por dois fios formando um ângulo  $\alpha$  entre si, por exemplo, como está representado na figura III.7, estão atuando três forças: o peso ( $\mathbf{P}$ ), e as trações ( $\mathbf{T}_1$  e  $\mathbf{T}_2$ ) em cada um dos fios. Neste caso, devemos aplicar a regra do paralelogramo para determinar a resultante dessas forças. Para as forças  $\mathbf{T}_1$  e  $\mathbf{T}_2$  obtemos a resultante  $\mathbf{R}$  que é vertical para cima e tem intensidade igual ao peso, pois a esfera encontra-se em equilíbrio e a resultante sobre ela é nula. Isto pode ser demonstrado experimentalmente utilizando-se dois dinamômetros (veja figura III.7-d).

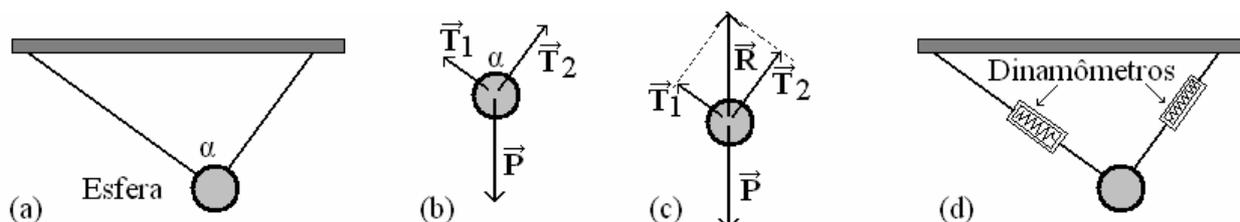


Figura III.7. A figura (a) representa uma esfera suspensa por dois fios formando um ângulo entre si, na figura (b) estão representadas as forças que agem na esfera, na figura (c) está representada a resultante ( $\mathbf{R}$ ) das trações ( $\mathbf{T}_1$  e  $\mathbf{T}_2$ ) através da aplicação da regra do paralelogramo e na figura (d) está representada uma montagem experimental com dois dinamômetros para a verificação da regra do paralelogramo.

### 3.4 - As leis de Newton

Isaac Newton (1643 – 1727) é por muitos considerado o maior físico de todos os tempos. Baseando-se nas obras de Descartes, de Galileu e de Kepler, formulou as leis do movimento e a teoria da gravitação, possibilitando a compreensão de uma grande variedade de fenômenos celestes e terrestres, numa descrição unificada, por meio de uma teoria que se baseava na existência de uma força universal. Pela primeira vez se dispunha de uma teoria que possibilitava a compreensão do sistema solar e de todo o universo. Essa teoria foi publicada por Newton nos “*Princípios Matemáticos da Filosofia Natural*”, em 1687, cujas bases haviam sido lançadas em 1665 e 1666, que ele próprio relata como os anos mais produtivos e criativos de toda a sua vida, aos 23 e 24 anos de idade, quando passou em sua terra natal, na sua fazenda em Woolsthorpe, no interior da Inglaterra, fugindo da peste negra que assolou a Europa nesse período. Nesses dois anos também desenvolveu importantes trabalhos sobre a natureza da luz branca, decompondo-a nas demais cores do espectro através de um prisma, e em matemática (GUICCIARDINI, 2005).

A teoria de Newton triunfou com a descoberta de Netuno, em 1846, mais de 100 anos após a sua morte, quando os astrônomos encontraram o planeta, invisível a olho nu, bastante próximo da posição

em que havia sido calculado com base em perturbações na órbita de Urano (NUSSENNZVEIG, 1996, Pg. 199).

Hoje, mais de três séculos após sua publicação, as leis de Newton estão presentes, entre outras aplicações, nos cálculos das órbitas de satélites e no lançamento de sondas espaciais para a exploração de planetas, luas e outros corpos do sistema solar.

### 3.5 - Primeira Lei ou Princípio da Inércia

A primeira Lei do movimento foi assim enunciada por Newton:

*Todo corpo se mantém em estado de repouso ou de movimento uniforme retilíneo em que se encontra, a menos que alguma força aja sobre ele, obrigando-o a mudar de estado.*

Uma bala disparada por um canhão permanece em movimento uniforme na linha reta da direção do cano a menos que a resistência do ar, opondo-se ao movimento da bala, diminua sua velocidade ou seu próprio peso a desvie desta direção obrigando-a a se aproximar do solo.

A lei da inércia já havia sido enunciada por Galileu, em 1593, e mais tarde por Descartes, nos *Princípios da filosofia*, em 1644. O fenômeno da inércia foi explicado por Galileu através da experiência de pensamento na qual uma bola perfeitamente esférica e pesada move-se sem a resistência do ar sobre um plano horizontal bastante liso. A bola, durante o movimento, não deve se aproximar e nem se afastar do centro da Terra e, por isso, sua trajetória não é retilínea, mas um segmento de um círculo delineado pelo nosso globo terrestre. Para Descartes, na ausência de forças, a trajetória de um corpo em movimento é retilínea e é dele o enunciado do princípio da inércia conhecido como: *“Um corpo livre de influência externas move-se com velocidade constante em linha reta”* (GASPAR, 2002, pg. 115). Descartes generalizou o princípio da inércia para os corpos celestiais (NEVES, 2000).

O que acontece com uma esfera quando colocada, em repouso, sobre o piso no interior de um vagão de um trem que está em movimento sobre trilhos que são horizontais em toda sua extensão? Quando o trem move-se em linha reta com velocidade constante, a esfera permanece em repouso no ponto onde foi colocada, pois a esfera e o trem compartilham o mesmo movimento. Mas, dependendo do movimento do trem, a esfera pode mover-se espontaneamente sobre o piso do vagão para frente, para trás ou para os lados. O que se pode dizer nas situações em que a esfera se desloca a partir do repouso? Quem empurra a esfera para colocá-la em movimento? Ninguém! Isto quer dizer que a primeira lei não é válida para qualquer referencial. Os referenciais para as quais ela é válida chamam-se de *referenciais inerciais*, isto é, referenciais fixados em corpos rígidos que estão em repouso ou em movimento retilíneo uniforme. Um ponto na superfície da Terra, uma casa, por exemplo, não está em movimento retilíneo devido à rotação da Terra em torno de seu eixo, mas, para muitos casos, pode ser considerado, com boa aproximação, um referencial inercial. Quando um trem move-se em linha reta com velocidade constante, ele pode ser considerado um referencial inercial. Qualquer referencial em movimento retilíneo uniforme em relação a um referencial inercial é também inercial porque um corpo em repouso ou em movimento retilíneo uniforme em relação a um deles também estará em repouso ou em movimento retilíneo uniforme em relação ao outro. Por isso, quando o trem está em movimento retilíneo uniforme em relação a um ponto na superfície da Terra ele é um referencial inercial e a primeira lei é válida, o que não acontece quando o trem faz uma curva, aumenta ou diminui a velocidade (GASPAR, 2002, pg. 121).

Ao fazer uma curva com velocidade constante, a esfera, no interior do vagão, desloca-se para o lado oposto da curva, mas em relação à Terra, a esfera tende a manter seu movimento em linha reta. Quando o trem aumenta sua velocidade a esfera move-se para trás sobre o piso do vagão, mas em relação à estação, a esfera tende a manter sua velocidade. O mesmo também acontece durante a frenagem para uma parada na estação: em relação a ela a esfera tende a permanecer em movimento com velocidade constante, mas, em relação ao vagão, desloca-se do repouso para frente.

### 3.6 - Segunda Lei ou Princípio Fundamental

Newton assim enunciou a segunda Lei do movimento:

*As mudanças que ocorrem no movimento são proporcionais à força motora, e se fazem na linha reta na qual se imprimiu essa força.*

Isto quer dizer que, se uma determinada força atua sobre um corpo e produz nele algum movimento, uma força com o dobro da intensidade produzirá o dobro do movimento, com direção e sentido da força atuante. Se estiver em repouso, o movimento adquirido é na mesma direção e sentido da força. Se o corpo se movia antes e a força atuar na direção do movimento, este movimento será acrescentado, caso a força tenha o mesmo sentido, ou subtraído, caso a força tenha sentido contrário ao movimento inicial. Se a força for aplicada obliquamente à direção do movimento, o corpo será desviado para uma nova direção que resultará da composição dos movimentos, o movimento retilíneo sem a ação da força com o movimento devido unicamente à ação da força atuante.

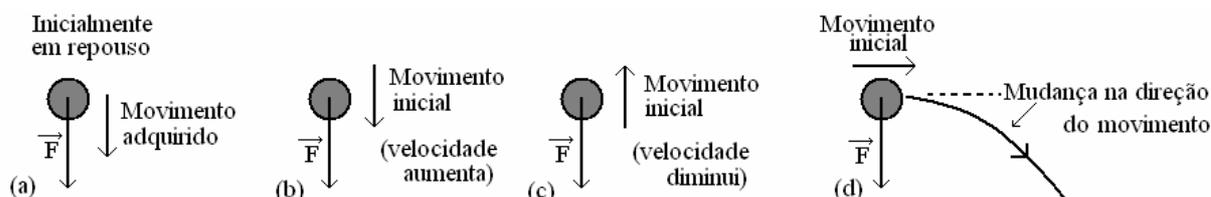


Figura III.8: Em (a) o corpo está em repouso e adquire movimento na mesma sentido em que a força atua. A velocidade aumenta quando a força tem o mesmo sentido do movimento (b) e diminui quando tem sentido contrário ao movimento (c). Quando a força atua obliquamente na direção do movimento do corpo a direção do movimento será alterada.

Newton utiliza a linguagem geométrica para explicar, no livro II dos *Principia*, a segunda Lei do movimento da seguinte maneira: *A velocidade que uma força dada pode produzir numa matéria dada, em um tempo dado, é diretamente proporcional ao tempo e à força e inversamente proporcional à quantidade de matéria. Quanto maior a força, mais longo o tempo e menor a quantidade de matéria, maior será a velocidade produzida* (GUICCIARDINI, 2005, pg. 50).

A famosa equação da segunda Lei do movimento,  $F = m \cdot a$  (força é igual a massa vezes aceleração), que aparece nos livros de física, foi introduzida apenas em 1736 pelo matemático Leonhard Euler. A massa, que aparece na expressão acima, é o que Newton denomina de “quantidade de matéria de um corpo” e está relacionada diretamente ao valor de sua inércia (NEVES, 2000b, pg. 552).

Consideremos que a mesma força resultante seja aplicada a diferentes corpos em repouso. Se a força for aplicada a um corpo que tem o dobro da quantidade de matéria de outro, adquirirá a metade da aceleração do outro, pois oferece maior oposição à mudança de movimento, isto é, tem maior inércia; se tiver o triplo da quantidade de matéria, a aceleração adquirida será um terço comparado a do outro corpo

para a mesma força aplicada, pois a inércia é três vezes maior, ou seja, a massa é três vezes a do outro corpo.

Podemos, no entanto, obter um valor para a força resultante que atua num corpo pela sua massa e aceleração que adquire. Definiu-se 1 newton (1N) como sendo a intensidade da força resultante que atua num corpo de 1 kg de massa quando adquire a aceleração de  $1 \text{ m/s}^2$ .  $1N = 1\text{kg} \cdot 1\text{m/s}^2$ . Estas são as unidades no sistema internacional: newton (N) para força, quilograma (kg) para massa e metro por segundo ao quadrado ( $\text{m/s}^2$ ) para aceleração.

### 3.7 - Terceira Lei ou Princípio da Ação e Reação

A terceira lei foi enunciada por Newton nestas palavras:

*A ação é sempre igual e oposta à reação; isto é, as ações de dois corpos um sobre o outro são sempre iguais e em sentidos contrários.*

Consideremos um pescador em uma canoa, no meio de um lago, amarrados com uma corda presa pela outra extremidade a uma estaca fincada na margem. Quando quer se aproximar da terra firme, ele “puxa a margem” e a consequência é que a margem “puxa a canoa”. Isto quer dizer que, ao puxar a corda, o pescador exerce uma força sobre ela, que é transmitida à margem, esta, por sua vez, aplica uma força igual em sentido contrário sobre a corda que puxa a canoa, aproximando-a da margem. Há um par ação e reação em cada uma das extremidades da corda. Quando o pescador puxa a corda, ele sente uma força de reação, exercida pela corda, igual e contrária à força que realiza. Na margem, quando a corda exerce uma força sobre a estaca, a estaca reage sobre a corda, com força de mesma intensidade, mesma direção, mas de sentido oposto.

Qual é a reação do peso do pescador quando está sentado tranquilamente sobre o banco da canoa? As forças que atuam sobre o pescador são o peso e a reação normal de apoio e, na condição de equilíbrio, essas forças têm mesma intensidade, mesma direção e sentidos contrários. No entanto, ainda que sejam iguais e contrárias, as forças que atuam no pescador não formam um par ação e reação. As chamadas forças de ação e reação não estão aplicadas no mesmo corpo. Cada uma das forças que atuam no pescador, então, deve ter uma força de reação correspondente em alguma parte. Como as forças de cada par ação e reação devem ser de mesma natureza, temos um par de ação à distância, formados pelo pescador e a Terra, e outro par de ação de contato, formados pelo banco da canoa e pelo pescador. Portanto, como o peso é devido a atração gravitacional da Terra sobre o pescador, sua reação é a força que age sobre a Terra devido à atração gravitacional do pescador; o seu ponto de aplicação efetivo é no centro da Terra.

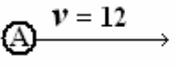
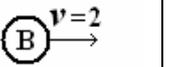
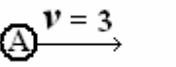
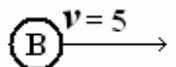
Na explicação da terceira Lei, Newton introduz o princípio da conservação da quantidade de movimento de corpos que interagem entre si numa colisão.

*Pois a ação e sua reação oposta são iguais, pela terceira Lei, e, conseqüentemente, pela segunda Lei, elas produzem nos movimentos mudanças iguais em direção a pontos opostos. Dessa maneira, se os movimentos são dirigidos para os mesmos pontos, seja o que for que se acrescente ao movimento do corpo precedente será subtraído do movimento daquele que segue, de forma que a soma será igual à de antes. Se os corpos se encontram com movimentos contrários, haverá uma igual dedução a partir dos*

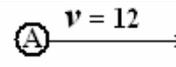
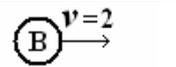
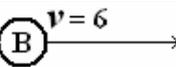
movimentos de ambos e, portanto, a diferença dos movimentos dirigidos a partes opostas permanecerá a mesma (NEWTON, 2000, pg. 35).

Vamos analisar a conservação da quantidade de movimento através de experiências de colisão entre dois discos diferentes: o disco B tem massa três vezes maior que o disco A. Os discos deslizam sobre uma superfície horizontal extremamente lisa, sendo desprezível o atrito entre eles, e todas as colisões são frontais, isto é, ocorrem sobre a linha que une os centros dos dois discos. Em cada experiência estão discriminadas a velocidade ( $v$ ) e a quantidade de movimento ( $p$ ), de cada disco, bem como sua soma ( $p_T$ ) instantes antes e instantes depois da colisão. A quantidade de movimento é obtida através do produto da massa de cada disco vezes sua velocidade ( $p = m \times v$ ) (NUSSENZVEIG, 1996, Pg. 75-80).

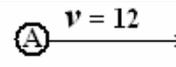
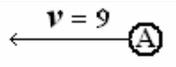
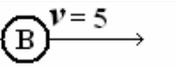
Experiência 1:

Antes da colisão		Depois da colisão	
			
$p_A = 1 \times 12 = 12$	$p_B = 3 \times 2 = 6$	$p_A = 1 \times 3 = 3$	$p_B = 3 \times 5 = 15$
$p_T = p_A + p_B = 12 + 6 = 18$ (soma)		$p_T = p_A + p_B = 3 + 15 = 18$ (soma)	

Experiência 2:

Antes da colisão		Depois da colisão	
			
$p_A = 1 \times 12 = 12$	$p_B = 3 \times 2 = 6$	$p_A = 1 \times 0 = 0$	$p_B = 3 \times 6 = 18$
$p_T = p_A + p_B = 12 + 6 = 18$ (soma)		$p_T = p_A + p_B = 0 + 18 = 18$ (soma)	

Experiência 3:

Antes da colisão		Depois da colisão	
			
$p_A = 1 \times 12 = 12$	$p_B = 3 \times (-2) = -6$	$p_A = 1 \times (-9) = -9$	$p_B = 3 \times 5 = 15$
$p_T = p_A + p_B = 12 + (-6) = 6$ (soma)		$p_T = p_A + p_B = -9 + 15 = 6$ (soma)	

Nas três situações anteriormente descritas, a quantidade de movimento do sistema formado pelos dois discos é a mesma antes e depois da colisão. Dizemos, então, que a quantidade de movimento do sistema se conservou. Isto sempre é válido desde que as únicas forças que atuam sobre os corpos que colidem sejam interações entre as partículas que formam o sistema. Podemos equacionar isto da seguinte forma:

$$p_{T(\text{antes})} = p_{T(\text{depois})}$$

A conservação da quantidade de movimento é uma importante lei de conservação na física.

### 3.8 - O peso de um corpo

Podemos determinar o peso de um corpo aplicando a segunda lei de Newton no seu movimento de queda. Quando a queda acontece sem a resistência do ar a única força que atua sobre o corpo é seu peso ( $P$ ), que é a força de atração que a Terra exerce sobre o corpo. A aceleração que ele adquire, durante o movimento de queda, é a aceleração da gravidade ( $g$ ). Fazendo-se as devidas substituições na segunda lei ( $F = m \cdot a$ ), a expressão matemática do peso de um corpo fica assim:

$$P = m \cdot g .$$

O peso é diretamente proporcional à massa que o corpo possui, isto é, quanto maior a massa de um corpo, maior é o seu peso. Uma caixa de mantimentos levada por um astronauta à estação espacial internacional tem peso um pouco menor do que se a caixa estivesse aqui na superfície da Terra. Isto acontece porque a aceleração da gravidade vai diminuindo à medida em que se afasta da Terra, sendo um pouco menor na altura da órbita da estação espacial, aproximadamente 400 km acima da superfície da Terra. Se a caixa tiver, aqui na Terra, o peso igual a 60 N e for transportada à Lua, lá ela terá o peso de 10 N. A gravidade na superfície lunar é 6 vezes menor que a na superfície terrestre, e por isso o peso de qualquer corpo na Lua será 6 vezes menor do que aqui na Terra. A massa, por sua vez, é uma propriedade intrínseca do corpo, e não muda, independentemente do lugar do universo em que o corpo se encontra.

### Atividades complementares:

Sugestões de vídeos: três episódios da série “O Mundo de Beakman”: *inércia, ação e reação e gravidade*. Estudos relacionados a esses programas: às Leis de Newton.

### 3.9 - Força centrípeta

Newton definiu a *força centrípeta* como aquela pela qual o corpo é atraído ou impelido ou sofre qualquer tendência a algum ponto como a um centro.

Todo corpo que realiza movimento circular uniforme está sujeito à força centrípeta, isto é, a resultante das forças que nele atuam aponta para o centro de sua trajetória. O que impede a pedra na funda de seguir indefinidamente em linha reta, por exemplo, se desprezarmos a gravidade e a resistência do ar, é a força centrípeta aplicada pela mão, que a faz girar, e é transmitida à pedra através do cordão. Dessa forma, a direção da velocidade, tangente à trajetória descrita, muda de ponto a ponto da trajetória. Se, subitamente, a força centrípeta deixar de atuar, o corpo irá se mover, a partir do ponto de sua trajetória onde se encontra, em linha reta na direção tangente ao círculo.

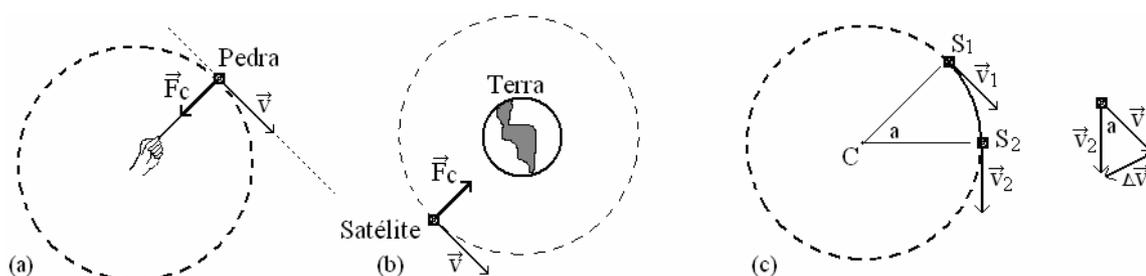


Figura III.9: (a) Uma pedra amarrada num fio é obrigada a executar movimento circular porque a força centrípeta ( $F_c$ ) é aplicada pela mão e transmitida à pedra através do fio. A reta pontilhada, tangente ao círculo, mostra a direção da velocidade da pedra no ponto em que se encontra e a direção da linha pela qual ela seguiria se naquele instante o fio fosse solto. (b) Um satélite mantém sua órbita circular por causa da força centrípeta ( $F_c$ ) que aponta para seu centro, onde está a Terra. (c) Pela variação da velocidade ( $\Delta v$ ), quando um corpo vai de  $S_1$  para  $S_2$ , é possível determinar a aceleração centrípeta ( $a_c$ ).

Um corpo em movimento circular uniforme passa periodicamente por um mesmo ponto de sua trajetória. O intervalo de tempo necessário para dar uma volta completa é denominado de *período* de movimento. Conhecendo-se o período  $T$  e o raio  $R$  da trajetória de um corpo em movimento circular

uniforme é possível determinar sua velocidade ( $v$ ). Sendo  $2\pi R$  a distância percorrida numa volta completa no intervalo de um período ( $T$ ), a velocidade é dada por:

$$v = \frac{2\pi R}{T}.$$

É possível deduzir<sup>16</sup>, a partir da variação da direção da velocidade (figura III.9-c), a expressão para calcular a *aceleração centrípeta*, que é:

$$a_c = \frac{v^2}{R}.$$

Logo, a intensidade da força centrípeta pode ser escrita como:

$$F_c = m \frac{v^2}{R}.$$

### 3.10 - Teoria da Gravitação Universal

A maior contribuição que Newton deixou à ciência moderna, sem dúvida, foi a teoria da Gravitação Universal. Newton demonstra, nos *Principia*, que as órbitas dos corpos celestes que satisfazem as Leis de Kepler são causadas por forças que variam com o inverso do quadrado da distância, isto é, a força centrípeta sobre os satélites de Júpiter, sobre os planetas em órbita em torno do Sol e sobre a Lua são todas proporcionais ao inverso do quadrado da distância ao centro de cada órbita. Newton relata que chegou a esse resultado utilizando as relações matemáticas da velocidade e da força centrípeta no movimento circular uniforme combinado com a terceira lei de Kepler (Guicciardino, 2005).

Em outra demonstração mostra que a força que mantém a Lua em sua órbita é da mesma natureza da força que acelera uma pedra na superfície da Terra. A gravidade deixou de ser um fenômeno pertencente apenas às imediações da superfície terrestre estendendo-se a distâncias que ultrapassam a órbita lunar. A gravitação passou a ser um fenômeno universal, pois é a gravidade do Sol que mantém os planetas em suas órbitas. Anteriormente a Newton, Kepler também já havia pensado no Sol como responsável por uma força agindo a distância sobre os planetas.

Newton chega à conclusão de que a intensidade da força de atração gravitacional entre dois corpos quaisquer é proporcional ao produto das massas ( $M$  e  $m$ ) e inversamente proporcional ao quadrado da distância ( $r$ ) que os separa. Esta é a lei da Gravitação Universal de Newton que atualmente se expressa da seguinte forma:

$$F = G \frac{M \cdot m}{r^2}$$

Na expressão  $G$  é a constante da gravitação universal e seu valor é  $6,67 \times 10^{-11} \text{ Nxm}^2/\text{kg}^2$ .

Através do argumento da “queda da Lua”, Newton fez uma demonstração muito simples e elegante, da validade da lei da Gravitação Universal (FREIRE, 2004).

Nessa demonstração, Newton calcula primeiro a distância que a Lua cairia na direção da Terra, no intervalo de 1 min, sob a influência exclusiva da força centrípeta que a mantém em órbita, se ela fosse subitamente privada de todo movimento. Para isso, utilizou os seguintes dados: circunferência da órbita

<sup>16</sup> Uma correta dedução da aceleração centrípeta não é imediata e por isso não a fazemos aqui; uma ótima referência para esta dedução está em Gaspar, 2002, pg. 170.

da Lua: 7 394 979 000 pés<sup>17</sup>; período de revolução da Lua: 27 dias e 7 h 2 43 min (39343 min). O valor que obteve foi 15,0833 pés.

Newton assumiu como sendo 60 raios terrestres a distância média da Lua à Terra e, conforme o movimento circular, a força centrípeta responsável pelo movimento da Lua é proporcional ao inverso do quadrado da distância ao centro da órbita. Se a Lua fosse trazida até a superfície da Terra, esta força seria 60<sup>2</sup> vezes maior que na órbita da Lua, o que a faria percorrer uma distância de queda 60<sup>2</sup> vezes maior no mesmo intervalo de 1 min. Mas, a distância percorrida por um corpo sujeito à ação de uma força constante, como a gravidade se manifesta na superfície da Terra, é proporcional ao quadrado do tempo, isto é, se reduzirmos o tempo de 60 s (1 min) para 1 s, a distância percorrida será reduzida em 60<sup>2</sup> vezes. Então diminuindo o tempo e o raio, ambos em 60 vezes, o valor para a distância de queda da Lua permanecerá o mesmo, ou seja, em um segundo, a Lua deveria cair também 15,0833 pés na superfície da Terra.

Restava, ainda, determinar a altura que um corpo qualquer cai durante o tempo de um segundo, a partir do repouso, na superfície da Terra. Galileu já havia determinado esse valor, mas não era confiável porque na época não existiam equipamentos suficientemente precisos para cronometrar curtos intervalos de tempo. Para isso, Newton recorre aos trabalhos de Christiaan Huygens (1629 – 1695) sobre o pêndulo, publicados no *O Relógio Oscilatório* em 1673, que permitiu a primeira medida precisa da aceleração da gravidade. Os resultados de Huygens apresentados por Newton na demonstração são<sup>18</sup>:

1.º) A altura ( $d$ ) que um corpo cai em 1 s, está para a metade do comprimento de um pêndulo ( $L/2$ ) de período 2 s, assim como o quadrado da circunferência do círculo ( $2\pi r$ ) está para o quadrado de seu diâmetro ( $2r$ ). Esse resultado pode ser expresso como:

$$\frac{d}{L/2} = \frac{(2\pi r)^2}{(2r)^2} = \pi^2;$$

2.º) como Huygens já havia verificado, que o comprimento ( $L$ ) de um pêndulo com período 2 s é 3,059 pés, a distância que o corpo cai em 1s é:

$$d = \frac{L}{2} \pi^2 = 15,0956 \text{ pés.}$$

Comparando os resultados do corpo que cai sob a influência da gravidade na superfície da Terra com aquele obtido para a força centrípeta da Lua na superfície da Terra - 15,0833 pés, nota-se que os valores estão em boa concordância entre si. Com essa demonstração Newton atinge seu objetivo: a força que mantém a Lua em sua órbita é da mesma natureza da força que acelera uma pedra na superfície da Terra. *Que a lua gravita em torno da Terra, e é sempre retirada de seu movimento retilíneo, e reconduzida a sua órbita pela força da gravidade.*

Vamos refazer o argumento da “queda da Lua” de modo mais simplificado, utilizando a notação atual para a aceleração centrípeta e as unidades no sistema métrico, procurando seguir, quando possível, o raciocínio apresentado por Newton.

Calculemos, inicialmente, a aceleração centrípeta da Lua à distância de sua órbita, com o valor  $R = 382\,272\,000$  m. Para isso, precisamos primeiro calcular a velocidade ( $v$ ) com que a Lua gira em torno

<sup>17</sup> Newton usa o pé de Paris na demonstração e sua equivalência é 1 pé = 0,325 m.

<sup>18</sup> A expressão algébrica do período do pêndulo não é mencionada na demonstração de Newton.

da Terra, através da circunferência da órbita da Lua ( $2\pi R$ ) e seu período de revolução  $T = 39\,343$  min. Efetuando os cálculos temos, para a velocidade:

$$v = \frac{2\pi \cdot R}{T} = \frac{2\pi \cdot 382272000m}{39343 \text{ min}} = 61050m/\text{min}.$$

E para a aceleração centrípeta:

$$a_c = \frac{v^2}{R} = \frac{(61050m/\text{min})^2}{382272000m} = 9,75m/\text{min}^2.$$

Utilizando a expressão da distância percorrida ( $\Delta s$ ) por um corpo que parte do repouso em aceleração constante podemos calcular a distância que a Lua cai na direção da Terra no intervalo de 1 min. Obtemos o seguinte valor:

$$\Delta S = \frac{a \cdot t^2}{2} = \frac{9,75m/\text{min}^2 \cdot (1\text{min})^2}{2} = 4,88m.$$

Esse valor está em boa concordância com aquele obtido por Newton (4,88 m = 15,02 pés).

Seguiremos o mesmo procedimento adotado por Newton para determinar a altura de queda se a Lua fosse trazida para uma órbita limitada pela superfície da Terra. A força centrípeta, a qual a Lua está sujeita, é proporcional ao inverso do quadrado do raio médio de sua órbita. Isto quer dizer que, se o raio médio da Lua fosse reduzido em 60 vezes, a força centrípeta, na superfície da Terra, será  $60^2$  vezes maior e a distância de queda será também  $60^2$  vezes maior do que na órbita da Lua para o mesmo intervalo de tempo. Mas, se diminuirmos o tempo de queda em 60 vezes, isto é, reduzindo o intervalo de 1 min para 1 s, estaremos diminuindo a distância em  $60^2$  vezes porque, quando a aceleração é constante, a distância percorrida é proporcional ao quadrado do tempo, e a Lua deveria cair a mesma distância que ela cai em 1 min na sua órbita, quer dizer, em 1 s a Lua deveria cair também 4,88 m.

A última etapa da demonstração consiste em obter o valor da aceleração da gravidade na superfície da Terra, para, daí, calcular a distância de queda de uma pedra no intervalo de um segundo. Podemos calcular o valor da aceleração da gravidade ( $g$ ) utilizando a expressão que relaciona o período do pêndulo simples<sup>19</sup> com seu comprimento. Quando usamos os mesmos valores usados por Newton, com período  $T = 2$  s para um pêndulo de comprimento  $L = 0,99$  m, e aplicamos na expressão, obtemos o seguinte valor para a aceleração da gravidade:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} \Rightarrow g = \frac{4\pi^2 L}{T^2} = \frac{4 \cdot 3,14^2 \cdot 0,99m}{(2s)^2} = 9,76m/s^2$$

Para calcular a altura de queda de uma pedra em 1 s, empregamos a mesma expressão usada anteriormente, para a distância percorrida de um corpo com aceleração constante que parte do repouso, e obtemos o resultado que segue:

$$\Delta S = \frac{g \cdot t^2}{2} = \frac{9,76m/s^2 \cdot (1s)^2}{2} = 4,88m.$$

Os resultados que obtivemos para a distância de queda da Lua e de uma pedra na superfície da Terra em um segundo estão em excelente concordância e comprovam, seguindo um raciocínio parecido

<sup>19</sup> A expressão do período do pêndulo simples é encontrada na maioria dos livros de física do ensino médio, no capítulo de oscilações, e sua dedução é demonstrada em alguns deles.

daquele seguido por Newton, a validade da lei da Gravitação Universal, ou seja, a força que faz uma pedra cair na superfície da Terra e aquela que mantém a Lua em sua órbita são de mesma natureza.

A atração gravitacional é também descrita, na física moderna, pelo conceito de *campo*. Existe um campo se numa região do espaço um corpo sofre a ação de uma força de mesma natureza da causa que origina a força. A Terra, por exemplo altera as propriedades do espaço à sua volta de tal modo que qualquer corpo nessa região fica sujeito a força de atração e, por isso, o campo de força devido à atração gravitacional é denominado de *campo gravitacional*. O Sol, os planetas, os satélites naturais dos planetas, os asteróides, entre outros objetos astronômicos, possuem, cada um, seu próprio campo gravitacional.

Através da expressão do peso do corpo obtido a partir da segunda lei Newton e da lei da Gravitação Universal pode-se obter a expressão do módulo do campo gravitacional  $g$  escrito da seguinte forma:

$$g = \frac{GM}{R^2}$$

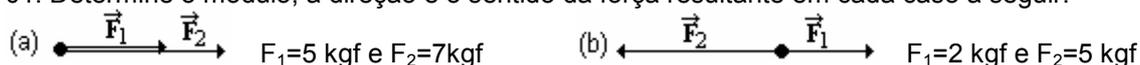
$M$  é a massa do objeto que gera o campo gravitacional, por exemplo, a massa do Sol, da Terra ou da Lua;  $R$  é a distância do centro do objeto (esférico) até o ponto onde se deseja determinar o valor do campo. No entanto, o campo e a aceleração gravitacional são a mesma grandeza física e sua unidade no SI é:  $1 \text{ N/kg} = 1 \text{ m/s}^2$ .

### Atividades complementares:

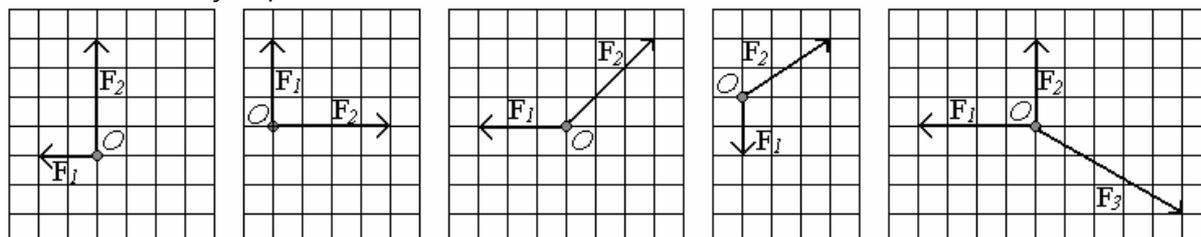
Sugestões de vídeos: um episódio da série “Espaçonave Terra”; *semana 07*. Estudos relacionados a esses programas: o sistema gravitacional.

### Questionário 03

01. Determine o módulo, a direção e o sentido da força resultante em cada caso a seguir:



02. A figura a seguir representa, em escala, as forças que atuam sobre um objeto  $O$ . Represente o vetor resultante das forças que atuam em  $O$ .



03. Duas forças possuem intensidades  $F_1=6 \text{ kgf}$  e  $F_2=8 \text{ kgf}$ . Determine a resultante das forças quando:

- têm mesma direção e mesmo sentido;
- têm mesma direção e sentidos opostos;
- forem perpendiculares.

04. Um carro se desloca em uma estrada horizontal, com movimento retilíneo uniforme. O motor exerce no carro uma força de propulsão de  $20\,000 \text{ kgf}$ .

- Qual o valor da resultante das forças que atuam no carro?
- Qual o valor das forças de resistência que se opõem ao movimento do carro?

05. Um pára-quedista desce verticalmente, próximo à superfície da Terra, com velocidade constante. Qual a resultante das forças que agem sobre o conjunto?

06. Um pára-quedista e seu pára-quedas sofrem a força de atração gravitacional exercida pela Terra. Quando esta força for maior que a resistência do ar que se opõe ao movimento, o que acontece com a velocidade dele? E quando as forças forem iguais?

07. Uma pessoa, na superfície da Terra, observa gotas de chuva que caem e afirma: “O movimento dessas gotas é um bom exemplo de queda livre.”

- (a) Você concorda com essa afirmação?
- (b) O peso de cada gota observada é maior, menor ou igual à resistência do ar que atua sobre ela? Explique.

08. Por que as gotas de chuva descem em velocidade constante durante a parte final de sua queda?

09. Por que você cai para frente quando o trem em movimento desacelera para uma parada e cai para trás, quando o trem acelera partindo do repouso? O que aconteceria, com a pessoa em pé no interior de um vagão, se o trem entrasse em uma curva com velocidade constante?

10. Explique por que, fisicamente, é importante utilizar cinto de segurança quando dirigimos.

11. Muitas vezes, apesar de o motorista estar pisando no acelerador, o automóvel se desloca em linha reta com velocidade constante. Que pode se dizer sobre a resultante das forças que atuam no automóvel?

12. Quando você rebate uma bola de tênis com uma raquete, a força para frente sobre a bola é maior que a força para trás sobre a raquete? Explique sua resposta.

13. Quando uma pessoa salta de um barco para a margem, o barco, inicialmente parado, movimenta-se se afastando da margem. Explique esse fato.

14. Um alpinista sobe por uma corda. Em que sentido atua a força de atrito entre suas mãos e a corda? E quando desce? Explique.

15. Verifique se a seguinte afirmação está correta e justifique: “Quando um jogador chuta uma bola, ela sai do pé com força”.

16. Imagine que um astronauta está fazendo um conserto em sua nave, “estacionada” em algum lugar no espaço onde a gravidade resultante é zero. Como ele não consegue fazer o conserto, fica nervoso e atira, com toda força, a caixa de ferramentas “para baixo”. O que acontecerá com o astronauta? Por quê?

17. Suponha que uma pessoa arremesse horizontalmente uma bola de borracha e uma bola de ferro (de tamanhos iguais), exercendo em ambos o mesmo esforço muscular.

- (a) Qual delas, em sua opinião, adquire maior velocidade?
- (b) Qual delas possui maior inércia?
- (c) Qual delas possui maior massa?

18. A resultante das forças que atuam em um corpo, cuja massa é de 4,0 kg, vale 230 N. Qual é o valor da aceleração que este corpo possui?

19. Calcule a massa de um corpo se uma força resultante de 96 N atua sobre ele, produzindo nele uma aceleração de  $2,0 \text{ m/s}^2$ ?

20. Qual é a força resultante que atua em um automóvel de massa igual a 1724 kg, que tem uma aceleração igual a  $4 \text{ m/s}^2$ ? (6896 N)

21. Num teste experimental de um veículo de 500 kg de massa, propelido por um foguete, verificou-se que, partindo do repouso, atingiu a velocidade de 400 m/s em 1,8 s.

- (a) Qual a aceleração média adquirida pelo veículo durante o teste?
- (b) Qual a força resultante média que atua sobre o veículo durante o teste?

22. O corpo da figura ao lado está sobre um plano horizontal sob a ação de três forças cujas intensidades são:  $F_1 = 20 \text{ N}$ ;  $F_2 = 12 \text{ N}$  e  $F_3 = 16 \text{ N}$ . Sendo a massa do corpo igual a  $2,0 \text{ kg}$ , determine:

- (a) a força resultante sobre o corpo;  
 (b) a aceleração que ele adquire.



23. Determine a aceleração de um bloco de massa de  $2 \text{ kg}$  e que desliza, num plano horizontal sem atrito, nas situações indicadas abaixo:



24. As três forças mostradas na figura são aplicadas simultaneamente ao corpo de  $4,0 \text{ kg}$  de massa, inicialmente em repouso. Determine:

- (a) a força resultante, em módulo, direção e sentido;  
 (b) a aceleração que o corpo adquire;  
 (c) a velocidade do corpo  $5 \text{ s}$  após a aplicação das forças.



25. Um bloco de massa  $2 \text{ kg}$  é arrastado em linha reta, sobre uma superfície horizontal, por uma força também horizontal de intensidade igual a  $4 \text{ N}$ . Sobre o bloco atua também uma força de atrito de intensidade de  $1 \text{ N}$ . (a) qual é a aceleração do bloco? (b) supondo que o bloco estava inicialmente em repouso, qual será sua velocidade após  $4 \text{ s}$ ?

26. Um astronauta ao se preparar para fazer uma viagem à Lua, leva uma caixa de ferramentas de massa igual a  $5 \text{ kg}$  até sua espaçonave.

- (a) Qual o peso dessa caixa aqui na Terra?  
 (b) Qual o peso da caixa de ferramentas na Lua?

27. Com um dinamômetro verificou-se que um objeto tem peso de  $32 \text{ N}$ , aqui na Terra. Qual a massa desse objeto?

28. Uma pessoa tem, aqui na Terra massa de  $70 \text{ Kg}$ . Se essa pessoa fosse à Marte, nosso planeta vizinho onde a aceleração da gravidade é  $3,9 \text{ m/s}^2$ , qual seria seu peso?

29. Imagine que um astronauta pudesse descer em Júpiter, onde a aceleração da gravidade é de  $26 \text{ m/s}^2$  e, usando um dinamômetro, ele pesasse uma pedra, encontrando  $130 \text{ N}$ .

- (a) Calcule a massa da pedra em  $\text{kg}$ .  
 (b) Se o astronauta trouxesse a pedra para a Terra, qual seria aqui a sua massa? E seu peso?  
 (c) Se a pedra fosse transportada para uma região afastada da influência de qualquer astro (onde não há gravidade), qual seria sua massa? Qual seria seu peso?  
 (d) E a inércia da pedra, seria a mesma que ela possuía aqui na Terra?

30. Na Lua, onde a aceleração da gravidade é aproximadamente  $1,6 \text{ m/s}^2$ , um astronauta pesa  $110 \text{ N}$ . Pergunta-se:

- (a) Qual a massa do astronauta?  
 (b) Qual o seu peso na Terra, onde a gravidade é de  $10 \text{ m/s}^2$ ?

31. Um astronauta, utilizando um dinamômetro, determina o peso de um corpo na Terra e na Lua, encontrando os valores  $4,9 \text{ N}$  e  $0,8 \text{ N}$ , respectivamente. Sendo a aceleração da gravidade na superfície da Terra  $9,8 \text{ m/s}^2$ , determine:

- (a) A massa do corpo.  
 (b) A aceleração da gravidade na superfície da Lua.

32. O carrinho de um autorama realiza um movimento circular uniforme completando 4 voltas em  $12 \text{ s}$ . Determine seu período.

33. Qual é o período de rotação do ponteiro dos minutos de um relógio?

34. Um satélite artificial completa 16 voltas em torno da Terra, durante  $24 \text{ h}$ . Qual é, em horas e em min, o período do movimento do satélite, suposto periódico.

35. Uma partícula de massa 1 kg move-se em uma trajetória circular de raio 2 m com velocidade constante de 4 m/s. Determine o módulo da força centrípeta que atua sobre a partícula.
36. Uma esfera de 2,0 kg de massa, presa à extremidade de um fio de 0,5 m de comprimento realiza um movimento circular uniforme fazendo 20 voltas a cada minuto.
- (a) Qual é o período desse movimento?
  - (b) Qual é a velocidade da esfera?
  - (c) Qual é o módulo da força centrípeta que age na esfera?
37. Uma bola de massa 2 kg, presa na extremidade de um fio de 1 m de comprimento, executa MCU com velocidade de 5 m/s sobre um plano horizontal liso. Calcule a aceleração centrípeta da bola e a força de tração no fio.
38. Um corpo de massa igual a 1,0 kg descreve, sobre uma mesa bem polida, uma circunferência horizontal de raio igual a 10 m quando preso mediante um fio a um ponto fixo na mesa. O corpo efetua 60 voltas completas por minuto. Determine a força de tração exercida no fio.
39. Uma esfera de massa 2 kg está em movimento circular, a 18 m/s, num plano horizontal, presa a um fio de comprimento 3 m, sobre o plano. A outra extremidade do fio laça um prego fincado no plano. Desprezando atritos e influencias do ar, calcule a aceleração centrípeta da esfera e a força de tração no fio.
40. A altitude da órbita da estação espacial orbital é de 380 km em relação à superfície terrestre. A aceleração da gravidade a essa altitude é de  $8,75 \text{ m/s}^2$ . Determine a velocidade de translação e o período de revolução. O raio da Terra é de 6370 km.

## MÓDULO IV – Texto 4

### A LUA E OS SATÉLITES ARTIFICIAIS

#### 4.1 – O primeiro satélite artificial

Com o lançamento do Sputnik I, o primeiro satélite artificial colocado em órbita da Terra pelos soviéticos em 4 de outubro de 1957, deu-se início à exploração espacial, mas as bases teóricas para a colocação de satélites em órbitas determinadas já haviam sido estabelecidas e publicadas 270 anos antes, por Newton, no livro Principia (NEWTON, 1990).

A Lua é um satélite natural da Terra e as leis físicas que determinam sua órbita são as mesmas leis que determinam as órbitas dos satélites artificiais que são colocados no espaço. Para que um satélite entre numa órbita estável é necessário que lhe seja fornecida velocidade inicial suficientemente grande, que o levará a descrever uma órbita fechada em torno da Terra, voltando ao ponto de partida. Dessa maneira, o satélite continuará circulando no céu em órbita elíptica assim como fazem a Lua e os planetas em suas órbitas.

A velocidade orbital de um satélite em órbita circular, ou que se aproxima muito dela, pode ser facilmente calculada pela expressão matemática que segue, que é deduzida a partir das expressões da força centrípeta e da Lei da Gravitação Universal:

$$v = \sqrt{\frac{G.M}{R}} .$$

Podemos notar que a velocidade ( $v$ ) do satélite depende apenas do raio ( $R$ ) médio de sua órbita, pois a massa ( $M$ ) da Terra é  $M_{\text{Terra}}=6,0 \times 10^{24}$  kg e  $G= 6,7 \times 10^{-11}$  N.m<sup>2</sup>/kg<sup>2</sup> é a constante da gravitação universal. Conhecendo-se o raio ( $R$ ) médio da órbita de um satélite e a massa ( $M$ ) do planeta em torno do qual orbita, podemos calcular seu período de revolução pela expressão:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{R^3}{G.M}} .$$

O raio médio da órbita elíptica do Sputnik I era  $R \approx 6,95 \times 10^6$  m (6950 km, correspondendo a uma altitude média  $\approx 550$  km acima da superfície) que fornece o período de, aproximadamente, 96 min, que era o período observado. Mesmo a essa altitude, no periélio da órbita, o Sputnik atravessava uma região onde ainda existem resíduos da atmosfera, o que provocou a gradativa redução da velocidade e a conseqüente perda de altitude. O aquecimento provocado pelo atrito com as camadas de ar mais densas na alta atmosfera levou o satélite a desintegrar-se 24 semanas após seu lançamento. O Sputnik I era um pequeno objeto esférico de alumínio, de 84 kg, portando em seu interior transmissores de sinais de rádio que eram enviados por quatro antenas acopladas e captados em estações no mundo inteiro (WHITE, 2003).

Satélites meteorológicos e de espionagem são satélites de baixas altitudes. Satélites como o telescópio espacial Hubble (1990), Compton Gama Ray (1991), Chandra X-ray (1999) e outros nos fornecem informações, proporcionando um avanço científico sem precedentes sobre o Universo e sua origem.

Os satélites tornaram-se equipamentos indispensáveis para telecomunicação e transmissão de dados. Satélites de comunicação que transmitem imagem, som e dados em tempo real funcionam como antenas retransmissoras de sinais recebidos de estações em terra para serem captados em outras partes do mundo. Para receber esses sinais a antena receptora em terra deverá estar apontada para o satélite exigindo que ele não mude sua posição em relação à antena e a qualquer outro ponto fixo na superfície da Terra. Devido a essa característica esses satélites são denominados de *satélites geoestacionários*. Para que um satélite seja geoestacionário ele deverá ter seu período de revolução igual ao período de rotação da Terra ( $T = 24$  h) e ter uma órbita circular sobre o plano equatorial terrestre. Todos os satélites geoestacionários possuem órbitas de mesmo raio ( $R=42246$  km) e por isso também estão à mesma altitude (35876 km).

O primeiro satélite de comunicações a entrar em funcionamento foi o Telstar, lançado em 1962, apenas 5 anos depois do Sputnik I. No Brasil a primeira transmissão por satélite aconteceu no início de 1969, sendo a partir daí os noticiários, como o Jornal Nacional, transmitidos ao vivo via Embratel.

#### 4.2 – A história dos foguetes

Para impulsionar os satélites até suas órbitas usam-se foguetes, mas a sua historia é muito anterior ao lançamento do Sputnik em 1957. A História retrata o uso dos foguetes como lançador de projéteis ou bombas utilizadas em guerras como a dos chineses no século XIII, dos indianos no século XVIII, dos ingleses em 1806 contra os franceses e em 1812 contra os norte-americanos. Porém, na Primeira Guerra Mundial, os foguetes não tiveram nenhum destaque, pois, os poderosos canhões, construídos pelos alemães – as sofisticadas peças de artilharia que lançavam projéteis de 800 kg a quase dez quilômetros de distância – eram as armas mais importantes. No entanto, a partir desse período novas idéias sobre o uso de foguetes tomam conta da imaginação do público: os foguetes permitirão um dia aos humanos realizarem viagens interplanetárias e conseqüentemente explorar novos mundos. As obras que provavelmente tiveram maior influência foram do matemático e engenheiro russo Konstantin Eduardivich Tsiolkovski no livro publicado em 1903, intitulado *Exploração do espaço por foguetes*, onde aborda a teoria dos foguetes para a exploração espacial e apresenta os fundamentos matemáticos necessários para sua projeção e do engenheiro alemão, Hermann Oberth, que publicou em 1923 o livro *O foguete no espaço planetário*, onde trata dos cuidados necessários dos tripulantes nas viagens espaciais e dos diferentes meios de propulsão.

Um jovem alemão de 12 anos de idade, Wernher von Braun, ao ler *O foguete no espaço planetário*, foi despertado para o desejo de construir um foguete que um dia levaria os homens à Lua. Aos 17 anos entrou na Sociedade para Viagens Espaciais, liderada por Hermann Oberth. Nesta sociedade discutiam-se sobre ônibus espaciais, estações espaciais e projetos de naves para pousar em outros planetas. Os projetos dos foguetes da “Sociedade” chamaram a atenção do Partido Nazista, em 1932, que via sua aplicação no desenvolvimento de armas. No ano seguinte, von Braun já trabalhava para o exército alemão como engenheiro de foguetes civis, e mais tarde, em 1936 começou a trabalhar no centro de foguetes e base de lançamento onde permaneceu todo o período da Segunda Guerra Mundial desenvolvendo os mísseis V1 e V2 – os primeiros mísseis de longo alcance usados em guerras. No último ano da guerra, com o enfraquecimento das tropas alemães nas frentes de combate, von Braun

e sua equipe foram capturados por tropas norte-americanas depois de fugirem do complexo da base de testes e lançamentos. Entretanto, foi o exército russo que chegou primeiro à base de foguetes alemã apoderando-se de grande quantidade de documentos, equipamentos e peças, que proporcionou, em poucos anos, o desenvolvimento do enorme arsenal de mísseis soviéticos. Os russos também tinham seu cientista de foguetes, Sergei Korolev, que era tão talentoso e engenhoso quanto von Braun, que fez bom uso do material apreendido na base alemã de foguetes (WHITE, 2003).

Ao final da Segunda Guerra Mundial o mundo torna-se bipolar: de um lado o ideal socialista defendido pelos soviéticos e de outro o capitalismo representado pelos EUA. Inicia-se a Guerra Fria, marcada por um período de disputas entre as superpotências bélicas, os norte-americanos e os soviéticos, onde cada um tenta expandir sua ideologia à força. Nunca houve confronto direto entre elas, mas travaram sangrentas batalhas dentro de outros países como no Vietnã e nas Coréias. Havia também a guerra das propagandas, na qual cada uma tentava mostrar ao outro e ao mundo a superioridade do seu sistema, evidenciado nas olimpíadas e na corrida espacial.

O lançamento do Sputnik I pegou de surpresa o lado capitalista e feriu profundamente o orgulho norte-americano, porque para os EUA, que dois anos antes haviam anunciado a intenção de lançar um satélite artificial, isto era uma afronta, e chegar em segundo lugar numa disputa que só tinha dois participantes era algo inaceitável. Era preciso reagir, partir ao contra-ataque urgentemente. Um mês depois do Sputnik I, a União Soviética vence a disputa, mais uma vez, pela soberania do espaço sideral, lançando o Sputnik II. A bordo da cápsula do Sputnik II estava o primeiro ser vivo a ir ao espaço: a cadela *Laika*, que sobreviveu por sete dias até ser colocada em sono permanente.

Em dezembro do mesmo ano (1957) os norte-americanos fizeram a contagem regressiva para o lançamento do seu primeiro satélite artificial projetado pela equipe liderada por Wernher von Braun, agora naturalizado americano. Falhas no equipamento o fizeram explodir imediatamente após os foguetes serem disparados. A segunda tentativa de von Braun, em 31 de janeiro de 1958, conseguiu pôr em órbita da Terra o primeiro satélite artificial norte-americano. Von Braun torna-se um herói nacional para os Estados Unidos. Nos meses seguintes vários satélites foram colocados em órbita pelas duas superpotências.

#### **4.3 – A conquista do espaço**

Ao final da década de 50, o principal objetivo na corrida espacial era o de enviar um homem ao espaço. Mais uma vez os russos chegaram na frente: foi Yuri Gagarin o primeiro homem a ir ao espaço. O lançamento foi na manhã do dia 12 de abril de 1961, com um voo que durou 108 minutos, completando uma volta em torno da Terra atingindo a altitude de 327 km. Em 6 de agosto do mesmo ano, outro cosmonauta russo, German Titov, repete a façanha, levando equipamentos em que fez o primeiro filme sobre a Terra vista do espaço. Aos olhos do mundo não havia dúvida: os soviéticos eram os líderes na corrida espacial em todos os sentidos.

A resposta de contra-ataque na corrida espacial veio com o discurso de John F. Kennedy, o então presidente dos EUA, em 25 de maio de 1961, que faz a promessa de colocar um homem na Lua e trazê-lo com segurança de volta à Terra. Iniciou-se no mesmo mês o Projeto Mercury, que realizou vários testes experimentais dos efeitos das grandes acelerações de partida e a “ausência de gravidade” que os

astronautas são submetidos. O primeiro norte-americano a entrar em órbita, completando três voltas em torno da Terra, foi John Glenn, em fevereiro de 1962, visto pela televisão por um público estimado em 100 milhões de pessoas. O Projeto Mercury foi concluído no final de 1963, quando se iniciou o Projeto Gemini que consistia em realizar testes de acoplamentos em órbita da Terra. Com o sucesso das missões dos projetos Mercury e Gemini, os EUA estavam prontos para ir à Lua.

Foi o Projeto Apollo que levou o homem à Lua. Embora a primeira missão tenha sido marcada por uma terrível explosão no momento do lançamento, carbonizando os três astronautas a bordo da cápsula da Apollo 1, a Apollo 11 concretizou o maior feito já realizado pelo homem até hoje: pousar uma nave tripulada no solo lunar e trazer os astronautas sãos e salvos de volta à Terra. O lançador da Apollo foi o poderoso foguete Saturno V projetado por von Braun que, na base de lançamento, media 110 m de altura. O módulo lunar tocou o solo da Lua na noite do dia 20 de julho de 1969. Milhares de telespectadores assistiram ao vivo pela TV o primeiro passo humano na superfície lunar feito por Neil Armstrong para receber a bandeirada da vitória da corrida espacial, efetivando-a com a fixação da bandeira listrada em vermelho sobre um pano branco naquele solo. (MOURÃO, 2000).

Os soviéticos também tinham seu programa de exploração tripulado da Lua que nunca fora tornado público. Estava em testes um poderoso foguete lançador, o N-1, de dimensões equivalentes ao Saturno V utilizado pelos EUA no projeto Apollo, que jamais conseguiu sair do chão. De acordo com informações extra-oficiais norte-americanas quatro foguetes N-1 explodiram nos testes na base de lançamento, em fevereiro de 1969, julho de 1970, julho de 1971 e novembro de 1972. Em 1974 a tentativa de levar um soviético à Lua foi abandonada. O programa soviético de exploração tripulada à Lua não conseguir decolar, provavelmente, porque, com a morte de Sergei Korolev, em 1966, perderam o seu grande mestre projetista de foguetes (WHITE, 2003).

#### **4.4 – Veículo lançador Saturno V**

As missões Apollo foram lançadas ao espaço pelo gigantesco veículo lançador Saturno V, de três estágios, impulsionado por cinco poderosos foguetes no primeiro estágio, mais dois foguetes no segundo e no terceiro estágios. Os três estágios do foguete usavam oxigênio líquido como oxidante. Enquanto o primeiro estágio usava querosene como combustível, o segundo e o terceiro estágio usavam hidrogênio líquido. Os cinco foguetes do primeiro estágio forneciam mais de 3,5 milhões de quilograma-força de empuxo<sup>20</sup> ao conjunto, lançando-o, em apenas 2,5 minutos, à altitude de 61 km, quando foi descartado. O segundo estágio impulsionou o terceiro estágio e a nave Apollo em órbita ao redor da Terra a 180 km de altitude. O terceiro estágio lançou a nave Apollo em direção à Lua, em órbita elíptica, a velocidade de 24,5 km/h quando finalmente foi descartada (MOURÃO, 2000).

O princípio de propulsão dos foguetes é muito simples: combustível líquido reage com oxidante em reação química na câmara de combustão produzindo gases sob elevadas temperaturas e pressões que são impelidos para fora do foguete. Os gases, pela Terceira Lei de Newton, reagem sobre o foguete com força de mesma intensidade e direção, mas de sentido contrário impelindo o foguete para cima.

---

<sup>20</sup> Empuxo é a força produzida pelos propulsores, denominados de motores do foguete. O motor de um foguete é constituído de uma câmara com um bocal por onde os gases, resultantes da queima de um combustível em seu interior, são expelidos. A intensidade do empuxo depende da massa e da velocidade de saída dos gases pelo bocal.

O foguete Saturno V era composta de três partes:

1. O módulo de comando (MC) é a única parte que retornava trazendo os astronautas à Terra caindo de pára-quadras. Ali, os astronautas ficavam a maior parte da viagem.
2. O módulo de serviço (MS) era o compartimento que continha equipamentos de manutenção de vida e motores.
3. O módulo lunar era a nave de alunissagem que levava dois astronautas à superfície da Lua e também os trazia de volta à órbita da Lua para o encontro com os outros dois módulos que lá permaneciam em órbita. A figura ao lado foi adaptada de <http://www.nasm.si.edu/collections/imagery/apollo/FIGURES/FIG49a.jpg>.

#### Atividades complementares:

Sugestões de vídeos: um episódio da série “Espaçonave Terra”; *semana 03, A Chegada do Homem à Lua, Foguete Saturno V, Satélites de Comunicação e Viagem à Lua*. Estudos relacionados a esses programas: hipóteses da formação da Lua, viagens tripuladas à Lua, e órbita de satélites geoestacionários.

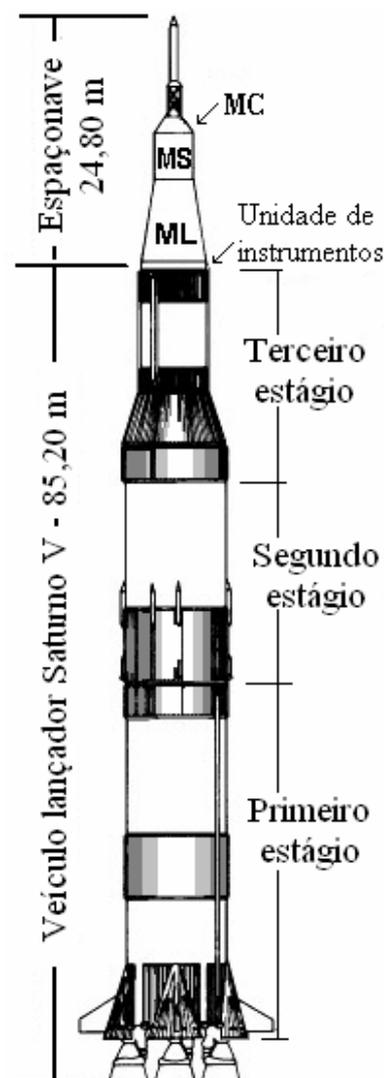
Sugestão de filme: *O céu de outubro*. Uma história que retrata o interesse de estudantes na construção de foguetes despertado com a passagem de Sputnik no céu dos EUA.

#### 4.5 - Sistema Solar

O sistema solar é formado pelo Sol, planetas, luas e anéis dos planetas, asteróides e cometas. Dentre todos os corpos que formam o sistema solar o maior deles é o Sol que tem o diâmetro 109 vezes o diâmetro da Terra e tem 99,85% de toda a massa que compõe todos os corpos do sistema solar. Estudos sobre sua composição química mostram que ele é composto, basicamente, por dois gases: hidrogênio (71%) e o hélio (27,5%). O restante, menos de 2%, é composto por outros elementos químicos.

O Sol também se destaca por sua elevada temperatura, com mais de 5000°C na sua superfície. Todo esse calor, assim como a luz e outras radiações que emite para o espaço ao seu redor, origina-se do processo de fusão termonuclear que ocorre em seu núcleo. Neste processo quatro núcleos de hidrogênio, por conta das violentas colisões devidas à alta temperatura, são fundidos formando um núcleo de hélio. O núcleo de hélio resultante tem 0,7% menos massa que os prótons iniciais que o formaram. A massa que desaparece é convertida em energia através da equação de Einstein:  $E = m.c^2$ . No interior do Sol são convertidos, a cada segundo, cinco milhões de toneladas de sua massa em energia. Desse modo, pode-se dizer que o combustível que faz o Sol brilhar (fonte de energia das estrelas) é a fusão do hidrogênio, que gradativamente vai se consumindo, transformando-se em hélio. Cálculos baseados em modelos de como as estrelas evoluem estimam que o Sol ainda mantenha esse ciclo de fusão por mais 6 bilhões de anos até esgotar todo combustível disponível (MATSUURA, 2006).

Desde o dia 24 de agosto de 2006 o número de planetas do sistema solar passou a ser oito. Plutão, considerado o nono planeta desde que foi descoberto em 1930 por Clyde Tombaugh (1906 –



1997), foi rebaixado para a categoria de “planeta anão”, na decisão tomada na Assembléia Geral da União Internacional ocorrida em Praga, capital da República Tcheca. Também fazem parte do grupo dos planetas anões o asteroide Ceres, com órbita situada entre as órbitas de Marte e Júpiter, e Eris, um planetóide descoberto em 2003, de dimensão maior que Plutão, com órbita de distância média ao Sol quase 100 vezes maior que a da Terra (REDDY, 2000).

Os planetas são classificados em *terrestres* e *jovianos*. Os terrestres, compreendidos por Mercúrio, Vênus, Terra e Marte, estão a pequenas distâncias do Sol (entre 0,387 UA e 1,524 UA), têm tamanho e massa pequenos, mas de densidade grande, são rochosos, compostos de metais pesados como silicatos, óxidos, níquel, ferro, e outros. Mercúrio e Vênus não possuem luas. A Terra possui uma lua e Marte duas. Os planetas jovianos são do tipo de Júpiter, gigantes gasosos (4 a 11 vezes o diâmetro da Terra), compostos de elementos leves como o hidrogênio, hélio, gás carbônico, metano, entre outros. É o grupo dos planetas compreendidos por Júpiter, Saturno, Urano e Netuno. Estão mais afastados do Sol (entre 5,2 UA e 30 UA), têm densidade pequena e possuem muitas luas. Sabe-se que Saturno tem 34 luas. Já Júpiter tem 61 luas conhecidas (McEWEN, 2006).

Além dos planetas, há milhares de outros corpos menores que orbitam o Sol: são os asteroides e os cometas. Os asteroides são pequenos corpos rochosos de dimensões que vão desde algumas centenas de metros de diâmetro a mais de 500 km. A maioria deles tem órbita entre as de Marte e Júpiter. Estima-se que existam mais de 100 mil com mais de 1 km de diâmetro. Além da órbita de Netuno existe uma outra região de asteroides denominada de Cinturão de Kuiper. A maioria dos asteroides tem órbitas bem determinadas, mas alguns deles, de dimensões de alguns quilômetros de diâmetro, oferecem perigo de colisão com a Terra. O risco de colisão de um desses asteroides está na taxa de aproximadamente 1 em 1 milhão de anos. A maioria dos asteroides novos que são descobertos têm órbitas instáveis (OLIVEIRA e SARAIVA, 2000).

Um dos objetos celestes que sempre chamou à atenção dos homens desde a antiguidade é o cometa, provavelmente pelo seu aspecto espetacular, destacado por sua cauda, e por prenunciar, na crença dos antigos, catástrofes sobre a humanidade. Os cometas são pequenos corpos feitos de uma mistura de gelo e poeira, que circundam o Sol em órbitas elípticas muito alongadas. No periélio se aproximam muito do Sol e parte do gelo sublima (transforma-se em gás) formando uma nuvem de gás e poeira ao redor do núcleo do cometa que continua sólido. O Sol emana partículas durante sua atividade, o vento solar, que sopra o gás e a poeira formando extensas caudas brilhantes, que podem chegar a vários milhões de quilômetro e muitas vezes são vistas a olho nu. Depois de se afastar novamente do Sol, a nuvem de gás e poeira que não foi perdida no espaço volta a condensar-se no núcleo do cometa. Acredita-se que existam bilhões de núcleos cometários em uma região que envolve todo o sistema solar situada a uma distância de 50 000 UA do Sol. Esta região é denominada de Nuvem de Oort. No final do século passado, cometas como o Halley (1986) e o Hale-Bopp (1997) proporcionaram belos espetáculos para muitos observadores em todo o mundo. No início de 2007, apareceu o cometa McNaught, que atingiu um brilho tão intenso, em alguns lugares, que foi visível durante o dia (REDDY, 2007a).

A formação de todos os objetos do sistema solar, de acordo com os resultados de pesquisas de datação da crosta terrestre, de amostras da superfície lunar e de meteoritos (fragmentos de rocha, metal ou metal rocha, caído do espaço sideral), ocorreu numa mesma época, há quase cinco bilhões de anos.

A primeira teoria científica detalhada sobre a formação do sistema solar foi elaborada pelo cientista francês Pierre Simon de Laplace (1749 – 1827) em 1796 na obra *Exposition du systeme du monde* e nos cinco volumes publicados entre 1799 e 1825 da obra *Traité de mécanique céleste*. Na forma moderna dessa teoria, o sistema solar originou-se de uma enorme nuvem primordial de gases quentes e poeira em rotação, que colapsou, por ação da gravidade. À medida que se contraía, a nuvem foi aumentando sua velocidade de rotação pela conservação do momento angular.

O fenômeno da conservação do momento angular pode ser observado com a água dentro de uma pia quando esta escorre para o ralo. Se a água tiver qualquer movimento inicial de rotação, a velocidade dessa rotação aumenta à medida que se aproxima do ralo. Fato semelhante também pode ser observado por uma bailarina que para girar mais rápido em torno de seu próprio eixo, encolhe os braços e as pernas.

Em um primeiro momento a nuvem foi se achatando, adquirindo a forma de um disco com um bojo no centro. Depois, com o processo de contração ainda em andamento, a faixa mais externa do disco adquiriu velocidade suficiente para se desprender da parte central, permanecendo em órbita desta como um anel de Saturno. Vários anéis concêntricos se formaram a partir desse disco. Os anéis mais externos foram constituídos de elementos mais leves da nuvem e os mais internos, de elementos mais pesados. Nos anéis formaram-se blocos maiores que, cada vez mais, pela ação da gravidade, capturavam o material disperso à sua volta, formando assim os planetas jovianos na parte mais externa e os terrestres na parte mais interna do disco.

O bojo central contraiu-se para formar o Sol. Devido à sua enorme massa, as partes constituintes do Sol ficaram sujeitas às forças gravitacionais muito intensas, elevando a pressão do núcleo a níveis extraordinários. Assim como a temperatura de um gás aumenta com o aumento de pressão, ao ser comprimido o núcleo do Sol aqueceu-se a ponto de dar início às reações termonucleares, que estão constantemente repondo a energia que o Sol emite. Dessa forma, o Sol começou a brilhar.

Atualmente, com modernos telescópios, tem-se observado muitas nuvens de gás interestelar em processo de formação de estrelas, em diferentes estágios, bem como nebulosas planetárias e supernovas, que são estrelas no final da vida. Essas observações dão segurança aos astrônomos de que o modelo básico de como as estrelas nascem, evoluem e morrem estão corretos.

Na descrição do sistema solar de Laplace, pela primeira vez na história, o nome de Deus não havia sido citado em uma obra científica. Isso chamou a atenção de Napoleão Bonaparte, que era engenheiro e tinha boa formação em matemática. Bonaparte chamou Laplace para o palácio imperial e, na conversa, perguntou ao cientista:

- *Monsieur Le Professeur (Senhor Professor), como foi capaz de descrever, com tamanha precisão, o movimento dos corpos celestes, sem contudo mencionar, uma vez sequer, o seu Criador?!*

- *Vossa Majestade, não precisei dessa hipótese particular.* (Rocha et al, 2002, p.125)

#### 4.6 - O Universo

Registros deixados por diversas civilizações, do Velho Mundo ocidental e oriental e das Américas no Novo Mundo, demonstram o forte interesse da humanidade em representar o Universo a partir dos fenômenos observáveis, desde os tempos mais remotos. Sabemos hoje que a maneira como representamos o Universo não foi sempre a mesma: alterou-se conforme novos conhecimentos foram adquiridos.

A Terra da estática no centro do Universo teve que dar espaço a uma nova concepção, a de uma Terra em movimento, um pequeno planeta em órbita em torno do Sol. Este novo modelo de Universo foi fortemente apoiado pelas descobertas realizadas com as primeiras observações feitas com uma pequena luneta por Galileu Galilei em 1609 e 1610. As lunetas logo foram sendo aperfeiçoadas, ganharam maiores dimensões e foram denominadas de telescópios. Foi no século XX que nosso conhecimento sobre o Universo se tornou considerável e teve um aumento sem precedentes. Em 1923 Edwin Powell Hubble demonstrou que “nebulosas espirais” são galáxias independentes da Via-Láctea quando identificou uma variável Cefeída na “nebulosa” de Andrômeda. Cefeida é um tipo de estrela que se expande e contrai periodicamente, de forma que seu brilho varia também periodicamente. Existe uma relação determinada entre o período e a luminosidade de uma Cefeida, isto é, conhecendo-se o período da variação de brilho sabe-se sua luminosidade própria e pelo seu brilho medido por equipamentos aqui na Terra calcula-se sua distância. Hubble calculou para Andrômeda a distância de 2 milhões de anos-luz (1 ano luz é a distância percorrida pela luz durante um ano viajando sempre à velocidade de 300 000 km/s – que é a velocidade da luz). Como nessa época já se sabia que nossa galáxia não tinha mais do que 200000 anos-luz de diâmetro, foi comprovada a existência de sistemas estelares independentes do nosso – o Universo ganhou novas dimensões.

No mesmo período, Hubble e seu colaborador, Milton Humanson (1891 – 1957), fotografaram os espectros luminosos de várias galáxias. O resultado foi surpreendente: as galáxias se afastam de nós com velocidades proporcionais às suas distâncias, isto é, quanto mais distante a galáxia maior é sua velocidade de afastamento.

Mas como a luz pode nos informar sobre a velocidade de uma galáxia? O fenômeno em questão é denominado de *efeito Doppler* e é facilmente notado pelo som percebido por uma pessoa ao ser emitido pela sirene de um carro. Quando a pessoa e o carro estão em repouso, um em relação ao outro, o som por ela percebido é o mesmo que a sirene emite. Mas, quando o carro se aproxima da pessoa o som que ela percebe é mais agudo do que aquele emitido pela sirene, e quando o carro se afasta, o som percebido pela pessoa é mais grave. Sons agudos têm freqüências maiores que sons graves. A luz também é um fenômeno de ondas assim como o som. As diferentes cores que percebemos com nossos olhos têm freqüências diferentes e a freqüência da luz azul é maior que a da luz vermelha. Como o espectro medido por Hubble mostrou um desvio para o vermelho, as galáxias estão se afastando. O radar utilizado pelos patrulheiros rodoviários usa o mesmo princípio através de ondas de rádio.

Podemos simular o afastamento das galáxias entre si pela analogia do balão de festa. Marcam-se alguns pontos distribuídos sobre o balão e depois ele é inflado. À medida que ele incha, os pontos se afastam, não só de um, mas de todos. O espaço entre cada um deles está aumentando. Portanto, qualquer observador, em qualquer galáxia, veria o mesmo que nós vemos: as outras galáxias se

afastando. Isso indica que o Universo está se expandindo. Voltando à analogia do balão, se pensarmos, agora, no processo inverso, isto é, esvaziarmos um balão cheio com pontos marcados na superfície, vemos que eles se aproximam uns dos outros à medida que o balão encolhe, e param uns juntos aos outros quando o balão estiver totalmente vazio.

Portanto, em algum momento do passado todas as galáxias encontravam-se reunidas em um único ponto, concentrados em uma pequenina bola muito quente que repentinamente começou a se expandir numa espécie de explosão que foi denominada de Big Bang – Grande Explosão, o instante que os cientistas consideram como o início da criação do Universo. O Big Bang também criou o próprio espaço e o tempo, e um Universo muito quente no seu início foi resfriando à medida que se expandia, transformando-se num Universo frio de dimensões gigantescas.

Como é possível determinar com boa precisão a velocidade de afastamento das galáxias pelos desvios espectrais observados e a distância que elas se encontram os astrônomos conseguem calcular o tempo de “vida” do Universo. O valor encontrado para a idade do Universo é cerca de 13 bilhões de anos.

#### **4.7 - Planetas extra-solares**

O interesse pela busca de planetas fora do sistema solar, que circundam outras estrelas, surgiu a partir de descobertas feitas pela ESA (Agência Espacial Européia) em 1983 quando detectaram a presença de uma nuvem de poeira em torno da estrela Vega, na constelação de Lira. No ano seguinte, astrônomos da NASA (Agência Espacial Norte Americana) encontraram um disco de poeira em torno da estrela Beta Pictoris, nas proximidades do Cruzeiro do Sul. Essas descobertas concretizaram a idéia da existência de sistemas planetários em outras estrelas e deu início ao campo de pesquisa que mais tem atraído os astrônomos na atualidade: a busca por planetas extra-solares.

Não é possível observar um planeta extra-solar diretamente. Os planetas não têm luz própria e são sempre muitas vezes menores que as estrelas, por isso sua detecção é sempre indireta. O primeiro e o mais usado método é o da detecção do movimento da estrela central que é puxada pelos planetas que as orbitam numa espécie de movimento de bambolê. Pela ação e reação, a mesma força com que a estrela atrai o planeta, o planeta atrai a estrela e, dessa forma, o planeta e a estrela giram em torno de um ponto comum, o centro de massa dos dois, que não é o centro da estrela, mas um pouco deslocado desse. Quando a estrela balança em nossa direção, o espectro de luz mostra desvios, devido ao efeito Doppler, já referido anteriormente, que indicam seu movimento, de aproximação quando o desvio é para o azul, e de afastamento quando o desvio é para o vermelho. Seguidas tomadas desse espectro fornecem, diretamente, o período de revolução do planeta e, indiretamente, o raio de sua órbita e sua massa com boa precisão. Essa técnica permite encontrar apenas planetas gigantes, como Júpiter, Saturno e Netuno, pois só esses planetas conseguem puxar a estrela central, através da atração gravitacional, em escala detectável. Atualmente, os equipamentos de detecção já estão tecnologicamente muito avançados ao ponto de conseguir medir a velocidade de estrelas de até 3 km/h, o que permite encontrar planetas cada vez menores. O menor planeta encontrado até hoje tem massa 7,5 massas da Terra.

No entanto, mais dois novos métodos de detecção auxiliam na busca de planetas extra-solares: o trânsito e a micro-lente gravitacional.

O método de trânsito usa o parâmetro da redução de brilho da estrela central quando o planeta passa na sua frente. Através da variação do brilho registrado determina-se o diâmetro do planeta. Em pouco tempo já foram descobertos oito planetas por este método.

Um projeto liderado pela França, com a participação do Brasil, lançou ao espaço, em 2006, em órbita da Terra, um conjunto de instrumentos de tecnologia de ponta na busca de exoplanetas. A precisão dos equipamentos para detectar as variações de brilho de uma estrela central, no trânsito de um planeta, é de uma parte em um milhão, o que promete a identificação de planetas tão pequenos ou menores que a Terra.

Pela teoria da relatividade geral, publicada por Albert Einstein (1879 - 1955) em 1915, um campo gravitacional afeta o espaço à sua volta, modificando a geometria da estrutura espaço-tempo. Ela prevê que a luz é desviada de sua trajetória original ao passar nas imediações de um corpo de grande massa, porque ela sempre segue o percurso de menor distância entre dois pontos e esse é curvado pela massa dos corpos celestes. O desvio da luz pela presença de corpos celestes foi comprovado pela primeira vez em 1919, na ocasião de um eclipse total do Sol. Um dos locais das medidas dessa verificação foi em Sobral, no Ceará. A presença do Sol modificou a configuração de estrelas distantes deixando-as ligeiramente mais afastadas do que quando observadas à noite.

A detecção por micro-lente gravitacional ocorre quando a luz de uma distante estrela de fundo curva-se na presença de um planeta e, por um breve instante, a luz daquela estrela é intensificada. O planeta comporta-se como uma lupa convergindo a luz da estrela. Esse método permitiu a recente descoberta de dois planetas, um com cinco e outro com 15 vezes a massa da Terra, com raio orbital entre o de Marte e o de Júpiter.

A pequena introdução que acabamos de fazer, sobre a descrição do Universo, mostra que sempre fomos curiosos e queremos explicar cada vez mais e melhor a vastidão que nos cerca. Sem dúvida já fizemos grandes progressos. Provavelmente algumas teorias terão que ser revisadas, refeitas ou abandonadas. Mas cada vez enxergamos mais longe, enxergamos coisas que antes apenas eram previstas por teorias saídas do papel e da cabeça de pessoas que por alguma razão conseguiram enxergar além dos olhos e pensar além dos fatos. Quem sabe em outro sistema estelar, um planeta permita condições de vida e abrigue uma espécie de seres como a nossa, uma espécie que busca um contato. Ou talvez um dia nos conscientizemos que somos únicos e especiais neste universo. Mas como dizia o astrônomo Carl Sagan (1934 - 1997), se fosse assim, seria um grande desperdício de espaço (CONTATO, 1997).

#### **Atividades complementares:**

Sugestões de vídeos: doze episódios da série “Espaçonave Terra”: *semana 7* – Gravitação Universal; *semana 25* – o Sol; *semana 43* – Júpiter; *semana 46* – Saturno; *semanas 8, 14 e 15* – sobre cometas; *semana 16* – asteróides; *semana 31* – Via-Láctea e Big Bang; *semana 47* – vida fora da Terra; *semana 36* – espaço-tempo de Einstein; *semana 37* – Plutão: planeta, lua ou asteróide?

**Questionário 04**

01. Existe uma força entre a Terra e a Lua? Se sim, qual é um agente responsável por esta força? Se não, justifique.
02. As afirmativas seguintes costumam ser feitas por pessoas que não conhecem muito bem as leis da Física. Apresente argumentos que mostrem que estas afirmativas não são corretas.
- (a) “A força de atração da Terra sobre um satélite artificial é nula, porque eles estão muito afastados de seu centro”.
- (b) “Um foguete não será mais atraído pela Terra quando ele chegar a regiões fora da atmosfera terrestre”.
03. Imagine que um satélite artificial transporte uma bomba presa por uma garra à parte externa do satélite. Se, depois que o satélite está em órbita, a garra for aberta, abandonando a bomba, ela cairá sobre a Terra? Explique.
04. Muitas pessoas costumam fazer a seguinte indagação: “Se existisse uma força de atração da Terra sobre um satélite em órbita, por que ele não cai na superfície da terrestre”? Como você responderia a esta pergunta?
05. Explique por que um satélite artificial deve ser colocado em órbita em regiões fora da alta atmosfera terrestre.
06. Quantas missões soviéticas e quantas norte-americanas tripuladas pousaram na Lua?
07. Qual foi o objetivo de pousar uma tripulação na superfície lunar? Comente.

Para saber mais sobre as missões passadas e presentes visite os seguintes sites:

<http://www.nasa.gov>

<http://www.nasm.si.edu/collections/imagery/apollo/FIGURES/Fig49a.jpg>

<http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/lunar/apollo11info.html>

**Mais sugestões de vídeos:**

*Dos bumerangues à balística: a ciência dos projéteis.* Estudo relacionado a projéteis, sua evolução até os dias de hoje e os esportes que deles se utilizam. No lançamento de satélites, a gravidade é utilizada como um estilingue. Exibido pela TV Escola.

Série *O cosmos* : 1. O campo dos cometas; 2. Fronteiras do espaço; 3. Robôs; 4 Eclipses e auroras; 5. Impacto!; 6. Extraordinária luz; 7. Via-Láctea; 8. O olho do Hubble; 9. Infinito; 10. Big-bang. (10 min cada programa) Exibida pela TV Escola. Apresentam diferentes temas astronomia e astrofísica.

Dois programas da série *Marcos da ciência e da tecnologia*: 1. A conquista da Lua e 2. A conquista espacial. (15 min cada programa) Exibidos pela TV Guaíba – Porto Alegre. Apresentam a história da corrida espacial desde a construção de foguetes à conquista da Lua a partir de arquivos, fotos e vídeos originais.

Da série *Poeira das estrelas*, exibida pela Rede Globo no Fantástico: 1. O começo de tudo; 2. O nascimento da ciência; 3. Uma nova astronomia; 4. Assim na Terra como no céu; 5. Como foi que tudo começou?; 6. O cientista esquecido; 7. O nascimento das estrelas; 8. Em busca de novos mundos; 9. A realidade sobre os ETs. Apresenta aspectos históricos, filosóficos e científicos do desenvolvimento da astronomia, desde a antiguidade a atualidade.

## REFERÊNCIAS

- BARBATTI, M. A filosofia natural à época de Newton. **Revista Brasileira de Ensino de Física** v. 21, n. 1: p. 153-160, mar. 1999.
- BELLONE, E. Galileu: universo em movimento. **Scientific American: Gênios da Ciência**, n. 5. São Paulo, 2005. Série especial da Revista Scientific American Brasil, publicada pela Ediouro.
- BÜHRKE, T. O mundo como um relógio. **Scientific American: História**, São Paulo, n. 2, p. 26 – 31, 2005a. Série especial da Revista Scientific American Brasil, publicada pela Ediouro.
- \_\_\_\_\_. O novo cosmos. **Scientific American: História**, n.2: p. 32 – 9. São Paulo, 2005b. Série especial da Revista Scientific American Brasil, publicada pela Ediouro.
- CARVALHO, G. C. C.; SOUZA, C. L. **Química: de olho no mundo do trabalho**. São Paulo: Scipione, 2004.
- CONTATO. Direção: Robert Zemeckis. Roteiro: Carl Sagan. Atores: Jodie Foster, Matthew McConaughey, Rob Lowe, Jena Malone, James Woods. 1997. 1DVD (153 min).
- DIAS, P. M. C.; SANTOS, W. M. S. S.; SOUZA, M. T. M. A Gravitação Universal. **Revista Brasileira De Ensino De Física** v.26, n. 3, p. 257-271, dez. 2004
- DOS BUMERANGUES à balística: a ciência dos projéteis. Produção: BBC Wildvision, Grã-Bretanha, 2000. (48 min). Exibido pela TV Escola.
- ESPAÇONAVE Terra. Direção: Nicolas Gessner. Realização: Fantôme Animation, França, 1996. DVD (9 min cada programa), dubl., color., série de 52 programas exibido por TV Escola.
- FREIRE JR, O. J. e MATOS, M. e VALLE, A. L. Uma exposição didática de como Newton apresentou a força gravitacional. **Física na Escola**, v.5, n. 1, p. 25-31, 2004.
- GASPAR, A. **Física: Mecânica**. São Paulo: Ática, 2002. v.1.
- GUICCIARDINI, N. Newton: pai da Física Moderna. **Scientific American: Gênios da Ciência**, n.1. São Paulo, 2005. Série especial da Revista Scientific American Brasil, publicada pela Ediouro.
- HEWITT, P. G. Física Conceitual, PortoAlegre: ARTMED, 2002.
- LINHARD, F. O gênio aristocrata. **Scientific American: História**, n. 2, p. 40 – 41. São Paulo, 2005. Série especial da Revista Scientific American Brasil, publicada pela Ediouro.
- LOMBARDI, A. M. Kepler: A Harmonia dos Astros. **Scientific American: Gênios da Ciência**, n. 8. São Paulo, 2005. Série especial da Revista Scientific American Brasil, publicada pela Ediouro.
- MATSUURA, O. Nossa estrela, o Sol. **Astronomy Brasil**, São Paulo, v.1, n.6, p.10-11, out. 2006.
- McEWEN, A. S. Cassini desvenda Saturno. **Astronomy Brasil**, São Paulo, v.1, n.3, p. 20-25, jun. 2006.
- MEDEIROS, A. Entrevista com Kepler: do seu nascimento à descoberta das duas primeiras leis. **Física na Escola**, v. 3 n. 2: p. 20-33, 2002.
- \_\_\_\_\_. Entrevista com Tycho Brahe. **Física na Escola** v. 2, n. 2, p. 20-30, 2001.
- MEDEIROS, A.; MONTEIRO, M. A. A invisibilidade dos Pressupostos e das Limitações da Teoria Copernicana Nos Livros de Física. **Caderno Catarinense de Ensino de Física** v.19, n. 1, p. 29-52, abr. 2002. Florianópolis.
- MOURÃO, R. R. F. **O livro de ouro do Universo**. Rio de Janeiro: Ediouro, 2000.
- NASA. 20.º aniversário da Apollo 11: 1969 – 1994. Disponível em: <<http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/lunar/apollo11info.html>>. Acesso em 12 out. 2007.
- \_\_\_\_\_. Veículo lançador Saturno V. <<http://www.nasm.si.edu/collections/imagery/apollo/FIGURES/Fig49a.jpg>>. Acesso em 12 out. 2007.

NEVES, M. C. D. A Terra e sua posição no universo: formas, dimensões e modelos orbitais. **Revista Brasileira de Ensino de Física** v. 22, n. 4, p. 557-567, dez. 2000a.

\_\_\_\_\_. Uma investigação sobre a natureza do movimento ou sobre uma história para a noção do conceito de força. **Revista Brasileira de Ensino de Física** v. 22, n. 4, p. 543-556, dez. 2000b.

NEWTON, I. **Principia**: princípios matemáticos de filosofia natural. São Paulo: Nova Stella, 1990, v.1. Tradução de T. Ricci; L. G. Brunet; S. T. Gehring e M. H. C. Célia.

\_\_\_\_\_. **Princípios Matemáticos, óptica, o peso e o equilíbrio dos fluídos**. São Paulo: Nova Cultural; EDUSP, 2000. Tradução de Mattos, C. L.; Miraconda, P. R.; Possas, L. (Coleção Os pensadores).

NUSSENZVEIG, M. **Curso de Física Básica: Mecânica**. São Paulo: Edgar Blücher, 1996. v.1.

O CÉU de Outubro. Direção: Joe Johnston. Produção: Larry J. Franco e Charles Gordon. Atores: Jake Gyllenhaal; Chris Cooper; Laura Dern; Chris Owen; William Lee Scott; Chad Lindberg; Natalie Canerday; Scott Miles; Randy Stripling; Chris Ellis; Elya Baskin; Courtney Fendley; David Dwyer; Terry Loughlin; Kailie Hollister; David Copeland. Universal Pictures, 1999. 1DVD (114 min), color.

O COSMOS. Produção: System TV, França, 1998. (10 min cada programa). Série de 10 programas exibidos pela TV Escola.

OLIVEIRA FILHO, K. S.; SARAIVA, M. F. O. **Astronomia e astrofísica**. Porto Alegre: UFRGS, 2000.

O MUNDO de Beakman: Ação, reação e pássaros. Realização: Columbia/sony Entertainment, EUA, 1992. DVD (20 min), dubl., color., exibido por TV Escola.

\_\_\_\_\_: Gravidade e inércia. Realização: Columbia/sony Entertainment, EUA, 1992. DVD (20 min), dubl., color., exibido por TV Escola.

POEIRA das estrelas. Direção: Frederico Neves. Texto: Marcelo Gleiser e Frederico Neves. Produção: Rede Globo, São Paulo, 2006. (10 min cada programa). Exibido por Rede Globo no Fantástico.

POR que será? O homem na Lua. Direção: Caroline Voitrici. Canadá: TV Ontário, 1997. DVD (7 min), dubl., color., exibido por TV Escola.

\_\_\_\_\_. Satélites. Direção: Caroline Voitrici. Canadá: TV Ontário, 1997. DVD (7 min), dubl., color., exibido por TV Escola.

REDDY, F. O século dos grandes cometas. **Astronomy Brasil**, São Paulo, v.2, n.13, p.40-41, maio. 2007a.

\_\_\_\_\_. O julgamento de Plutão. **Astronomy Brasil**, São Paulo, v.1, n. 8, p. 60-61, dez. 2006.

\_\_\_\_\_. Uma introdução aos cometas. **Astronomy Brasil**, São Paulo, v.2, n.13, p. 36-37, maio. 2007b.

RAMALHO, R.J.; NICOLAU, G. F.; TOLEDO, A. T. S. **Os fundamentos da Física: Mecânica**. 8. ed. São Paulo, 2003. v.1.

ROCHA, J. F.; PONCZEK, R. I. L.; PINHO, S. T. R.; ANDRADE, R. F. S.; FREIRE JR, O.; FILHO, A. R. **Origens e evolução das idéias da Física**. Salvador: Edufba, 2002

SILVA, D. N. **Física**. 6. ed. São Paulo: Ática, 2004.

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

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

TALCOTT, R. McNaught, o grande cometa de 2007. **Astronomy Brasil**, São Paulo, v. 2, n. 13, p.46-51, maio. 2007.

TEIXEIRA, E. S.; FREIRE, O. A Ciência galileana: uma ilustre desconhecida. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis. v.16, n. 1: p. 35-42, abr. 1999.

WHITE, M. **Rivalidades produtivas**: disputas e brigas que impulsionaram a ciência e a tecnologia. Rio de Janeiro: Record, 2003.

## **APÊNDICE B – Fichas de Audivisuais**

**Ficha 1 - As fases da Lua e os eclipses**

Da série *Espaçonave Terra* :

Semana 41

Semana 11

1. Para um observador em São Leopoldo (RS) a Lua na fases crescente é vista no céu como um C ou um D?
2. Vistos da Terra, o Sol e a Lua têm mesmo tamanho? Estão à mesma distancia?
3. Em que fase da Lua ocorre um eclipse do Sol?
4. Em que fase da Lua ocorrem os eclipses lunares?
5. Todo mês ocorre um eclipse lunar e um eclipse solar? Explique por que.

**Ficha 2 - Modelo de Copérnico 06, 18 e 21**

Da série *Espaçonave Terra* :

Semana 06 laçada de Marte

Semana 18 Laçada de Netuno

Semana 21 Modelo de Copérnico e Marte

- 1) Os planetas estão todos na mesma distância ao Sol? Todos têm a mesma velocidade orbital? Os planetas mais afastados do Sol têm velocidade orbital maior ou menor?
- 2) Todos os planetas realizam o movimento retrógrado quando observados da Terra? Se não, quais não o fazem?
- 3) Há diferenças na explicação do movimento retrógrado entre os modelos de Ptolomeu e de Copérnico? Explique em poucas palavras como cada um explica esses movimentos.

**Ficha 3 - As descobertas de Galileu**

Da série *Espaçonave Terra* :

Semana 31 Via-láctea

Semana 20 Júpiter

Semana 26 O Sol

Semana 28 Vênus

1. O que é a Via-Láctea e de que ela é formada?
2. O que Galileu viu quando observou o planeta Júpiter com sua luneta?
3. O Sol possui algum tipo de movimento? Como se pode saber sobre isso?
4. Qual a aparência que Vênus mostra quando observado com luneta? Por que ele tem essa aparência?

#### **Ficha 4 - Os satélites e a conquista da Lua**

Da série: *Gênios da ciência e da Tecnologia* – a conquista espacial (14')

Da série *Espaçonave Terra* :semana 03 a Lua

Chegada do Homem à Lua: doc BBC (29')

Foguete Saturno V: doc discovery (7')

Da série: *Por quê será?* 1. O Homem na Lua (7'); 2. Satélites (7')}

1. Para um satélite em órbita em torno da Terra ainda existe força de atração gravitacional?
2. Por que os satélites devem ser colocados em órbitas fora da atmosfera terrestre?
3. A Lua tem seu próprio campo gravitacional? Se sim, ele é maior, menor ou igual ao da Terra?

#### **Ficha 5 - O sistema solar**

Da série *Espaçonave Terra* :

Semana 07: Gravitação Universal

Semana 25: O Sol

Semana 43: Júpiter

Semana 46: Saturno

Semanas 8, 14 e 15: cometas

Semana 16: asteróides

Semana 37: Plutão: planeta, lua ou asteróide?

Semana 31: Via-láctea e Big Bang

Semana 47: vida fora da Terra

Semana 07: o espaço-tempo de Einstein

1. Qual o combustível que faz o Sol brilhar e irradiar calor?
2. De que são formados os anéis de Saturno?
3. Quais dos planetas do sistema solar possuem anéis?
4. Qual a composição dos cometas?
5. Por que o cometa Halley tem esse nome?
6. O que é teoria do big bang?

## **APÊNDICE C – Roteiros e Ilustrações de Experimentos**

### 1.1 - Roteiro para determinação da circunferência da Terra

Vamos repetir a experiência de Eratóstenes na determinação da circunferência da Terra. Para isso, um observador em Tabatinga, no Amazonas, observou que uma estaca não fazia nenhuma sombra, mesmo com Sol a céu aberto, às 13h e 54 min, horário de Brasília, no dia 10 de março. Neste mesmo dia e horário, aqui em São Leopoldo, uma estaca vertical fazia sombra e os raios solares chegaram formando um ângulo de  $30^\circ$  com a estaca.

Verificando em um globo, com escala 1:42000000, as duas cidades estão afastadas em 8,0 cm, em linha reta sobre o globo.

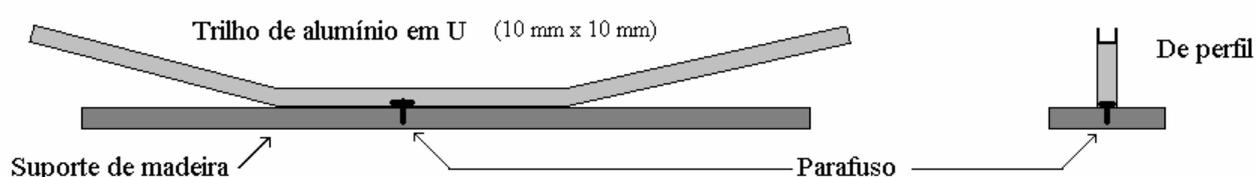
- qual é a distância entre essas cidades em km?
- Qual a circunferência da Terra?

### 1.2 - Atividade de fixação

Sabe-se que no dia do equinócio o Sol está sobre a perpendicular da linha do equador. Foi também no dia do equinócio que um grupo de estudantes de uma cidade do Paraná, no meridiano  $50^\circ$ , observou a sombra de uma estaca colocada verticalmente, e menor sombra verificada resultou de  $24^\circ$  o ângulo entre a direção dos raios solares e a estaca. Em um globo, com escala de 1:50 000 000, a cidade está separada por 5,4 cm da linha do equador, seguindo-se o meridiano.

- qual é a distância da linha do equador à cidade referida do Paraná?
- Qual é a circunferência da Terra?

## 2 - Ilustração do trilho para estudos



## 3. Sistema de propulsão de foguetes

