

MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



**DO GEOCENTRISMO À GRAVITAÇÃO UNIVERSAL: PROPOSTA E
IMPLEMENTAÇÃO DE UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O
ENSINO MÉDIO**

Rodrigo de Almeida Simon

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação PROFIS – São Carlos (PPG – PROFIS – São Carlos) no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador:
Prof. Dr. Márlon Caetano Ramos Pessanha

São Carlos
Agosto de 2016

Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da Biblioteca Comunitária UFSCar
Processamento Técnico
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S594g Simon, Rodrigo de Almeida
Do geocentrismo à gravitação universal : proposta e
implementação de uma sequência didática para o ensino
médio / Rodrigo de Almeida Simon. -- São Carlos :
UFSCar, 2016.
164 p.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de
São Carlos, 2016.

1. Ensino de física. 2. Sequência didática. 3.
Gravitação universal. I. Título.

DO GEOCENTRISMO À GRAVITAÇÃO UNIVERSAL: PROPOSTA E
IMPLEMENTAÇÃO DE UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ENSINO
MÉDIO

Rodrigo de Almeida Simon

Orientador:

Prof. Dr. Márlon Caetano Ramos Pessanha

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação PROFIS – São Carlos (PPG – PROFIS – São Carlos) no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia
Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física

Folha de Aprovação

Assinaturas dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato Rodrigo de Almeida Simon, realizada em 18/08/2016:

Prof. Dr. Marlon Caetano Ramos Pessanha
UFSCar

Profa. Dra. Luciana Massi
IBILCE/UNESP

Prof. Dr. Paulo Sergio Bretones
UFSCar

São Carlos
Agosto de 2016

**Dedico esta dissertação à Paula Cristina,
minha esposa e companheira.**

Agradecimentos

Ao meu orientador, professor Márton Pessanha, pelo empenho e ensinamentos.

À professora Ducinei Garcia e ao Nelson Studart, pelos ensinamentos e dedicação ao polo 18 do MNPEF.

Aos professores da banca examinadora, Luciana Massi e Paulo Bretones, pela participação na defesa e pelas sugestões dadas para o enriquecimento do trabalho.

Ao professor Gustavo Iachel, pela leitura do trabalho e envio de indicações para melhoria do texto da dissertação.

Aos professores do curso de mestrado, Gustavo Rojas, Marcel Novaes, Paulo César, Priscila Azevedo e Carlos Olivieri, pelos conhecimentos compartilhados.

Aos colegas de turma, Bruno, Carina, Fernando, Herbert, João, Nivaldo, Renato, Renan e James pelo companheirismo e incentivo nesse percurso.

Aos meus avós José e Cecília, Francisco e Helena, aos meus pais Marco Antonio e Maria Isabel, pela educação que tive e por todo incentivo aos estudos.

A todos meus familiares, pela privação de momentos de convivência devido ao tempo destinado à realização das atividades do curso de mestrado.

Às equipes gestoras, funcionários e colegas professores da EE Professor José Fernandes, EE Chanceler Raul Fernandes e Colégio Adventista de Piracicaba.

E à Capes, pelo apoio financeiro.

RESUMO

DO GEOCENTRISMO À GRAVITAÇÃO UNIVERSAL: PROPOSTA E IMPLEMENTAÇÃO DE UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ENSINO MÉDIO

Rodrigo de Almeida Simon

Orientador:

Prof. Dr. Márlon Caetano Ramos Pessanha

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação PROFIS – São Carlos (PPG – PROFIS – São Carlos) no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

O presente trabalho se constitui da elaboração e implementação de um Produto Educacional que buscou, através de uma sequência didática (SD), abordar a temática geocentrismo, heliocentrismo e gravitação universal em um tratamento menos clássico, trazendo metodologias e recursos didáticos diversificados. Além disso, pretendeu-se o favorecimento da aprendizagem dos alunos envolvidos na aplicação da SD *Movimentos do Sistema Solar* pelo professor pesquisador, assim como pelos demais professores que de alguma maneira utilizarem, em suas aulas, atividades propostas nesse Produto Educacional. Nesta dissertação, apresentou-se uma introdução ao estudo desenvolvido e uma concisa exposição teórica sobre a evolução dos modelos Geocêntrico e Heliocêntrico, até o advento da Gravitação Universal de Newton; discutiu-se sobre os fundamentos teórico-metodológico considerados no planejamento das atividades constituintes da SD, os quais baseiam-se, principalmente, nos princípios de desenhos didáticos descritos por Méheut e Psillos: *princípios epistemológicos* (uso da História da Ciência (HC) no ensino); *princípios psicocognitivos* (aprendizagem a partir dos conhecimentos prévios e como evolução de modelos mentais); *princípios didáticos* (ensino por modelização, uso da HC no ensino e uso pedagógico das Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC)) e *princípios socioculturais* (trabalho conjunto e interativo entre os docentes e os alunos e uso pedagógico da TIC). Ainda, apresentou-se o contexto, o relato da implementação do Produto Educacional como parte de uma disciplina eletiva do Ensino Médio Integral e as considerações relativas a todo percurso desse trabalho de mestrado, bem como os materiais do professor, dos alunos e de apoio à aplicação da SD.

Palavras-chave: Ensino de Física, Sequência didática, Gravitação universal

São Carlos
Agosto de 2016

ABSTRACT

FROM GEOCENTRISM TO UNIVERSAL GRAVITATION: PROPOSAL AND IMPLEMENTATION OF A DIDACTIC SEQUENCE FOR HIGH SCHOOL

Rodrigo de Almeida Simon

Supervisor:

Prof. Dr. Márlon Caetano Ramos Pessanha

Abstract of master's thesis submitted to Postgraduate Studies (PROFIS) – São Carlos (PPG – PROFIS – São Carlos) in the Professional Master's Degree in Physics Teaching (MNPEF), in partial fulfillment of the requirements for the degree Master in Physics Teaching.

This work is formed by the development and implementation of an Educational Product, which by means of a didactic sequence (DS), aimed to address geocentrism, heliocentrism and universal gravitation topics in a less classical approach, bringing diversified methodologies and didactic resources. In addition, we aimed to benefit the learning of students engaged in the use of the DS “*Solar System Movements*” by the teacher-researcher, as well as by other professors who, somehow, use the activities proposed in this Educational Product in their classes. In this term paper, we presented an introduction to the developed study and an accurate theoretical exposition on the development of Geocentric and Heliocentric models up to the arrival of Newton's Universal Gravitation; we discussed about theoretical-methodological basis considered in DS activities planning, which are mainly based on the didactic drawings principles described by Méheut and Psillos: *Epistemological principles* (applying History of Sciences (HS) in teaching); *cognitive psychology principles* (learning from prior knowledge and as an evolution of mental models); *didactic principles* (learning by modelling, the HS application in teaching and pedagogical use of Information and Communication Technologies (ICT)) and *sociocultural principles* (an interactive and joint work between teachers and students and pedagogical use of ICT). We also presented context, a report on the implementation of the Educational Product as part of an elective subject of Full-time High School and considerations on the entire progress of this Master thesis, as well as the professor, students' and support materials for the use of DS.

Key words: Physics Teaching, Didactic sequence, Universal gravitation

São Carlos
August 2016

Lista de Figuras

Figura 01: Diagrama de um movimento elíptico gerado por movimentos circulares	09
Figura 02: O modelo de Ptolomeu com o equante	10
Figura 03: Posições relativas de Vênus em relação à Terra e ao Sol	14
Figura 04: Esquema representativo do losango didático	25
Figura 05: Esquema representativo do processo de aprendizagem e as noções de modelo conceitual e modelos mentais	31
Figura 06: Esquema geral da sequência didática	40
Figura 07: Vista do <i>site</i> oficial do <i>software Stellarium</i>	42
Figura 08: Imagem capturada no simulador <i>Stellarium</i> (07 horas e 15 min do dia 15/02/15)	43
Figura 09: Imagem capturada no simulador <i>Stellarium</i> (09 horas e 31 min do dia 15/02/15)	43
Figura 10: Imagem capturada no simulador <i>Stellarium</i> (16 horas e 30 min do dia 15/02/15)	44
Figura 11: Imagem capturada no simulador <i>Stellarium</i> (18 horas do dia 15/02/15)	44
Figura 12: Imagem capturada no simulador <i>Stellarium</i> (19 horas do dia 15/02/15)	44
Figura 13: Tela inicial da simulação – Modelo Ptolomaico	47
Figura 14: Tela inicial da animação – Heliocentrismo	48
Figura 15: Tela do vídeo <i>Heliocentrismo</i> (ABC da Astronomia – TV Escola)	48
Figura 16: Tela inicial da simulação – Leis de Kepler	50
Figura 17: Tela do vídeo <i>Kepler</i> (ABC da Astronomia – TV Escola)	50
Figura 18: Vídeo <i>Astros da Física</i> – INPE	51
Figura 19: Vista do acesso ao simulador <i>Meu Sistema Solar</i> do PhET	52
Figura 20: Vista da simulação <i>Meu Sistema Solar</i> do PhET	53
Figura 21: Matriz curricular do ensino médio integral	56
Figura 22: Digitalização do desenho confeccionado pela aluna A10-1D ...	60
Figura 23: Digitalização dos desenhos confeccionados pelos alunos	

A29-3A (à esquerda) e A30-3B (à direita)	61
Figura 24: Digitalização do desenho confeccionado pelo aluno A01-1A ...	61
Figura 25: Digitalização dos desenhos confeccionados pelos alunos	
A01-3A (à esquerda) e A02-3B (à direita)	62
Figura 26: Digitalização do desenho confeccionado pela aluna A11-2A ...	62
Figura 27: Digitalização do desenho confeccionado pela aluna A31-3B ...	63
Figura 28: Digitalização dos desenhos confeccionados pelos alunos	
A27-2C (à esquerda) e A16-2B (à direita)	63
Figura 29: Digitalização do desenho confeccionado pela aluna A22-2B ...	63
Figura 30: Digitalização do desenho confeccionado pelo aluno A15-2B ...	64
Figura 31: Digitalização dos desenhos confeccionados pelos alunos	
A18-2B (à esquerda) e A05-1C (à direita)	64
Figura 32: Digitalização de produção muito semelhante à folha de 8	
alunos	66
Figura 33: Digitalização de produção entregue pela aluna A08-1D	67
Figura 34: Digitalização de produção entregue pelo aluno A02-1A	67
Figura 35: Digitalização de produção entregue pelo aluno A02-1A	68
Figura 36-A: Digitalização da resposta entregue pela aluna A12-2A	69
Figura 36-B: Digitalização da resposta entregue pela aluna A17-2B	69
Figura 36-C: Digitalização da resposta entregue pela aluna A16-2B	69
Figura 37: Professor de Filosofia entregando material da atividade	
(à esquerda) e reforçando as instruções da atividade (à direita)	71
Figura 38: Alunos lançando bolas de gude sob folha de isopor	72
Figura 39: Digitalização da conclusão do grupo 1	72
Figura 40: Digitalização da conclusão do grupo 2	73
Figura 41: Digitalização da conclusão do grupo 3	74
Figura 42: Digitalização da conclusão do grupo 4	74
Figura 43: Digitalização da conclusão do grupo 5	75
Figura 44: Aluna lendo texto sobre o método científico	75
Figura 45: Alunos realizando a confecção dos quadros comparativos	77
Figura 46: Tabela fornecida aos alunos (Sonda Espacial)	80
Figura 47: Digitalização da confecção da trajetória da Sonda Espacial	
construída pelo aluno A26-2C	81

Figura 48: Digitalização da confecção da trajetória da Sonda Espacial construída pela aluna A14-2A	81
Figura 49: Digitalização das respostas às questões 3 e 4 pelo aluno A26- 2C	82
Figura 50: Imagem do arquivo entregue pelos alunos A02-1A e A20-2B...	84
Figura 51: Imagem da produção entregue pelo aluno A19-2B	84
Figura 52-A: Imagem da capa da produção entregue pelas alunas A16- 2B e A22-2B	85
Figura 52-B: Imagens da produção das alunas A16-2B e A22-2B	85
Figura 53: Alunos selecionando corpos (à direita) e discutindo parâmetros (à esquerda) para a realização da simulação	86
Figura 54: Alunos observando a simulação	87
Figura 55: Imagem da produção entregue pela aluna A07-1D	87

Lista de Quadros

Quadro 1: Síntese dos trabalhos estudados.....	19
Quadro 2: Princípios de <i>design</i> da sequência didática.....	38
Quadro 3: Questões da atividade 3.....	43
Quadro 4: Códigos de identificação dos alunos.....	58
Quadro 5: Quadro comparativo entregue pelos alunos A02-1A e A22-2B....	77
Quadro 6: Quadro comparativo entregue pelos alunos A29-3A e A15-2B....	77
Quadro 7: Quadro comparativo entregue pelos alunos A13-2A e A21-2B....	78

Sumário

Apresentação.....	1
Capítulo 1 - Introdução.....	3
1.1 Objetivos	6
Capítulo 2 Do geocentrismo à gravitação universal: o Ensino de Física.....	8
2.1 Conceitos básicos e breve descrição histórica	8
2.2 Documentos oficiais.....	16
2.3 Revisão da literatura.....	18
Capítulo 3 Embasamento teórico-metodológico da Sequência Didática (SD) .	24
3.1 Sequências de Ensino e Aprendizagem (SEA).....	24
3.1.1 Princípios de <i>design</i>	27
3.2 Modelos Mentais, Modelos Conceituais e Aprendizagem Significativa ..	28
3.2.1 Modelização no Ensino de Física.....	31
3.3 História da Ciência e seus usos na Educação	32
3.4 O uso pedagógico das TIC	35
Capítulo 4 Desenvolvimento da Sequência Didática (SD).....	37
Capítulo 5 Implementação da SD: contexto e relato.....	54
5.1 Contexto da implementação da SD	54
5.2 Relato da implementação da SD	59
Capítulo 6 Considerações	89
6.1. Sobre os princípios de design.....	89
6.2. Sobre os objetivos	90
6.3. Sobre trabalhos futuros	90
Referências.....	91
Apêndice A – Sequência didática.....	95
Apêndice B – Roterio das aulas	104
Apêndice C – Roteiro teatral	118
Anexo A – Textos sugeridos aos alunos	138
A.01 Claudius Ptolomeus	139
A.02 Nicolaus Copernicus	142
A.03 Galileo Galilei	145
A.04 Tycho Brahe.....	151
A.05 Johannes Kepler	153
A.06 Isaac Newton	155
A.07 Força Gravitacional	157
Anexo B – Ementa da disciplina eletiva.....	160

Apresentação

Ingressei na graduação em Licenciatura Plena em Física na Faculdade de Ciências (FC) da Universidade Estadual Paulista (UNESP/Campus de Bauru – SP) no ano de 2003. Iniciei minhas atividades docentes no ano de 2006 pela Diretoria Regional de Ensino de Bauru, onde atuei como professor substituto nas disciplinas de Física, Matemática e Química no Ensino Médio, bem como em projetos de recuperação paralela em Matemática no Ensino Fundamental.

Durante a graduação, também participei de atividades ligadas a processos de ensino e aprendizagem em projetos de extensão universitária, ministrando aulas de Física em cursos pré-vestibulares e aulas de Matemática para educação de jovens e adultos (EJA), vindo a concluir a Licenciatura em Física em julho de 2008.

No segundo semestre de 2008 e no ano de 2009, cursei disciplinas do curso de Tecnologia em Sistemas Biomédicos na Faculdade de Tecnologia Fatec – Bauru, sendo monitor das disciplinas de Física I e Física II do mesmo curso durante o ano de 2009.

Em 2010, fui aprovado em concurso para Professor de Educação Básica no componente curricular de Física da Secretaria Estadual de Educação de São Paulo (SEE-SP), tendo escolhido para lecionar, a partir de 2011, uma unidade escolar no município de Rio Claro, onde minha noiva (hoje esposa) já possuía cargo efetivo de professora pela Secretaria Municipal de Educação. Tive atribuídas, nesse ano, 12 aulas de Física e 12 aulas de Química no Ensino Médio regular, período noturno.

No primeiro semestre de 2011, buscando aprimoramento profissional, realizei uma disciplina do curso de Mestrado Profissional em Ensino de Ciências Exatas do Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências Exatas (PPGECE) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) e participei como professor bolsista do Programa Observatório da Educação UFSCar/CAPES: “Produtos educacionais no mestrado profissional em Ensino de Física e Matemática...rede de pesquisa participante Escola-Universidade”, com carga horária de 12 horas semanais em atividades, principalmente, de escrita de relatos de sala de aula. Tal programa realizou-se sob responsabilidade do

Departamento de Metodologia de Ensino (DME) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar).

Ainda visando ao aprimoramento profissional, procurei ingressar como aluno regular de mestrado e, então, em agosto de 2013 iniciei o curso no Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), polo 18, vinculado ao Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências Exatas (PPGECE) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), data na qual, eu, além de possuir o cargo pela SEE-SP, também ministrava aulas de Física em colégio particular na cidade vizinha de Piracicaba – SP.

Inicialmente pretendia criar, como parte das atividades do mestrado, um Produto Educacional baseado fundamentalmente em minha prática docente no Ensino Médio regular noturno, através de uma Sequência Didática que contemplasse as orientações curriculares, porém que fugisse do tratamento mais clássico sobre a temática geocentrismo, heliocentrismo e gravitação universal, a qual se relaciona à Astronomia, tema geral em que também possuo muito interesse de aprofundamento pessoal.

Todavia, essa intenção não se viabilizou exatamente desse modo, pois durante meu percurso profissional passei a exercer a função de professor de Física no Programa de Ensino Integral (PEI) da SEE-SP, em uma escola onde, devido ao modelo, não poderia implementar a sequência didática em planejamento nas aulas de Física do currículo comum, mas tal implementação se tornou viável no decorrer de uma disciplina eletiva voltada à Astronomia, que foi oferecida em parceria com o professor de Filosofia.

Após esta apresentação, temos em nosso trabalho uma introdução ao estudo desenvolvido (capítulo 1). Adiante, no capítulo 2, fazemos uma breve exposição teórica sobre a evolução dos modelos Geocêntrico e Heliocêntrico, até o advento da Gravitação Universal de Newton.

Já no capítulo 3, apresentamos um olhar ao embasamento teórico-metodológico considerado para a elaboração de nossa SD. O quarto capítulo emprega a descrição do planejamento de nossa SD, seguindo os princípios de *design* das SEA, inspirada em Méheut e Psillos (2004).

No capítulo 5, apresentamos o contexto e os relatos, com os dados obtidos na implementação de nossa SD. Para finalizar a dissertação, temos as considerações finais no capítulo 6.

Capítulo 1

Introdução

Minha experiência na docência tem possibilitado notar que o ensino de Física se depara com diversas problemáticas que dificultam o processo de aprendizagem. Como exemplo, tem-se a carga horária reduzida para a disciplina; por parte dos alunos, a falta de conhecimentos prévios necessários para a adequada operacionalização matemática e as dificuldades de leitura e interpretação de textos e enunciados de questões, além da utilização de abordagens pedagógicas unidirecionais que, segundo Freire (2011)¹, se baseiam em narrativas e tem o educador como sujeito da ação. Estes e tantos outros problemas permeiam todo o sistema de ensino atual.

Em análise das relações entre educadores e educandos na escola em quaisquer níveis ou até mesmo fora dela, Freire (2011) nota uma característica essencial e marcante: a de serem relações fundamentalmente narradoras. Nessa relação, o educador aparece no papel central, como seu real agente, cuja tarefa é encher os educandos do conteúdo de sua narração, o qual é retalho da realidade, desconectado da totalidade e que somente pela narrativa ganharia significação aos educandos (FREIRE, 2011).

Nesse contexto, o conteúdo da narração docente torna-se objeto de memorização mecânica por parte dos educandos e:

[...] Mais ainda, a narração os transforma em vasilhas, em recipientes a serem “enchidos” pelo educador. Quanto mais vá “enchendo” os recipientes com seus “depósitos”, tanto melhor educador será.

[...] Em lugar de comunicar-se o educador faz “comunicados” e depósitos que os educandos, meras incidências, recebem pacientemente, memorizam e repetem. [...] (FREIRE, 2011, p.80)

Em concordância a esses fatos, Moreira (2011a) infere que na escola, em nível básico ou superior, o professor supõe o que os alunos devam saber e oferece a eles os conhecimentos de maneira que:

Os alunos copiam tais conhecimentos como se fossem informações a serem memorizadas, reproduzidas nas avaliações e esquecidas logo após. Esta é a forma clássica de ensinar e aprender, baseada na narrativa do professor e na aprendizagem mecânica do aluno (MOREIRA, 2011a, p.2).

¹ Livro escrito, em 1967/68, no Chile e publicado pela primeira vez no Brasil em 1974.

Moreira (2011a) reflete, ainda, sobre como as teorias de aprendizagem e as conclusões da pesquisa básica em ensino não chegam à sala de aula:

Não se trata aqui de culpar psicólogos educacionais, educadores, pesquisadores, professores e alunos, mas o fato é que o modelo da narrativa é aceito por todos – alunos, professores, pais, a sociedade em geral – como “o modelo” e a aprendizagem mecânica como “a aprendizagem”. Na prática, uma grande perda de tempo. (MOREIRA, 2011, p.2)

Podemos observar, na leitura do Currículo do Estado de São Paulo, sobre o Ensino de Física, a Lei de Diretrizes e Bases (LDB) e os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) que:

De certa forma, a sinalização iniciada com a Lei de Diretrizes e Bases de 1996 e orientada pelos Parâmetros Curriculares é explícita quanto à direção desejada. [...]. O ensino de Física vem deixando de se concentrar na simples memorização de fórmulas ou repetição automatizada de procedimentos, em situações artificiais ou extremamente abstratas. Existe hoje entre os educadores a consciência de que é preciso dar um significado ao que é ensinado nas aulas de Física, [...]. Ao mesmo tempo em que essa consciência aflora frente a tantas solicitações, dimensões e recomendações a serem simultaneamente contempladas, os professores têm se sentido perdidos, sem os instrumentos necessários para as novas tarefas, sem orientações mais concretas em relação ao que fazer. (SÃO PAULO, 2008, p.43)

Corroborando as situações descritas anteriormente, percebe-se que a Física, em grande parte das ocasiões, é entendida pelos educandos como simples aplicação de fórmulas. Como salientado por Veit e Teodoro (2002), os alunos acreditam que, para obter sucesso na disciplina de Física, é indispensável a memorização mecânica de fórmulas cuja origem e finalidade são desconhecidas por eles.

Segundo Greca e Moreira (1998, p.115), apesar de esforços por parte dos professores, muitas vezes os alunos não conseguem construir modelos mentais, ou seja, não conseguem elaborar representações em sua estrutura cognitiva que sejam consistentes com as teorias científicas compartilhadas e com os modelos conceituais, ou seja, que sejam consistentes com o conhecimento científico previamente didatizado, compartilhado nos livros didáticos, na prática docente, entre outros e que permita aos alunos compreender os fenômenos físicos em conformidade, restando aos alunos memorizar fórmulas e definições que não lhes fazem sentido.

Dessa maneira, nosso trabalho teve o intuito de elaborar e implementar um Produto Educacional que procura dar contribuições na ampliação do

repertório de estratégias de ensino e que pretenda dar significado físico às descrições matemáticas, teorias e modelos científicos, minimizando a dicotomia entre relações matemáticas e fenômenos físicos que estas descrevem, em especial, sobre o tema *Sistema Solar e seus movimentos (Gravitação Universal)*, normalmente tratado no 1º ano do Ensino Médio.

Para tanto, foi elaborada uma sequência didática (SD) inspirada nas Sequências de Ensino e Aprendizagem (SEA) de Méheut e Psillos (2004), que colaborasse para o processo de ensino e aprendizagem sobre os movimentos dos corpos celestes, compreendidos no tema “Sistema Solar”, parte integrante do Tema Estruturador “Universo, Terra e Vida” dos Parâmetros Curriculares Nacionais.

A temática escolhida, de acordo com o Currículo do Estado de São Paulo (2012, p.107-108), abrange a expectativa de desenvolvimento de habilidades como:

- Descrever, representar e comparar os modelos geocêntrico e heliocêntrico do Sistema Solar;
- Debater e argumentar sobre a transformação da visão de mundo geocêntrica em heliocêntrica, relacionando-a às mudanças sociais da época;
- Identificar campos, forças e relações de conservação para descrever movimentos no sistema planetário e de outros astros, naves e satélites;
[...]
- Identificar e interpretar situações, fenômenos e processos conhecidos, envolvendo interações gravitacionais na Terra e no Universo;
- Compreender as interações gravitacionais entre objetos na superfície da Terra ou entre astros no Universo, identificando e relacionando variáveis relevantes nessas interações;
[...]
- Reconhecer e utilizar a conservação da quantidade de movimento linear e angular em interações astronômicas para fazer previsões e solucionar problemas.

Para Máximo (2010), a Gravitação Universal é uma lei fundamental da Física que descreve os movimentos dos corpos celestes como planetas, cometas, entre outros, e possui uma aplicação moderna relevante na realização de cálculos relativos a lançamentos de satélites artificiais com utilidades no cotidiano. Considerando isso, os autores destacam que

Alguns textos e professores costumam omitir de suas programações o estudo da Gravitação Universal. Outras vezes, este assunto é tratado de maneira extremamente sucinta, limitando-se a enunciar a lei da Gravitação Universal, como se ela fosse um simples postulado matemático, sem a menor preocupação de apresentar sua elaboração e suas aplicações. (MÁXIMO, 2010, p.196)

A SD elaborada tem como viés central os princípios de *design* da modelização², do uso da história da ciência no ensino, do uso de situações-problema, do uso pedagógico das tecnologias da informação e comunicação (TIC) e da valorização do conhecimento prévio, este último apoiando-se na concepção da *Aprendizagem Significativa* do teórico David Ausubel. Assim, por exemplo, para o levantamento dos conhecimentos prévios dos alunos, planejou-se atividades que buscaram evidenciar os modelos explicativos dos alunos para o Sistema Solar, modelos estes relacionados com suas representações mentais (modelos mentais), as quais, no processo de ensino e aprendizagem, espera-se que tenham alguma semelhança com os modelos histórico e científico tratados (geocentrismo e heliocentrismo).

1.1 Objetivos

Observado o que foi descrito anteriormente, delimitou-se como objetivo principal do nosso estudo a elaboração um Produto Educacional que evitasse o tratamento mais clássico sobre a temática geocentrismo, heliocentrismo e gravitação universal.

Além disso, temos como objetivos secundários o favorecimento da aprendizagem dos alunos envolvidos na implementação desse produto pelo professor pesquisador e pelos demais professores que, de alguma maneira utilizem, em suas aulas, atividades propostas em nosso trabalho e a própria apresentação do relato e dos dados obtidos pela primeira implementação do Produto Educacional.

Pretende-se que o professor que se inspirar na SD construída neste trabalho norteie-se quanto às possibilidades de tratar o tema abordado de acordo com sua realidade, a partir de diversas ferramentas didáticas apresentadas e, dentro de sua implementação, propicie ao aprendiz o papel central em sua

² Em nosso trabalho, o termo 'modelização' é utilizado com o significado de processo em que se assume que um ensino de ciência mais autêntico deve envolver atividades de estudo, validação e elaboração de modelos explicativos.

aprendizagem relativa aos fenômenos físicos, seus modelos de funcionamento e suas descrições matemáticas.

Capítulo 2

Do geocentrismo à gravitação universal: o Ensino de Física

2.1 Conceitos básicos e breve descrição histórica

Nesta seção, traremos uma breve descrição sobre a evolução histórica dos conceitos abordados nos tópicos de Astronomia que escolhemos para serem trabalhados em nossa Sequência Didática, isto é, abordaremos sucintamente o desenvolvimento histórico dos modelos de mundo a partir do Geocentrismo até o advento da Gravitação Universal de Newton. Desse modo, não realizaremos um estudo dos modelos de mundo propostos anteriormente ao modelo ptolomaico.

Para Nussenzveig (2013), a ideia mais simples e provavelmente a mais antiga sobre a dinâmica celeste consistiria em imaginar a esfera celeste como sendo uma esfera material à qual estão presos os corpos celestes, e que se encontra em rotação uniforme em torno da Terra.

Perpassando toda cultura grega e seus astrônomos, chegamos à Cláudio Ptolomeu (século II d.C.) que, segundo Caniato (2013) e Oliveira e Saraiva (2013), foi o último grande astrônomo grego. De acordo com Ponczek (2011), possivelmente teria nascido no Alto Egito e passou a maior parte de sua vida em Alexandria. Ptolomeu teve sua obra magna alicerçando a Astronomia-Matemática até o século XVII, intitulada *He Magiste Sintaxys* (A maior Compilação), passou a ser chamada de *Almagest* (Almagesto) após ser muito difundida pelos árabes por *Al Majisti*. “Durante toda a Idade Média a maior contribuição no estudo da Astronomia foi dada pelos árabes” (CANIATO, 2013, p.33).

Segundo Ponczek (2011), o modelo de Ptolomeu concordava integralmente com a Mecânica Aristotélica, fundamentado exclusivamente na hipótese geocêntrica/geostática na qual também todos os movimentos dos corpos celestes descreviam uma superposição de movimentos circulares de vários centros, raios e velocidades.

De acordo com Caniato (2013), a Igreja adotou o modelo de Ptolomeu integrando, deste modo, o pensamento aristotélico ao seu conceito de Universo, de modo que tornou seu dogma inatacável. Embora não o tenha concebido com esse intuito, o modelo Geocêntrico de Ptolomeu se ajustava ao ter um complemento para além do céu das estrelas fixas, um céu com sentido religioso, *a mansão dos bem-aventurados*.

Ponczek (2011, p.69) explica que Ptolomeu apresentou

[...] uma descrição matemática detalhada dos movimentos do Sol e da Lua, sendo capaz de prever, precisamente, as datas dos futuros eclipses tanto solares quanto lunares.

Quanto aos cinco planetas conhecidos na época, Ptolomeu introduziu poderosos artifícios geométricos, como os do excêntrico, do epiciclo e deferente, inventados por Apolônio. Em sua teoria lunar, Ptolomeu utilizou dois epiciclos e, quando tratou dos planetas, teve que descrever seus complexos movimentos de paradas, laçadas e retrocessos, inventando o elegante artifício do equante que era um ponto adicional, em torno do qual o movimento circular era uniforme, mas que não era o ponto central do deferente, nem o centro da Terra. Na verdade, o que Ptolomeu conseguiu, em uma linguagem atual, foi atribuir aos planetas órbitas elípticas, tendo a Terra como um foco, sem contudo deixar de usar o círculo como figura básica (Ver figura).

A figura indicada pelo autor se trata de um diagrama de um movimento elíptico gerado por movimentos circulares e é apresentada a seguir, na Figura 1.

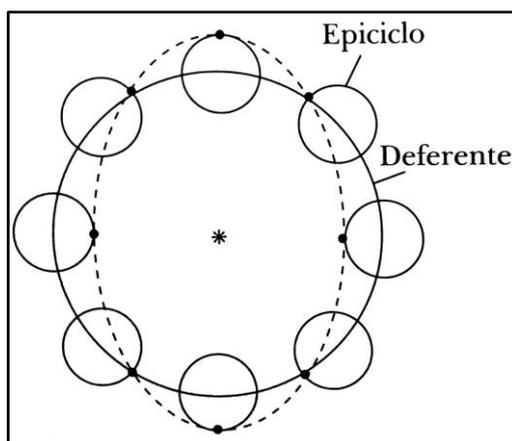


Figura 1: Diagrama de um movimento elíptico gerado por movimentos circulares.
Extraído de Ponczek (2011, p.69)

Para melhor entendimento, também apresentamos a figura 2, na qual está representado o artifício do equante que, como observado por Nussenzweig (2013), foi introduzido por Ptolomeu para explicar os fatos de a velocidade angular do centro do epiciclo em torno da Terra sofrer pequenas variações, e de o movimento retrógrado não apresentar sempre o mesmo aspecto e duração.

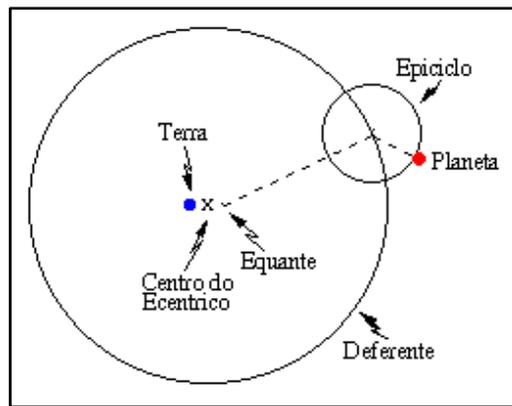


Figura 2: O modelo de Ptolomeu com o equante.
 Extraído de Oliveira e Saraiva (2013, p.66)

Ainda que Ptolomeu tenha desenvolvido sua argumentação alicerçado meramente por alegações estético-filosóficas, nas quais o círculo representava a figura de máxima perfeição, segundo Ponczek (2011) hoje se sabe que qualquer órbita periódica, plana e fechada, de fato, pode

[...] ser descrita como uma superposição de movimentos circulares, pois, de acordo com o teorema de Fourier, uma função periódica pode ser representada como uma série de senoides convenientemente escolhida. Como o movimento circular uniforme tem como projeção o movimento harmônico simples, isto é, senoidal, concluímos que o modelo de Ptolomeu era matematicamente correto. (PONCZEK, 2011, p.70)

De acordo com Caniato (2013), com o passar dos séculos, o aumento dos conhecimentos e das medidas em Astronomia acumulou discrepâncias entre as previsões do modelo ptolomaico e as observações realizadas por astrônomos e navegadores, o que acarretava a necessidade cada vez maior de ajustes. Ainda que acumulando evidentes falhas, o sistema Geocêntrico interessava à Igreja Católica Romana.

Um sistema heliocêntrico, segundo Nussenzweig (2013), já havia sido proposto anteriormente por astrônomos gregos, especialmente por Aristarco de Samos (século 3 a. C.).

A teoria heliocêntrica havia sido refutada pelos contemporâneos de Aristarco de Samos, contudo, no século XVI um grande astrônomo, *Nikolaus Koppernik* (1473-1543), em sua época, admirado e respeitado como maior astrônomo da história

[...] estava muito insatisfeito com a invenção e o uso do equante e do movimento excêntrico, que introduzia um movimento desigual que, segundo ele, entrava em conflito com a regra de que tudo deveria girar em torno do centro do Universo a uma velocidade invariável. Imaginou

pois, primeiramente, que era possível construir um sistema onde a Terra se move em torno do Sol, este sim em repouso; que todos os movimentos eram circulares, uniformes e concêntricos e, finalmente, que era possível mostrar que este sistema era mais verdadeiro que o sistema geocêntrico. (PONCZEK, 2011, p.72)

Caniato (2013, p.37) afirma que

Em 1543, já no leito em que morreria, Nicolau Copérnico viu a primeira edição de seu *De Revolutionibus Orbium Coelestium* (Sobre as Revoluções dos Corpos Celestes). Logo sua obra foi para o *Index*, lista de publicações proibidas aos católicos, e passou a ser combatida também por Lutero e seus seguidores.

Os três problemas centrais do modelo heliocêntrico não foram resolvidos por Copérnico: “mostrar que a Terra realmente se move, desenvolver uma nova Mecânica não aristotélica, estabelecer uma teoria da gravidade” (PONCZEK, 2011, p.74).

Nussenzveig (2013) afirma que a obra de Copérnico ocasionou novo impulso à Astronomia de observação, tendo o dinamarquês Tycho Brahe (1546-1601) realizado as primeiras relevantes observações no final do século XVI.

Usando instrumentos fabricados por ele mesmo, Tycho fez extensivas observações das posições de planetas e estrelas, com uma precisão em muitos casos melhor do que 1 minuto de arco (1/30 do diâmetro aparente do Sol).

O excelente trabalho de Tycho como observador lhe propiciou o patrocínio do rei da Dinamarca, Frederic II (1534-1588), e assim Tycho pode construir seu próprio observatório, na pequena ilha báltica de Hven (entre Dinamarca e Suécia). Após a morte do rei, entretanto, seu sucessor se desentendeu com Tycho e retirou seus privilégios. Assim, em 1597 Tycho foi forçado a deixar a Dinamarca, e foi trabalhar como astrônomo da corte para o imperador da Bohemia, em Praga.

Tycho Brahe não acreditava na hipótese heliocêntrica de Copérnico, mas foram suas observações dos planetas que levaram às leis de Kepler do movimento planetário.

Em 1600 (um ano antes de sua morte), Tycho contratou para ajudá-lo na análise dos dados sobre os planetas, colhidos durante 20 anos, um jovem e hábil matemático alemão chamado Johannes Kepler. (OLIVEIRA e SARAIVA, 2013, p.75)

Johannes Kepler (1571-1630) iniciou seus estudos na área de teologia. Oliveira e Saraiva (2013) relatam que, na Universidade, Kepler teve acesso à leitura dos princípios de Copérnico, tendo se tornado um caloroso defensor do heliocentrismo. Segundo os autores, ele foi professor de Matemática e Astronomia em uma escola secundária, na Áustria, mas após ter sido exilado por questões religiosas, Kepler foi para Praga trabalhar com Brahe.

Caniato (2013) e Oliveira e Saraiva (2013) ressaltam que, com a morte de Brahe em 1601, Kepler herda o posto e os dados de seu mestre, cujos estudos observacionais ainda iam perdurar pelos 20 anos seguintes.

O planeta para o qual havia o maior número de dados era Marte. Kepler conseguiu determinar as diferentes posições da Terra após cada período sideral de Marte, e assim conseguiu traçar a órbita da Terra. Encontrou que essa órbita era muito bem ajustada por um círculo excêntrico, isto é, com o Sol um pouco afastado do centro.

Kepler conseguiu também determinar a órbita de Marte, mas ao tentar ajustá-la com um círculo não teve sucesso [...].

Finalmente, passou à tentativa de representar a órbita de Marte com uma oval, e rapidamente descobriu que uma elipse ajustava muito bem os dados. [O indiano Aryabhata I (476-550), escreveu em seu tratado de Astronomia e Matemática, *Aryabhatiya*, que as órbitas dos planetas em torno do Sol deveriam ser elipses]. A posição do Sol coincidia com um dos focos da elipse. Ficou assim explicada também a trajetória quase circular da Terra, com o Sol afastado do centro. (OLIVEIRA e SARAIVA, 2013, p.76)

De acordo com Caniato (2013), a afirmação que o Sol ocupava um dos focos de uma elipse e não o centro não havia sido proferida por ninguém antes de Kepler, e por isso ele foi denominado por muitos como *pai da Mecânica Celeste*. Contudo, provar aos céticos e autoridades, especialmente religiosas, o novo Sistema de Mundo estava longe de acontecer, pois não havia aparato que proporcionasse aumento suficiente para tornar possível sua visualização.

Ao apresentar as três leis de Kepler, Nussenzveig (2013) resalta que as duas primeiras foram publicadas em 1609 no livro *Astronomia Nova*, e só muitos anos depois chegou a formulação de sua 3ª lei, conforme também apresentado por Oliveira e Saraiva (2013, p.80-81). São elas:

1. Lei das órbitas elípticas (*Astronomia Nova*, 1609): A órbita de cada planeta é uma elipse, com o Sol em um dos focos. Como consequência da órbita ser elíptica, a distância do Sol ao planeta varia ao longo de sua órbita.
2. Lei das áreas (*Astronomia Nova*, 1609): A reta unindo o planeta ao Sol varre áreas iguais em tempos iguais. O significado físico desta lei é que a velocidade orbital não é uniforme, mas varia de forma regular: quanto mais distante o planeta está do Sol, mais devagar ele se move. Dizendo de outra maneira, esta lei estabelece que a *velocidade areal* é constante.
3. Lei harmônica (*Harmonices Mundi*, 1618): O quadrado do período orbital dos planetas é diretamente proporcional ao cubo de sua distância média ao Sol. Esta lei estabelece que planetas com órbitas maiores se movem mais lentamente em torno do Sol e, portanto, isso implica que a força entre o Sol e o planeta decresce com a distância ao Sol.

Sendo P o período sideral do planeta, a o semi-eixo maior da órbita, que é igual à distância média do planeta ao Sol, e K uma constante, podemos expressar a 3ª lei como:

$$P^2 = K a^3$$

Se medimos P em anos (o período sideral da Terra), e a em unidades astronômicas (a distância média da Terra ao Sol), então $K = 1$, e podemos escrever a 3ª lei como:

$$P^2 = a^3$$

Outras grandes contribuições ao Modelo Heliocêntrico, de acordo com Oliveira e Saraiva (2013) foram dadas pelo italiano Galileo Galilei (1564-1642). Sendo Galileo reconhecido como o pai da moderna Física experimental e da Astronomia telescópica e tendo estabelecido conceitos que vieram a ser integrados às leis do movimento de Newton: “seus experimentos em mecânica estabeleceram parte dos conceitos de inércia, e de que a aceleração de corpos em queda livre não depende de seu peso” (OLIVEIRA e SARAIVA, 2013, p.81).

Oliveira e Saraiva (2013, p.81) relatam que Galileo construiu seu próprio telescópio e deu início às suas observações, no ano de 1609, contudo não é atribuída à Galileo a invenção deste instrumento

[..] Lentes e óculos já eram conhecidos desde cerca de 1350, e Galileo tinha ouvido falar de (ou até mesmo visto) um telescópio construído pelo holandês Hans Lippershey (1570-1619) em 1608. Galileo soube desse instrumento em 1609, e, sem ter visto o telescópio de Lippershey, construiu o seu próprio, com aumento de 3 vezes, ainda em 1609. Em seguida ele construiu outros instrumentos, e o melhor tinha aumento de 30 vezes.

Algumas descobertas relevantes de Galileo fazendo uso do telescópio após suas observações metódicas do céu são listadas por Oliveira e Saraiva (2013, p.82-83)

- descobriu que a Via Láctea era constituída por uma infinidade de estrelas.
- descobriu que Júpiter tinha quatro satélites, ou luas, orbitando em torno dele, com períodos entre 2 e 17 dias. Esses satélites são chamados "galileanos", e são: Io, Europa, Ganimedes e Calisto. Desde então, mais 67 satélites foram descobertos em Júpiter.

Essa descoberta de Galileo foi particularmente importante porque mostrou que podia haver centros de movimento que por sua vez também estavam em movimento; portanto o fato da Lua girar em torno da Terra não implicava que a Terra estivesse parada.

- descobriu que Vênus passa por um ciclo de fases, assim como a Lua (Podemos observar o esquema na figura 3).

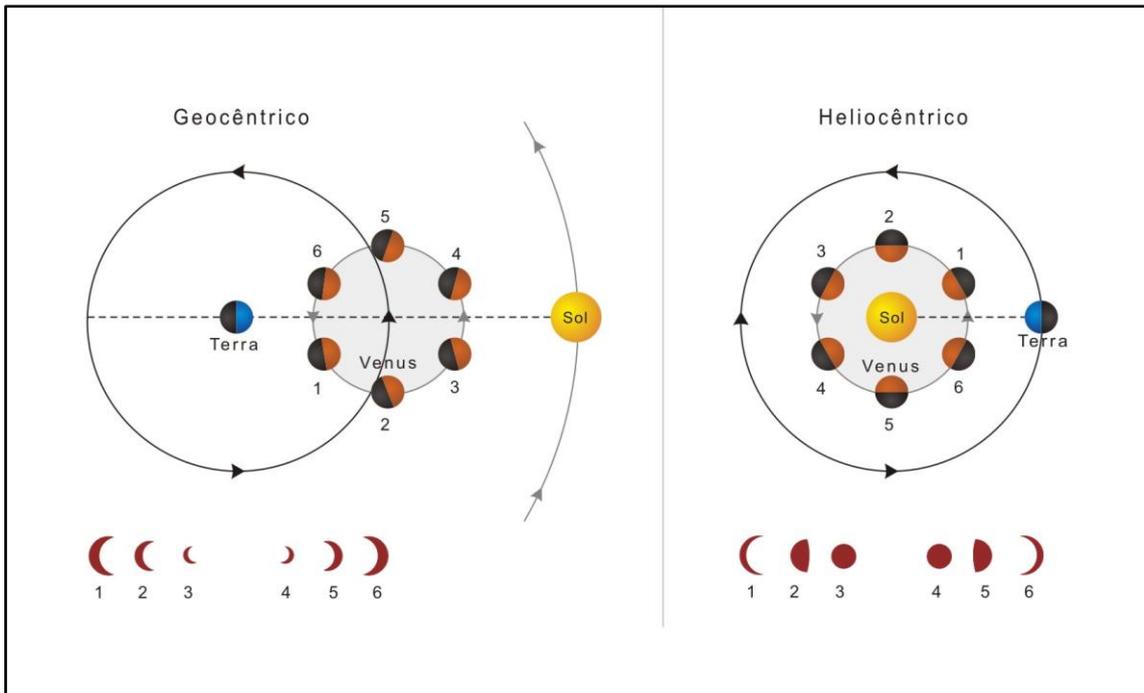


Figura 3: Posições relativas de Vênus em relação à Terra e ao Sol nos sistemas geocêntrico e heliocêntrico e a forma como seria visto da Terra quando estivesse em diferentes pontos da órbita. Extraído de Oliveira e Saraiva (2013, p.83)

Essa descoberta também foi fundamental porque, no sistema ptolomaico, Vênus está sempre mais próximo da Terra do que o Sol, e como Vênus está sempre próximo do Sol, ele nunca poderia ter toda sua face iluminada voltada para nós (fase cheia) e, portanto, deveria sempre aparecer como nova ou no máximo crescente. Ao ver que Vênus muitas vezes aparece em fase quase totalmente cheia, Galileu concluiu que ele viaja ao redor do Sol, passando às vezes pela frente dele e outras vezes por trás dele, e não revolve em torno da Terra.

- descobriu a superfície em relevo da Lua, e as manchas do Sol. Ao ver que a Lua tem cavidades e elevações assim como a Terra, e que o Sol também não tem a superfície lisa, mas apresenta marcas, provou que os corpos celestes não são esferas perfeitas, mas sim têm irregularidades, assim como a Terra. Portanto a Terra não é diferente dos outros corpos, e pode ser também um corpo celeste.

As descobertas de Galileu proporcionaram grande quantidade de evidências em suporte ao sistema heliocêntrico. Por causa disso, ele foi chamado a depor ante a Inquisição Romana, sob acusação de heresia, e obrigado a se retratar.

Nussenzveig (2013) registra que, em 1633, Galileu foi obrigado a renegar seus *erros e heresias* em julgamento pelo Santo Ofício, para ser condenado ao que temos atualmente como prisão domiciliar perpétua ao invés de ser morto. Situação que perdurou nove anos até seu falecimento, tempo em que escreveu

e fez publicar secretamente sua grande obra *Diálogos sobre Duas Novas Ciências*.

Apenas em 1980, segundo Oliveira e Saraiva (2013), o Papa João Paulo II ordenou que fosse realizada uma reavaliação do processo contra Galileo, o que culminou com a eliminação dos resquícios apresentados pela Igreja Católica à revolução Copernicana. Contudo, Galileo seria redimido somente em outubro de 1992.

Caniato (2013) ressalta que, no mesmo ano da morte de Galileo, nasce Isaac Newton que contribuiu vastamente para a Geometria, Matemática, Física e Astronomia, tornando-se um dos maiores nomes da Ciência de todos os tempos. Sua grande obra começou a ser escrita em 1686, intitulada *Princípios Matemáticos da Filosofia Natural*, na qual Newton buscou a explicação do funcionamento do mundo a partir e em decorrência dos trabalhos, principalmente, de Kepler e Galileo.

De acordo com Oliveira e Saraiva (2013, p.86-88)

Newton pôde explicar o movimento dos planetas em torno do Sol, assumindo a hipótese de uma força dirigida ao Sol, que produz uma aceleração que força a velocidade do planeta a mudar de direção continuamente. Como foi que Newton descobriu a Lei da Gravitação Universal? Considerando o movimento da Lua em torno da Terra e as leis de Kepler. [...]

[...] Obviamente a Terra exerce uma atração sobre os objetos que estão sobre sua superfície. Newton se deu conta de que esta força se estendia até a Lua e produzia a aceleração centrípeta necessária para manter a Lua em órbita. O mesmo acontece com o Sol e os planetas. Então Newton formulou a hipótese da existência de uma força de atração universal entre os corpos em qualquer parte do Universo.

Assim, observa Caniato (2013) que a Lei da Gravitação Universal resulta de uma nova definição, oferecida por Newton, para a 3ª lei de Kepler, cuja equação permite a decorrência de uma força de atração (gravitacional) entre dois objetos, sendo ela diretamente proporcional ao produto de suas massas e inversamente ao quadrado da distância entre os objetos.

Oliveira e Saraiva (2013, p.88-89) afirmam que

Newton deduziu então que:

$$F = -\frac{GMm}{r^2}$$

onde G é uma constante de proporcionalidade e o sinal negativo é porque a força é atrativa. Tanto o Sol quanto o planeta que se move em torno dele experimentam a mesma força, mas o Sol permanece

aproximadamente no centro do Sistema Solar porque a massa do Sol é aproximadamente mil vezes maior que a massa de todos os planetas somados.

Newton então concluiu que para que a atração universal seja correta, deve existir uma força atrativa entre pares de objetos em qualquer região do universo, e esta força deve ser proporcional a suas massas e inversamente proporcional ao quadrado de suas distâncias. A constante de proporcionalidade G depende das unidades das massas e da distância.

2.2 Documentos oficiais

O produto educacional desenvolvido foi implementado em uma escola pública do estado de São Paulo, porém está aberto para que outros docentes se inspirem nesta Sequência Didática (SD), fazendo uso dela na íntegra ou adequando-a à sua realidade educacional. Mesmo tendo o currículo oficial do estado de São Paulo como um dos norteadores, vale destacar que o mesmo tema é previsto em currículos oficiais de outros estados, assim como nas Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+/Física) (Brasil, 2002).

O PCN+ foi lançado em 2002 e, segundo Moretti (2012, p.24),

Essa publicação teve entre seus principais objetivos articular as competências gerais que se deseja promover com os conhecimentos disciplinares. Dentre as expectativas dos PCN+, a Física aparece como uma disciplina em que é importante não apenas trabalhar os conteúdos programáticos tradicionais da Mecânica, da Termodinâmica, da Ótica e do Eletromagnetismo, mas também escolher conteúdos em torno dos quais seja possível estruturar e organizar o desenvolvimento das competências. É nessa perspectiva que o ensino de Astronomia ganha vida no novo currículo.

O entendimento da visão geocêntrica de mundo, e a partir dela a mudança histórica de paradigma até que se assumisse a dinâmica do Sistema Solar considerando o modelo heliocêntrico, tendo como base explicativa as Leis de Kepler e a Gravitação Universal, ideia central da nossa SD, se encaixa na temática que os PCN+/Física sugerem dentro do Tema Estruturador “6” *Universo Terra e Vida*. Na maior parte dos exemplos, recomenda-se que ele seja trabalhado no 2º semestre da 3ª série. Contudo, afirma-se que

Nada impede, porém, que o tema Universo, Terra e Vida venha a ser trabalhado na primeira série. Nesse caso, contudo, o tratamento mais adequado será aquele que, ao invés de privilegiar sínteses, parta, por exemplo, da observação e tome como referência os fenômenos que no dia-a-dia revelam os movimentos da Terra em torno do Sol. (BRASIL, 2002, p.35)

De acordo com o currículo do Estado de São Paulo (2012, p.98), no decorrer da 1ª série do Ensino Médio pode-se expandir, através do estudo das interações gravitacionais, o contexto dos movimentos de objetos na superfície da Terra, dos movimentos balísticos, dos satélites artificiais, da Lua em torno da Terra ou dos planetas em torno do Sol, os quais são tradicionalmente expostos como exemplos de movimentos circulares ou de forças centrais.

Com essa nova abordagem, segundo o currículo do Estado de São Paulo (2012, p.98), é possível fornecer aos educandos uma oportuna reflexão sobre a presença humana no tempo e no espaço universal, permitindo a possível aquisição de uma compreensão das hipóteses, dos modelos e das formas de investigação da origem e da evolução do Universo dentro do tema *Universo, Terra e vida*.

Nossa SD vai além do previsto no currículo oficial do estado de São Paulo: busca ampliar o repertório de atividades possíveis para se abordar o tema proposto, em uma perspectiva que favoreça aos alunos o desenvolvimento das competências gerais relacionadas à contextualização sociocultural apontadas nas PCN+/Física, as quais indicam, dentro da competência geral de *Compreender o conhecimento científico e o tecnológico como resultados de uma construção humana, inseridos em um processo histórico e social*, os seguintes sentidos físicos:

- Compreender a construção do conhecimento físico como um processo histórico, em estreita relação com as condições sociais, políticas e econômicas de uma determinada época.
- Compreender, por exemplo, a transformação da visão de mundo geocêntrica para a heliocêntrica, relacionando-a às transformações sociais que lhe são contemporâneas, identificando as resistências, dificuldades e repercussões que acompanharam essa mudança.
- Compreender o desenvolvimento histórico dos modelos físicos para dimensionar corretamente os modelos atuais, sem dogmatismo ou certezas definitivas.
- Compreender o desenvolvimento histórico da tecnologia, nos mais diversos campos, e suas consequências para o cotidiano e as relações sociais de cada época, identificando como seus avanços foram modificando as condições de vida e criando novas necessidades. Esses conhecimentos são essenciais para dimensionar corretamente o desenvolvimento tecnológico atual, através tanto de suas vantagens como de seus condicionantes. [...] (BRASIL, 2002, p.16)

Assim como poderá ser verificado no embasamento teórico utilizado, nosso trabalho também se apresenta coerente com o que é ressaltado nas PCN+ para as estratégias de ação com relação às *concepções de mundo dos alunos*.

Os alunos chegam à escola já trazendo em sua bagagem cultural vários conhecimentos físicos que construíram fora do espaço escolar, e os utilizam na explicação dos fenômenos ou processos que observam em seu dia-a-dia. Muitas vezes, constroem até mesmo modelos explicativos consistentes e diferentes daqueles elaborados pela ciência. Em relação aos movimentos, por exemplo, muitos acreditam que só há movimento com a ação de uma força, tendo dificuldade em associar a força à *variação* do movimento. É frequente deparar-se, também, com explicações para os processos térmicos em que frio e quente correspondem a algo que se movimenta de um corpo a outro, da mesma forma que utilizam modelos que incluem dois tipos de corrente, positiva e negativa, cada um ligado a um dos polos da tomada.

Muitas vezes a incompreensão do professor sobre certas respostas que os alunos apresentam em sala de aula deve-se a seu desconhecimento sobre esses modelos construídos intuitivamente. Da mesma forma, esses modelos explicam também a dificuldade dos alunos em compreender e assimilar os modelos que lhes são apresentados.

Para que ocorra um efetivo diálogo pedagógico é necessário estar atento ao reconhecimento dessas formas de pensar dos alunos, respeitando-as, pois são elas que possibilitam traçar estratégias de ensino que permitem a construção da visão científica, através da confrontação do poder explicativo de seus modelos intuitivos e aqueles elaborados pela ciência. (BRASIL, 2002, p.37)

Considerando a breve análise realizada a respeito dos documentos oficiais, podemos perceber a relevância e o atendimento do produto educacional ao que é esperado para o Ensino de Física pela legislação atual, nos âmbitos estadual e federal.

2.3 Revisão da literatura

Nesta seção, apresentamos uma revisão dos estudos realizados em pós-graduações *stricto sensu* (mestrados ou doutorados), sobre modelos de universo e sistema solar no Ensino Médio, isto é, selecionamos trabalhos que versavam, apenas, sobre o geocentrismo, heliocentrismo e/ou gravitação universal aplicados no Ensino Médio.

Os trabalhos estudados são integrantes do Banco de Teses e Dissertações sobre Educação em Astronomia (BTDEA)³ da Universidade Federal de São Carlos, realizados entre os anos de 1975 a 2015. O quadro 1 apresenta uma síntese dos trabalhos selecionados.

Ano	Autor	Instituição	Tipo	Título
2001	Carlos Aparecido Kantor	Universidade de São Paulo (USP)	Dissertação	A ciência do céu: uma proposta para o ensino médio
2005	Geneci Cavalcanti Moura de Medeiros	Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)	Dissertação	Reflexões e contribuições para o ensino de gravitação clássica no nível médio
2007	Andréia Pessi Uhr	Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)	Dissertação	O Sistema Solar – Um Programa de Astronomia para o Ensino Médio
2007	Érico Kemper	Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)	Dissertação	A Inserção de Tópicos de Astronomia como motivação para o estudo da mecânica em uma abordagem epistemológica para o ensino médio
2007	Benjamin Gomes do Nascimento	Centro Federal de Educação Tecnológica – Celso S. da Fonseca (CEFET/RJ)	Dissertação	Análise da Astronomia Kepleriana no Ensino Médio: A História da Ciência a Favor da Aprendizagem
2012	Roberta Lima Moretti	Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)	Dissertação	Construção e aplicação de um material didático para inserção da Astronomia no Ensino Médio: uma proposta baseada nos referenciais curriculares do Rio Grande do Sul
2012	Hugo Henrique de Abreu Pinto	Centro Federal de Educação Tecnológica – Celso S. da Fonseca (CEFET/RJ)	Dissertação	Uma proposta de ensino de mecânica no ensino médio contextualizado com a astronomia e a astronáutica
2015	Thiago Pereira da Silva	Universidade Federal do Espírito Santo (UFES)	Dissertação	Nossa posição no Universo: uma proposta de sequência didática para o ensino de astronomia no ensino médio

Quadro 1: Síntese dos trabalhos estudados.

³ www.btdea.ufscar.br: o BTDEA é um repositório que visa uma ampla divulgação da produção acadêmica na área de Educação em Astronomia em nosso país, bem como busca sinalizar as necessidades a serem supridas em pesquisas futuras.

Em sua pesquisa, Kantor (2001) evidencia a presença da Astronomia em nossa cultura, porém destaca a sua ausência em sala de aula e a formação precária dos professores. A partir disso, Kantor (2001) sugere alguns temas, inclusive de forma interdisciplinar para abordar tópicos de Astronomia no ensino Médio, indicando até algumas atividades possíveis. Entre os conteúdos que o autor pontua está uma visão estruturada do universo:

Uma visão estruturada do universo é algo que se espera que uma pessoa medianamente educada consiga desenvolver: ter uma ideia das dimensões planetárias, das distâncias que nos separam do Sol, dos outros planetas e das estrelas, das dimensões das galáxias e das distâncias entre elas e, finalmente, uma percepção das dimensões do universo. Ao olhar para o céu, ter uma noção das dimensões envolvidas: a que distância se está enxergando, qual o tamanho dos objetos visíveis e qual a relação entre eles. Também relacionar o movimento dos astros com a contagem do tempo, já que o dia e o ano são determinados pelo movimento da Terra, enquanto o mês está ligado ao movimento da Lua. Lembremo-nos também que o deslocamento da Terra ao redor do Sol é um dos componentes responsáveis pelas condições climáticas no nosso planeta, o que tem implicações na distribuição populacional e nas atividades econômicas desenvolvidas em cada região. (KANTOR, 2001, p.79)

A partir dessa preocupação, o autor destaca que muitos alunos, por vezes, apresentam informações básicas sobre o sistema solar, de forma decorada e empobrecida e por isso sugere algumas atividades para melhorar essa área no Ensino Médio: trabalhos com escala, comparação de tamanhos e distâncias, observação do céu, órbitas, o uso da História e Filosofia em relação à evolução do modelo geocêntrico para o heliocêntrico, entre outros.

O trabalho de Medeiros (2005) procurou avaliar em livros didáticos a gravitação clássica em relação a diversos aspectos, baseado nos Parâmetros Curriculares Nacionais: aspectos históricos, contextualização, interdisciplinaridade, abordagem (matemática ou fenomenológica), tipos de exercícios e manuais para o professor. Medeiros (2005) indica a importância da abordagem deste conteúdo para o Ensino Médio, especialmente valorizando o conhecimento em seus aspectos históricos, assim propõe uma alternativa através de um curso de formação para professores sobre o tema e seu desenvolvimento com alunos do Ensino Médio, a partir da “elaboração de atividades e recursos didático-pedagógicos para uma proposta de abordagem contextualizada para o tema”, considerando a perspectiva histórica (MEDEIROS, 2005, p.102).

A dissertação de Uhr (2007) desenvolve um programa de ensino de Astronomia no ensino médio tendo como tema central o Sistema Solar. Seus primeiros módulos abordam questões próximas a este trabalho. A autora também se utiliza da teoria de Ausubel e Novak relacionada à predisposição para aprender como um fator facilitador do processo, além da interação dos conteúdos com a realidade. A autora também se baseia nas teorias de Vygotsky. O produto final desta dissertação de mestrado profissional é um material de apoio ao trabalho didático com textos e exercícios.

Em seu trabalho, Kemper (2007) desenvolveu um material instrucional valorizando a história e a filosofia da ciência, incluindo ferramentas audiovisuais como vídeos utilizados como motivadores da aprendizagem. O autor trabalhou a questão da evolução dos modelos de mundo. Segundo Kemper (2007), foi possível perceber o crescente interesse dos alunos pelas perguntas que os colegas traziam, além da percepção da evolução conceitual. Segundo Kemper (2007, p.17),

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 de conhecimento científico e situa a Terra em seu lugar no espaço.

O trabalho de Nascimento (2007) tem a intenção de demonstrar como a história da ciência pode ser utilizada quando se busca uma aprendizagem significativa em torno da mesma temática do nosso interesse: sistemas de mundo em torno do desenvolvimento dos modelos, mudanças de paradigmas, revoluções científicas e aperfeiçoamento dos mesmos. O autor estabelece um paralelo com este processo histórico e o próprio desenvolvimento da aprendizagem dos alunos.

A pesquisa de Moretti (2012) visa ao desenvolvimento e à aplicação de um material didático que aborde o tema estruturante *Universo, Terra e vida* e cujo referencial metodológico seja o Ensino por Investigação – uma abordagem baseada em uma combinação de teorias construtivistas, que contemple o currículo do Rio Grande do Sul e que sugira, como primeiro assunto, a temática “vida”. A aprendizagem dos conteúdos de Física, segundo este currículo, deve ser pautada em três eixos fundamentais, sendo eles: representação e comunicação; investigação e compreensão e contextualização sociocultural. A autora desenvolve os conteúdos com os alunos a partir de questões propostas

como “O universo é estático ou dinâmico?”, entre outras, as quais os alunos procuravam responder através de leitura, produção de textos e outras atividades destacadas pela autora, que permitem aos alunos trabalharem de forma ativa.

O trabalho de Pinto (2012) envolve a preocupação com o ensino de Astronomia e Astronáutica no ensino médio e assim o autor desenvolve um material didático para alunos e professores e inclui hipermídias para auxiliar nesse processo. Entre os conteúdos, encontra-se a organização básica do sistema solar, todavia sua abordagem é mais conteudista e não se relaciona à natureza da ciência. Apesar de utilizar recursos modernos, o autor ainda apresenta uma abordagem mais clássica para o Ensino de Física em relação às propostas por suas bases teóricas.

Silva (2015) desenvolveu e avaliou uma sequência didática para o ensino de Astronomia no Ensino Médio com a participação de 14 estudantes concluintes do Ensino Médio em uma escola da rede estadual do Espírito Santo como parte de um projeto intitulado “Pré-ENEM”. Segundo Silva (2015), o objetivo do estudo foi investigar se a metodologia e as atividades da sequência favoreceriam uma aprendizagem significativa de conceitos relacionados ao céu, ao Universo e à nossa posição dentro dele, apresentando como principal marco teórico a Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel e Joseph Novak e, ainda, levando em consideração resultados de pesquisas na área de Educação em Astronomia.

A sequência de Silva (2015) foi desenvolvida baseada em atividades e materiais potencialmente significativos, com observações do céu, tanto a olho nu quanto com o emprego de telescópio, utilização de vídeos motivadores e do *software Stellarium*. Também houve oficinas de confecção de modelos tridimensionais do Sistema Solar e da constelação do Cruzeiro do Sul, acompanhadas de debates em sala de aula. Além dos pré-testes, entrevistas semiestruturadas e pós-testes foram utilizados para verificar indícios de uma aprendizagem significativa. Após as atividades, os educandos, segundo Silva (2015), conseguiram vislumbrar que existem planetas visíveis a olho nu no céu, além das estrelas que, apesar de aparentar desde o ponto de vista da Terra, não estão em um mesmo plano, de modo que o céu possui profundidade. Tais percepções evidenciaram, para o autor, uma aproximação e reconciliação integrativa entre os conceitos de céu e de Universo, já que no pré-teste os alunos

inferiram o céu como uma abóbada, com pouca ou nenhuma profundidade. Ainda é possível observar que o reduzido número de estudantes participantes de sua intervenção pedagógica a torne privilegiada em relação às aulas práticas educacionais cotidianas que se realizam, em sua maioria, com um número maior de alunos.

Analisando os trabalhos selecionados, é possível perceber que a preocupação com este conteúdo é sinalizada. No entanto, ainda hoje se percebe que o processo educacional do Ensino Médio em relação à Astronomia não tem desenvolvido, de forma estável, a aprendizagem deste conteúdo e que a perspectiva de natureza da Ciência está presente na maioria dos trabalhos relacionados, o que indica um avanço provavelmente estimulado pelos Parâmetros Curriculares, construídos a partir de pesquisas da área. Muitos dos trabalhos elencados nesta revisão são produzidos em programas de mestrado profissional, o que indica que este tipo de conteúdo ainda é uma preocupação para docentes e não está esgotado em sua discussão e metodologias de ensino.

Capítulo 3

Embasamento teórico-metodológico da Sequência

Didática (SD)

Neste capítulo, apresentamos um olhar para as ideias que fundamentaram teórica e metodologicamente a elaboração de nossa SD, ideias estas que se estabelecem no diálogo entre teorias cognitivas e princípios de construções de sequências didáticas.

Não temos a pretensão de realizar um aprofundamento ou até mesmo citar e explicar todos os elementos e processos da teoria da *Aprendizagem Significativa*, dos *Modelos Mentais* e *Modelos Conceituais*, apenas desejamos explicitar ao leitor os conceitos teóricos fundamentais que nortearam a metodologia apresentada em nossa SD, que se inspirou nas *Sequências de Ensino e Aprendizagem* (SEA) de Méheut e Psillos (2004) e, principalmente, em seus *princípios de design*, temáticas que abordaremos adiante.

3.1 Sequências de Ensino e Aprendizagem (SEA)

Para Méheut e Psillos (2004), apesar de vários termos terem sido usados no passado, o termo *Teaching-Learning Sequences* (TLS) é hoje amplamente utilizado para designar conjuntos de atividades que são planejadas, buscando a estreita ligação entre o ensino proposto e a aprendizagem esperada dos alunos. Em nosso trabalho, estamos considerando a tradução de tal termo, ou seja, *Sequência de Ensino e Aprendizagem* (SEA).

Méheut e Psillos (2004) trabalham com a ideia de losango didático (*The didactical rhombus*) esquematizado na figura 4, o qual pode ser interpretado a partir de seus eixos: epistêmico, ligando conhecimento científico-mundo material, e pedagógico, relacionando as ações do professor e o entendimento dos alunos.

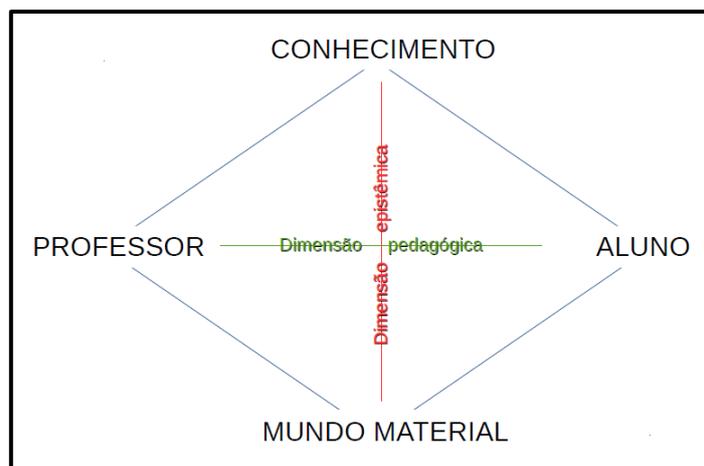


Figura 04: Esquema representativo do losango didático. Adaptado de Méheut e Psillos (2004).

Segundo Méheut e Psillos (2004), as SEA são sequências didáticas planejadas a fim de abordar temas específicos de ciências, e estruturadas para aplicação em um curto ou médio período de tempo. Méheut e Psillos (2004, *apud* PESSANHA, 2014) apontam que, ao contrário de desenhos curriculares de longo prazo, envolvendo vários meses ou anos, as SEA geralmente se aplicam em investigações mais restritas, em que se planeja um tema para ser ensinado e aprendido em poucas semanas.

Desse modo, uma SEA não é uma atividade instantânea, mas um esforço de longo prazo, um produto que muitas vezes é uma representação dos conteúdos inovadores, diferindo-se daqueles historicamente presentes em livros e currículos.

A temática do processo de construção de Sequências de Ensino e Aprendizagem (SEA) tem crescido como atividade de ensino e pesquisa na comunidade de ensino de ciências. Colombo (2014), com a finalidade de aprofundar e entender mais sobre as ideias chave de SEA, apresenta uma síntese de alguns trabalhos sobre pesquisas que abordaram o tema em diferentes países (Alemanha, Brasil, Finlândia, França, Grécia, Holanda, Itália e Turquia).

Para os pesquisadores holandeses Linjse e Klaassen (2004, *apud* COLOMBO, 2014), a partir de uma abordagem problematizadora, a ênfase da pesquisa recai sobre a “qualidade didática” das situações de ensino que podem ser postas em prática em sala de aula, visto o processo de ensino e aprendizagem de um tópico específico. Chamam a atenção de que novos

conhecimentos podem ser acomodados ou construídos sobre os conhecimentos que os estudantes já entendem.

Esses autores ainda enfatizam a necessidade de se apresentar as estruturas didáticas das sequências no momento de sua divulgação e publicação em periódicos, o que certamente propiciaria uma visão privilegiada e mais clara sobre a qualidade didática, e facilitaria o desenvolvimento de pesquisas futuras.

Psillos et al. (2004, *apud* COLOMBO, 2014) propõem que a análise e a comparação de versões das SEA podem ser muito frutíferas, uma vez que podem revelar possíveis padrões nas práticas, e pressuposições implícitas realizadas por um pesquisador específico.

Buty et al. (2004, *apud* COLOMBO, 2014) da Universidade de Lyon, França, apresentam uma ferramenta elaborada por eles e intitulada “*The grid*”, a qual sugere que uma sequência de ensino deve considerar, entre outras coisas, o currículo atual, o conhecimento cotidiano e o que se pretende alcançar. Os autores fazem parte de um grupo de pesquisa que, no momento da publicação do artigo, já desenvolviam há dez anos pesquisas em colaboração com professores franceses do ensino secundário por meio de sequências de ensino em vários campos da Física e Química.

Em tal abordagem de pesquisa colaborativa, após o julgamento de outros professores, são necessários refinamentos sucessivos nas sequências propostas, pois suas estruturas devem ser baseadas na prática pedagógica, e sua validação deve atender a três questionamentos: *É viável? É extensível? É reproduzível?*

Viiri e Savinainen (2008, *apud* COLOMBO, 2014) enfatizam que variados marcos teóricos têm sido utilizados na construção de SEA, dois deles são “Demanda de Aprendizagem” e “Reconstrução Educacional”. A “Demanda de Aprendizagem” é apoiada por uma perspectiva de aprendizagem das ciências que incorpora tanto os pontos de vista individuais, quanto socioculturais da aprendizagem. Já a “Reconstrução Educacional” se concentra na reconstrução do conhecimento da ciência, a fim de ajudar os alunos a compreender os pontos chave de um conceito em questão.

Para Fazio et al. (2008, *apud* COLOMBO, 2014), em suas pesquisas sobre a análise do conteúdo físico, as SEA se centram no percurso da aprendizagem, sendo enquadradas em uma abordagem de instrução bem

definida, na qual se trabalha o ponto de vista científico sobre determinado assunto, a partir da perspectiva dos objetivos educacionais.

Quanto ao *design*, Fazio et al. enfatizam que a crescente compreensão das concepções que os alunos têm sobre ciência tem sido acompanhada pelas pedagogias na tentativa de rever o descompasso entre a 'ciência' dos estudantes e a 'ciência dos cientistas', usando modelos de mudança conceitual de aprendizagem.

3.1.1 Princípios de *design*

As SEA são planejadas de acordo com *princípios de design* que são escolhidos em função dos objetivos, da tradição, e dos recursos de pesquisa em que são desenvolvidas e implementadas. Segundo Pessanha (2014), daquilo apresentado por Méheut e Psillos (2004), esses princípios podem ser ordenados em quatro grupos:

(i) os *princípios epistemológicos* centrados no conteúdo a ser ensinado; (ii) os *princípios psicocognitivos* centrados na aprendizagem dos alunos; (iii) os *princípios didáticos* centrados na ação do professor; (iv) e os *princípios socioculturais* centrados nas interações que se dão em sala de aula e nas questões morais e éticas envolvidas. Tais princípios de design enfatizam, respectivamente, a natureza do conhecimento científico, como se aprende ciências, como se ensina ciências, e como as interações e aspectos sociais permeiam a situação de aula. (PESSANHA, 2014, p.98)

Consideramos no planejamento de nossa sequência os *princípios epistemológicos* sobre o conhecimento da evolução dos modelos de mundo a partir de uma abordagem histórica que envolve diferentes aspectos do Geocentrismo de Ptolomeu à Gravitação de Newton; para os *princípios psicocognitivos* assumimos uma noção de aprendizagem significativa associada à ideia de modelos mentais; para os *princípios didáticos* utilizamos estratégias de ensino por modelização; e, em suma, para os *princípios socioculturais*, valorizamos os modelos expressos por alunos e professores e às externalizações que ocorreram nos momentos de interação, bem como o uso das TIC, devido a sua relevância na sociedade contemporânea.

De modo que, em nossa SD, os distintos *princípios de design* se encaixariam de maneira integrada e cada um deles deu a forma das atividades planejadas.

3.2 Modelos Mentais, Modelos Conceituais e Aprendizagem Significativa

Neste subcapítulo, trazemos nossa interpretação do entrelaçamento entre os Modelos Mentais, Modelos Conceituais e a Aprendizagem Significativa, o qual subsidiou o aporte sobre as teorias cognitivas incorporado na elaboração de nossa SD. Os elementos provenientes de teorias cognitivas atuaram como *princípios de design* das atividades de ensino que compõem o nosso Produto Educacional, atuando como norteadores em uma construção que buscou um diálogo entre as perspectivas teórica e prática.

Segundo Moreira (2011b), podemos encontrar a distinção da aprendizagem em três tipos gerais, sendo elas a aprendizagem cognitiva, a aprendizagem afetiva e a aprendizagem psicomotora, de maneira que

[...] a aprendizagem cognitiva é aquela que resulta no armazenamento organizado de informações na mente do ser que aprende, e esse complexo organizado é conhecido como estrutura cognitiva. A aprendizagem afetiva resulta de sinais internos ao indivíduo e pode ser identificada como experiências tais como prazer e dor, satisfação ou descontentamento, alegria ou ansiedade. Algumas experiências afetivas sempre acompanham as experiências cognitivas. Portanto, a aprendizagem afetiva é concomitante com a cognitiva. A aprendizagem psicomotora envolve respostas musculares adquiridas por meio de treino e prática, mas alguma aprendizagem cognitiva é geralmente importante na aquisição de habilidades psicomotoras. (MOREIRA, 2011, p.159-160)

Ausubel “... propõe uma explicação teórica do processo de aprendizagem, segundo o ponto de vista cognitivista, embora reconheça a importância da experiência afetiva” (MOREIRA, 2011b, p.160).

Ainda que reconheçamos a aprendizagem em seus três tipos gerais, e que de certa forma todas se desenvolvem em ambientes formais de ensino, na escola, em nosso trabalho consideramos o entrelaçamento entre as teorias dos *Modelos Mentais* segundo Greca e Moreira (1998) e Clement (2000) e a *Aprendizagem Significativa* de Ausubel, as quais focalizam fundamentalmente a

aprendizagem cognitiva, ou seja, o trabalho proposto enfoca a aprendizagem cognitiva e sua relação com a construção de modelos explicativos.

Especialmente no campo da psicologia cognitiva, ao se fazer alusões ao termo *modelos mentais*, pretende-se afunilar a uma determinada classe de modelos, que segundo Borges (1997, *apud* PESSANHA, 2014), mesmo sem possuir uma definição consentida, teve seu uso percebido desde a década de 60, e se disseminou na década de 80 do século XX.

Essa determinada classe de modelos, os modelos mentais, de acordo com Greca e Moreira (1998), são construções de representações internas dos educandos, as quais se fundamentam em experiências passadas e em seus conhecimentos prévios, ou seja, os modelos mentais estão fundamentados nas ideias ou concepções preexistentes na *estrutura cognitiva* dos estudantes, conforme apresentado na teoria de Ausubel.

Moreira (2009, 2011b) infere que a aprendizagem significativa se dá através, não da associação, mas da interação de novas informações com aspectos relevantes preexistentes na *estrutura cognitiva* do aprendiz, os quais dão significado a essas informações e também são modificados durante o processo. Neste sentido, pode-se afirmar que os modelos mentais são construções internas que permeiam a estrutura cognitiva, construções estas que podem ocorrer a partir de uma aprendizagem significativa.

Seguindo na teoria de Ausubel, Moreira (2009, 2011b) afirma que, para que haja aprendizagem significativa, o material utilizado no processo de ensino e aprendizagem deve ser *potencialmente significativo* e o aprendiz deve manifestar uma *disposição para aprender*. O autor coloca também que a primeira das condições descritas implica em que o material tenha *significado lógico* e que o aprendiz possua disponíveis em sua estrutura cognitiva conceitos, ideias ou proposições, que Ausubel denomina de *subsunçores*⁴, com os quais o material seja relacionável.

Exemplificando, em Física, Moreira (2011b) aponta que

[...] se os conceitos de força e campo já existem na estrutura cognitiva do aluno, eles servirão de subsunçores para novas informações referentes a certos tipos de força e campo como, por exemplo, a força e campo eletromagnéticos. Entretanto, este processo de *ancoragem* da nova informação resulta em crescimento e modificação do conceito

⁴ A palavra "subsunçor" não existe em português, trata-se de uma tentativa de traduzir a palavra inglesa "subsumer" (MOREIRA, 2011b, p.161).

subsunçor. Isto significa que os subsunçores existentes na estrutura cognitiva podem ser abrangentes e bem desenvolvidos, ou limitados ou pouco desenvolvidos, dependendo da frequência com que ocorre aprendizagem significativa em conjunção com um determinado subsunçor. (MOREIRA, 2011, p.161)

Moreira (2009, 2011b) salienta que, para Ausubel, da relação substantiva e não-arbitrária do material logicamente significativo à estrutura cognitiva emerge o *significado psicológico*, o qual se compõe de maneira pessoal, individualizada, fator este que se relaciona com a colocação de Greca e Moreira (1998) a respeito dos modelos mentais, os quais são individuais e específicos, possuindo assim, para cada indivíduo, um determinado sentido, além de serem incompletos; passíveis de que detalhes sejam esquecidos ou mesmo de que sejam descartados (instáveis); não têm fronteira bem definida; são não-científicos; são parcimoniosos (exigem pouco complexidade mental). Ainda assim, os modelos mentais são úteis ao indivíduo, principalmente na astúcia de explicar e prever um determinado sistema físico.

Desse modo, para Greca e Moreira (1998), os modelos mentais são úteis ou funcionais ao permitirem que os estudantes realizem previsões ou expliquem fenômenos ou eventos. Assim, ainda segundo os autores, pode-se dizer que a realidade física ou abstrata é representada pelo modelo mental formado na mente de um indivíduo, a partir de elementos que este já aceita e da observação direta ou indireta de um corpo de conhecimento sobre determinada realidade.

A representação externa do modelo mental de pesquisadores, professores, engenheiros, entre outros, de acordo com Greca e Moreira (1998) pode se tornar um *modelo conceitual* ao atingir um consenso na comunidade de especialistas.

Clement (2000) utiliza a ideia de modelo conceitual na esfera educacional, inferindo a aprendizagem como uma construção de modelos mentais que convergem a um modelo referência que, de maneira geral, decorre de procedimentos intencionais de didatização de modelos conceituais. A ideia central do autor está esquematizada na figura 5.

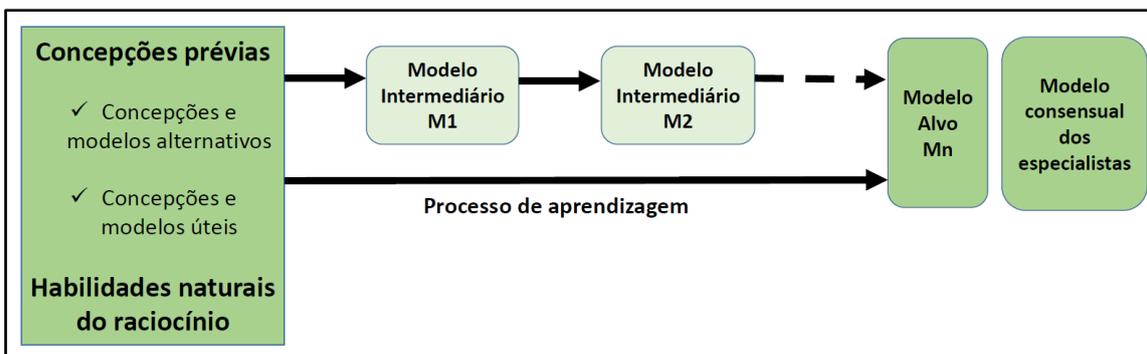


Figura 5: Esquema representativo do processo de aprendizagem e as noções de modelo conceitual e modelos mentais. Adaptado de Clement (2000).

De modo que,

enquanto no âmbito da ciência, um modelo conceitual se apresenta como uma representação precisa, completa e consistente com o conhecimento cientificamente compartilhado; na educação se apresenta também como preciso, completo e consistente, não diretamente com um conhecimento cientificamente compartilhado, mas sim com um conhecimento científico previamente didatizado, compartilhado nos livros didáticos, na prática docente, entre outros. (PESSANHA, 2014, p.49)

Então, para Clement (2000), a aprendizagem é um processo que ocorre com o aperfeiçoamento das concepções prévias dos educandos, em que os aprendizes constroem modelos mentais intermediários que, ao serem revisitados, tomam nova forma, de maneira a se aproximarem de um modelo de referência, o qual integra o conhecimento que se deseja que seja construído pelo estudante. Isso se dá do mesmo modo que observado por Moreira (2009) sobre o desenvolvimento cognitivo que, segundo Ausubel, é um processo dinâmico no qual novos e antigos significados estão, constantemente, interagindo e resultando em uma estrutura cognitiva melhor elaborada.

3.2.1 Modelização no Ensino de Física

Em nosso trabalho, ponderamos pertinente não apenas a ideia de aprendizagem como evolução de modelos mentais, mas também a noção da aprendizagem científica mediante a modelização. Isto é, julgamos ser importante o entendimento da aprendizagem desde a perspectiva dos modelos, mas também consideramos que uma aprendizagem científica mais efetiva ocorre mediante a proposição e testes de modelos por parte dos estudantes.

Neste sentido, estamos assumindo a concepção de aprendizagem na perspectiva dos modelos mentais, mas indo além, entendemos que um ensino que integre elementos sobre o fazer ciência, oportunizando uma aprendizagem científica mais autêntica, se apresenta como um caminho pertinente no processo de construção de modelos mentais norteados por um modelo conceitual.

Quando, no processo de ensino-aprendizagem, os alunos analisam, propõem e testam modelos, faz-se um eficaz modo de reconhecimento de possíveis rupturas e inadequações de explicações já conhecidas. Segundo Pessanha (2014), a modelização possibilita, por exemplo, a percepção de que um conhecimento válido em determinada explicação pode se demonstrar inadequado ou mesmo contrário na explicação de novos elementos.

A concepção de um ensino orientado pela modelização se apresenta como relevante especialmente ao se considerar a ideia de que a ciência se compõem de conhecimentos aproximados da realidade. Pessanha (2014) coloca que a modelização põe em cheque, por exemplo, falsas noções relativas à natureza da ciência passadas pelo pensamento positivista, no qual a ciência apresenta-se como um acumulado temporal de conhecimentos imutáveis; enquanto na realidade é uma construção humana baseada em dúvidas, na procura de resposta e na elaboração de novas perguntas. Assim:

O conhecimento construído não é sinônimo de conhecimento acumulado, ele terá seu sentido definido não somente no instante do conhecer, mas também na continuidade do conhecer: esse conhecimento construído será mais que um alicerce tradicional para as novas aprendizagens, será um alicerce que poderá ser reedificado e reinterpretado sempre que o ato de conhecer exigir. A modelização é uma forma de oportunizar isso. (PESSANHA, 2014, p.84)

Desta maneira, o ensino por modelização oportuniza a superação de uma aprendizagem científica cômoda e continuísta, na qual os conteúdos são oferecidos de modo que a aprendizagem existisse pelo acúmulo de conhecimento em oposição à sua construção.

3.3 História da Ciência e seus usos na Educação

Um olhar referente à natureza das ciências, como a apresentação do modo de desenvolvimento das teorias e conceitos; do trabalho do cientista, entre

outras questões, não está presente em muitos dos livros didáticos de disciplinas científicas, visão esta que pode ser oferecida pela *História das Ciências*. Para Martins (2006), o uso da história da ciência no ensino não deve substituir o ensino comum, e sim complementá-lo, visto que o estudo adequado de alguns episódios históricos pode favorecer a compreensão das inter-relações entre ciência, tecnologia e sociedade, e também na percepção do processo social e gradativo de construção de conhecimento (visão mais concreta da real natureza da ciência).

O público geral, os estudantes (de todos os níveis) e seus professores, demonstra ter uma grande gama de concepções ingênuas, mal fundamentadas, e afinal, falsas, sobre a natureza das ciências e sua relação com a sociedade. De modo que, para Martins (2006), é insubstituível o estudo detalhado de alguns episódios históricos da ciência, na formação de uma concepção adequada sobre a natureza das ciências, suas limitações e suas relações com outros domínios.

Assim, Martins (2006) corrobora a importância do conhecimento de grandes sucessos e grandes fracassos no esforço humano da compreensão da natureza em defesa de uma visão mais adequada e bem fundamentada da natureza das ciências, de sua dinâmica, de seus aspectos sociais, de suas interações com seu contexto, entre outros fatores.

A partir do uso da história das ciências na educação, não somente conduz-se a uma visão mais apropriada sobre a natureza da ciência, mas também se favorece o próprio aprendizado dos conteúdos científicos. Martins (2006) considera que, nos últimos quarenta anos, os educadores tomaram ciência de que os educandos trazem consigo estruturas operatórias mais ou menos desenvolvidas, conforme seu estágio cognitivo e concepções que, em geral, conflitam e resistem à sua substituição pelas concepções da ciência atual.

Dessa maneira, se as concepções alternativas não forem reconhecidas e desconstruídas, poderá haver prejuízos à compreensão, aceitação e aplicação de um determinado conhecimento científico que é alvo de estudo. Assim, para Martins (2006), sob a ótica educacional, a existência dessas concepções exige novas estratégias por parte dos docentes.

Segundo Martins (2006), tanto para o educador quanto para o educando, o conhecimento da história da ciência pode ser de grande valia para as construções conceituais, visto que as resistências por parte dos discentes são

semelhantes às dos próprios cientistas do passado, e os alunos podem perceber que algumas pessoas já tiveram ideias semelhantes às que ele próprio tem, porém foram substituídas por outras mais adequadas e mais coerentes com um conjunto de outros conhecimentos.

Martins (2006) aponta que há vários anos os educadores de todo o mundo perceberam a importância da utilização da história da ciência no ensino de todos os níveis e que o Brasil não é uma exceção, pois os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) para o ensino médio enfatizam sua relevância para complementar outras abordagens no ensino científico. Porém, ainda existem grandes barreiras para que essa área do conhecimento desempenhe efetivamente seu papel no ensino.

As principais barreiras do uso da história da ciência no ensino, segundo Martins (2006) são: a carência de um número suficiente de professores com a formação adequada para pesquisar e ensinar de forma correta a história das ciências; a falta de material didático adequado (textos sobre história da ciência) que possa ser utilizado no ensino; e equívocos a respeito da própria natureza da história da ciência e seu uso na educação.

De modo que, para Martins (2006), o uso da história da ciência no ensino não é algo tão trivial, pois é impossível para uma pessoa, sozinha, conhecer profundamente toda a história das ciências – ou mesmo de uma das ciências. Tornando, dessa maneira, o próprio desenvolvimento de aplicações da história da ciência ao ensino um trabalho coletivo, que não poderá ser realizado em um tempo curto.

No entanto, as dificuldades inerentes ao tema não devem ser encaradas como obstáculos intransponíveis. Mesmo diante da impossibilidade de conhecer todo o desenvolvimento histórico de uma ciência, como a Física, é possível um esforço com o intuito de encontrar fontes históricas mais confiáveis que possam inspirar o desenvolvimento de atividades de ensino, específicas para determinado tópico.

É neste sentido que, em nosso trabalho, lançamos mão de elementos da história da ciência para selecionar e elaborar materiais potencialmente significativos, que pudessem ser utilizados, em sala de aula, em meio a uma discussão que incluísse a perspectiva histórica do conhecimento sobre modelos de Universo e de Sistema Solar e sobre a Gravitação Universal.

3.4 O uso pedagógico das Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC)

Certamente, uma discussão sobre a utilização das Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) na educação seria muito longa, contudo, neste subcapítulo, pretendemos apenas fomentar as estratégias escolhidas no planejamento de algumas atividades da nossa SD, nas quais entendemos as TIC como facilitadoras da aprendizagem.

As TIC fazem parte da vida da nossa sociedade cada vez mais cedo: elas modificam nosso jeito de interagir, relacionar, consumir e, entre outras esferas da nossa vida, modificam também nosso jeito de aprender.

De modo que a inclusão das TIC no trabalho pedagógico pode contribuir para a superação de diversos problemas da educação em geral e do Ensino de Física e Educação em Astronomia. Considerando que essas tecnologias fazem parte da linguagem dos jovens e crianças, os novos paradigmas instaurados pelas possibilidades do uso das TIC oferecem modos de intervenção pedagógica que vislumbram a superação das práticas e dos espaços de ensino-aprendizagem engessados dos dias atuais.

Como parte integrante das TIC,

as tecnologias digitais móveis desafiam as instituições a sair do ensino tradicional, em que o professor é o centro, para uma aprendizagem mais participativa e integrada, [...] desenraizam o conceito de ensino-aprendizagem localizado e temporalizado. Podemos aprender desde vários lugares, ao mesmo tempo, *on-line* e *off-line*, juntos e separados” (MORAN, 2013, p.30).

Werner E. Breede, professor da Universidade Livre de Berlin, afirma em um texto de 1987 que Paulo Freire foi um pioneiro no Brasil na utilização dos meios de comunicação social. Seu trabalho a partir de *slides*, do cinema, teatro, vídeo e televisão fez parte essencial do seu método de alfabetização de adultos. Porém, tantas ferramentas trazidas pelas tecnologias digitais não foram vistas pelo educador, pois

Freire não conseguiu – e nem teve tempo para vislumbrar as possibilidades atuais que a web, a internet, os meios de comunicação, os ambientes e objetos de aprendizagem, animações, mundos virtuais e as simulações trazem para o mundo contemporâneo e para a Educação. [...] E se Freire já achava os computadores de sua época extraordinários, o que ele diria dos atuais... (ALENCAR, 2005, p.10).

Além das diversas contribuições para uma *práxis* dialógica, problematizadora, podemos explorar a concepção de inclusão digital. Apesar de Freire nunca ter utilizado o termo inclusão digital, como ressalta Alencar (2005, p.10), o autor destacou a necessidade de ampliar o acesso aos computadores e às tecnologias digitais, na seguinte frase “é preciso pensar como elas podem chegar aos excluídos”.

Para a utilização das TIC, é necessária a formação de competências específicas para estar a par, no mínimo, de alguns dos novos emergentes meios comunicacionais, em uma perspectiva de inclusão na cultura digital, desencadeando uma alfabetização digital⁵ e, concomitantemente, um letramento digital, ou seja, tornar os indivíduos capazes de fazer uso competente das habilidades adquiridas para o mundo digital.

Porém, Freire e Guimarães (*apud* Gomez, 1999) explicitam que podemos considerar a introdução maciça de computadores nas escolas brasileiras como "efeito cavalo de Tróia", onde se introduz um novo instrumento na escola de forma que sua implantação se dá através do programa didático, sujeitando-a como recurso a todos os conteúdos e a todos os passos da aprendizagem já estabelecidos, ou seja, quando ferramentas e recursos serão apenas mais um, entre tantos mais, que reforçarão as formas tradicionais de ensino, o resultado é a sofisticação da educação bancária por meio da nova tecnologia.

Em concordância com o descrito anteriormente, no planejamento de nossa SD buscamos observar o que é salientado por Moran (1997), para que o ensinar com o uso das TIC, na e com a internet tenha resultados significativos, ele deve estar integrado em um contexto estrutural de mudança de paradigma sobre o processo de ensino e aprendizagem, com comunicação aberta e de participação interpessoal-grupal entre alunos e professor, ou seja, em um processo educacional horizontal, dialógico, para que não se mantenha velhos hábitos em educação, modificando apenas a roupagem.

⁵ Alfabetização digital: Processo de aquisição de habilidades básicas para o uso de computadores, redes e serviços de internet (KENSKI, 2012, p.133).

Capítulo 4

Desenvolvimento da sequência didática

Neste capítulo, trataremos de questões sobre o planejamento de nossa SD, que é o Produto Educacional produzido e estudado nesse trabalho de mestrado.

Os recursos utilizados foram escolhidos a partir de estudos realizados nas disciplinas do curso de mestrado, principalmente, em “*Conceitos de Astronomia e Astrofísica Aplicados ao Ensino Médio e Fundamental*”, “*Atividades Computacionais para o Ensino Médio e Fundamental*” e “*Processos e Sequências de Ensino e Aprendizagem em Física no Ensino Médio*”, bem como textos que fizeram parte de um curso livre denominado *Astrofísica Geral*, realizado pelo professor pesquisador, oferecido na modalidade EAD pela Divisão de assuntos Educacionais (DAED) do Observatório Nacional, pertencente ao Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT).

Nossa SD foi elaborada com vistas nos pressupostos descritos por Méheut e Psillos (2004), porém cabe ressaltar que, mesmo utilizando a ideia de princípios de *design* para norteá-la, não a consideramos uma SEA, pois esta prevê ciclos de *design* e implementação envolvendo a validação de elementos da SD e a sua reestruturação, etapas não previstas nem executadas em nosso trabalho, devido à duração do curso de mestrado.

Os princípios de *design*, conforme já descritos no capítulo 3, podem ser classificados em 4 categorias distintas: epistemológico; psicocognitivo; didático e sociocultural, envolvendo assim elementos de natureza teórica e prática, os quais podem vir de teorias educacionais gerais ou de elementos da prática profissional.

Os princípios de *design* considerados para a elaboração da SD *Movimentos do Sistema Solar* são apresentados no quadro 2.

Princípios de *design*

- Conhecimentos prévios: Considera-se que as concepções prévias dos alunos influem e, portanto, são relevantes para o processo de aprendizagem. Logo, as atividades de ensino devem ser elaboradas de tal modo que o professor possa conhecer as principais concepções prévias dos alunos, e retomá-las ao longo das aulas, seja aperfeiçoando ou questionando-as;
- Aprendizagem na perspectiva dos modelos mentais: Considera-se a aprendizagem como processo que ocorre através do aperfeiçoamento dos modelos mentais dos educandos, em que modelos intermediários são revisitados e tomam nova forma, de modo a se aproximarem de um modelo de referência. Portanto, as atividades planejadas devem permitir que os alunos expressem seus modelos e reflitam sobre suas limitações a fim de aperfeiçoá-los.
- Ensino por modelização: Considera-se que a modelização permite uma aprendizagem científica mais autêntica. Dessa forma, as atividades de ensino devem desenhar-se a fim de oportunizar aos educandos o levantamento de predições sobre os modelos, o teste dos modelos e a proposição de novos modelos;
- Uso da história da ciência: Considera-se que o estudo da história da ciência não somente conduz a uma visão mais apropriada sobre sua natureza, mas também se favorece o próprio aprendizado dos conteúdos científicos. Dessa maneira, as atividades de ensino devem ser planejadas de modo a conter discussões sobre a concomitância do período histórico e do conhecimento científico construído, bem como de seus conceitos chave.
- Uso pedagógico das TIC: Considera-se que as TIC fornecem informações mais realistas e promovem alterações no desempenho dos professores e alunos. Portanto, as atividades de ensino devem ser desenhadas utilizando recursos diferenciados, de modo a buscar um melhor entendimento do tema estudado.

Quadro 2: Princípios de *design* da sequência didática.

Cada um dos princípios elencados no quadro pode relacionar-se a mais de uma categoria dos princípios de *design*. Assim, a materialização do *princípio epistemológico* ocorreu ao enfatizar aos educandos, no decorrer da SD, o conhecimento científico como sendo sempre uma aproximação da natureza, da realidade, conforme suscitado por Bachelard (2004). As atividades planejadas

para a sequência buscavam mostrar aos estudantes que evidências observadas pelos cientistas poderiam influenciar no modelo de mundo adotado socialmente. Houve a intenção do educando experimentar tal processo tanto pelo experimento analógico quanto pelas simulações utilizadas.

Em nossa SD, consideramos que uma aprendizagem científica seria mais autêntica se os alunos realizassem predições e as observassem posteriormente a luz de recursos computacionais e em análises de textos, a fim de redefinir os modelos da dinâmica do sistema Terra-Sol-Lua-planetras, assim utilizamos o *princípio didático* da modelização.

Em concomitância, os princípios citados anteriormente vão ao encontro do *princípio psicocognitivo* da *aprendizagem significativa* e da evolução dos modelos mentais dos estudantes envolvidos no processo de ensino, pois espera-se que a modelização permita esta evolução dos modelos mentais, e que a cada passo da SD esses modelos se aproximem mais do modelo científico.

Para completar a inspiração aos princípios de *design*, buscou-se que o *princípio sociocultural* se consolidasse ao permitir um trabalho conjunto e interativo entre os docentes e os alunos.

A valorização dos conhecimentos prévios se dirige ao princípio psicocognitivo de *design*, relacionada à teoria da *Aprendizagem Significativa* de Ausubel, nesta teoria “o conhecimento prévio é a variável que mais influencia a aprendizagem significativa” (MOREIRA, 2009, 2011a).

O uso da história das ciências na educação é mais um princípio de *design* que consideramos em nosso trabalho, atendendo aos *princípios epistemológico* e *didático* e, a partir dele, para Martins (2014), não somente conduz-se a uma visão mais apropriada sobre a natureza da ciência, mas também se favorece o próprio aprendizado dos conteúdos científicos.

Desse modo, os princípios elencados no quadro deram embasamento ao desenho de nossa sequência, ou seja, foram as ideias de partida que moldaram as escolhas das estratégias e recursos, e assim permearam a construção da SD que tem o esquema geral apresentado na figura 06.

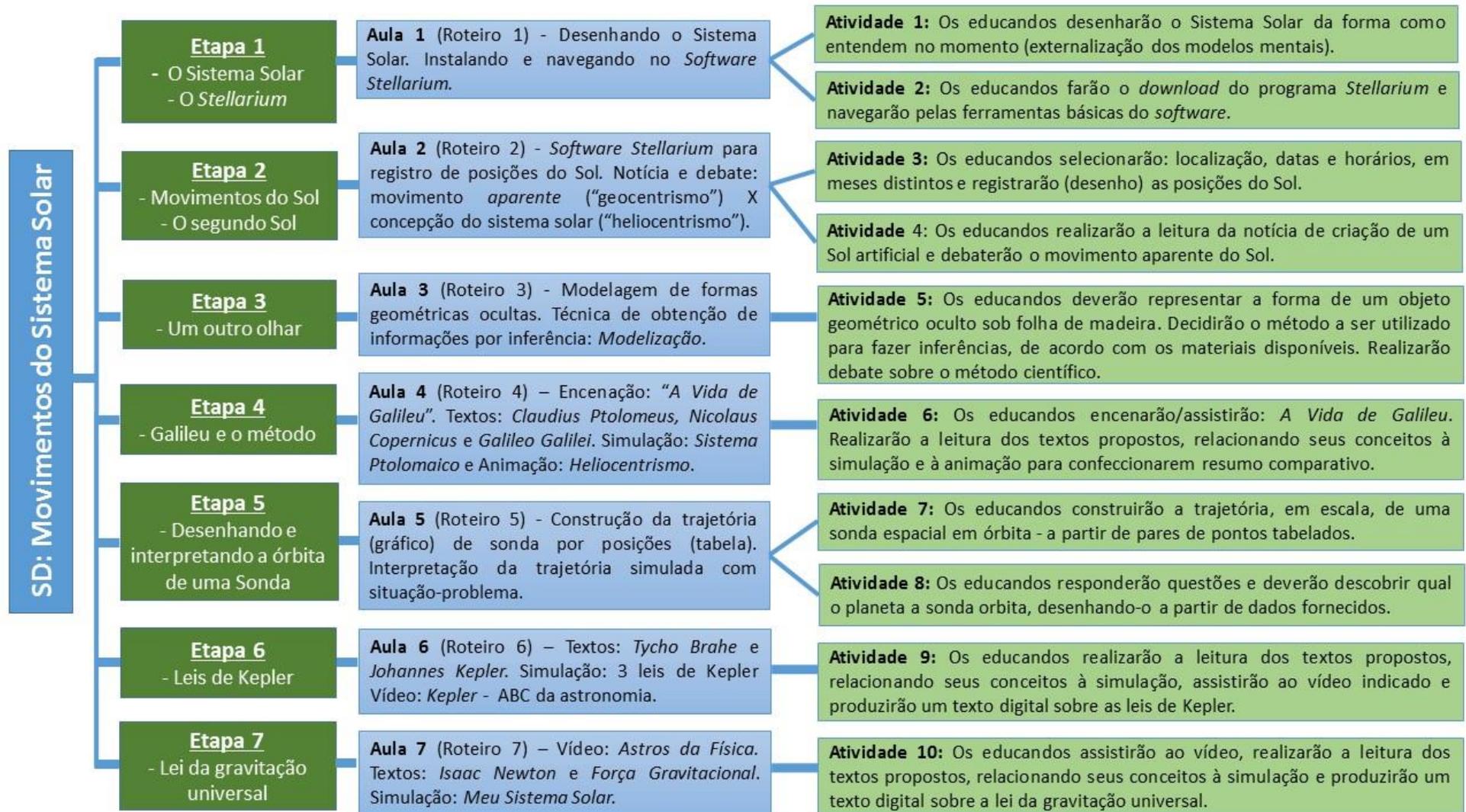


Figura 06: Esquema geral da sequência didática.

A primeira atividade da SD, denominada *Movimentos do Sistema Solar*, objetiva levantar algumas concepções pré-existentes na estrutura cognitiva dos educandos envolvidos no processo de ensino e aprendizagem que se inicia, considerando que, ao se partir das concepções pré-existentes dos estudantes, se favorece a *Aprendizagem Significativa*.

Para tanto, o professor deve solicitar aos alunos que façam individualmente um desenho do Sistema Solar na forma que o concebem até o presente momento; o desenho deve ser confeccionado em papel apropriado para ser entregue ao professor, conforme pode ser observado no apêndice B.01.

Além disso, algumas concepções dos educandos podem ser observadas em suas falas enquanto realizam a atividade. Dessa forma, a atividade 1 se baseia no princípio de *design* relacionado com a valorização do conhecimento prévio dos alunos, isto é, no *princípio psicocognitivo*.

Já a atividade 2 tem como base o princípio relacionado com o uso pedagógico das TIC e de ferramentas contemporâneas. Nela fazemos uso de um popular *software* de Astronomia, o *Stellarium*, que

[...] é um programa gratuito, de código-fonte aberto, [...] Ele permite mostrar o céu em condições muito próximas às reais, simulando o que podemos ver à vista desarmada ou empregando instrumentos astronômicos. Além disso, disponibiliza informações acerca dos corpos celestes e também possibilita a visualização do céu a partir de ambientes como Marte, Lua e Oceanos, ou de sua própria residência ou escola, dependendo da versão empregada. (LONGHINI e MENEZES, 2010, p.435)

Para além do uso de ferramentas computacionais para cumprir papéis específicos na aula, considerou-se que tal uso deve auxiliar os alunos a melhor desenvolver algumas habilidades técnicas básicas, como buscar, selecionar e instalar *softwares* educacionais. Neste sentido, a primeira etapa da SD ainda conta com a atividade 2 da SD⁶, na qual duplas de alunos devem ser solicitadas a acessarem o *site* oficial (figura 07) e fazer o *download* do programa *Stellarium*, na intenção de que os discentes conheçam as ferramentas básicas do programa

⁶ Como o desenvolvimento de habilidades técnicas no uso de ferramentas computacionais pode ocorrer em outros momentos, em casos em que haja um tempo menor para a implementação da SD, o *software* poderá ser baixado e instalado antecipadamente pelo professor. Porém, a atividade pode contribuir para evitar a dispersão dos alunos no momento de realizarem tarefas específicas no *software*.

e familiarizem-se com o *software* que utilizarão para a atividade 3, presente na próxima etapa da sequência.

A atividade 3 da etapa 2, intitulada *Registrando o Movimento do Sol*, foi planejada para substituir a observação do Sol que seria realizada durante, aproximadamente, um ano letivo. Nela, os alunos devem se dividir em duplas e contam com a utilização do programa *Stellarium* para definir localizações e datas como fonte de dados para registro em papel apropriado, da posição do Sol em quatro momentos diferentes para cada dia, assim como consta no apêndice B.02.



Figura 07: Vista do *site* oficial do *software* *Stellarium* (www.stellarium.org).

As figuras de 08 a 12 mostram um exemplo de cinco imagens que podem ser visualizadas pelos alunos e foram capturadas no *software* *Stellarium* na data selecionada de 15/02/2015 em horários distintos, a fim de fornecer a ideia do movimento aparente do Sol que pode, inclusive, ser observado cotidianamente.

A intenção dessa atividade é de gerar uma reflexão (situação-problema) sobre o movimento aparente do Sol, pois traz o confronto do modelo desenhado na atividade 1 (Sol “parado”) e a experiência cotidiana (Terra “parada”). Para isso, são colocadas aos educandos as indagações presentes no quadro 3.

Questão 1: O que pode ser observado sobre o movimento do Sol? O Sol sempre “caminha a pino”?

Questão 2: Considerando aquilo que você observa no dia a dia e o que foi visualizado no *software Stellarium*, compare o desenho do movimento do Sol (atividade 2) e o que você fez sobre o Sistema Solar (atividade 1): eles são coerentes? Explique quem se move, o Sol ou a Terra?

Questão 3: A humanidade sempre explicou os movimentos do Sistema Solar como você? Você conhece outra explicação para os movimentos do Sistema Solar? Como seria e como é chamada esta outra explicação?

Quadro 3: Questões da atividade 3.

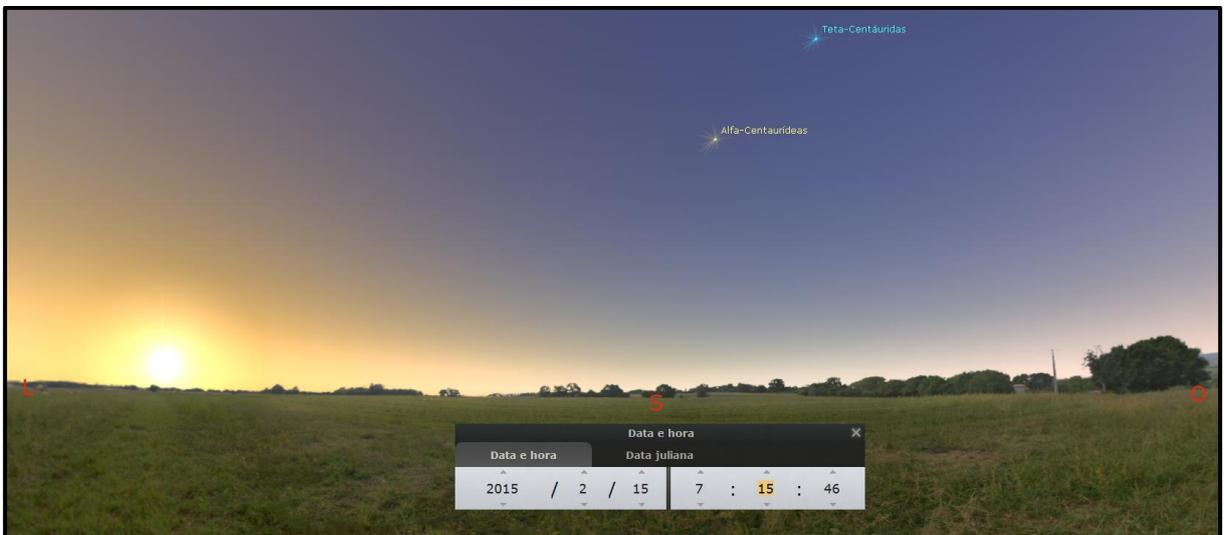


Figura 08: Imagem capturada no simulador *Stellarium* (07 horas e 15 min. do dia 15/02/15).

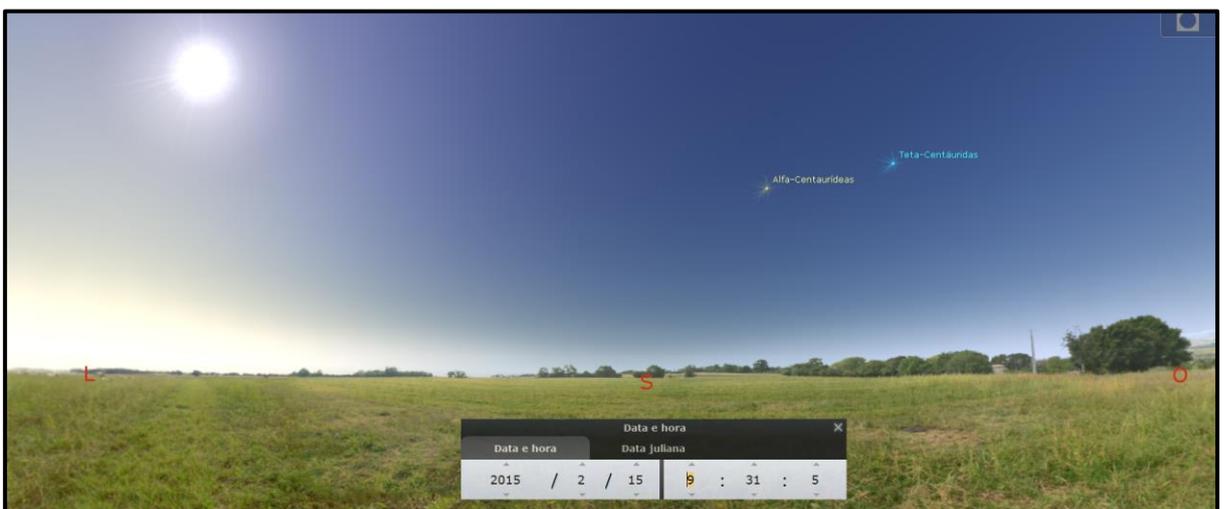


Figura 09: Imagem capturada no simulador *Stellarium* (09 horas e 31 min. do dia 15/02/15).



Figura 10: Imagem capturada no simulador *Stellarium* (16 horas e 30 min. do dia 15/02/15).

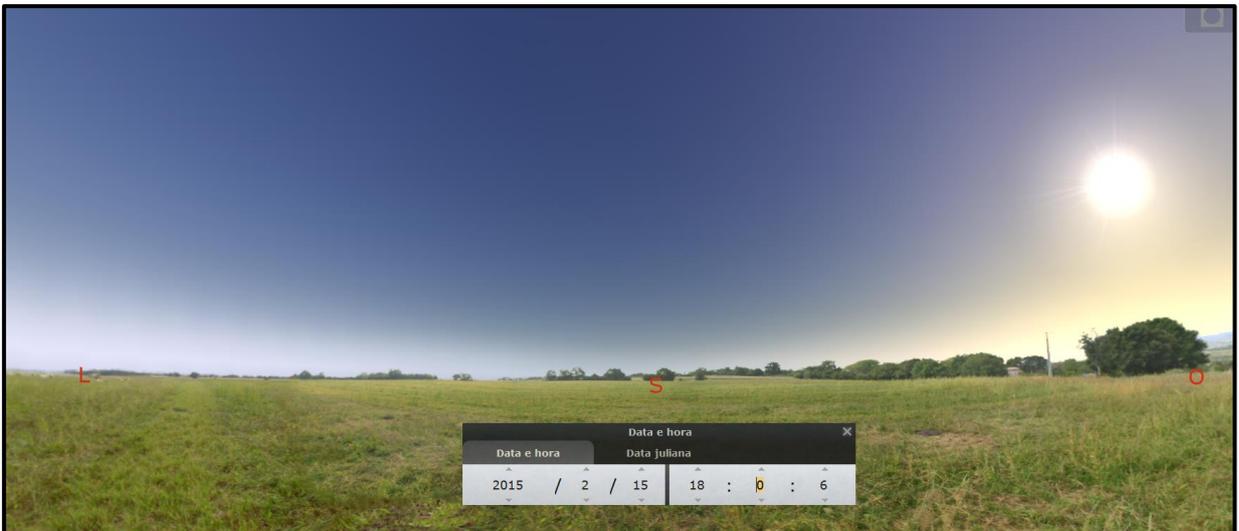


Figura 11: Imagem capturada no simulador *Stellarium* (18 horas do dia 15/02/15).

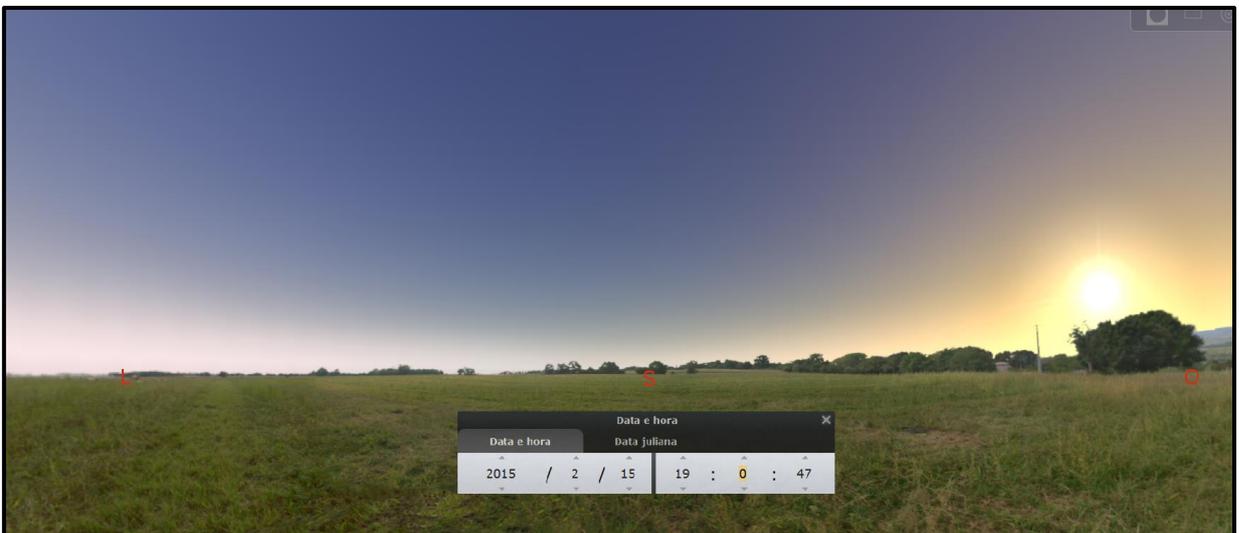


Figura 12: Imagem capturada no simulador *Stellarium* (19 horas do dia 15/02/15).

Denominada *O segundo Sol*, a atividade 4, desenvolvida ainda na etapa 3, traz a apresentação aos alunos de uma notícia sobre a criação de um Sol artificial através de espelhos computadorizados, cuja adaptação é apresentada no apêndice B.04, para que reflitam sobre as explicações dos modelos de dinâmica do sistema Terra-Sol-Lua-planetários Geocêntrico e Heliocêntrico, e percebam as aplicações práticas do movimento aparente do Sol.

Assim, fazendo uso dos princípios de *design* da utilização das TIC e ferramentas contemporâneas e do uso de situação-problema, a etapa 2 pretende possibilitar aos educandos o desenvolvimento das competências e habilidades de: relacionar as observações cotidianas sobre o movimento do sistema solar; dominar diferentes linguagens; compreender diferentes fenômenos do conhecimento; incentivar as competências que possibilitam uma visão crítica da Ciência.

Um outro olhar é o título da atividade de modelagem de formas geométricas desconhecidas, que entra neste momento em nossa SD para dar sentido à utilização do ensino por modelização. A atividade 5 (etapa 3) trabalha com uma técnica de obtenção de informações de algo desconhecido, considerando sua interação com que se conhece, a fim de que posteriormente se discuta sobre *Modelização*.

A atividade tem como propósito a ideia de levar os alunos a perceberem que nem todo o conhecimento científico sobre algo ocorre por uma observação direta, mas em muitos casos ocorre a partir de inferências sobre algo não observado diretamente. Assim, a atividade é um recurso analógico, que busca mostrar aos educandos que, da mesma forma que é possível obter informações de formas geométricas desconhecidas indiretamente, na história da ciência muitos conhecimentos foram elaborados a partir de dados indiretos.

Os grupos de alunos, entre 4 e 6 integrantes, deverão representar a forma de um objeto geométrico escondido sob uma folha de madeira/EVA, entendendo a representação como a construção de um modelo explicativo. Para isso terão de decidir, em grupo, o método a ser utilizado, considerando que contarão somente com os seguintes recursos: bolas de gude, lápis e papel sulfite.

Para o fechamento da atividade, cabe uma breve explanação sobre os conceitos de modelo científico e conceitual, com o apoio de um texto sobre o tema que se encontra no apêndice B.03, intitulado *Pontos importantes sobre o*

método científico a fim de que os educandos comparem a atividade que realizaram com a construção de modelos científicos e assim possam desenvolver as seguintes competências e habilidades: compreender processos de construção de ideias na ciência; explorar historicamente o processo de construção de modelos da estrutura do Universo (Sistema Solar); utilizar procedimentos e instrumentos de observação; representar resultados experimentais; elaborar hipóteses e interpretar resultados em situações.

Tradicionalmente nas discussões em sala de aula sobre os métodos empregados na ciência se assume um único método, o empirista, centrado na observação direta, o qual antecederia a teoria. A etapa 3 visa problematizar esta questão, permitindo aos educandos uma compreensão dos métodos da ciência como indo além da observação direta, e mais, como indo além de uma concepção de que o cientista deve se desnudar de seus conhecimentos teóricos para interpretar os fenômenos (a observação antecedendo a teoria).

A partir dessa discussão, os alunos serão capazes de passar para a etapa 4 da SD com uma visão mais clara da produção científica, inclusive reconhecendo que o conhecimento heliocêntrico que resultou do método adotado por Galileu, a partir de trabalhos de cientistas que o precederam, seria também complementado por trabalhos posteriores ao dele.

Assim, na etapa 4, vários recursos diversificam a atividade 6, intitulada *Galileu e o método*. Ela se inicia com uma encenação (adaptada de *A Vida de Galileu*) ou apresentação de vídeo e conta ainda com leitura de textos, exploração de animação e simulação relacionadas aos modelos Geocêntrico e ao modelo Heliocêntrico, a fim de fornecer subsídios aos educandos para confeccionarem um breve resumo comparativo sobre os modelos citados.

Utilizando-se do princípio de *design* de ensino por modelização, a encenação possibilita que se vislumbre a relação entre hipóteses, teorias e evidências. Pois, nas falas dos personagens são demonstradas relações entre teorias e hipóteses científicas tradicionais e novas evidências experimentais durante a construção do conhecimento científico.

Dessa maneira, torna-se possível não somente aprofundar o tópico específico de ciências em estudo, mas também permite que sejam estabelecidas relações entre as atividades anteriores, inclusive aquelas que tratavam do método científico.

Os textos *Claudius Ptolomeus*, *Nicolaus Copernicus* e *Galileo Galilei* que se encontram nos anexos A.01, A.02 e A.03 reforçam esta relação trabalhando historicamente com as ideias apresentadas sobre os modelos de mundo.

Já a simulação do *Sistema Ptolomaico* (modelo geocêntrico) e a animação *Heliocentrismo* (modelo heliocêntrico), apresentadas nas figuras 13 e 14, reforçam as ideias estudadas nos textos, permitindo aos educandos a visualização de conceitos abstratos sobre as descrições dos movimentos planetários.

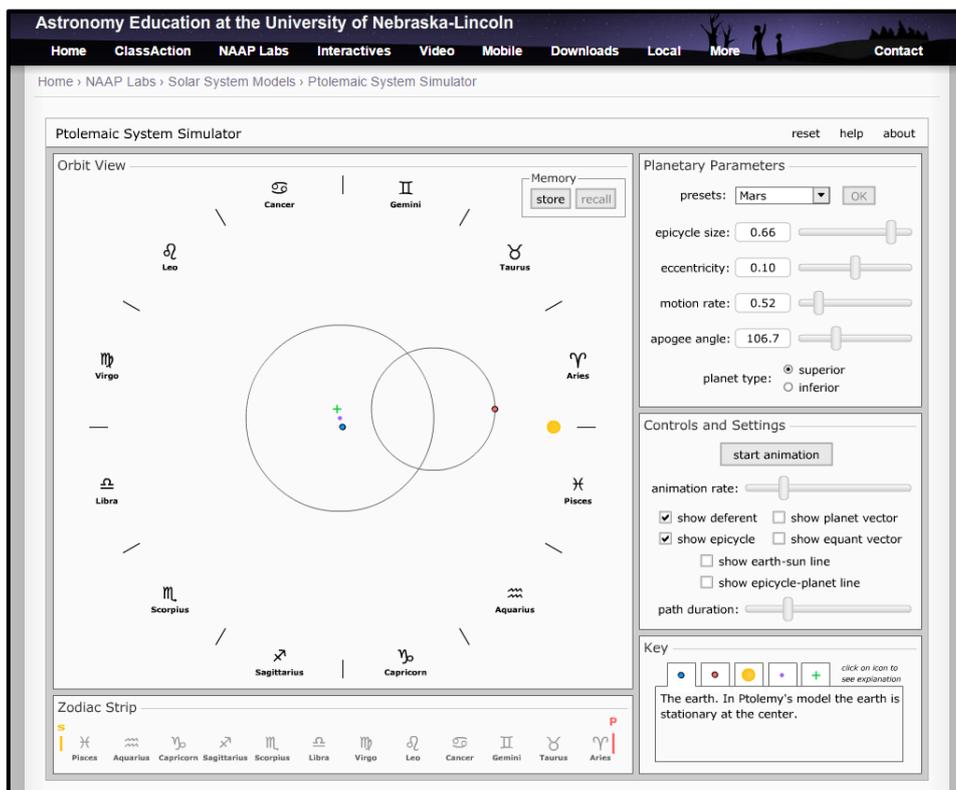


Figura 13: Tela inicial da simulação – Modelo Ptolomaico.
(<http://astro.unl.edu/naap/ssm/animations/ptolemaic.html>)

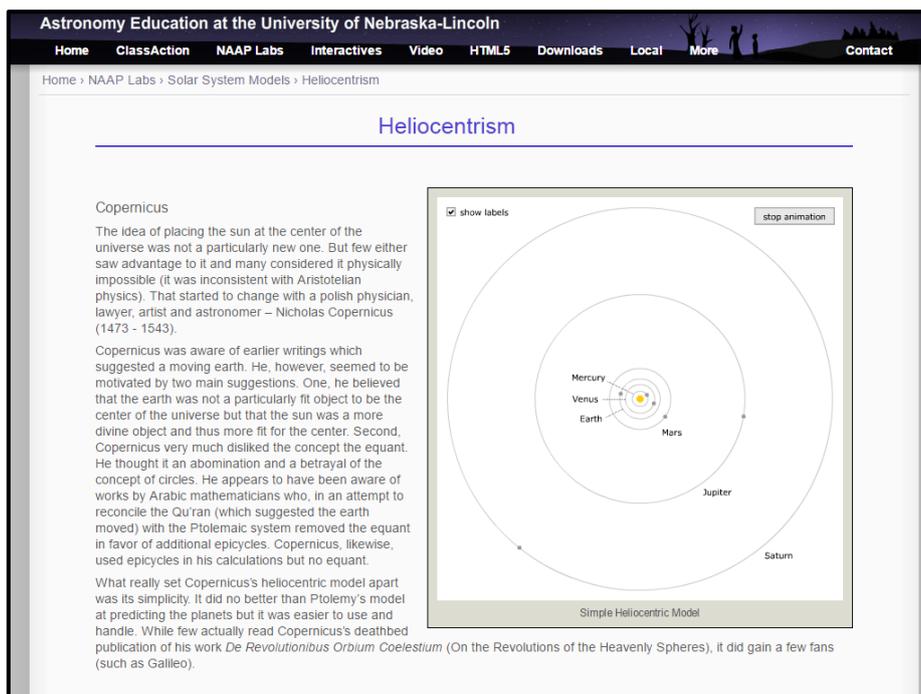


Figura 14: Tela inicial da animação – Heliocentrismo.
 (<http://astro.unl.edu/naap/ssm/heliocentric.html>)

A apresentação do vídeo intitulado *Heliocentrismo* (figura 15), da série denominada ABC da Astronomia, da TV Escola (MEC), finaliza a atividade 6. O vídeo tem duração aproximada de 4 minutos e servirá para reforçar alguns aspectos fundamentais dos modelos explicativos, levando ao reconhecimento do modelo heliocêntrico como mais adequado.

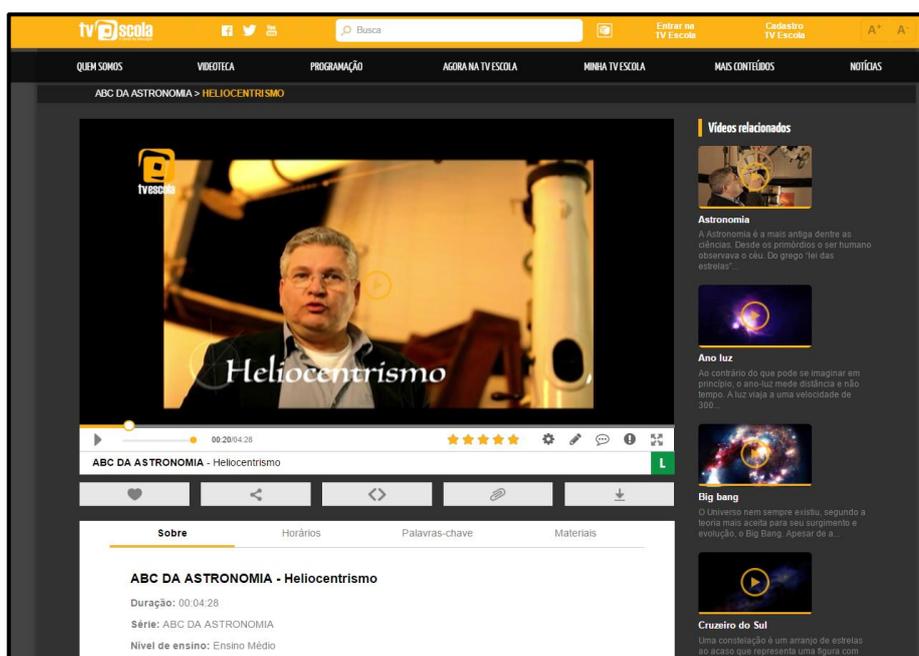


Figura 15: Tela do vídeo *Heliocentrismo* da série ABC da Astronomia da TV Escola.
 (<http://tvescola.mec.gov.br/tve/video/abc-da-astronomia-heliocentrismo>)

Dessa maneira, as atividades escolhidas vão além do conteúdo, discutindo também o processo de conhecer o conteúdo abordado. Envolvendo assim a *metacognição*, ou seja, permite aos educandos a visualização do processo que leva à própria construção de seu conhecimento.

Apresentar e expressar, por meio de diferentes linguagens, modelos e informações relevantes sobre corpos celestes e, por meio de materiais audiovisuais, relatos ou outras fontes com narração de eventos e descrição de fenômenos, são competências e habilidades que devem ser contempladas na etapa 4, que se baseia nos princípios de *design* do uso da história da ciência, do uso das TIC e ferramentas contemporâneas e da modelização.

As atividades 7 e 8 compõem a etapa 5 e seus roteiros estão presentes no apêndice B.05. Estas atividades demandam a construção da trajetória de uma sonda espacial em órbita de um planeta do Sistema Solar e a partir de dados encontrados em uma tabela. Posteriormente, o educando deve responder a um questionário e determinar qual o planeta em questão, sendo fornecida para isso uma escala de tamanho.

Lançando mão da intensificação da modelização e do uso de situação-problema, pois além da manipulação de simulações feitas anteriormente em que os educandos elaboram, testam e remodelam, através da construção gráfica e de sua interpretação na etapa 5, objetiva-se que os educandos desenvolvam as competências e habilidades de: elaborar e interpretar dados em diferentes formas de apresentação, tabelas, gráficos etc.; confeccionar gráficos; analisar dados e transformar informações de uma forma de apresentação em outra; realizar medidas e transformar informações para a forma escrita.

A etapa 6 é constituída pela atividade 9, em que os educandos estudarão os textos *Tycho Brahe* (anexo A.04) e *Johannes Kepler* (anexo A.05), explorarão a simulação das 3 leis de Kepler (figura 16) e assistirão ao vídeo ABC da Astronomia da TV Escola (figura 17). Todos esses recursos estão apresentados no apêndice B.06, e servem de subsídios para que os estudantes realizem uma produção textual sobre as leis de Kepler.

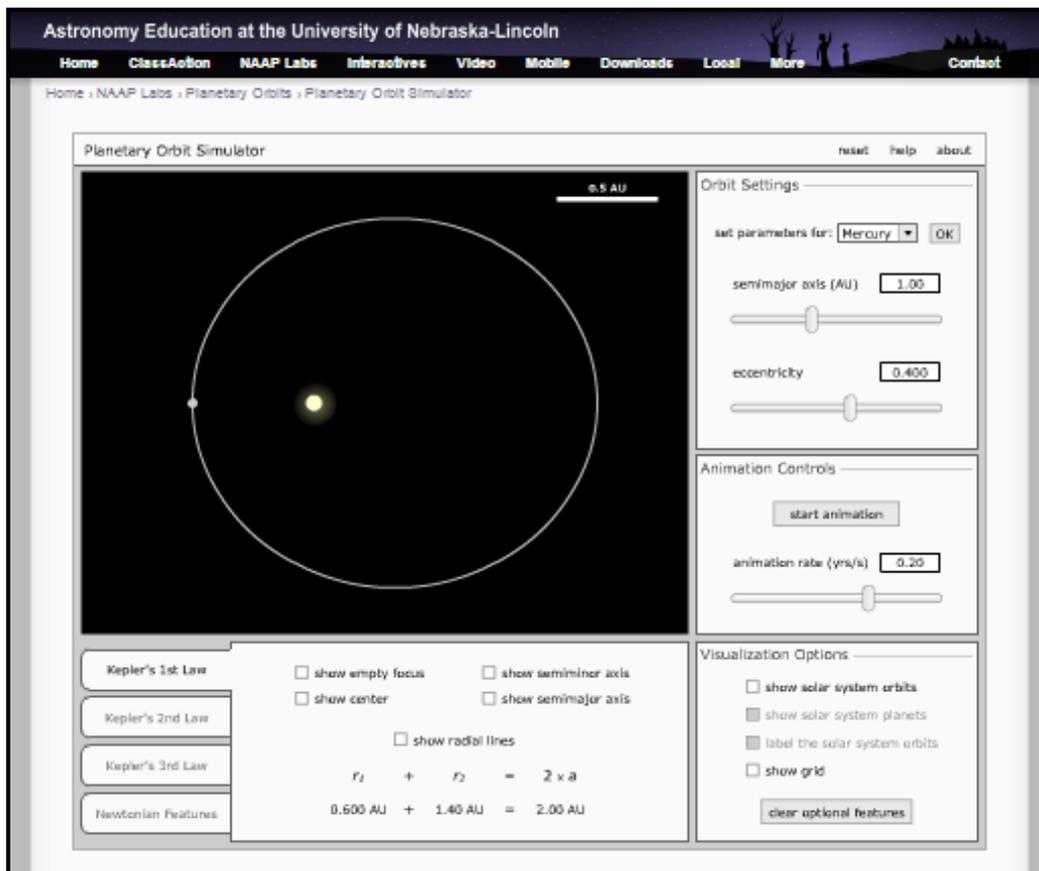


Figura 16: Tela inicial da simulação – Leis de Kepler.
(<http://astro.unl.edu/naap/pos/animations/kepler.html>)

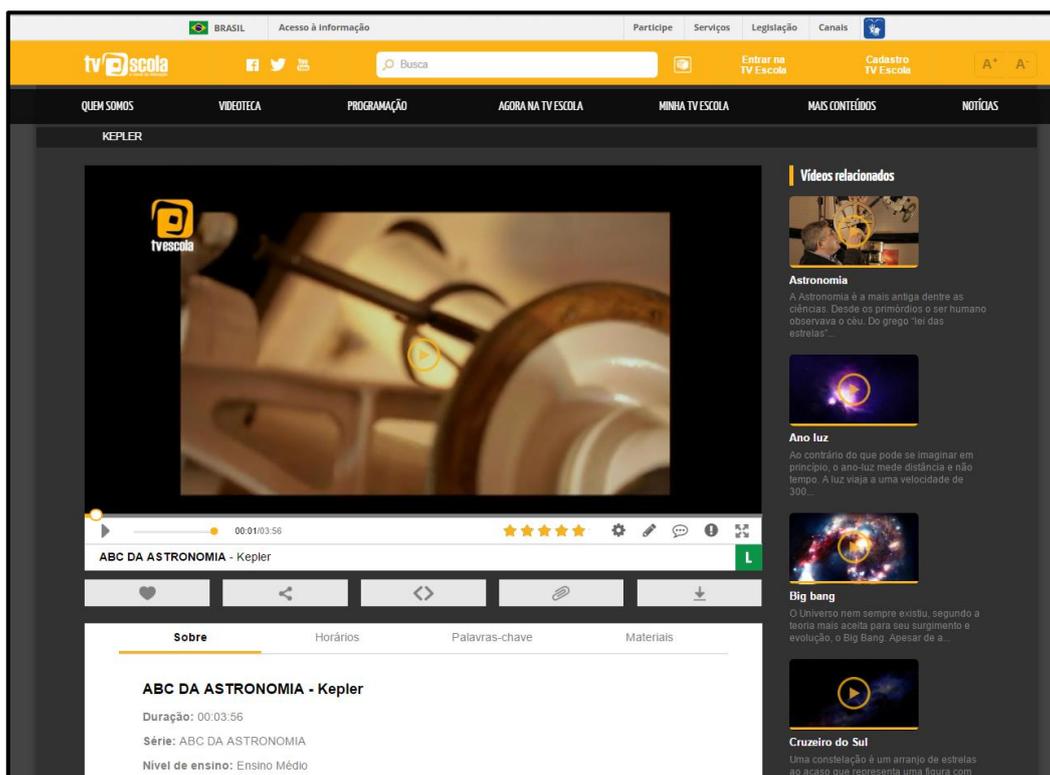


Figura 17: Tela do vídeo *Kepler* da série ABC da Astronomia da TV Escola.
(<http://tvescola.mec.gov.br/tve/video/abc-da-astronomia-kepler>)

As atividades da referida etapa são norteadas pelos princípios de *design* do uso da história da ciência, do uso pedagógico das TIC e ferramentas contemporâneas e da modelização, pois nas simulações os alunos testam e remodelam e no texto e no vídeo reconhecem, através da história, a construção do conhecimento em estudo.

Neste sentido, tais atividades permitem que os alunos desenvolvam as competências e habilidades, através dos textos e da exploração do simulador de movimentos planetários, de conhecer o processo histórico de construção e as aplicações das leis dos movimentos planetários (Leis de Kepler).

No início da atividade 10, que integra a sétima e última etapa desta SD, é proposto um vídeo do canal do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) no *YouTube*. O vídeo, cuja tela inicial é apresentada na figura 18, apresenta conceitos abordados desde o início da SD, afim de retomá-los antes de se encerrarem as atividades da sequência.

Uma vez que, após as atividades levarem para um reconhecimento do heliocentrismo como envolvendo um modelo explicativo mais adequado do que o geocentrismo, inclusive com um momento em que se estuda as leis de Kepler, a SD é finalizada com uma discussão sobre a relação entre a força gravitacional e a dinâmica do sistema solar, o que torna viável o estudo da Gravitação Universal.

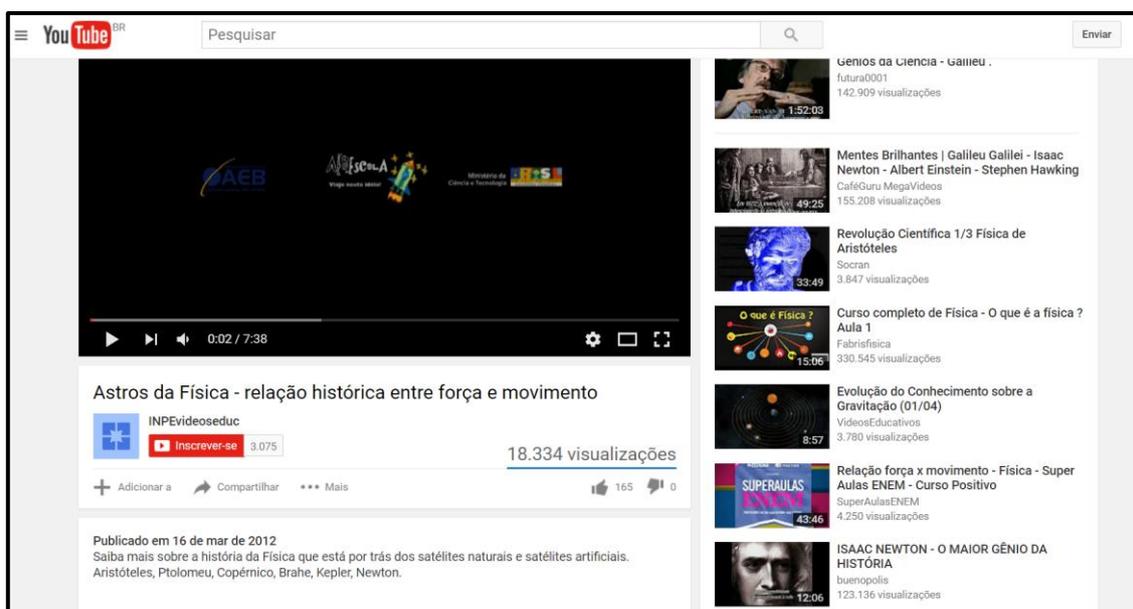


Figura 18: Vídeo de retomada de conceitos, apresentado pelo canal do INPE (atividade 10).
(<https://www.youtube.com/watch?v=VN2uhSivM7A>)

Os educandos ainda devem explorar a simulação *Meu Sistema Solar*, encontrada no *site* da Universidade do Colorado; a simulação do projeto *PhET* está apresentada nas figuras 19 e 20.

A partir dos princípios de *design* do uso da história da ciência, do uso pedagógico das TIC e ferramentas contemporâneas e da modelização, para finalizar a SD, os educandos são levados a escrever um texto síntese após discussão com sua dupla sobre a leitura dos textos *Isaac Newton* (anexo A.06) e *Força Gravitacional* (anexo A.07), relacionando-os com o vídeo que assistiram no início da aula.

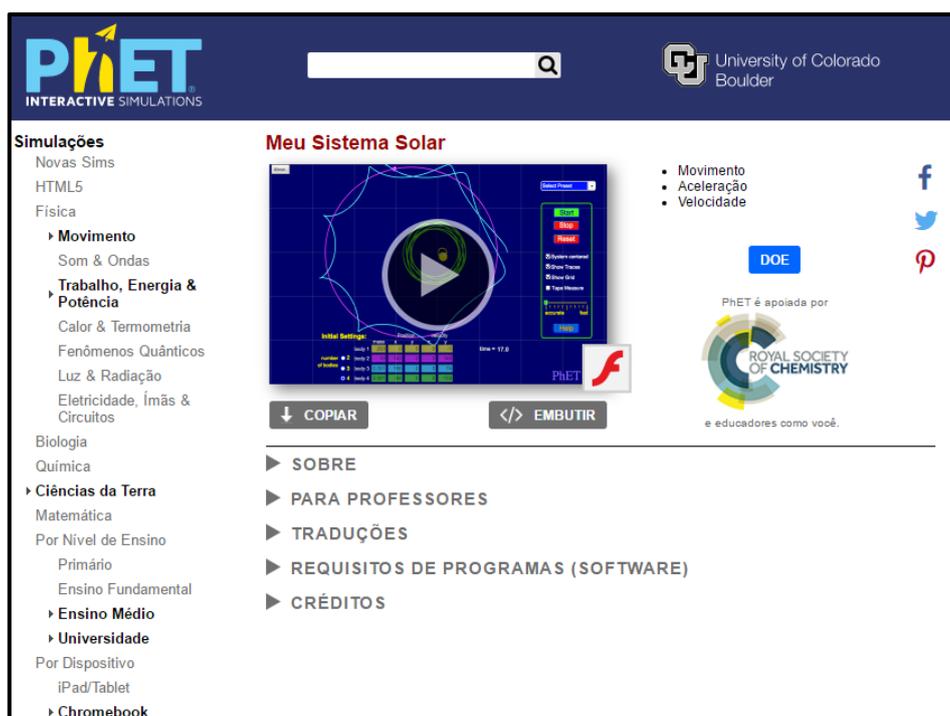


Figura 19: Vista do acesso ao simulador *Meu Sistema Solar* do PhET (atividade 10).
(https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/my-solar-system)

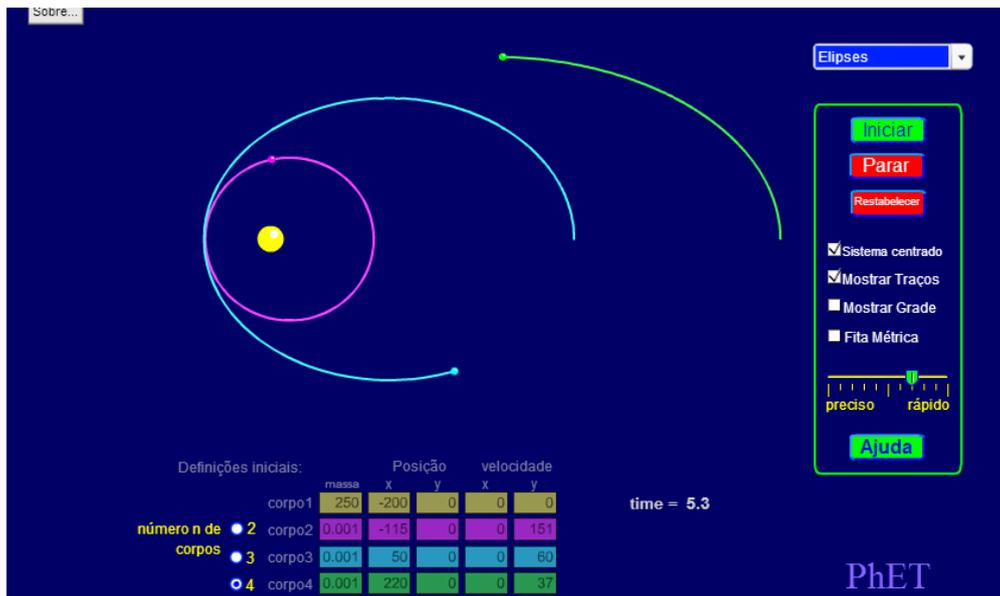


Figura 20: Vista da simulação *Meu Sistema Solar* do PhET (atividade 10).

Nesta ocasião, o professor deve finalizar desmistificando o episódio da *maçã de Newton* e o conceito de ciência como algo pronto e acabado. Destaca-se que a desmistificação do episódio da maçã de Newton ocorreu, para o próprio professor autor deste texto, durante o desenvolvimento desta sequência didática. Para tanto, o professor pode fazer uso de um texto de apoio⁷ sobre o episódio citado, reforçando assim a contribuição das análises, envolvidas no planejamento da SD, para sua formação continuada.

⁷ <http://www.ghc.usp.br/server/pdf/RAM-livro-Cibelle-Newton.pdf>

Capítulo 5

Implementação da SD: contexto e relato

Trataremos neste capítulo do contexto e dos relatos da implementação da Sequência Didática (SD), que foi realizada em uma escola pública integrante do *Programa de Ensino Integral* (PEI) da Secretaria de Educação do Estado de São Paulo (SEE-SP).

A SD, inicialmente planejada para ser aplicada à 1ª série do Ensino Médio regular, foi adaptada durante seu planejamento de modo a ser implementada no decorrer de uma *disciplina eletiva* que poderia contar com a participação de alunos das três séries do Ensino Médio, já que o professor autor foi designado para atuar no PEI durante o curso de seu mestrado.

5.1 Contexto da implementação da SD

A aplicação da SD proposta neste trabalho ocorreu em uma unidade escolar da rede pública estadual de São Paulo, situada no município de Rio Claro, distante cerca de 200 quilômetros da capital paulista, durante o segundo semestre de 2015, como atividades parciais de uma *disciplina eletiva* presente na carga horária do *Ensino Médio Integral* (EMI) da SEE-SP, ministrada em parceria pelos professores de Física e Filosofia.

Esta Escola Estadual atende a adolescentes entre quatorze e dezoito anos, oriundos de diversos bairros da cidade. No início de 2015, como parte de outras atividades desenvolvidas na escola, foi respondido um questionário pelos pais/responsáveis e outro pelos alunos, que permitiu verificar que os responsáveis pelos alunos estão numa faixa etária de 41 a 50 anos.

A maioria dos responsáveis possui o Ensino Médio incompleto e encontra-se empregado, sendo que muitos dos pais ocupam cargos na indústria, enquanto que a maioria das mães ocupa cargos no comércio. Mais de 60% das famílias possuem residência própria e, em média, de 3 a 5 pessoas residem na casa. Possuem renda familiar acima de 3 salários mínimos e todos possuem

televisores e geladeiras. A maioria das famílias possui computadores (95%) com acesso à internet (90%).

As aulas da unidade são distribuídas em 10 salas ambientes, com projetor ou lousa digital ou ainda na sala do *Acessa Escola*, *Sala de Leitura*, *Laboratório Molhado* (Biologia e Química) e *Laboratório Seco* (Física e Matemática). A unidade escolar encontra-se sem quadra poliesportiva para as aulas de Educação Física, que ocorrem ora em sala de aula comum, ora no pátio.

Faz-se necessário descrever algumas características especiais desse tipo de unidade escolar que integra o *Programa de Ensino Integral* (PEI), para que se possa ter melhor entendimento do contexto de aplicação da SD. O PEI é parte de um projeto mais amplo denominado *Escola de Tempo Integral* (ETI) da SEE-SP, que por sua vez contém o *Ensino Médio Integral* (EMI).

A implementação do EMI do estado de São Paulo teve início no ano de 2012 com 16 unidades de Ensino Médio. A escola onde foi aplicada nossa SD foi uma das 13 unidades de ensino médio que passaram a integrar o referido programa em sua primeira expansão em 2013, que ainda contou com a entrada de 22 unidades do Ensino Fundamental II (anos finais) e 2 unidades híbridas, totalizando no referido ano 69 escolas participantes do programa.

No ano de 2014, houve nova expansão, totalizando 182 unidades entre os anos finais e ensino médio. Segundo as diretrizes do programa, a intenção é que a expansão atinja, até 2018, a marca de 1000 escolas com o PEI.

Os professores que lecionam nas escolas pertencentes ao programa são professores efetivos da rede que participaram de um processo de credenciamento, para seleção, de modo a atuarem no PEI na forma de designação a função, pois continuam titulares de cargo em outra unidade escolar da SEE-SP. Os docentes que integram o quadro do magistério do EMI recebem uma gratificação de 75% de seu salário-base.

O EMI conta com a matriz curricular mostrada na figura 21, a qual está apresentada como o Anexo I da “RESOLUÇÃO SE Nº 49, DE 19-7-2013” e das informações básicas sobre o programa, publicadas em abril de 2014.

Pode ser observado na figura 21 que, além das disciplinas da base nacional comum, existem as disciplinas da parte diversificada: *língua estrangeira moderna; disciplinas eletivas e prática de ciências*. A matriz curricular do EMI

ainda conta com as disciplinas das atividades complementares: *orientação de estudo; preparação acadêmica; projeto de vida e mundo do trabalho.*



**ESCOLA DE TEMPO
INTEGRAL**
Programa Ensino Integral

Anexo I - Matriz Curricular do Ensino Médio Integral

	ÁREAS DE CONHECIMENTO	COMPONENTES CURRICULARES	Séries/Aula			
			1ª	2ª	3ª	CH
BASE NACIONAL COMUM	LINGUAGENS	Língua Portuguesa	5	5	6	640
		Educação Física	2	2	2	240
		Arte	2	2	2	240
	MATEMÁTICA	Matemática	5	5	6	640
	CIÊNCIAS DA NATUREZA	Química	2	3	2	280
		Física	3	2	2	280
		Biologia	2	2	3	280
	CIÊNCIAS HUMANAS	História	2	2	2	240
		Geografia	2	2	2	240
		Filosofia	2	2	2	240
		Sociologia	2	2	2	240
	TOTAL DA BASE NACIONAL COMUM			29	29	31
PARTE DIVERSIFICADA	Língua Estrangeira Moderna	2	2	2	240	
	Disciplinas Eletivas	2	2	2	240	
	Prática de Ciências	4	4	0	320	
TOTAL DA PARTE DIVERSIFICADA			8	8	4	800
ATIVIDADES COMPLEMENTARES	Orientação de Estudo	4	2	2	320	
	Projeto de Vida	2	2	0	160	
	Preparação Acadêmica	0	2	4	240	
	Mundo do Trabalho	0	0	2	80	
TOTAL DAS ATIVIDADES COMPLEMENTARES			6	6	8	800
TOTAL GERAL DA CARGA HORÁRIA			43	43	43	5.160

Figura 21: Matriz curricular do ensino médio integral da SEE-SP.

Mais especificamente, observa-se que existem as *disciplinas eletivas*, que integram a parte diversificada da matriz curricular. Essas disciplinas contam com a carga horária de 2 horas/aulas semanais e são ministradas por uma dupla de professores, preferencialmente, de áreas distintas.

As disciplinas eletivas são oferecidas semestralmente e as ementas elaboradas pelos professores que buscam contemplar os *Projetos de Vida*⁸ que veem sendo planejados pelos estudantes.

A sequência didática *Movimentos do Sistema Solar* foi aplicada no segundo semestre do ano de 2015 como parte de uma disciplina eletiva do EMI, intitulada “*Do Mundo Fechado ao Universo Infinito*”, em alusão à obra do filósofo Alexandre Koyrè. A disciplina foi idealizada pelo professor autor deste trabalho e contou com a participação de um professor de filosofia, que contribuiu principalmente com as discussões históricas e relacionadas com o “fazer ciência”.

A disciplina eletiva e, conseqüentemente, a implementação da SD ocorreu às quartas-feiras, no período vespertino, após o horário de almoço da escola, nas 6^{as} e 7^{as} aulas (das 9 diárias) com 50 minutos cada. Apesar de fazerem parte do turno da tarde, essas aulas não eram especificamente de um contra turno, pois os componentes curriculares obrigatórios, as disciplinas da parte diversificada e de atividades complementares eram distribuídas uniformemente entre os períodos matutino e vespertino.

Durante o ano da aplicação, a escola possuía 4 turmas da 1^a série, 4 turmas da 2^a série e 2 turmas da 3^a série do Ensino Médio. A turma à qual foi aplicada a SD *Movimentos de Sistema Solar* contou com a participação de 31 alunos das 3 séries do Ensino Médio, sendo eles distribuídos da seguinte maneira: 11 discentes da 1^a série; 17 estudantes da 2^a série e 3 alunos da 3^a série.

O professor autor deste trabalho utilizou-se, para a elaboração do próximo subcapítulo, das atividades realizadas em folhas de sulfites, arquivos de editores de texto, bem como apontamentos de um caderno de campo, onde estavam registradas suas observações pessoais, realizadas ao decorrer da implementação da SD.

Cabe ressaltar que era realizada uma recapitulação dos conceitos trabalhados no início de cada nova aula, assim como uma síntese dos principais

⁸ Existe no EMI a disciplina *projeto de vida* (como pode ser observado na matriz curricular, com carga horária de 2 h/a na 1^a e 2^a séries), na qual os alunos realizam atividades e orientações para o planejamento de um Projeto de Vida, que seria o “plano de carreira” para o futuro dos estudantes.

conceitos abordados pelos professores ao final das mesmas. Esta prática pareceu mais relevante devido à observação de que haviam muitas faltas de alunos ou ainda o caso de alguns alunos não permanecerem na escola após o horário do almoço para participar da disciplina eletiva.

Antes de iniciarmos os relatos de implementação da SD, apresentamos o quadro 4, que traz a identificação dos alunos em códigos para que se mantenha sigilo em relação aos nomes dos alunos envolvidos neste trabalho. Como exemplo, temos a aluna número 10 da disciplina eletiva que está matriculada na 1ª série e pertence à turma “D”; quando necessário, ela será citada nos relatos como A10-1D.

Aluno	Série	Turma	Identificador	Aluno	Série	Turma	Identificador
01	1ª	A	A01-1A	17	2ª	B	A17-2B
02	1ª	A	A02-1A	18	2ª	B	A18-2B
03	1ª	B	A03-1B	19	2ª	B	A19-2B
04	1ª	C	A04-1C	20	2ª	B	A20-2B
05	1ª	C	A05-1C	21	2ª	B	A21-2B
06	1ª	C	A06-1C	22	2ª	B	A22-2B
07	1ª	D	A07-1D	23	2ª	B	A23-2B
08	1ª	D	A08-1D	24	2ª	B	A24-2B
09	1ª	D	A09-1D	25	2ª	B	A25-2B
10	1ª	D	A10-1D	26	2ª	C	A26-2C
11	1ª	D	A11-1D	27	2ª	C	A27-2C
12	2ª	A	A12-2A	28	2ª	C	A28-2C
13	2ª	A	A13-2A	29	3ª	A	A29-3A
14	2ª	A	A14-2A	30	3ª	B	A30-3B
15	2ª	B	A15-2B	31	3ª	B	A31-3B
16	2ª	B	A16-2B				

Quadro 4: Códigos de identificação dos alunos.

5.2 Relato da implementação da SD

5.2.1 Aplicação do Roteiro 1 (aula 1)

Os primeiros 50 minutos da aula 1 (atividade 1, etapa 1 – Roteiro no apêndice B.01) ocorreram em uma sala de aula convencional. A aula se iniciou com a apresentação da disciplina eletiva *Do Mundo Fechado ao Universo Infinito*, a qual os alunos haviam escolhido cursar uma semana antes, após tomarem ciência de uma breve descrição de sua ementa.

Nesta aula, estavam presentes 28 alunos de uma lista de 29 estudantes, que poderiam, no decorrer da primeira semana, trocar a matrícula de disciplina eletiva por outra de maior interesse, caso não houvesse identificação com a proposta. A eletiva contou com a participação de 31 alunos, pois, na segunda semana, alguns alunos matriculados nesta optaram por frequentar outra disciplina, assim como alguns escolheram migrar para a eletiva *Do Mundo Fechado ao Universo Infinito*.

Posteriormente à apresentação, os alunos foram solicitados a realizar um desenho de sua concepção do Sistema Solar, a fim de que suas produções se tornassem o primeiro levantamento dos conhecimentos prévios trazidos pelos discentes que participariam da disciplina eletiva, o que também se fez como tentativa de que os educandos externassem seus modelos mentais sobre o Sistema Solar.

Verificar aquilo que os alunos entendem sobre o tema que será abordado é fundamental para o docente poder intervir de forma significativa. Existem diversos trabalhos em ensino de Astronomia, por exemplo, Langhi (2011) que trata das concepções, conhecimentos e ideias prévias que alunos e docentes em lugares diferentes do mundo apresentam, com reincidência em muitas representações, baseada em sua escolarização de forma geral, as informações das diferentes mídias e outras vivências.

Os desenhos foram produzidos pelos alunos em papel apropriado (Folha 1, presente no apêndice B.01) e foram observadas as falas dos mesmos sobre o tema geral: Sistema Solar. A seguir, apresentamos a digitalização de alguns

dos desenhos confeccionados pelos estudantes, seguidos de algumas considerações.

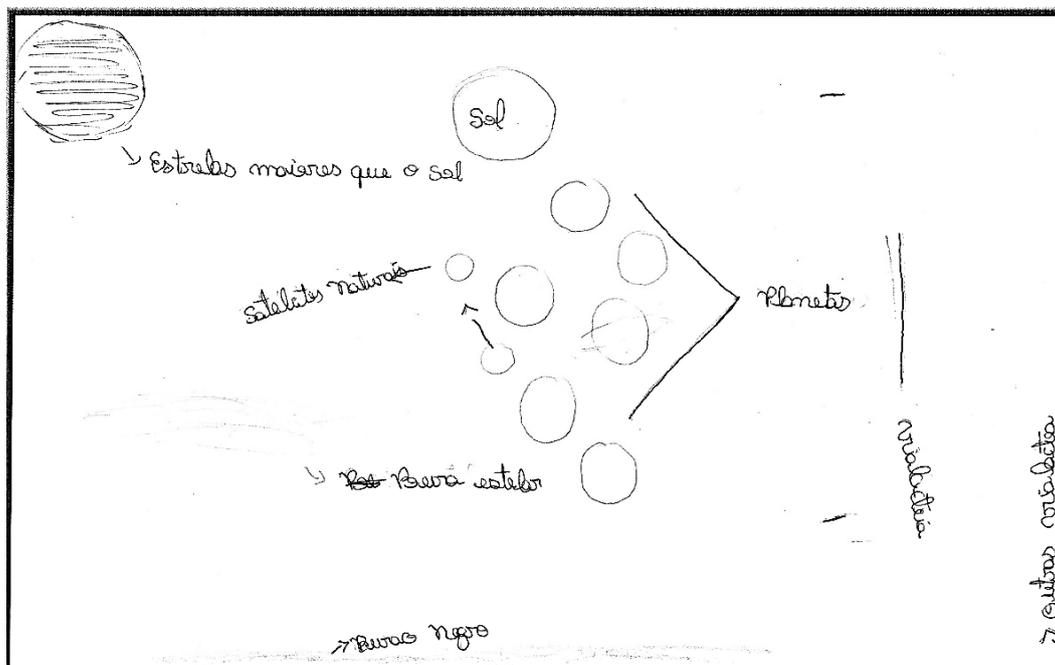


Figura 22: Digitalização do desenho confeccionado pela aluna A10-1D.

Ao observar a figura 22, nota-se que a aluna buscou representar o que entendeu da proposta, porém é possível verificar que ela não diferencia o Universo e o Sistema Solar, tendo desenhado os objetos que acredita permear a *Via Láctea*, indicando a existência de *Buracos Negros* e outras galáxias (outras “Via Láctea”), incluindo também outras estrelas neste mesmo espaço. Além disso, a aluna não fez correspondência com a quantidade de planetas presentes no Sistema Solar.

Nos desenhos apresentados na figura 23 pelos alunos da 3ª série, em que ambos são alunos do EMI desde o início do Ensino Médio e mesmo tendo um professor de Física licenciado na disciplina, infere-se que as competências e habilidades referidas sobre os temas de Astronomia não se desenvolveram de modo significativo. Ainda pode-se perceber no desenho da direita que o Sol e a Lua apresentados em polos distintos, provavelmente, representam o dia e a noite. Percebe-se ainda que a dinâmica do Sistema é incompatível, até mesmo com o modelo geocêntrico, pois nem mesmo a Terra está no centro do “universo”.

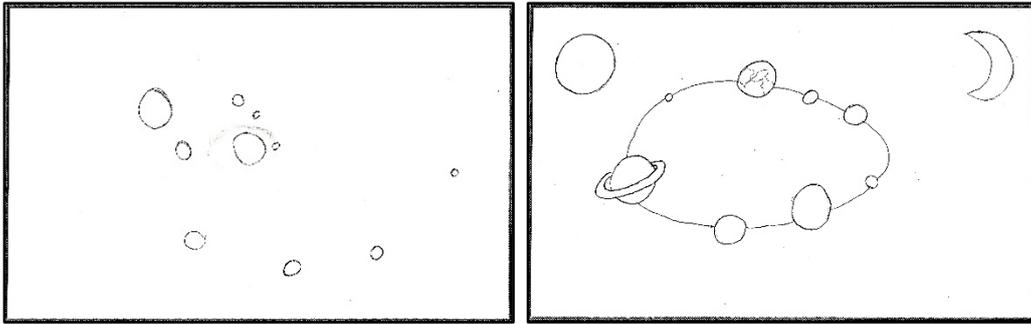


Figura 23: Digitalização dos desenhos confeccionados pelos alunos A29-3A (à esquerda) e A30-3B (à direita).

Os alunos que já estavam nesta escola desde a 1ª série do Ensino Médio tiveram aulas com um professor licenciado na disciplina, porém outra aluna da 3ª série e três alunos da 2ª série, que também participaram da disciplina eletiva, mas estudaram em outras unidades escolares, relataram que geralmente ficavam sem aulas de Física, pois não tiveram um professor efetivo na escola de onde vieram.

Em outros desenhos, como o da figura 24, produzidos tanto por discentes da 1ª série quanto da 2ª série, podemos verificar que os alunos representam a organização do Sistema Solar tendo como referência o céu visível, e não necessariamente uma abstração sobre a possível organização do Sol e dos planetas.



Figura 24: Digitalização do desenho confeccionado pelo aluno A01-1A.

Já no caso dos desenhos que podemos observar na figura 25, os estudantes representaram o Sistema Solar como um sistema heliocêntrico, mas com os planetas orbitando o Sol no que parece ser uma mesma órbita.

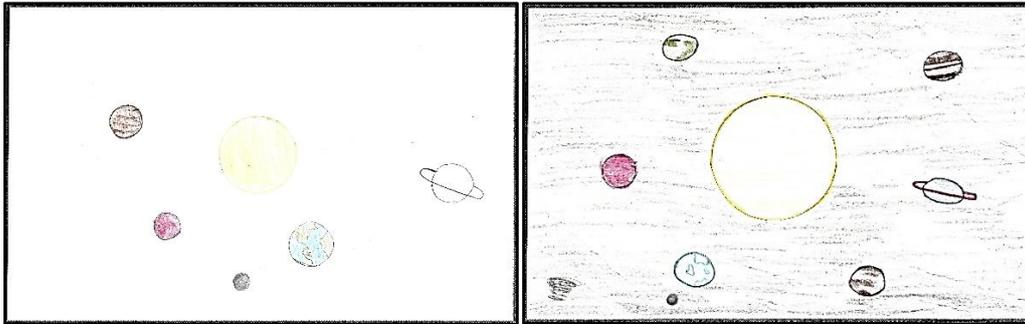


Figura 25: Digitalização dos desenhos confeccionados pelos alunos A01-3A (à esquerda) e A02-3B (à direita).

A figura 26 apresenta o que aparenta ser uma concepção de sistema heliocêntrico que pode apresentar as estrelas entre o Sol e os planetas ou como pano de fundo do Sistema Solar.

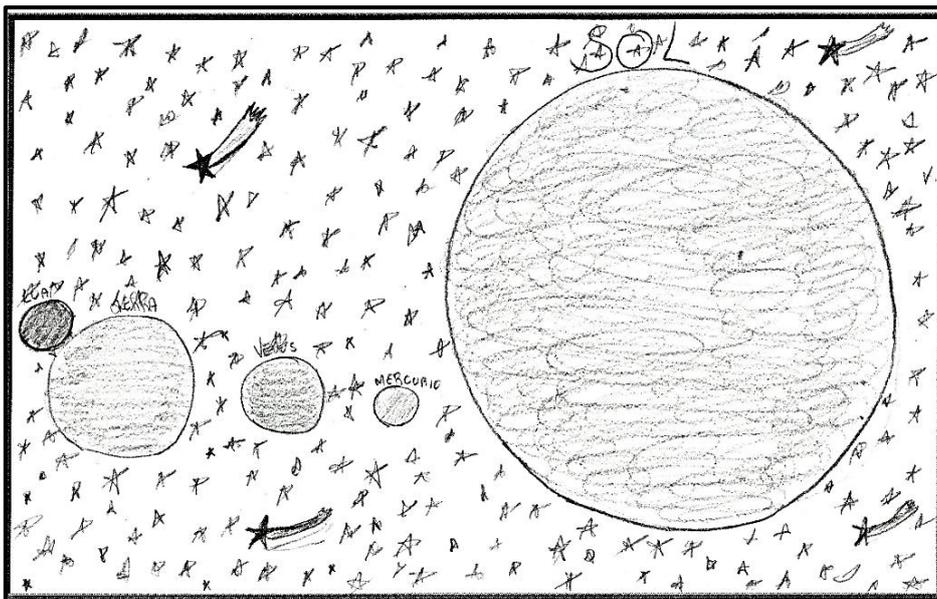


Figura 26: Digitalização do desenho confeccionado pela aluna A11-2A.

Nas figuras a seguir (27 a 30), podemos observar casos em que os alunos representam esquemas mais clássicos de organização do Sistema Solar, semelhante àqueles apresentados em livros didáticos, os quais buscam indicar a ordem de proximidade dos planetas em relação ao Sol, inclusive com a indicação de um alinhamento. Em outros casos, os alunos representam a organização em termos de proximidade, mas sem um alinhamento.

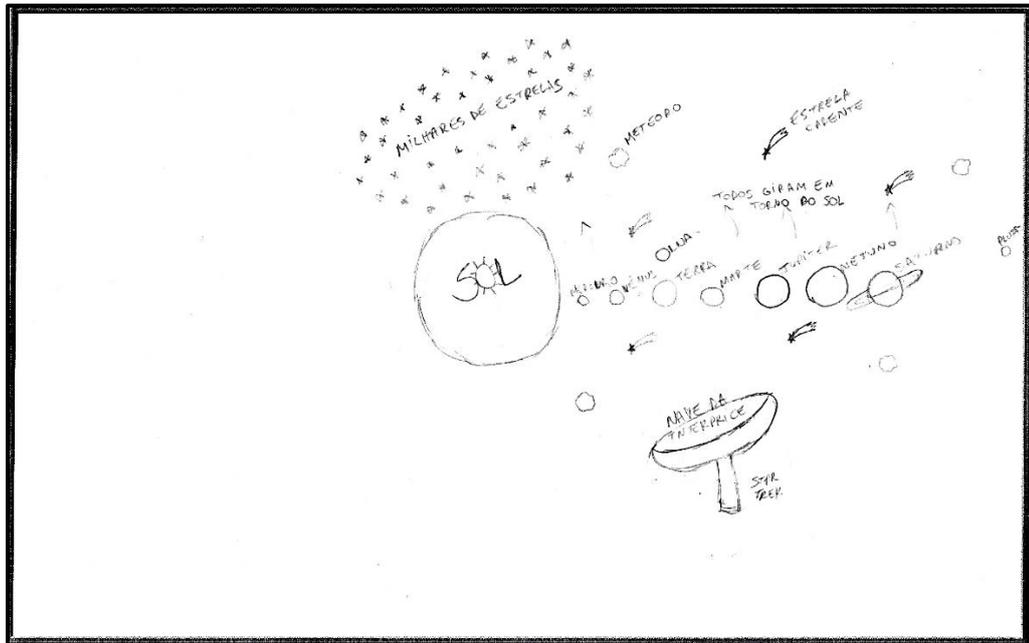


Figura 27: Digitalização do desenho confeccionado pela aluna A31-3B.

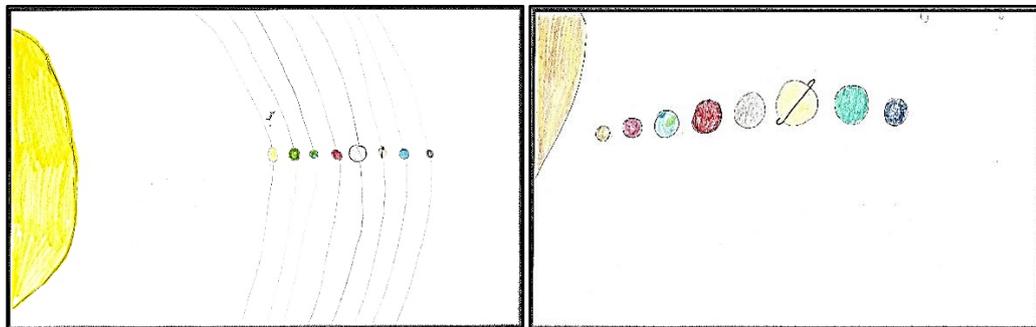


Figura 28: Digitalização dos desenhos confeccionados pelos alunos A27-2C (à esquerda) e A16-2B (à direita).

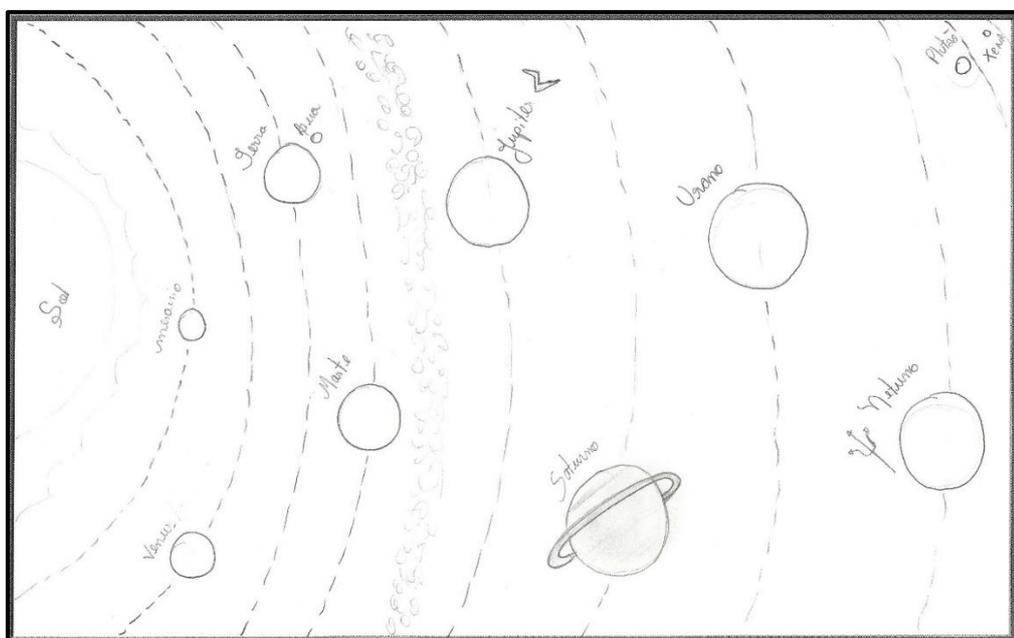


Figura 29: Digitalização do desenho confeccionado pela aluna A22-2B.

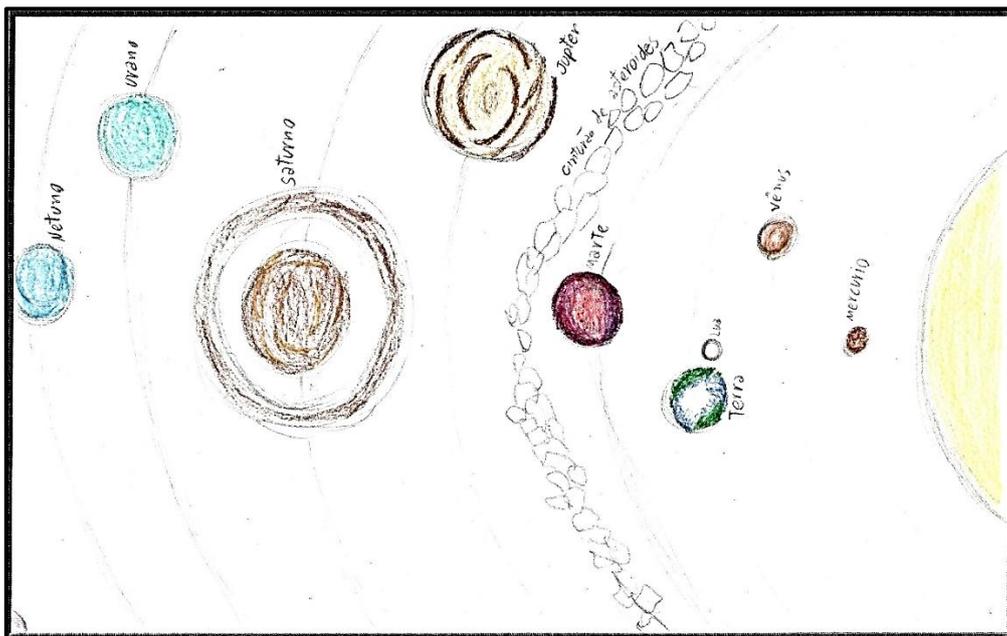


Figura 30: Digitalização do desenho confeccionado pelo aluno A15-2B.

Na figura 31, temos um exemplo para cada caso citado anteriormente, além disso, destaca-se a incorreção em relação à questão dos satélites naturais representados nos modelos dos alunos.

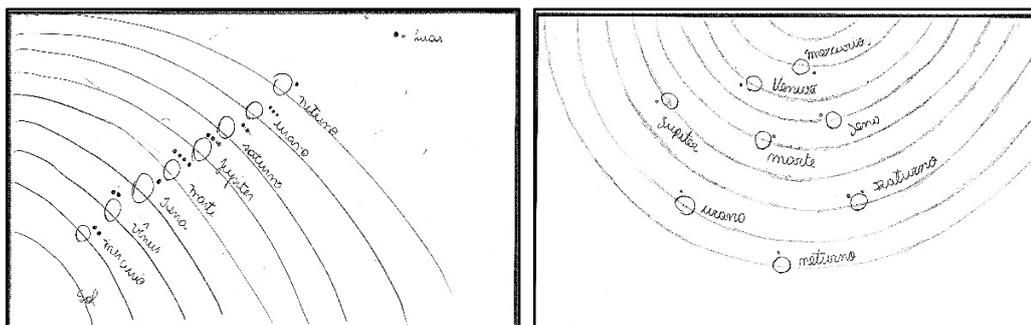


Figura 31: Digitalização dos desenhos confeccionados pelos alunos A18-2B (à esquerda) e A05-1C (à direita).

Um dos objetivos do trabalho era levar os estudantes a conceber representações mais próximas dos modelos conceituais. Assim, no decorrer da SD, mesmo aqueles que representavam um sistema heliocêntrico seriam desafiados na sequência das atividades da disciplina eletiva a elencar elementos que sustentassem que o modelo heliocêntrico seria mais adequado que o modelo geocêntrico. Já dos demais era esperado que, ao longo da aplicação da SD, fosse verificado um progresso em relação às suas concepções iniciais, aproximando-se do conhecimento científico.

A segunda parte da aula 1, ou seja, atividade 2 (apêndice B.01) ocorreu na sala do *Acessa Escola*⁹ onde, com a ajuda dos professores, foi realizado o *download* e instalação do programa *Stellarium* que seria utilizado pelos alunos na aula seguinte. Durante o planejamento, para definir os recursos materiais a serem utilizados, pensou-se inicialmente no uso de *netbooks*¹⁰ na sala de aula convencional. No entanto, percebeu-se, ainda na preparação da aula, que as configurações dos *netbooks* não permitiam o funcionamento correto do *software* em questão.

Como observado no capítulo 4, o *software* poderá ser baixado e instalado antecipadamente pelo professor, em casos em que haja um tempo menor para a implementação da SD, pois o desenvolvimento de habilidades técnicas no uso de ferramentas computacionais, por parte dos alunos, pode ocorrer em outros momentos.

5.2.2 Aplicação do Roteiro 2 (aula 2)

Os estudantes haviam sido comunicados na aula anterior ou mesmo em outros momentos na escola que a aula 2 da disciplina eletiva seria ministrada na sala do *Acessa Escola*. No dia da aplicação do Roteiro 2, o professor de filosofia estava ausente da escola. Estavam presentes 21 alunos.

Os alunos foram solicitados a entrar no programa *Stellarium* e seguir o roteiro da atividade 3, intitulada *Registrando o Movimento do Sol* (etapa 2, apêndice B.02), no qual ao final deveriam preencher a folha 2, que se encontra também no apêndice 2.

No preenchimento, que deveria ocorrer com os alunos organizados em duplas, deveria ser definido um local e datas específicas, de modo que fosse possível registrar a posição do Sol em quatro momentos diferentes de quatro dias distintos, distribuídos entre os meses de fevereiro, junho, agosto e

⁹ *Acessa escola*: salas das Unidades Escolares da SEE-SP onde se encontram microcomputadores para fins didáticos, as quais são muitas vezes chamadas de sala de informática.

¹⁰ A Unidade Escolar possui cerca de 6 contêineres com *netbooks*, contendo cada um de 16 a 20 aparelhos.

dezembro. As figuras de 10 a 14 (Capítulo 4) mostram um exemplo de momentos que poderiam ser registrados para um determinado dia.

Devido ao número relativamente baixo de alunos, o registro na folha 2 foi feito, na maioria das vezes, individualmente, pois havia 18 computadores funcionando no decorrer da aula. Assim, a coleta de dados da atividade 3, além de incluir as observações do professor autor, também se deu pelas folhas recolhidas dos alunos, nas quais foram confeccionadas as trajetórias aparentes do Sol, visualizadas através do *software Stellarium*.

Muitos discentes não compreenderam corretamente a proposta e representaram a posição do Sol apenas para um horário de cada dia. O que se apresenta na figura 32, um desenho elaborado por um dos alunos que não compreendeu adequadamente a proposta da atividade, foi muito semelhante ao elaborado por outros sete alunos.

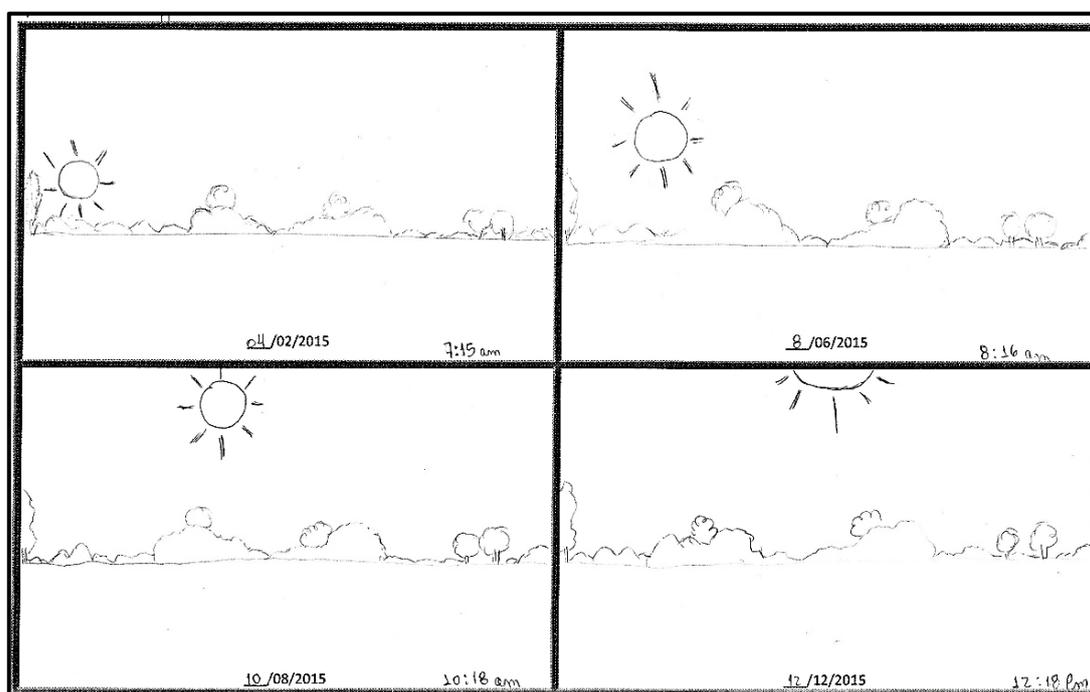


Figura 32: Digitalização de produção muito semelhante à folha de oito alunos.

Já no desenho apresentado na figura 33, a aluna representou apenas uma posição do Sol para os diferentes dias, contudo teceu comentários relacionados à posição do Sol em relação ao ponto Leste (no lado Leste) e a cor do céu no momento.

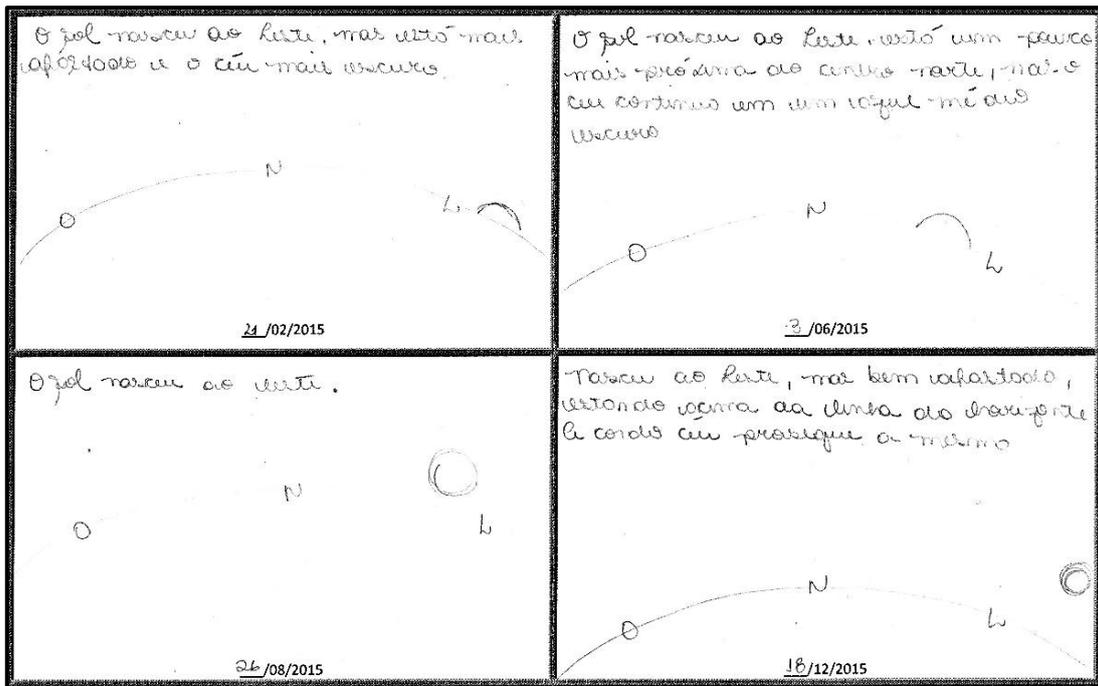


Figura 33: Digitalização de produção entregue pela aluna A08-1D.

Os estudantes que mais chegaram próximo do que havia sido planejado na atividade tiveram os registros muito próximos dos apresentados nas figuras 34 e 35.

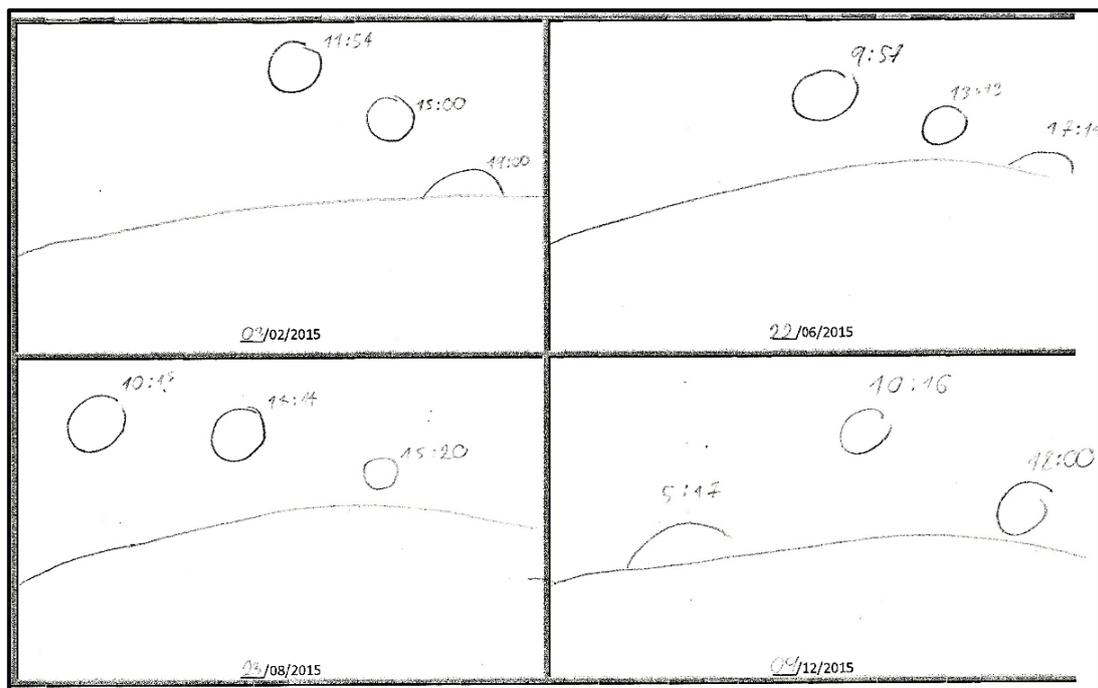


Figura 34: Digitalização de produção entregue pelo aluno A02-1A.

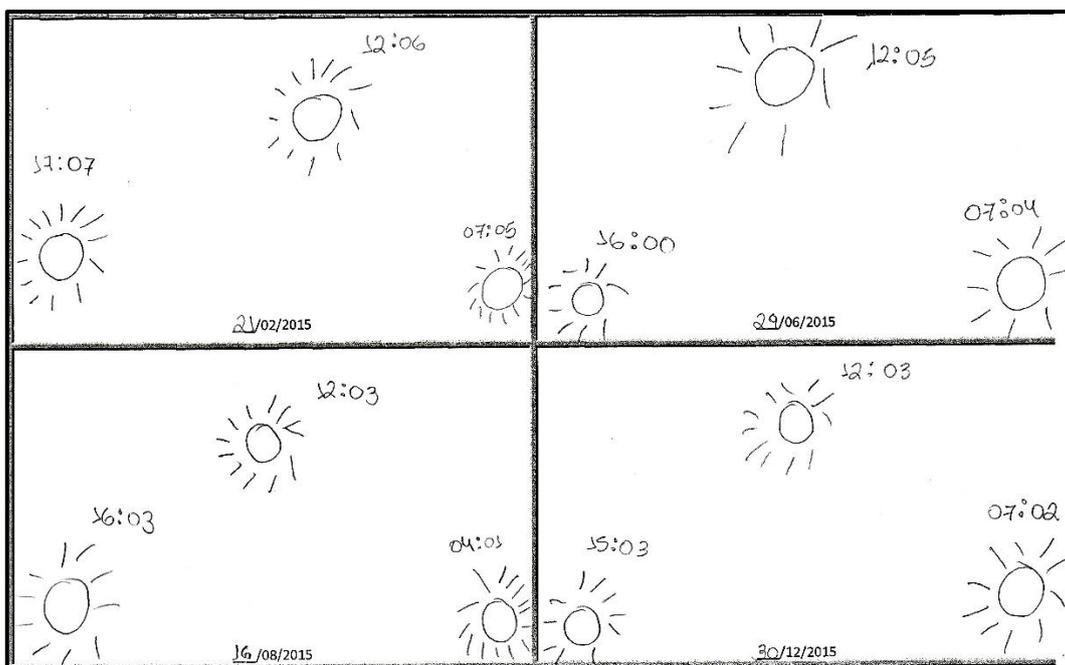


Figura 35: Digitalização de produção entregue pelo aluno A24-2B.

Um problema presenciado no desenvolvimento desta atividade envolveu a dispersão da atenção de parte dos alunos. Percebeu-se que duas estudantes não realizaram a atividade, e outros alunos a realizaram com pouco compromisso, devido a se dedicarem a explorar outras ferramentas do *software* como, por exemplo, procurar o nome de constelações. Alguns dos alunos, ainda, se dedicaram a outras atividades que não foram solicitadas pelos professores, além de navegarem na internet.

Em uma nova implementação da SD, algumas ações podem ser previstas de modo a minimizar esta dificuldade relacionada à dispersão dos alunos no uso dos computadores. Uma possibilidade, conforme a possibilidade técnica, poderia ser limitar o acesso à internet no momento de uso do *software*.

Após a entrega da atividade, os alunos deveriam responder as questões do quadro 3, presente no capítulo 4 (e no apêndice B.02), a fim de refletir sobre o movimento aparente do Sol.

Para a questão “*O que pode ser observado sobre o movimento do Sol?*”, nove alunos responderam *que o Sol se movimenta com o passar das horas e/ou com o passar dos dias o Sol muda de posição*. E oito estudantes responderam *que o Sol nasce a leste e se põe a oeste*.

Outras respostas diferentes destas são apresentadas na figura 36 (A, B e C).

1) O que pode ser observado sobre o movimento do Sol?

Que a Terra se movimenta, e não o Sol.

Figura 36-A: Digitalização da resposta entregue pela aluna A12-2A.

1) O que pode ser observado sobre o movimento do Sol?

Os diferentes lugares em que ele se localiza no céu.

Figura 36-B: Digitalização da resposta entregue pela aluna A17-2B.

1) O que pode ser observado sobre o movimento do Sol?

O Sol em determinadas partes do mundo e bem diferente, pois o movimento em alguns lugares as 8:00am já está bem "em cima" já em outros não.

Figura 36-C: Digitalização da resposta entregue pela aluna A16-2B.

A segunda questão serviu de situação-problema para que os discentes começassem a refletir sobre os argumentos do modelo geocêntrico e heliocêntrico. A questão foi apresentada da seguinte forma: *Considerando aquilo que você observa no dia a dia e o que foi visualizado no software Stellarium, compare o desenho do movimento do Sol (atividade 2) e o que você fez sobre o Sistema Solar (atividade 1): eles são coerentes? Explique quem se move, o Sol ou a Terra?*

Já a terceira questão foi planejada para servir como levantamento dos conhecimentos prévios dos estudantes a respeito do modelo heliocêntrico ou até mesmo sobre a comparação histórica e funcional entre o geocentrismo e o heliocentrismo. Apresentamos a questão da forma que se segue: *A humanidade sempre explicou os movimentos do Sistema Solar como você? Você conhece outra explicação para os movimentos do Sistema Solar? Como seria? Ele possui algum nome com que é chamado?*

Assim, para realização da atividade 4 os estudantes deveriam refletir sobre como seria o movimento aparente do Sol em outras regiões do mundo ao longo do ano.

A atividade 4 (etapa 2, apêndice B.02) pautou-se na leitura crítica do texto da notícia “Cidade cria sol artificial com espelhos computadorizados”. Realizou-se uma leitura e discussão coletiva em que, apesar de não haver um registro escrito, foi possível perceber que grande parte dos estudantes mostraram reconhecer o movimento aparente do Sol, sua diferença em cada região da Terra, que esse movimento varia dependendo da Latitude e como ele ocorria ao longo do ano.

5.2.3 *Aplicação do Roteiro 3 (aula 3)*

No início da aula, foi explanado aos alunos o conceito de ponto cardeal. Como alguns alunos colocaram que o Sol nascia no Leste e se punha no Oeste, provavelmente reproduzindo uma explicação comum, foi explicado a eles que o nascer e o pôr do Sol não ocorriam exatamente nos posicionamentos representados pelos pontos cardeais, mas próximo a estes (no mesmo lado). Ao final da explicação, foi dito aos alunos que eles poderiam chamar de “lado leste” e “lado oeste”, de modo que não confundissem com ponto Leste e ponto Oeste, melhorando, dessa forma, o rigor de seu conhecimento.

Posteriormente, deu-se início à atividade *Um outro olhar*, a quinta atividade da SD (etapa 3 – apêndice B.03). Os estudantes receberam as instruções gerais da atividade e o roteiro de aula e foram divididos em grupos de 4 componentes cada.

A atividade, incluindo as instruções fornecidas, pretendia permitir que os educandos entendessem que a elaboração de explicações é possível, mesmo para algo que não pudesse ser visualizado diretamente. Com esta atividade, análoga ao processo de elaboração de explicações sobre os modelos que regem a dinâmica do Sistema Solar, os alunos seriam introduzidos a uma visão sobre o “fazer ciência”, como algo que gera modelos explicativos. A figura 37 mostra a participação do professor de filosofia na entrega do material a um dos grupos.



Figura 37: Professor de Filosofia entregando material da atividade (à esquerda) e reforçando as instruções da atividade aos alunos (à direita).

Na atividade, os alunos deveriam descobrir qual era forma geométrica de um objeto oculto. Foi explicado aos alunos que estes decidiriam, em grupo, o método a ser utilizado, considerando que teriam a sua disposição somente os seguintes recursos: bolas de gude, lápis e papel sulfite.

Em seguida, cada grupo realizou uma breve exposição sobre o método que utilizariam, que em geral foi ao encontro da ideia envolvida neste tipo de atividade, em que, através de uma representação gráfica (desenho) das trajetórias das bolas de gude lançadas contra o objeto escondido sob uma folha de madeira/isopor, a forma poderia ser determinada.

Os grupos realizaram o experimento conforme método proposto por eles. Uma regra geral estabelecida antes do início da entrega dos materiais, a qual definia que os alunos não deveriam olhar por baixo do isopor de modo a verificar qual era a forma escondida, não foi seguida somente por um aluno (A25-2B). Contudo, o impacto de tal ação foi limitado ao grupo do qual ele participava e apenas na primeira experimentação, uma vez que este aluno comentou somente em seu grupo qual seria a forma e apenas quando receberam o primeiro conjunto de materiais, visto que cada grupo realizou a atividade por duas vezes com objetos geométricos distintos.

A figura 38 apresenta estudantes lançando a bola de gude sob a placa de isopor e as figuras de 39 a 43 são as digitalizações de alguns materiais entregues pelos discentes, com a conclusão do método que decidiram usar e o esboço da forma do objeto que estava sob a placa de isopor.



Figura 38: Alunos lançando bolas de gude sob folha de isopor.

1º Experimento

Foram feitas duas folhas retangulares de papel EVA, uma de cada lado, no centro, um recorte retangular.

Foram as bolinhas de gude para debaixo do recorte e foram colocadas, algumas delas, que usamos algumas bolinhas para a bola, ou seja, foi usado um boliche dele. Como o recorte é retangular, quando jogamos a bola de cada mão dele, ela não pousa, não um pouco a direção, nem mesmo sobre o lado de 1 e 2. Quando tentamos de um lado um pouco mais e o mesmo, então o nome das de 3. Depois disso, fomos investigar a posição de bolinhas por um dos lados menores e a bolinha pousa pelo lado 3, como se visasse uma curva, e ~~nenhum~~ nem mesmo de 2, e os outros de 4, onde as bolinhas também não pousaram.

A partir disso então, definimos que é um triângulo.

Figura 39: Digitalização da conclusão do grupo 1.

Na figura 39, que representava a forma geométrica do isopor deduzida pelos alunos do grupo 1, eles registraram sobre o desenho de um triângulo circunscrito em um retângulo tracejado o seguinte:

“1º Experimento

Nos foi dado uma folha retangular de papel EVA rosa e por cima dele, no centro, um exopor [isopor]¹¹ retangular.

Jogamos as bolinhas de gude para debaixo do exopor [isopor] e agora sabemos, através desse método, que existe [existem] algumas barreiras para a bola, ou seja, há algo em baixo [embaixo] dele. Como o exopor [isopor] é retangular, quando jogamos a bola do lado maior deste, ela não passa, não importa a direção, nomeamos esse lado de 1. Quando tentamos do seu lado inverso aconteceu o mesmo, então o nomeamos de 3. Após isso, fomos investigar a passagem de bolinhas por um dos lados menores e a bolinha saiu pelo lado 3, como se visesse [fizesse] uma curva, o nomeamos de 2, e o inverso de 4, onde as bolinhas também não passaram.

A partir disso então, definimos que é um triângulo”.

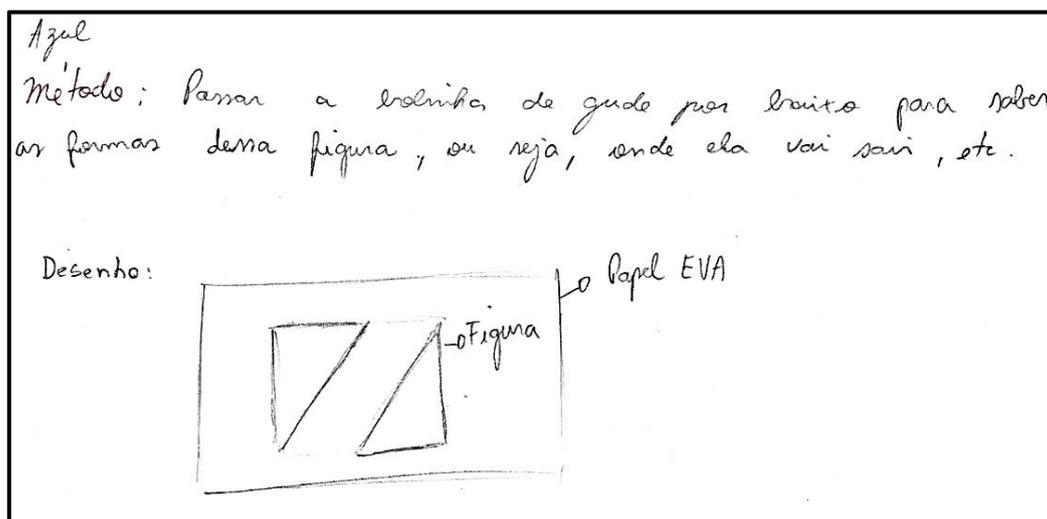


Figura 40: Digitalização da conclusão do grupo 2.

Sobre o desenho do grupo 2, foi registrado que, na folha de EVA azul, o método adotado foi “*Passar a bolinha de gude por baixo para saber as formas dessa figura, ou seja, onde ela vai sair, etc.*”.

¹¹ Os trechos entre colchetes, daqui em diante, são as correções realizadas pelo autor da dissertação.

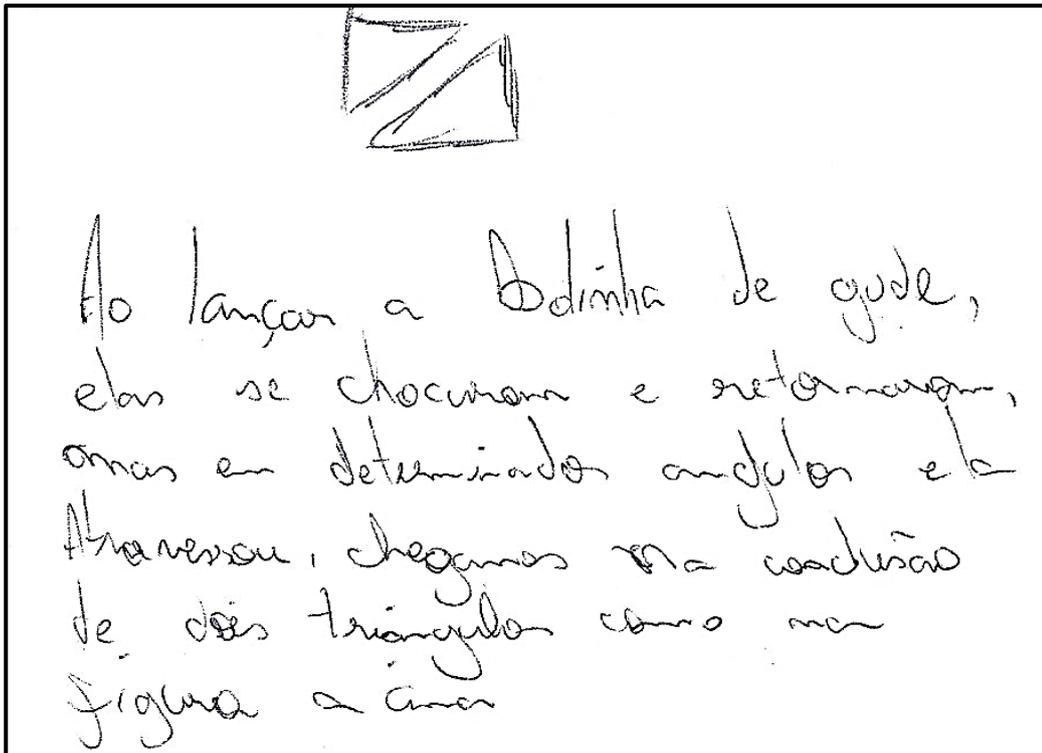


Figura 41: Digitalização da conclusão do grupo 3.

O grupo 3 registrou sob o desenho apresentado, como pode ser observado na figura 41, que “Ao lançar a bolinha de gude, elas se chocaram e retornaram, mas em determinados ângulos [ângulos] ela atravessou, chegamos na conclusão de dois triângulos [triângulos] como na figura a cima [acima]”.

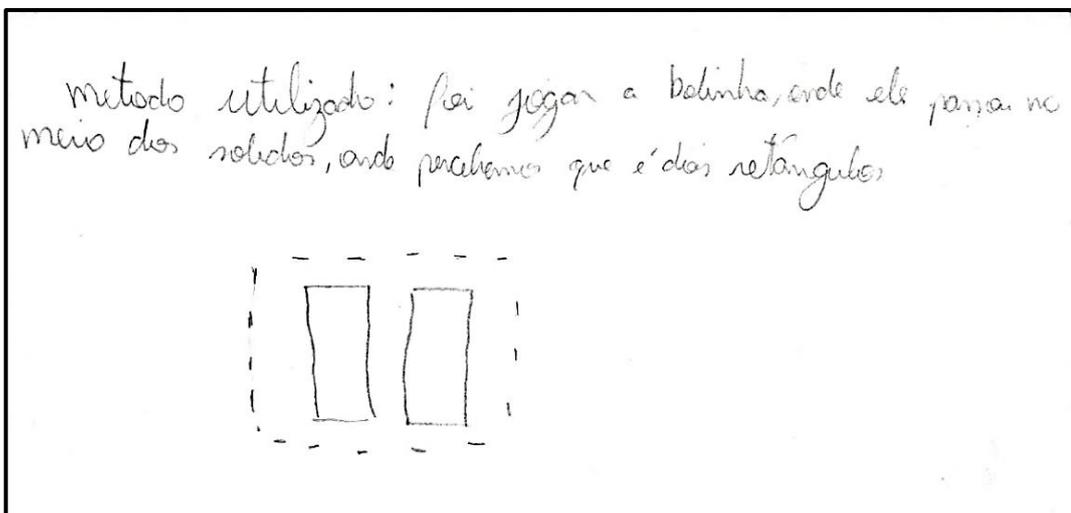


Figura 42: Digitalização da conclusão do grupo 4.

Na figura 42, pode-se observar que o grupo 4 concluiu que o “Metodo [Método] utilizado: foi jogar a bolinha, onde ele passa no meio dos sólidos, onde percebemos que é dois retângulos”.

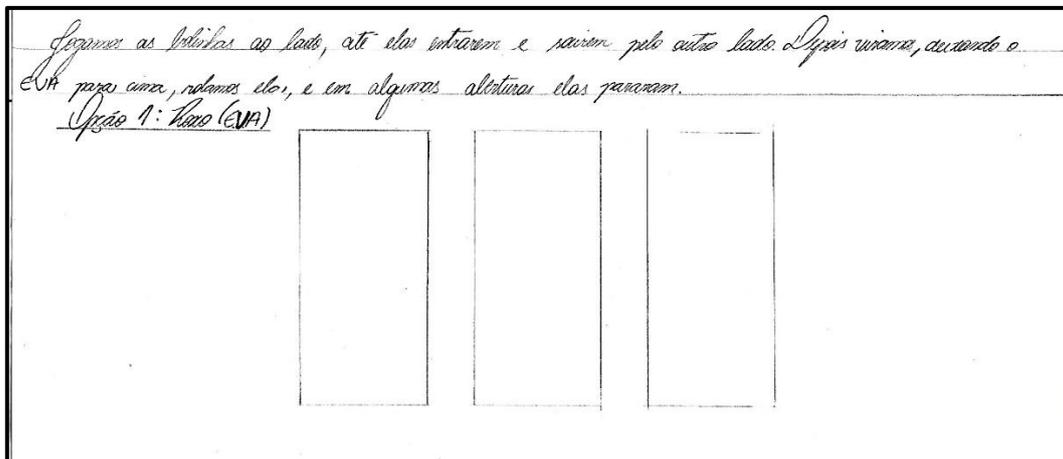


Figura 43: Digitalização da conclusão do grupo 5.

O grupo 5 registrou, acima do desenho das formas geométricas deduzidas, que “Jogamos as bolinhas ao lado, até elas entrarem e saírem pelo outro lado. Depois viramos, deixando o EVA para cima, rolamos ela, e em algumas aberturas elas pararam”.



Figura 44: Aluna lendo texto sobre o método científico.

Para a conclusão da aula, foi lido em conjunto e com discussão coletiva um texto sobre “*Pontos importantes sobre o método científico*”¹² (Apêndice B.03), como mostrado na figura 44. Verificamos nas discussões que foi possível que os estudantes percebessem a possibilidade da observação indireta sobre e a existência do método de inferência nas teorias científicas.

5.2.4 Aplicação do Roteiro 4 (aula 4)

A atividade 6 (etapa 4 – apêndice B.04) iniciou-se com a discussão sobre a aplicação do método científico de inferências durante o percurso histórico da ciência e, como na atividade anterior, discutiu-se esse método que possui sua base na observação indireta. A discussão ocorreu a partir do vídeo *Era uma vez os inventores: Galileu Galilei*, episódio de uma série de origem francesa, sugerida pelo professor de filosofia, que mostra aspectos da vida pessoal e acadêmica de grandes cientistas. O referido vídeo substituiu a encenação sugerida no planejamento da SD.

Após verem o vídeo com duração de 26 minutos, os alunos foram organizados em duplas e receberam os *netbooks* para realizar os demais passos da aula, os quais se tratavam da: i – leitura do texto *Claudius Ptolomeus* (Anexo B.01) e manipulação da simulação *Modelo Ptolomaico* (figura 13 – cap. 4); ii leitura dos textos *Nicolaus Copernicus* (Anexo B.02) e *Galileo Galilei* (Anexo B.03) e observação da animação *Heliocentrismo* (figura 14 – cap. 4) e iii – confecção de um quadro comparativo entre os modelos geocêntrico e heliocêntrico. A figura 45 mostra os alunos realizando a produção dos quadros comparativos.

¹² Texto adaptado de: Moreira, M. A. e Ostermann, F. Sobre o Ensino do Método Científico, *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v.10, n.2, p. 118-117, ago.1993.



Figura 45: Alunos realizando a confecção dos quadros comparativos.

A seguir, temos alguns quadros com exemplos de atividades entregues pelos alunos, os quais são apresentados como foram entregues, sem sofrer qualquer tipo de correção ou formatação.

Características do Geocentrismo	Características do Heliocentrismo
É uma teoria a respeito do sistema cosmológico, segundo a qual a Terra seria o centro do Universo Possui epiciclos.	É a teoria a respeito do sistema cosmológico, segundo a qual a Terra e os demais planetas giram em torno do Sol.

Quadro 5: Quadro comparativo entregue pelos alunos A02-1A e A22-2B.

Características do Geocentrismo	Características do Heliocentrismo
-Possui epiciclos A teoria Geocêntrica foi elaborada pelo astrônomo grego Claudio Ptolomeu no início da Era Cristã, defendida em seu livro intitulado Almagesto. De acordo com essa teoria, a Terra está no centro do Sistema Solar, e os demais astros orbitam ao redor dela. Os astros estariam fixados sobre esferas concêntricas e girariam com velocidades distintas.	O Heliocentrismo consiste num modelo teórico de Sistema Solar desenvolvido pelo astrônomo e matemático polonês, Nicolau Copérnico (1473-1543). Conforme Copérnico, a Terra e os demais planetas se movem ao redor de um ponto vizinho ao Sol, sendo este, [sic] o verdadeiro centro do Sistema Solar. A sucessão de dias e noites é uma consequência do movimento de rotação da Terra sobre seu próprio eixo.

Quadro 6: Quadro comparativo entregue pelos alunos A29-3A e A15-2B.

Características do Geocentrismo	Características do Heliocentrismo
<p>No Geocentrismo a Terra é o centro do universo.</p> <p>Na Grécia Antiga, Aristóteles (384 a.C. - 322 a.C.) já defendia a idéia [ideia] de que o Universo seria um enorme círculo finito, sendo que a Terra estaria no centro desse círculo. Para ele, existiriam 9 esferas girando em torno da Terra. No século II d.C. um astrônomo, geógrafo e matemático chamado de Cláudio Ptolomeu, baseado na trigonometria, afirmava que ao redor da Terra giravam a Lua, Mercúrio, Vênus, Sol, Marte, Júpiter e Saturno, exatamente nessa ordem. Ainda segundo Ptolomeu, cada planeta girava ao longo de um círculo pequeno chamado epiciclo. Portanto, cada planeta teria seu próprio epiciclo. O centro do epiciclo (de cada planeta) se moveria em um círculo maior, ao qual denominou como deferente, sendo que a Terra ficaria posicionada um pouco afastada do centro do deferente. Para Ptolomeu a Terra não estava no centro do deferente. O deferente, alias [aliás], seria um círculo excêntrico em relação à Terra. Com a idéia [ideia] do equante, Ptolomeu buscou explicar o fato dos [de os] planetas não se movimentarem de forma uniforme.</p>	<p>No Helicentrismo [Heliocentrismo] o Sol é o centro do universo.</p> <p>A Terra rodava, assim, parecia que, estrelas, Sol, e planetas, estavam rodando em volta da mesma.</p> <p>A idéia de colocar o Sol no centro do universo não era particularmente nova. Mas poucos viram qualquer vantagem a ele e muitos consideraram fisicamente impossível (que era inconsistente com a física aristotélica). Isso começou a mudar com um médico polonês, advogado, artista e astrônomo – Nicholas Copérnico (1473-1543).</p> <p>Copérnico estava ciente dos escritos anteriores que sugeriam uma movimentação de terra. Ele, no entanto, parecia ser motivado por duas sugestões principais. Um, ele acreditava que a Terra não era um objeto particularmente apto para ser o centro do universo, mas que o sol era um objeto mais divina [divino] e, portanto, mais apto para o centro.</p> <p>Em segundo lugar, Copérnico não gostava muito do conceito do equant. Ele pensou que uma abominação e uma traição ao conceito de círculos. Ele parece ter tido conhecimento de obras de matemáticos árabes que, na tentativa de reconciliar o Corão (que sugeriu [que] a terra se moveu) com o sistema de Ptolomeu removidos do equant em favor de epiciclos adicionais. Copernicus, igualmente, utilizado [utilizava] epicycles em seus cálculos, mas não equant.</p>

Quadro 7: Quadro comparativo entregue pelos alunos A13-2A e A21-2B.

De modo geral, foi possível perceber que tanto no que se refere ao conteúdo quanto à formatação, os quadros comparativos foram bem heterogêneos, algumas duplas trouxeram quantidades relevantes de informações, enquanto outras trouxeram informações bem superficiais. Em

alguns casos, algumas formataram e reelaboraram o texto, enquanto que, em outros casos, apenas copiaram e colaram textos de outras fontes.

Um dos fatos que mais chamou a atenção foi que o aluno A02-1A e a aluna A22-2B, que apresentaram uma boa articulação oral sobre o assunto, tiveram dificuldades no registro das atividades escritas, manual ou digitalmente. Em situações como essas, percebemos a importância de atividades desta natureza, envolvendo a produção textual. Trata-se de uma oportunidade de desenvolvimento da linguagem escrita formal, uma vez que o professor poderá fornecer *feedbacks* aos alunos, como ocorreu no desenvolvimento das atividades da SD.

Após a elaboração dos quadros, os alunos foram convidados a expor o que entenderam da comparação entre os modelos, porém alguns não se manifestaram nas discussões. Assim, nesta atividade, voltou a ser percebido um ponto de fragilidade, o acesso à internet além dos *links* aos textos ou simuladores sugeridos, o que permitiu que, para algumas duplas, a discussão sobre o heliocentrismo e o geocentrismo tenha se reduzido a uma cópia de textos da internet.

Depois de os alunos exporem seus trabalhos, os professores buscaram tornar possível o reconhecimento do modelo heliocêntrico como mais adequado, retomando do vídeo apresentado no início da aula e das próprias fala dos alunos exemplos que mostrassem a adequabilidade do modelo heliocêntrico. Por exemplo, que a Terra rotaciona, e por isso temos a impressão de que tudo no céu gira em torno dela, bem como a existência de Luas em torno de Júpiter e a imperfeição dos corpos celestes.

Foi lembrado como Galileu argumentou a favor dos exemplos dados e, ainda, que isso foi possível a partir do método de inferências após observações indiretas (semelhante ao experimento analógico realizado por eles na aula 3).

Para uma nova implementação, além da sugestão de minimizar o acesso à internet, foi colocado no planejamento da atividade a apresentação do vídeo do ABC da Astronomia, denominado *Heliocentrismo* com o intuito de reforçar o entendimento da adequação do modelo heliocêntrico, pois uma vez reconhecida essa superação do modelo heliocêntrico sobre o modelo geocêntrico faz-se mais significativo que as atividades seguintes já tratem da dinâmica do sistema, e

tenham as discussões direcionadas para as leis de Kepler e para Gravitação Universal.

5.2.5 Aplicação do Roteiro 5 (aula 5)

As atividades 7 e 8, que integram a etapa 5 e que se encontram no apêndice B.05, foram entregues impressas aos alunos. Na atividade 7, os alunos deviam construir a trajetória de uma sonda espacial em órbita de um planeta do Sistema Solar em papel milimetrado, a partir de pontos fornecidos em uma tabela (figura 46). Uma vez que se buscou tornar percebida a adequação do modelo heliocêntrico, torna-se mais plausível que as atividades da SD passem a tratar da dinâmica, direcionando a uma discussão das leis de Kepler e da Gravitação Universal.

Na tabela a seguir, temos dados que permitem construir a trajetória de uma sonda espacial em órbita de um planeta de nosso Sistema Solar. São 46 pares de pontos com valores em milímetros. Nesta escala, cada milímetro equivale a 1 000 km, de modo que o primeiro par de coordenadas corresponderia, na escala real, a: $x = 0$ e $y = 63\ 000$ km.

x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y
0	63	9	93	40	120	104	134	210	65	102	0	40	15	8	42
0	68	12	98	48	124	120	133	195	33	90	1	33	19	5	46
1	73	16	102	58	127	136	131	173	16	77	3	26	23	3	52
2	78	22	107	68	130	155	127	152	7	66	4	21	28	2	57
3	83	27	112	79	133	176	117	133	3	56	8	15	33		
5	89	33	116	91	133	198	99	117	1	48	11	12	37		

Figura 46: Tabela fornecida aos alunos para confecção da trajetória da sonda.

A seguir, apresentamos dois exemplos das trajetórias confeccionadas pelos alunos como parte da atividade 7 (figura 47 e 48).

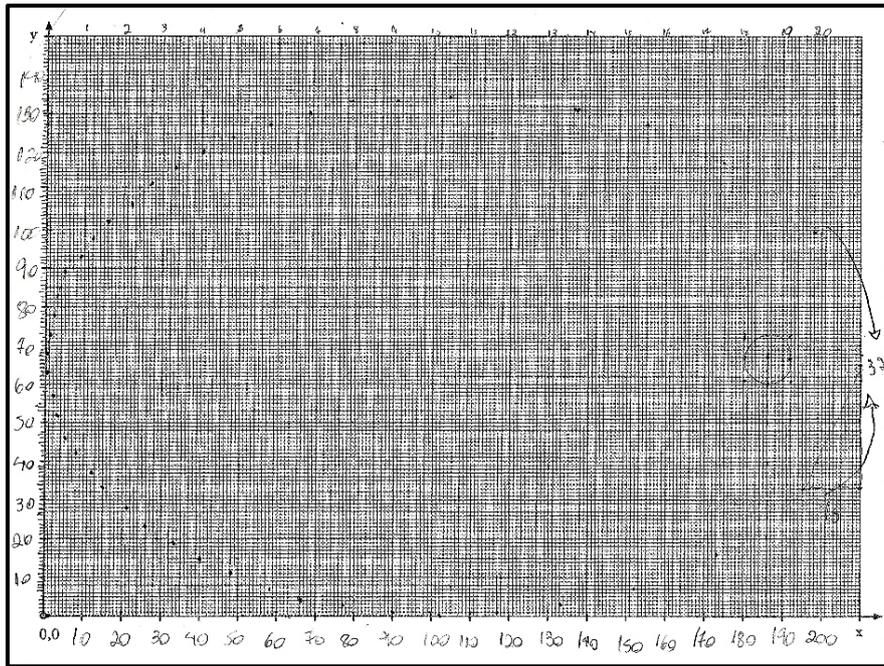


Figura 47: Digitalização da confecção da trajetória da Sonda Espacial construída pelo aluno A26-2C.

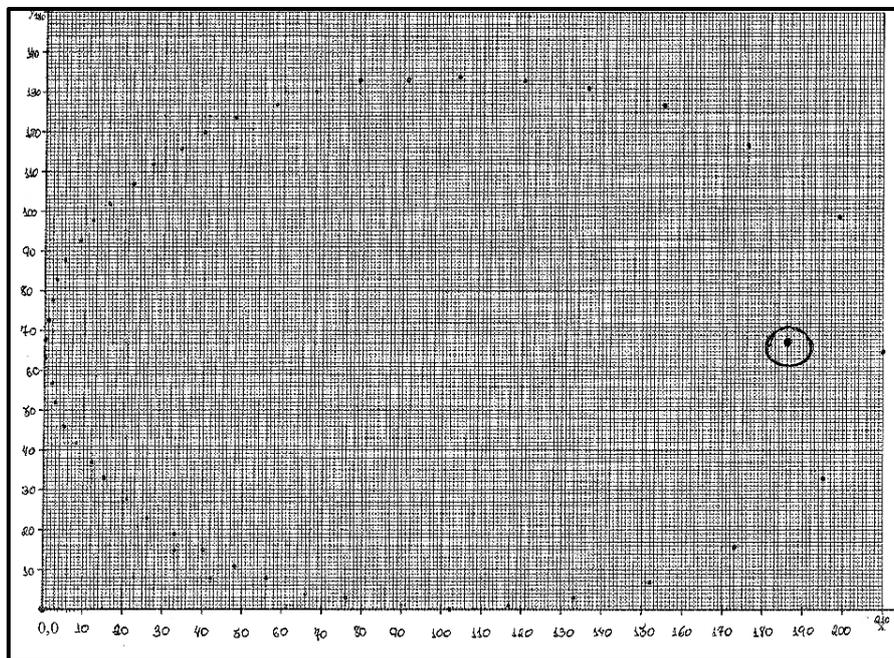


Figura 48: Digitalização da confecção da trajetória da Sonda Espacial construída pela aluna A14-2A.

Na atividade 8, os educandos deviam responder a um questionário e determinar qual planeta a sonda orbitava, sendo fornecida para isso uma escala de tamanho e dados sobre o planeta em questão. O ponto de partida foi a seguinte comanda:

“Sua missão é descobrir que planeta é esse. Trata-se de uma trajetória simulada na qual as marcas foram tomadas a cada três horas. O centro do

planeta está na coordenada $x = 186 \text{ mm}$, $y = 67 \text{ mm}$. Para desenhar o planeta, deve-se traçar uma circunferência de 6 mm de raio em torno desse ponto”.

Assim, conforme pode ser observado nas figuras 47 e 48 os alunos desenharam o planeta circunscrito na trajetória da sonda e por comparação da escala puderam concluir que se tratava do planeta Vênus (diâmetro aproximado de 12000 km).

As principais questões, no que diz respeito à Física e às leis de Kepler que são trabalhadas na próxima etapa da SD, além do próprio formato (elemento geométrico) das órbitas, são tratadas de forma introdutória nas questões 3 e 4, as quais têm relação com as variações de velocidades de objetos em órbita. As respostas corretas permitem aos estudantes concluir como se dá essa variação de velocidade. A figura 49 nos traz um exemplo dessas questões.

3. Explique por que o espaçamento entre as marcas não é sempre igual ao longo da trajetória, apesar de o intervalo de tempo decorrido entre as posições sucessivas ser sempre o mesmo.

Por que a velocidade em determinado local da órbita é mais rápida.

4. A partir da resposta à questão anterior, explique como a velocidade da sonda varia ao longo da órbita em torno do planeta.

Porque quanto mais perto do planeta mais rápido ela percorre na órbita e quanto mais longe menor a velocidade.

Figura 49: Digitalização das respostas às questões 3 e 4 dadas pelo aluno A26-2C.

As respostas das questões 3 e 4 foram, respectivamente: “Por que a velocidade em determinado local da órbita é [é] mais rápida [rápida]” e “Porque quanto mais perto do planeta mais rápido [rápido] ela percorre na [a] órbita [órbita] e quanto mais longe menor a velocidade”.

Ao final da etapa 5 da SD, dos 31 alunos escritos apenas 12 completaram as atividades no prazo correto, os demais alunos entregaram as construções da trajetória incompleta ou apenas as questões respondidas. Outro grupo (6 alunos) realizou a construção da trajetória, mas os alunos deste grupo faltaram na realização da atividade 8.

5.2.6 Aplicação do Roteiro 6 (aula 6)

A partir da leitura de dois textos, além do uso de uma simulação e de um vídeo, solicitou-se aos alunos que expusessem o entendimento deles sobre a dinâmica envolvida no movimento dos planetas e as Leis de Kepler. A atividade buscou aprofundar, ainda mais, a visão do Sistema Solar segundo um modelo heliocêntrico e, ainda, aprofundar o estudo sobre a dinâmica envolvida neste modelo.

Dessa maneira, as produções realizadas na etapa 6 pelos estudantes foram enviadas dos *netbooks* utilizados pelas duplas de alunos para um *e-mail* do professor autor ou salvas em *pen-drive*. A atividade 9 (apêndice B.06) se iniciou com a leitura dos textos *Tycho Brahe* (anexo A.04) e *Johannes Kepler* (anexo A.05), na manipulação da simulação das 3 leis de Kepler (figura 16).

Após a leitura dos textos e de um tempo suficiente para explorarem a simulação, os alunos assistiram ao vídeo *ABC da Astronomia* da TV Escola (figura 17), para complementar o repertório que serviu para que pudessem realizar a produção de um texto sobre os movimentos planetários que entregaram ao final da aula.

As figuras 50, 51 e 52 trazem exemplos das produções confeccionadas por alguns estudantes.

Ao observar o céu por impulso da agricultura, os antigos astrônomos deduziram que a terra era o centro do universo, o chamado período geocêntrico, mas com o decorrer dos anos Nicolau Copérnico provou o reverso, com a teoria heliocêntrica, onde os planetas orbitam em torno do mesmo.

Kepler observou que os planetas não descrevem uma orbita redonda ao redor do sol ,mas sim uma elipse ,ao observar mercúrio e tentar montar um gráfico de sua orbita, assim ele criou a primeira de uma serie de três leis que explicavam melhor a interação entre os corpos celestes.

2º lei de Kepler

O segmento que une o sol a um planeta descreve áreas iguais em intervalos de tempo iguais.

3ª Lei de Kepler - Lei dos Períodos

O quociente dos quadrados dos períodos e o cubo de suas distâncias médias do sol é igual a uma constante k , igual a todos os planetas.

$$\frac{T^2}{a^3} = k$$

$$T^2 = k \cdot a^3$$

Tendo em vista que o movimento de translação de um planeta é equivalente ao tempo que este demora para percorrer uma volta em torno do Sol, é fácil concluirmos que, quanto mais longe o planeta estiver do Sol, mais longo será seu período de translação e, em consequência disso, maior será o "seu ano".

Figura 50: Imagem do arquivo entregue pelos alunos A02-1A e A20-2B.

<p style="text-align: center;">Movimento dos planetas</p> <p>A Teoria Heliocêntrica conseguiu dar explicações mais simples e naturais para os fenômenos observados como, por exemplo, o movimento retrógrado dos planetas, porém Copérnico não conseguiu prever as posições dos planetas de forma precisa. Na teoria de Copérnico, a Terra move-se em torno do Sol. Mas, seus dados foram corrigidos pelas observações de Tycho Brahe. Com base nelas e em seus próprios cálculos, Johannes Kepler reformou radicalmente o modelo copernicano e chegou a uma descrição realista do sistema solar.</p> <p>Kepler estudou as observações do astrônomo Tycho Brahe e descobriu, por volta de 1605, que estas observações seguiam três leis matemáticas relativamente simples. Suas três leis do movimento planetário desafiavam a astronomia e física de Aristóteles e Ptolomeu. Sua afirmação de que a Terra se movia, seu uso de elipses em vez de epiciclos, e sua prova de que as velocidades dos planetas variavam, mudaram a astronomia e a física.</p> <p>Lei das órbitas elípticas (Astronomia Nova, 1609): A órbita de cada planeta é uma elipse, com o Sol em um dos focos. Como consequência da órbita ser elíptica, a distância do Sol ao planeta varia ao longo de sua órbita.</p> <p>Lei da áreas (1609): A reta unindo o planeta ao Sol varre áreas iguais em tempos iguais. O significado físico desta lei é que a velocidade orbital não é uniforme, mas varia de forma regular: quanto mais distante o planeta está do Sol, mais devagar ele se move. Dizendo de outra maneira, esta lei estabelece que a velocidade areal é constante.</p> <p>Lei harmônica (Harmonices Mundi, 1618): O quadrado do período orbital dos planetas é diretamente proporcional ao cubo de sua distância média ao Sol. Esta lei estabelece que planetas com órbitas maiores se movem mais lentamente em torno do Sol e, portanto, isso implica que a força entre o Sol e o planeta decresce com a distância ao Sol.</p> <p>Uma grande contribuição ao Modelo Heliocêntrico foi dada pelo italiano Galileu Galilei (1564 - 1642). Galileu Galilei desenvolveu os primeiros</p>	<p>estudos sistemáticos do movimento uniformemente acelerado e do movimento do pêndulo. Descobriu a lei dos corpos e enunciou o princípio da inércia e o conceito de referencial inercial, ideias precursoras da mecânica newtoniana. Galileu melhorou significativamente o telescópio refrator e com ele descobriu as manchas solares, as montanhas da Lua, as fases de Vênus, quatro dos satélites de Júpiter, os anéis de Saturno, as estrelas da Via Láctea. Estas descobertas contribuíram decisivamente na defesa do heliocentrismo. Contudo a principal contribuição de Galileu foi para o método científico, pois a ciência assentava numa metodologia aristotélica.</p> <p>As descobertas de Galileu proporcionaram grande quantidade de evidências em suporte ao sistema heliocêntrico. Por causa disso, ele foi chamado a depor ante a Inquisição Romana, sob acusação de heresia, e obrigado a se retratar. Apenas em 1980, o Papa João Paulo II [Karol Joseph Wojtyła (1920-2005)] ordenou um reexame do processo contra Galileu, o que acabou por eliminar os últimos vestígios de resistência, por parte da igreja Católica, à revolução Copernicana. Galileu foi perdoado em 31 de outubro de 1992.</p>
--	---

Figura 51: Imagem da produção entregue pelo aluno A19-2B.

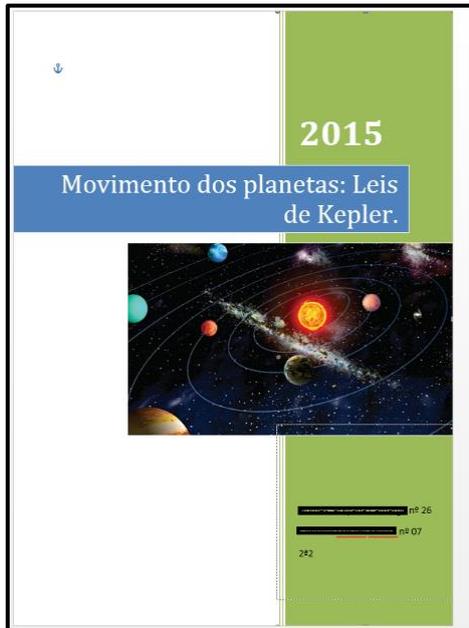


Figura 52-A: Imagem da capa da produção entregue pelas alunas A16-2B e A22-2B.

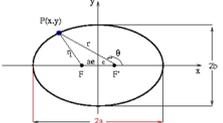
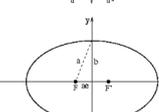
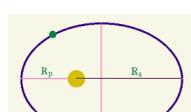
<p>Nicolaus Coperníco foi um importante matemático e astrônomo polonês. Pode ser chamado de "pai" da astronomia moderna, pois foi ele quem, através de seus estudos e cálculos, percebeu e defendeu a tese de que a Terra, assim como os demais planetas, gira em torno do Sol, em uma teoria chamada de heliocentrismo. Foi Coperníco quem deduziu também, que a Terra gira em torno de seu próprio eixo. Até então, acreditava-se que a Terra era o centro do Universo, segundo teoria do grego Ptolomeu.</p> <p>Coperníco nasceu em 19 de fevereiro de 1473 na cidade de Torun, na Polónia. Aos 11 anos ficou orfão de pai, e foi então morar com seu tio Lukasz Wetzendorf.</p> <p>Em 1491, dá início ao Curso de Medicina na Universidade de Cracóvia (Polónia). Na Universidade de Bolonha, na Itália, Nicolaus cursa Direito Canônico, a partir de 1497, mesma época em que aprofunda seus estudos sobre a matemática, a filosofia e a astronomia.</p> <p>Coperníco nasceu em 19 de fevereiro de 1473 na cidade de Torun, na Polónia. Aos 11 anos ficou orfão de pai, e foi então morar com seu tio Lukasz Wetzendorf.</p> <p>Em 1491, dá início ao Curso de Medicina na Universidade de Cracóvia (Polónia). Na Universidade de Bolonha, na Itália, Nicolaus cursa Direito Canônico, a partir de 1497, mesma época em que aprofunda seus estudos sobre a matemática, a filosofia e a astronomia.</p> <p>Em sua volta à Polónia, no ano de 1501, Coperníco ordenou-se padre e assumiu o cargo de cônego da Catedral de Frauenburg, mas por pouco tempo, pois sua inquietude intelectual o levou de volta à Itália, onde frequentou diversas universidades.</p> <p>Três anos após a morte de Coperníco, nasceu o dinamarquês Tycho Brahe. Nascido em Dinamarca, a 14 de dezembro de 1546, e faleceu em Praga, atual República Checa, a 24 de outubro de 1601. Desde jovem pretendia estudar astronomia, mas atendeu à ordem paterna e cursou, durante três anos, o curso de direito na Universidade de Copenhague. Depois, seguiu para Leipzig, Rostock e Augsburg, onde aperfeiçoou seus conhecimentos humanísticos.</p> <p>A cultura astronômica de Brahe, formada na leitura assídua do <i>Almagesto</i>, de Ptolomeu, desenvolveu-se durante os anos de 1562 a 1565, graças exclusivamente aos seus próprios esforços. Embora utilizasse instrumentos rudimentares, demonstrou imperfeições no pensamento de Ptolomeu, passando a chamar a atenção dos astrônomos para a necessidade de instrumentos mais precisos e técnicas de observação mais acuradas.</p> <p>Ele foi o último grande astrônomo observacional antes da invenção do telescópio. Usando instrumentos fabricados por ele mesmo, Tycho fez extensivas observações das posições de planetas e estrelas, com um precisão em muitos casos melhor do que 1 minuto de arco (1/30 do</p>	<p>dímetro aparente do Sol). No seu livro <i>Astronomia Instauratae mechanica</i>, de 1598, ele descreve como desenvolveu e utilizou quatro tipos diferentes de esferas armilares, melhores do que as de Hiparco e as de Ptolomeu, descritas no <i>Syntaxis</i> de Ptolomeu. Tycho podia medir diretamente as coordenadas eclípticas ou equatoriais dos objetos celestes, com as esferas, enquanto seus outros instrumentos mediam coordenadas horizontais (altura e azimute). Sua maior esfera armilar tinha 2,6 metros de diâmetro, e ele descreveu que a maior fonte de erro era a flexão e deslocamento dos círculos (armilhas, em latim), devido ao seu próprio peso.</p> <p>O excelente trabalho de Tycho como observador lhe propiciou o patrocínio do rei da Dinamarca, Frederic II (1534-1588), e assim Tycho pode construir seu próprio observatório, na pequena ilha báltica de Hven (entre Dinamarca e Suécia).</p> <p>Já Johannes Kepler (1571-1630) estudou inicialmente para seguir carreira teológica. Na Universidade ele leu sobre os princípios de Coperníco e logo se tornou um entusiástico defensor do heliocentrismo. Em 1594 conseguiu um posto de professor de matemática e astronomia em uma escola secundária em Graz, na Áustria, mas poucos anos depois, por pressões da Igreja Católica (Kepler era protestante), foi exilado, e foi então para Praga trabalhar com Tycho Brahe.</p> <p>Quando Tycho morreu, Kepler "herdou" seu posto e seus dados, a cujo estudo se dedicou pelos 20 anos seguintes.</p> <p>O planeta para o qual havia o maior número de dados era Marte. Kepler conseguiu determinar as diferentes posições da Terra após cada período sideral de Marte, e assim conseguiu traçar a órbita da Terra. Encontrou que essa órbita era muito bem ajustada por um círculo excêntrico, isto é, com o Sol um pouco afastado do centro.</p> <p>Kepler conseguiu também determinar a órbita de Marte, mas ao tentar ajustá-la com um círculo não teve sucesso. Ele continuou insistindo nessa tentativa por vários anos, e em certo ponto encontrou uma órbita circular que concordava com as observações com um erro de 8 minutos de arco. Mas sabendo que as observações de Tycho não poderiam ter um erro desse tamanho (apesar disso significar um erro de apenas 1/4 do tamanho do Sol), Kepler descartou essa possibilidade.</p>	<p>Finalmente, passou à tentativa de representar a órbita de Marte com uma oval, e rapidamente descobriu que uma elipse ajustava muito bem os dados. (O indiano Aryabhata I (476-550), escreveu em seu tratado de astronomia e matemática, <i>Aryabhatiya</i>, que as órbitas dos planetas em torno do Sol deveriam ser elipses.) A posição do Sol coincidia com um dos focos da elipse. Ficou assim explicada também a trajetória quase circular da Terra, com o Sol afastado do centro.</p> <p>1ª Lei: A órbita de cada planeta é uma elipse com o Sol situado em um dos focos. Matematicamente, uma elipse é definida como o locus de todos os pontos, de modo que a soma das distâncias a partir de dois focos (focos) até qualquer ponto sobre a elipse é constante: $r + r' = 2a =$ constante onde a é o semi-eixo maior. No caso de uma órbita planetária, o semi-eixo maior da elipse é a distância média do Sol até o planeta.</p> <p>Propriedades das Elipses</p>  <ul style="list-style-type: none"> Em qualquer ponto da curva, a soma das distâncias desse ponto aos dois focos é constante. Sendo F_1F_2 os focos, P um ponto sobre a elipse, a o seu semi-eixo maior, então: $PF_1 + PF_2 = constante = 2a$ Quanto maior a distância entre os dois focos, maior é a excentricidade (e) da elipse. Sendo c a distância do centro a
<p>cada foco, a o semi-eixo maior, e b o semi-eixo menor, a excentricidade é definida por:</p> $e = \frac{c}{a} = \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{a^2}}$  <p>Já que quando o ponto está exatamente sobre b temos um triângulo retângulo, com $a^2 = b^2 + c^2$.</p> <ul style="list-style-type: none"> Se imaginarmos que um dos focos da órbita do planeta é ocupado pelo Sol, o ponto da órbita mais próximo do Sol é chamado <i>periélio</i> e o ponto mais distante é chamado <i>afélio</i>. A distância do <i>periélio</i> ao foco (F_1) é: $R_p = a - c = a - a \cdot e = a(1 - e)$ e a distância do <i>afélio</i> ao foco (F_2) é: $R_a = a + c = a + a \cdot e = a(1 + e)$ 	<p>As Leis de Kepler</p> <ol style="list-style-type: none"> Lei das órbitas elípticas (Astronomia Nova, 1609): A órbita de cada planeta é uma elipse, com o Sol em um dos focos. Como consequência da órbita ser elíptica, a distância do Sol ao planeta varia ao longo de sua órbita. Lei das áreas (1609): A reta unindo o planeta ao Sol varre áreas iguais em tempos iguais. O significado físico desta lei é que a velocidade orbital não é uniforme, mas varia de forma regular: quanto mais distante o planeta está do Sol, mais devagar ele se move. Dizendo de outra maneira, esta lei estabelece que a <i>velocidade areal é constante</i>. Lei harmônica (Harmonices Mundi, 1618): O quadrado do período orbital dos planetas é diretamente proporcional ao cubo de sua distância média ao Sol. Esta lei estabelece que planetas com órbitas maiores se movem mais lentamente em torno do Sol e, portanto, isso implica que a força entre o Sol e o planeta decresce com a distância ao Sol. <p>Uma grande contribuição ao Modelo Heliocêntrico foi dada pelo italiano Galileu Galilei (1564 - 1642). Galileu Grande Físico, Matemático e Astrônomo. Galileu Galilei nasceu na Itália no ano de 1564. Durante sua juventude ele escreveu obras sobre Dante e Tasso. Ainda nesta fase, fez a descoberta da lei dos corpos e enunciou o princípio da inércia. Foi um dos principais representantes do Renascimento Científico dos séculos XVI e XVII. Galileu foi o primeiro a contestar as afirmações de Aristóteles, que até aquele momento, havia sido o único a fazer descobertas sobre a física. Neste período ele fez a balança hidrostática, que posteriormente, deu origem ao relógio de pêndulo. A partir da informação da construção do primeiro telescópio, na Holanda, ele construiu a primeira luneta astronômica e, com ela, pôde observar a composição estelar da Via Láctea, os satélites de Júpiter, as manchas do Sol e as fases de Vênus. Esses achados astronômicos foram relatados ao mundo através do livro <i>Sidereus Nuntius</i> (Mensageiro das Estrelas), em 1610. Foi através da observação das fases de Vênus, que Galileu passou a emergir embasamento na visão de Coperníco (Heliocêntrico - O Sol como centro do Universo) e não na de Aristóteles, onde a Terra era vista como o centro do Universo.</p>	<p>Por sua visão heliocêntrica, o astrônomo italiano teve que ir a Roma em 1611, pois estava sendo acusado de herege. Condenado, foi obrigado a assinar um decreto do Tribunal da Inquisição, onde declarava que o sistema heliocêntrico era apenas uma hipótese. Contudo, em 1632, ele voltou a defender o sistema heliocêntrico e deu continuidade aos seus estudos.</p> <p>Muitas ideias fundamentadas por Aristóteles foram colocadas em discussão por indagações de Galilei. Entre elas, a dos corpos leves e pesados caírem com velocidades diferentes. Segundo ele, os corpos leves e pesados caem com a mesma velocidade.</p> <p>Ele foi o pai da moderna física experimental e da astronomia telescópica. Seus experimentos em mecânica estabeleceram parte dos conceitos de inércia, e de que a aceleração de corpos em queda livre não depende de seu peso, que foram mais tarde incorporados às leis do movimento de Newton.</p> <p>Galileu começou suas observações telescópicas em 1609, usando um telescópio construído por ele mesmo. Não cabe a Galileu o crédito da invenção do telescópio, entando, Lentes e óculos já eram conhecidos desde cerca de 1350, e Galileu tinha ouvido falar do telescópio construído pelo holandês Hans Lippershey (1570-1619) em 1608. Galileu soube desse instrumento em 1609, e sem ter visto o telescópio de Lippershey, construiu o seu próprio, com aumento de 3 vezes, ainda em 1609. Em seguida ele construiu outros instrumentos, e o melhor tinha aumento de 30 vezes.</p> <p>Fonte:</p> <p>http://astro.ufmg.br/movplan2/movplan2.htm</p> <p>http://educacao.uol.com.br/biografias/tycho-brahe.htm</p> <p>http://www.astro.lag.usp.br/~aga0215/diurno/pdfs/cap02_02.pdf</p> <p>http://www.suapesquisa.com/biografias/galileu/</p>

Figura 52-B: Imagens da produção entregue pelas alunas A16-2B e A22-2B.

5.2.7 Aplicação do Roteiro 7 (aula 7)

Da mesma maneira que na etapa 6, as produções dos estudantes na etapa 7 (apêndice B.07) foram enviadas dos *netbooks* utilizados pelas duplas de alunos para um *e-mail* do professor autor ou salvas em *pen-drive*.

Para iniciar a atividade 10 (etapa 7), apresentou-se o vídeo *Astros da Física – relação histórica entre força e movimento* (figura 18 – cap. 4), que retoma de maneira resumida grande parte dos conceitos estudados na SD. Em seguida foi colocada para discussão com os alunos a seguinte questão: *se a Lua e satélites orbitam a Terra, porque a gravidade não faz com que eles caiam nela?* Esta questão foi reformulada após a implementação e apresenta-se da seguinte maneira no Produto Educacional: *Se um objeto cai ao chão, por que a Lua também não cai?*

Em seguida, os educandos foram levados a escrever um texto síntese após discussão com sua dupla ou trio, com base na leitura dos textos *Isaac Newton* (anexo A.06) e *Força Gravitacional* (anexo A.07), relacionando-os ainda com o vídeo que assistiram no início da aula e considerando a experiência da utilização da simulação “*Meu Sistema Solar*” (figuras 19 e 20 – cap. 4).

As imagens que constituem as figuras 53 e 54 apresentam momentos da aula em que os alunos realizaram a simulação “*Meu Sistema Solar*”. Na simulação, os alunos podiam escolher a quantidade de corpos de um sistema (até 4 corpos), suas massas, coordenadas de sua posição inicial e respectiva velocidade.



Figura 53: Alunos selecionando corpos (à direita) e discutindo parâmetros (à esquerda) para a realização da simulação.



Figura 54: Alunos observando a simulação para modelo determinado por eles.

A figura 55 traz um exemplo de atividade entregue pelos alunos como finalização da atividade 10, etapa 7 da SD. Percebeu-se, nas produções dos alunos, que vários ainda concebiam como verdadeiro o episódio da queda da maçã na cabeça de Newton. Então, foi adicionado ao planejamento da SD um texto de referência para que, na ocasião de fechamento da sequência, o professor desmistificasse esse episódio da *maçã de Newton* e o conceito de ciência como algo pronto e acabado, como tanto o foi recusado no decorrer das atividades da SD.

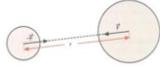
<p>A lei da gravitação universal foi formulada pelo físico Isaac Newton. Conforme diz a lenda, uma maçã caiu sobre sua cabeça e, portanto observou que a maçã caiu por algum motivo, e este motivo seria que alguém estaria "puxando" ela, este alguém seria a <u>Terra</u>. Mas ele foi mais além desse pensamento, e sugeriu que os corpos se atraem, ou seja, não somente a Terra atrai a maçã, mas atrai todos os corpos do universo. E não é somente a Terra que atrai todos os corpos do universo, mas todos os corpos do universo que possui massa atraem outros corpos que também possuem massa.</p> <p>Portanto Newton concluiu:</p> <p><i>"Duas partículas se atraem com forças cuja intensidade é diretamente proporcional ao produto de suas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância que as separa".</i></p> <p>Vamos analisar o que Newton disse: Considere duas massas, m_1 e m_2 a uma distância r uma da outra, conforme a figura abaixo:</p>  <p>Note que as forças de atração gravitacional entre os corpos são de mesma intensidade, mesma direção, mas de sentidos opostos.</p> <p>Sendo r a distância entre elas, a expressão do módulo da força de atração gravitacional é:</p> $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$ <p>Onde G é a constante da gravitação universal, cujo valor determinado experimentalmente é:</p> <p>$G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2/\text{kg}^2$</p>	<p>Essa constante não tem relação com a <u>aceleração da gravidade</u> da Terra. Em cada planeta a aceleração da gravidade é diferente, e, varia no próprio planeta com a latitude e altitude do local do planeta.</p> <p>Quando os corpos são extensos, esféricos e a distribuição de sua massa é uniforme, a distância r é medida entre os seus centros, conforme a figura abaixo:</p> 
--	--

Figura 55: Imagem da produção entregue pela aluna A07-1D.

Para concluir as atividades da SD, seriam propostos exercícios do livro didático sobre a lei da gravitação universal, servindo de exemplos de aplicação dos conhecimentos construídos anteriormente. Contudo, devido às atividades terem tomado um tempo maior do que o previsto no planejamento, a resolução de exercícios do livro didático não ocorreu.

Destaca-se, no entanto, que por se tratar de uma disciplina eletiva em que se explorava conteúdos desde uma perspectiva mais histórica e filosófica (o fazer ciência), algo inclusive esperado pelos alunos que se inscreveram na disciplina, a não realização dos exercícios matemáticos não gerou prejuízos em relação aos objetivos previamente definidos. Tais exercícios poderiam ser explorados em outros momentos, por exemplo, dentro das próprias aulas de Física que não eram parte das disciplinas eletivas.

5.2.8 Aspectos Gerais

No aspecto geral da implementação, algo notado foi a percepção de que alguns alunos escolheram a disciplina com o intuito de conhecer mais sobre signos e astrologia. Também foi possível notar que alguns alunos que apresentaram menor interesse nas atividades haviam se inscrito na disciplina somente para poder estabelecer o contato com colegas que estavam em outras turmas, ou que eram de outras séries. Como exemplo, tivemos a situação de haver dois casais de namorados de classes diferentes frequentando as aulas da eletiva, e a um deles existia a necessidade de se solicitar constantemente para que não namorassem na sala.

No que se refere a questões procedimentais, pode se destacar que, por se tratar de uma implementação em disciplina eletiva, justifica-se a falta de aplicação de exercícios que apresentassem resoluções numéricas, com as quais fosse possível verificar o entendimento dos alunos em relação à utilização das equações das leis de Kepler e da lei da Gravitação de Newton. Mesmo que inicialmente houvesse uma preocupação em não abandonar a utilização da Matemática envolvida no tema da SD, ocorreram discussões sobre as equações referidas.

Capítulo 6

Considerações

6.1. Sobre os princípios de *design*

Os princípios de *design* indicados no capítulo 4 serviram de base para o desenvolvimento de atividades da SD para que, em sua implementação, não fosse fornecido diretamente um conhecimento pronto e sim que os educandos construíssem seu conhecimento.

Em todo processo de desenvolvimento e implementação da SD está implícita a ideia de modelização, afinal as atividades foram moldadas de tal modo que os alunos, com base em diferentes informações (por exemplo, aquelas apresentadas com o uso de ferramentas contemporâneas como o vídeo), pudessem estudar, testar e elaborar explicações.

Tal procedimento permitiu um contínuo processo de elaboração e reelaboração de modelos mentais, os quais em alguns momentos eram externalizados (discussões, atividades escritas e com desenhos), cujo norte era um modelo científico definido, que envolve a dinâmica do Sistema Solar considerando o modelo heliocêntrico, e tendo como base explicativa as Leis de Kepler e a Gravitação Universal.

Ao longo de toda a SD, a partir de discussões centradas na história da ciência, os alunos puderam reconhecer a elaboração de explicações científicas como uma atividade humana, orientada por métodos, e baseada em evidências que podem ser validadas, ou mesmo rejeitadas.

Durante este processo, o uso pedagógico das TIC se fez presente assumindo, em alguns momentos, um papel mais simples que se reduzia ao uso como recurso de registro de informações (elaboração de textos, quadros, etc.), e em outros momentos para testar hipóteses que servissem de subsídio para as discussões e para a elaboração de explicações.

6.2. Sobre os objetivos

Ao observar como objetivo principal do nosso trabalho a elaboração de um Produto Educacional que evitasse o tratamento mais clássico sobre a temática geocentrismo, heliocentrismo e gravitação universal, acreditamos tê-lo atingido já que apresentamos uma SD implementada e avaliada de maneira que pode servir de inspiração para professores de Física do Ensino Médio e professores de Ciências que queiram adaptá-la para utilização no Ensino Fundamental.

Pretende-se que o professor que se inspirar na SD construída neste trabalho norteie-se quanto às possibilidades de tratar o tema abordado de acordo com sua realidade, a partir de diversas ferramentas didáticas apresentadas e, dentro de sua implementação, propicie ao aprendiz o papel central em sua aprendizagem relativa ao conflito entre o geocentrismo e o heliocentrismo, bem como as Leis de Kepler, a Lei da gravitação universal e suas descrições matemáticas.

Para o objetivo secundário do favorecimento da aprendizagem dos alunos envolvidos na implementação desse produto pelo professor pesquisador, percebeu-se que foi parcialmente atingido pois as atividades planejadas são potencialmente significativas e podem não atingir alunos que não desejem aprender sobre o assunto.

6.3. Sobre trabalhos futuros

Vislumbra-se como futuro trabalho a reaplicação da SD seguindo os ciclos e princípios de *design*, segundo Méheut e Psillos (2004), de modo a construir uma Sequência de Ensino e Aprendizagem (SEA).

Também se conjectura a implementação da SD adaptada ao currículo do Ensino Fundamental e seu possível atendimento aos pressupostos de Méheut e Psillos (2004), tornando-a uma SEA.

Referências

ALENCAR, A. F. de. **O pensamento de Paulo Freire sobre a tecnologia:** traçando novas perspectivas. Recife, 2005. Disponível em <http://seminario-paulofreire.pbworks.com/w/file/fetch/11816006/texto_pensamentofreire_sobretecnologia_pdf.pdf>. Acesso em: 01 mar. 2016.

BACHELARD, G. **Ensaio sobre o conhecimento aproximado.** 1. ed., 1. reimp. Rio de Janeiro: Contraponto, 2004. 318p.

BREEDE, W. E. **Paulo Freire e os computadores.** 1987. Disponível em: <http://www.paulofreire.ufpb.br/paulofreire/Files/revista/Paulo_Freire_e_os_computadores.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2016.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais (ensino médio).** Ciências da natureza e suas tecnologias. Brasília: Ministério da Educação/Secretaria de Educação Média e Tecnológica, 1999. 58p.

BRASIL. **PCN+ Ensino Médio:** Orientações Educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Ciências da natureza e suas tecnologias. Brasília: Ministério da Educação/Secretaria de Educação Média e Tecnológica, 2002. 140p.

CANIATO, R. **(Re)descobrimo a Astronomia.** 2. ed. Campinas: Átomo, 2013. 142p.

CLEMENT, J. J. Model based learning as a key research area for Science education. **International Journal of Science Education**, Londres, v. 22, n. 9, p.1041-1053, 2000.

COLOMBO JR., P. D. **Inovações Curriculares em Ensino de Física Moderna:** Investigando uma Parceria entre Professores e um Centro de Ciências. 2014. 254p. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

FREIRE, P. **Pedagogia do oprimido.** 50. ed., rev. atual. São Paulo: Paz e Terra, 2011. 253p.

GOMEZ, M. V. **Paulo Freire: Re-leitura para uma teoria da informática na educação.** São Paulo: Instituto Paulo Freire, 1999. Disponível em: <http://seminario-paulofreire.pbworks.com/w/file/11816005/texto_paulofreire_releitura_parateoria_pdf.pdf>. Acesso em: 30 jun. 2016.

GRECA, I. M.; MOREIRA, M. A. Modelos Mentales, Modelos Conceptuales y Modelización. **Caderno Catarinense de Ensino de Física.** Florianópolis, v. 15, n. 2, p.107-120, 1998.

KANTOR, C. A. **A ciência do céu: uma proposta para o ensino médio**. 2001. 116p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

KEMP, E. **A Inserção de Tópicos de Astronomia como motivação para o estudo da mecânica em uma abordagem epistemológica para o ensino médio**. 2007. 127 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

KENSKY, V. M. **Educação e tecnologias: o novo ritmo da informação**. 8. ed. Campinas: Papyrus, 2012. 141 p.

LANGHI, R. Educação em Astronomia: da revisão bibliográfica sobre concepções alternativas à necessidade de uma ação nacional. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v.28, n.2: p.373-399, ago. 2011.

LONGHINI, M. D.; MENEZES, L. D. D. Objeto virtual de aprendizagem no ensino de astronomia: algumas situações problema propostas a partir do software Stellarium. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 27, n. 3: p. 433-448, dez. 2010.

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

MÁXIMO, A. **Curso de Física – volume 1**/ Antônio Máximo, Beatriz Alvarenga. São Paulo: Scipione, 2010. (Coleção Curso de Física)

MEDEIROS, G. C. M. **Reflexões e contribuições para o ensino de gravitação clássica no nível médio**. 2005. 91p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2005.

MEHEUT, M.; PSILLOS, D. Teaching–learning sequences: aims and tools for science education research. **International Journal of Science Education**, Special Issue, v. 26, n. 5, p. 515-535, 2004.

MORAN, J. M. **Como utilizar a internet na educação**. Revista Ciência da Informação, v. 26, n.2, mai.-ago. 1997. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ci/v26n2/v26n2-5.pdf>>. Acesso em: 22 jun. 2016.

MORAN, J. M.; MASETTO, M. T.; BEHRENS, M. A. **Novas tecnologias e mediação pedagógicas**. 21. ed., rev. atual. Campinas: Papyrus, 2013. 171p.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa: da visão clássica à visão crítica**. Disponível em: <<https://www.if.ufrgs.br/~moreira/visaoclasicavisaocritica.pdf>>. Acesso em: 19 jul. 2016.

MOREIRA, M. A. **Unidades de Ensino Potencialmente Significativas – UEPS**. 2011a. Disponível em: <<https://www.if.ufrgs.br/~moreira/UEPSport.pdf>>. Acesso em: 19 jul. 2016.

MOREIRA, M. A. **Teorias de Aprendizagem**. 2. ed., ampli. São Paulo: EPU, 2011b. 242p.

MOREIRA, M. A.; OSTERMANN, F. Sobre o Ensino do Método Científico, **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v.10, n.2, p. 118-117, ago.1993.

MORETTI, R. L. **Construção e aplicação de um material didático para inserção da Astronomia no Ensino Médio**: uma proposta baseada nos referenciais curriculares do Rio Grande do Sul. 2012. 142p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

NASCIMENTO, B. G. **Análise da Astronomia Kepleriana no Ensino Médio**: A História da Ciência a Favor da Aprendizagem. 2007. 122p. Dissertação (Mestrado) – Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, Rio de Janeiro, 2007.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física básica, 1: Mecânica**. 5. ed. rev. amp. São Paulo: Edgard Blücher, 2013. 394p.

OLIVEIRA FILHO, K. S.; SARAIVA M. F. O. **Astronomia & Astrofísica**. 3. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2013. 780p.

PESSANHA, M. C. R. **Estrutura da Matéria na Educação Secundária**: Obstáculos de Aprendizagem e o Uso de Simulações Computacionais. 2014. 229 p. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

PINTO, H. H. A. **Uma proposta de ensino de mecânica no ensino médio contextualizado com a astronomia e a astronáutica**. 2007. 189p. Dissertação (Mestrado) – Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, Rio de Janeiro, 2012.

PONCZEK, R. I. L. Da Bíblia a Newton: uma visão humanística. *In*: ROCHA, J. F. L. (org.). **Origens e evolução das ideias em Física**. Salvador: EDUFBA, 2011, 374p.

SILVA, T. P. **Nossa posição no Universo**: uma proposta de sequência didática para o ensino de astronomia no ensino médio. 2015. 160p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2015.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria da Educação. **Proposta Curricular do estado de São Paulo**. Secretaria da Educação; coordenação geral, Maria Inês Fini; coordenação de área, Paulo Miceli. – São Paulo: SEE, 2008.

SÃO PAULO (Estado) Secretaria da Educação. **Currículo do Estado de São Paulo**: Ciências da Natureza e suas tecnologias / Secretaria da Educação; coordenação geral, Maria Inês Fini; coordenação de área, Luís Carlos de Menezes. – 1. ed. atual. – São Paulo: SE, 2012.152p.

UHR, A. P. **O Sistema Solar**: um Programa de Astronomia para o Ensino Médio. 2007. 121p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

VEIT, E. A.; TEODORO, V. D. Modelagem no ensino/aprendizagem de Física e os novos parâmetros curriculares nacionais para o ensino médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 24, n. 2, p. 87-96, jun. 2002.

Apêndice A

Material do professor **Sequência Didática**

Apresentamos a seguir a sequência didática (SD) *Movimentos do Sistema Solar*, a qual constitui nosso Produto Educacional confeccionado como parte do trabalho de mestrado.

A.01 Material do professor – Etapa 1

Sequência Didática: Movimentos do Sistema Solar

Etapa 1: Levantamento de conhecimentos prévios e apresentação do *Stellarium*.

Materiais da atividade 1: Roteiro 1 (Apêndice B.01) e folha 1 (para o desenho de cada aluno).

Materiais da atividade 2: Roteiro 1 (Apêndice B.01) e microcomputador com acesso à internet por dupla de estudantes.

Atividade	Título	Desenvolvimento	Duração
1	Desenhando o Sistema Solar	O professor entregará a <i>folha 1</i> e solicitará aos estudantes que desenhem o Sistema Solar da forma como compreendem que ele seja, segundo o que aprenderam até o momento, ou mesmo segundo suas concepções espontâneas (como imaginam que seja). A atividade objetiva que os discentes externem seus modelos mentais sobre o Sistema Solar.	1 h/a
2	Conhecendo o Stellarium	O professor indicará o <i>site</i> oficial do <i>software Stellarium</i> ¹³ e solicitará que os alunos realizem o <i>download</i> do programa, para que os discentes conheçam suas ferramentas básicas, as quais serão utilizadas na atividade seguinte.	1 h/a

¹³ www.stellarium.org

A.02 Material do professor – Etapa 2

Sequência Didática: Movimentos do Sistema Solar

Etapa 2: O movimento aparente do Sol

Materiais da atividade 3: Roteiro 2 (Apêndice B.02); microcomputador por dupla de estudantes (com acesso ao *Stellarium*) e folha 2 (para o desenho de duplas de alunos).

Materiais da atividade 4: Roteiro 2 (Apêndice B.02) com notícia impressa aos discentes ou salva para acessarem em microcomputador ou ainda projetor para apresentação da notícia.

Atividade	Título	Desenvolvimento	Duração
3	Registrando o movimento do Sol	O professor entregará a <i>folha 2</i> aos estudantes, os quais deverão acessar o <i>Stellarium</i> e escolher uma localização. Em seguida, solicitará aos alunos, que após escolhido o dia para cada data prevista na <i>folha 2</i> , registrem 4 posições do Sol em horários distintos (na forma de desenho). O professor ainda deve requerer que os alunos respondam às questões do roteiro 2.	1 h/a
4	O Segundo Sol	O professor deve discutir brevemente as questões da atividade 3. Em seguida, deve realizar a apresentação da Notícia relacionada à Rjukan (Noruega) presente no roteiro 2 e direcionar uma discussão a partir de questões como: qual a diferença entre como o Sol aparentemente se move no céu na cidade de Rjukan e em sua cidade? Após as respostas, colocar outras perguntas: Se entendermos que o Sol gira ao redor da Terra, como explicamos essa diferença? Poderiam surgir explicações diferentes dependendo do local da Terra em que estamos? (Espera-se que os alunos percebam que o movimento aparente do Sol é diferente de acordo com o lugar na Terra, gerando o início do conflito: Geocentrismo x Heliocentrismo, através das questões trabalhadas).	1 h/a

A.03 Material do professor – Etapa 3

Sequência Didática: Movimentos do Sistema Solar

Etapa 3: Obtendo informações por inferência (método científico)

Materiais da atividade 5: Roteiro 3 (Apêndice B.03); bolinhas de gude; folhas de papel sulfite; kit experimental¹⁴ e texto de apoio.

Observações: A atividade baseada em técnica de obtenção de informações de algo desconhecido, considerando sua interação com o que se conhece, a fim de que, posteriormente, se discuta sobre *Modelização*.

Atividade	Título	Desenvolvimento	Duração
5	Um outro olhar	<p>O professor entregará os kits experimentais aos alunos que estarão divididos em grupos com cerca de 4 integrantes cada. O professor solicitará que os alunos decidam no grupo um método a ser utilizado para que possam determinar (desenhar) a forma geométrica do objeto escondido sob a placa de madeira/isopor, sem olhar por baixo dela, explicando que poderão utilizar apenas os materiais entregues mais lápis ou lapiseira. Cada grupo deve ser convidado a expor o método que utilizará.</p> <p>Após o final da experimentação (reservar 10 min) o professor deve realizar explanação sobre os conceitos de modelo científico e conceitual, e realizar uma discussão durante a leitura do texto de apoio presente no roteiro 3.</p>	1 h/a

¹⁴ O seguinte *link* explica como construir o kit experimental para discutir o *espalhamento de Rutherford*, tratando-se de um experimento útil para discutir a inferência sobre algo não diretamente observável, algo presente na ciência, por exemplo, no estudo da dinâmica do Sistema Solar: www.sbfisica.org.br/fne/Vol11/Num2/a04.pdf

A.04 Material do professor – Etapa 4

Sequência Didática: Movimentos do Sistema Solar

Etapa 4: Galileu e o método

Materiais da atividade 6: Roteiro 4 (Apêndice B.04); microcomputador por dupla de estudantes com acesso aos textos (Anexo A.01, A.02 e A.03) e as simulações indicadas nos *links*.

Atividade	Título	Desenvolvimento	Duração
6	Galileu e o Método	<p>O professor deverá realizar com os alunos breve encenação adaptada da peça <i>A Vida de Galileu</i>¹⁵ (20 a 25 min). Em seguida, os alunos serão solicitados a ler atentamente os textos nos anexos A.01, A.02 e A.03 e discutir sua interpretação com seu par. Ainda com sua dupla, devem tentar identificar características apresentadas nos textos dentro da simulação <i>Sistema Ptolomaico</i>¹⁶ (modelo geocêntrico) e observar a animação <i>Heliocentrismo</i>¹⁷ (modelo heliocêntrico). Na continuidade, o professor deverá incumbir as duplas de alunos a produzir um quadro comparativo com as características de cada modelo de mundo, em editor de texto apropriado.</p> <p>O professor precisará direcionar uma discussão a fim que os alunos compreendam a adequabilidade do modelo heliocêntrico (caso necessário, utilize o texto de apoio da atividade). Para tanto, pode ser apresentado como apoio o vídeo <i>Heliocentrismo</i>¹⁸, da série denominada do ABC da Astronomia.</p>	2 h/a

¹⁵ www.fc.unesp.br/~lavarda/galileu/a_vida_de_galileu_2012_03_19.pdf

(Roteiro para teatro adaptado por Paulo Noronha Lisboa Filho e Francisco Carlos Lavarda a partir da tradução para o português por Roberto Schwarz da peça “A Vida de Galileu” (Leben des Galilei) escrita em 1938-1939 por Bertolt Brecht e publicada no volume 06 (pp. 51-170) da obra “Teatro Completo de Bertolt Brecht”, Ed. Paz e Terra, 1991, Rio de Janeiro.)

¹⁶ <http://astro.unl.edu/naap/ssm/animations/ptolemaic.html>

¹⁷ <http://astro.unl.edu/naap/ssm/heliocentric.html>

¹⁸ <http://tvescola.mec.gov.br/tve/video/abc-da-astronomia-heliocentrismo>

Texto de apoio – atividade 6

Descobertas de Galileu (devem estar presentes na encenação de *Galileo Galilei*¹⁹)

- Galileu descobriu algumas luas em torno de Júpiter. Com isso mostrou que mesmo Júpiter se movendo, ele possuía luas em torno dele. Logo, a Terra mesmo possuindo uma Lua poderia estar se movendo em torno de algo.

- Galileu também descobriu que Vênus possuía um ciclo de fases, semelhante à Lua. Como no geocentrismo de Ptolomeu, Vênus está mais próximo da Terra do que o Sol, em ambos estariam orbitando a Terra; Vênus não poderia ter toda a sua face voltada para nós iluminada. Além disso, as fases levaram Galileu a entender que Vênus orbitava o Sol, e não a Terra, e dependendo das posições, teriam as fases de Vênus (ver figura).

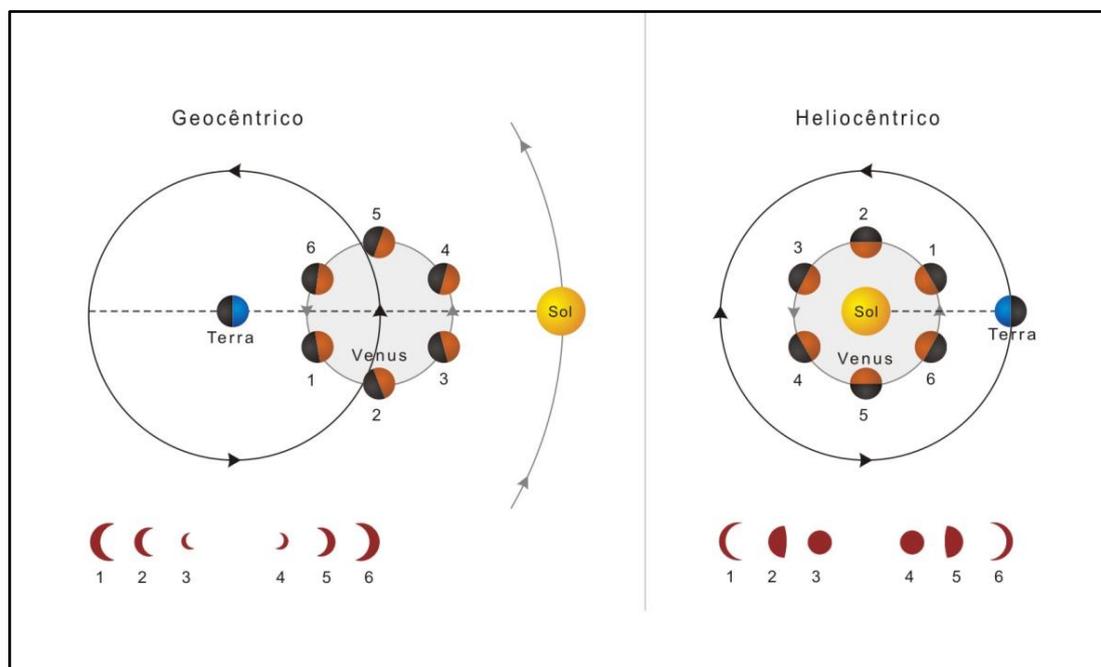


Figura: Posições relativas de Vênus em relação à Terra e ao Sol nos sistemas geocêntrico e heliocêntrico e a forma como seria visto da Terra quando estivesse em diferentes pontos da órbita. Extraído de *Astronomia & Astrofísica* – Oliveira e Saraiva (2013, p.83).

¹⁹ *Galileo Galilei* é uma adaptação didática do roteiro citado na nota de rodapé 14 e compõe o Apêndice C.

A.05 Material do professor – Etapa 5

Sequência Didática: Movimentos do Sistema Solar

Etapa 5: A Sonda Espacial

Materiais das atividades 7 e 8: Roteiro 5 (Apêndice B.05).

Observação: Atividades adaptadas do material da SEE – SP/ Caderno do Professor e Caderno do Aluno (1ª série do Ensino Médio – Volume 1)

Atividade	Título	Desenvolvimento	Duração
7	<i>Desenhando a órbita de uma Sonda Espacial</i>	O professor solicitará que os alunos realizem a construção da trajetória de uma sonda espacial em órbita de um planeta do Sistema Solar, a partir de 46 pares de pontos com valores em milímetros fornecidos pela tabela presente no roteiro da aula. Nesta escala, cada milímetro equivale a 1000 km.	1 h/a
8	<i>Interpretando a órbita de uma Sonda Espacial</i>	O professor incumbirá os alunos de responder as questões presentes no roteiro de aula para que possam descobrir qual o planeta a sonda orbita. As marcas da trajetória simulada foram tomadas a cada três horas. O centro do planeta está na coordenada $x = 186$ mm, $y = 67$ mm. Para desenhar o planeta, deve-se traçar uma circunferência de 6 mm de raio em torno desse ponto.	1 h/a

A.06 Material do professor – Etapa 6

Sequência Didática: Movimentos do Sistema Solar

Etapa 6: As leis de Kepler

Materiais da atividade 9: Roteiro 6 (Apêndice B.06); microcomputador por dupla de estudantes com acesso aos textos (Anexo A.04 e A.05), as simulações e vídeos indicados nos *links*.

Atividade	Título	Desenvolvimento	Duração
9	As leis de Kepler	<p>O professor deverá solicitar que os alunos leiam atentamente os textos <i>Tycho Brahe</i> (anexo A.04) e <i>Johannes Kepler</i> (anexo A.05), e discutam sua interpretação com seu par. Ainda com sua dupla, devem tentar identificar características apresentadas nos textos dentro da simulação das 3 leis de Kepler²⁰. Ao final da 1ª h/a, o professor deverá direcionar uma discussão sobre as leis de Kepler e poderá finalizá-la com o vídeo <i>Kepler</i>²¹, da série denominada do ABC da Astronomia, ou ainda, poderá usar o vídeo no início da 2ª h/a.</p> <p>Em seguida, o professor colocará como tarefa a produção textual aos alunos sobre o tema Leis de Kepler, que deverá ser confeccionada pelos pares em editor de texto apropriado.</p>	2 h/a

²⁰ <http://astro.unl.edu/naap/pos/animations/kepler.html>

²¹ <http://tvescola.mec.gov.br/tve/video/abc-da-astronomia-kepler>

A.07 Material do professor – Etapa 7

Sequência Didática: Movimentos do Sistema Solar

Etapa 7: A lei da Gravitação Universal

Materiais da atividade 10: Roteiro 7 (Apêndice B.07); microcomputador por dupla de estudantes com acesso aos textos (Anexo A.06 e A.07), as simulações e vídeos indicados nos *links*.

Atividade	Título	Desenvolvimento	Duração
10	A lei da Gravitação Universal	<p>O professor deverá apresentar aos alunos o vídeo <i>Astros da Física: relação histórica entre força e movimento</i> do canal do INPE (Instituto de Pesquisas Espaciais) no <i>Youtube</i>²². Em seguida, pedir que reflitam sobre a questão: <i>Se um objeto cai ao chão, por que a Lua também não cai?</i> e que leiam atentamente os textos <i>Isaac Newton</i> (anexo A.06) e <i>Força Gravitacional</i> (anexo A.07), e discutam sua interpretação com seu par. Ainda com sua dupla, devem tentar identificar características apresentadas nos textos dentro da simulação <i>Meu Sistema Solar</i>²³. Entre a transição da 1ª para 2ª h/a o professor deverá direcionar uma discussão sobre a lei da Gravitação Universal, na qual desmistificará o episódio da <i>maçã de Newton</i> e o conceito de ciência como algo pronto e acabado, para tanto, o professor pode fazer uso de um texto de apoio²⁴.</p> <p>Para finalizar as atividades da SD deverá ser colocada aos alunos a tarefa de uma produção textual, que deverá ser confeccionada pelos pares em editor de texto apropriado.</p>	2 h/a

²² <https://www.youtube.com/watch?v=VN2uhSivM7A>

²³ https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/my-solar-system

²⁴ <http://www.ghtc.usp.br/server/pdf/RAM-livro-Cibelle-Newton.pdf>

Apêndice B

Material do aluno **Roteiros das aulas**

A seguir apresentamos os roteiros das aulas, a serem entregues aos alunos, que constituem a Sequência Didática (SD) Movimentos do Sistema Solar.

B.01 Etapa 1 – Roteiro 01

Sequência Didática: Movimentos do Sistema Solar

Atividade 1: Desenhando o Sistema Solar como você conhece

Em impresso apropriado (folha 1) entregue pelo professor, faça um desenho do Sistema Solar conforme você o entende hoje.

Atividade 2: Conhecendo o *Stellarium*

Nesta atividade, você realizará a instalação e familiarização do *software Stellarium*. Acesse www.stellarium.org e clique no ícone para realizar o *download*. Com o programa instalado, acesse o vídeo²⁵ no *link* abaixo para assistir os primeiros passos no uso do *software* e depois divirta-se explorando os recursos disponíveis.

²⁵ <https://www.youtube.com/watch?v=qH3A3hi-6VE>

Folha 1: “Sistema Solar” – Desenhe o Sistema Solar, tal qual você o conhece hoje.



B.02 Etapa 2 – Roteiro 02

Sequência Didática: Movimentos do Sistema Solar

Atividade 3: Movimento do Sol (*software Stellarium*)

Utilizando o *Stellarium*, escolha sua localização; em seguida, você deverá desenhar a posição do Sol em 4 momentos (horários) diferentes, preenchendo a folha 2: registro do “Movimento do Sol”. Realize essa atividade em duplas ou como o professor orientar; repita o procedimento para os meses de junho, agosto e dezembro.

Atividade 4: O segundo Sol

Após preencher os desenhos da atividade 3, responda às questões propostas e em seguida acompanhe a leitura da notícia: *Cidade cria sol artificial com espelhos computadorizados*.

Questão 1: O que pode ser observado sobre o movimento do Sol? O Sol sempre “caminha a pino”?

Questão 2: Considerando aquilo que você observa no dia a dia e o que foi visualizado no *software Stellarium*, compare o desenho do movimento do Sol (atividade 2) e o que você fez sobre o Sistema Solar (atividade 1): eles são coerentes? Explique quem se move, o Sol ou a Terra?

Questão 3: A humanidade sempre explicou os movimentos do Sistema Solar como você? Você conhece outra explicação para os movimentos do Sistema Solar? Como seria e como é chamada esta outra explicação?

Para interpretar melhor o texto reflita sobre as questões:

- Qual a diferença entre como o Sol aparentemente se move no céu na cidade de Rjukan e em nossa cidade?
- Se entendermos que o Sol gira ao redor da Terra, como explicamos essa diferença?
- Poderiam surgir explicações diferentes dependendo do local da Terra em que estamos?

Cidade cria Sol artificial com espelhos computadorizados²⁶

Os 3 mil moradores da pequena Rjukan, na Noruega, têm um sol para chamar de seu. Aos pés do Monte Gaustatoppen, eles só viam o astro-rei por seis meses ao ano porque a montanha, de quase 2 mil metros, bloqueia a luz solar de setembro a março. Mas um grupo de designers e arquitetos criou um mecanismo para transformar essa realidade, digamos, sombria.

Em 1913, um de seus principais moradores, o empresário Sam Eyde (que virou monumento justamente na praça central), já tinha cogitado a ideia dos espelhos solares, mas poucos o levaram a sério. Em 1928, foi construída uma espécie de teleférico para levar a população do centro escuro para o topo das montanhas, onde pudessem ver e sentir a luz do sol. Só agora, cem anos depois, o projeto *Solspeil* (ou “espelhos solares”) saiu do papel. Liderado pelo artista e engenheiro Martin Andersen, custou cerca de R\$ 1,9 milhão — gasto dividido entre o governo e a iniciativa privada.

Não é o primeiro projeto do tipo na Europa: em 2006, a cidade italiana de Viganella, na região do Piemonte, construiu espelhos com 26 metros quadrados para refletir a luz do sol. Pouco depois, na Áustria, um sistema heliostático também foi implantado na cidade de Rattenberg. Mas o de Rjukan é o maior em área — e conta com sistema computacional mais moderno do que das outras duas cidades.

²⁶ Adaptado de revistagalileu.globo.com

(<http://revistagalileu.globo.com/Revista/Common/0,,EMI343591-18537,00-CIDADE+CRIA+SOL+ARTIFICIAL+COM+ESPELHOS+COMPUTADORIZADOS.html>)

Confira, na figura a seguir, como funcionam os espelhos instalados na cidade.

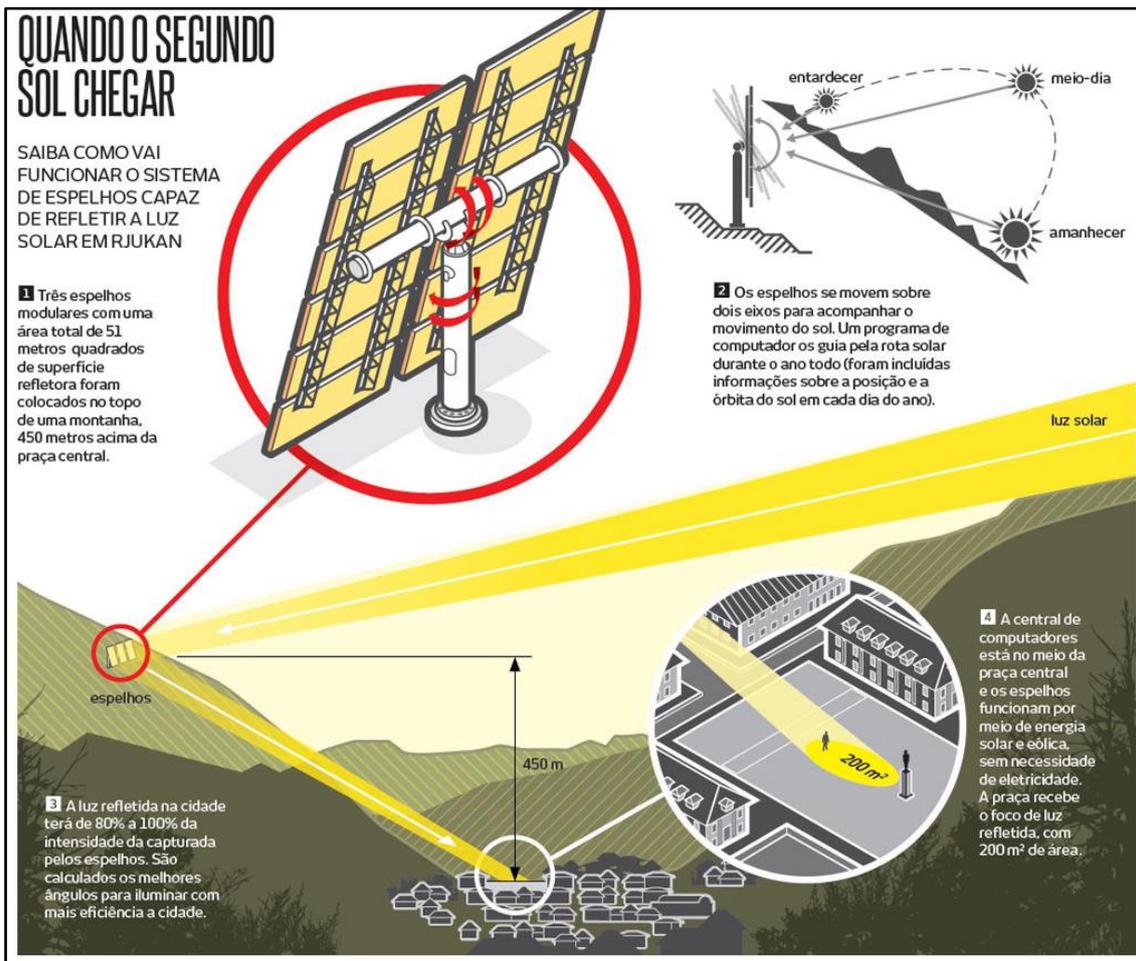


Figura extraída da versão eletrônica da *Revista Galileu* ([link](#) na nota de rodapé)

Folha 2: registro (desenho) do “Movimento do Sol”

15/02/20__

15/06/20__

15/08/20__

15/12/20__

B.03 Etapa 3 – Roteiro 03

Sequência Didática: Movimentos do Sistema Solar

Atividade 5: Um outro olhar – Obtendo informações por inferência

- Discuta com seu grupo um método para descobrir as formas geométricas dos objetos escondidos em baixo da placa de madeira/isopor, não vale espiar. Você deverá usar as bolas de gude, folhas de papel sulfite e lápis;
- No momento que o professor solicitar, socialize com a turma o método escolhido pelo seu grupo. Vocês podem usar alguma ideia de outros colegas para descobrir as formas;
- Após entregar uma folha ao professor, com a forma geométrica descoberta pelo grupo, acompanhe a leitura do texto *Pontos importantes sobre o Método Científico* e ouça as explicações do professor.

Pontos importantes sobre o Método Científico²⁷

A observação é um importante procedimento do método científico, mas este não começa na observação, pois ela é sempre precedida de teorias. A observação depende da teoria; nem o mais puro, ou o mais ingênuo cientista, observa algo sem ter a cabeça cheia de conceitos, princípios, teorias, os quais direcionam a observação.

O relato da observação também está impregnado de teoria, pois observar implica dirigir a atenção para alguns aspectos da realidade. Desta forma, a observação pressupõe um sistema de expectativas, algo teórico que se antecipa e decide, primeiramente, em quais aspectos da realidade focar a atenção.

O método científico não é uma receita, uma sequência linear de passos que necessariamente conduz a uma descoberta ou, pelo menos, a uma conclusão ou a um resultado. Na prática, muitas vezes, o cientista procede por tentativas, vai numa direção, volta, mede novamente, abandona certas hipóteses porque não tem equipamento adequado, faz uso da intuição, dá chutes, se deprime, se entusiasma, se apega a uma teoria. Enfim, fazer ciência é uma atividade humana, com todos os defeitos e virtudes que o ser humano tem, e com muita teoria que ele tem na cabeça.

A produção do conhecimento científico é uma construção humana, no entanto, essa construção não é um processo cumulativo, linear. Existem crises, rupturas, profundas remodelações nessas construções. Conhecimentos cientificamente aceitos hoje poderão ser ultrapassados amanhã.

A ciência é viva. O conhecimento científico cresce e evolui não por mera acumulação, mas principalmente por reformulação do conhecimento prévio. O conhecimento científico que temos hoje está baseado em modelos e teorias inventados e que podem estar equivocados ou apenas parcialmente corretos.

²⁷ Texto adaptado de: [Moreira e Ostermann (1993)] Moreira, M.A. e Ostermann, F. Sobre o Ensino do Método Científico, *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v.10, n.2, p. 118-117, ago.1993.

B.04 Etapa 4 – Roteiro 04

Sequência Didática: Movimentos do Sistema Solar

Atividade 6: Galileu e o método – Geocentrismo x Heliocentrismo

- Nesta atividade você irá participar/assistir de uma encenação *Galileo Galilei*. Em seguida, leia atentamente os textos *Claudius Ptolomeus*, *Nicolaus Copernicus* e *Galileo Galilei* discutindo sua interpretação com seu par;
- Ainda com sua dupla, devem tentar identificar características apresentadas nos textos dentro da simulação *Sistema Ptolomaico*²⁸ (modelo geocêntrico) e observe a animação *Heliocentrismo*²⁹ (modelo heliocêntrico);
- Realize a produção de um quadro comparativo com as características de cada modelo de mundo, em editor de texto apropriado.

²⁸ <http://astro.unl.edu/naap/ssm/animations/ptolemaic.html>

²⁹ <http://astro.unl.edu/naap/ssm/heliocentric.html>

B.05 Etapa 5 – Roteiro 05³⁰

Sequência Didática: Movimentos do Sistema Solar

Atividade 7: Desenhando a Órbita de uma Sonda Espacial

Na tabela a seguir, temos dados que permitem construir a trajetória de uma sonda espacial em órbita de um planeta de nosso Sistema Solar. São 46 pares de pontos com valores em milímetros. Nesta escala, cada milímetro equivale a 1 000 km, de modo que o primeiro par de coordenadas corresponderia, na escala real, a: $x = 0$ e $y = 63\,000$ km.

x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y
0	63	9	93	40	120	104	134	210	65	102	0	40	15	8	42
0	68	12	98	48	124	120	133	195	33	90	1	33	19	5	46
1	73	16	102	58	127	136	131	173	16	77	3	26	23	3	52
2	78	22	107	68	130	155	127	152	7	66	4	21	28	2	57
3	83	27	112	79	133	176	117	133	3	56	8	15	33		
5	89	33	116	91	133	198	99	117	1	48	11	12	37		

Sua missão é descobrir que planeta é esse. Trata-se de uma trajetória simulada na qual as marcas foram tomadas a cada três horas. O centro do planeta está na coordenada $x = 186$ mm, $y = 67$ mm. Para desenhar o planeta, deve-se traçar uma circunferência de 6 mm de raio em torno desse ponto.

Atividade 8: Interpretando a Órbita de uma Sonda Espacial

Após terminar o gráfico, responda às questões:

1. Sabendo que, no gráfico, 1 mm corresponde a 1000 km, determine a distância máxima que a sonda espacial atinge, em relação ao planeta, no percurso de sua órbita^a.

^a(Esse ponto é denominado apoastro – Quando o corpo está orbitando a Terra, o ponto mais distante é denominado apogeu. Essa terminação “geu” (geo) refere-se à Terra, como na palavra “geografia”).

³⁰ Atividade adaptada do material da SEE-SP/Física: Caderno do Aluno, 1ª Série do Ensino Médio – Volume 1.

2. Tente agora determinar o periastro, que é o ponto no qual a distância é mínima. Não há nenhuma marca nesse ponto, por isso você deverá tentar imaginar a trajetória da sonda entre uma marcação e outra.

3. Explique por que o espaçamento entre as marcas não é sempre igual ao longo da trajetória, apesar do intervalo de tempo decorrido entre as posições sucessivas ser sempre o mesmo.

4. A partir da resposta à questão anterior, explique como a velocidade da sonda varia ao longo da órbita em torno do planeta.

5. Usando o gráfico, determine qual é a distância máxima percorrida pela sonda entre as duas marcações seguidas.

6. Da mesma forma, determine a distância mínima entre as duas marcas.

B.06 Etapa 6 – Roteiro 06

Sequência Didática: Movimentos do Sistema Solar

Atividade 9: As leis de Kepler

- Para iniciar esta atividade você deve realizar a leitura atenta dos textos *Tycho Brahe* e *Johannes Kepler* e discutir sua interpretação com seu par;
- Ainda com sua dupla, tente identificar características apresentadas nos textos dentro da simulação das 3 leis de Kepler³¹;
- Antes de dar continuidade à atividade, assista ao vídeo *Kepler*³², da série denominada do ABC da Astronomia;
- Para finalizar a aula, realize uma produção textual sobre o tema: Leis de Kepler.

³¹ <http://astro.unl.edu/naap/pos/animations/kepler.html>

³² <http://tvescola.mec.gov.br/tve/video/abc-da-astronomia-kepler>

B.07 Etapa 7 – Roteiro 07

Sequência Didática: Movimentos do Sistema Solar

Atividade 10: A lei da gravitação universal

- Assista ao vídeo *Astros da Física: relação histórica entre força e movimento* do canal do INPE (Instituto de Pesquisas Espaciais)³³;
- Em seguida, reflita sobre a questão: *Se um objeto cai ao chão, por que a Lua também não cai?* E leia atentamente os textos *Isaac Newton e Força Gravitacional* e discuta sua interpretação com seu par;
- Ainda com sua dupla, tente identificar características apresentadas nos textos dentro da simulação *Meu Sistema Solar*³⁴, para isso varie a massa dos corpos do sistema observando sua nova dinâmica; varie também a velocidade inicial dos corpos e observe a dinâmica apresentada pelo sistema, repita quantas vezes for necessário;
- Para finalizar as atividades realize uma produção textual sobre a Gravitação Universal.

³³ <https://www.youtube.com/watch?v=VN2uhSivM7A>

³⁴ https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/my-solar-system

Apêndice C

Roteiro teatral

Galileo Galilei

A seguir apresentamos um roteiro com adequações didáticas de...“**GALILEU**”: Roteiro para teatro adaptado por Paulo Noronha Lisboa Filho e Francisco Carlos Lavarda a partir da tradução para o português por Roberto Schwarz da peça “A Vida de Galileu” (*Leben des Galilei*) escrita em 1938-1939 por Bertolt Brecht e publicada no volume 06 (pp. 51-170) da obra “Teatro Completo de Bertolt Brecht”, Ed. Paz e Terra, 1991, Rio de Janeiro.

GALILEO GALILEI

Roteiro com adequações didáticas de...

“GALILEU”: Roteiro para teatro adaptado por Paulo Noronha Lisboa Filho e Francisco Carlos Lavarda a partir da tradução para o português por Roberto Schwarz da peça “A Vida de Galileu” (*Leben des Galilei*) escrita em 1938-1939 por Bertolt Brecht e publicada no volume 06 (pp. 51-170) da obra “Teatro Completo de Bertolt Brecht”, Ed. Paz e Terra, 1991, Rio de Janeiro.

Cena 1

(Adequação da Cena 1 de “GALILEU”)

Quarto de estudo de Galileu, em Pádua; o misto de criado, aluno e amigo Andrea está presente.

----- Subcena 1: esfera armilar (modificada)

A – O que é isso? (pergunta fazendo referência a uma imagem ou até mesmo a *esfera*)

G – É uma esfera armilar; mostra como as estrelas se movem à volta da Terra, segundo a opinião dos antigos.

A – No meio tem uma esfera pequena.

G – É a Terra.

A – Por fora tem cascas, umas por cima das outras.

G – Quantas?

A – Oito.

G – São as esferas de cristal.

A – Tem bolinhas pregadas nas cascas.

G – As estrelas.

A – Tem bandeirinhas, com palavras pintadas.

G – Que palavras?

A – Nomes de estrelas. A bola embaixo é a Lua, é o que está escrito. Mais em cima é o Sol.

G – Há dois mil anos a humanidade acredita que o Sol e as estrelas do céu giram em torno dela. Mas agora nós vamos sair, Andrea, para uma grande viagem. Porque o tempo antigo acabou e começou um tempo novo. Tudo se move, meu amigo. Logo a humanidade terá uma ideia clara de sua casa, do corpo celeste que ela habita.

----- Subcena 2: movimento relativo (modificada)

G – Você acabou entendendo o que eu lhe expliquei?

A – Aquela história da rotação? Não, é muito difícil.

G – Mas eu quero que você também entenda. É para que se entendam essas coisas que eu trabalho e compro livros caros em lugar de pagar o leiteiro.

A – Mas eu vejo que o Sol de tarde não está onde estava de manhã. Quer dizer que ele não pode estar parado! Nunca e jamais!

G – Bem, isto é o Sol. Sente-se aí. (Andrea se senta na única cadeira; Galileu está de pé, atrás dele.) Onde está o Sol, à direita ou à esquerda?

A – À esquerda.

G – Como fazer para ele passar para a direita?

A – O Senhor carrega a bacia para a direita, claro.

G – E não tem outro jeito? (Levanta Andrea e a cadeira do chão, faz meia-volta com ele). Agora, onde é que o Sol está?

A – À direita.

G – E ele se moveu?

A – Ele, não. Eu.

G – (berrando) Errado! A cadeira!

A – Mas eu com ela!

G – Claro. A cadeira é a Terra. Você está em cima dela. Esta aqui é a Terra; seus pés estão sobre ela³⁵...

G - Então agora vamos pensar deste jeito. Veja que pela manhã os seus pés continuam sobre a Terra e ao amanhecer o Sol está no horizonte. Ao meio-dia seus pés continuam sobre a Terra e o Sol está sobre sua cabeça, lembra-se? Ao final da tarde seus pés continuam sobre a Terra e o Sol está do outro lado no horizonte. E à noite ele desapareceu completamente. Viu como ao passar o dia, o Sol parece estar sempre em posições diferentes em relação a você?³⁶

A – Mas como é que à noite eu não fico pendurado de cabeça para baixo?

G – Por quê? Olhe com atenção. A cabeça, onde está?

A – (mostrando) Aqui, embaixo.

G – O quê? A cabeça não está no mesmo lugar? Os pés não estão mais no chão? Quando eu viro, você acaso fica assim? (Tira e inverte a lasca.)

A – Não. E por que é que eu não percebo que virou?

G – Porque você vai junto. Você e tudo o que está ao seu redor sobre a esfera.

A – E por que parece que é o Sol que sai do lugar?

³⁵ Galileu pega uma maçã, a seguir uma lasca ou algo em forma de palito e uma uva (==acho que estas frutas não dão ao mesmo tempo). A maçã é a terra, o palito e a uva são o corpo e cabeça de Andrea. Existe uma lanterna ou vela pendurada acima da mesa. Galileu pega a maçã, crava o palito em cima dela e nele crava a uva. O palito está na vertical e a uva fica imediatamente abaixo da vela.

³⁶ Após a posição inicial já explicada, a maçã é girada de 90 graus para simular o amanhecer, mais 90 graus para simular o meio-dia, mais 90 graus para simular o entardecer e mais 90 graus para simular a noite e fica parada nesta posição.

G – (gira novamente a maçã com o graveto) Debaixo de você, você vê a Terra, sempre igual, que fica embaixo e para você não se move. Mas agora, olhe para cima. Faça de conta que aquela lamparina é o Sol. Agora é o Sol que está em cima da sua cabeça. Mas agora, se eu giro, o que é que está sobre a sua cabeça e portanto no alto?

A – (acompanha o giro) A mesa.

G – E a lamparina onde está?

A – Embaixo dos meus pés, do outro lado da Terra.

G – Taí: tudo pode se passar como se o Sol tivesse se movido. Na realidade, foi a Terra que se movimentou e você foi junto com ela.

----- Subcena 3: Marsili e o telescópio (modificada)

A – Mudando de assunto, esteve ontem aí um moço chamado Ludovico Marsili, procurando por aulas particulares. Chegou da Holanda e trouxe uma carta de recomendação. Diz que ouviu falar muito do Senhor por lá.

G – Ele está disposto a pagar os quinze escudos por mês?

A – Sim. Diz que seu interesse maior é por cavalos, mas sua mãe insiste em que ele se oriente um pouco nas ciências. Comprou em Amsterdã um tubo estranho que estão fabricando somente há algumas semanas e que ele gostaria de entender estudando com o Senhor.

A – É um canudo de couro verde e duas lentes com formatos opostos. Ele diz que uma aumenta e a outra diminui e que isto é muito estranho, pois as duas coisas deveriam se compensar. Mas o que acontece é que o tubo aumenta cinco vezes, efeito que o deixou estupefato.

G – O que é que o tubo aumenta cinco vezes?

A – Tudo que estiver longe: torres de igrejas, pombas...

G – E o tubo tinha duas lentes? (Galileu faz um esboço no papel.) Era assim? (Andrea faz um gesto que sim. Galileu começa a falar enquanto rabisca num papel.) Tome aqui meio escudo e mande o Marco ao oculista para comprar duas lentes. As medidas estão aqui.

----- Subcena 4: Aumento de salário (modificada)

G – Andrea, ouça aqui, não fale aos outros de nossas ideias.

----- Subcena 5: Hipóteses (modificada)

A – Por quê?

G – Porque as autoridades proibiram. Nós físicos, ainda não conseguimos provar o que julgamos certo. Mesmo a doutrina do grande Copérnico ainda não está provada. Ela é apenas uma hipótese.

A – O que é uma hipótese?

G – É quando uma coisa nos parece provável, sem que tenhamos os fatos. Imagine uma maçã colocada em um balde com água. É uma hipótese que ela flutuará e não afundará; é uma hipótese enquanto eu não fizer isto e observar o resultado.

G – Diante das estrelas, nós somos como vermes de olhos turvos, que veem muito pouco. As velhas doutrinas, aceitas durante mil anos, estão condenadas; há mais madeira na escora do que no prédio enorme que ela sustenta. Muitas leis que explicam pouco, enquanto a hipótese nova tem poucas leis que explicam muito.

A – Mas como as novas ideias são somente hipóteses?! O Senhor provou tudo para mim!

G – Não. Eu só mostrei que seria possível. Mas ainda há muito trabalho a ser feito.

A – Eu também quero ser físico Senhor Galileu.

G – Acredito, considerando a infinidade de questões que resta esclarecer em nosso campo. (Vai até o canto do palco buscar as lentes que Marco supostamente trouxe e vai até uma janela, e olha através das lentes.) Andrea, dê uma olhada.

A – Virgem Maria, chegou tudo perto. O sino do campanário, pertinho. Dá até para ver as letras de cobre: “Gratia Dei”.

CENA 2

(Adequação da Cena 2 de “Galileu”)

Galileu e Andrea se encontram durante a noite. Galileu faz observações quando Andrea entra em cena.

----- Subcena 1: As descobertas (ajustada)

G – Eu estou apontando o tubo para a Lua...

A – O que é que o Senhor vê?

G – Ela não tem luz própria.

A – O quê?

G – É o que lhe digo.... A Astronomia parou mil anos porque não havia um tubo assim, um telescópio. Você sabe do que é feita a Via Láctea?

A – Não!

G – Eu sei! Eu até me pergunto se esse troço não serve para provar uma certa doutrina.

A – Deixe-me ver Senhor! (Andrea pega o tubo das mãos de Galileu e contempla os céus).

A – ... Na parte escura, perto da faixa luminosa, há pontos de luz. Vão aparecendo, um após o outro...

G – E como se explicam estes pontos luminosos?

A – Não pode ser...

G – Pode! São montanhas!

A – Numa estrela?

G – Montanhas enormes. Os cumes são dourados pelo sol nascente, enquanto a noite cobre os abismos em volta...

A – Mas isso contradiz a Astronomia inteira de dois mil anos!

G – É, o que você está vendo nenhum outro homem viu, além de mim... você é o segundo!

A – Mas a Lua não pode ser uma Terra com montanhas e vales, assim como a Terra não pode ser uma estrela.

G – A Lua pode ser uma Terra com montanhas e vales e a Terra pode ser uma estrela. Um corpo celeste qualquer, um entre milhares. Olhe outra vez... A parte escura da Lua é inteiramente escura?

A – Não, olhando bem, vejo uma luz fraca, cinzenta.

G – Essa luz é o quê?

A – Não sei...

G – É a da Terra ...

A – Não! Isso é um absurdo. Como pode a Terra emitir luz, com suas montanhas, suas águas e suas matas? A Terra não é um corpo frio?

G – Do mesmo modo que a Lua. Porque as duas são iluminadas pelo Sol e é por isso que brilham. O que a Lua é para nós, nós somos para a Lua!

A – Portanto não há diferenças entre a Terra e a Lua?

G – Pelo visto não!

A – Por favor, Senhor... Não faz dez anos que, em Roma, um homem subia à fogueira... Chamava-se Giordano Bruno e afirmava exatamente isso...

G – Claro que sei disso tudo... mas agora, Hoje, dez de janeiro de 1610 estamos vendo! Não pare de olhar meu caro... O que você vê é que não há diferença entre o céu e a terra...

A – É terrível! (sai correndo de cena)

G – (gritando) E ainda descobri outra coisa, quem sabe se mais espantosa...

A – (voltando hesitante) O que eu sinto é quase um medo...

G – Vou lhe mostrar uma das nebulosas brancas e brilhantes da Via Láctea... Me diga do que ela é feita?

A – São estrelas... incontáveis!

G – Só na constelação de Órion são quinhentas estrelas fixas. São os muitos mundos, os incontáveis outros mundos, as estrelas distantes de que falava o queimado-vivo...

A – Quem?

G – (bravo) Giordano Bruno!.. Ele não chegou a vê-las, as estrelas que esperava...

A – (fazendo um ar de sabichão) Mas, mesmo que esta Terra seja uma estrela, há muita distância até as afirmações de Copérnico, de que ela gira em volta do Sol. Não há estrela no céu que tenha outra girando à sua volta... Mas em torno da Terra sempre gira a Lua.

G – Eu duvido, Andrea... desde ontem eu duvido... Olhe Júpiter! Junto dele estão quatro estrelas menores, que só se veem pelo telescópio. Eu as vi na segunda feira, mas não fiz muito caso de sua posição... Ontem, olhei de novo e juro que as quatro mudaram de lugar... até tomei nota. Hoje estão diferentes outra vez... Olhe você...

A – Só vejo três...

G – A quarta onde está? ... A quarta estrela só pode ter ido para trás de Júpiter, onde não está a vista. Está aí uma estrela que tem outra girando a sua volta. Como pode Júpiter estar fixado, se há estrelas girando em sua volta?

G – (gritando) Não há suporte no céu e há outro ponto fixo no Universo! Júpiter é outro sol!

G – O que você está vendo nunca ninguém viu antes. (gritando) Eles tinham razão!

A – Quem? Os copernicanos?

G – (gritando ainda mais alto) E o outro!

A – Senhor, precisa se acalmar! Precisa parar de gritar!

G – Você quer parar de fazer cara de peixe morto, quando a verdade foi descoberta!

A – Eu não estou fazendo cara de peixe morto... estou tremendo de medo que seja mesmo verdade.

A – O Senhor não tem juízo mesmo... Não percebe a situação, não pode sair por aí gritando que a Terra é uma estrela e que não é o centro do Universo...

----- Subcena 2: Deus e a Igreja (ajustada)

A – E Deus, onde é que fica Deus... eu lhe pergunto: onde está Deus no seu sistema de mundo?

G – Em nós, ou em lugar algum...

A – A mesma fala do queimado-vivo?

G – A mesma fala! Foi queimado porque não tinha como provar o que afirmava Andrea!

----- Subcena 3: Florença (ajustada)

G – Meu caro... eu preciso de tempo e de sossego. Tempo para elaborar minhas provas... tempo para mostrar que os corpos celestes giram em torno do Sol... Talvez eu deva aceitar o convite da corte e me mudar para Florença...

A – (assustado) Florença... não vá para Florença!

G – Por que não?

A – Porque os padres mandam lá.

G – Pois eu vou pegá-los pela cabeça e botar o olho deles no telescópio. Os padres são gente e eles sucumbirão à sedução das provas. Copérnico queria que acreditassem no cálculo dele e eu quero que apenas acreditem nos próprios olhos.

CENA 3

(Adequação da Cena 3 de “Galileu”)

Sala de estudos da casa de Galileu em Florença. Andrea põe-se a arrumar papéis e objetos sobre a mesa de trabalho.

A – Que Deus e o Papa tenham misericórdia de mim... Nunca mais olharei por aquele instrumento demoníaco...aquilo me levará ao inferno! Tudo o que se vê no telescópio é magia... enganação do demônio para nos levar ao inferno...

Entra Galileu com aspecto triunfante.

G – O que fazes aí Andrea a remexer nas minhas coisas!

A – Meu Mestre! Tenho lido sua correspondência e vejo que o Senhor está em apuros... muitos contestam suas descobertas. Como pretende responder a esta carta? (mostrando o documento que estava lendo)

G – Andrea, eu já lhe mostrei os cálculos. Nós astrônomos há muito temos tido dificuldades com os cálculos das órbitas dos planetas e das estrelas. Justamente porque nós nos baseávamos em um sistema muito antigo, que está de acordo

com a filosofia, mas que infelizmente parece não estar de acordo com os fatos. Segundo este velho sistema, o de Ptolomeu, o movimento das estrelas é muito complicado, não somos capazes de calcular com precisão a posição futura das estrelas. Não as encontramos no lugar onde elas deveriam estar.

G – Além do mais, há movimentos no céu para os quais o sistema ptolomaico não tem explicação alguma!... Eu pude observar isso! (telão mostra os satélites de Júpiter em movimento)... Aquelas estrelas pequenas que eu descobri em movimento à volta de Júpiter se movimentam de maneira que não está de acordo com Ptolomeu.

A - Será que elas existem mesmo meu Mestre?! Os matemáticos querem as razões que o movem quando supõe que na esfera mais alta do céu imutável as estrelas possam mover-se e flutuar livremente... (*mostrando uma das cartas a Galileu*).

G – Que razões se os meus olhos e as minhas anotações mostram o fenômeno?... Andrea ... as esferas de cristal não existem.

A – (*quase chorando senta-se à mesa*) Meu Mestre... Mas qualquer manual ensina isso, e estão baseados autoridade de Aristóteles...

G – Neste caso, é preciso escrever novos manuais de Astronomia!... A fé na autoridade de Aristóteles é uma coisa, e os fatos, que são tangíveis, são outra.

A – Mas o Mestre precisa convencer o Duque e os matemáticos da corte. Como pretende fazer isso?

G – Convidando o próprio Duque Cosmo e toda a corte a observar os satélites de Júpiter,...

A – Mas eles não vão olhar pelo instrumento... a corte duvida da exatidão... da verdade mostrada pelo telescópio...

G – (irritado levanta-se da cadeira e grita)... Basta que olhem pelo instrumento!

A – Mas Senhor! Agora com a peste é que não vão olhar mesmo!... A peste Senhor Galileu!... Dizem ser um castigo pelas nossas observações e contestações sobre a ordem celeste... o próprio Duque vai abandonar a cidade... as pessoas estão correndo da peste ou morrendo de medo... nós também temos que sair de Florença...

G – Então eu vou a Roma! Tenho novas provas!

A – (com o rosto desesperado)... Ai ... agora piorou!

G – Você se lembra que uma noite eu te mostrei o planeta Vênus? Você sabe o que eu descobri? Ele é como a Lua! Como uma esfera e uma luz... isso prova que Vênus não tem luz própria. Ele descreve um círculo simples em volta do Sol... não é extraordinário?

A – Agora eles serão obrigados a acreditar no Senhor?

G – Agora eu reuni todas as provas. Sabe, quando acabar essa confusão de peste aqui em Florença, vou para Roma e daí eles vão ver!... (saindo de cena).

Cena 4

(adequação da Cena 4 e 5 de “Galileu”)

Um pequeno quarto em Roma. Andrea espera pela volta de Galileu dos embates no Collegium Romanum. Galileu entra cabisbaixo e exausto.

A – (*muito nervoso...*) E então meu Senhor... Como foi? ... Quem estava lá?

G – (*tranquilo*)... Estavam lá o Padre Cristóvão Clávio, astrônomo da Igreja, e Suas Eminências os Cardeais Bellarmino e Barberini.

A – (*ansioso*) E então? O Senhor Clávio olhou pelo telescópio?... O que ele disse?

G – (*com ar de satisfação e glorioso*)... Deu total razão aos meus argumentos, entendeu meus cálculos e fez observações com o instrumento...

A – *(muito mais ansioso)*... E então ganhaste?... Suas teorias são por fim vitoriosas?... hahahaha... *(pulando)*

G – ... Não Andrea... agora é a vez dos teólogos...eles vão dar um jeito de recompor o céu... O Santo Ofício decidiu que a Doutrina de Copérnico, é tola, absurda e herética na fé... E os Cardeais querem que eu declare formalmente que concordo com essa declaração...

A – *(surpreso e confuso)*... Mas e os fatos? O Senhor não disse que o astrônomo do Collegium Romanum aceitou suas observações? Os satélites de Júpiter?... As fases de Vênus?...

G – A Santa Congregação decidiu sem levar em conta esses detalhes... Sabe o que eles me disseram? "A pesquisa científica deve estar em conformidade com o pensamento da Igreja!" Mas eu, eu acredito na razão!

A – Sim claro Senhor Galileu... Mas não achas que a razão tem um alcance um pouco limitado?...

G – *(perdendo a paciência)* Andrea, eu acredito na razão!

A – *(quase suplicando)* Senhor Galileu! Pense um pouco! Nós atribuímos a um Ser Supremo a responsabilidade pelo sentido dos fatos que não conseguimos compreender e que constituem nossas vidas... Agora vem o Senhor e diz à Igreja que o Ser Supremo entende mal o movimento dos céus e que só o Senhor entende bem... Isso é prudente?

G – Mas Andrea, se o homem decifra mal o movimento das estrelas, pode também errar quando decifra a Bíblia... Onde no Texto Sagrado está dito sobre a maneira com que os astros se movimentam?

A – Misericórdia! Entramos agora por um mau caminho... Decifrar a Bíblia não é da competência dos teólogos da Santa Igreja?... Senhor Galileu... Por favor, contenha-se... *(Galileu sai de cena.)*

A – *(voltando-se para a plateia)* Será Necessário que o homem compreenda tudo? A Terra, a pátria do gênero humano, não passa agora de uma estrela errante! O homem, os bichos, as plantas, o reino mineral... Foi tudo colocado na mesma carroça... Não existe mais a terra e os céus... Ainda virá o dia em que eles dirão: nem homem nem animais existem, o próprio homem é um animal... Só existem animais...! *(Andrea põe-se a pensar)*

(Galileu volta a cena...)

A – Senhor Galileu!... Ainda tenho dificuldades em conciliar os decretos do Santo Ofício com os satélites de Júpiter...

G – Então vai me dizer que não há satélites em Júpiter.

A – Não meu Senhor. Não consegui perceber a sabedoria dos decretos do Santo Ofício, mas percebi que os decretos mostram que a pesquisa desenfreada é perigosa para a Humanidade.

G – Diga de uma vez: instrumentos de tortura!

A – Entendo Senhor Galileu, mas quero que reflita sobre outras razões. Assim como os meus pais, a maioria das pessoas é simples, pessoas que sabem tudo sobre as oliveiras e as parreiras, mas pouco além disso. Há regularidade em tudo nas vidas deles, até nos desastres. E para continuar vivendo assim é preciso ter força... E de onde eles tiram esta força, senão da certeza de saber que tudo está na mais perfeita ordem? Eles foram ensinados assim: que o olho de Deus está posto neles, atento, quase ansioso, de que o espetáculo do mundo foi construído em torno deles, para que eles pudessem desempenhar seus papéis grandes ou pequenos.

(pausa...)

A – O que diriam os meus pais se eles ouvissem de mim que eles moram em um pequeno pedaço de rocha que gira ininterruptamente no espaço vazio, à volta de outra estrela sem maior expressão? Para que tanta paciência e resignação diante da miséria? Qual é o cabimento da Sagrada Escritura e da Santa Igreja que explicou tudo e disse que tudo é necessário?...

Não há então sentido em nossa miséria!... Fome não é prova de fortaleza, é apenas não ter comido... Esforço não é mérito... O Senhor compreende agora a

verdadeira misericórdia maternal, a grande bondade da alma que vejo nos decretos da Santa Congregação?

G – Bondade da alma, Andrea! *(gritando)* Você está misturando as maravilhas do Criador com os interesses da Igreja! Pense e reflita mais um pouco... Por que existe a necessidade de se matar no trabalho? ...Por que a Igreja põe a Terra no centro do Universo?... Para que o trono de Pedro possa ficar no centro da Terra e de tudo... É isso que importa!

A – *(aumentando o tom da voz, mas não gritando)* São os motivos mais altos que nos mandam calar Senhor Galileu!... A paz de espírito dos miseráveis!

G – *(ainda gritando)* A razão, a liberdade, as verdadeiras maravilhas do Universo do Criador que estão em jogo... Quer que eu minta à sua gente?... Eu poderia fazê-lo!... Vida fácil, nada de perseguições... Não! Não posso!... E você também não! Você já viu que Vênus tem fases, conhece a soma dos ângulos dos triângulos... Você é um cientista! *(Galileu entrega a Andrea um maço de folhas e anotações)*

A – Senhor, isto tudo me deixa ainda muito confuso. Por um lado, eu entendo as razões da Igreja. Mas é certo que não dá para negar as observações que fizemos.

A – Eles querem que o Senhor leia isto.

G – Eu, Galileu Galilei, professor de matemática e física da Universidade de Florença, renuncio solenemente o que ensinei: que o Sol seja o centro do mundo, imóvel em seu lugar, e que a Terra não seja o centro do Universo nem imóvel. De coração sincero e fé não fingida, eu renego, detesto e maldigo todos estes enganos e essas heresias, assim como quaisquer outros enganos e pensamentos contrários à Santa Igreja.

Narrador: “Mesmo sendo reconhecido como um dos maiores cientistas vivos da Europa, Galileu viveu oito anos de silêncio e reclusão. Mas a eleição em 1623 de um novo Papa, Urbano VIII, também cientista e matemático, faz Galileu retomar suas esperanças e voltar às pesquisas. Após um período de nove anos

de novos estudos, Galileu publica o livro "Diálogo sobre os dois máximos sistemas de mundo". No mesmo ano, Galileu é intimado a comparecer diante do Tribunal do Santo Ofício. No ano seguinte, Galileu é condenado pela Inquisição".

Cena 5

(Adequação da Cena 6 de "Galileu")

(Galileu está sentado e Andrea, agora mais velho, entra em cena)

A – Como vai o Senhor? Fabrizio de Amsterdam quer saber como o Senhor tem passado.

G – Estou passando bem. Dão-me muita atenção.

A – Direi a ele, com prazer, que o Senhor está bem. Soubemos que Igreja está satisfeita com o Senhor. A submissão total surtiu efeito, as autoridades estão felicíssimas, pois não apareceu obra alguma na Itália que afirmasse coisa nova, desde que o Senhor se submeteu.

G – Mas existem países que não estão sob a influência da Igreja, como a Holanda, que é um país protestante. Acho que nestes países se aprimoram as doutrinas condenadas.

A – Fedezoni trabalha escondido polindo lentes em Milão. Fulgenzio, o nosso amigo monge, abandonou a pesquisa e voltou para o seio da Igreja. Eu, para trabalhar em ciência resolvi mudar para a Holanda.

G – Quanto a minha recuperação espiritual, os meus superiores acham que é para breve. O meu progresso é maior do que previam.

A – Senhor Galileu. Eu vou viajar durante a noite para atravessar a fronteira amanhã cedo. O Senhor me dá licença... *(virando as costas e saindo...)*

G – *(falando alto e levando as mãos aos céus)*... Andrea! Não sei por que você veio... Para me agitar?... Eu vivo com prudência, e penso com prudência, desde que estou aqui preso na minha própria casa. Por favor, deixe-me lhe falar uma última coisa.

G – *(falando baixo)* Tenho minhas recaídas... Voltei a escrever!

A – É?!

G – Eu terminei os *Discorsi*.

A – Os diálogos sobre duas ciências novas: a Mecânica e a Queda dos Corpos? *(sorrindo)*... Aqui? Os *Discorsi* nas mãos dos padres! E Amsterdam, Londres e Praga dariam tudo por eles...

G – Eu imagino as lamentações de nosso amigo Fabrizio, sacudindo a cabeça, mas em segurança lá em Amsterdam. Certamente será animador saber que pus em jogo os últimos e míseros restos de conforto e fiz uma cópia usando os restos de luz das noites claras de seis meses.

A – O Senhor tem uma cópia?

G – A minha vaidade me impediu, até agora de destruí-la.

A – Onde ela está?

G – *(entrega a cópia a Andrea)*... Se você estiver pensando em levá-la a Holanda, a responsabilidade é toda tua... Neste caso, você teria comprado de alguém que tem acesso ao original no Santo Ofício.

A – *(gritando de alegria)*... Os *Discorsi*!... Isso vai fundar uma nova física.

G – Ponha debaixo do casaco.

A – E nós achávamos que o Senhor havia desertado! A minha voz é a que gritava mais alto contra o Senhor! Isso muda tudo... Tudo!

G – É?

A – O Senhor escondeu a verdade diante do inimigo. Também no campo da ética o Senhor estava séculos adiante de nós.

G – Como assim, Andrea.

A – Nós dizíamos: ele vai morrer, mas não renega jamais. O Senhor disse: eu reneguei, mas vou viver. Nós dizíamos: as mãos dele estão sujas. O Senhor diz: melhor sujas do que vazias.

G – Melhor sujas do que vazias... A frase é realista.

A – Eu, mais do que os outros deveria ter compreendido! O Senhor achou preferível renegar um aspecto popular de suas doutrinas. Eu deveria compreender que o Senhor fugia meramente a uma briga política sem chances, mas fugia para avançar o trabalho verdadeiro da ciência... O Senhor conquistou o sossego necessário para escrever uma obra de ciência, que ninguém mais poderia escrever. Se o Senhor acabasse em chamas na fogueira, os outros o teriam vencido!

G – Eles venceram. E não existe obra de ciência que somente um homem pode escrever.

A – Então porque o Senhor renegou?

G – Eu reneguei por medo da dor física.

A – Não!

G – Eles me mostraram os instrumentos de tortura.

A – Não foi um plano?

G – Não!

A – *(em voz alta)* A ciência só conhece um mandamento: a contribuição científica!

G – E essa eu dei!

A – O medo da morte é humano. Fraquezas humanas não têm nada a ver com a ciência.

G – Não, meu caro Andrea. Ciência e humanidade estão diretamente ligadas. Em minhas horas de folga pensei sobre o juízo que o mundo da ciência, sua prática me parece exigir notável coragem, pois a Ciência se constrói através do duvidar das coisas já estabelecidas, que podem muitas vezes serem interessantes aos poderosos. O nosso telescópio encantou o grande público e mostrou um novo mundo a eles. Isso perturbou os donos do poder, que nos cobriram de ameaças...

(pausa)

G – Seremos ainda cientistas se nos desligarmos da multidão?... Os movimentos dos corpos celestes se tornaram mais claros, mas os movimentos dos poderosos continuam imprevisíveis para os seus povos... A Ciência, Andrea, está ligada a estas duas lutas... Enquanto tropeça dentro da névoa luminosa das superstições e afirmações antigas, a humanidade não será capaz de desenvolver as forças da natureza que se descobrem...

(voltando-se para a plateia)

G – Vocês trabalham para quê? ... Eu sustento que a única finalidade da Ciência está em aliviar a canseira da existência humana. E se os cientistas, intimidados pela prepotência dos poderosos acham que por amor ao saber basta amontoar a ciência, ao fim, ela pode ser transformada em aleijão, e suas novas máquinas serão novas aflições, nada mais. Com o tempo é possível que vocês descubram tudo o que haja por descobrir, e ainda assim o seu avanço estará longe da humanidade. Como cientista, eu traí minha profissão! Entreguei meu saber na mão dos poderosos. Um homem que faz o que eu fiz não pode ser admitido nas fileiras da Ciência.

A – Diante do juízo que o Senhor faz, não sei o que responder, mas não consigo imaginar que a sua análise vá ser a última palavra... *(saindo de cena)*

Narrador: “Em 1637, pelas mãos de Andrea Sarti, os “Os diálogos sobre duas ciências novas” atravessam a fronteira italiana e chegam a salvo na Holanda, onde seriam publicados. Cinco anos depois, Galileu morre, ainda em prisão domiciliar, em sua propriedade nos arredores de Florença”.

Anexo A

Textos sugeridos aos alunos

Neste anexo apresentamos os textos sugeridos para leitura e análise nas atividades de nossa sequência didática. No momento da aplicação da SD, os textos estavam disponíveis *on-line*. Eles fizeram parte do material que a Divisão de assuntos Educacionais (DAED) do Observatório Nacional, pertencente ao Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) disponibilizou para um curso livre, denominado *Astrofísica Geral*, no ano de 2013.

Posteriormente à implementação foi verificado que os textos não se encontravam mais disponíveis para acesso remoto. Portanto, as versões aqui apresentadas foram adaptadas das versões salvas, em formato *pdf*, pelo professor autor deste trabalho para serem trabalhadas *off-line* com os alunos, em eventuais momentos que a rede de internet da escola viesse a ficar fora de operação.

A.01 *Claudius Ptolomeus*³⁷

Não se sabe muito bem as datas de nascimento e morte de Ptolomeu. Pode ser que ele tenha vivido no período entre ~85 e 165, ou de ~100 a 170 depois de Cristo. Tem-se uma ideia da época em que ele viveu a partir das observações que ele diz ter realizado no período entre 127 e 141 depois de Cristo. A impressionante imagem de Ptolomeu é uma escultura em madeira que está na catedral de Ulm, na Alemanha.

Ptolomeu viveu e trabalhou em Alexandria, no Egito, tendo sido matemático, geógrafo, e astrônomo, vários trabalhos importantes foram desenvolvidos por Ptolomeu. Um deles foi o texto "Geografia" que permaneceu como o principal trabalho neste campo até a época de Colombo.



Ptolomeu realizou várias experiências em óptica e notou que a luz estelar é refratada na atmosfera da Terra.

O mais importante trabalho astronômico de Ptolomeu é conhecido como "Almagesto". Este grande compêndio de Astronomia é uma valiosa história das observações e ideias dos antigos astrônomos. O "Almagesto" é um conjunto de 13 livros cuja tradução moderna chega a 500 páginas.

O título original da obra de Ptolomeu era "Mathematike syntaxeos biblia iv" (Compêndio matemático em 13 volumes). Os árabes traduziram este texto e a palavra "Almagesto" é uma corrupção árabe de "Megiste syntaxeos" (O maior compêndio) como também era conhecida a obra de Ptolomeu. O "Al" é a palavra árabe que corresponde a "O".

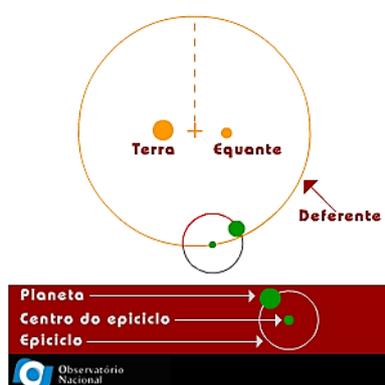
Ptolomeu desenvolveu o mais sofisticado modelo matemático até então conhecido para descrever os movimentos dos planetas no Sistema Solar, seu trabalho estava baseado no modelo geocêntrico (a Terra no centro) e no princípio do movimento circular perfeito.

³⁷ Adaptado de: www.on.br/ead_2013/site/conteudo/cap7-historia/astrologia-antiga/gregos/escola-alexandria/ptolomeus.html

O modelo desenvolvido por Ptolomeu era muito complexo uma vez que ele pretendia descrever detalhes dos movimentos planetários. Isto exigiu que ele usasse ciclos (**epiciclos**) em órbitas circulares fora do centro (**excêntricas**).

Segundo Ptolomeu a Terra era esférica, estacionária e muito pequena em relação à esfera celeste. Para ele as estrelas eram pontos fixos de luz dentro da esfera celeste.

A noite e o dia resultavam da rotação do sistema celeste inteiro em torno da Terra, que permanecia fixa e sem rotação. Na descrição proposta por Ptolomeu os planetas se deslocavam sobre pequenas trajetórias circulares, chamadas **epiciclos**. Os centros destes epiciclos se moviam em torno da Terra em outras trajetórias circulares que eram chamadas de **deferentes**.



O primeiro ponto importante a notar nesta figura é que a Terra não é o centro do deferente. Para justificar a variação da velocidade dos planetas durante o seu movimento "para a frente" Ptolomeu tirou a Terra do centro do círculo orbital criando, deste modo, um círculo excêntrico. Como consequência disto o planeta pareceria se deslocar mais rapidamente quando estava mais próximo da Terra.

O centro do epiciclo se desloca no sentido contrário aos ponteiros de um relógio sobre o deferente. O planeta também se move no sentido anti-horário sobre o seu epiciclo.

O epiciclo e a excêntrica não eram completamente adequados para reproduzir corretamente a variação no tamanho dos movimentos retrógrados. Por esta razão Ptolomeu introduziu o equante. O equante é um lugar geométrico de movimento angular uniforme que está dentro do deferente e se situa a uma distância igual e oposta à posição da Terra. A velocidade do epiciclo é uniforme em relação ao equante. Isto faz com que o epiciclo, observado da Terra, pareça se mover mais rapidamente no perigeu, quando ele está mais próximo da Terra e

mais afastado do equante. Podemos dizer que a introdução do equante para descrever os movimentos planetários foi uma das maiores descobertas de Ptolomeu.

A combinação dos movimentos planetários ao longo dos epiciclos e deferentes produz o passeio observado dos planetas entre as estrelas, incluindo o movimento retrógrado.

O sistema proposto por Ptolomeu para descrever os movimentos planetários funcionava muito bem para os planetas superiores conhecidos na época, ou seja, Marte, Júpiter e Saturno, e também para Vênus. No entanto, ele não conseguia se adequar às observações de Mercúrio o que fez com que Ptolomeu apresentasse um modelo bastante complicado para explicar a órbita deste planeta.

A tabela abaixo mostra como Ptolomeu via a ordenação dos planetas e o Sol no Sistema Solar.

Segundo Platão	Segundo Ptolomeu	Ordenação atual
Lua	Terra	Sol
Sol	Lua	Mercúrio
Vênus	Mercúrio	Vênus
Mercúrio	Vênus	Terra
Marte	Sol	Marte
Júpiter	Marte	Júpiter
Saturno	Júpiter	Saturno
	Saturno	Urano
		Netuno

Ptolomeu foi uma fraude científica? O pesquisador R. R. Newton é um feroz crítico do "Almagesto" de Ptolomeu. Ele escreveu vários artigos de pesquisa e um livro chamado "The Crime of Claudius Ptolemy" (O crime de Claudius Ptolomeus) nos quais afirma que todas as observações que Ptolomeu diz ter realizado no Almagesto e muitas atribuídas por ele a outros astrônomos foram ou inventadas ou modificadas com o objetivo de reproduzir os resultados que Ptolomeu queria obter.

Os argumentos apresentados por R. R. Newton são muito fortes e ele aponta evidências difíceis de serem rebatidas. Não descreveremos estes argumentos aqui por serem bastante técnicos.

A.02 Nicolaus Copernicus³⁸

Copérnico nasceu no dia 19 de fevereiro de 1473 em Torun (Thorn), às margens do rio Vístula, na Polônia, e morreu no dia 24 de maio de 1543 em Frauenburg. Seu nome verdadeiro, polonês, era Nikolas Kopernig ou Niklos Koppernigk. O nome Nicolaus Copernicus é seu nome latino. Em português o nome usado é Nicolau Copérnico.

Ele estudou Matemática e Astronomia na Universidade de Cracóvia, na Polônia, mas abandonou a Universidade em 1494 sem ter obtido o grau acadêmico. Copérnico viajou para a Itália onde estudou leis canônicas, medicina, filosofia e leis.

Quando terminou sua educação formal e assumiu compromissos de trabalho como cônego residente na catedral de Fraunberg, no Báltico, em 1512, Copérnico era matemático, astrônomo, jurista e médico.



Na época de Copérnico, o modelo proposto por Ptolomeu já não era mais capaz de reproduzir as posições planetárias que haviam sido observadas. Para fugir dos problemas apresentados pelo modelo de Ptolomeu, Copérnico desenvolveu um modelo heliocêntrico do Sistema Solar. O modelo heliocêntrico de Copérnico mantinha a noção de movimento circular perfeito, mas, como o seu próprio nome diz, colocava o Sol no centro, além de estabelecer a ordem correta dos planetas a partir do Sol.

O modelo proposto por Copérnico, um grande tratado matemático, ficou pronto em 1530, mas só foi publicado em 1543, ano de sua morte, em um livro chamado *De Revolutionibus Orbium Coelestium* cujo nome quer dizer "Sobre as Revolução das Esferas Celestes".

Ao contrário do que é comumente repetido, Copérnico não provou que a Terra se move em círculo em torno do Sol. Ele postulou isto citando um suposto antigo axioma da Física que dizia que "nada infinito pode ser movido" e daí

³⁸ Adaptado de: www.on.br/ead_2013/site/conteudo/cap7-historia/astro-nomia-renascenca/copernico/copernico.html

concluiu que os céus deveriam estar em repouso. Ele também argumentou que a imobilidade era mais nobre e mais divina do que a instabilidade e, deste modo, ela deveria pertencer ao céu e não à Terra. Em momento algum Copérnico prova, em seu livro, que a Terra gira em torno do Sol.

Copérnico também faz uso de epiciclos para explicar o movimento dos planetas, exceto Mercúrio, para o qual ele, do mesmo modo que Ptolomeu, precisou desenvolver uma teoria mais complicada.

Muitos livros repetem que Copérnico é o começo de uma nova era na ciência. No entanto, se formos olhar para detalhes mais técnicos ao escrevermos uma história da ciência, Copérnico ocupará o lugar de último dos velhos astrônomos ao invés de primeiro dos novos astrônomos. Para historiadores como Hugh Thurston, o primeiro grande cientista da nova era científica foi Johannes Kepler.

A figura ao lado é uma imagem da página do manuscrito original de Copérnico onde ele desenhou o seu sistema heliocêntrico. O Sol está no centro circundado por Mercúrio (Merc), Vênus (Veneris), Terra (Telluris), Marte (Martis), Júpiter (Jovis), Saturno (Saturnus) e as estrelas fixas. Este manuscrito está na biblioteca da Universidade de Cracow, na Polônia.



Entre os pontos que Copérnico propôs em seu livro "De Revolutionibus Orbium Coelestium" estão: o Sol é o centro do Sistema Solar a Terra e os planetas descrevem órbitas circulares em torno do Sol o dia e a noite são o resultado da rotação da Terra em torno de seu eixo Mercúrio e Venus estão mais próximos ao Sol do que a Terra somente 3 movimentos da Terra são necessários rotação diária em torno de seu eixo revolução anual em torno do Sol oscilação ou libração da Terra em torno do seu eixo, explicando a precessão dos equinócios.

Embora Copérnico não fosse um observador ele tem o mérito de ter promovido o sistema heliocêntrico, isto é o sistema no qual o movimento da Terra e dos planetas é realizado em órbita em torno de um Sol fixo.

Copérnico reconheceu que, ao supor que os planetas estão em órbita em torno do Sol em vez de estarem em órbita em torno da Terra, ele poderia facilmente explicar o movimento retrógrado observado em alguns planetas tal como Marte.

O movimento retrógrado não é um movimento real, mas sim um movimento aparente. Ele ocorre devido à diferença nas velocidades dos planetas. O planeta não recua ao longo de sua trajetória. O que acontece é que a **projeção do seu movimento** sobre a esfera celeste reproduz um aparente movimento retrógrado.

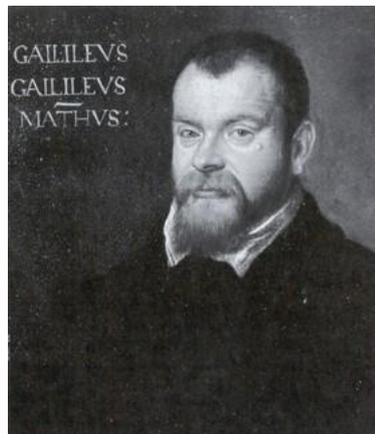
A.03 Galileo Galilei³⁹

Galileu nasceu no dia 18 de fevereiro de 1564 em Pisa, Itália, e morreu no dia 8 de janeiro de 1642 em Arcetri. A imagem abaixo/direita é uma pintura de Galileu feita por Domenico Robusti, filho do grande pintor Tintoretto, em 1605-1607, quando Galileu tinha cerca de 42 anos e vivia em Pádua.

Pela sua maneira de ver a ciência e pelos trabalhos apresentados, Galileu pode ser considerado como o primeiro *cientista moderno*.

Foi Galileu que argumentou que a Matemática, ao invés de ser uma perfeição, é a verdadeira linguagem da ciência.

Na época de Galileu as lentes de vidro já eram conhecidas há cerca de 300 anos. A data e o local de sua origem não são claros, mas elas eram usadas por fabricantes de óculos para corrigir defeitos da visão humana.



É bom lembrar que os ópticos daquela época não tinham a menor ideia dos princípios físicos que poderiam justificar o funcionamento de seus "vidros" e, conseqüentemente, a construção de óculos era feita de um modo puramente experimental.

Em 1609, um mensageiro que retornava a Veneza vindo da Holanda contou a Galileu que um holandês havia inventado um aparelho que fazia objetos distantes ficarem mais próximos.

Galileu construiu seu primeiro telescópio, que ele chamou de *perspicillum*, e já em 1609 usou-o, pela primeira vez, para estudar os céus. Logo em seguida ele aperfeiçoou o seu instrumento criando um modelo que aumentava 30 vezes.

Usando telescópios que ele mesmo projetava e construía, Galileu, em 1610 já tinha feito várias descobertas notáveis em Astronomia, algumas com enormes conseqüências filosóficas. Uma das mais importantes conseqüências de suas observações foi o fato de Galileu ter notado que para qualquer parte do céu que ele olhasse com o seu telescópio ele via mais e mais estrelas. Isto refutava a ideia

³⁹ Adaptado de: www.on.br/ead_2013/site/conteudo/cap7-historia/astronomia-renascenca/galileu/galileu.html

de Aristóteles de que o céu continha somente um certo número de estrelas e que este número conhecido não poderia ser mudado.

No dia 12 de março de 1610 Galileu publicou o texto *Siderius Nuncius* (O Mensageiro Sideral) onde ele descrevia suas primeiras descobertas com o telescópio. A página título do *Siderius Nuncius* de Galileu anuncia ele mesmo como um florentino que ensina em Pádua e que recentemente usou um *perpicillum* para examinar a Lua, as estrelas fixas, e a Via Láctea e descobrir as quatro *estrelas Mediceanas* que se movem em torno de Júpiter com *surpreendente velocidade*.

A publicação deste texto fez com que Galileu conseguisse o trabalho que ele procurava na corte do grão-duque Cosimo II de Medice, em Florença. Como haviam quatro irmãos Medice, Galileu considerou chamar os quatro satélites de Júpiter que ele havia revelado de *Estrelas Mediceanas*.

Entre as descobertas reveladas por Galileu no *Siderius Nuncius* estavam as crateras e montanhas na Lua. A partir desta revelação, Galileu notou que a Terra não era tão diferente dos objetos celestes. A descoberta de montanhas na Lua mostrava que o nosso satélite era parecido com a Terra e não tinha uma superfície suave e esférica como as ideias de Aristóteles exigiam para os corpos celestiais perfeitos. A Lua, de modo algum, era o globo etéreo de cristal puro imaginado por Aristóteles.

Ao ter descoberto os quatro maiores satélites de Júpiter, agora chamados satélites galileanos, e conhecidos como Io, Europa, Calisto e Ganimedes, Galileu notou que o comportamento orbital deles era como previsto por Copérnico. A imagem ao lado mostra as anotações de Galileu onde vemos a disposição dos satélites de Júpiter observados por ele com o seu telescópio. O círculo maior representa Júpiter enquanto que as *estrelas* são os satélites. Vê-se claramente que estes satélites estão mudando suas posições continuamente próximo ao planeta, o que indica que eles estão girando em torno de Júpiter e não são estrelas situadas no fundo celeste.

Observationes Jovis	
2.º Jovis março 11-12	○ * *
3.º març	* * ○ *
2.º Jovis	○ * * *
3.º març	○ * *
3.º Ho. J.	* ○ *
4.º març	* ○ * *
6.º març	* * ○ *
8.º març H. 17.	* * * ○
10.º març	* * * ○ *
11.	* * ○ *
12.º H. 7.º Jovis	* ○ *
13.º març	* * - ○ *
14.º Jovis	* * * ○ *
15.	* * ○
16.º Jovis H. 8.	* ○ * * *
17.º Jovis H. 9.	* ○ * *
18.	* ○ * * *
21.º març	* * ○ * *
24.	* * ○ *

Entretanto, a primazia de ter sido o primeiro a ver os quatro maiores satélites de Júpiter é disputada pelo alemão Simon Mayr, conhecido como Simon Marius (1570-1624), que alega ter visto estes objetos em 1605.

Ainda mais curioso é o fato de que talvez nenhum dos dois tenha sido o primeiro a ver os satélites de Júpiter. Um antigo registro chinês diz que Kan Te, um astrônomo chinês do século 4 a.C. fez várias observações de Júpiter. Em um de seus livros ele narra que Júpiter parecia ter "uma pequena estrela avermelhada associada a ele". Este registro pode indicar que ele estava observando o mais brilhante dos satélites de Júpiter. Parece que, sob condições de céu muitíssimo especiais, o satélite de Júpiter pode ser visto a olho nu. Se este registro é verdadeiro, Kan Te pode ter notado a existência de um satélite de Júpiter cerca de 2000 anos antes de Galileu, ou de Simon Marius ter feito a sua descoberta com a ajuda de um telescópio.

Galileu e as fases de Vênus

Uma outra observação importante feita por Galileu, diz respeito às fases de Vênus. Galileu notou que Vênus possui fases que podem ser facilmente explicadas. Vênus é um planeta inferior, planetas inferiores são aqueles que estão mais próximos do Sol do que a Terra, ou seja, são os planetas Mercúrio e Vênus. Por estar tão próximo à Terra e situado mais próximo do Sol, Vênus possui fases do mesmo modo que a Lua.

Vênus fica mais próximo da Terra na conjunção inferior do que na conjunção superior. Assim, o tamanho angular de Vênus muda à medida que a distância entre ele e a Terra varia, ficando maior na conjunção inferior e menor na conjunção superior.

Do mesmo modo que a Lua, Vênus cresce e mingua visto a partir da Terra. Quando Vênus está "cheio", nós não podemos vê-lo porque o Sol está no caminho. À medida que Vênus "mingua" a partir da fase "cheia" ele se torna maior porque está se aproximando da Terra. Quando ele está mais próximo de nós não podemos vê-lo porque nenhuma luz é refletida na nossa direção.

As observações de Galileu sugeriram que os céus eram tão *imperfeitos* quanto a Terra. Ao contrário do que muitos filósofos pensavam, outros objetos no Sistema Solar tinham satélites em órbita em torno deles, Vênus passava por um

intervalo inteiro de fases e Saturno possuía anéis, como ele escreveu no *Siderius Nuncius*.

Estas observações o levaram à conclusão de que o modelo de Copérnico do Sistema Solar era preferível ao modelo de Ptolomeu.

Galileu continuou a pesquisar os céus e, projetando a imagem do Sol sobre um pedaço de papel, conseguiu observar manchas sobre a superfície do Sol, as chamadas manchas solares.

Isto mostrou a Galileu, e a todos os astrônomos e filósofos, que a superfície do Sol era imperfeita, outro duro golpe contra os defensores da cosmologia de Aristóteles pois acabava com a ideia do Sol perfeito.

Galileu também notou que o movimento aparente das manchas através do disco solar mostrava que o Sol possuía rotação em torno do seu eixo.

Em 1613 Galileu publicou seus resultados no livro "Cartas sobre as Manchas Solares".

Foi neste importante texto que Galileu fez, pela primeira vez por escrito, uma declaração de sua crença no modelo de Copérnico.

As ideias de Galileu e a Ciência Oficial

Logo depois da chegada de Galileu a Roma, o Santo Ofício decidiu ponderar sobre duas importantes proposições: i) que o Sol é o centro do Universo e, conseqüentemente, não é alterado por qualquer movimento local ii) que a Terra não está no centro do Universo nem é sem movimento, mas se move como um todo, e também tem movimento diurno.

No dia 24 de fevereiro de 1616 a primeira proposição foi declarada "formalmente herética" e a segunda "errônea na fé".

Os trabalhos de Copérnico foram censurados, como foram todos os outros livros que ensinavam a mesma doutrina. Na verdade, o texto "De Revolutionibus" de Copérnico foi apenas censurado e não banido, em parte devido aos argumentos do cardeal Barberini, que mais tarde se tornaria o papa Urbano VIII.

Galileu por ser profundamente religioso e respeitar a Igreja Católica logo tomou providências para seguir as recomendações da Sagrada Congregação do Índice.

Passagens no texto de Copérnico, pertencente a Galileu, que foram censuradas por seu próprio punho em 1616 em acordo com o que havia sido

recomendado pela Sagrada Congregação. Nele vemos que Galileu cortou a última sentença do capítulo 10 do "De Revolutionibus" em que estava escrito: "Tão vasto, sem qualquer dúvida, é a divina obra do mais excelente Todo Poderoso". Galileu também mudou o título do capítulo seguinte de "Sobre a explicação do movimento triplo da Terra" para "Sobre a hipótese do movimento triplo da Terra e sua explicação".

Após a eleição do cardeal Barberini à cadeira papal em 1623 como o papa Urbano VIII, Galileu decidiu testar, de novo, a disposição da igreja no que diz respeito à teoria de Copérnico.

Naquele ano ele publicou "O Ensaíador" e o dedicou ao papa Urbano, que, dizem, ficou muito agradecido pela dedicatória.

Então, em abril de 1624, Galileu foi para Roma, tendo sido calorosamente acolhido pelo papa. Embora seus apelos para que o decreto de 1616 fosse revogado tivessem sido recebidos com evasivas, Galileu ficou com a impressão de que o debate sobre a teoria de Copérnico não teria oposição.

Assim, em 1624 Galileu começou o seu grande "Diálogo sobre os dois principais sistemas de mundos", que originalmente seria chamado de "Diálogo sobre o fluxo e refluxo das marés". O trabalho recebeu o novo nome por exigência dos censores uma vez que era bem conhecida a insistência de Galileu de que a sua teoria das marés fornecia uma prova conclusiva da teoria heliocêntrica.

O "Diálogo" foi terminado em 1630 e depois de muito atraso, causado por pressões exercidas pelos inimigos de Galileu, foi relutantemente dado o "imprimatur" da igreja. O livro, escrito em italiano, foi publicado em Florença em fevereiro de 1632.

Quase imediatamente o livro foi condenado e, em outubro, foi dada a ordem de parar a sua venda e recolher todas as cópias. O papa Urbano estava enfurecido, tendo sido convencido de que Galileu não somente advogava a teoria de Copérnico contra a de Ptolomeu, mas também o tinha enganado não o informando da proibição supostamente enviada a ele pelo Comissariado Geral em 1616. Além disso, o papa pode ter sido persuadido por adversários de Galileu que um dos personagens do "Diálogo" chamado Simplício, um ambulante ligeiramente estúpido, havia sido modelado no próprio papa. O Livro dos Decretos da Congregação da Inquisição registra o sentenciamento de Galileu em 1633.

As ideias de Galileu estavam em contradição direta com a visão do mundo ensinada pela igreja católica. Após ser chamado perante a Inquisição italiana em 1633 Galileu, como vimos acima, foi forçado a desmentir o seu trabalho e, em seguida, foi sentenciado a prisão domiciliar pelo resto de sua vida.

Galileu realizou várias experiências revolucionárias na mecânica e em outros campos da Física. Entre as suas realizações na mecânica estão: desenvolvimento do conceito de inércia, mais tarde refinado por Newton descobriu, entre outras coisas, que os objetos não caem em taxas diferentes como Aristóteles tinha acreditado. Várias experiências realizadas com corpos em queda livre demonstraram que a "aceleração da gravidade" é independente da massa. No entanto, não há qualquer evidência histórica de que Galileu tenha, realmente, lançado objetos do alto da torre de Pisa. Ao contrário, tudo indica que suas experiências foram conduzidas com um plano inclinado.

Também se deve a Galileu a primeira teoria da relatividade, válida para velocidades muito menores do que a velocidade da luz. As transformações nesta teoria são conhecidas como "transformações galileanas" e relacionam as coordenadas espaciais e temporais de dois referenciais que possuem uma velocidade relativa constante.

Em 1638 Galileu ficou totalmente cego e o resto de sua vida foi gasto com estudantes, incluindo Vincenzo Viviani e Evangelista Torricelli, e seu filho Vincenzo além de uma ampla correspondência científica. Ele morreu em Arcetri, próximo a Florença, no dia 9 de janeiro de 1642, e está enterrado na Igreja de Santa Croce, em Florença, próximo à tumba de Michelangelo.

Há uma excelente página (em inglês) sobre a vida e a época de Galileu no site *The Galileo Project* da Rice University.

A.04 Tycho Brahe⁴⁰

Também chamado Tyge Brahe, este astrônomo dinamarquês, descendente de família nobre, nasceu no dia 14 de dezembro de 1546 em Knudstemp (Schonen) e morreu no dia 24 de outubro de 1601 em Praga.

Tycho Brahe observou uma supernova em 1572 tendo publicado um livro sobre este fenômeno em 1573, com o nome "De Nova Stella", onde mostrava suas observações e concluía que as próprias estrelas podiam mudar. As medições dos brilhos da supernova que ele obteve mostraram, claramente, que ela era um objeto variável. É interessante notar que Brahe hesitou muito em escrever este livro porque, naquela época, era considerado impróprio um nobre escrever livros.

Em 1576, o rei Frederick II da Dinamarca deu a Tycho Brahe o presente que todo astrônomo quer: uma ilha inteira a leste de Copenhagen, chamada Hven (ou Hveen). Esta ilha atualmente pertence à Suécia e tem o nome de Ven.

Brahe construiu nesta ilha o observatório de Uraniborg onde ele realizou suas primeiras observações com os instrumentos que ele mesmo fabricava. Mais tarde, Brahe construiu um outro observatório, o Stjerneborg. Brahe observou, em 1577, um cometa. As medições de paralaxe feitas por ele demonstraram que estes objetos estavam além da Lua. Ele começou a escrever um livro sobre este cometa, mas nunca o terminou.

A natureza briguenta de Tycho levou-o a duelar e, como resultado disto, ele perdeu parte do seu nariz. A prótese escolhida por ele foi um nariz de prata. Este seu temperamento, no fim das contas, colocou-o em desgraça levando-o a se transferir para a corte de Rudolph II, em Praga, em 1599, onde ele passaria suas observações para Johannes Kepler.

Tycho Brahe foi talvez o maior observador de todos os tempos. Ele desenvolveu novos instrumentos e novas técnicas para realizar observações. Kepler usou as observações de Tycho Brahe para deduzir as suas leis das órbitas planetárias. Foi a precisão das observações de Brahe que permitiram que Kepler

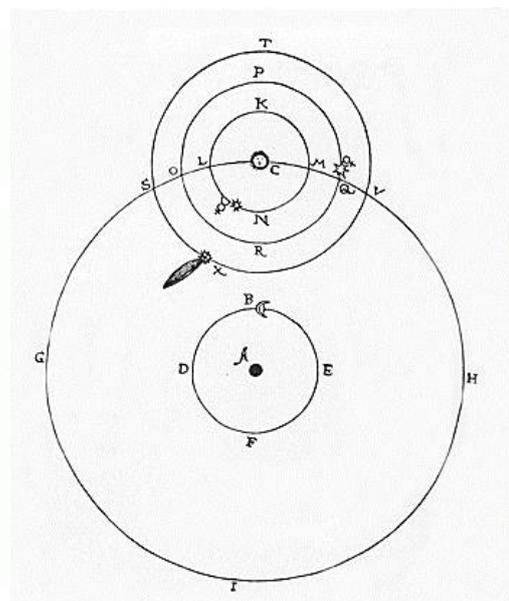
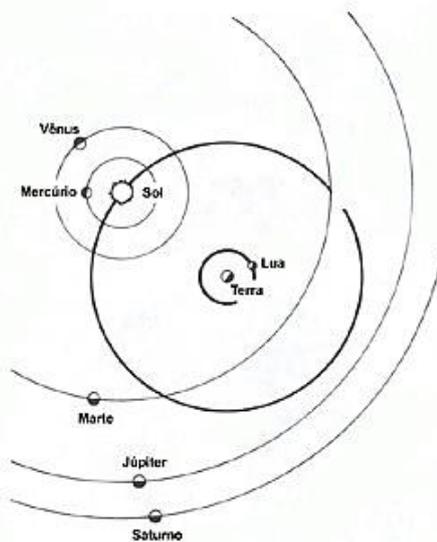
⁴⁰ Adaptado de: www.on.br/ead_2013/site/conteudo/cap7-historia/astrologia-renascenca/tycho-brahe/tycho-brahe.html

determinasse corretamente que as órbitas dos planetas são elipses com o Sol em um dos focos.

A cosmologia de Brahe

As medições das posições planetárias feitas por Tycho Brahe estavam em desacordo com o modelo de Ptolomeu. Baseado nisto Brahe, que já era conhecido em toda a Europa, desenvolveu o seu próprio modelo do Sistema Solar no qual o Sol e a Lua estavam em órbita em torno da Terra, mas os planetas restantes estavam em órbita em torno do Sol.

Na verdade, o modelo de Tycho Brahe é uma modificação geocêntrica do modelo de Copérnico. Este sistema é inteiramente equivalente ao sistema de Copérnico, no sentido de que os movimentos *relativos* de todos os corpos celestes (exceto as estrelas) são os mesmos nos dois sistemas.



O cometa de 1577 também aparece nesta ilustração reproduzida do livro de Tycho sobre aquele cometa, publicado em 1588, onde o sistema solar está totalmente registrado.

Embora a cosmologia de Tycho Brahe tenha sido logo esquecida sua grande reputação atual resulta do fato dele ter fornecido as bases observacionais que permitiram Kepler desenvolver a sua pesquisa.

A.05 Johannes Kepler⁴¹

Johannes Kepler nasceu no dia 27 de dezembro de 1571 em Weil (Wurttemberg), na Alemanha, e morreu no dia 15 de novembro de 1630 em Ratisbona. Kepler foi um dos mais importantes cientistas do seu tempo e pode-se dizer que, sem os seus trabalhos, a Física desenvolvida posteriormente por Newton talvez não existisse.

Kepler era um matemático e místico, interessado principalmente nas relações numéricas entre os objetos do Universo. Ele descreveu a sua busca da ciência como um desejo de conhecer a mente de Deus. Kepler foi para Praga trabalhar com Tycho Brahe e pode, assim, utilizar os seus preciosos dados observacionais.

As leis de Kepler

Usando as observações de alta qualidade, sem precedente, de Tycho Brahe, Kepler pode fazer cálculos altamente precisos das órbitas planetárias. Embora Kepler pudesse ter obtido resultados quase coincidentes aos dados experimentais de Tycho Brahe se tivesse usado órbitas circulares perfeitas, era tanta a confiança que ele tinha nos dados observacionais de Brahe que ele continuou a insistir nos cálculos até conseguir igualar a precisão anteriormente obtida por Brahe.

Em 1609 Johannes Kepler publicou seu livro *Astronomia nova*. Um vasto volume de quase 400 páginas, onde ele apresentava uma das maiores revoluções na Astronomia. Neste livro Kepler revelava ao mundo científico duas importantíssimas leis relacionadas com o movimento planetário: a lei das órbitas elípticas e a lei das áreas.

A chamada terceira lei do movimento planetário, a lei que relaciona o período orbital com as distâncias, foi publicada em outro livro de Kepler, editado em 1619 com o título *Harmonice Mundi*.

Resumindo, Kepler desenvolveu três regras matemáticas que eram capazes de descrever as órbitas dos planetas. Segundo Kepler as órbitas dos planetas são elipses onde o Sol ocupa um dos focos, os planetas percorrem áreas

⁴¹ Adaptado de: www.on.br/ead_2013/site/conteudo/cap7-historia/astro-nomia-renascenca/kepler/kepler.html

iguais da sua órbita em intervalos de tempos iguais e o quadrado do período orbital é proporcional ao cubo das distâncias planetárias medidas a partir do Sol.

As consequências do trabalho de Kepler

É muito interessante verificar o que estas leis modificam na Astronomia antiga. A primeira lei de Kepler elimina o movimento circular que tinha sido aceito durante 2000 anos.

A segunda lei de Kepler substitui a ideia de que os planetas se movem com velocidades uniformes em torno de suas órbitas pela observação empírica de que os planetas se movem mais rapidamente quando estão mais próximos do Sol e mais lentamente quando estão mais afastados. A terceira lei de Kepler é precursora da Lei da Gravitação que seria desenvolvida por Newton na parte final do século 17.

Além disso, de modo bastante óbvio, as três leis de Kepler exigem que o Sol esteja no centro do Sistema Solar, em contradição com a ideia de Aristóteles.

A Astronomia muda para sempre

Mais importante do que descrever órbitas ou posições de planetas, as leis de Kepler são, na verdade, consequências de princípios muito mais fundamentais. Quando as leis de Newton, que descrevem o movimento dos corpos e a gravitação, são aplicadas aos sistemas planetários elas se reduzem às leis de Kepler. Deste modo, a Astronomia e a Física passaram a ser ligadas para sempre.

Os trabalhos de Kepler iniciam uma nova era. A partir de Galileu, o uso dos telescópios foi se tornando uma necessidade cada vez maior na Astronomia. Equipamentos cada vez mais poderosos passaram a revelar os mais incríveis segredos guardados há milhares de anos no céu. Com o uso dos telescópios e com a fusão entre a Astronomia e a Física, a Astronomia nunca mais seria a mesma.

A.06 Isaac Newton⁴²

Isaac Newton nasceu na cidade inglesa de Woolsthorp, Lincolnshire, no dia 25 de dezembro de 1642, exatamente 11 meses após a morte de Galileu. Ele faleceu em Londres no dia 20 de março de 1727. Newton é considerado o maior de todos os físicos clássicos.

Em janeiro de 1665, após receber o título de bacharel, Newton teve que retornar à sua cidade natal, onde ficou durante dois anos, devido à peste que assolava Londres. Foi neste período que Newton desenvolveu suas mais importantes ideias científicas, nestes dois anos Newton desenvolveu a ciência da mecânica como nós a conhecemos, estabelecendo as leis do movimento dos corpos.

Newton também se dedicou à óptica nesta época, iniciando suas primeiras experiências com prismas, para poder realizar cálculos mecânicos e compreender a Gravitação, Newton inventou uma ferramenta matemática que ele chamou de "fluxions", e que agora é conhecida como "cálculo". O cálculo diferencial também foi descoberto nesta mesma época, independentemente, pelo filósofo e matemático alemão Gottfried-Wilhelm Leibnitz

O astrônomo Halley tinha conhecimento do trabalho desenvolvido por Newton e, certamente, queria usar estas teorias para analisar órbitas, particularmente aquela do cometa de 1682, que agora tem o seu nome, cometa Halley.

Impelido por Edmund Halley, Newton publicou, em 1687, as suas leis do movimento e a análise da gravidade. Seu livro, possivelmente o mais importante texto de Física escrito até hoje, chamava-se *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*.

As leis de Newton

Newton formulou três importantes leis:

1. um objeto permanece em repouso ou em movimento uniforme em uma linha reta a menos que atue sobre ele alguma força;

⁴² Adaptado de: www.on.br/ead_2013/site/conteudo/cap7-historia/astrologia-moderna/newton/newton.html

2. quando uma força age sobre um corpo ele muda seu movimento em uma quantidade proporcional à força que age sobre ele, e de acordo com a direção da força;
3. quando um objeto exerce uma força sobre um segundo objeto, o segundo objeto exerce uma força igual e oposta sobre o primeiro.

Entre as suas várias realizações científicas podemos citar seu trabalho intitulado "Principia" onde ele formulou as leis do movimento que são os fundamentos da mecânica.

Com base nestas leis Newton conseguiu explicar porque os planetas obedecem às leis de Kepler. O "Principia" é, provavelmente, o mais importante trabalho científico escrito até hoje.

Newton mostrou que a gravidade não somente faz uma maçã cair ao chão, mas também governa os movimentos dos planetas e seus satélites. A teoria da gravitação de Newton deve se aplicar a quaisquer corpos até mesmo, por exemplo, a estrelas binárias.

Newton expressou a lei universal da gravitação em forma matemática, mostrando que a força da gravidade cai inversamente com o quadrado da distância entre dois corpos. Newton mostrou que a lei da gravitação poderia explicar tanto as marés sobre a Terra como a precessão dos equinócios.

A.07 Força Gravitacional⁴³

Ao observarmos o movimento dos corpos celestes vemos que eles não são objetos errantes que seguem trajetórias quaisquer no espaço. Todos eles, sem exceção, percorrem órbitas bem determinadas obedecendo a leis gerais que são válidas em todo o Universo. Isto é importante por nos indicar que os corpos celestes estão sob a ação de forças que os mantêm em suas órbitas. Melhor ainda, sabemos que os objetos na Terra interagem e conhecemos as leis que regem essas interações.

Observamos que ao usarmos a primeira lei de Newton e aplicarmos uma força sobre um corpo qualquer, uma pedra por exemplo, atirando-a para cima ela retorna à Terra. Por que isso acontece? Se a única força atuante sobre a pedra fosse o atrito com o ar que forma a nossa atmosfera, a pedra diminuiria a sua velocidade até parar e permaneceria flutuando no ar. No entanto, isso não ocorre. A pedra volta para a superfície da Terra. Uma situação tão simples quanto essa nos mostra que a Terra está exercendo algum tipo de força que atrai a pedra de volta para ela. O mesmo tipo de interação deve ocorrer entre todos os corpos celestes e a ela damos o nome de **interação gravitacional**.

A descoberta da lei que nos mostra de que maneira os corpos celestes interagem foi feita por Isaac Newton. Aplicando uma ferramenta matemática que ele havia recentemente desenvolvido, chamada **fluxions** e que hoje é conhecida como "cálculo diferencial", à órbita da Lua em torno da Terra, Newton foi capaz de determinar que a força da gravidade deve depender do *inverso do quadrado* da distância entre a Terra e a Lua.

Ao mesmo tempo, hoje sabemos que, segundo a Terceira Lei de Newton, uma vez que a gravidade é uma força exercida por um corpo sobre outro ela deve atuar de modo recíproco entre as duas massas envolvidas.

A Teoria da Gravitação de Isaac Newton

Newton deduziu então que:

⁴³ Adaptado de: www.on.br/ead_2013/site/conteudo/cap9-forcas/forca-gravitacional.html

"A força de atração gravitacional entre dois corpos de massas M e m é diretamente proporcional ao produto de suas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância que os separa".

Na equação, "dina" é uma unidade de medida de forças. Ela corresponde a gramas.centímetro/segundo². Uma outra unidade de força também comumente usada é o "newton" que equivale a quilograma.metro/segundo². Pela lei da gravitação universal a força de atração gravitacional entre a Terra e a Lua é dada por:

$$F = G \frac{Mm}{d^2}$$

onde G é a constante gravitacional, M é a massa da Terra, m é a massa da Lua, e d é a distância entre a Terra e a Lua.

Observações:

- a gravidade é a mais fraca entre todas as forças fundamentais.
- a gravidade é uma força de longo alcance. Veja, na equação acima, que não há qualquer limite para o valor de d , que é a distância entre os corpos.
- a gravidade é uma força somente **atractiva**. Não existe repulsão gravitacional.
- a história de que Newton teria notado a existência da lei da gravitação a partir da queda de uma maçã é, quase certamente, apócrifa.

É por causa dessas características que a gravidade domina várias áreas de estudo na Astronomia. É a ação da força gravitacional que determina as órbitas dos planetas, estrelas e galáxias, assim como os ciclos de vida das estrelas e a evolução do próprio Universo, como veremos mais tarde.

A Constante Gravitacional da equação de Newton

A gravidade é uma força tão fraca que a constante G que aparece na equação da gravitação de Newton não podia ser medida na época em que a equação foi proposta.

O primeiro a estimar o valor de G foi o astrônomo Nevil Maskelyne. Para fazer isto ele procurou usar duas massas bastante diferentes de tal modo que a força

gravitacional entre elas pudesse ser medida. Nada melhor do que a massa de uma montanha e a de um pedaço de chumbo preso a uma linha. Certamente a atração gravitacional entre estas duas massas provocaria uma deflexão na linha que sustentava o chumbo.

Em 1774, Maskelyne aproximou o seu peso de chumbo das encostas inclinadas do Monte Schiehallion, na Escócia, e mediu a deflexão da linha, ou seja, a ação gravitacional entre a montanha e o peso de chumbo. Como o monte Chiehallion tinha uma forma muito regular, Maskelyne foi capaz de estimar sua massa e, como ele conhecia a massa do peso de chumbo, foi possível então determinar o valor da constante gravitacional **G**. No entanto, o físico inglês Henry Cavendish foi o primeiro a medir G no laboratório.

A ação da gravidade nas nossas vidas

E de que modo a ação da gravidade se apresenta na nossa vida? O simples fato de você permanecer de pé na superfície da Terra é resultado da existência da força gravitacional. É a ação da gravidade da Terra que faz você permanecer sobre ela. É claro que você tem até uma pequena liberdade pois consegue saltar na vertical, mas logo é obrigado a retornar à sua superfície tão logo a Terra sinta "saudades" de você e te traga de volta para pertinho dela.

E que outra ação da gravidade nos afeta diretamente? A ação gravitacional entre a Terra e a Lua é uma dessas ações. É ela que produz o conhecido fenômeno das marés

Além disso, como a Lua é um satélite de grande massa, se comparado com os outros satélites do Sistema Solar, a atração gravitacional entre ela e a Terra serve como elemento estabilizador da rotação do nosso planeta em torno do seu eixo. No entanto, a Lua está se afastando da Terra e a mudança desta ação gravitacional, daqui a milhares de anos, provocará uma alteração no eixo de rotação da Terra. Esta mudança se refletirá sob a forma de fortes alterações climáticas no nosso planeta.

Anexo B

Ementa da disciplina eletiva

A seguinte ementa seguiu requisitos solicitados pela coordenação pedagógica em uma unidade escolar que segue o Programa de Ensino Integral (PEI), sua elaboração foi efetuada em parceria e concordância entre os professores das disciplinas de Física e Filosofia, já que o segundo docente foi indicado pela coordenação da escola para ministrar a disciplina eletiva em conjunto com o proponente (Física), que havia indicado a mesma para o rol de disciplinas que participariam da escolha dos estudantes para o segundo semestre do ano letivo de 2015.

A.1 Do Mundo Fechado ao Universo Infinito

A.1.01 EMENTA

Estudo de Astronomia referente às curiosidades da juventude envolvendo diversas áreas do conhecimento e suas especificidades através da exposição de temas relacionados à compreensão do universo e do mundo em que vivemos. O estudo visa um maior aprofundamento do estudante sobre diversos assuntos ligados aos astros que fazem parte de seu dia a dia em todas as áreas do conhecimento, suas relações, seu funcionamento, sua influência no cotidiano. Assim, ele terá uma visão mais crítica sobre o mundo em que vivemos e o cosmo e seus segredos desenvolvendo conhecimentos sobre a realidade de nosso planeta e compreendendo um pouco mais o universo infinito.

A.1.02 DISCIPLINAS

Física – Ciências Exatas

Filosofia – Ciências Humanas

A.1.03 PROFESSORES

Rodrigo de Almeida Simon (Física)

Professor de filosofia (nome ocultado para manter o anonimato de participantes além do autor deste trabalho).

A.1.04 JUSTIFICATIVA

Conceitos da Astronomia fascinam grande parte das pessoas, principalmente estudantes do Ensino Fundamental e Médio. Ao abordar assuntos deste tema, pode-se facilmente utilizar conhecimentos de várias áreas, como a Física, Matemática, Filosofia, História, Química, Biologia, etc. Assim, esta disciplina está sendo oferecida visando contemplar o desenvolvimento das competências leitoras e escritoras e de competências e habilidades presentes no em diversas disciplinas do currículo comum, relevantes para alunos com Projetos de Vida relacionados a diversas carreiras profissionais.

A.1.05 OBJETIVO GERAL

A eletiva tem como objetivo o desenvolvimento de habilidades que venham a possibilitar a aquisição e formação de conceitos individuais aos estudantes, que aumentando o interesse e rendimento dos alunos no Currículo comum, bem como nas competências leitora e escritora e estimulá-los a realizarem seus projetos de vida.

A.1.06 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Fornecer aos alunos subsídios para desenvolvimento de competências e habilidades de diversas disciplinas do currículo comum descritas abaixo, juntamente ao cronograma desta eletiva.

A.1.07 HABILIDADES E COMPETÊNCIAS ENVOLVIDAS

Aula 01 a 06: Escolha das Eletivas

Aula 07 e 08: Demonstrar os conhecimentos prévios através de desenho sobre o Sistema Solar.

Aula 9 e 10: Conhecer programas de simulação do céu, identificar maneiras seguras de efetuar downloads e instalação de **softwares livres**, conhecer e identificar ferramentas do programa *Stellarium*.

Aula 11 e 12: Correlacionar as informações sobre observações cotidianas sobre o movimento do sistema solar, dominar diferentes linguagens e compreender diferentes fenômenos do conhecimento; incentivar as competências que possibilitam uma visão crítica da Ciência.

Aula 13 e 14: Compreender processos de construção de ideias na ciência; explorar historicamente o processo de construção de modelos da estrutura do Universo (Sistema Solar); utilizar procedimentos e instrumentos de observação, representar resultados experimentais, elaborar hipóteses e interpretar resultados em situações experimentais.

Aula 15 e 16: Desenvolver atitude investigativa e de pesquisa bibliográfica e iconográfica; organizar, representar e expressar, por meio de diferentes linguagens, modelos sobre corpos celestes; elaborar apresentações em softwares específicos (Power-point, Prezi, etc.).

Aula 17 e 18: Apresentar e expressar, por meio de diferentes linguagens, modelos informações relevantes sobre corpos celestes e, por meio, de materiais audiovisuais, relatos ou de outras fontes com narração de eventos e descrição de fenômenos.

Aula 19 e 20: Elaborar e interpretar dados em diferentes formas de apresentação; confeccionar gráficos; analisar de dados e transformar informações de uma forma de apresentação em outra; realizar medidas.

Aula 21 e 22: Interpretar dados em diferentes formas de apresentação, tabelas, gráficos etc.; transformar informações para a forma escrita.

Aula 23 e 24: Explorar simuladores de movimentos planetários e conhecer o processo histórico de construção das Leis dos movimentos planetários (Leis de Kepler).

Aula 25 e 26: Explorar historicamente o processo de construção da Lei da Gravitação Universal e manusear simuladores de força centrípeta e movimentos de corpos.

Aula 27 e 28: Reconhecer teorias, modelos e processos de investigação sobre a origem, a evolução e a constituição do Universo; etapas da evolução estelar e especificidades do modelo cosmológico atual (espaço curvo, universo inflacionário, Big Bang).

A.1.08 CONOGRAMA

CRONOGRAMA	
Data	Conteúdo
05/08/2015	Aplicação da Avaliação de Aprendizagem em Processo (AAP) – Matemática
12/08/2015	<i>Devolutiva da Avaliação das Eletivas 1º semestre e Divulgação das eletivas do 2º semestre</i>
19/08/2015	Escolha das Eletivas.
26/08/2015	Apresentação da disciplina e confecção de desenhos sobre o Sistema Solar
02/09/2015	Instalação e familiarização com o software <i>Stellarium</i>
09/09/2015	Trabalhando com o software <i>Stellarium</i>
16/09/2015	Modelagem de formas geométricas ocultas: construção de <i>Modelos Científicos</i>
23/09/2015	Pesquisa e elaboração de Apresentação de Seminário sobre os planetas do Sistema Solar
30/09/2015	Apresentação de Seminário sobre os planetas do Sistema Solar
07/10/2015	Desenhando a Órbita de uma Sonda Espacial
14/10/2015	Interpretando a Órbita de uma Sonda Espacial
21/10/2015	Pesquisa, produção de Texto e exploração de simulações: <i>Leis de Kepler</i>
28/10/2015	Pesquisa, produção de Texto e exploração de simulações: <i>Gravitação Universal</i>
04/11/2015	Cosmos: apresentação e análise de vídeo
11/11/2015	Preparação da Culminância
18/11/2015	Preparação da Culminância
25/11/2015	Preparação da Culminância
02/12/2015	Culminância
09/12/2015	Revisão da Eletiva
16/12/2015	Conclusão da Eletiva

A.1.09 CONTEÚDO PROGRAMÁTICO

Temas relacionados à construção das ideias científicas sobre a estrutura do Universo e ao sistema solar e seu funcionamento; Sol, Lua, Mercúrio, Vênus, Marte, Saturno, Netuno, Júpiter e Plutão.

A.1.10 METODOLOGIA

Pesquisas, Aulas Expositivas, Seminários, Vídeos, Leituras, Produção de Gráficos e Planilhas, Interações com Simuladores de Fenômenos Físicos, Internet.

A.1.11 RECURSOS DIDÁTICOS

Lousa digital, maquetes, textos, vídeos, aulas expositivas e simuladores de fenômenos físicos.

A.1.12 AVALIAÇÃO

A avaliação será processual e formativa, desde o diagnóstico inicial até a verificação de conceitos ao final das atividades desenvolvidas. Englobará as dimensões: conceitual, atitudinal e procedimental, por meio de instrumentos que garantam a participação exercendo o protagonismo juvenil.

A.1.13 CULMINÂNCIA

Apresentação que demonstra a participação, desenvolvimento e aproveitamento da eletiva.