



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIAS E SAÚDE (CTS)
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MESTRADO NACIONAL
EM ENSINO DE FÍSICA

DIÓGENES ANTUNES BECKER

**GUIA PARA O USO DE MODELOS CONSTRUÍDOS COM
IMPRESSORAS 3D NO ÂMBITO FORMAL E NÃO FORMAL NO
ENSINO DE ASTRONOMIA DO SISTEMA SOLAR**

ARARANGUÁ
2019

Diógenes Antunes Becker

**GUIA PARA O USO DE MODELOS CONSTRUÍDOS COM IMPRESSORAS 3D
NO ÂMBITO FORMAL E NÃO FORMAL NO ENSINO DE ASTRONOMIA DO
SISTEMA SOLAR**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação Universidade Federal de Santa Catarina 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. Bernardo Walmott Borges

Araranguá
2019

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Becker, Diogenes Antunes

Guia para uso de modelos construídos com impressoras 3D
no âmbito formal e não formal no ensino de astronomia do
sistema solar / Diogenes Antunes Becker ; orientador,
Bernardo Walmott Borges, 2019.

117 p.

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade
Federal de Santa Catarina, Campus Araranguá, Programa de
Pós-Graduação em Ensino de Física, Araranguá, 2019.

Inclui referências.

1. Ensino de Física. 2. Modelização. 3. Impressão 3D. 4.
Astronomia. 5. Ensino. I. Borges, Bernardo Walmott . II.
Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós
Graduação em Ensino de Física. III. Título.

Diógenes Antunes Becker

Guia para uso de modelos construídos com impressoras 3D no âmbito formal e não formal no ensino de astronomia do sistema solar

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Bernardo Walmott Borges, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Evy Torres Salcedo, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Agenor Hentz da Silva Junior, Dr.
Universidade Federal de Santa

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de mestre em Ensino de Física.

Prof. Dra. Marcia Martins Szortyka
Coordenadora do Programa

Prof. Dr. Bernardo Walmott Borges,
Orientador

Araranguá, 13 de setembro de 2019.

Dedico esta dissertação aos meus queridos pais.

“What I cannot create, I do not understand.” Richard Feynman.

Agradecimentos

A Bruna Becker, minha esposa, pelo carinho, incentivo e motivação durante todo o mestrado.

Aos meus pais, Dimas A. Becker e Nerilda Antunes, por toda a dedicação ao longo da vida, apoiando e ajudando em todas minhas decisões.

Ao meu irmão Denis A. Becker, por todos os momentos divididos.

Ao meu orientador Dr. Bernardo W. Borges, por todos os ensinamentos.

A todos os professores do Programa do MNPEF da Universidade Federal de Santa Catarina, pólo Araranguá.

Aos colegas de trabalho e alunos do Colégio Leme.

Ao diretor do Colégio Leme, Leonir Maffiolette, por todo o incentivo.

RESUMO

GUIA PARA O USO DE MODELOS CONSTRUÍDOS COM IMPRESSORAS 3D NO ÂMBITO FORMAL E NÃO FORMAL DO ENSINO DE ASTRONOMIA DO SISTEMA SOLAR

Diógenes Antunes Becker

Orientador:
Bernardo Walmott Borges

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Federal de Santa Catarina 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 produto educacional gerado nesta dissertação consiste em duas sequências didáticas que envolvem o uso de impressão 3D no ensino de Astronomia de Pequenos Corpos do Sistema Solar. São modelos de Pequenos Corpos do Sistema Solar (PCSS), mais especificamente aqueles classificados como asteroides, que foram construídos com impressora 3D e utilizados no Ensino de Astronomia. Adjacente às estratégias didáticas desenvolvemos um guia que revela o atual estado da arte da impressão 3D e fornece aporte teórico em astronomia completando a profusão de conhecimentos necessários ao docente para a aplicação dos projetos sugeridos. Nas sequências fizemos uso de modelos e da modelização no Ensino de Ciências, incluindo a construção de um aparato experimental. Os modelos foram utilizados para abordar questões como: ocultações estelares para determinação de geometria, existência de atmosfera ou de anéis; medição da luz refletida (fotometria) para determinação da forma; diversidade de tamanhos e formas de asteroides; e risco representado por Asteroides Próximos à Terra (ou NEAs, da sigla em inglês).

Palavras-chave: Modelização, Impressão 3D, Astronomia.

Araranguá
Março de 2019

ABSTRACT

GUIDE FOR THE USE OF MODELS CONSTRUCTED WITH 3D PRINTERS IN THE FORMAL AND NON-FORMAL SCOPE OF THE ASTRONOMY TEACHING OF THE SOLAR SYSTEM

Diógenes Antunes Becker

Supervisor:
Bernardo Walmott Borges

Abstract of master's thesis submitted to Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Federal de Santa Catarina no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), in partial fulfillment of the requirements for the degree Mestre em Ensino de Física.

The educational product generated in this dissertation consists of two didactic sequences that involve the use of 3D printing in the teaching of Astronomy of Small Bodies of the Solar System. They are models of Small Bodies of the Solar System (SBSS), more specifically those classified as asteroids, which were constructed with 3D printer and used in the Teaching of Astronomy. Adjacent to the didactic strategies we developed a guide that reveals the current state of the art of 3D printing and provides a theoretical contribution in astronomy, completing the profusion of knowledge necessary for the teacher to apply the suggested projects. In the sequence we made use of models and modeling in the Teaching of Sciences, including the construction of an experimental apparatus. The models were used to address issues such as: stellar occultations for determination of geometry, existence of atmosphere or rings; measurement of reflected light (photometry) for shape determination; diversity of asteroid shapes and sizes; and risk represented by Near-Earth Asteroids (or NEAs).

Keywords: Modeling, 3D Printing, Astronomy

Araranguá
Março de 2019

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1:.....	20
Figura 3.2:.....	23
Figura 3.3:	24
Figura 3.4:	26
Figura 3.5:	28
Figura 3.6:	29
Figura 3.7:	30
Figura 4.1:	33
Figura 4.2:	33
Figura 4.3:	33
Figura 4.4:	34
Figura 4.5:	35
Figura 4.6:	36
Figura 4.7:	37
Figura 4.8:	37
Figura 4.9:	38
Figura 4.10:	39
Figura 4.11:	39
Figura 4.12:	40
Figura 5.1:	45
Figura 5.2:	46
Figura 5.3:	46
Figura 5.4:	49
Figura 5.5:	49

LISTA DE TABELAS

Figura 5.1:.....	43
Figura 5.2:.....	48

Sumário

Capítulo 1	Introdução e motivação	1
Capítulo 2	Fundamentação teórica e metodológica em ensino	5
2.1	Experimento didático e modelagem científica	5
2.2	Experiência sensorial: Cognição incorporada	8
2.3	Impressão 3D no ensino	10
2.4	Ensino de Astronomia no Brasil	13
Capítulo 3	Fundamentação teórica em astronomia	17
3.1	Pequenos corpos do Sistema Solar	17
3.2	Tipos de asteroides e suas classificações	20
3.2.1	<i>Classificação orbital</i>	20
3.2.2	<i>Classificação espectral</i>	21
3.3	Objetos Próximos a Terra	22
3.4	Órbitas relativas de Asteroides Próximos à Terra	23
3.5.1	<i>Inversão da curva de luz</i>	26
3.5.2	<i>Ocultações</i>	27
Capítulo 4	Produto Didático	31
4.1	Desenvolvimento e objetivos	31
4.2	Modelos tridimensionais utilizados:	33
4.3	Recursos utilizados	34
4.4	Montagem do Simulador	37
Capítulo 5	Aplicação do produto didático	41
5.1	Contexto	41
5.2	Aplicação do produto didático	42
5.2.1	<i>Sequência 1</i>	43
5.2.2	<i>Sequência 2</i>	45
5.3	Resultados e discussão	47
Capítulo 6	Considerações Finais	51
	Referências Bibliográficas	53
Apêndice A	Sequência didática I: Aula teórica – Análise de tamanho e forma de asteroides	91
Apêndice B	Sequência didática II – Simulador de ocultações astronômicas	97
Apêndice C	Contexto de aplicação: Preparando um grupo de alunos para a OBA	108

Capítulo 1

Introdução e motivação

A Tecnologia em si, em todos seus significados, sobressaltando os científicos, está emaranhada na história do ser humano. Tanto em tempos antigos, quanto na recente história da humanidade, estivemos num ambiente permeado de constante evolução tecnológica. Não obstante, o ser humano do século XXI dispõe de uma incrível gama de Tecnologias ao seu dispor, que são utilizadas em tarefas infinitamente diversificadas, entre elas a educação. Os estudos sobre a questão da adoção da Tecnologia na educação são abordados a partir de uma variedade de perspectivas disciplinares. Há um grande corpo de pesquisa dedicado à discrepância entre os avanços nas capacidades de *hardware* e *software* e da relativa falta de implementação. (VENKATESH; DAVIS, 2000). Entre esses estudos, alguns sugerem que é perceptível aos alunos o atraso tecnológico escolar.

"Do ponto de vista da Tecnologia, a escola parece estar, de fato, perdendo legitimidade aos olhos dos alunos, à medida que estes se vão percebendo o atraso relativamente ao que se passa fora dela, nos diferentes setores da sociedade, mas também dos próprios métodos de aprendizagem retrógrados que continua a adotar." (COSTA, 2007).

Algumas pessoas não associam, ou preferem “não lembrar”, o fato de que na área da educação, o quadro negro, por exemplo, é uma Tecnologia. Talvez uma Tecnologia um tanto quanto antiga, talvez um pouco fora de moda, mas não em desuso. É fácil localizar o quadro negro e suas variantes em quase todo ambiente escolar ou fora dele. Ao longo do tempo o quadro negro escolar passou por vários estágios evolutivos, desde o giz com a base de ardósia passando para os pincéis com base em vidro até chegar à lousa digital. Muito embora o aperfeiçoamento do quadro negro seja bem vindo, em todos os seus estágios evolutivos, o objetivo principal no ambiente escolar não mudou, continua sendo um meio facilitador de ensino em todas suas versões. Assim como o quadro negro, algum tempo à sua frente, a internet também veio como um meio facilitador de imensa aplicabilidade na educação. As Tecnologias aplicadas na educação vêm sofrendo uma mescla complexa ao longo do tempo, como a própria internet, que

tem se alinhando e relacionado com outros segmentos tecnológicos na educação, como por exemplo, o uso de videogames digitais *online* (BECKER, 2015).

O videogame digital Minecraft é um *game* que quebrou alguns paradigmas do ensino tradicional e surpreendeu com bons resultados. Dentre os avanços tecnológicos do século XXI, os videogames têm sido bastante utilizados na contemporaneidade, os games "engajam uma legião de usuários em suas ações, movimentam milhões de dólares em suas produções e comercializações, além de oferecer os mais diversos tipos, para todo o gosto, idade, tema, suporte, e tantas outras variáveis." (ALEXANDRE; SABBATINI, 2013). Num estudo de Roscoe em 2014 foi investigado o processo de aprendizagem do "pensamento computacional" com o videogame Minecraft aplicado em conjunto com a construção de robôs em impressão 3D para alunos na faixa dos 11 até 19 anos de idade. Ele concluiu que "os meios de aprendizagem empregados ensinaram conceitos no sentido de alimentar uma valorização da Tecnologia no cotidiano, bem como habilidades altamente técnicas que contribuem diretamente para tarefas como programação" (ROSCOE, 2014).

Embora nem todos os professores abracem essas novas Tecnologias por uma série de razões, incluindo o medo da mudança e falta de tempo e apoio, não podemos duvidar de que essas Tecnologias vieram para ficar. Além disso, a rápida taxa de evolução de tais Tecnologias digitais e suas inovações as impedem de tornar-se transparentes (acesso facilitado). Os professores têm que fazer mais do que simplesmente aprenderem a usar as "ferramentas" que estão disponíveis; eles devem aprender novas técnicas e habilidades sempre que as Tecnologias atuais tornarem-se obsoletas. Um contexto com tais características é muito diferente do contexto das concepções anteriores de conhecimento dos professores em que as Tecnologias eram padronizadas e relativamente estáveis. Esse novo contexto coloca a Tecnologia num patamar que poderia não ter sido imaginado há alguns anos ou décadas. Temos um verdadeiro arsenal de Tecnologias, cada qual com sua particularidade, garantindo seu espaço na sala de aula e no ensino, sendo dispostas ao educador, que deve saber planejar a aplicação do meio facilitador no momento adequado, em seu próprio contexto. O planejamento é crucial para a desenvoltura da atividade, invocando do educador, como mencionado, conhecimentos e habilidades específicas.

A partir das descrições apontadas, o quadro negro, os videogames, a máquina de impressão 3D e principalmente a internet como meio de comunicação no ensino, atualmente são amplamente utilizados na maioria dos países do mundo como

ferramentas educacionais. Apesar de ocorrer certo estímulo ou promoção para a utilização das Tecnologias, é importante considerarmos o cuidado de não utilizarmos a Tecnologia apenas para fornecer a informação, mas também para auxiliar na construção do conhecimento. Nossa motivação nesse trabalho vem do empenho na utilização consciente de novas Tecnologias na aprendizagem de Física, admitindo a falta de amplitude escolar em relacionar a aprendizagem como um processo exclusivamente pessoal, complementando os aspectos sociais, envolvendo a aprendizagem com todas as demandas, inclusive as tecnológicas.

Ainda é bem fundamentada a colocação de que a maioria dos alunos tem a imagem da Física como uma disciplina difícil, onde se faz necessário decorar fórmulas de origem muitas vezes desconhecida. O conteúdo é colocado de maneira tradicional, não relacionado com o cotidiano, desmotivando as aulas de Física (DOMINGUINI e VAQUERO, 2014). Uma possível abordagem que contribui para desmistificar essa imagem é a utilização da modelagem no ensino de Física, possibilitando um melhor entendimento do conteúdo e desenvolvimento cognitivo em geral, favorecendo a aprendizagem construtivista. A ciência é um processo de representação do mundo e no método de transposição didática podemos utilizar a impressão 3D como ferramenta representativa. Nessa perspectiva de apresentação escolhemos a Astronomia como tema eixo de contextualização.

Encontramos na Astronomia vários temas motivadores para o ensino de Ciências, não somente para a Física. A Astronomia é uma ciência natural que estuda objetos e fenômenos celestes. Sua interdisciplinaridade surge justamente da aplicação da Matemática, Física e Química no esforço para explicar a origem desses objetos e fenômenos e sua evolução. Ela é ainda uma das mais antigas Ciências Naturais e uma das poucas Ciências nas quais os amadores ainda desempenham um papel ativo. (MIMS, 1999). Todos esses fatos somados à divulgação informal de eventos astronômicos acabam por despertar a curiosidade e prender a atenção dos alunos. Vale lembrar que muitos tópicos de Astronomia estão diretamente ligados aos temas propostos no documento oficial do PCN+, (PCN+ Ensino Médio: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais). Mais especificamente o tema seis, (Universo, Terra e Vida), aborda plenamente a Astronomia, e serve de contexto do presente trabalho. Neste trabalho buscamos expor nossa experiência teórica e prática no emprego de impressão 3D para abordar Astronomia nas aulas de Física, afim de, facilitar a prática do professor que pretende

fazer uso dessa Tecnologia no processo de ensino, tanto no âmbito formal como no não formal. (LANGHI; NARDI, 2009).

A escolha da Astronomia como tema consolidou-se ao observarmos o cenário de controvérsia descrito por Roberto Junior, Reis e Germinaro (2014). De um lado a orientação dos PCN+ de inclusão de temas de Astronomia nas disciplinas de Física do ensino formal. Em contraste, os cursos de licenciatura em Física raramente oferecem uma formação básica adequada em Astronomia. Portanto a produção de material didático adequado e acessível aos professores é muito importante no cenário descrito.

Dentre os temas da Astronomia, escolhemos a Astronomia do Sistema Solar, nossa casa no Universo. Tão perto, em termos astronômicos, e ao mesmo tempo tão desconhecido. As últimas décadas nos brindaram com descobertas fantásticas no Sistema Solar. De novos mundos gelados além de Netuno a paisagens planetárias nunca imaginadas na ficção científica. Esse conhecimento recente ainda está em processo de transposição ao público não especialista, por cientistas, educadores e divulgadores de Astronomia. O produto educacional desenvolvido nesta dissertação pretende contribuir nesse sentido.

Capítulo 2

Fundamentação teórica e metodológica em ensino

2.1 Experimento didático e modelagem científica

Parece consenso entre os professores de que surgiriam diversos benefícios com o uso da experimentação nas aulas de Ciências, incluindo a melhoria da aprendizagem dos conteúdos ministrados. Na prática de experimentação, a modelagem científica é uma atividade crítica e uma poderosa estratégia para a aprendizagem significativa (SCHWARZ et al, 2009). Em termos gerais, a modelagem retrata um processo de elaboração de modelos ou se refere à apropriação de modelos já elaborados e em consenso. (DUZO, 2012). Em função disso, a modelagem abre espaço para análises, quer em relação à ciência, quer à teoria de modelos mentais, quer ao ensino de Ciências, como processo de desenvolvimento de aprendizagem. Representações internas, ou representações mentais, são maneiras de “simbolizar” internamente o mundo externo. As pessoas não captam o mundo exterior diretamente, elas constroem representações mentais (quer dizer, internas) dele. Mediando entre teorias e o mundo real, a construção de modelos é abstrair e transformar a representação de um sistema, permitindo que construtores de modelos criem teorias, testem hipóteses, analisem dados e façam previsões (DAVIS et al., 2008). Os modelos científicos são considerados essenciais na educação em Ciências, mostrando-se como uma ferramenta poderosa para envolver os estudantes a refletir sobre ciência. Os modelos científicos são, assim, essenciais para a aprendizagem da ciência, de como fazer ciência e sobre o que é ciência (TORRES, 2016).

No entanto, a modelagem científica raramente é incorporada ao laboratório de Ciências do ensino médio. Tradicionalmente, os alunos são informados da teoria com equações dadas em um laboratório de Ciências. Então, seu trabalho é simplesmente coletar dados para confirmar as equações dadas. Alguns pesquisadores afirmam que nas aulas de Física em particular, quando os experimentos didáticos são utilizados, normalmente está associada à observação e na repetição de procedimentos, com a finalidade de que venham a comprovar teorias. Nesta perspectiva, a experimentação acaba tendo pouco ou nenhum valor educacional (HODSON, 1997).

É preciso assumir que existem diferenças salutaras entre o laboratório tradicional e o experimento didático. Como aspecto chave podemos ainda focar na problemática da utilização do experimento didático em relação aos roteiros previamente estabelecidos pelos professores, donde estão todos os procedimentos a serem seguidos pelos estudantes, não sendo claro os propósitos pedagógicos subjacentes às atividades propostas. “Em geral, eles percebem as atividades práticas como eventos isolados onde o objetivo é chegar à resposta certa” (TAMIR, 1989). Diante dessa problemática é necessário criar diferentes oportunidades para que o ensino experimental e o ensino teórico se efetuem em concordância, permitindo ao estudante integrar conhecimento prático e conhecimento teórico.

Pensamos que os laboratórios de Física tradicionais no ensino médio têm dois grandes problemas. Primeiro, seguindo as instruções do laboratório passo a passo, os alunos focam quase inteiramente na adaptação de dados experimentais a teorias conhecidas. Poucos professores pedem aos estudantes que produzam modelos para ajustar os dados. Segundo, a maioria dos métodos de registro de dados é lenta, resultando em baixa taxa de amostragem e precisão. Em outras palavras, os professores de Ciências se concentram muito pouco no treinamento da investigação científica e empregam tempo demais nos livros didáticos. Como resultado, os estudantes geralmente são fracos em investigar, explicar, formular questões científicas e reunir evidências para apoiar hipóteses científicas. Isso exige mudanças nas aplicações experimentais no ensino de Ciências. (CHEN et al, 2014).

No intuito de inserir o experimento didático numa prática investigativa podemos incorporar vários aspectos da atividade científica desde que tais aspectos não sejam seguidos como um algoritmo. Na utilização do experimento didático devemos nos ater à importância de discutir junto aos estudantes os resultados, principalmente quando o manuseio do aparato experimental não apresenta os resultados esperados. Aceitamos e recomendamos a sugestão de Borges, 2002, onde “as investigações devam ser inicialmente simples e feitas em pequenos grupos, embora com um sentido claro de progressão ao longo do curso”. Aplicar o experimento didático consiste em apresentar aos estudantes situações abertas e com um nível de dificuldade adequado e favorecer a reflexão acerca da relevância de situações do cotidiano, inclusive das possíveis implicações relacionadas com a ciência. Os estudantes precisam ser desafiados a explorar, desenvolver e avaliar as suas próprias ideias, potencializando análises

qualitativas dos próprios experimentos. Devemos colocar a emissão de hipóteses como atividade central da investigação científica.

O ensino por si é uma atividade complexa e problemática, isso se deve ao fato de não existir uma receita mágica sobre as questões educacionais. O que pode ser compartilhado por todos são as diretrizes, mas a forma como são aplicadas se diferem atendendo as demandas provocadas pelos novos conhecimentos e valores. Entre estas demandas, estão as tecnológicas, que tem forte participação na vida cotidiana do educando, e por vezes são pouco valorizadas no ambiente educacional. A ineficiência do ensino de Ciências em todos os níveis de aprendizagem e sua ineficácia em atingir os anseios da sociedade é corroborada por vários autores. Em artigo de 2002, Borges, argumenta de maneira contundente, usando como referencia o resultado de avaliações que infelizmente atestam a fragmentação e possível limitação na aplicação dos conhecimentos aprendidos pelos estudantes. O autor do artigo salienta que, paralelamente às dificuldades gerais, existem várias dificuldades de aprendizagem particulares e características das disciplinas que compõem o currículo. (BORGES, 2002).

Buscando reverter esse quadro propusemos duas abordagens práticas com experimento didático baseado em impressão 3D, microcontroladores de *hardware* livre (Arduino) e telefone celular. O microcontrolador vem na tentativa de resolver os problemas relacionados ao antigo laboratório tradicional, incluindo baixa taxa de amostragem e baixa precisão na aquisição de dados, implicando negativamente no tempo limitado das aulas. Reduzimos o tempo na coleta de dados utilizando um microcontrolador associado a um pequeno servo motor e um *buzzer*, aumentando o tempo dedicado à plotagem de gráficos e à discussão do experimento. Desta forma, os alunos podem concentrar sua atenção em explicar a relação entre as variáveis de dados. Essa abordagem define um exemplo realista de aprendizado assistido por Tecnologia. (RUSSEL, 2004).

As ferramentas laboratoriais podem ser muito caras, levando a seu uso limitado no ambiente escolar, assim resolvemos construir nosso próprio aparato. O Arduino talvez lhe seja um velho amigo de projetos! Caso contrário, gostaríamos de gentilmente recomendar um aprofundamento no dispositivo, é barato, simples de operar e possui infinitas aplicações. A impressão 3D, por sua vez, já foi uma Tecnologia elitista, atualmente, você poderá adquirir uma máquina de impressão 3D completa com valor inferior ao de equipamentos de televisão, por exemplo. E por último, mas não menos

importante, uma das Tecnologias mais comuns e acessíveis são os próprios telefones celulares, que estão ficando mais inteligentes e mais baratos a cada ano. Para a maioria dos alunos, os celulares são considerados dispositivos de entretenimento e mesmo tomados como brinquedos, mas raramente pensados como ferramenta para investigação científica. Ao avaliar os dados do experimento didático, os alunos utilizaram ainda o *software Gnuplot*, que pode ser facilmente substituído por um gráfico manual com papel milimetrado.

Acreditamos que na condução do experimento didático, o cenário ideal é aquele no qual os estudantes proponham suas hipóteses de pesquisa e conduzam múltiplos testes para examinar os relacionamentos de causa e efeito. Não consideramos em nosso projeto a construção de um modelo matemático explícito que relacione uma variável dependente a uma ou mais variáveis independentes. Os alunos são convidados a fazer a experiência e coletar dados sem qualquer equação. Desta forma, propomos combinar algumas Tecnologias novas e baratas para a aquisição de dados, permitindo que os alunos experimentem a construção de modelos no trabalho de laboratório de Ciências.

2.2 Experiência sensorial: Cognição incorporada

A cognição incorporada é uma abordagem relativamente nova para examinar a cognição humana, enfatizando a importância da percepção sobre a aprendizagem conceitual. Tradicionalmente, os filósofos ocidentais pressupõem que a percepção e a concepção são absolutamente separadas umas das outras. De acordo com esse dualismo, a percepção sempre foi considerada Física por natureza, enquanto a concepção foi vista como puramente mental e, portanto, independente de nossas habilidades para perceber as coisas Físicas (SCHUARTZ, 1999). Junto com esta suposição filosófica, as teorias tradicionais de cognição assumem que o conhecimento é uma rede de proposições abstratas armazenadas na memória de longo prazo no formato de uma memória semântica que está separada da nossa percepção, ação corporal e estado mental. Já a cognição incorporada defende que a simulação de sentidos, estados corporais e ações contextualizadas constituem a base da cognição (BARSALOU, 2008).

A teoria da cognição incorporada sugere que as pessoas devem ter experiências perceptivas antes de construir representações multimodais e também para poder simular mentalmente o que está sendo apresentado. Até agora existem poucos estudos que examinaram os efeitos da experiência de percepção em termos da estrutura de cognição

incorporada. Mas já existem inferências que podem ser extraídas de estudos anteriores afirmando que a manipulação Física de objetos reais ou a adição de *feedback* tátil a uma simulação é uma possibilidade para o ensino (HAN, 2011)

Quantas vezes solicitamos o uso da imaginação de nossos alunos para tentar compreender um corpo ou sistema físico? A manipulação Física de objetos usando as mãos (sequência I do produto didático, que será apresentado adiante) durante o processamento de conceitos abstratos é uma maneira de melhorar a compreensão dos alunos. Muitos estudos mostram a influência positiva da manipulação física no aprendizado e na memória (Bara, Gentaz, Cole, & Sprenger-Charolles, 2004; Glenberg, Gutierrez, Levin, Japuntich e Kaschak, 2004; Lederman e Klatzky, 1987; Ramani & Siegler, 2008). A aprendizagem reforçada pelo uso de materiais que envolvem mais de uma modalidade sensorial não é exatamente uma novidade. A modelagem de terreno (3D) tem sido uma ferramenta útil para cartografia e geologia desde os primeiros globos de relevo da Terra feitos em 1752 (Destombes, 1978). Globos de relevo personalizados da Lua baseados em dados de telescópicos e orbitadores foram usados extensivamente para planejar os desembarques da Apollo. Essas imagens estéreo (3D) podem ser obtidas por câmeras em naves espaciais, *landrovers* ou na integração de imagens de mapeamento por orbitadores.

A habilidade humana de usar ferramentas baseia-se em nossa capacidade de integrar tanto a visão fina quanto a manipulação precisa de objetos. Eventos sensoriais táteis são processados no cérebro em paralelo com as redes neurais da visão e da audição (HARRAR e HARRIS, 2005). Para o devido reconhecimento da importância, devemos lembrar que, embora essa metodologia forneça recursos importantes para o ensino de Física e Ciências, ela é indispensável para o ensino aos deficientes visuais. Sua aplicação era restrita pela dependência (ou custo) substancial da mão de obra externa ao meio escolar, para criar e fornecer esse material. A capacidade de envolver múltiplos sentidos é umas vantagens mais básicas de usar modelos impressos em 3D na sala de aula. A Tecnologia de impressão 3D tem o potencial de permitir a construção real desses recursos e levá-los ao ambiente doméstico e escolar com baixo custo. São produzidos os mesmos recursos que envolviam todo um complexo de produção industrial até pouquíssimo tempo atrás.

2.3 Impressão 3D no ensino

O uso de Tecnologias de fabricação digital e impressão 3D para apoiar a educação não é exatamente um exercício de vanguarda. As disciplinas de arquitetura e engenharia foram pioneiras na adoção de Tecnologias de prototipagem rápida, sendo que uma variedade de benefícios foram identificados, decorrentes da incorporação dessas Tecnologias no ensino. Por exemplo, eles podem facilitar o aprendizado, desenvolver habilidades e aumentar o envolvimento do aluno, inspirar a criatividade, melhorar as atitudes em relação às disciplinas, ao mesmo tempo em que aumenta o interesse e o envolvimento dos professores. (BOHN, 1997; STIER, 2000; BERRY, 2010; HOROWITZ, 2014).

A impressão tridimensional pode ser utilizada para apresentar aos alunos conceitos básicos como representações Físicas ou formas Matemáticas, incluindo sólidos, fórmulas com gráficos uni, bi e tridimensionais. Além disso, o modelo 3D pode envolver os estudantes em diferentes sistemas de coordenadas (cartesiano, polar, etc.) e introduzindo (ou reforçando) métodos computacionais. Nesse sentido, a construção dos modelos torna-se um fim em si mesmo (HOROWITZ, 2014). Nossa proposta de utilização da impressão 3D não envolve a criação de modelos 3D. Nas abordagens propostas e testadas os alunos baixaram os modelos 3D (desenhos) existentes num banco de dados. A modelagem tridimensional é um passo importante para a utilização da técnica de impressão 3D, conquanto, ela não se faz necessária. Dessa maneira, ou seja, apenas acessando o banco de dados, os alunos podem aprender sobre as capacidades técnicas da impressão 3D, os materiais usados, as restrições de certos modelos digitais e a variedade de possíveis áreas de aplicação para suas impressões tridimensionais.

Os estudos relacionados ao uso da impressão 3D nas escolas e na educação abrangem todo o espectro, desde básico à superior. Para nosso propósito, pesquisamos brevemente por artigos referentes ao ensino médio. Por exemplo, em Ciências, a impressão 3D foi usada para introduzir a estrutura atômica nas aulas de Química com uma correlação positiva encontrada entre a sua integração no ensino e a aprendizagem do aluno (CHERY, 2015). Enquanto isso, na Física, os estudantes de escolas secundárias japonesas aprenderam sobre frequência de áudio através da criação de apitos impressos em 3D (MAKINO et al, 2017; MADURA, 2017).

Estudos demonstraram ainda como os benefícios da apresentação oral podem surgir do uso da impressão 3D (SCHELLY, 2015) e como as visualizações impressas em 3D podem ajudar no ensino de geometria espacial, com a capacidade de rotação tridimensional particularmente promovida (CHEN, 2014). Este último estudo, juntamente com muitos dos descritos acima, destaca as vantagens de artefatos impressos em 3D em relação a artefatos virtuais baseados em tela; eles permitem a construção autogerida e a capacidade de trabalho independente (EISENBERG, 2013). A inclusão da impressão 3D nos currículos escolares também é positiva na perspectiva pedagógica, pois pode proporcionar oportunidades para diferentes estilos de aprendizagem a serem praticados, incluindo a aprendizagem experimental (BLIKSTEIN, 2013). Por fim, com grande abrangência, a impressão 3D também tornou-se uma ferramenta popular no ensino robótico, como um meio de baixo custo para o apoio ao desenvolvimento de robôs educacionais (WONG, 2016; GONZALEZ-GOMEZ, 2012; VANDEVELDE, 2016).

A impressão 3D está sendo usada em ambientes de educação especial para pessoas com deficiências visuais, motoras e cognitivas. Dentro dessas configurações, há vários exemplos de impressão 3D sendo usados por alunos com deficiências visuais, motoras e cognitivas, juntamente com combinações dos três. O uso da impressão 3D em tais configurações está possibilitando a criação de dispositivos adaptativos personalizados e ajudas educacionais, ao mesmo tempo em que possibilita maior envolvimento dos alunos com assuntos STEM, sigla em inglês para Science, Technology, Engineering e Mathematics (Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática, em português). Para ajudar alunos deficientes visuais e cegos, a impressão 3D está sendo usada para criar uma série de artefatos táteis, incluindo modelos tridimensionais para auxiliar no ensino de programação; Matemática; alfabetização e na composição de livros ilustrados; mapas de Geociências; mapas astronômicos e livros de história. (KELLEY, KNOWLES, 2016; MAHIL, 2016, KRAUS, 2016).

Apesar dos benefícios potenciais da impressão 3D no ensino, existem muitas barreiras à integração de novas Tecnologias no sistema educacional. Juntamente com as barreiras institucionais, culturais, de avaliação e de recursos, podemos incluir também as atitudes e crenças do professor, além de seu conhecimento e habilidade. Como uma nova Tecnologia de fabricação digital, a impressão 3D não está imune a esses desafios de integração. BULL et al, em 2014 observa que no sistema de ensino vigente “a atual geração de professores não está bem posicionada para tirar proveito

dessa capacidade” . Essa falta de prontidão deriva do fato de que “muitos professores não entendem completamente os dispositivos, *engineering habits of mind* e *design thinking*. Atualmente estas especializações não são oferecidas em programas de preparação de professores”. Concluindo também que os professores não estão recebendo orientação suficiente sobre o uso e manutenção de impressoras 3D (BULL et al, 2015). Essa conjuntura representa uma necessidade mais geral no sistema educacional de ensinar os educadores sobre a impressão 3D, apoiando o desenvolvimento profissional deles e capacitando-os para ensinar outros colegas.

Durante um mestrado em Educação em Ciências Aplicadas na Universidade Tecnológica de Michigan, as impressoras RepRap 3D foram usadas durante um curso de duas semanas que apresentou aos alunos o processo de construção e teste da máquina. No *feedback* pós-curso aplicado para dezoito participantes que completaram a atividade, o curso foi classificado como muito bom. Além disso, dois professores de Biologia do ensino médio que participaram do curso também participaram de um workshop de dois dias para construção de suas próprias impressoras 3D. Os dois construíram com sucesso as máquinas e continuaram a usá-las para auxiliar em seus experimentos científicos em sala de aula (IRWIN et al, 2014).

A incorporação da impressão 3D no ensino de Física ou outras disciplinas não é isenta de problemas. Assim, vamos aos desafios. Alguns problemas surgem no processo de impressão e operação do dispositivo e levam a objetos impressos em 3D que não apresentam o desempenho esperado. Devemos incluir também o tempo que leva para os modelos 3D serem impressos; e os “custos da impressão 3D”. Sobre os custos, vale lembrar que devem ser relativizados. Apesar de saber que o orçamento da impressão 3D pode não fazer parte do contexto de trabalho do professor, estudos indicam que esta opção pode ser bastante econômica (MCMENAMIM et al, 2014). Por exemplo, com relação a modelos de anatomia do corpo humano, estima-se que os modelos impressos em 3D sejam 10 a 20 vezes mais baratos do que as alternativas comerciais produzidas com plástico. (ADAMS, 2016). O baixo custo de produzir peças pedagógicas usando impressão 3D também foi reconhecido nas aulas de química. Uma estimativa do custo das estruturas moleculares de impressão 3D projetadas usando o *software* CAD *freeware* aponta que elas custam menos de um quinto do preço dos modelos comercialmente disponíveis (GRIFFITH et al, 2016).

Enquanto isso, no ensino médio, o contato dos alunos com a impressão 3D se dá principalmente por meio de atividades de divulgação, e não durante o currículo formal.

Atualmente, existem apenas bolsões (ilhas) isolados de adoção de impressão 3D no ensino fundamental e médio, com base na experiência, confiança e entusiasmo de algum educador em relação à impressão 3D. Isso reflete a exposição atualmente limitada e o treinamento escasso recebido pelos educadores. Acreditamos que para que os educadores do ensino fundamental e médio desenvolvam a experiência e a confiança necessárias para incorporar a impressão 3D ao ensino, é necessário incluir mais componentes educacionais de impressão 3D nos cursos de licenciatura, bem como uma ampla gama de oficinas para informar os professores que estão em formação continuada. É também necessário melhorar o acesso aos materiais de ensino, juntamente com a melhoria das competências de ensino. Esta questão de “ensinar Tecnologia de impressão 3D aos professores” é premente e parece ter sido negligenciada até o momento.

2.4 Ensino de Astronomia no Brasil

A intenção de trabalhar com a temática voltada à Astronomia, um importante ramo da Ciência e do conhecimento humano, ainda pouco aprofundada no ensino fundamental e médio, além do pendor pessoal, foi respaldada também nos anseios que serão narrados adiante. A Astronomia, bem como diversas outras áreas da Física, não recebem o devido crédito e atenção na educação por uma série de fatores, que vão da preparação do docente até o material didático, aos quais não privilegiam as temáticas que não estejam relacionadas aos temas do currículo clássico (LIMA, 2018)

A Astronomia é uma das Ciências mais antigas conhecidas, servindo como a base de muitas Ciências modernas. E defronte para a Ciência e a Tecnologia, a Astronomia permanece até hoje na atenção e interesse do público. Acreditamos que para os contextos educacionais, considerando especificamente sua presença na sala de aula em todos os níveis, incluindo o superior, a conjuntura não remonta um cenário condizente com sua importância. Em tempo, a Astronomia não é uma disciplina obrigatória para a maioria dos cursos de licenciatura em Física. Não se faz necessária uma profunda pesquisa sistemática para encontrarmos estudos que revelam a realidade dos estudantes universitários brasileiros nos cursos de licenciatura em Física. Os alunos de licenciatura não tem acesso aos conceitos básicos de Astronomia durante a formação, não conseguindo desempenhar o ensino dessa ciência (LANGHI, 2005) A falta de compreensão e experiência dos professores não é o único limitador no ensino de

Astronomia. Para os educadores que já empenharam esforços no ensino de Astronomia não é surpresa que esses tópicos sejam abordados esporadicamente nos livros didáticos, mesmo que com a melhora nos últimos anos devido às avaliações do PNLD (Programa Nacional do Livro e do Material Didático). Antes dessa “melhora” são relatados no escopo da Astronomia, inclusive, erros conceituais e históricos nos livros didáticos (LANGHI; NARDI, 2007).

Após a normatização de fatores fundamentais no ensino de Física através das diretrizes dos PCN (Parâmetros Curriculares Nacionais), foi elaborado também o PCN+, que são orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais com a intenção de explicitar a articulação das competências gerais que se deseja promover com os conhecimentos disciplinares e estabelece temas estruturadores nas disciplinas do ensino médio (BRASIL, 2000). O PCN+ coloca que:

“a Física deve apresentar-se, portanto, como um conjunto de competências específicas que permitam perceber e lidar com os fenômenos naturais e tecnológicos, presentes tanto no cotidiano mais imediato quanto na compreensão do universo distante, a partir de princípios, leis e modelos por ela construídos. Isso implica, também, na introdução à linguagem própria da Física, que faz uso de conceitos e terminologia bem definidos, além de suas formas de expressão, que envolvem, muitas vezes, tabelas, gráficos ou relações Matemáticas. Ao mesmo tempo, a Física deve vir a ser reconhecida como um processo cuja construção ocorreu ao longo da história da humanidade, impregnado de contribuições culturais, econômicas e sociais, que vem resultando no desenvolvimento de diferentes Tecnologias e, por sua vez, por elas impulsionado.” (BRASIL, 2002)

Muitas das principais competências em Física esperadas ao final da escolaridade básica posicionadas pelos PCN+, de maneira equivalente ao que já foi apresentado nos PCN, são conexas com o objetivo da metodologia empregada nas nossas sequências didáticas. Destacamos duas que vão diretamente ao encontro das atribuições da metodologia empregada no produto didático.

1. MEDIDAS, QUANTIFICAÇÕES, GRANDEZAS E ESCALAS: Selecionar e utilizar instrumentos de medição e de cálculo, representar dados e utilizar escalas, fazer estimativas, elaborar hipóteses e interpretar resultados.
 - Fazer uso de formas e instrumentos de medida apropriados para estabelecer comparações quantitativas. Por exemplo, escolher a forma adequada para medir quantidade de água presente em um copo ou a

quantidade de alimento em uma embalagem. Ou escolher a melhor forma para medir o comprimento de uma sala ou a distância percorrida em um trajeto longo.

- Fazer estimativas de ordens de grandeza para poder fazer previsões. Por exemplo, estimar o volume de água de um tanque ou uma piscina e o tempo necessário para esvaziá-los.
- Compreender a necessidade e fazer uso de escalas apropriadas para ser capaz de construir gráficos ou representações como, por exemplo, a planta de uma casa ou o mapa de uma cidade.

2. MODELOS EXPLICATIVOS E REPRESENTATIVOS: Reconhecer, utilizar, interpretar e propor modelos explicativos para fenômenos ou sistemas naturais ou tecnológicos.

- Conhecer modelos físicos microscópicos, para adquirir uma compreensão mais profunda dos fenômenos e utilizá-los na análise de situações problema. Por exemplo, utilizar modelos microscópicos do calor, para explicar as propriedades térmicas dos materiais ou, ainda, modelos da constituição da matéria para explicar a absorção de luz e as cores dos objetos.
- Interpretar e fazer uso de modelos explicativos, reconhecendo suas condições de aplicação. Por exemplo, utilizar o modelo de olho humano para compreender os defeitos visuais e suas lentes corretoras, ou o modelo de funcionamento de um gerador.
- Elaborar modelos simplificados de determinadas situações, a partir dos quais seja possível levantar hipóteses e fazer previsões. Por exemplo, levantar hipóteses sobre as possíveis causas de interrupção do fornecimento da energia elétrica ou prever o tipo de lentes e a montagem necessária para projetar uma imagem numa tela. (BRASIL, 2002)

Além das competências desejadas, os PCN+ relaciona uma lista de temas estruturadores para o ensino de Física, aos quais são apresentados abaixo.

- Movimentos: variações e conservações;
- Calor, Ambiente, Fontes e Usos de Energia;
- Equipamentos Eletromagnéticos e Telecomunicações;
- Som, Imagem e Informação;
- Matéria e Radiação;
- Universo, Terra e Vida;

O tema “Universo, Terra e Vida”, segundo o PCN+ é considerado indispensável para a compreensão da natureza cosmológica, permitindo ao jovem refletir sobre sua presença e seu “lugar” na história do universo, tanto no tempo como no espaço, do ponto de vista da Ciência. Apesar de sabermos que existem inúmeras possibilidades de propostas educacionais que podemos relacionar com os assuntos de Astronomia e com outras temáticas propostas, esse tema teve papel central desde as reflexões de planejamento até a constituição final do produto didático desenvolvido.

Fica evidente que a Astronomia desempenha um papel importante no ensino das Ciências Naturais, com muitas ligações diretas a outras Ciências (além da própria Física, por exemplo, Matemática, Química e as Geociências). Ela tem um importante conteúdo cultural, incluindo nossas origens, o reconhecimento da localização e extensão no espaço e no tempo, as considerações cosmológicas, bem como as filosóficas em geral. Seus sucessos recentes são em grande parte dependentes de Tecnologias avançadas e metodologias, tais como ótica, eletrônica, técnicas de detecção em todos os comprimentos de onda, técnicas de computação, como processamento de imagens, transferência, armazenamento e análise de conjuntos de dados muito grandes.

Apesar de toda a magnitude da potencialidade dos cenários que envolvem o ensino de Física através da temática Astronomia, e a manifestação direta da sua relevância nos documentos oficiais, nos deparamos com uma realidade ambivalente, onde os professores saem dos cursos de licenciatura em Física com escassez de fundamentação sobre o tema, quando não o completo analfabetismo técnico. Esse tipo de qualificação gera insegurança para abordar o tema e é responsável pelo declínio na compreensão da importância da Astronomia. Segundo ARTUR et al, em 2014:

“...temos um cenário de controvérsia. De um lado estão os cursos de Licenciatura em Física que não têm regulamentada uma orientação para que ofereçam uma formação básica mínima em Astronomia para os futuros professores. Do outro lado está o professor de Física do ensino médio, que orientado pelos PCN+ deve inserir conteúdos de Astronomia na disciplina de Física.” (ARTUR et al, 2014)

Capítulo 3

Fundamentação teórica em astronomia

3.1 Pequenos corpos do Sistema Solar

Em agosto de 2012, após uma jornada de 36 anos, a sonda Voyager alcançou finalmente o limite do Sistema Solar. A análise foi publicada em 2013 na revista *Science* após longa discussão entre pesquisadores da área (KERR, 2013). A discussão aconteceu devido à dificuldade de interpretar os dados enviados pelos poucos instrumentos ainda operacionais na sonda, lançada com sua irmã Voyager 2 em 1977. A nave se tornou o primeiro artefato humano a cruzar a heliopausa - termo que designa a região externa do Sistema Solar - e iniciou sua navegação pelo vasto espaço interestelar. A distância estimada dessa fronteira é de 18 bilhões de quilômetros do Sol. Para permitir uma comparação mais direta das distâncias no Sistema Solar, os astrônomos utilizam um "metro planetário" chamado Unidade Astronômica (UA). 1 (uma) UA é equivalente à distância média entre a Terra e o Sol, ou seja, aproximadamente 150 milhões de quilômetros ($1,50 \times 10^{11}$ m). Fazendo a conversão, temos uma distância aproximada de 122 UA até o fim da heliopausa. Para comparação, o raio médio da órbita de Netuno, o planeta mais distante do Sol conhecido, é de 30 UA e de Mercúrio, o planeta mais próximo ao Sol, de 0,4 UA. Independente da discussão acerca do ponto exato onde o Sistema Solar termina, surgem questões importantes: se olharmos para dentro do Sistema Solar nesse ponto, o que veremos? Quais objetos? Quais suas dimensões, órbitas, composições e estruturas? A seguir, vamos definir o que é o Sistema Solar e classificar seus componentes.

O Sistema Solar é o sistema de objetos ligados gravitacionalmente ao Sol, ou seja, o conjunto de objetos que orbitam, direta ou indiretamente, a nossa estrela central. Os principais componentes do Sistema Solar são, sem dúvida, os oito planetas: Mercúrio, Vênus, Terra, Marte, Júpiter (o de maior massa), Saturno, Urano e Netuno (o mais distante do Sol). A maioria do público não especialista, incluindo docentes do ensino básico (e até material didático utilizado por eles), ainda tem uma visão excessivamente simplificada, vazia, do Sistema Solar: Sol, planetas, Lua e alguns poucos outros objetos menores, representados, muitas vezes, com escalas de distância de suas órbitas erradas. Como veremos, atualmente há um número muito grande de

objetos conhecidos, classificados de diferentes formas, um verdadeiro zoológico astronômico. Como exemplo, uma classe de pequenas rochas cósmicas (sem importância à primeira vista) pode, como veremos adiante, trazer riscos enormes à Humanidade caso colidam com a Terra, exigindo atenção maior que corpos planetários distantes e gelados.

Os componentes do Sistema Solar podem ser classificados como planeta, planeta anão, satélite natural, Pequenos Corpos do Sistema Solar (PCSS) e meio interplanetário (SPOHN, BREUER & JOHNSON, 2014; KARTTUNEN et al., 2017). De acordo com a Resolução B5 da União Astronômica Internacional (UAI) de 2006 (IAU 2006), planeta é todo corpo que orbita o Sol, que tem massa suficiente para que a atração gravitacional supere sua rigidez e ele assuma uma forma de equilíbrio hidrostático (ou seja, aproximadamente esférica), e que tenha limpado as vizinhanças de sua órbita (via perturbações gravitacionais nos corpos próximos). Planetas anões são objetos que não satisfazem a última condição para ser classificado como um planeta, ou seja, não realizaram a limpeza de sua órbita, induzindo perturbações gravitacionais nos corpos que existirem nas vizinhanças. Atualmente a UAI reconhece 5 planetas anões: Ceres (localizado entre as órbitas de Marte e Júpiter), Plutão, Haumea, Makemake e Éris, que estão além da órbita de Netuno. Há uma lista de objetos aguardando novas observações para que sejam definitivamente classificados como planetas anões. Não estão incluídos nessa categoria os satélites naturais. Os satélites naturais são quaisquer corpos que orbitam um planeta, um planeta anão ou mesmo um PCSS. O termo artificial é utilizado para aqueles objetos que foram construídos pelo homem. O meio interplanetário - meio que permeia as órbitas dos planetas, planetas anões, satélites e PCSS - é composto por poeira, vento solar e raios cósmicos.

Por fim, os PCSS são uma classe heterogênea de objetos, que podem ser classificados internamente de diferentes maneiras (SPOHN, BREUER & JOHNSON, 2014; KARTTUNEN et al., 2017). Uma maneira direta de definir um PCSS é observando o que ele não é: são objetos que não são nem planetas, nem planetas anões, nem satélites naturais. Um esquema bastante utilizado classifica os PCSS como asteroides, troianos, centauros, cometas, objetos transnetunianos (OTN) e meteoroides. No tema de Astronomia escolhido no desenvolvimento do presente produto educacional (mais especificamente, no tema escolhido dentro da Astronomia do Sistema Solar) optamos por versar sobre os asteroides, que serão descritos em mais detalhes no próximo parágrafo. Cometas são objetos compostos por uma mistura de gelo, rochas e

poeira, com diâmetro na ordem de 10 km ou menos. São originários das regiões externas do Sistema Solar, com distância ao Sol maior que a órbita de Netuno. Acredita-se que essas regiões sejam povoadas por milhões de objetos e alguns deles assumem órbitas alongadas (ou seja, órbitas elípticas com grande excentricidade), aproximando-se do Sol. Na aproximação os cometas exibem suas características mais marcantes. A evaporação do gelo forma uma atmosfera, a chamada coma, em torno do núcleo cometário. O vapor e as partículas que se desprendem nesse processo formam duas caudas, uma de gás e outra de poeira. OTN são PCSS que orbitam o Sol a uma distância (média) maior que a da órbita de Netuno. São classificados como OTN do cinturão de Kuiper ou OTN do disco espalhado. A designação é ambígua e pode, dependendo do contexto, incluir outros objetos. Plutão, por exemplo, é um objeto transnetuniano, porém não é um PCSS e sim um planeta anão. Meteoroides são fragmentos rochosos e/ou metálicos cujos tamanhos são menores que alguns metros: pequenos demais para serem classificados como asteroides, grandes demais para serem considerados meio interplanetário.

Os asteroides formam uma população de milhões de pequenos corpos encontrados na região interna do Sistema Solar, concentrados entre Marte e Júpiter no chamado cinturão de asteroides (ou cinturão principal de asteroides). Suas composições variam bastante, de rochas metálicas fundidas à misturas de rochas e gelos, assim como suas dimensões, que vão de centenas de quilômetros a alguns metros. São classificados de acordo com as propriedades dinâmicas de suas órbitas (famílias) e propriedades espectrais (relacionadas às suas composições químicas). Alguns possuem satélites e anéis. O estudo dos asteroides é fundamental para compreender a formação e evolução do Sistema Solar, o que inclui entender o passado e prever o futuro da Terra e da Humanidade (SPOHN, BREUER & JOHNSON, 2014). São restos intocados do Sistema Solar primitivo, fósseis da formação dos planetas interiores (Mercúrio, Vênus, Terra e Marte), que fornecem pistas da mistura química primordial da qual esses planetas foram formados há 4,6 bilhões de anos. Além de contribuir nas respostas às questões básicas, no início do Séc. XX já foi vislumbrado o potencial econômico na prospecção de recursos em asteroides e cometas: minérios, água, compostos ricos em carbono, energia para viagens espaciais, etc. (CALLA & WELCH, 2018; FOUST, 2019). E mais: como já mencionado e como será visto nas próximas seções, a identificação e acompanhamento de asteroides com órbitas que passam próximos à Terra é fundamental para a sobrevivência da Humanidade. Muito do que conhecemos desses corpos foi

obtido pela análise de meteoritos, que são meteoroides que conseguiram sobreviver ao atrito da entrada na atmosfera e foram recuperados após o impacto com o solo. Cerca de metade da massa do cinturão está contida nos quatro maiores asteroides: Ceres, Vesta, Palas e Hígia. A massa total do cinturão de asteroides é aproximadamente 4% da massa da Lua e a teoria mais aceita atualmente considera que se formaram simultaneamente com os maiores planetas do Sistema Solar. Não é possível observar asteroides com a vista desarmada (*i.e.* auxílio de sem instrumentos ópticos). A figura a seguir contempla a imagem de alguns asteroides em escala.

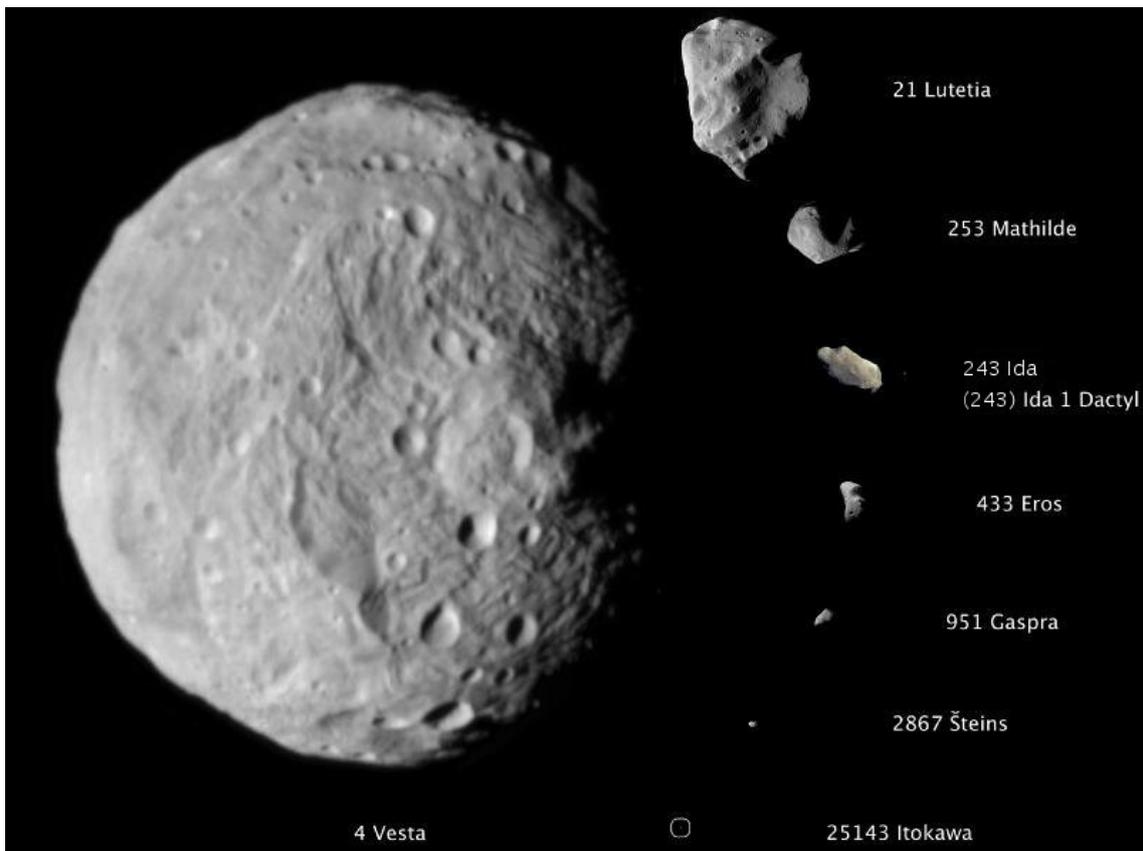


Figura 3.1. Uma imagem composta, em escala, dos asteroides que foram fotografados em alta resolução, exceto Ceres. A partir de 2011, eles são, do maior para o menor: 4 Vesta, 21 Lutetia, 253 Mathilde, 243 Ida e sua lua Dactyl, 433 Eros, 951 Gaspra, 2867 Šteins, 25143 Itokawa. Disponível em NASA/JPL-Caltech/JAXA/ESA - http://dawn.jpl.nasa.gov/multimedia/images/571372main_pia14316-43_800-600.jpg.

3.2 Tipos de asteroides e suas classificações

3.2.1 Classificação orbital

Asteroides são comumente classificados de acordo com dois critérios: as características de suas órbitas e as características de seu espectro de refletância. Muitos asteroides foram colocados em grupos e famílias com base em suas características orbitais. Além das divisões mais amplas, costuma-se nomear um grupo de asteroides após o primeiro membro desse grupo a ser descoberto. Os grupos são associações dinâmicas relativamente “frouxas”, enquanto as famílias são mais resistentes e resultam da ruptura de um grande asteroide pai num momento do passado.

As famílias são mais comuns e mais fáceis de identificar quando estão dentro do cinturão principal de asteroides, mas várias famílias pequenas são registradas fora dele. As famílias do cinturão principal foram reconhecidas pela primeira vez por Kiyotsugu Hirayama em 1918 e são frequentemente chamadas de famílias de Hirayama em sua homenagem. Cerca de 30% a 35% dos corpos no cinturão de asteroides pertencem a famílias dinâmicas, cada uma com origem comum em uma colisão passada entre asteroides (SPOHN, BREUER & JOHNSON, 2014; HIRAYAMA, 1918).

3.2.2 *Classificação espectral*

Em 1975, foi introduzido um sistema taxonômico de asteroides baseado na cor, albedo (medida do poder de reflexão da luz solar de um corpo) e características espectrais, justamente propriedades que indicam a composição do material da superfície do asteroide. O sistema de classificação original tinha três categorias: o tipo C para objetos escuros com carbono em sua formação (correspondendo a 75% de asteroides conhecidos), o tipo S para objetos rochosos (silício) (cerca de 17% dos asteroides conhecidos) e tipo U para aqueles que não se encaixam em C ou S. Posteriormente essa classificação foi expandida para incluir muitos outros tipos de asteroides, sendo que o número de tipos continua a crescer à medida que mais asteroides são estudados (THOLEN, 1989).

Os dois sistemas de taxonomia mais utilizados atualmente são a classificação Tholen e a classificação SMASS. Ambos os sistemas possuem três amplas categorias chamadas asteroides C, asteroides S, e asteroides X, onde X é composto por asteroides principalmente metálicos, entre várias classes menores. Como mencionamos, originalmente, as designações espectrais eram baseadas em inferências da composição de um asteroide. No entanto, a correspondência entre a classe espectral e composição nem sempre é muito boa, e uma variedade de classificações está em uso. Infelizmente,

isso levou a uma confusão significativa. Assim, embora os asteroides de diferentes classificações espectrais provavelmente sejam compostos de materiais diferentes, não há garantias de que os asteroides dentro da mesma classe taxonômica sejam compostos de materiais parecidos (BUS, 2002; SPOHN, BREUER & JOHNSON, 2014).

3.3 Objetos Próximos a Terra

Objetos Próximos à Terra (da sigla em inglês NEO, para *Near Earth Objects*) são PCSS que foram arremessados, por interação gravitacional de planetas próximos, para órbitas que passam nas vizinhanças da Terra. Mais especificamente, NEO são asteroides ou cometas cujas órbitas têm ponto de maior aproximação do Sol (chamado afélio) menor que 1,3 UA (ou seja, órbitas com potencial de se aproximar da trajetória da Terra. A vasta maioria dos NEO são asteroides, referidos pela sigla (do inglês) NEA, *Near Earth Asteroids*. Os NEAs sobrevivem em suas órbitas por apenas alguns milhões de anos e são eventualmente eliminados por perturbações planetárias, causando sua ejeção do Sistema Solar ou uma colisão com o Sol ou um planeta. Em junho de 2016 eram conhecidos mais de quatorze mil asteroides próximos da Terra, ao qual, deste número, estima-se que a maior parte seja de objetos “pequenos”, com diâmetro de alguns campos de futebol. Cerca de mil objetos tem mais de um quilômetro de diâmetro. Entre esses últimos alguns podem passar de 10 km de diâmetro ou semieixo maior, como é o caso de 433 Eros.

433 Eros é um asteroide cujo nome foi dado em homenagem ao deus da paixão na mitologia grega e tem dimensões de aproximadamente 13km×13 km×33 km. É o segundo maior NEA depois de 1036 Ganímedes, sendo um dos poucos asteroides com órbita próxima a Terra com diâmetro maior que 10 km. Acredita-se ser maior do que o que caiu na península de Yucatán, formando a cratera de Chicxulub à qual é atribuída a causa da extinção dos dinossauros (NASA, 2018).

Com vidas orbitais curtas em comparação com a idade do Sistema Solar, novos asteroides devem ser constantemente movidos para órbitas próximas da Terra. A origem aceita para eles é que os asteroides do cinturão principal são movidos para o interior do Sistema Solar através da influência de ressonâncias gravitacionais periódicas, causadas usualmente porque os períodos orbitais em torno do Sol dos corpos em questão são uma razão de números inteiros; por exemplo, a ressonância 3:1 significa que um corpo tem

três vezes o período orbital do outro. O cinturão de asteroides tem lacunas, conhecidas como lacunas de Kirkwood, onde essas ressonâncias ocorrem. Quando os asteroides entram nessa região de ressonância são movidos para outras órbitas. Como sempre existem novos asteroides migrando para essas zonas de ressonâncias, ocorre um fornecimento contínuo de asteroides que acabam ficando próximos à Terra. As propriedades observadas nos NEA são semelhantes às observadas dos asteroides do cinturão principal, fortalecendo a hipótese que seja originário dessa região do Sistema Solar (DELGRANDE & SOANES, 1943; FERRAZ-MELLO, 1993).

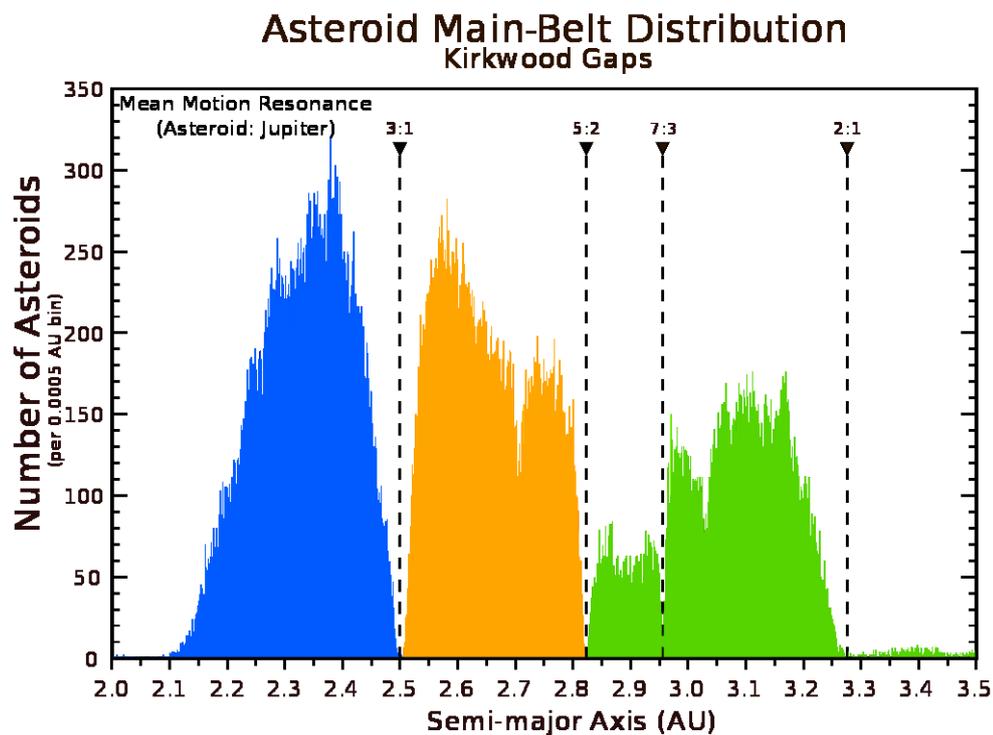
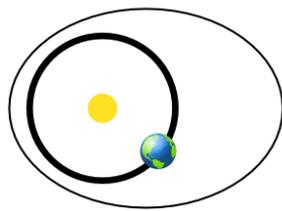


Figura 3.2. Um gráfico da distribuição de semieixos maiores, mostrando as lacunas de Kirkwood onde as órbitas são desestabilizadas por ressonâncias com Júpiter, by Alan Chamberlain, JPL/Caltech - http://ssd.jpl.nasa.gov/images/ast_histo.ps, domínio público.

3.4 Órbitas relativas de Asteroides Próximos à Terra

Os NEA são classificados de acordo com os parâmetros de suas órbitas elípticas: semi-eixo principal (a), distância do periélio (q) e distância do afélio (Q). Assim podemos dividi-los da seguinte forma (NASA, 2018).

- Os Atiras têm órbitas estritamente dentro da órbita da Terra. A distância do afélio de um asteroide Atira (Q) é menor do que a distância do periélio da Terra (0,983 UA). Ou seja, $Q < 0,983$ UA.
- Os Atens têm um semi-eixo inferior ao da órbita da Terra. Matematicamente, $q < 1,0$ UA e $Q > 0,983$ UA.
- Os Apolos têm um semi-eixo superior ao da órbita da Terra. Matematicamente, $a > 1,0$ UA e $q < 1,017$ UA.
- Os Amors têm órbitas estritamente fora da órbita da Terra: a distância do periélio de um asteróide de Amor (q) é maior do que a distância do afélio da Terra (1.017 UA). Os asteróides de amor também são objetos próximos da Terra. Em resumo, $1,017$ UA $< q < 1,3$ UA. (Isso implica que o semi-eixo maior do asteroide (a) também é maior que 1.017 UA.) Algumas órbitas de asteróides de Amor cruzam a órbita de Marte.



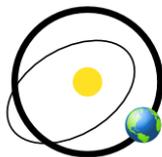
$$a > 1.0 \text{ AU}$$

$$1.017 \text{ AU} < q < 1.3 \text{ AU}$$



$$a > 1.0 \text{ AU}$$

$$q < 1.017 \text{ AU}$$



$$a < 1.0 \text{ AU}$$

$$Q > 0.983 \text{ AU}$$



$$a < 1.0 \text{ AU}$$

$$Q < 0.983 \text{ AU}$$

Figura 3.3. Órbitas de asteroides. Adaptado. CNEAS, NASA 2018, https://cneos.jpl.nasa.gov/images/neo_orbit_types.jpg

Entre os asteroides dessa classificação, os Atiras e os Amors não cruzam a órbita da Terra e não são ameaças imediatas de impacto, mas merecem atenção, pois suas órbitas podem mudar para se tornar órbitas que cruzam a Terra no futuro. As outras órbitas representam sempre algum risco. Os NEA ainda podem ser classificados como Asteroides Potencialmente Perigosos (sigla PHA, do inglês). São objetos que possuem uma distância de intersecção orbital mínima com a Terra menor que 0,05 UA e têm magnitude absoluta de 22 ou maior brilho. A magnitude absoluta é uma medida de brilho utilizada em Astronomia e, no caso dos PHA, está diretamente relacionada ao seu tamanho.

3.5 Métodos de Estudos dos Asteroides

Antes de tratar sobre os métodos de estudos atualmente utilizados para estudo dos asteroides, é conveniente listar quais propriedades são observáveis. A principal delas é, sem dúvida, sua classificação como com um asteroide (métodos de descoberta), que avançaram muito nas últimas décadas (em termos de instrumentação e técnicas) e permitiram um aumento exponencial no número de objetos conhecidos. A seguir, podemos agrupar as propriedades fundamentais dos asteroides nos seguintes grupos (SPOHN, BREUER & JOHNSON, 2014):

- i. Localização e parâmetros orbitais;
- ii. Propriedades físicas e composição;
- iii. Tamanhos e formatos (conhecendo a massa do objeto, ainda podem ser inferir densidades, porosidades e taxas de rotação).

Vamos nos concentrar nos métodos utilizados para determinar as propriedades do terceiro item. As outras propriedades também são muito importantes (as propriedades “i” e “ii”, por exemplo, são fundamentais para as classificações mencionadas nas subseções 3.2.1 e 3.2.3), mas fogem do escopo deste trabalho. Atualmente as técnicas utilizadas para determinar os tamanhos e formatos são: (MUELLER, 2018).

- Inversão da curva de luz;

- Ocultações;
- Radiometria (utiliza a emissão do objeto no infravermelho);
- Observações com radar (bastante utilizada com NEO/NEA);
- Imageamento direto (utiliza telescópios no solo e sonda espaciais).

Como o produto educacional versa sobre as duas primeiras técnicas, vamos dar alguns detalhes sobre elas abaixo.

3.5.1. Inversão da curva de luz

Uma curva de luz é um gráfico do brilho do asteroide em função do tempo. Se o objeto for perfeitamente esférico e com superfície de composição homogênea (ou seja, que reflete aproximadamente a mesma fração de luz em toda sua superfície), sua curva de luz será um patamar constante, com intensidade independente da sua posição no movimento em torno do eixo de rotação. Caso o objeto seja irregular, a curva de luz apresentará modulações que dependerão do formato do objeto e de sua velocidade de rotação como ilustrado na figura abaixo. A geometria do asteroide, mostrada na parte superior da figura, é desconhecida e inferida a partir da curva de luz mostrada na figura 3.4 abaixo (usualmente utilizando códigos computacionais).

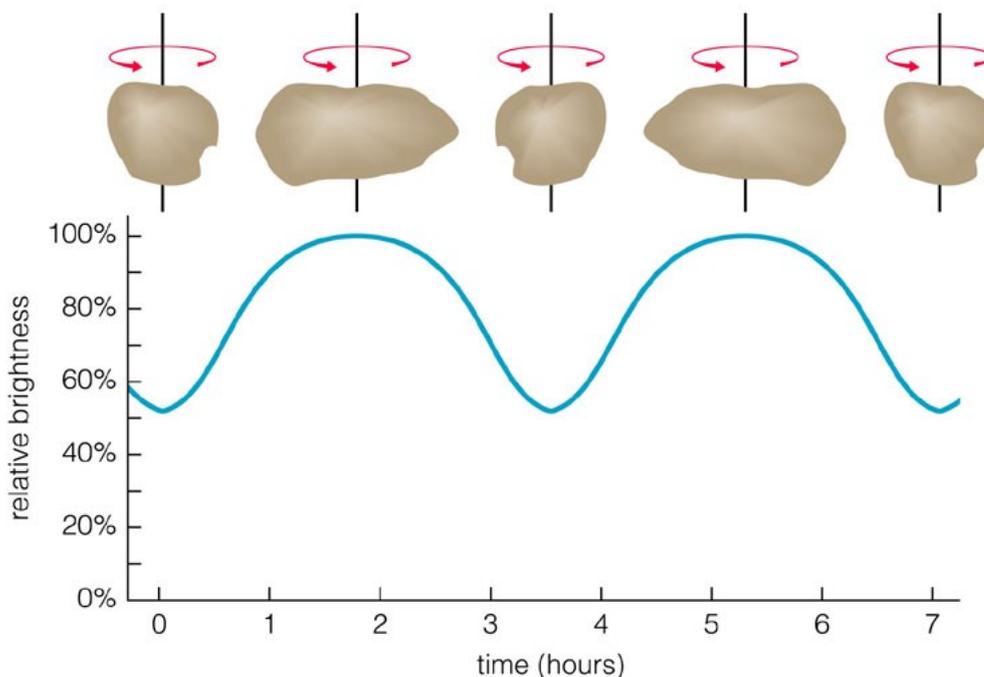


Figura 3.4. Curva de luz de um asteroide. Adaptado. Durham University. Department of Physics. AstroLab. Disponível em https://community.dur.ac.uk/physics.astrolab/a_lightcurve.html. Acesso em jan. de 2019.

3.5.2. Ocultações

Antes de falarmos de ocultações de asteroides, vamos falar sobre o conceito de sombras astronômicas de uma maneira geral: ocultações, trânsitos e eclipses.

Uma ocultação é um evento que acontece quando um objeto é oculto por outro que passa entre ele e o observador. A palavra é usada tecnicamente em astronomia e pode também ser utilizada num sentido geral para descrever quando um objeto em primeiro plano oculta objetos em segundo plano. A palavra "trânsito" refere-se a casos em que o objeto mais próximo parece menor do que o objeto mais distante. Casos em que o objeto mais próximo parece maior e oculta completamente o objeto mais distante são conhecidos como ocultações. Uma ocultação pode acontecer quando um corpo (aqui um asteroide) atravessa o caminho de luz de uma estrela ("oculta" a estrela), bloqueando temporariamente a passagem de luz visto da Terra. Isto causa geralmente uma queda aparente do brilho aparente dessa estrela que pode durar até vários segundos (WESTFALL, SHEEHAN, 2015).

Ocultações de estrelas por asteroides são o método mais preciso para determinação de formatos de asteroides, com precisão de poucos quilômetros. A técnica consiste em prever quando um asteroide passará em frente a uma estrela e, durante a ocultação, construir as curvas de luz das estrelas em diferentes longitudes da Terra. Com essa técnica, além do tamanho/formato, pode ser inferida a presença de satélites e anéis. A figura 3.5 abaixo ilustra um evento de ocultação visto em diferentes posições, com a inferência do formato do objeto. A desvantagem do método é que ele resulta em um retrato do objeto em um tempo específico, sem capacidade de inferência do formato do objeto à medida que ele rotacional em torno do seu eixo.

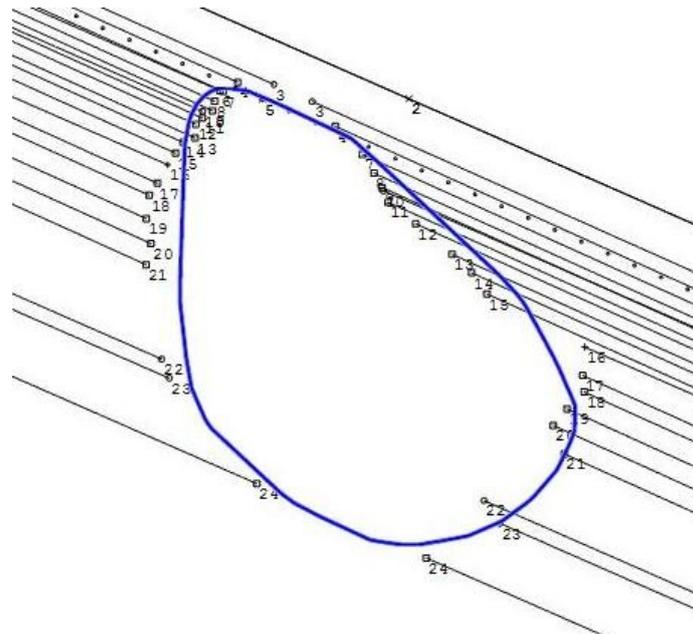


Figura 3.5. Evento de ocultação visto em diferentes posições, com a inferência do formato do objeto. Asteroidal Occultation Reports for North America. Disponível em <http://www.asteroidoccultation.com/observations/Results/>. Acesso em jan. de 2019.

Vários eventos deste tipo acontecem todos os dias, havendo instituições como a IOTA (International Occultation Timing Association), em tradução livre, Associação Internacional de Temporização de Ocultações, especializadas na previsão de ocultações. No entanto, a maioria destes eventos exige a utilização de um telescópio para ser detectada, sendo suficiente apenas um telescópio de tamanho comum (8-10 polegadas de diâmetro). Muitos grupos de astrônomos profissionais e amadores compartilham as suas observações para fazer uma análise detalhada.

Em 2014, foi feita uma descoberta inédita graças às ocultações estelares: um asteroide troiano, Chariklo, foi estudado através deste método e foi descoberto um sistema de anéis à sua volta (BRAGA et al, 2014).

Na astronomia, como colocado anteriormente, o trânsito é um fenômeno onde um corpo celeste passa diretamente entre um corpo maior e o observador. Visto de um ponto de vista particular, o corpo em trânsito parece se mover através da face do corpo maior, cobrindo uma pequena porção dele. Mas espere aí, não acabamos de chamar isso de ocultação? A palavra "trânsito" refere-se a casos em que o objeto mais próximo parece menor do que o objeto mais distante. Casos em que o objeto mais próximo parece maior e oculta completamente o objeto mais distante são as ocultações.

O método de trânsito pode ser usado para descobrir exoplanetas, que são planetas fora do sistema solar. Quando um planeta passa em frente ao disco estelar de sua estrela hospedeira, ele bloqueia uma parte da luz da estrela. Essa mudança na luz

pode ser medida para construir uma curva de luz. As curvas de luz são medidas com um dispositivo de carga acoplada, (na sigla em inglês CCD, *charge coupled display*), em um telescópio. A curva de luz de uma estrela pode revelar várias características físicas do planeta e da estrela, como o raio e a densidade, como exemplos. Vários eventos de trânsito devem ser medidos para determinar essas propriedades (que ocorrem em intervalos regulares).

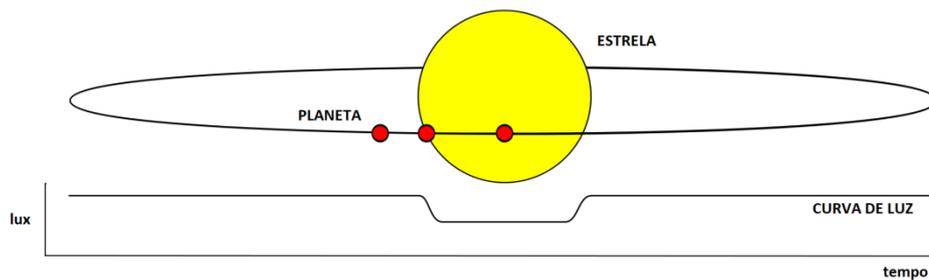


Figura 3.6. Esquema didático que representa a curva de luz variando com a passagem do planeta na frente da estrela.

Mesmo que o trânsito tenha uma baixa probabilidade, ele provou ser uma boa técnica na descoberta de exoplanetas. Nos últimos anos, a descoberta de planetas extrasolares despertou interesse na possibilidade de detectar seus trânsitos em suas estrelas primárias. O trânsito de objetos celestes é um dos poucos fenômenos-chave usados atualmente para o estudo de sistemas exoplanetários. Hoje, a fotometria de trânsito é a principal forma de descoberta de exoplanetas. O satélite Kepler da NASA observa continuamente uma porção do céu entre as constelações de Cisne e Lira. Ele foi planejado para procurar e descobrir planetas que transitam na frente de suas estrelas hospedeiras em relação à Terra, medindo variações pequenas e geralmente periódicas no brilho de uma estrela. A medida que os exoplanetas se movem na frente de suas estrelas hospedeiras, há um escurecimento na luminosidade de sua estrela hospedeira que pode ser medida. Planetas maiores tornam o mergulho na luminosidade mais perceptível e mais fácil de detectar, como exemplificado na figura 3.7. Observações de acompanhamento são frequentemente feitas para garantir que é um planeta através de outros métodos de detecção de exoplanetas.

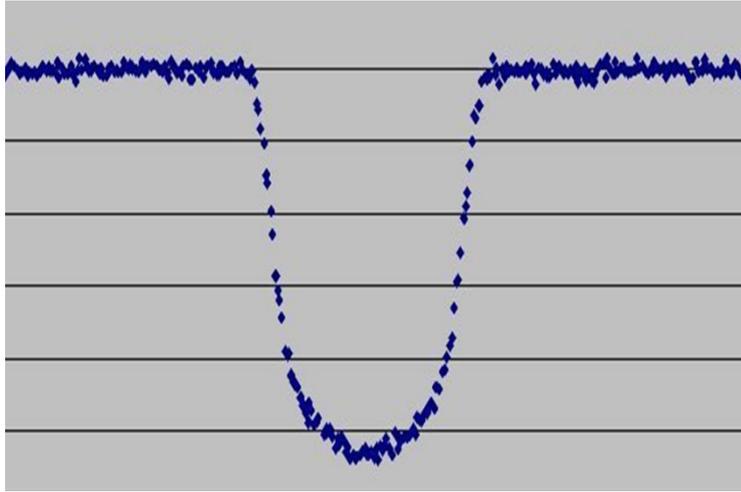


Figura 3.7. Fotometria do planeta Kepler-6b utilizando o método de trânsito, com dados do satélite Kepler. Domínio público. Disponível em https://archive.stsci.edu/prepds/kepler_hlsp/.

Capítulo 4

Produto Didático

4.1 Desenvolvimento e objetivos

De acordo com os anseios e escolhas relatadas nos capítulos anteriores, o Produto Didático é um guia para o educador que deseja se aventurar no universo da impressão 3D aplicada ao ensino de Astronomia. Ele contém um guia sobre o atual estado da arte da impressão 3D e uma revisão teórica sobre a Astronomia do Sistema Solar, acompanhado por dois roteiros didáticos que empregam diretamente a utilização da impressão 3D no Ensino de Astronomia. O primeiro roteiro pode ser considerado mais simples e de caráter introdutório. Foi pensado no educador que está começando a incorporar a impressão 3D e pretende aprimorar os domínios dessa Tecnologia em sala de aula. Já o segundo roteiro conta com um projeto mais rebuscado que envolve a construção e aplicação de um equipamento (aparato experimental didático) que simula a ocultação astronômica. O objetivo principal do equipamento é possibilitar ao aluno a compreensão do método científico através de um experimento didático.

No início do Produto Educacional o educador encontra informações sobre o estado da arte da impressão 3D, discussão sobre modelos e procedimentos de impressão. Esta primeira seção cobre desde as informações técnicas básicas para a escolha de um equipamento de impressão 3D até a apresentação de repositórios de modelos 3D imprimíveis sob licença aberta. O texto conta também com uma seção que versa sobre a montagem de um equipamento *open-source* de impressão 3D numa prática genericamente conhecida pelo acrônimo DIY - *Do It Yourself*, (expressão para “faça você mesmo”, em tradução livre). Todos os modelos tridimensionais utilizados fazem parte de uma enorme base de dados disponíveis publicamente sob a licença *Creative Commons* que permite ao usuário não apenas imprimir com parâmetros próprios como também mesmo alterar e redistribuir os modelos. Embora cada modelo de impressora tenha suas características próprias, elucidamos também alguns procedimentos comuns que ilustram a capacidade dos sistemas de impressão mais populares e suas possíveis falhas.

Dedicamos à segunda etapa do guia o aporte teórico em Astronomia do Sistema Solar, decorrendo sobre o sistema planetário em que vivemos, com informações que

consideramos fundamentais para aplicar as sequências didáticas. Essa parte do guia explora questões que envolvem conceitos básicos e intermediários, devidamente acompanhadas pelo referencial e algumas ilustrações. O educador poderá se familiarizar com o tema, preparando-se para explorá-lo, aprendê-lo, e fazer então suas próprias descobertas.

No decorrer encontramos as duas sugestões de sequências didáticas, nas quais procuramos alinhar com os principais aspectos do construtivismo que influencia a teoria de modelos e atividades experimentais para o desenvolvimento e compreensão da Astronomia envolvida. Esse acompanhamento foi expresso por modelos com atributos que: (a) privilegiam a compreensão de áreas conceituais específicas da Astronomia, e usá-lo como ponto de partida para questionamentos no contexto apropriado; e (b) fornecer experiências que ajudem os alunos a mudar suas visões e concepções, e entenderem a visão científica da Astronomia.

Mantivemos a tendência geral da proposta de competências sugeridas pelos PCN+ no ensino de Física e particularmente no tema escolhido. Os sistemas de medidas e unidades são aplicados no primeiro roteiro e um modelo representativo de ocultação astronômica é adotado na prática do segundo roteiro. Por fim, com o objetivo de conduzir uma explicação estruturada sobre o tema, Universo, Terra e Vida nossas atividades tentaram:

1. Criar algumas condições para os alunos questionarem suas crenças arraigadas (pré-estabelecidas) sobre o tema.
2. Colocar os alunos em circunstâncias em que eles têm de avaliar evidências empíricas que são contrárias às suas crenças.
3. Fornecer uma explicação clara dos conceitos científicos, de preferência sob a forma de modelos.
4. Demonstrar como os novos modelos conceituais fornecem uma melhor explicação das observações empíricas comparado com as crenças pré-estabelecidas.

Para a aplicação de nosso segundo projeto e desenvolvimento do segundo roteiro didático envolvendo o uso da impressão 3D no ensino de Astronomia resolvemos construir um aparato que simule as ocultações. A intenção na produção desse aparato experimental é levar ao aluno a possibilidade de coletar e desenhar uma curva de intensidade de luz na reprodução do fenômeno semelhante à ocultação.

4.2 Modelos tridimensionais utilizados:

Os modelos a seguir foram selecionados no banco de dados do repositório *thingiverse.com*. Todos os modelos ilustrados abaixo possuem licença livre de uso.

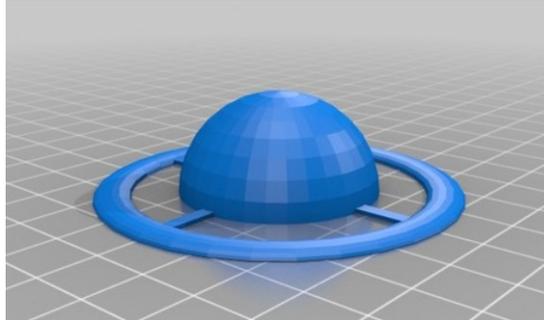


Figura 4.1. *Saturn Planet Toy*: desenhado por *BaudlerArtDesign*, impresso com diâmetro de 7 cm. Disponível em: (<https://www.thingiverse.com/thing:1723624>).

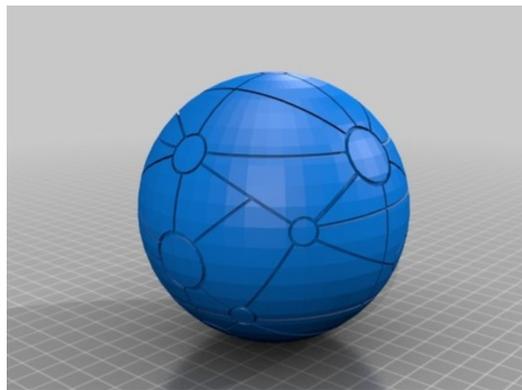


Figura 4.2. Planeta fictício esférico: desenhado por *Podge*, impresso com diâmetro de 6 cm. Disponível em: (<https://www.thingiverse.com/thing:2957060>).

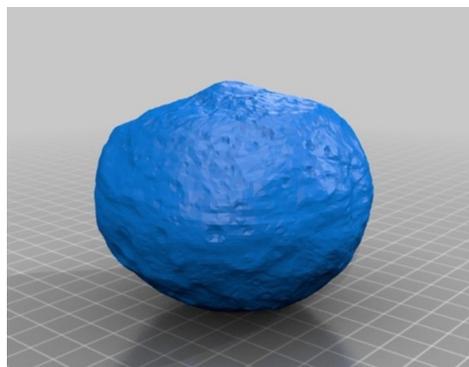


Figura 4.3. *Vesta*: desenhado por NASA, original postado em: <http://dawn.jpl.nasa.gov/>, impresso com semi-eixo maior de 7 cm. Disponível em: (<https://www.thingiverse.com/thing:42888>).

4.3 Recursos utilizados

Equipamentos: impressora 3D (que é descrita em detalhes no produto didático), placa de Arduino, ver figura 4.4, telefone celular com câmera, multímetro (opcional), paquímetro ou régua, furadeira ou micro retífica com brocas de 3 mm e 4 mm, pequena serra, chave para prender os parafusos.

Dispositivos e componentes físicos: jumpers, buzzer, led de alta intensidade e motor de passo, base de montagem do motor (impressão 3D).

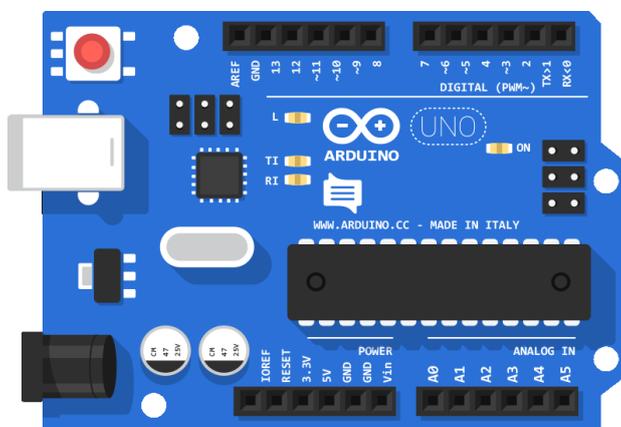


Figura 4.4. Ilustração da placa de Arduino Uno que utilizamos para comandar o servo motor e medir os intervalos de tempo entre as medições. Retirado de (<https://www.Arduino.cc>).

O **Arduino**¹ é um projeto de hardware e software de código aberto com comunidade de usuários que projeta e fabrica microcontroladores de placa única e kits de microcontroladores para a construção de dispositivos digitais e objetos interativos aos quais podem detectar e controlar física e digitalmente. Seus produtos são licenciados sob a Licença Pública GNU (LGPL) ou pela Licença Pública Geral GNU (GPL), permitindo a fabricação de placas Arduino e distribuição de software por qualquer pessoa. No decorrer de todo o presente texto a palavra Arduino remete seu significado diretamente à placa física em si. O desenvolvimento, montagem e programação desse projeto foram executados pelo autor. Apesar de ser um projeto simples, sua condução foi descomplicada pela experiência prévia com robótica e pelas

¹ <https://www.Arduino.cc/>

disciplinas que envolveram Física computacional na graduação e também no curso de mestrado (MNPEF/CTS).



Figura 4.5. Da esquerda para a direita. Jumpers para ligar os componentes ao Arduino, buzzer para avisar os intervalos de medições e um led COB para simular a estrela. Fonte: Do autor.

Os jumpers nada mais são que cabos (fios) que servem para conectar os componentes diretamente ao Arduino ou à *protoboard* (que não foi utilizada aqui). Já o buzzer é um dispositivo de sinalização de áudio que pode ser mecânico, eletromecânico ou piezoelétrico, sendo este último o modelo que utilizamos.

Um diodo emissor de luz (LED) é uma fonte de luz construída com material semicondutor que emite luz quando a corrente elétrica flui através dela. Elétrons no semicondutor recombina com buracos de elétrons, liberando energia na forma de fótons. A cor da luz (correspondente à energia dos fótons) é determinada pela energia necessária para os elétrons atravessarem a banda do semicondutor. A luz branca é obtida usando múltiplos semicondutores e/ou uma camada de fósforo emissor de luz no dispositivo semicondutor. Os LEDs **COB** (*chip on board*) são dispositivos LED aninhados (ou empacotados como o termo em inglês sugere) em forma de matriz numa pequena placa coberta pela camada de fósforo supracitada. A nossa escolha por um LED do tipo COB não foi por acaso. Essa Tecnologia de LED apareceu a pouco e é desconhecida de muitos. Apesar de o termo “LED” remeter a ideia de Tecnologia de ponta em termos de iluminação, os primeiros tipos de LED são menos eficientes que lâmpadas do tipo fluorescente ou vapor metálico. Assim, quando procuramos por uma

iluminação adequada para o aparato simulador, percebemos que a tecnologia de LEDs, pontualmente do tipo COB poderia nos atender, evitando alguns contratempos que outros tipos de fonte luminosa oferecem. Essa Tecnologia permite alta emissão de fótons, com espectro regulável e ainda com a característica que mais nos interessa: uma faixa de luz direcionada num pequeno ângulo. Como os COBs tem esse pequeno ângulo de abertura, eles já vem “colimados” de fábrica. O Led COB que utilizamos tem um ângulo de abertura de 115°, modelo *clu048* da Citizen². O docente tem a possibilidade de utilizar esse mesmo equipamento para uma aula abordando diodos ou outros conteúdos de eletricidade e ótica.



Figura 4.6. Servo Motor As3103 com 360° de rotação contínua. Você pode escolher outros tipos de servo. Fonte: Do autor.

Um servo motor, ilustrado na figura 4.6, é um atuador rotativo que permite o controle preciso da posição angular, velocidade e aceleração. Vale lembrar que os servo motores não são uma classe específica de motor, embora o termo servo motor seja usado com frequência para se referir a um motor adequado ao uso num sistema de *looping* fechado. Consiste basicamente num motor acoplado a um sensor para determinar sua posição. Alguns servos requerem um controlador relativamente sofisticado, geralmente um módulo dedicado projetado especificamente para uso com servo motores, conhecido como *driver*. O modelo de servo utilizado em nosso projeto dispensa uma placa dedicada (*driver*) e pode ser controlado diretamente pelo Arduino. Esse servo é utilizado para controlar o movimento do objeto (modelo astronômico impresso em 3D) que vai ocultar a estrela. Para trazer segurança e equilíbrio ao aparato o motor foi montado sobre uma pequena chapa de madeira, sendo fixado na mesma

² <http://ce.citizen.co.jp/productse/info.php?no=116>

através de uma “base de montagem” impressa em 3D. A base de montagem (suporte ilustrado a seguir pela figura 4.7) do servo se mostrou apropriada para sustentar o movimento do conjunto haste-objeto.

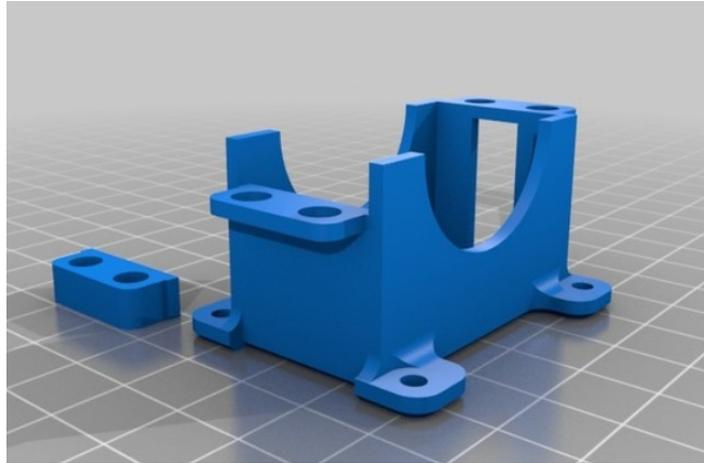


Figura 4.7. Base de montagem do motor Servo Motor As3103. Existem muitas opções de servo modelo 3003 no mercado, pode ser utilizada qualquer uma. Disponível em (<https://www.thingiverse.com/thing:1063421>).

Outros materiais: Um pedaço de chapa de madeira (50 cm x 25 cm x 1 cm) para apoiar todos os dispositivos do equipamento, um pequeno pedaço de chapa de alumínio (200 mm x 40 mm x 2 mm) para a haste principal, parafusos m2, bateria ou fonte (5v até 9v) para ligar o Arduino. A figura 4.8 contempla um esboço das chapas de madeira e alumínio sem considerar as espessuras.

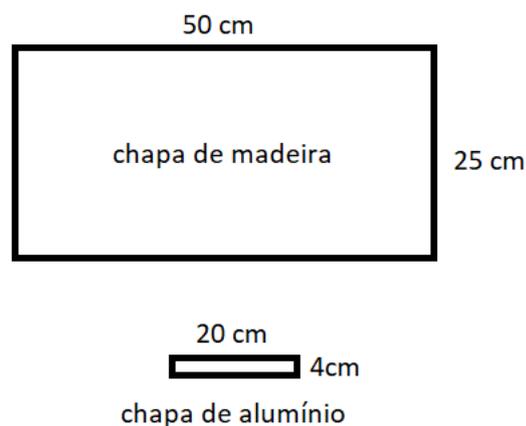


Figura 4.8. No equipamento é utilizado uma chapa de madeira de aproximadamente um centímetro de espessura e uma chapa de alumínio com 2 mm de espessura. Fonte: Do autor.

4.4 Montagem do Simulador

Primeiramente montamos a parte mecânica do nosso aparato didático e posteriormente a parte eletrônica. Encontramos o centro da chapa de madeira com a uma trena e com a ajuda do próprio suporte do motor que foi impresso em 3D fizemos as marcações dos locais dos furos para parafusar o suporte do motor. Utilizamos brocas de 3mm para fazer os furos necessários e determinamos a profundidade do furo de acordo com o comprimento do parafuso escolhido. Prendemos o motor ao seu suporte e assim o fixamos na base de madeira. Na sequência fizemos o furo de 4mm no centro da haste de alumínio e prendemos ao motor usando os parafusos e sistemas de fixação do que vem inclusos no próprio servo motor.

Agora vamos à parte eletrônica e de *software* do nosso projeto. A eletrônica consiste em conectar os dois componentes eletrônicos, servo e buzzer, à placa de Arduino. São apenas cinco fios, tornando esse passo bastante fácil e intuitivo, como pode ser acompanhado na figura 4.9.

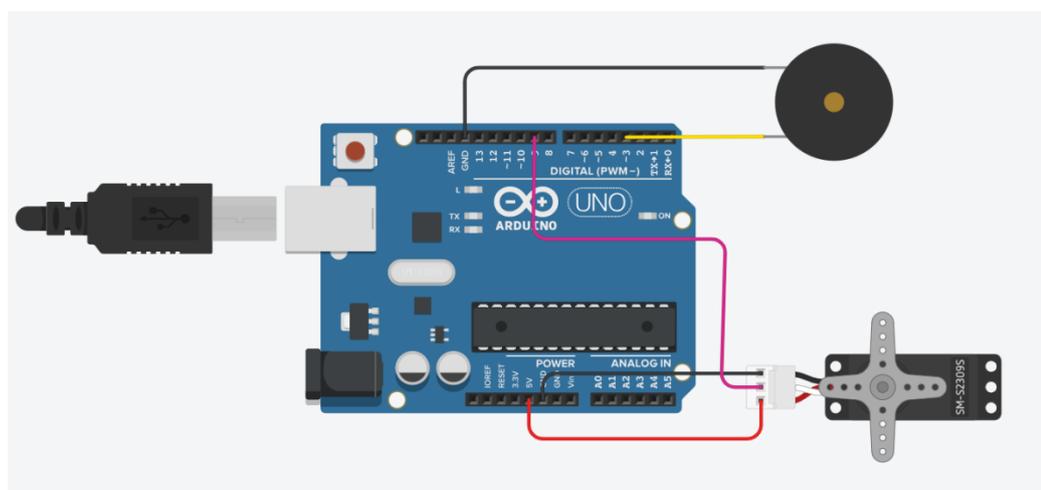


Figura 4.9. Esquema de ligação do buzzer e do servo motor à placa Arduino. Esquema projetado em thikerCAD³ pelo autor. Tanto o buzzer quanto o servo motor possuem polaridade, fique atento nas conexões. Fonte: Autor.

E finalmente chegamos à etapa de programação da placa de Arduino para rotacionar o servo com a velocidade desejada e criar um aviso, na forma de disparo sonoro cronometrado, para as marcações das intensidades de luz indicadas pelo celular.

³ <https://www.tinkercad.com/>

A programação também é simples e fácil de entender. Comentários sobre o código estão no corpo do mesmo, segue na figura 4.10 a seguir.

```
simulador_eclipse
#include <Servo.h>
Servo myservo;

void setup() {
  myservo.attach(9); //Coloca o servo no pino 9
  pinMode(3,OUTPUT); //Pino 3 do buzzer
}

void loop() {
  myservo.write(97); //rotacao no sentido horario (lentamente)por 200 milisegundos
  delay(200);
  tone(3,262); //emite nota DO para a contagem das medicoes por 50 milisegundos
  delay(50);
  noTone(3); //silencia buzzer
  myservo.write(95);
  delay(2900); //(aguarda 2.9 segundos para a proxima medição)
}
```

Figura 4.10. Código criado para avançar o servo motor lentamente e emitir um aviso sonoro a cada 3.1 segundos, aproximadamente. Fonte: Autor.

Os modelos 3D precisam ficar presos na base da haste de alguma forma, a melhor saída para nós foi um fixador do tipo velcro, mas também sugerimos no guia do produto que o educador pode improvisar de outras formas. A próxima tarefa foi montar a lâmpada LED e posicioná-la.

Essa lâmpada do tipo LED COB pode ser comprada pronta (completamente montada), com dissipador e *driver* ou adquirida em partes e ser montada pelo próprio usuário. O posicionamento ilustrado na figura 4.11 foi feito de modo que a lâmpada ficasse o mais próximo possível da haste com o modelo 3D.

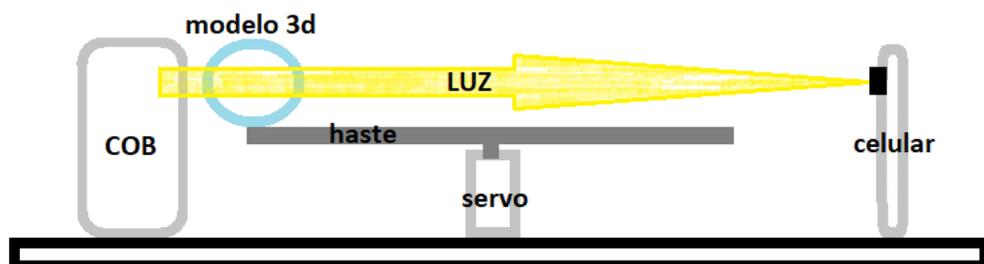


Figura 4.11. O esquema representado acima ilustra o posicionamento do LED COB alinhado com o objeto 3D e com o sensor CCD do celular. É esse alinhamento que garante a simulação do trânsito astronômico.

Por fim instalamos no aparelho celular um aplicativo de detecção e contagem de fótons. Existem diversos aplicativos gratuitos para os dois sistemas de celulares mais populares da atualidade. A contagem da intensidade luminosa geralmente é dada em lux; (lumens por metro quadrado). Na figura 4.12 é possível ver o aparato didático finalizado.

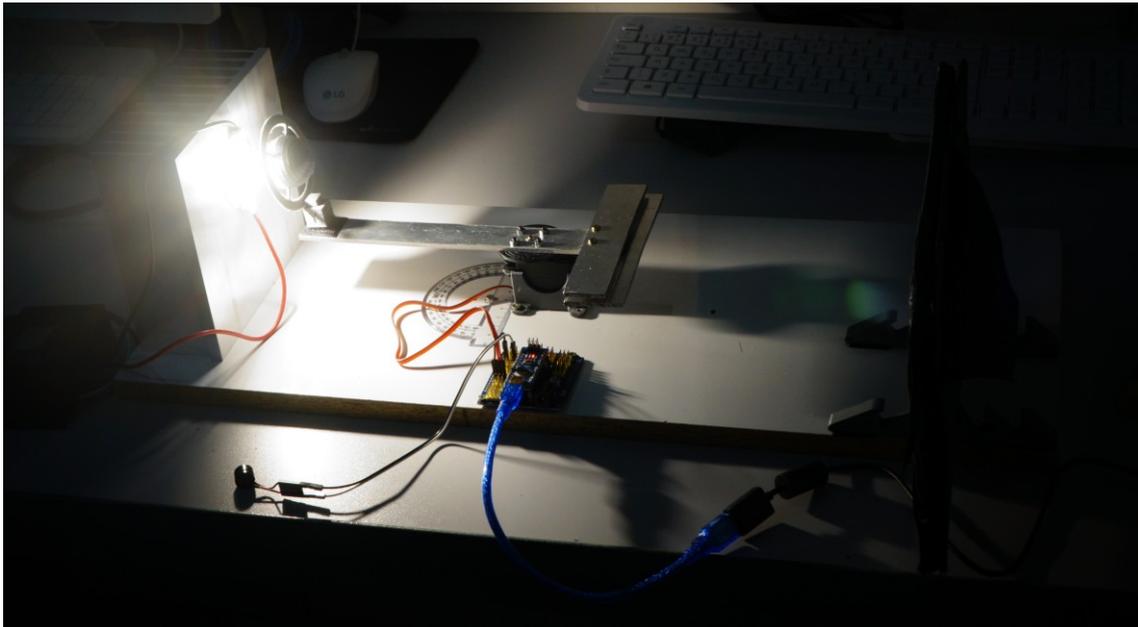


Figura 4.12. Foto do aparato didático finalizado e em funcionamento. Fonte: Autor.

Capítulo 5

Aplicação do produto didático

5.1 Contexto

O projeto foi aplicado para alunos do ensino médio, no Colégio Leme, uma instituição de ensino privado, localizada em Criciúma, cidade da região Sul de Santa Catarina. Os alunos participantes do primeiro roteiro integram uma turma regular de primeiro ano do ensino médio. O segundo roteiro foi aplicado a uma turma de estudo preparatório para a Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica (OBA⁴), composta por alunos do primeiro e segundo ano do ensino médio. A turma preparatória para a OBA foi orientada pelo autor desse trabalho, onde também é professor de Física no primeiro ano do ensino médio. Além de aplicarmos nosso produto no ensino formal, adentramos também no âmbito do ensino não formal colocando o mesmo nas aulas da “turma de Astronomia”.

Segundo Langui e Nardi em 2009, o ensino formal é aquele que ocorre de forma sistematizada nos sistemas de ensino tradicionais; o não formal corresponde às iniciativas organizadas de aprendizagem que acontecem dentro ou fora dos sistemas de ensino ao longo da vida.

“A educação formal ocorre em ambiente escolar ou outros estabelecimentos de ensino, com estrutura própria e planejamento, cujo conhecimento é sistematizado a fim de ser didaticamente trabalhado. A educação não formal, por outro lado, com caráter sempre coletivo, envolve práticas educativas fora do ambiente escolar, sem a obrigatoriedade legislativa, nas quais o indivíduo experimenta a liberdade de escolher métodos e conteúdos de aprendizagem.” (LANGUI & NARDI, 2009).

Mesmo considerando que nossa segunda prática foi com uma turma de ensino não formal, não existe qualquer impedimento para que o projeto didático II seja aplicado no ensino formal durante as aulas de Física.

No ano de 2018 o colégio Leme teve três turmas de primeiro ano, compostas por aproximadamente 35 alunos cada. A grade curricular seguida no colégio conta com três aulas de Física no turno da manhã e uma aula chamada de plantão nas tardes de quarta-

⁴ <http://www.oba.org.br>

feira. Todas as aulas tem duração de cerca de cinquenta minutos. Todas as salas dos primeiros anos possuem isolamento acústico, climatização, sistema áudio, data-show e sistema de espelhamento de dispositivo móvel. O colégio também dispõe de *tablets* para cada aluno que podem ser utilizados sobre qualquer demanda desde que previamente agendado.

A turma preparatória para a OBA, ou turma de Astronomia, é composta por quinze alunos, todos regularmente matriculados no ensino médio. Além da turma de Astronomia, são ofertadas ao aluno de ensino médio outras atividades extracurriculares como robótica, teatro e ioga. Esse modelo de grupo está operando pelo terceiro ano consecutivo. Para fazer parte da turma, basta se inscrever no começo ou ao longo do ano letivo e frequentar as aulas. As aulas são fundamentadas no próprio conteúdo disponibilizado pela organização das olimpíadas, além de explorar temas complementares, fatos e curiosidades de Astronomia. As aulas são semanais com duração de dois períodos, aproximadamente uma hora e quarenta minutos. A aula acontece no contra turno das aulas curriculares, numa sala de aula comum, já detalhada, utilizada pelas turmas de ensino médio. Além do quadro negro a sala conta com lousa digital e aparelho de data show. Na segunda sequência didática os alunos também frequentaram o laboratório de informática que dispõe de 15 computadores com acesso a internet e equipamento de projeção data-show.

Como resultado do empenho dos alunos e do bom trabalho realizado, no ano de 2018, tivemos quatro alunos medalhistas, sendo duas de bronze, uma de prata e uma de ouro na 1ª etapa da OBA 2018. Dois desses alunos medalhistas passaram para as seletivas da Olimpíada Internacional de Astronomia.

5.2 Aplicação do produto didático

A aplicação do produto começou no início do primeiro semestre de 2018, após os alunos concluírem o conteúdo de gravitação do livro didático, e funcionou durante 4 semanas, incluindo dois períodos de aulas de 50 minutos por semana. Todas as atividades ocorreram em sala de aula, não sendo atribuída aos alunos atividade “extra” ou lição de casa. Apesar de atestarmos a boa funcionalidade do cronograma estabelecido, as aulas teóricas e os procedimentos experimentais foram projetados para serem flexíveis e para prosseguir de acordo com a disponibilidade de tempo e contexto de cada educador. O cronograma está sumarizado na tabela 5.1.

Encontro	Momento didático	Duração
1 – Projeto I (formal)	Momento 1 – Introdução Momento 2 - Asteroides	2 períodos de 50 minutos
2 – Projeto I (formal)	Momento 3 – Objetos próximos a Terra	2 períodos de 50 minutos
3 – Projeto II (não formal)	Momento 1 – Revisão do modelo de tradicional de ocultação Momento 2 - Demonstração do experimento didático simulador de ocultação	2 períodos de 50 minutos
4 – Projeto II (não formal)	Momento 3 - Momento 3: Utilizar o simulador Momento 4 – Desenhar os gráficos e discutir os resultados	2 períodos de 50 minutos

Tabela 5.1. Cronograma resumido da aplicação das sequências didáticas.

5.2.1 Sequência 1

No primeiro encontro os estudantes foram solicitados a assistir um vídeo intitulado *Universe Size Comparison 3* que foi baixado do youtube no endereço <https://www.youtube.com/watch?v=i93Z7zljQ7I> em março de 2018.

Após uma breve discussão livre em sala de aula, os alunos receberam uma série de questionamentos como:

Que tipo de instrumento foi utilizado para medir o tamanho dos astros? O Sol pode ser medido diretamente por algum instrumento de medida do nosso cotidiano? Quais as unidades adequadas para expressar os tamanhos e as distâncias das estrelas muito maiores que o Sol? Objetos “menores” como a Lua podem ser medidos diretamente por algum instrumento de medida de uso cotidiano? Qual seria a órbita dos objetos “próximos” ao Sol? O que seriam os asteroides? O caminho dos asteroides poderia mudar com o passar do tempo?

Próximo ao segundo período dessa primeira etapa o professor distribuiu os modelos tridimensionais entre os alunos com a turma dividida em equipes por sorteio, cada grupo recebe um modelo astronômico. O número de equipes foi correspondente ao número de objetos, assim os grupos podem trocar os objetos entre si. Novas perguntas foram propostas na tentativa de incentivar um novo debate. Existe um padrão no

formato dos objetos? Existe um padrão no formato da superfície dos objetos analisados? Existe um padrão no formato ou tamanho das crateras da Lua? Por que existe/não existe um padrão? Depois dessa etapa de discussão foi intermediada pelo professor apresentando a medida real de alguns objetos astronômicos (*lua* e *vesta* que estão detalhados no produto didático), incluindo os manipulados pelos alunos. Os alunos também calcularam o tamanho em escala para a Terra e outros planetas, bem como alguns satélites e asteroides.

Para a totalização do primeiro roteiro, já no segundo encontro, o professor iniciou as atividades lembrando os conceitos fundamentados anteriormente, apresentando os objetos próximos a Terra, bem como o asteroide 433 Eros e comparando seu tamanho com os demais objetos em escala. No prosseguimento continuou traçando possibilidades de unidades de medida para o tamanho desse e de outros asteroides e de suas órbitas. Houve uma breve abordagem sobre ocultações e métodos de estudo de asteroides, Antes de revelar que Eros é a segunda maior ameaça que circunda a Terra. O professor também questionou como os alunos avaliavam o tamanho de Eros em comparação com Vesta e Ceres, cujos modelos impressos já se encontravam com os alunos. Os alunos foram questionados sobre como possivelmente se formaram as crateras que são vistas na superfície da lua, e porque na Terra esses buracos não são tão vistosos. Terminamos o encontro discutindo sobre os possíveis problemas que um impacto maior poderia trazer para a humanidade, e como poderemos nos defender dessa factível ameaça. Nesse relampejo sobre o assunto, debatemos rapidamente sobre os sistemas de monitoramento e projetos de busca e varredura no espaço próximo a Terra.



Figura 5.1. Alunos aprendendo sobre o funcionamento do aparato didático. Fonte: Autor.

5.2.2 Sequência 2

Na aplicação do segundo roteiro, no terceiro encontro (para os alunos do primeiro ano que fazem parte da turma de preparação para OBA), o professor apresentou o aparato experimental didático com todas as suas características e detalhes de funcionamento. Essa apresentação se desenrolou posteriormente ao breve embasamento teórico que enseja sua utilização. Nessa fundamentação sobre ocultações, com o auxílio de um esboço no quadro, o professor procurou exemplificar, com analogia do modelo de eclipse Solar e Lunar e comparar as “posições relativas” dos astros e seu possível alinhamento. Demonstrou também a ocorrência dos diversos fenômenos de ocultação e trânsito, além de abordar as técnicas empregadas nas análises da ocultação. Ao final das observações teóricas mostrou como o equipamento opera sem detalhar o processo de coleta de dados. Expôs os aspectos quantitativos da medição e questionamos os alunos sobre a utilidade do aparelho celular no aparato.



Figura 5.2. Grupo de alunos coletando dados com o aparato simulador de ocultações.

Fonte: Autor.



Figura 5.3. Grupo de alunos coletando dados com o aparato simulador de ocultações.

Fonte: Autor.

Os alunos trabalharam diretamente com o aparato experimental no quarto encontro, sendo a primeira parte, aproximadamente quarenta minutos dedicados inteiramente à coleta de dados. Posteriormente cada grupo de alunos lançou seus dados em um arquivo simples de texto no computador e foram solicitados a traçar o contorno da “curva” gerada para cada objeto. Ao completarem a construção da curva de brilho foram indagados sobre os padrões apresentados e como foram capazes de quantificar suas observações. Um *brainstorm* foi realizado na tentativa de responder perguntas como: A janela de tempo que ocorre a ocultação que aumenta ou diminui de acordo com cada objeto está relacionada ao tamanho do objeto? Quando o objeto possui um formato irregular gera uma curva de brilho diferente de um objeto esférico? Qual região da curva de brilho poderia indicar a possível presença de atmosfera no objeto observado? Os grupos interagiram sugerindo respostas para as várias perguntas elencadas e defendendo suas “teses” perante a turma.

5.3 Resultados e discussão

Apesar de ser um experimento de cunho demonstrativo, no ambiente não formal o aparato simulador de trânsito astronômico pode produzir resultados interessantes. Em momento algum da nossa prática o educador se preocupou com os resultados discrepantes. Como sabemos, eles fazem parte da experimentação, e estão ali por algum motivo. Assim, as curvas trazem uma nova maneira de inserir, discutir e interpretar o fenômeno e o próprio método científico. Abaixo mostramos exemplos das curvas e tabelas para objetos distintos obtidos pelos alunos. Os dados foram coletados e as curvas traçadas por uma mesma equipe, parte dos dados dessa equipe estão ilustrados na figura 5.4.

Siga o guia de instruções do dispositivo simulador de ocultação e complete as tabelas anotando a intensidade luminosa no fenômeno de ocultação para cada um dos objetos estudados.

OBJETO 1:

Tempo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Brilho	5242	2549	2395	2002	1442	462	892	717	717	717	717	717	717	717	717	717	152	1443	1821	2093
Tempo	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Brilho	2290	2290	2290	2290	2290	2098	2970	2970	2970											

OBJETO 2:

Tempo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Brilho	3621	3197	3016	*	*	*	*	*	*	2698	1806	1443	*	*	*	452	571	596	*	*
Tempo	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Brilho	*	*	717	892	1443	*	*	*	*	1866	2456	*	*	*	*	*	*	3021	*	*

OBJETO 3:

Tempo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Brilho	3031	2725	*	*	*	*	*	2411	285	1826	1443	452	892	717	571	596	*	*	*	*
Tempo	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Brilho	*	*	*	*	*	*	*	717	892	1443	1866	452	2059	*	*	*	2819			

OBJETO 4:

Tempo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Brilho	3832	*	*	*	*	*	*	256	2910	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	223	1981
Tempo	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Brilho	1443	452	892	571	596	*	*	*	*	*	596	717	892	1443	1443	2071	*	2320	2571	*	

Tabela 5.2. Tabela de dados de um grupo de alunos. O sinal de asterisco (*) foi utilizado para indicar a repetição do último valor lido.

De acordo com os dados obtidos os alunos desenharam o gráfico com a ajuda do software *GNUplot*⁵, usando um *script* pronto, sendo apenas necessário digitalizar os dados para um arquivo de entrada. O gráfico de saída representa a curva de brilho durante o fenômeno de ocultação. Dois resultados são exemplificados nas figuras 5.5 e 5.4 a seguir.

⁵ <http://www.gnuplot.info/>

Curvas de brilho:

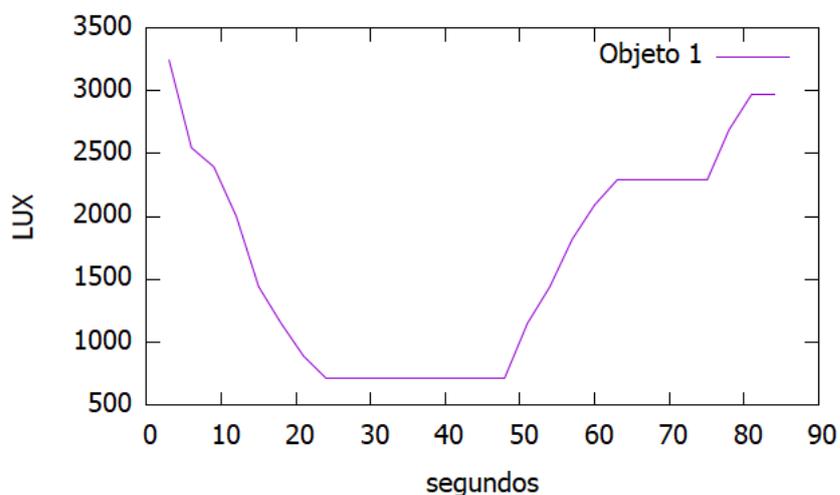


Figura 5.4. Curva de luz na ocultação do objeto Vesta obtida através do simulador de ocultações. Fonte: Autor e alunos.

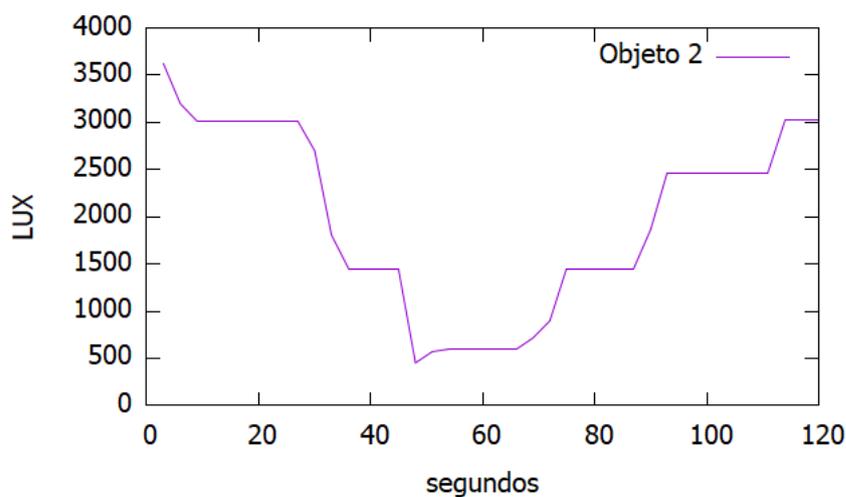


Figura 5.5. Curva de luz na ocultação do objeto *Saturn Planet Toy* obtida através do simulador de ocultações. Esse objeto representa saturno com seus anéis. Fonte: Autor e alunos.

Entendendo a realização de experiências como primordial para o ensino de Física, acreditamos não serem necessários equipamentos de altíssimo custo ou um laboratório altamente equipado, mas sim estratégias didáticas que atendam ao contexto educacional e envolvam os temas adequadamente propostos para o ensino de Física. Os resultados obtidos pelos alunos no experimento, condizentes ou não com o esperado pela teoria, permitem a aprendizagem científica e colaboram na intenção de proporcionar novos conhecimentos. A impressora 3D é um equipamento de suporte com

potencial ainda não avaliado e pouco explorado no ambiente educacional. Assim, destacamos o papel dessa proposta metodológica no momento cronológico, em situação de vanguarda no escopo apresentado, oportunizando a possibilidade de posteriores aplicações e aprimoramentos. Além do que consideramos a dificuldade de uma avaliação pontual sobre o tema já que envolve todo o contexto do ensino de Física para a turma envolvida na sequência formal. Já na não formal o resultado de nossa avaliação está embutido no próprio resultado da OBA.

Capítulo 6

Considerações Finais

Este trabalho apresenta um guia para conduzir a aplicação da impressão 3D no sistema educacional, através do desenvolvimento de duas sequências didáticas que sintetiza uma compreensão mais clara de onde e como a impressão 3D pode ser inserida no sistema de ensino. Um resumo de alto nível é fornecido na apresentação do estado da arte da impressão 3D e da teoria astronômica sobre pequenos corpos do sistema solar. Fornecemos também dois exemplos documentados da adoção da impressão 3D durante o ensino de astronomia nos âmbitos formal e não formal de ensino.

A tecnologia de prototipagem, em nossa rápida revisão teórica, mostrou-se mais madura em cursos universitários de engenharia, e que disciplinas dedicadas à impressão 3D estão surgindo nesses cursos. No entanto, é evidente também, a partir dessa revisão, que a impressão 3D se expandiu para além dessas “raízes educacionais”. Atualmente a impressão 3D está sendo ativamente incorporada em vários outros assuntos e sendo usada para produzir artefatos que dão suporte à aprendizagem nos diversos níveis de ensino. Fora da engenharia, outras disciplinas, incluindo as Ciências no Ensino Médio, são proeminentes adotantes da impressão 3D e estão começando a demonstrar como o seu uso pode criar oportunidades de aprendizagem em diversos assuntos.

Desenvolvemos este trabalho com alunos do 1º ano do ensino médio de uma escola particular localizada na cidade de Criciúma/SC, com boa estrutura, onde felizmente, as expectativas e anseios dos alunos em relação ao estudo são bastante favoráveis. Nosso objetivo geral foi contribuir com o processo de ensino e aprendizagem do tema Universo, Terra e Vida e na compreensão para além dos conceitos físicos envolvidos, com a simulação do fenômeno de ocultação através de um modelo que envolve o método científico. Para isso, foi proposta uma metodologia didática que utiliza um experimento para o estudo do tema abordado.

A metodologia empregada para desenvolver este trabalho consistiu em duas sequências didáticas, nas quais evidenciamos o caráter do método científico explorando os modelos 3D e interagindo com o experimento didático numa coleta de dados simples. Sendo assim, a mediação do educador se faz necessária, permitindo o direcionamento do ensino e promovendo a ampliação do conhecimento a partir da aplicação prática do aparato experimental, considerando a bagagem de conhecimento dos estudantes como

ponto de partida para a formação dos novos conceitos do tema envolvido, dentro do processo de compreensão dos conteúdos.

Embora exista uma grande quantidade de materiais online para apoiar o ensino, observou-se a falta de um manual apropriado para apoiar o ensino associado à impressão 3D no ensino médio. Assim, colocamos esse trabalho também alinhado ao entendimento da necessidade de materiais adicionais de apoio ao ensino que simplifiquem o processo de incorporação da impressão 3D, tanto para currículos onde o desenvolvimento de habilidades técnicas seja o objetivo, como para incorporar a impressão 3D nos currículos tradicionais e melhorar o envolvimento do aluno na aquisição do conhecimento. Além disso, é necessário melhorar a disponibilidade de equipamentos de impressão 3D e o acesso a modelos 3D para dar suporte ao ensino. Os modelos 3D fornecem um ponto de entrada para a introdução ao mundo da impressão 3D, demonstrando sua capacidade de modificação e compartilhamento, e apoiando os educadores que desejam produzir modelos de ensino, mas não têm tempo ou conhecimento necessário. Embora haja um número crescente de modelos 3D disponíveis online, os disponíveis para fins educacionais são predominantemente encontrados em repositórios particulares, que não tem qualquer vínculo com instituições de ensino.

Como colocado, aplicamos nosso projeto utilizando um repositório dedicado de modelos 3D, com modelos 3D compartilhados. Apesar de considerarmos nossa aplicação bem sucedida através desse repositório, sugerimos que sejam criados ambientes virtuais de trocas de modelos 3D focados na educação com o intuito de reduzir as barreiras à integração da impressão 3D ao ensino, e evitar a duplicação de esforços na modelagem, reduzindo o custo de criação de tecnologias assistenciais e de material adicional de laboratório.

Para que os educadores do ensino fundamental e médio desenvolvam a experiência e a confiança necessárias para incorporar a impressão 3D ao ensino, é necessário incluir mais componentes educacionais de impressão 3D na formação do professor, bem como uma ampla gama de oficinas para informar e atender os professores em aperfeiçoamento. É também necessário melhorar o acesso aos materiais de ensino, juntamente com projetos e guias de aplicação, para apoiar a integração desse recurso aos planos de aula e currículos do ensino. Além do sistema de educação formal compreendido nesse trabalho, há também questões mais amplas sobre a aplicação da impressão 3D e do ensino de Astronomia na educação não formal. Alunos de todas as

idades podem aprender sobre modelagem 3D por meio de cursos e tutoriais na internet, fabricar objetos por meio de serviços e redes de impressão 3D sob demanda. Acreditamos no futuro da democratização da educação e na criação de oportunidades para oferecer a aprendizagem. Assim, abrimos caminho para o melhor entendimento de como a aquisição de habilidades com o auxílio da impressão 3D ocorre no sistema de ensino, e como o aprendizado da educação não formal e formal pode ser integrado no ensino de ciências e astronomia.

Referências Bibliográficas

- ADAMS, J.W. 3D printed reproductions of orbital dissections: a novel mode of visualising anatomy for trainees in ophthalmology or optometry. **Br. J. Ophthalmol.** No 99. p. 1162–1167. 2015.
- ALEXANDRE, Carla; SABBATINI, Marcelo. A contribuição dos Jogos Digitais nos processos de aprendizagem. In: SIMPÓSIO HIPERTEXO E TECNOLOGIAS NA EDUCAÇÃO, 5, 2013, Recife. **Anais eletrônicos...** Disponível em: <<http://www.nehte.com.br/simposio/anais/Anais-Hipertexto-2013/A%20contribui%C3%A7%C3%A3o%20dos%20Jogos%20Digitais%20nos%20processos%20de%20aprendizagem.pdf>>. Acesso em: 12 de out. 2018.
- BARA, F. et al. The visuo-haptic and haptic exploration of letters increases the kindergarten-children's understanding of the alphabetic principle. **Cognitive Development.** No 19(3), p. 433–449. 2004.
- BARSALOU, L. W. Grounded cognition. **Annual Review of Psychology.** No 59. p. 1–21. 2008.
- BRASIL. Ministério da Educação e Cultura. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **PCN+ Ensino Médio: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais – Ciências da Natureza, Matemática, e suas Tecnologias.** Brasília: MEC/Semtec. 2002.
- BRASIL. Ministério da Educação e Cultura. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM).** Brasília: MEC/Semtec, 2000. Disponível em <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/ciencian.pdf>>. Acesso em: Janeiro de 2018.
- BECKER, D. VIDEOJOGOS DIGITAIS NA SALA DE AULA: UMA ANÁLISE, TCC (Licenciatura em Física), Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.
- BERRY, R.Q. et al. Use of digital fabrication to incorporate engineering design principles in elementary mathematics education. **Contemp. Issues Technol. Teach. Educ.** No 10. p. 167–172. 2010.
- BLIKSTEIN, P. Digital fabrication and “Making” in education: the democratization of

- invention, in: J. Walter-Herrmann, C. Büching (Eds.), **FabLabs Mach. Makers Invent. Transcript Publishers**. Bielefeld. p. 1–21. 2013.
- BOHN, J.H. Integrating rapid prototyping into the engineering curriculum - a case study. **Rapid Prototyp.** p. 32–37. 1997
- BORGES, A. T. Novos rumos para o laboratório escolar de ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. No 19(3), p. 291–313. 2002.
- BULL, G. et al. Advancing children’s engineering through desktop manufacturing, in: J.M. Spector, M.D. Merrill, J. Elen, M.J. Bishop (Eds.), *Handb. Res. Educ. Commun. Technol.* 4th ed., **Springer Science +Business Media**. New York. p. 675–688. 2014.
- BULL, G et al. An educational framework for digital manufacturing in schools. **3D print, Addit. Manuf.** No 2. p. 42–49. 2015.
- BUS, S.J. Phase II of the Small Main-belt Asteroid Spectroscopy Survey: A feature-based taxonomy. **Icarus**. No. 158 (1): 2002.
- CHEN, S.; CHANG,W. H.; LAI, C. H.; & TSAI, C. Y. A comparison of students' approaches to inquiry, conceptual learning, and attitudes in simulation-based and microcomputer-based laboratories. **Science Education**. No 98(5), p. 905-935. 2014.
- CHEN, M. Y. ZHANG. Effects of a 3D printing course on mental rotation ability among 10-year-old primary students. **Int. J.**
- CHERY, D. et al. Integration of the arts and technology in GK-12 science courses, **IEEE Front. Educ. Conf.** 2015.
- COSTA, Fernando Albuquerque. O digital e o currículo. Onde está o elo mais fraco?. In: Conferência Internacional de Tecnologias de Informação e Comunicação na Educação, 5, 2007, Braga: Universidade do Minho, pp. 274-284. **Anais eletrônicos...** Disponível em:
><http://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/5927/1/%282007%29COSTA%2cF%28DigitalCurr%3%ADculoEloMaisFrac%29ChallengesUMinhoBraga.pdf/>> . Acesso em 28 de agos. 2018.

DAVIS, E. A. et al. MoDeLS: Designing supports for teachers using scientific modeling (In annual meeting of the Association for Science Teacher Education, St. Louis, MO). 2008.

DELGRANDE, J. J.; SOANES, S. V. Kirkwood's Gap in the Asteroid Orbits. **Journal of the Royal Astronomical Society of Canada**. No. 37. p. 187. 1943.

DESTOMBES, M. Der globusfreund. **Globes en relief du XVIIIe si`ecle**. No. 25–27. p. 225–231. 1978

DUSO, L. O uso de modelos no ensino de biologia. **XVI ENDIPE. Encontro Nacional de Didática e Práticas de Ensino**. UNICAMP. Campinas. 2012.

EISENBERG, M. 3D printing for children: What to build next? **Int. J. Child-Comput. Interact**. No 1. p. 7–13. 2013.

FERRAZ-MELLO, S. Kirkwood Gaps and Resonant Groups. proceedings of the 160th International Astronomical Union. **Kluwer Academic Publishers**. p. 175–188. Jun. 1993.

GLEMBERG, A. M., et al. Activity and imagined activity can enhance young children's reading comprehension. **Journal of Educational Psychology**. No 96(3), p. 424–436. 2004.

GRIFFITH, K.M.; DE CATALDO, R.; FOGARTY, K.H. Do-It-Yourself: 3D models of hydrogenic orbitals through 3D printing. **J. Chem. Educ**. No 93 p. 1586–1590. 2016.

HIRAYAMA, K. Groups of asteroids probably of common origin. **Astronomical Journal**. vol. 31. iss. 743. p. 185-188. 1918.

HOROWITZ, S.S.; SCHULTZ, P.H. Printing space: using 3D printing of digital terrain models in geosciences education and research, **J. Geosci. Educ**. No 62. p. 138–145. 2014.

IRWIN, J.L. et al. The RepRap 3-D printer revolution in STEM education. **ASEE Annu. Conf. Expo**. p. 24.1242.1- 24.1242.13. 2014.

JUNIOR, A. J. R.; REIS, T. H.; GERMINARO, D. dos Reis. Disciplinas e professores de Astronomia nos cursos de licenciatura em Física das Universidades brasileiras.

Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia, São Carlos, SP, No. 18, p. 89-101, 2014.

KELLEY, T.R.; KNOWLES, J.G. A conceptual framework for integrated STEM education. **Int. J. STEM Educ.** No 3. 2016.

KRAUS, S. Astronomy for the Blind and Visually Impaired. **CAPjournal**. No. 21. p. 36-38. December 2016.

LANGHI, R. Dificuldades de professores dos anos iniciais do ensino fundamental em relação ao ensino da Astronomia. **Revista Eletrônica RELEA – Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia**. No 2. 2005.

LANGHI, R; NARDI, R. Ensino de Astronomia: erros conceituais mais comuns presentes em livros didáticos de ciências. **Cad. Bras. Ens. Fís.** v. 24. No. 1: p. 87-111. 2007.

LANGHI, R.; NARDI, R. Ensino de astronomia no Brasil: educação formal, informal, não formal e divulgação científica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 31, n. 4, 4402, 2009.

LEDERMAN, S. J.; KLATZKY, R. L. Hand movements: a window into haptic object recognition. **Cognitive Psychology**. No 19(3), p. 342–368.

LIMA, A. Astronomia no ensino de ciências: a construção de uma sequência didático-pedagógica a partir da análise dos livros didáticos de ciências. **UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**. Brasília. DF. 2018.

MADURA, T. A Case Study in Astronomical 3D Printing: The Mysterious η Carinae **Publications of the Astronomical Society of the Pacific**. No 129:058011. p. 18.

MAHIL, S. Fostering STEM+ education: improve design thinking skills. **2016 IEEE Glob. Eng. Educ. Conf.** p. 125–129. 2016.

MAKINO, M. et al. 3D printing of police whistles for STEM education. **Microsyst. Technol.** 2017.

MCMENAMIN, P.G. The production of anatomical teaching resources using three-dimensional (3D) printing technology. **Anat. Sci. Educ.** No 7 p. 479–486. 2014.

MIMS F.M. Amateur Science - Strong Tradition, Bright Future. **Science**. Vol. 284, pp. 55-56. 02 Apr 1999. DOI: 10.1126/science.284.5411.55

MUELLER, T. Small Bodies Near & Far. **European Commission in HORIZON 2020 Framework Programme for Research and Innovation under Grant agreement No 687378**. Disponível em <http://www.mpe.mpg.de/~tmueller/sbna/>. Acesso em: dezembro 2018.

NASA. **Center of Near Earth Object Studies**. Disponível em: <https://cneos.jpl.nasa.gov/>. Acesso em: 27 de outubro de 2018

RAMANI, G. B.; SIEGLER, R. S. Promoting broad and stable improvements in low-income children's numerical knowledge through playing number board games. **Child Development**. No 79(2). p. 375–394. 2008.

ROSCOE, J.F.; FEARN S.; POSEY, E. PoseyTeaching computational thinking by playing games and building robots. **Conf. Interact. Technol. Games** pp. 9-12, (2014).

RUSSEL, D. W.; LUCAS, K. B.; MCROBBIE, C. J.. Role of the microcomputer-based laboratory display in supporting the construction of new understandings in thermal physics. **Journal of Research in Science Teaching**. No 41(2), p. 165-185. 2004.

SCHELLY, C. Open-source 3-D printing Technologies for education: bringing additive manufacturing to the classroom. **J. Vis. Lang. Comput**. No 28. p. 226–237. 2015.

SCHWARZ, C. V. et al; Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners. **Journal of Research in Science Teaching**. No 46(6). p. 632-654. 2009.

SCHWARTZ, D. L.; BLACK, T. Inferences through imagined actions: knowing by simulated doing. **Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition**. No 25. p. 1–21. 1999.

SPOHN, T.; BREUER, D.; JOHNSON, T. Encyclopedia of the Solar System. Elsevier 3rd Edition. ISBN: 9780124158450. Abril de 2014.

STIER, K.; BROWN, R. Integrating rapid prototyping technology into the curriculum. **J. Ind. Technol**. No 17. 2000.

THOLEN, D.J. "Asteroid taxonomic classifications". Asteroids II; Proceedings of the Conference. **University of Arizona Press**. pp. 1139–1150. 1989.

TORRES, J.; VASCONCELOS, C. Natureza da Ciência e Modelos Científicos: um Estudo com Futuros Professores do Ensino Básico. **Interações**. p. 460-471. 2015.

VANDEVELDE, C. et al. Design and evaluation of a DIY construction system for educational robot kits. **Int. J. Technol. Des. Educ.** No 26. p. 521–540. 2016

VENKATESH, Viswanath; DAVIS, Fred. A theoretical extension of the Technology Acceptance Model: four longitudinal field studies. **Management Science**. 2000, vol. 46, n. 2, pp. 186-204.

WESTFALL, J.; SHEEHAN, W. Celestial Shadows: Eclipses, Transits, and Occultations. **Springer-Verlag**. New York. 2015.

WONG, N.; CHENG, H.H. CPSBot: a low-cost reconfigurable and 3D-printable robotics kit for education and research on cyber-physical systems. **2016 12th IEEE/ASME Int. Conf. Mechatron. Embed. Syst. Appl.** p. 1–6. 2016.

Apêndice A

Guia para o uso de modelos construídos com impressoras 3D no âmbito formal e não formal no Ensino de Astronomia do Sistema Solar

Diógenes Antunes Becker

Produto Educacional submetido ao Programa de Pós-Graduação (UFSC) 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:
Dr. Bernardo W. Borges

Criciúma
Fevereiro de 2019

Sumário

1. Impressão 3D na sala de aula.....	3
1.1 O que é impressão 3D?.....	3
1.2 Impressoras 3D.....	3
1.3 Montagem e personalização de uma impressora 3D.....	7
1.4 Utilizando a máquina.....	9
1.6 Considerações finais.....	14
2. Pequenos Corpos do Sistema Solar.....	17
2.1 Introdução.....	17
2.2 Tipos de asteroides e suas classificações.....	18
2.2.1 Classificação orbital.....	18
2.2.1 Classificação espectral.....	18
2.3 Asteroides Próximos a Terra.....	19
2.4 Órbitas relativas de Asteroides Próximos à Terra.....	20
2.5 Métodos de estudo de asteroides.....	21
2.5.1 Inversão da curva de luz.....	22
2.5.2 Ocultações.....	23
Apêndice A – Sequência didática I: Aula teórica - Analisar a forma e o tamanho relativo de asteroides.....	24
Apêndice B - Sequência didática II: Atividade experimental - Simulador de trânsito astronômico.....	29
Apêndice C - Contexto de aplicação: Preparando um grupo de alunos para a OBA.....	39
LISTA DE SIGLAS.....	40
LINKS REPOSITÓRIOS DE MODELOS 3D.....	41
Referências Bibliográficas.....	44
LINKS DE RECURSOS ÚTEIS.....	42

Apresentação

Palavras ao professor:

Prezado colega, nesse trabalho oferecemos um *guia* para a aplicação de duas sequências didáticas envolvendo a Tecnologia de impressão 3D nos âmbitos formal e não formal do Ensino de Astronomia. Aqui você terá recursos para orientá-lo nos aspectos teóricos e metodológicos da aplicação da Tecnologia de impressão 3D e também o embasamento teórico da Astronomia necessária para a aplicação dos projetos didáticos sugeridos. Esperamos que esse texto lhe auxilie na união do conhecimento em ensino com o conhecimento da Física (com ensejo a Astronomia), aplicado através do conhecimento tecnológico. Certamente um desafio fascinante para todo educador.

O material inicia com um breve apanhado histórico e apresenta os modelos de impressoras 3D que dispomos atualmente. Nessa apresentação tentamos passar nossa própria experiência pessoal com o uso dessa Tecnologia. Expomos a experiência de construção e aprimoramento de uma máquina de impressão 3D open source. Procuramos relatar também detalhes das dificuldades que tivemos no processo de impressão, além de passar a opinião pessoal sobre o atual estado da arte dessa Tecnologia. Na sequência você encontra o suporte científico necessário para as aulas de Astronomia que utilizam os modelos tridimensionais. O texto abrange uma introdução sobre os pequenos corpos do Sistema Solar, ocultações e aprofundando no tema asteroides, incluído os métodos de estudos destes.

Por fim propomos dois projetos didáticos utilizando objetos impressos em 3D. O primeiro emprega os objetos de forma representativa, para a discussão do tema envolvido. No segundo é elaborado um aparato que simula a ocultação, onde descrevemos o procedimento de montagem e construção do dispositivo. O aparato é composto essencialmente por um Arduino e um motor do tipo servo que foi implementado para mover os modelos tridimensionais de astros.

Boa leitura!

1. INTRODUÇÃO À UTILIZAÇÃO DA IMPRESSÃO 3D NO ENSINO

1.1 O que é impressão 3D?

De forma sucinta, máquinas de impressão 3D fabricam objetos físicos em três dimensões a partir de modelos digitais criados em três dimensões. Impressão 3D é o termo comumente usado para designar um artefato (objeto) produzido com uma máquina de impressão 3D ou para indicar o próprio procedimento. Na grande maioria das impressoras 3D domésticas, a impressora recebe o projeto a partir de um arquivo no formato STL (acrônimo da abreviação da palavra *stereolithography* da língua inglesa) que contém as coordenadas matemáticas para executar o modelo em camadas sucessivas e construí-lo por uma sequência de camadas ou seções transversais. Durante a impressão essas camadas são unidas para criar a forma final do objeto.

A primeira máquina foi criada por Chuck Hull, um engenheiro físico graduado pela Universidade do Colorado que também foi o inventor da técnica estereográfica utilizada até hoje nos arquivos de impressão 3D. Em seguida surgiu a primeira máquina com tecnologia semelhante às impressoras domésticas atuais, criada por Steven Scott Crump, valendo-se do formato *fused deposition modeling*, FDM (modelagem por deposição fundida), justamente a técnica aplicada nas máquinas de impressão 3D que utilizamos, e que compreendem os modelos mais populares e acessíveis.

No Brasil ainda não existem muitos estudos relacionados ao uso da impressão 3D no ensino, em contraponto, globalmente podem ser encontrados em boa quantidade, envolvendo todo o espectro de ensino, fundamental e médio e superior.

1.2 Impressoras 3D

As impressoras 3D podem ser divididas em dois grandes grupos; *closed-source* e *open-source*. As impressoras do tipo *closed-source* são aquelas impressoras comerciais com projeto proprietário onde todo o desenvolvimento, montagem, abastecimento e manutenção são executados pela fabricante responsável correspondente. Nesse tipo de impressora o equipamento de impressão 3D deve ser tratado como muitos outros dispositivos tecnológicos que utilizamos, onde o usuário/cliente depende exclusivamente do fabricante, inclusive na utilização da matéria prima recomendada ou

ofertada pelo fabricante. Esse é o tipo de máquina em que o usuário final tem “apenas” a tarefa de operar a máquina e onerar com as despesas envolvidas.

Numa breve pesquisa na internet o leitor terá a disposição um mar de opções entre equipamentos de impressão 3D comerciais, e perceberá que existem empresas bem estabelecidas no Brasil, fabricando máquinas com um bom custo benefício. No caso de optar por uma máquina *closed-source*, preferimos nos abster de recomendar ou listar determinados fabricantes, sugerindo uma pesquisa ostensiva não somente de valores, mas também sobre o que cada equipamento oferece, incluindo o suporte e a assistência técnica. Em relação a esses últimos, fizemos a observação de que muitos fabricantes internacionais não prestam suporte para seus produtos no Brasil, sendo necessário enviá-los ao exterior no caso de manutenção.

Outro detalhe muito importante a ser lembrado é que as impressoras 3D são muito diferentes de impressoras 2D. Vale explicar! Existe uma probabilidade grande de você já ter feito uso de uma impressora comum “de papel”, impresso um artigo, trabalho, e-mail ou boleto. Talvez você tenha instalado a impressora e saiba procedimentos avançados sobre sua impressora “de papel”, e pensa: – com a impressora 3D não será muito diferente! – e você está enganado. Entre as semelhanças de operar uma impressora 2D, que imprime em papel, e uma máquina de impressão 3D, eu diria que a principal, é que operamos duas máquinas que possuem a palavra impressora no nome, de resto, não lembro de outras afinidades. Então, a principal dica é não embarcar na opção *closed-source* achando que você vai “apertar um botão” e a máquina sairá imprimindo, por ser um modelo que “poupa trabalho ao usuário”. Impressoras *open* ou *closed* tem os mesmos detalhes e procedimentos de operação, sendo que em determinados modelos *open* isso pode ser facilitado quando comparado a determinados modelos *closed* e vice-versa.

Agora vamos falar um pouco das impressoras *open-source*, projetos que lhe dão chance de poder construir sua própria impressora 3D em casa ou na escola e ainda usá-la para fazer e replicar partes da própria impressora.



Figura 1.1. Propostas de logos para os projetos open-source hardware. Fonte: https://en.wikipedia.org/wiki/Open-source_hardware

A ideia de “*open-source*” parte de um conceito que inicialmente foi aplicado em software livre ou software de código aberto, onde o próprio nome esclarece a linha de pensamento que norteia a ideia. *Open-source* é um modelo ou conceito que promove o licenciamento livre para o design ou esquematização de um produto, bem como liberdade de redistribuição universal e liberdade de modificação do produto. Esse modelo de distribuição não envolve uma licença comercial, assim, promove um modelo colaborativo de produção intelectual. O mesmo conceito *open-source* utilizado em *software* também pode ser aplicado em projetos de *hardware*, fazendo com que todo o conhecimento ligado ao equipamento, desde lista de materiais, passando por desenhos mecânicos e diagramas eletrônicos até o *firmware* ou *software* que comanda a operação da máquina sendo disponibilizados livremente para qualquer interessado.



Figura 1.2. RepRap QR logo, a leitura do QR leva direto ao site reprap.org. Fonte: <https://reprap.org/wiki/RepRap-QR>

O projeto de impressoras *open-source* com maior relevância se chama **RepRap**, na figura 1.2 você pode ir direto ao site através do *QR code*, envolvendo não apenas um projeto de construção, mas uma série de impressoras 3D de projeto livre, inteiramente

disponível na web, permitindo que você monte sua própria máquina utilizando materiais acessíveis para quase qualquer pessoa, esquadrias de alumínio, estruturas em MDF, motores de passo, parafusos, correias, porcas, etc. Se você já possui alguma experiência com mecatrônica, a construção da máquina se torna uma aventura de aprendizado incrível. Na maioria das impressoras *RepRap*, os mecanismos de controle eletrônico envolvem o Arduino (figura 1.3), projeto de extremo sucesso global e pioneiro dentro do conceito *open-source hardware*, além de “velho conhecido” de muitos professores de Física e Ciências.



Figura 1.3. Placa de Arduino, projeto pioneiro em open-source hardware. Fonte: <https://en.wikipedia.org/wiki/Arduino>

Já, se você não tem muita experiência e apetite para uma grande aventura pela mecatrônica ou simplesmente talvez não tenha tempo para se dedicar a cada item da lista de peças e montagem de uma impressora 3D, pode encontrar kits completos de impressoras *RepRap*. Esses kits podem ser adquiridos on-line de diversos fornecedores, tudo aqui mesmo no Brasil, sem precisar recorrer à fonte e frete internacional. Disponível em diversos modelos, a versão mais comercializada no Brasil dessa categoria e com grande variedade de kits e personalizações é a impressora 3D *RepRap* do modelos Prusa i3 e suas derivações. Esse modelo recebeu o nome que homenageia o “criador”, que ficou entre aspas, pois o próprio Josef Průša usou outros modelos de *RepRap* como inspiração, sem contar que a própria Prusa i3 sucede uma versão anterior batizada de Prusa Mendel. Resolvemos destacar esse modelo aqui, por ser o modelo com o qual, em aspectos gerais, tivemos a interação mais agradável entre as impressoras as quais utilizamos.

A vantagem de se utilizar um modelo popular é a disponibilidade de extensa documentação, peças de reposição, disponibilidade de matéria prima compatível com a máquina, entre outras. O autor desse guia exalta a excelente experiência que teve com impressoras 3D modelo Prusa i3, desde sua montagem até o uso diário propriamente dito. E sim, recomenda esse modelo, entre as demais, para montagem. Advertindo que, obviamente, como qualquer outra atividade com certa complexidade, você passará por uma curva de aprendizado.

Verdadeiramente e felizmente você vai passar por problemas e dificuldades no uso e construção da impressora 3D e também durante o processo de impressão em todas as suas etapas. São essas dificuldades que elevarão seu *know-how* acerca do universo de conhecimento envolvido na impressão 3D. Em nossa experiência, inicialmente montamos três máquinas modelo Prusa i3, uma para nosso uso pessoal e duas para a escola onde o projeto foi aplicado, sendo a primeira adquirida através de um kit e outras duas com pequenas adaptações e lista de peças personalizadas adquiridas de fornecedores separados. Depois foi a vez de montarmos a *M Prime One*, outro modelo de impressora open-source, também *RepRap*, mas não tão popular quanto a Prusa i3 no mundo das impressoras 3D *open-source*. A *M Prime One*, apesar de não ser nossa recomendação de primeira equipamento de impressão 3D, é tão especial que merece um subcapítulo dedicado a ela.

1.3 Montagem e personalização de uma impressora 3D

Após as primeiras experiências e aprendizados com as máquinas do modelo Prusa i3 resolvemos explorar outros modelos de impressora da linha *open*, quando surgiu a *M Prime One*. Esse projeto não estava só na disputa da seleção dessa nova *RepRap* a ser montada. Mas, algumas características fizeram a diferença e definiram a escolha frente aos outros modelos. A primeira característica era ser uma impressora *open-source*, de preferência uma *RepRap*, que compreendiam modelos com os quais já estávamos familiarizados. Muitas máquinas compartilham semelhanças entre o *firmware* e o *software* de operação, mesmo com as *closed*. Outra característica relevante foi à portabilidade da máquina, já que pretendia utilizá-la em casa e na escola, além da possibilidade de adquirir todas as peças no Brasil, sem a necessidade de importação.

Diante dessas características prioritárias, somada a documentação adequada, detalhes do projeto publicados em grandes repositórios, como o *github*, além do site particular de Diego Trapero, o engenheiro espanhol que idealizou o projeto, decidimos

tonar real o projeto da M Prime, esboçada na figura 1.4. Agora que já tínhamos decidido pelo modelo de projeto, veio a execução, iniciando pela leitura de toda a documentação disponível sobre o projeto e em seguida, com certa ousadia, fazendo algumas alterações no mesmo. Optamos por utilizar uma extrusora (mecanismo que “empurra” a matéria prima para o bico de impressão) diferente do projeto original, substituindo por outro projeto de extrusora que já nos era conhecido. Também alteramos pequenos detalhes e peças na montagem, como rolamentos inteiriços no eixo Z, adicionando o auto *bed leveling*, responsável por fazer um mapeamento da mesa antes da impressão e finalmente colocando uma caixa para proteger toda a eletrônica da máquina.

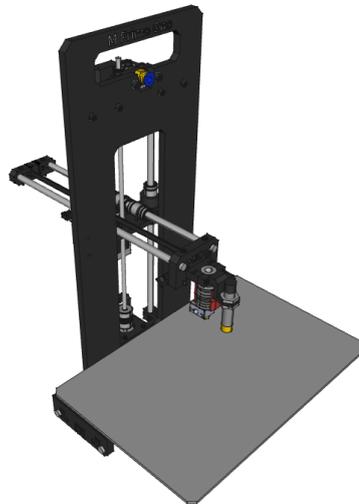


Figura 1.4. Modelo em FreeCAD da M Prime One. Disponível em https://github.com/M-Prime/M_Prime_One

Dentre as personalizações, a mais salutar, adicionou a mesa aquecida, que não foi privilegiada no projeto original de Diego Trapero. Mas porque se preocupar com um item que o idealizador principal da máquina não se preocupou? Nas nossas primeiras impressões já havíamos sofrido com um problema associado ao fato de não utilizar a mesa aquecida adequadamente, ou utilizá-la sem proteção de correntes de ar ou ainda com pouco aquecimento da mesa, popularmente conhecido como *warping*. Para evitar esse e outros pequenos problemas que provém justamente da ausência da mesa aquecida, resolvemos adicionar o aquecimento da base de impressão e aperfeiçoar o firmware, que é open-source. O firmware que utilizamos, em especial, se chama *Marlin*, ele já vem com a programação padrão para operar com a mesa aquecida, bastando configurá-lo. Depois de adequar o projeto as nossas necessidades partimos para a lista de peças e como já era de se esperar encontramos muitos itens que já eram conhecidos

da montagem da Prusa i3, entre eles, bico de extrusão, rolamentos, barras de eixos circulares de aço, placas eletrônicas, etc.

Na época, em meados de 2016, toda nossa personalização e detalhes de montagem foram compartilhados, geralmente utilizando a língua inglesa, no grupo de discussão da *M Prime One* na comunidade do Google+. Você encontrará esse e outros endereços eletrônicos na lista de sites úteis no fim do guia. Com a ajuda e sugestões do *forum* e um algum tempo de trabalho dedicado conseguimos concluir o projeto da *M Prime One* personalizada. Todo o material compartilhado na época está disponível publicamente tanto na comunidade da *M Prime* no Google+ como no site pessoal do autor no Google+. O ponto mais recompensador de nossa participação no projeto foi quando o principal responsável pelo projeto, Diego, compartilhou um vídeo de nossa montagem que havíamos colocado na comunidade, na sua própria página pessoal do Google+, elogiando “aquela” versão de *M Prime*, ilustrada na figura 1.5 abaixo.

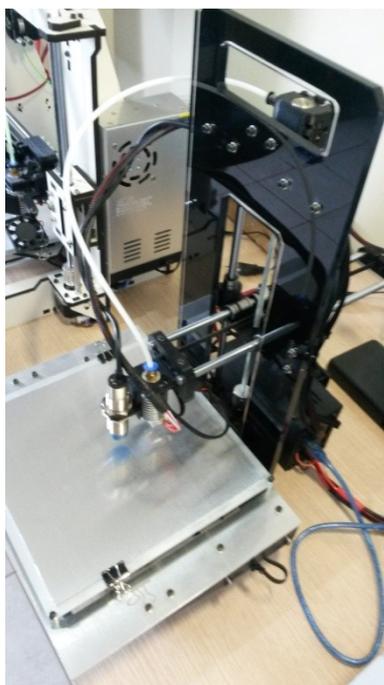


Figura 1.5. *M prime One* construída em 2016. Disponível em: <https://plus.google.com/+DiógenesBecker>

1.4 Utilizando a máquina

A Tecnologia de impressão 3D ou a máquina propriamente falando já é uma Tecnologia acessível, pelo menos financeiramente. Com o valor inferior ao de muitos celulares é possível adquirir uma impressora 3D, seja ela modelo *open* ou *closed*. Como já foi colocado, operar uma impressora 3D, e obter êxito no resultado final dos objetos impressos, não depende apenas de “apertar o botão” imprimir. Para ter bons resultados,

você terá de ir muito além, dedicando tempo ao aprendizado, se cercado ao máximo da teoria adjacente através dos fóruns, vídeos, grupos de uso e desenvolvimento.

Sem sombra de dúvida aquele que optar por construir a própria máquina terá maiores dificuldades no início da jornada. Esse esforço extra será recompensado de alguma forma mais adiante, durante o uso da máquina, sendo um usuário “mais avançado”, quando comparado ao “usuário comum”. Convém colocar que você pode ser um excelente operador de impressoras 3D sem ter construído uma impressora, apenas ressaltamos acima, que essa tarefa de operar se torna mais simples para quem construiu sua própria impressora 3D e conhece cada parafuso, código e cabo da máquina.

Se um bom resultado de impressão não depende apenas de apertar do botão imprimir, quais seriam os “elementos” que influenciam diretamente nos resultados? Bem, não vamos detalhar cada tópico, mas vamos elencar alguns que se sobrevaleram em nossa experiência pessoal. Dividimos em uma primeira alínea que compõe aspectos relacionados ao equipamento utilizado e uma segunda lista que estão relacionados ao operador da máquina.

1. Atributos relacionados ao equipamento ou que não dependem do operador.
 - Qualidade geral do equipamento de impressão 3D ou das peças e técnicas utilizadas para montagem da máquina.
 - Qualidade da matéria prima utilizada na máquina.
 - Qualidade do *software* que gera o arquivo de impressão 3D e da operação desse *software*.
 - Qualidade do modelo digital utilizado.

2. Atributos que estão relacionados às habilidades do operador:
 - Controle da temperatura de fusão da matéria prima (filamento utilizado na maioria da impressoras FDM atuais);
 - Controle da temperatura da mesa de impressão (base da impressora);
 - Espessura da camada de fatiamento, (geralmente em microns);
 - Tipo e qualidade da cola utilizada para prender o objeto na mesa de impressão;
 - Utilizar RAFT e BRIM quando imprescindível, que na verdade está correlacionado ao item anterior;

- Adequar não somente o preenchimento, mas também o tamanho da parede de perímetro do objeto para cada modelo 3D;
- Configurar o suporte quando devido;
- Alterar a velocidade da máquina em etapas importantes da impressão, como nos preenchimentos, bridges, etc;
- Posicionar o objeto na mesa de forma a eliminar ou diminuir a utilização de tecnologia de suporte ou outros addons;
- Compreender a importância da primeira camada para o bom andamento da impressão, tanto em impressoras FDM quanto em SLA (fotoretina),
- Calibrar os eixos X, Y e Z para que as peças produzidas não tenham deformação de escala em determinados eixo,

1.5 Repositório de modelos tridimensionais

Antes de conhecer ou ouvir falar de impressora 3D as pessoas já entraram em contato com modelos tridimensionais digitalizados por computação, seja através de um trabalho de prototipagem em *Solidworks* (software de modelagem 3D conhecido entre engenheiros), a planta de uma casa, a decoração da casa projetada em *Sketchup* ou talvez simplesmente jogando videogame e assistindo um filme de animação. Independente de quão familiar é sua relação com modelos tridimensionais, esses modelos são indispensáveis na impressão 3D. Para fazermos uma analogia, consideramos que na impressão 2D comum ou impressão em papel como já designamos anteriormente, precisamos de um texto e/ou figura num arquivo digital que contenha uma projeção bidimensional para ser impressa. Já na impressão 3D é compulsório ter um arquivo digital “contendo” o modelo tridimensional a ser impresso. Sem esse modelo, não temos um objeto para ser impresso. Mas então como produzir modelos tridimensionais e qual a dificuldade associada a essa tarefa?

A produção de modelos tridimensionais pode envolver técnicas e habilidades que não são conquistadas num intervalo curto de tempo. Não estou aqui duvidando de sua capacidade prezado colega professor, estou apenas alertando que modelar em três dimensões é basicamente uma profissão, que não exige horas, nem semanas, mas sim meses e provavelmente anos de aprendizado e dedicação. Esse aprendizado depende, obviamente, da complexidade dos objetos que se deseja modelar, já que não será tão custoso aprender como se modela um cubo, um paralelepípedo ou uma esfera. Porém,

será exigida muita técnica e conhecimento quando se pretende fazer a modelagem tridimensional, de um automóvel, com semelhança ao objeto real existente.

Caso você esteja desanimado com as dificuldades apresentadas com relação à modelagem, não desanime. O professor interessado na impressão 3D não precisa de conhecimentos de modelagem tridimensional. Você terá a inteira disposição repositórios abundantes, com milhares de objetos tridimensionais prontos para serem impressos. - Mas espere aí! Imprimir um modelo tridimensional que outra pessoa projetou não é crime? Eu não estaria infringido direitos autorais? - A resposta para essas duas perguntas é a mesma, e se resume a palavra “depende”. Depende da licença (anuência) que o autor ou proprietário do modelo deu ao arquivo que contém o modelo tridimensional. Se o modelo em questão possui uma licença proprietária fechada, e de algum modo você encontrou esse arquivo na web, fez o download e/ou o mantém salvo em seu computador, não precisa nem imprimi-lo para “cometer” o erro (crime), provavelmente o erro já foi cometido. E sim, imprimir um “arquivo” desses é crime, pois você não tem o direito (a licença) de fazê-lo.

Por mais surpreendente que possa parecer para algumas pessoas, existem numerosos, dezenas de milhares de modelos tridimensionais disponíveis na internet, publicados justamente sob licença aberta, que podem ser impressos as dezenas, centenas ou milhares de vezes, sem problema algum. Pode parecer *Déjà vu*, mas não é, se você está lendo desde o início já ouviu essa história antes, certo!?!? Recomendo a leitura e pesquisa dos tipos de licença do tipo *creative commons* (que pode ser consultado em língua portuguesa no site referenciado na figura 1.6) caso você tenha curiosidade ou interesse em se aprofundar no tema de licenças de compartilhamento gratuitas.



Figura 1.6. Logo do site dedicado a licenças de compartilhamento gratuito em português. Disponível em: <https://br.creativecommons.org/licencas/>

Vamos falar agora do repositório de modelos 3D mais popular da web. Não achamos prudente alongar a lista com sites que possuem repositório de conteúdo proprietário (exclusivamente pago). Ao fim deste guia o professor encontrará uma lista contendo aproximadamente uma dúzia de repositórios online, dentre os quais cerca de metade possuem conteúdo totalmente livre. Os demais são repositórios possuem tanto

conteúdo livre quanto pago, com o destaque para alguns que proporcionarem a troca de modelos tridimensionais entre os projetistas cadastrados na plataforma.

Como ocorre em todo setor da tecnologia, determinados produtos e serviços acabam tendo mais popularidade e maior utilização entre os demais. Existe determinado buscador que se evidencia perante os demais, um determinado navegador ou outro *software* que se sobressai aos concorrentes. Entre todos os repositórios de modelos 3D disponíveis, destacamos o *thingiverse*⁶. Infelizmente, ele se distingue bastante dos demais, é de longe o mais completo repositório de modelos 3D livre *online*. Possui uma área do site com conteúdo puramente educacional, além de uma série de menus com conteúdo dividido por nichos.

Dentro da área educacional do site você poderá fazer sua busca por divisão de áreas como ciência, artes, história, matemática entre outras ou fazer sua busca concentrada no ano escolar, indo da pré-escola até a universidade. Com todos os seus atributos, o *thingiverse* foi o repositório escolhido para suprir nossa demanda por modelos tridimensionais que podem ser empregados no ensino de Astronomia, como o ilustrado na figura 1.7.



Figura 1.7. Lua impressa em 3D. Modelo retirado do *thingiverse* sob licença livre. O autor do modelo usou os dados originais do *Lunar Reconnaissance Orbiter* (LRO) da NASA. Disponível em <https://www.thingiverse.com/thing:755855>

O próprio site da NASA apresenta alguns modelos tridimensionais disponíveis livremente. Entretanto, não menosprezando a contribuição, pareceu mais vantajoso utilizar o *thingiverse* em face de sua variedade e integração de objetos. Modelos de outros repositórios com licença livre são facilmente encontrados no *thingiverse*, pois são apenas republicados, como a licença corrobora, todavia o contrário não é verdade.

⁶ <https://www.thingiverse.com>

Para os propósitos do nosso projeto o *thingiverse* teve um papel salutar, a disponibilidade objetos que podem ser trabalhados com licença livre abre uma incrível gama de opções para aulas com impressão 3D.

Vale lembrar que você pode alterar várias características do objeto sem editar propriamente o arquivo do modelo 3D. Se quiser se arriscar, existem ferramentas de edição e modelagem 3D integradas ao próprio site *thingiverse*. As definições de preenchimento da peça, determinada em porcentagem, são definidas pelo próprio usuário no software de impressão 3D. Esse mesmo software pode alterar a escala do objeto independentemente nas três dimensões ou ainda partir um modelo em mais partes para facilitar a impressão ou ainda permitir imprimir um objeto em escala maior com uma impressora de volume reduzido.

Diante de tantos recursos, nos parece equivocada o educador se negar a utilizar a impressão 3D pelo argumento de que ele não domina a modelagem 3D. A modelagem 3D é um passo complementar no mundo da impressão 3D, e que muitas vezes acontece de forma natural para os usuários mais avançados.

Nem tudo no mundo do *thingiverse* é bom e vantajoso. Existem detalhes importantes a serem considerados. Pessoalmente, acredito que um dos grandes “problemas” do *thingiverse* é ele ser um site proprietário. Apesar de distribuir e fomentar material que está livre de direitos autorais, o site em si não está apoiado sobre uma ONG ou algum tipo de organização sem fins lucrativos. A empresa que sustenta o *thingiverse* se chama Makerbot e é uma fabricante de impressoras 3D comerciais. Mas onde isso se torna um problema? No momento não existe problema algum, pelo contrário, a empresa possibilita através do site *thingiverse* e incentiva o uso da manufatura aditiva. Você poderá encontrar guias gerais de impressão 3D no ensino no site da própria Makerbot. Contudo, penso que por ser uma empresa de capital privado ela está suscetível a todo o universo de eventos intrínseco ao mundo corporativo ou chamado segundo setor.

No maior repositório virtual de modelos digitais da web, seria mais interessante para toda a comunidade, uma estrutura fundamentada no terceiro setor (ONG), nas organizações não governamentais, ficando assim mais livre das intempéries econômicas e governamentais. Um grande exemplo desse molde de serviço digital gratuito é a Wikipedia, administrada pela Wikimedia, uma ONG sem fins lucrativos. Já existe certa correspondência de operação entre a Wikipedia e o *thingiverse*, perante a licença livre que já mencionamos, trazendo uma grande possibilidade de um futuro repositório

semelhante administrado por uma ONG. Atualmente qualquer pessoa ou organização sem fins lucrativos poderia replicar legalmente (ou espelhar) os dados dos servidores do thingiverse que possuem licença livre.

1.6 Considerações finais

No presente trabalho, de acordo a teoria e sequências didáticas apresentadas a seguir, manifestamos interesse nos modelos tridimensionais de corpos celestes. Utilizando o sistema de busca direta (aconselhamos utilizar o inglês) fizemos pesquisas sobre os corpos aos quais estávamos interessados, e felizmente, encontramos mais de um modelo para cada astro. Boa parte dos objetos astronômicos encontrados tem o desenho de acordo com suas medidas reais e em proporção correta. Alguns modelos utilizam recursos de mapeamento de superfície e outros poucos são concepções puramente artísticas. Não que esta última não seja uma opção interessante, mas para nosso contexto tiramos mais proveito de objetos construídos de acordo com as medidas reais.

As impressoras 3D estão consolidadas como uma grande invenção, que vem ganhando atenção principalmente neste início de século, e que ainda passa por profundo desenvolvimento. Essas máquinas possuem várias limitações que carecem de aperfeiçoamento. O tempo de impressão é uma das variáveis que deve melhorar, esse tema é explorado na dissertação que corresponde a esse trabalho, caso tenha interesse na leitura complementar. Mas se o tempo de impressão não compromete a impressão de um objeto tridimensional, então quais seriam os outros obstáculos?

Vale ressaltar, que nem todos os modelos 3D disponibilizados são realmente imprimíveis. Muitos autores de modelagem 3D disponibilizam seus modelos sem ao menos tê-los impressos uma única vez. O objeto pode conter erros de modelagem, como partes do modelo que não se conectam internamente. Isso acontece principalmente porque muitos modelos não foram inicialmente concebidos com a finalidade de impressão 3D. Esses objetos foram modelados para serem utilizados em animações ou videogames ou outros tipo de apresentação. Assim, quando o artista idealizou o projeto, não tinha compromisso com a possibilidade de seu modelo se tornar um objeto real. Outra limitação está relacionada à tecnologia ou domínio da tecnologia oferecida pelo equipamento de impressão 3D. Por exemplo, poucos objetos foram projetados para serem impressos por dois bicos de impressão, mas os que foram projetados assim serão impressos apenas por máquinas que tenham dois bicos de impressão.

Cabe ao educador reconhecer o equipamento que está a sua disposição e selecionar os modelos que se ajustem a esse. Se o último parágrafo foi motivo de preocupação, vale lembrar que um equipamento simples e o bom domínio da técnica de impressão possibilita a impressão de incontáveis modelos dispostos nos repositórios. O usuário mais experiente identifica em poucos segundos um modelo que é adequado ou não para sua máquina.

***Dica para o professor:** No thingiverse você pode compartilhar cada impressão sua e associá-la ao modelo original, como uma espécie de rede social. Então, se determinado modelo está disponibilizado há algum tempo, e ninguém o fez (imprimiu) - nem mesmo o autor da peça - é uma forte indicativa que esse modelo “não é imprimível”. Agora se você observar que determinado modelo foi impresso duas mil e setecentas vezes, bom, aí é uma boa indicativa que esse modelo deve ser impresso sem dificuldades.*

O surgimento de tecnologias de manufatura aditiva e impressão 3D criou oportunidades para novas práticas de ensino em uma variedade de assuntos e contextos educacionais. Acreditamos que estas inovações trazem vantagens ao ensino e a forma de ensinar, até então desconhecidas. O tema de impressão 3D é, em certos aspectos, de vanguarda, e não obstante, há atualmente uma ausência de literatura científica de como as tecnologias de manufatura aditiva estão sendo usadas no sistema educacional. A ideia deste guia é também acender uma pequena vela nesse ambiente de vasta escuridão. Do pouco material sobre o assunto, com o auxílio do orientador desse trabalho, recolhemos alguns artigos publicados até 2018 retratando o uso de impressão 3D no ensino médio e fundamental e também na junção dos dois. Esse material foi utilizado como base de conhecimento e estudo para aplicação do nosso próprio projeto. Assim, lembrando para os leitores persistentes, que os artigos estão todos citados nas referências da dissertação e desse guia didático.

2. PEQUENOS CORPOS DO SISTEMA SOLAR

O capítulo apresentado a seguir traz o estudo referente ao tema Universo, Terra e Vida, especificamente direcionado aos Pequenos Corpos do Sistema Solar e Asteroides, fazendo parte de um complexo conjunto de conceitos e informações. Sendo exposto desde conceitos mais básicos necessários para o entendimento das sequências até as informações relevantes para o entendimento da Astronomia envolvida de maneira geral. O objetivo é que essa unidade seja um guia de ensino de conteúdos teóricos sobre o tema abordado nas sequências, não apenas para inspirar e significar, mas como agente essencial na transposição do produto educacional por parte do professor.

2.1 Introdução

Em agosto de 2012, após uma jornada de 36 anos, a sonda Voyager alcançou finalmente o limite do Sistema Solar. A análise foi publicada em 2013 na revista *Science* após longa discussão entre pesquisadores da área (KERR, 2013). A discussão aconteceu devido à dificuldade de interpretar os dados enviados pelos poucos instrumentos ainda operacionais na sonda, lançada com sua irmã Voyager 2 em 1977. A nave se tornou o primeiro artefato humano a cruzar a heliopausa - termo que designa a região externa do Sistema Solar - e iniciou sua navegação pelo vasto espaço interestelar. A distância estimada dessa fronteira é de 18 bilhões de quilômetros do Sol. Para permitir uma comparação mais direta das distâncias no Sistema Solar, os astrônomos utilizam um "metro planetário" chamado Unidade Astronômica (UA). 1 (uma) UA é equivalente à distância média entre a Terra e o Sol, ou seja, aproximadamente 150 milhões de quilômetros ($1,50 \times 10^{11}$ m). Fazendo a conversão, temos uma distância aproximada de 122 UA até o fim da heliopausa. Para comparação, o raio médio da órbita de Netuno, o planeta mais distante do Sol conhecido, é de 30 UA e de Mercúrio, o planeta mais próximo ao Sol, de 0,4 UA. Independente da discussão acerca do ponto exato onde o Sistema Solar termina, surgem questões importantes: se olharmos para dentro do Sistema Solar nesse ponto, o que veremos? Quais objetos? Quais suas dimensões, órbitas, composições e estruturas? A seguir, vamos definir o que é o Sistema Solar e classificar seus componentes.

O Sistema Solar é o sistema de objetos ligados gravitacionalmente ao Sol, ou seja, o conjunto de objetos que orbitam, direta ou indiretamente, a nossa estrela central. Os principais componentes do Sistema Solar são, sem dúvida, os oito planetas: Mercúrio, Vênus, Terra, Marte, Júpiter (o de maior massa), Saturno, Urano e Netuno (o mais distante do Sol). A maioria do público não especialista, incluindo docentes do ensino básico (e até material didático utilizado por eles), ainda têm uma visão excessivamente simplificada, vazia, do Sistema Solar: Sol, planetas, Lua e alguns poucos outros objetos menores, representados, muitas vezes, com escalas de distância de suas órbitas erradas. Como veremos, atualmente há um número muito grande de objetos conhecidos, classificados de diferentes formas, um verdadeiro zoológico astronômico. Como exemplo, uma classe de pequenas rochas cósmicas (sem importância à primeira vista) pode, como veremos adiante, trazer riscos enormes à Humanidade caso colidam com a Terra, exigindo atenção maior que corpos planetários distantes e gelados.

Os componentes do Sistema Solar podem ser classificados como planeta, planeta anão, satélite natural, Pequeno Corpo do Sistema Solar (PCSS) e meio interplanetário (SPOHN, BREUER & JOHNSON, 2014; KARTTUNEN et al., 2017). De acordo com a Resolução B5 da União Astronômica Internacional (UAI) de 2006 (IAU 2006), planeta é todo corpo que orbita o Sol, que tem massa suficiente para que a atração gravitacional supere sua rigidez e ele assuma uma forma de equilíbrio hidrostático (ou seja, aproximadamente esférica), e que tenha limpado as vizinhanças de sua órbita (via perturbações gravitacionais nos corpos próximos). Planetas anões são objetos que não satisfazem a última condição para ser classificado como um planeta, ou seja, não realizaram a limpeza de sua órbita, induzindo perturbações gravitacionais nos corpos que existirem nas vizinhanças. Atualmente a UAI reconhece 5 planetas anões: Ceres (localizado entre as órbitas de Marte e Júpiter), Plutão, Haumea, Makemake e Éris, que estão além da órbita de Netuno. Há uma lista de objetos aguardando novas observações para que sejam definitivamente classificados como planetas anões. Não estão incluídos nessa categoria os satélites naturais. Os satélites naturais, são quaisquer corpos que orbitam um planeta, um planeta anão ou mesmo um PCSS. O termo artificial é utilizado para aqueles objetos que foram construídos pelo homem. O meio interplanetário - meio que permeia as órbitas dos planetas, planetas anões, satélites e PCSS - é composto por poeira, vento solar e raios cósmicos.

Por fim, os PCSS são uma classe heterogênea de objetos, que podem ser classificados internamente de diferentes maneiras (SPOHN, BREUER & JOHNSON, 2014; KARTTUNEN et al., 2017). Uma maneira direta de definir um PCSS é observando o que ele não é: são objetos que não são nem planetas, nem planetas anões, nem satélites naturais. Um esquema bastante utilizado classifica os PCSS como asteroides, troianos, centauros, cometas, objetos transnetunianos (OTN) e meteoroides. No tema de Astronomia escolhido no desenvolvimento do presente produto educacional (mais especificamente, no tema escolhido dentro da Astronomia do Sistema Solar) optamos por versar sobre os asteroides, que serão descritos em mais detalhes no próximo parágrafo. Cometas são objetos compostos por uma mistura de gelo, rochas e poeira, com diâmetro na ordem de 10 km ou menos. São originários das regiões externas do Sistema Solar, com distância ao Sol maior que a órbita de Netuno. Acredita-se que essas regiões sejam povoadas por milhões de objetos e alguns deles assumem órbitas alongadas (ou seja, órbitas elípticas com grande excentricidade), aproximando-se do Sol. Na aproximação os cometas exibem suas características mais marcantes. A evaporação do gelo forma uma atmosfera, a chamada coma, em torno do núcleo cometário. A vapor e as partículas que se desprendem nesse processo formam duas caudas, uma de gás e outra de poeira. OTN são PCSS que orbitam o Sol a uma distância (média) maior que a da órbita de Netuno. São classificados como OTN do cinturão de Kuiper ou OTN do disco espalhado. A designação é ambígua e pode, dependendo do contexto, incluir outros objetos. Plutão, por exemplo, é um objeto transnetuniano, porém não é um PCSS e sim um planeta anão. Meteoroides são fragmentos rochosos e/ou metálicos cujos tamanhos são menores que alguns metros: pequenos demais para serem classificados como asteroides, grandes demais para serem considerados meio interplanetário.

Os asteroides formam uma população de milhões de pequenos corpos encontrados na região interna do Sistema Solar, concentrados entre Marte e Júpiter no chamado cinturão de asteroides (ou cinturão principal de asteroides). Suas composições variam bastante, de rochas metálicas fundidas à misturas de rochas e gelos, assim como suas dimensões, que vão de centenas de quilômetros a alguns metros. São classificados de acordo com as propriedades dinâmicas de suas órbitas (famílias) e propriedades espectrais (relacionadas às suas composições químicas). Alguns possuem satélites e anéis. O estudo dos asteroides é fundamental para compreender a formação e evolução do Sistema Solar, o que inclui entender o passado e prever o futuro da Terra e da

Humanidade (SPOHN, BREUER & JOHNSON, 2014). São restos intocados do Sistema Solar primitivo, fósseis das formação dos planetas interiores (Mercúrio, Vênus, Terra e Marte), que fornecem pistas da mistura química primordial da qual esses planetas foram formados há 4,6 bilhões de anos. Além de contribuir nas respostas às questões básicas, no início do Séc. XX já foi vislumbrado o potencial econômico na prospecção de recursos em asteroides e cometas: minérios, água, compostos ricos em carbono, energia para viagens espaciais, etc. (CALLA & WELCH, 2018; FOUST, 2019). E mais: como será visto nas próximas seções, a identificação e acompanhamento de asteroides com órbitas que passam próximos à Terra é fundamental para a sobrevivência da Humanidade. Muito do que conhecemos desses corpos foi obtido pela análise de meteoritos, que são meteoroides que conseguiram sobreviver ao atrito da entrada na atmosfera e foram recuperados após o impacto com o solo. Cerca de metade da massa do cinturão está contida nos quatro maiores asteroides: Ceres, Vesta, Palas e Hígia. A massa total do cinturão de asteroides é aproximadamente 4% da massa da Lua e a teoria mais aceita atualmente considera que se formaram simultaneamente com os maiores planetas do Sistema Solar. Não é possível observar asteroides com a vista desarmada (*i.e.* auxílio de sem instrumentos ópticos). A figura 2.1 a seguir contempla a imagem de alguns asteroides em escala.

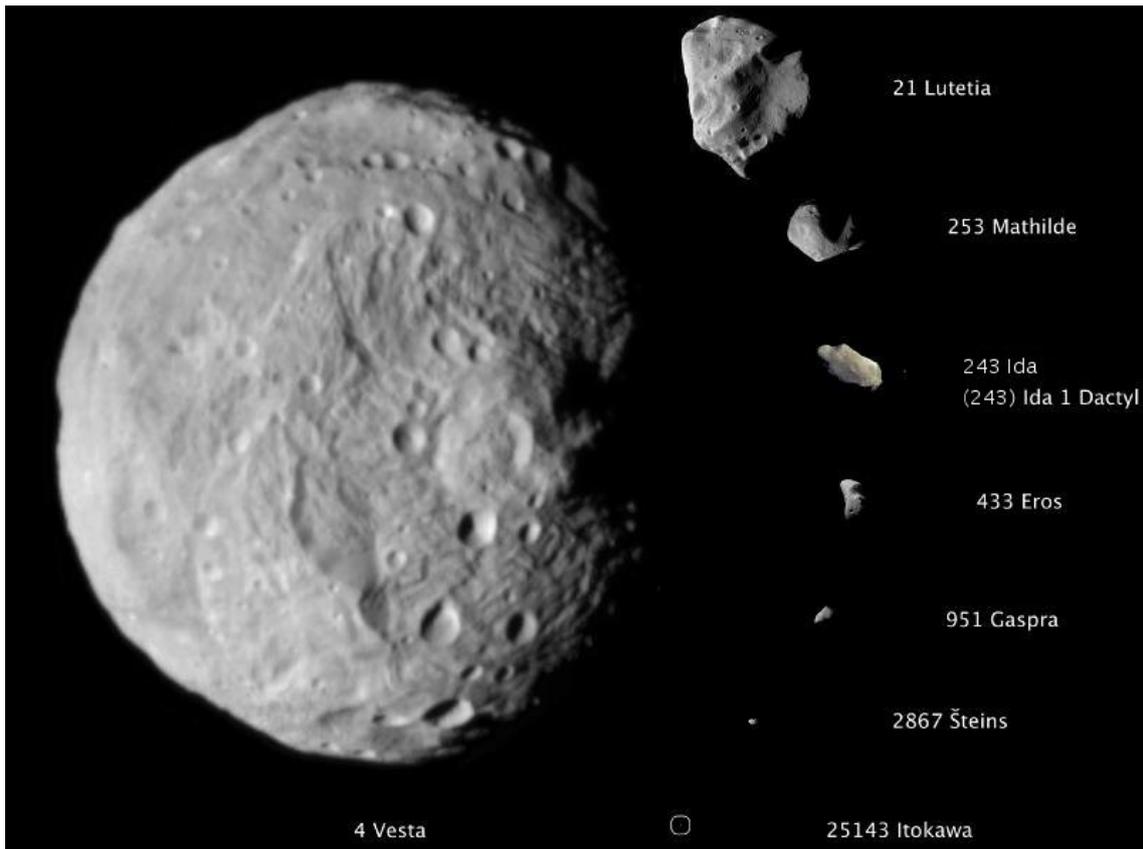


Figura 2.1. Uma imagem composta, em escala, dos asteroides que foram fotografados em alta resolução, exceto Ceres. A partir de 2011, eles são, do maior para o menor: 4 Vesta, 21 Lutetia, 253 Mathilde, 243 Ida e sua lua Dactyl, 433 Eros, 951 Gaspra, 2867 Šteins, 25143 Itokawa. Disponível em NASA/JPL-Caltech/JAXA/ESA - http://dawn.jpl.nasa.gov/multimedia/images/571372main_pia14316-43_800-600.jpg.

2.2 Tipos de asteroides e suas classificações

2.2.1 Classificação orbital

Asteroides são comumente classificados de acordo com dois critérios: as características de suas órbitas e as características de seu espectro de refletância. Muitos asteroides foram colocados em grupos e famílias com base em suas características orbitais. Além das divisões mais amplas, costuma-se nomear um grupo de asteroides após o primeiro membro desse grupo a ser descoberto. Os grupos são associações dinâmicas relativamente “frouxas”, enquanto as famílias são mais resistentes e resultam da ruptura de um grande asteroide pai num momento do passado.

As famílias são mais comuns e mais fáceis de identificar quando estão dentro do cinturão principal de asteroides, mas várias famílias pequenas são registradas fora dele. As famílias do cinturão principal foram reconhecidas pela primeira vez por Kiyotsugu Hirayama em 1918 e são frequentemente chamadas de famílias de Hirayama em sua homenagem. Cerca de 30% a 35% dos corpos no cinturão de asteroides pertencem a famílias dinâmicas, cada uma com origem comum em uma colisão passada entre asteroides (SPOHN, BREUER & JOHNSON, 2014; HIRAYAMA, 1918).

2.2.2 Classificação espectral

Em 1975, foi introduzido um sistema taxonômico de asteroides baseado na cor, albedo (medida do poder de reflexão da luz solar de um corpo) e características espectrais, justamente propriedades que indicam a composição do material da superfície do asteroide. O sistema de classificação original tinha três categorias: o tipo C para objetos escuros com carbono em sua formação (correspondendo a 75% de asteroides conhecidos), o tipo S para objetos rochosos (silício) (cerca de 17% dos asteroides conhecidos) e tipo U para aqueles que não se encaixam em C ou S. Posteriormente essa classificação foi expandida para incluir muitos outros tipos de asteroides, sendo que o número de tipos continua a crescer à medida que mais asteroides são estudados (THOLEN, 1989).

Os dois sistemas de taxonomia mais utilizados atualmente são a classificação Tholen e a classificação SMASS. Ambos os sistemas possuem três amplas categorias chamadas asteroides C, asteroides S, e asteroides X, onde X é composto por asteroides principalmente metálicos, entre várias classes menores. Como mencionamos, originalmente, as designações espectrais eram baseadas em inferências da composição de um asteroide. No entanto, a correspondência entre a classe espectral e composição nem sempre é muito boa, e uma variedade de classificações está em uso. Infelizmente, isso levou a uma confusão significativa. Assim, embora os asteroides de diferentes classificações espectrais provavelmente sejam compostos de materiais diferentes, não há garantias de que os asteroides dentro da mesma classe taxonômica sejam compostos de materiais parecidos (BUS, 2002; SPOHN, BREUER & JOHNSON, 2014).

2.3 Objetos Próximos a Terra

Objetos Próximos à Terra (da sigla em inglês NEO, para *Near Earth Objects*) são PCSS que foram arremessados, por interação gravitacional de planetas próximos, para órbitas que passam nas vizinhanças da Terra. Mais especificamente, NEO são asteroides ou cometas cujas órbitas têm ponto de maior aproximação do Sol (chamado afélio) menor que 1,3 UA (ou seja, órbitas com potencial de se aproximar da trajetória da Terra. A vasta maioria dos NEO são asteroides, referidos pela sigla (do inglês) NEA. Os NEAs sobrevivem em suas órbitas por apenas alguns milhões de anos e são eventualmente eliminados por perturbações planetárias, causando sua ejeção do Sistema Solar ou uma colisão com o Sol ou um planeta. Em junho de 2016 eram conhecidos mais de quatorze mil asteroides próximos da Terra, ao qual, deste número, estima-se que a maior parte seja de objetos “pequenos”, com diâmetro de alguns campos de futebol. Cerca de mil objetos tem mais de um quilômetro de diâmetro. Entre esses últimos alguns podem passar de 10 km de diâmetro ou semieixo maior, como é o caso de 433 Eros.

433 Eros é um asteroide cujo nome foi dado em homenagem ao deus da paixão na mitologia grega e tem dimensões de aproximadamente 13km×13 km×33 km. É o segundo maior NEA depois de 1036 Ganimedes, sendo um dos poucos asteroides com órbita próxima a Terra com diâmetro maior que 10 km. Acredita-se ser maior do que o que caiu na península de Yucatán, formando a cratera de Chicxulub à qual é atribuída a causa da extinção dos dinossauros (NASA, 2018).

Com vidas orbitais curtas em comparação com a idade do Sistema Solar, novos asteroides devem ser constantemente movidos para órbitas próximas da Terra. A origem aceita para eles é que os asteroides do cinturão principal são movidos para o interior do Sistema Solar através de ressonâncias influência gravitacional periódica causada usualmente porque os períodos orbitais em torno do Sol dos corpos em questão foram uma razão de números inteiros; por exemplo, a ressonância 3:1 significa que um corpo tem três vezes o período orbital do outro. O cinturão de asteroides tem lacunas, conhecidas como lacunas de Kirkwood, onde essas ressonâncias ocorrem. Quando os asteroides entram nessa região de ressonância são movidos para outras órbitas. Como sempre existem novos asteroides migrando para essas zonas de ressonâncias, ocorre um fornecimento contínuo de asteroides que acabam ficando próximos à Terra. As propriedades observadas nos NEA são semelhantes às observadas dos asteroides do cinturão principal, fortalecendo a hipóteses que seja originário dessa região do Sistema Solar (DELGRANDE & SOANES, 1943; FERRAZ-MELLO, 1993).

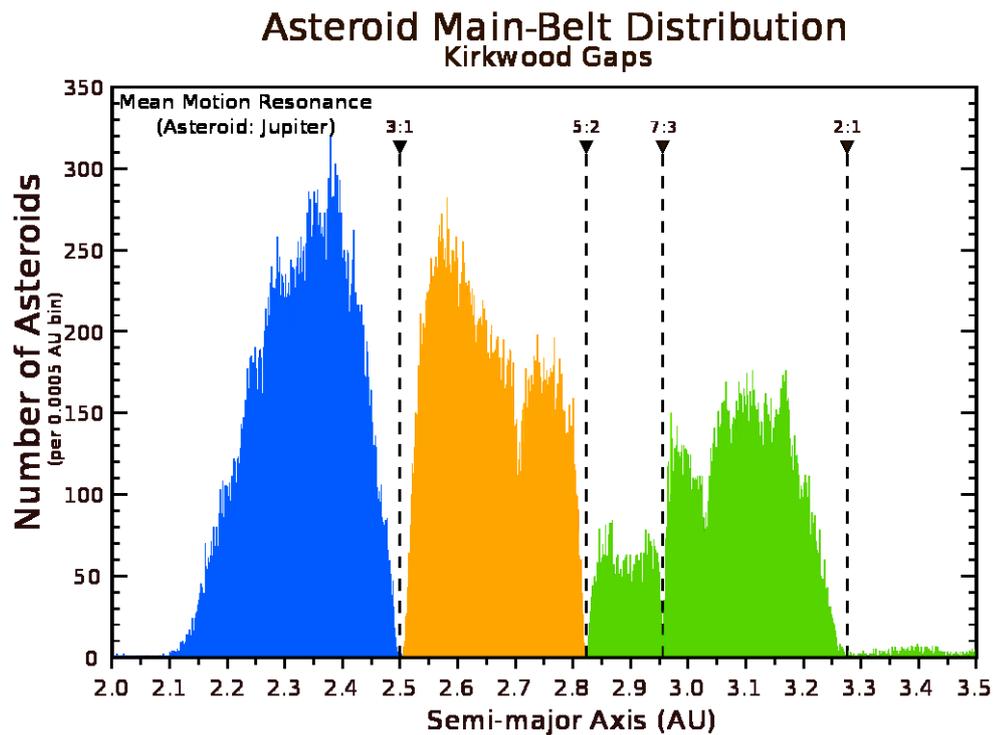


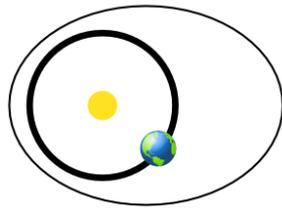
Figura 2.2. Um gráfico da distribuição de semieixos maiores, mostrando as lacunas de Kirkwood onde as órbitas são desestabilizadas por ressonâncias com Júpiter, by Alan Chamberlain, JPL/Caltech - http://ssd.jpl.nasa.gov/images/ast_histo.ps, domínio público.

2.4 Órbitas relativas de Asteroides Próximos à Terra

Os NEA são classificados de acordo com os parâmetros de suas órbitas elípticas: semi-eixo principal (a), distância do periélio (q) e distância do afélio (Q). Assim podemos dividi-los da seguinte forma. (NASA, 2018).

- Os Atiras têm órbitas estritamente dentro da órbita da Terra. A distância do afélio de um asteroide Atira (Q) é menor do que a distância do periélio da Terra (0,983 UA). Ou seja, $Q < 0,983$ UA.
- Os Atens têm um semi-eixo inferior ao da órbita da Terra. Matematicamente, $q < 1,0$ UA e $Q > 0,983$ UA.
- Os Apolos têm um semi-eixo superior ao da órbita da Terra. Matematicamente, $a > 1,0$ UA e $q < 1,017$ UA.
- Os Amors têm órbitas estritamente fora da órbita da Terra: a distância do periélio de um asteroide de Amor (q) é maior do que a distância do afélio da Terra

(1.017 UA). Os asteroides de amor também são objetos próximos da Terra, portanto, $<1,3$ UA. Em resumo, $1,017 \text{ UA} < q < 1,3 \text{ UA}$. (Isso implica que o semi-eixo maior do asteroide (a) também é maior que 1.017 UA.) Algumas órbitas de asteroides de Amor cruzam a órbita de Marte.



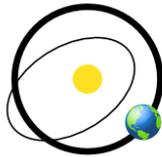
$$a > 1.0 \text{ AU}$$

$$1.017 \text{ AU} < q < 1.3 \text{ AU}$$



$$a > 1.0 \text{ AU}$$

$$q < 1.017 \text{ AU}$$



$$a < 1.0 \text{ AU}$$

$$Q > 0.983 \text{ AU}$$



$$a < 1.0 \text{ AU}$$

$$Q < 0.983 \text{ AU}$$

Figura 2.3. Órbitas de asteroides. Adaptado. CNEAS, NASA 2018, https://cneos.jpl.nasa.gov/images/neo_orbit_types.jpg

Entre os asteroides dessa classificação, os Atiras e os Amors não cruzam a órbita da Terra e não são ameaças imediatas de impacto, mas merecem atenção, pois suas órbitas podem mudar para se tornar órbitas que cruzam a Terra no futuro. As outras órbitas representam sempre algum risco. Os NEA ainda podem ser classificados como Asteroides Potencialmente Perigosos (sigla PHA, do inglês). São objetos que possuem uma distância de intersecção orbital mínima com a Terra menor que 0,05 UA e têm magnitude absoluta de 22 ou mais brilhantes. A magnitude absoluta é uma medida de brilho utilizada em Astronomia e, no caso dos PHA, está diretamente relacionada ao seu tamanho.

2.5 Métodos de Estudos dos Asteroides

Antes de tratar sobre os métodos de estudos atualmente utilizados para estudo dos asteroides, é conveniente listar quais propriedades são observáveis. A principal delas é, sem dúvida, sua classificação como com um asteroide (métodos de descoberta), que avançaram muito nas últimas décadas (em termos de instrumentação e técnicas) e permitiram um aumento exponencial no número de objetos conhecidos. A seguir, podemos agrupar as propriedades fundamentais dos asteroides nos seguintes grupos (SPOHN, BREUER & JOHNSON, 2014):

- iv. Localização e parâmetros orbitais;
- v. Propriedades físicas e composição;
- vi. Tamanhos e formatos (conhecendo a massa do objeto, ainda podem ser inferir densidades, porosidades e taxas de rotação).

Vamos nos concentrar nos métodos utilizados para determinar as propriedades do terceiro item. As outras propriedades também são muito importantes (as propriedades “i” e “ii”, por exemplo, são fundamentais para as classificações mencionadas nas subseções 3.2.1 e 3.2.3), mas fogem do escopo deste trabalho. Atualmente as técnicas utilizadas para determinar os tamanhos e formatos são: (MUELLER, 2018).

- Inversão da curva de luz;
- Ocultações;
- Radiometria (utiliza a emissão do objeto no infravermelho);
- Observações com radar (bastante utilizada com NEO/NEA);
- Imageamento direto (utiliza telescópios no solo e sonda espaciais).

Como o produto educacional versa sobre as duas primeiras técnicas, vamos dar alguns detalhes sobre elas abaixo.

2.5.1. Inversão da curva de luz

Uma curva de luz é um gráfico do brilho do asteroide em função do tempo. Se o objeto for perfeitamente esférico e com superfície de composição homogênea (ou seja, que reflete aproximadamente a mesma fração de luz em toda sua superfície), sua curva de luz será um patamar constante, com intensidade independente da sua posição no movimento em torno do eixo de rotação. Caso o objeto seja irregular, a curva de luz apresentará modulações que dependerão do formato do objeto e de sua velocidade de rotação como ilustrado na figura abaixo. A geometria do asteroide, mostrada na parte superior da figura, é desconhecida e inferida a partir da curva de luz mostrada na figura 3.3 abaixo (usualmente utilizando códigos computacionais).

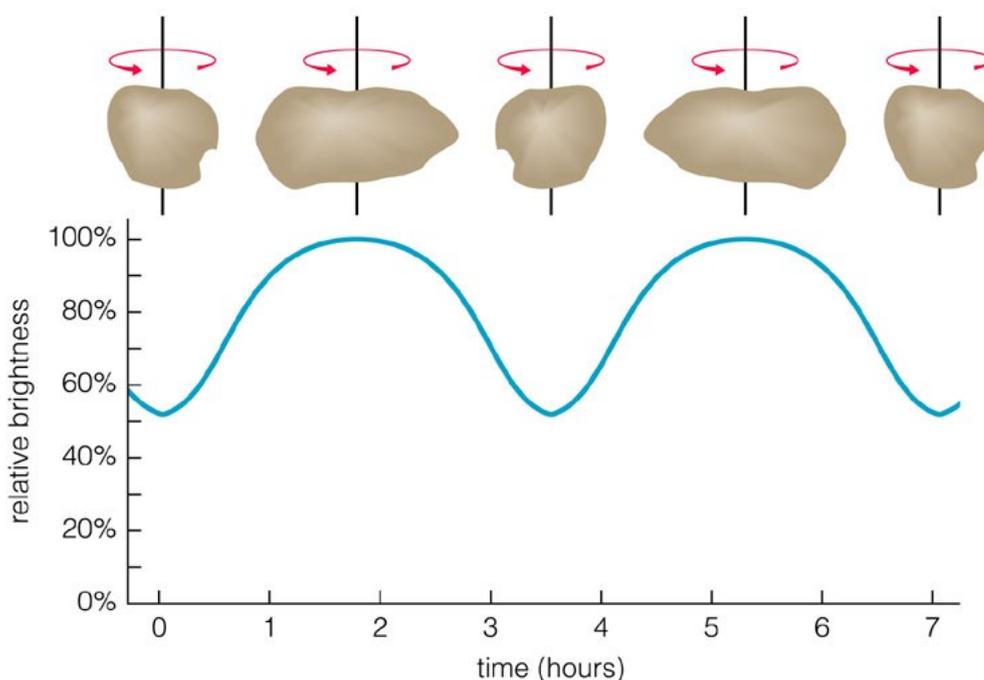


Figura 2.4. Curva de luz de um asteroide. Adaptado. Durham University. Department of Physics. AstroLab. Disponível em https://community.dur.ac.uk/physics.astrolab/a_lightcurve.html. Acesso em jan. de 2019.

2.5.2. Ocultações

Antes de falarmos de ocultações de asteroides, vamos falar sobre o conceito de sombras astronômicas de uma maneira geral: ocultações, trânsitos e eclipses.

Uma ocultação é um evento que acontece quando um objeto é oculto por outro que passa entre ele e o observador. A palavra é usada tecnicamente em astronomia e

pode também ser utilizada num sentido geral para descrever quando um objeto em primeiro plano oculta objetos em segundo plano. A palavra "trânsito" refere-se a casos em que o objeto mais próximo parece menor do que o objeto mais distante. Casos em que o objeto mais próximo parece maior e oculta completamente o objeto mais distante são conhecidos como ocultações. Uma ocultação pode acontecer quando um corpo (aqui um asteroide) atravessa o caminho de luz de uma estrela ("oculta" a estrela), bloqueando temporariamente a passagem de luz visto da Terra. Isto causa geralmente uma queda aparente do brilho aparente dessa estrela que pode durar até vários segundos (WESTFALL, SHEEHAN, 2015).

Ocultações de estrelas por asteroides são o método mais preciso para determinação de formatos de asteroides, com precisão de poucos quilômetros. A técnica consiste em prever quando um asteroide passará em frente a uma estrela e, durante a ocultação, construir as curvas de luz das estrelas em diferentes longitudes da Terra. Com essa técnica, além do tamanho/formato, pode ser inferida a presença de satélites e anéis. A figura 2.5 abaixo ilustra um evento de ocultação visto em diferentes posições, com a inferência do formato do objeto. A desvantagem do método é que ele resulta em um retrato do objeto em um tempo específico, sem capacidade de inferência do formato do objeto à medida que ele rotacional em torno do seu eixo.

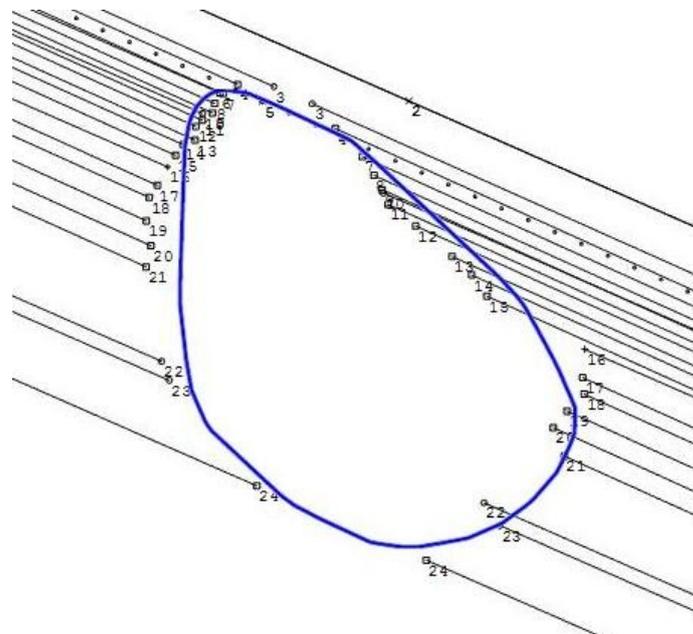


Figura 2.5. Evento de ocultação visto em diferentes posições, com a inferência do formato do objeto. Asteroidal Occultation Reports for North America. Disponível em <http://www.asteroidoccultation.com/observations/Results/>. Acesso em jan. de 2019.

Vários eventos deste tipo acontecem todos os dias, havendo instituições como a IOTA (International Occultation Timing Association), em tradução livre, Associação Internacional de Temporização de Ocultações, especializadas na previsão de ocultações. No entanto, a maioria destes eventos exige a utilização de um telescópio para ser detectada, sendo suficiente apenas um telescópio de tamanho comum (8-10 polegadas de diâmetro). Muitos grupos de astrônomos profissionais e amadores compartilham as suas observações para fazer uma análise detalhada.

Em 2014, foi feita uma descoberta inédita graças às ocultações estelares: um asteroide troiano, Chariklo, foi estudado através deste método e foi descoberto um sistema de anéis à sua volta (BRAGA et al, 2014).

Na astronomia, como colocado anteriormente, o trânsito é um fenômeno onde um corpo celeste passa diretamente entre um corpo maior e o observador. Visto de um ponto de vista particular, o corpo em trânsito parece se mover através da face do corpo maior, cobrindo uma pequena porção dele. Mas espere aí, não acabamos de chamar isso de ocultação? A palavra "trânsito" refere-se a casos em que o objeto mais próximo parece menor do que o objeto mais distante. Casos em que o objeto mais próximo parece maior e oculta completamente o objeto mais distante são as ocultações.

O método de trânsito pode ser usado para descobrir exoplanetas, que são planetas fora do sistema solar. Quando um planeta passa em frente ao disco estelar de sua estrela hospedeira, ele bloqueia uma parte da luz da estrela. Essa mudança na luz pode ser medida para construir uma curva de luz. As curvas de luz são medidas com um dispositivo de carga acoplada, (na sigla em inglês CCD, *charge coupled display*), em um telescópio. A curva de luz de uma estrela pode revelar várias características físicas do planeta e da estrela, como o raio e a densidade, como exemplos. Vários eventos de trânsito devem ser medidos para determinar essas propriedades (que ocorrem em intervalos regulares).

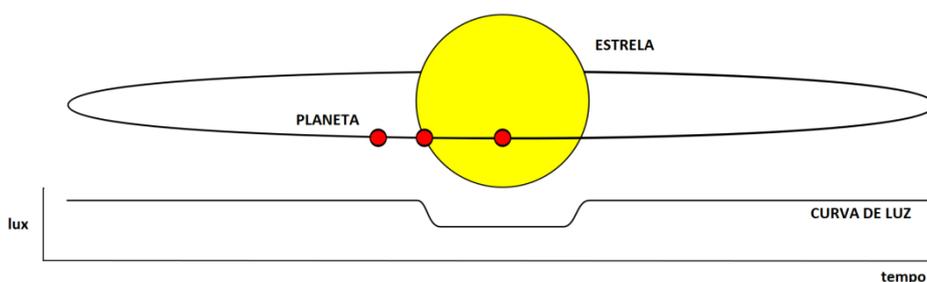


Figura 2.6. Esquema didático que representa a curva de luz variando com a passagem do planeta na frente da estrela.

Mesmo que o trânsito tenha uma baixa probabilidade, ele provou ser uma boa técnica na descoberta de exoplanetas. Nos últimos anos, a descoberta de planetas extrasolares despertou interesse na possibilidade de detectar seus trânsitos em suas estrelas primárias. O trânsito de objetos celestes é um dos poucos fenômenos-chave usados atualmente para o estudo de sistemas exoplanetários. Hoje, a fotometria de trânsito é a principal forma de descoberta de exoplanetas. O satélite Kepler da NASA continuamente observa continuamente uma porção do céu entre as constelações de Cygnus e Lyra. Ele foi planejado para procurar e descobrir planetas que transitam na frente de suas estrelas hospedeiras em relação à Terra, medindo variações pequenas e geralmente periódicas no brilho de uma estrela. A medida que os exoplanetas se movem na frente de suas estrelas hospedeiras, há um escurecimento na luminosidade de sua estrela hospedeira que pode ser medida. Planetas maiores tornam o mergulho na luminosidade mais perceptível e mais fácil de detectar, como exemplificado na figura 2.7. Observações de acompanhamento são frequentemente feitas para garantir que é um planeta através de outros métodos de detecção de exoplanetas.

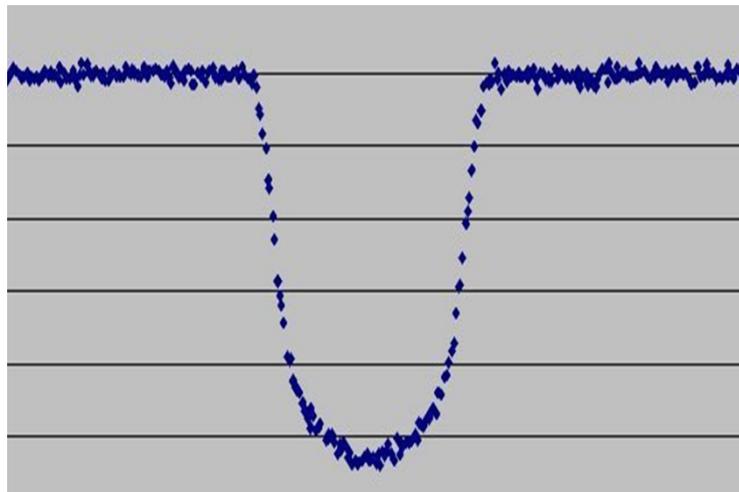


Figura 2.7. Fotometria do planeta Kepler-6b utilizando o método de trânsito, com dados do satélite Kepler. Domínio público. Disponível em https://archive.stsci.edu/prepds/kepler_hlsp/.

Apêndice A – Sequência didática I: Aula teórica – Análise de tamanho e forma de asteroides

A ideia é empregar os modelos tridimensionais de corpos em sala de aula colocando os alunos em contato direto com os objetos. O interesse, por parte dos educadores, no uso desse tipo de aplicação dos modelos reais de corpos celestes aplicado no ensino não é recente. O maior problema enfrentado até pouco tempo se dá justamente no acesso deste tipo de material. Mesmo que o professor empenhado encontre os modelos, provavelmente vai enfrentar outro impedimento, os enormes custos envolvidos. Desta forma, a impressão 3D leva essa possibilidade, com baixo custo, para qualquer professor que tenha acesso a máquina de impressão 3D.

Para todos aqueles que já estiveram com o globo terrestre em mãos e apreciaram o momento de prestigiar os detalhes e a vastidão do nosso lindo planeta através da representação em escala, não é surpreendente a sugestão de colocar os alunos em contato com a representação tridimensional de outros corpos astronômicos. Entre os assuntos que compreendem o tema estruturador Universo, Terra e Vida sugerido pelos PCN+ está o Sistema Solar. Além do Sol, dos planetas e satélites naturais que costumam compor a lição pragmática e protocolar de qualquer professor de Ciências, estão os pequenos corpos do Sistema Solar. E, como veremos, parte importante dos pequenos corpos são os asteroides. Assim, propomos na oportunidade do contexto mencionado, a inserção de modelos tridimensionais de asteroides e outros astros durante a aula.

Ao longo da explanação o professor poderá deixar os modelos com os alunos, entretanto, além desse momento de explicação, recomendamos um momento dedicado apenas à apresentação e reflexões pertinentes aos modelos. Apenas fica a recomendação, pois aqui não existem engessamentos, e se ainda não ficou, gostaríamos de deixar clara a ampla flexibilidade de aplicação desses objetos impressos nas aulas de física.

***Dica para professor:** Esse é o passo inicial, onde você pode seguir nossa receita para ter o primeiro contato com esse tipo de Tecnologia. O conteúdo de gravitação é um exemplo de tema adicional que pode ser explorado com os mesmo modelos aqui utilizados. O tema não precisa ser relacionado com Astronomia, você pode passar o*

conceito de centro de massa para seus alunos, e fixar o conteúdo de uma maneira diferente, fica aí outra sugestão, usando esses mesmos modelos. Assim, sempre guarde as impressões 3D, e monte uma objetoteca, para múltiplas utilizações você não precisará imprimir novamente.

Material necessário:

Para a aplicação de nosso primeiro projeto vamos precisar apenas de uma impressora 3D, cerca de quatrocentos gramas de matéria prima, que nesse caso sugerimos PLA como tipo de material, pois não é tóxico e é biodegradável. Outra recomendação é que impressora tenha um volume de oito litros de impressão, mas pode ser qualquer outro, desde que o educador adapte a escala para sua própria possibilidade. Caso seja uma impressora com volume de impressão maior ele pode fazer objetos maiores e consumir matéria prima (filamento) além de nossa estimativa. A medida de material consumido pela impressora depende de vários parâmetros, mas principalmente do preenchimento. Para todas as impressões utilizamos um preenchimento de cinco por cento. Você vai precisar de:

- **Impressora 3D;**
- **400 gramas de filamento de impressão;**
- **modelos tridimensionais dos objetos trabalhados.**

Os modelos selecionados são asteroides e outros astros que estão disponíveis em ótima qualidade, acompanhados de licença inteiramente livre. Além dos links para acesso aos modelos digitais, você encontrará outros links úteis em anexo no fim desse guia. Os modelos selecionados para a sequência didática I foram Lua, única do grupo que possui sua própria escala, 433 Eros, 1 Ceres, 4 Vesta e 216 Kleopatra. Os tamanhos do diâmetro ou semieixo maior estão indicados em cada figura a seguir.

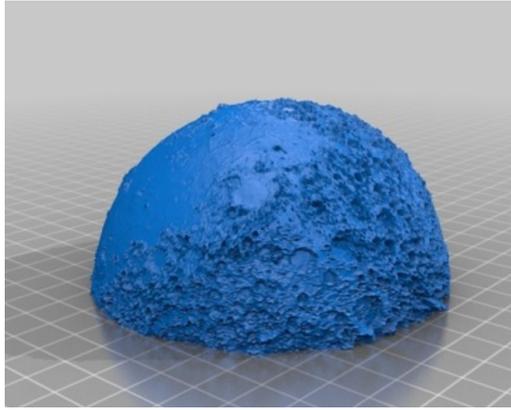


Figura 1.1. *Lua*: Impresso com diâmetro de 11 cm. Disponível em:
(<https://www.thingiverse.com/thing:755855>).

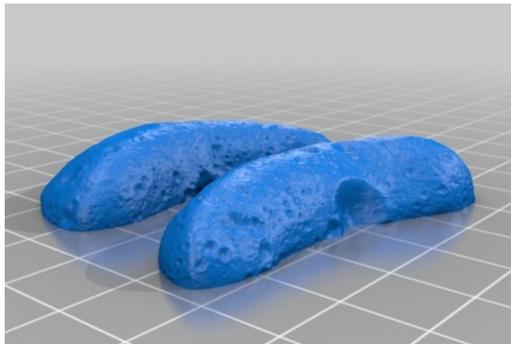


Figura 1.2. *433 eros*: Impresso com diâmetro 0.3 cm. Disponível em:
(<https://www.thingiverse.com/thing:3323776>).

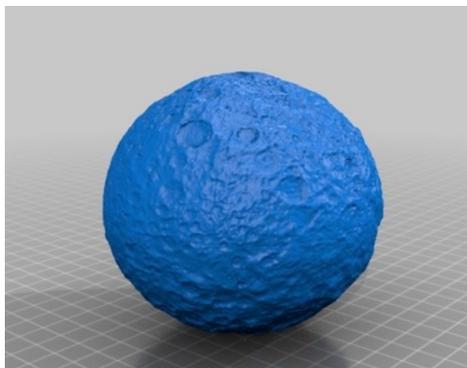


Figura 1.3. *Ceres*: com diâmetro de 10.6 cm. Disponível em:
(<https://www.thingiverse.com/thing:835149>).

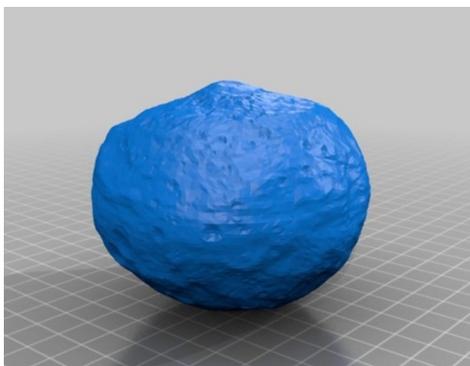


Figura 1.4. *Vesta*: Impresso com semi-eixo maior de 6.4 cm (<https://www.thingiverse.com/thing:42888>).

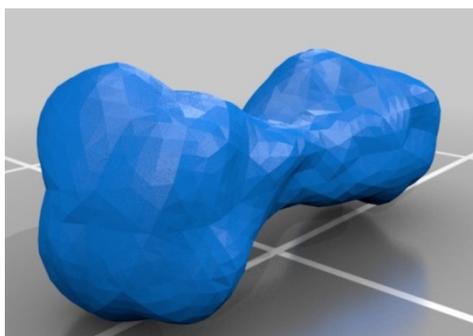


Figura 1.5. *Kleopatra*: Impresso com dimensão maior de 2.5 cm (<https://www.thingiverse.com/thing:152927>).

Sugestão de sequência didática:

CONTEÚDO:

- Pequenos corpos do Sistema Solar (Asteroides) e métodos de estudo.

METODOLOGIA:

Explorando o Momento 1: Introdução

O conteúdo será introduzido de forma motivacional, com a história da formação da cratera de Chicxulub e o impacto que foi a possível causa da extinção dos dinossauros, exemplificando a proporção dos impactos e lembrando que vivemos num período em que a engenhosidade humana provém diversas Tecnologias que procuram prever esse tipo de evento. Para tal, sugerimos ao professor conferir e explorar o conteúdo preparatório na sobre NEAS e NEOS na seção 2.4 desse produto didático.

Explorando o Momento 2: Asteroides

De maneira explanatória serão abordados os diversos corpos que orbitam o Sol. Posteriormente será dada atenção aos pequenos corpos que compõe o Sistema Solar e aos asteroides em especial. Aproveitar esse momento para mencionar as classificações e as órbitas dos asteroides associando a significação dos conceitos representados e retrados na seção 2.2.

Nessa etapa o professor distribui os modelos tridimensionais entre os alunos. A turma será dividida em equipes por sorteio, cada grupo recebe um modelo astronômico. O número de equipes corresponde ao número de objetos, assim os grupos podem trocar os objetos entre si. A vantagem do grupo perante o individual é instigar a integração dos alunos e a percepção a reação de cada membro na análise do objeto.

Explorando o Momento 3: Métodos de estudos dos asteroides

Neste momento o professor irá aprofundar os conceitos que envolvem os métodos de estudos dos asteroides descritos na seção 2.5. Sugestionamos uma abordagem utilizando a manipulação direta dos objetos impressos, por parte do docente, nas explicações sobre a inversão da curva de luz e da ocultação, que exploramos nas subseções 2.5.1 e 2.5.2, respectivamente. Esse método de aproximação confere justamente a oportunidade oferecida pelo modelo 3D em lidar diretamente com o elemento protagonista no estudo, permitindo lidar com uma “amostra” que não é restrita visualmente, como por exemplo, as representações de figuras em 2D no livro. O docente deve fazer uma demonstração com dois objetos, um de forma regular e outro irregular, e este último em diferentes posições, de tal que forma, que a exposição proposital dos planos de menor e maior diâmetro do objeto irregular incite a compreensão da modulação na curva de luz ilustrada pelas figuras 2.4 e 2.5.

Explorando o Momento 4: Asteroides próximos a Terra

Apresentar os objetos próximos a Terra, bem como o asteroide Eros e comparar seu tamanho com os demais objetos em escala. Traçar possibilidades de unidades de medida para o tamanho dos asteroides e de suas órbitas, antes de revelar que Eros é a segunda maior ameaça que circunda a Terra. Perguntar como os alunos avaliam o tamanho de Eros, em comparação com Vesta e Ceres. Questionar os alunos sobre como possivelmente se formaram as crateras que são vistas na superfície da lua, e porque na Terra esses buracos não são tão vistosos. Instigar o tema com possíveis problemas que um impacto maior pode trazer para a sociedade moderna, e como poderemos nos defender dessa ameaça? Discutir os sistemas de monitoramento e projetos de busca e varredura no espaço próximo a Terra.

RECURSOS:

Modelos impressos em 3D:

- Lua;
- 433 Eros;
- Vesta;
- Ceres;
- Kleopatra.

AVALIAÇÃO:

Para a proposta desta aula todos serão avaliados pela sua participação na manipulação da prática realizada com o modelo 3D, através da observação do trabalho em equipe. O docente também poderá aplicar requisitar aos alunos um texto que envolva o conteúdo trabalhado. A avaliação deve envolver aspectos relacionados ao posicionamento dos alunos durante o experimento, como agirão e reagirão nas situações que a prática trouxe, com o intuito de tornar a avaliação um processo contínuo envolvendo aulas progressivas.

Apendice B – Sequência didática II – Simulador de ocultações astronômicas

Para a aplicação de nosso segundo projeto envolvendo o uso da impressão 3D no ensino de Física e Astronomia resolvemos construir um equipamento que simule trânsito astronômicos e ocultações. Nossa intenção na produção desse produto didático é levar ao aluno a possibilidade de coletar e desenhar uma curva de intensidade de luz na reprodução do fenômeno semelhante ao trânsito astronômico e/ou ocultação. Diferente da proposta anterior os modelos tridimensionais dessa etapa não estão em escala, assim, os alunos devem ser lembrados desse detalhe.

Material necessário:

Equipamentos: placa Arduino (fig. 1.1), impressora 3D, telefone celular com câmera, multímetro (opcional), paquímetro ou régua, furadeira ou micro retífica com brocas de 3mm e 4mm, pequena serra, chave para prender os parafusos.

Dispositivos: jumpers, buzzer, led (todos ilustrados na fig. 1.2) de alta intensidade e servo motor (fig. 1.3), base de montagem do motor (impressão 3D) (fig. 1.4).

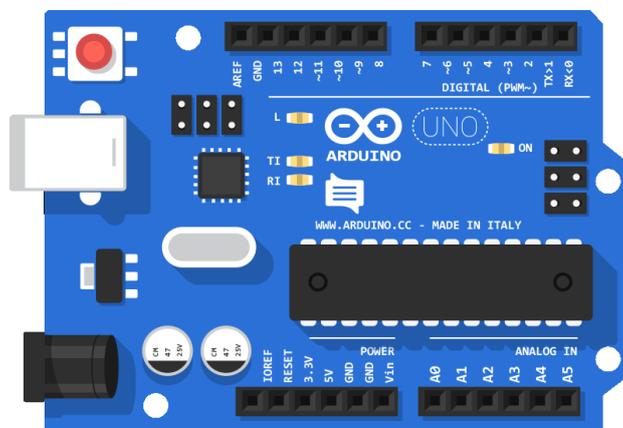


Figura 1.1. Ilustração da placa de Arduino uno que utilizamos para comandar o servo motor e medir os intervalos de tempo entre as medições. Retirado de (<https://www.Arduino.cc>).



Figura 1.2. Da esquerda para a direita. Jumpers para ligar os componentes ao Arduino, buzzer para avisar os intervalos de medições e um led COB para simular a estrela.



Figura 1.3. Servo Motor As3103 com 360° de rotação contínua. Você pode escolher outros tipos de servo.

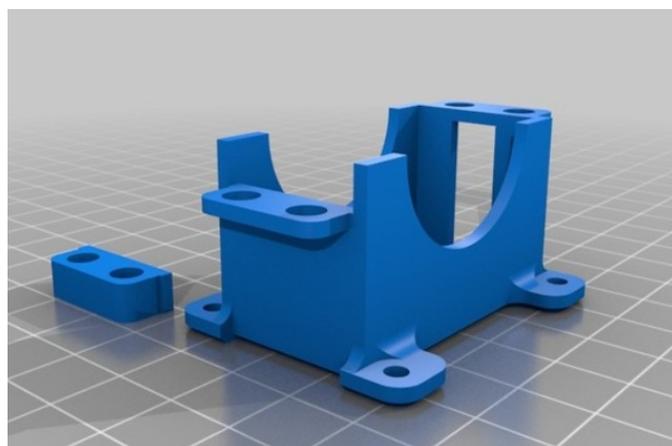


Figura 1.4. Base de montagem do motor Servo Motor As3103. Existem muitas opções de servo modelo 3003 no mercado, pode ser utilizada qualquer uma. Disponível em (<https://www.thingiverse.com/thing:1063421>).

Outros: Um pedaço de chapa de madeira (50 cm x 25 cm x 1 cm) para apoiar todos os dispositivos do equipamento, um pequeno pedaço de chapa de alumínio (200 mm x 40 mm x 2 mm) para a haste principal, parafusos m2, bateria ou fonte (5v até 9v) para ligar o Arduino.

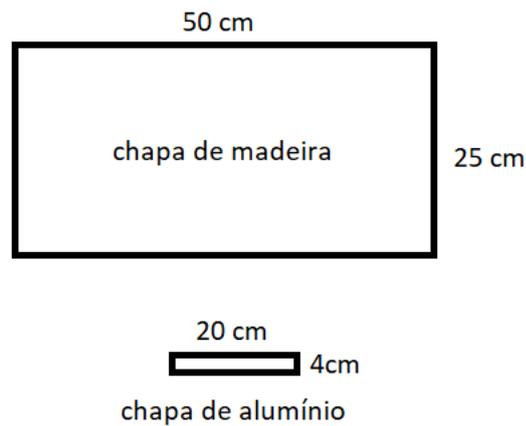


Figura 1.5. No equipamento é utilizado uma chapa de madeira de aproximadamente um centímetro de espessura e uma chapa de alumínio com 2 mm de espessura.

Objetos impressos:

Os modelos a seguir foram selecionados no banco de dados do repositório thingiverse.com. Todos os modelos ilustrados abaixo possuem licença livre de uso.

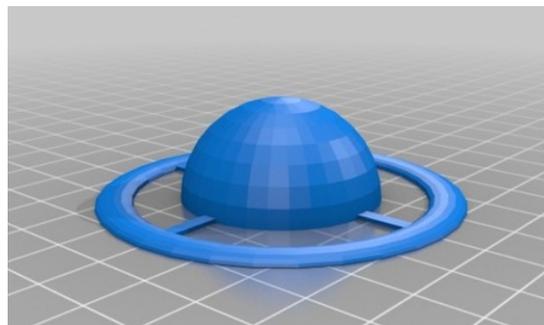


Figura 1.6. *Saturn Planet Toy*: desenhado por *BaudlerArtDesign*, impresso com diâmetro de 7 cm. Disponível em: (<https://www.thingiverse.com/thing:1723624>).

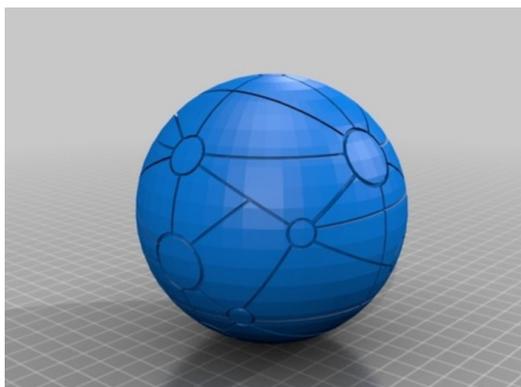


Figura 1.7. Planeta fictício esférico: desenhado por *Podge*, impresso com diâmetro de 6 cm.

Disponível em: (<https://www.thingiverse.com/thing:2957060>).

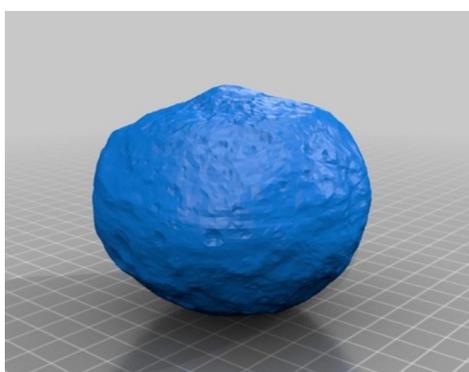


Figura 1.8. *Vesta*: desenhado por NASA, original postado em: <http://dawn.jpl.nasa.gov/>,

impresso com semi-eixo maior de 7 cm. Disponível em:

(<https://www.thingiverse.com/thing:42888>).

Montagem do Simulador

Primeiramente vamos montar a parte *mecânica* do nosso aparato didático e posteriormente a parte eletrônica. Vamos à sequência:

Passo 1: Encontre o centro da chapa de madeira com a ajuda de uma régua ou traba e com a ajuda do próprio suporte do motor que foi impresso em 3D faça as marcações dos locais dos furos para prender o suporte do motor. Use a broca 3mm para fazer os furos necessários. Determine a profundidade do furo de acordo com o comprimento do seu modelo de parafuso, aqui foi utilizado M3.

Passo 2: Prender o motor ao seu suporte e assim fixá-lo a base de madeira. Você vai precisar de 4 parafusos M3 de 20mm e 4 porcas M3 para ficar o motor a sua base.

Passo 3: Faça um furo de 4mm no centro da haste de alumínio e prenda a mesma ao motor com utilizando os parafusos e sistemas de fixação do que vem com próprio servo.

Agora vamos montar a parte *eletrônica* e de *software* do nosso projeto.

Passo 1: Este passo consiste em conectar os dois componentes eletrônicos, servo e buzzer, à placa de Arduino. São apenas cinco fios, tornando essa ligação bastante fácil e intuitiva. Caso utilize nossa sugestão de programação ilustrada na figura 1.10 siga o esquema ilustrado na figura 1.9.

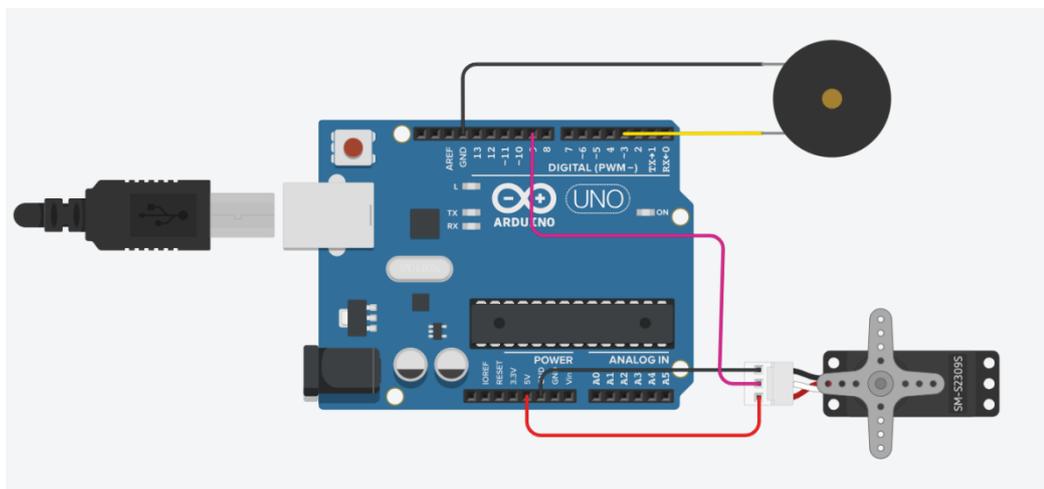
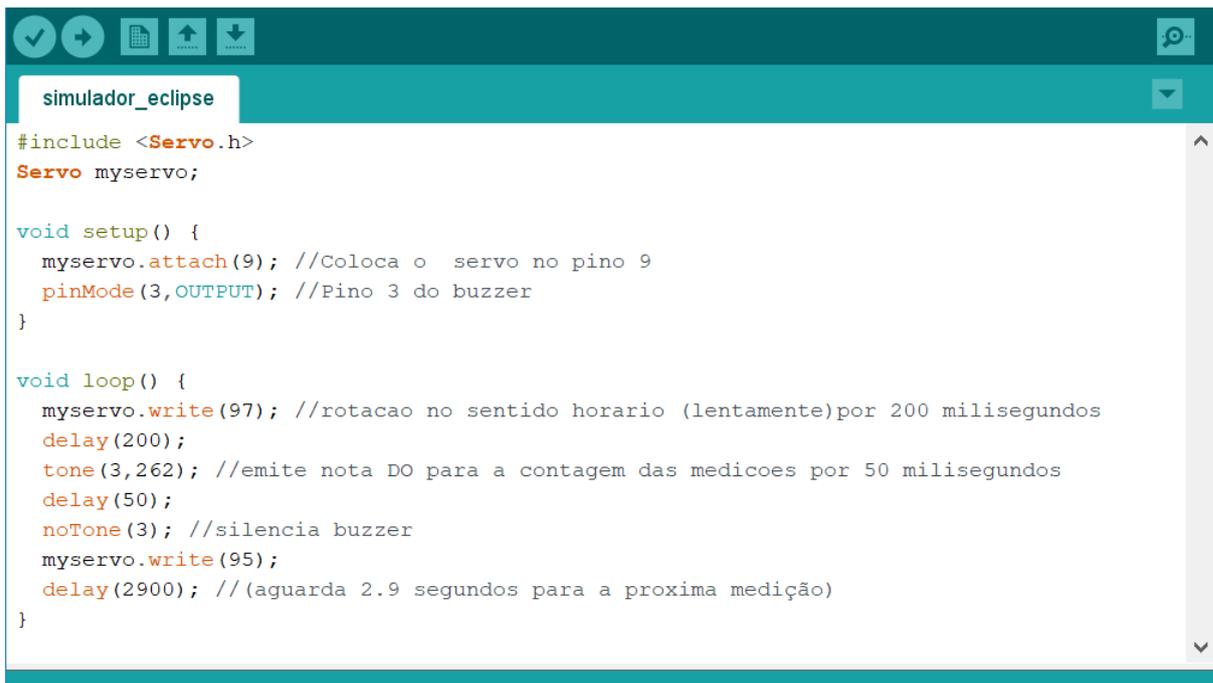


Figura 1.9. Esquema de ligação do buzzer e do servo motor à placa Arduino. Esquema projetado em thikerCAD pelo autor. Tanto o buzzer quanto o servo motor possuem polaridade, fique atento nas conexões. Fonte: Autor.

Passo 2: Nesta etapa vamos programar a placa de Arduino para rotacionar o servo com a velocidade desejada e criar um aviso, na forma de disparo sonoro, cronometrado para as marcações de intensidade de luz.



```
#include <Servo.h>
Servo myservo;

void setup() {
  myservo.attach(9); //Coloca o servo no pino 9
  pinMode(3,OUTPUT); //Pino 3 do buzzer
}

void loop() {
  myservo.write(97); //rotacao no sentido horario (lentamente)por 200 milisegundos
  delay(200);
  tone(3,262); //emite nota DO para a contagem das medicoes por 50 milisegundos
  delay(50);
  noTone(3); //silencia buzzer
  myservo.write(95);
  delay(2900); //(aguarda 2.9 segundos para a proxima medição)
}
```

Figura 1.10. Código criado para avançar o servo motor lentamente e emitir um aviso sonoro a cada 3.1 segundos, aproximadamente. Fonte: Autor.

Agora você está com seu simulador de trânsito astronômico quase pronto, bastando alguns pequenos ajustes. Seus modelos 3D precisam ficar presos na base da haste de alguma forma, aqui escolhemos um fixador tipo velcro, mas você pode improvisar de outras formas. Vamos nos preocupar agora com a lâmpada LED, não exatamente com ela, mas com seu posicionamento.

A nossa escolha por um LED do tipo COB (*chip onboard*) não foi por acaso. Essa Tecnologia de LED apareceu a pouco e é desconhecida de muitos. Os leds do tipo COB nada mais são que uma matriz de leds agrupados num pequeno espaço e cobertos por uma camada de fósforo. Essa Tecnologia permite alta emissão de fótons, com espectro regulável e ainda com a característica que mais nos interessou, uma faixa de luz direcionada num pequeno ângulo. Como os COBs tem esse pequeno ângulo de abertura, eles já vem “colimados” de fábrica. O Led que utilizamos tem um ângulo de 115°.

Essa lâmpada pode ser comprada pronta, com dissipador e driver ou adquirida em partes e ser montada pelo próprio usuário. Depois de escolher a lâmpada você deve colocá-la na frente da haste do simulador. O posicionamento contemplado pela figura 1.11 deve ser feito de modo que a lâmpada fique o mais próximo possível da haste com o modelo 3D.

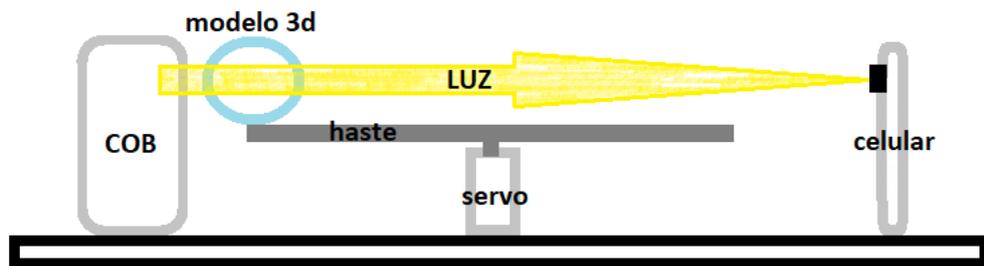


Figura 1.11. O esquema representado acima ilustra o posicionamento do LED COB alinhado com o objeto 3D e com o sensor CCD do celular. É esse alinhamento que garante a simulação do trânsito astronômico.

Passo 3: Instale no seu aparelho celular um aplicativo de detecção e contagem de fótons. Não vamos propor nenhum aplicativo em especial já que existem dezenas de opções para qualquer modelo de celular. Existem ótimos aplicativos gratuitos para os dois sistemas de celulares mais populares da atualidade. A contagem da intensidade luminosa geralmente é dada em lux, lumens por metro quadrado. Deixaremos ao professor a tarefa de testar e escolher o que melhor convém ao seu contexto.

Sugestão de estratégia didática:

CONTEÚDO:

- Pequenos corpos do Sistema Solar, Asteroides e métodos de estudo de Ocultações.

METODOLOGIA DIDÁTICA:

Explorando o Momento 1: Revisar o modelo de tradicional de eclipse e comparar com a ocultação.

De forma breve, com o auxílio de imagens ou com um esboço no quadro, exemplificar o modelo de eclipse Solar e Lunar. Comparar a “mobilidade” dos astros e seu alinhamento. Demonstrar a ocorrência dos diversos fenômenos de ocultação/eclipse e o método do trânsito. Abordar as técnicas utilizadas nas detecções que utilizam a ocultação e trânsito astronômico. Para tal, sugerimos ao professor conferir e explorar o conteúdo preparatório sobre NEAS e NEOS na seção 2.4 desse produto didático.

Explorando o Momento 2: Apresentação didática do simulador de trânsito.

Didática 2: Mostrar como o equipamento opera, inicialmente sem detalhar o processo de coleta de dados com o aparelho de celular. Analisar brevemente os aspectos quantitativos da medição e questionar os alunos sobre a utilidade do aparelho de celular no equipamento. Lembrar aos alunos que o aparato irá representar a ocultação vista por um observador na Terra em uma dada latitude (específica). Será a composição de diferentes observadores em diferentes latitudes da Terra que preencherá as diferentes curvas de ocultação que “montam” a sombra do corpo celeste que foi ilustrada na figura 2.5 descrita na subseção 2.5.2. Neste momento o professor também poderá discorrer a contribuição do trabalho dos astrônomos amadores na aquisição das diferentes curvas de ocultação supracitadas bem como outros detalhes sobre os conceitos que envolvem os métodos de estudos dos asteroides do capítulo 2.

Explorando o Momento 3: Utilizar o simulador de ocultações astronômicas.

Didática 3: Nessa etapa o professor dividirá a turma em equipes por sorteio, cada grupo recebe um modelo astronômico e a cada rodada de medições, os grupos trocam os modelos até que todos os grupos tenham medido de cada objeto. Antes dos alunos operarem o simulador o professor deve fazer uma última demonstração simples de medição para cada equipe e entregar o formulário (em anexo).

Explorando o Momento 4: Utilizar o meio auxiliar computador para desenhar os gráficos.

Com os dados coletados, o professor tem a opção de pedir para os alunos desenharem os gráficos no papel tradicional papel milimetrado, entretanto sugerimos a forma computacional. Em nossa prática utilizamos o bloco de notas e software gratuito *GNUplot* para esboçar os gráficos. O educador tem opção de utilizar o software mais adequado ao seu contexto, como MS Excel entre outros.

5. AVALIAÇÃO

Para esta prática todos devem ser avaliados como participantes, se o conhecimento sobre o conteúdo foi ampliado, e como reagiram às situações e aos desafios da atividade e ainda como interagiram com os colegas durante a atividade proposta.

Resultados obtidos:

Apesar de ser um experimento de cunho inteiramente demonstrativo, nosso equipamento simulador de trânsito astronômico produziu resultados satisfatórios. Reforçando que em momento algum devemos nos preocupar com os resultados indesejados, como sabemos, eles fazem parte da experimentação, e estão ali por algum motivo. Assim, as curvas trazem uma nova maneira de interpretação para o fenômeno. Abaixo temos as curvas para dois objetos distintos nas figuras 1.12 e 1.13.

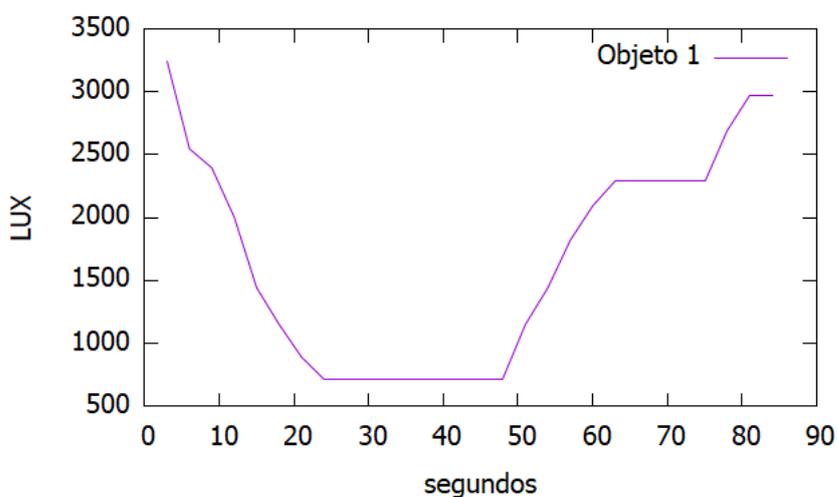


Figura 1.12. Curva de luz na ocultação do objeto Vesta obtida através do simulador de ocultações. Fonte: Autor.

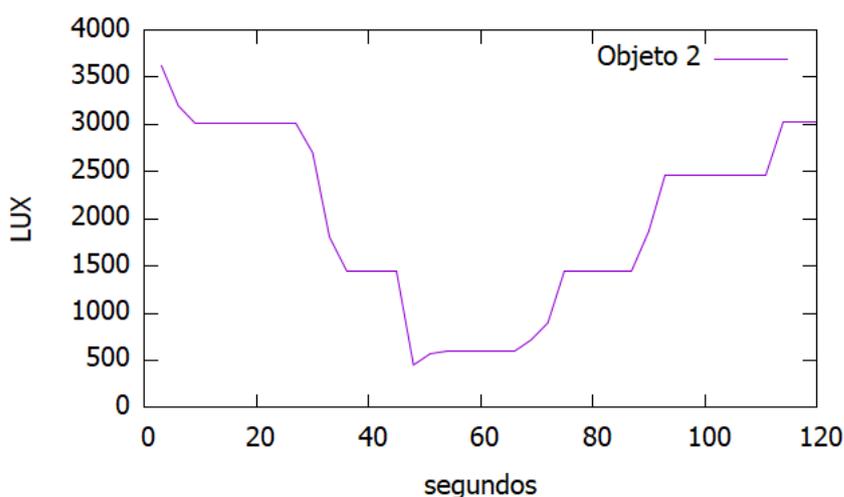


Figura 1.13. Curva de luz na ocultação do objeto *Saturn Planet Toy* obtida através do simulador de ocultações. Esse objeto representa saturno com seus anéis. Fonte: Autor.

ANEXO I

Sugestão de formulário para coleta de dados:

Aluno(a): _____ e-mail: _____
Aluno(a): _____ e-mail: _____
Aluno(a): _____ e-mail: _____

Complete as tabelas anotando a intensidade luminosa no fenômeno de ocultação para cada um dos objetos estudados.

OBJETO 1:

Tempo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Brilho																					
Tempo	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Brilho																					

OBJETO 2:

Tempo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Brilho																					
Tempo	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Brilho																					

OBJETO 3:

Tempo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Brilho																					
Tempo	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Brilho																					

OBJETO 4:

Tempo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Brilho																					
Tempo	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Brilho																					

Apêndice C - Contexto de aplicação: Preparando um grupo de alunos para a OBA

O projeto foi aplicado para alunos do ensino médio, no Colégio Leme, uma instituição de ensino privado, localizada em Criciúma, cidade da região Sul de Santa Catarina. Os alunos participantes do primeiro roteiro integram uma turma regular de primeiro ano do ensino médio. O segundo roteiro foi aplicado a uma turma de estudo preparatório para a Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica (OBA), composta por alunos do primeiro e segundo ano do ensino médio. A turma preparatória para a OBA foi orientada pelo autor desse trabalho, onde também é professor de Física no primeiro ano do ensino médio. Além de aplicarmos nosso produto no ensino formal, adentramos também no âmbito do ensino não formal colocando o mesmo nas aulas da “turma de Astronomia”.

Mesmo considerando que nossa prática foi com uma turma de ensino não formal, não existe qualquer impedimento para que o projeto didático II seja aplicado no ensino formal durante as aulas de Física.

No ano de 2018 o colégio Leme teve três turmas de primeiro ano, compostas por aproximadamente 35 alunos cada. A grade curricular seguida no colégio conta com três aulas de Física no turno da manhã e uma aula chamada de plantão nas tardes de quarta-feira. Todas as aulas tem duração de cerca de cinquenta minutos. Todas as salas dos primeiros anos possuem isolamento acústico, climatização, sistema áudio, data-show e sistema de espelhamento de dispositivo móvel. O colégio também dispõe de *tablets* para cada aluno que podem ser utilizados sobre qualquer demanda desde que previamente agendado.

A turma preparatória para a OBA, ou turma de Astronomia, é composta por quinze alunos, todos regularmente matriculados no ensino médio. Além da turma de Astronomia, são ofertadas ao aluno de ensino médio outras atividades extracurriculares como robótica, teatro e ioga. Esse modelo de grupo está operando pelo terceiro ano consecutivo. Para fazer parte da turma, basta se inscrever no começo ou ao longo do ano letivo e frequentar as aulas. As aulas são fundamentadas no próprio conteúdo disponibilizado pela organização das olimpíadas, além de explorar temas complementares, fatos e curiosidades de Astronomia. As aulas são semanais com duração de dois períodos, aproximadamente uma hora e quarenta minutos. A aula

acontece no contra turno das aulas curriculares, numa sala de aula comum utilizada pelas turmas de ensino médio. Além do quadro negro a sala conta com lousa digital e aparelho de data show. Na segunda sequência didática os alunos também frequentaram o laboratório de informática que dispõe de 15 computadores com acesso a internet e equipamento de projeção data-show.

Como resultado do bom trabalho realizado, no ano de 2018, tivemos quatro alunos medalhistas, sendo duas de bronze, uma de prata e uma de ouro na 1ª etapa da OBA 2018. Dois desses alunos medalhistas passaram para as seletivas da Olimpíada Internacional de Astronomia.

LINKS REPOSITÓRIOS DE MODELOS 3D

<https://www.myminifactory.com/category/education>

<https://www.thingiverse.com/education>

<https://cults3d.com/>

<https://3dkitbash.com/>

<https://pinshape.com/>

<https://www.3dhubs.com/>

<https://www.instructables.com/>

<https://grabcad.com>

<https://3dprint.nih.gov/>

<https://www.cgtrader.com/>

<https://www.youmagine.com/>

<https://3dexport.com/>

<https://3d-gallery.xyzprinting.com/en-US/gallery/>

<https://free3d.com/3d-models/3d-printable?>

<https://www.threeding.com/index.php>

Referências Bibliográficas

- ADAMS, J.W. 3D printed reproductions of orbital dissections: a novel mode of visualising anatomy for trainees in ophthalmology or optometry. **Br. J. Ophthalmol.** No 99. p. 1162–1167. 2015.
- ALEXANDRE, Carla; SABBATINI, Marcelo. A contribuição dos Jogos Digitais nos processos de aprendizagem. In: SIMPÓSIO HIPERTEXO E TECNOLOGIAS NA EDUCAÇÃO, 5, 2013, Recife. **Anais eletrônicos...** Disponível em: <<http://www.nehte.com.br/simposio/anais/Anais-Hipertexto-2013/A%20contribui%C3%A7%C3%A3o%20dos%20Jogos%20Digitais%20nos%20processos%20de%20aprendizagem.pdf>>. Acesso em: 12 de out. 2018.
- BARA, F. et al. The visuo-haptic and haptic exploration of letters increases the kindergarten-children's understanding of the alphabetic principle. **Cognitive Development.** No 19(3), p. 433–449. 2004.
- BARSALOU, L. W. Grounded cognition. **Annual Review of Psychology.** No 59. p. 1–21. 2008.
- BRASIL. Ministério da Educação e Cultura. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **PCN+ Ensino Médio: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais – Ciências da Natureza, Matemática, e suas Tecnologias.** Brasília: MEC/Semtec. 2002.
- BRASIL. Ministério da Educação e Cultura. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM).** Brasília: MEC/Semtec, 2000. Disponível em <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/ciencian.pdf>>. Acesso em: Janeiro de 2018.
- BECKER, D. VIDEOJOGOS DIGITAIS NA SALA DE AULA: UMA ANÁLISE, TCC (Licenciatura em Física), Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.
- BERRY, R.Q. et al. Use of digital fabrication to incorporate engineering design principles in elementary mathematics education. **Contemp. Issues Technol. Teach. Educ.** No 10. p. 167–172. 2010.
- BLIKSTEIN, P. Digital fabrication and “Making” in education: the democratization of

- invention, in: J. Walter-Herrmann, C. Büching (Eds.), **FabLabs Mach. Makers Invent. Transcript Publishers**. Bielefeld. p. 1–21. 2013.
- BOHN, J.H. Integrating rapid prototyping into the engineering curriculum - a case study. **Rapid Prototyp.** p. 32–37. 1997
- BORGES, A. T. Novos rumos para o laboratório escolar de ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. No 19(3), p. 291–313. 2002.
- BULL, G. et al. Advancing children’s engineering through desktop manufacturing, in: J.M. Spector, M.D. Merrill, J. Elen, M.J. Bishop (Eds.), *Handb. Res. Educ. Commun. Technol.* 4th ed., **Springer Science +Business Media**. New York. p. 675–688. 2014.
- BULL, G et al. An educational framework for digital manufacturing in schools. **3D print, Addit. Manuf.** No 2. p. 42–49. 2015.
- BUS, S.J. Phase II of the Small Main-belt Asteroid Spectroscopy Survey: A feature-based taxonomy. **Icarus**. No. 158 (1): 2002.
- CHEN, S.; CHANG,W. H.; LAI, C. H.; & TSAI, C. Y. A comparison of students' approaches to inquiry, conceptual learning, and attitudes in simulation-based and microcomputer-based laboratories. **Science Education**. No 98(5), p. 905-935. 2014.
- CHEN, M. Y. ZHANG. Effects of a 3D printing course on mental rotation ability among 10-year-old primary students. **Int. J.**
- CHERY, D. et al. Integration of the arts and technology in GK-12 science courses, **IEEE Front. Educ. Conf.** 2015.
- COSTA, Fernando Albuquerque. O digital e o currículo. Onde está o elo mais fraco?. In: Conferência Internacional de Tecnologias de Informação e Comunicação na Educação, 5, 2007, Braga: Universidade do Minho, pp. 274-284. **Anais eletrônicos...** Disponível em:
><http://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/5927/1/%282007%29COSTA%2cF%28DigitalCurr%3%ADculoEloMaisFraco%29ChallengesUMinhoBraga.pdf>> . Acesso em 28 de agos. 2018.

DAVIS, E. A. et al. MoDeLS: Designing supports for teachers using scientific modeling (In annual meeting of the Association for Science Teacher Education, St. Louis, MO). 2008.

DELGRANDE, J. J.; SOANES, S. V. Kirkwood's Gap in the Asteroid Orbits. **Journal of the Royal Astronomical Society of Canada**. No. 37. p. 187. 1943.

DESTOMBES, M. Der globusfreund. **Globes en relief du XVIIIe si`ecl**. No. 25–27. p. 225–231. 1978

DUSO, L. O uso de modelos no ensino de biologia. **XVI ENDIPE. Encontro Nacional de Didática e Práticas de Ensino**. UNICAMP. Campinas. 2012.

EISENBERG, M. 3D printing for children: What to build next? **Int. J. Child-Comput. Interact**. No 1. p. 7–13. 2013.

FERRAZ-MELLO, S. Kirkwood Gaps and Resonant Groups. proceedings of the 160th International Astronomical Union. **Kluwer Academic Publishers**. p. 175–188. Jun. 1993.

GLEMBERG, A. M., et al. Activity and imagined activity can enhance young children's reading comprehension. **Journal of Educational Psychology**. No 96(3), p. 424–436. 2004.

GRIFFITH, K.M.; DE CATALDO, R.; FOGARTY, K.H. Do-It-Yourself: 3D models of hydrogenic orbitals through 3D printing. **J. Chem. Educ**. No 93 p. 1586–1590. 2016.

HIRAYAMA, K. Groups of asteroids probably of common origin. **Astronomical Journal**. vol. 31. iss. 743. p. 185-188. 1918.

HOROWITZ, S.S.; SCHULTZ, P.H. Printing space: using 3D printing of digital terrain models in geosciences education and research, **J. Geosci. Educ**. No 62. p. 138–145. 2014.

IRWIN, J.L. et al. The RepRap 3-D printer revolution in STEM education. **ASEE Annu. Conf. Expo**. p. 24.1242.1- 24.1242.13. 2014.

JUNIOR, A. J. R.; REIS, T. H.; GERMINARO, D. dos Reis. Disciplinas e professores de Astronomia nos cursos de licenciatura em Física das Universidades brasileiras.

Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia, São Carlos, SP, No. 18, p. 89-101, 2014.

KELLEY, T.R.; KNOWLES, J.G. A conceptual framework for integrated STEM education. **Int. J. STEM Educ.** No 3. 2016.

KRAUS, S. Astronomy for the Blind and Visually Impaired. **CAPjournal**. No. 21. p. 36-38. December 2016.

LANGHI, R. Dificuldades de professores dos anos iniciais do ensino fundamental em relação ao ensino da Astronomia. **Revista Eletrônica RELEA – Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia**. No 2. 2005.

LANGHI, R.; NARDI, R. Ensino de Astronomia: erros conceituais mais comuns presentes em livros didáticos de ciências. **Cad. Bras. Ens. Fís.** v. 24. No. 1: p. 87-111. 2007.

LANGHI, R.; NARDI, R. Ensino de astronomia no Brasil: educação formal, informal, não formal e divulgação científica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 31, n. 4, 4402, 2009.

LEDERMAN, S. J.; KLATZKY, R. L. Hand movements: a window into haptic object recognition. **Cognitive Psychology**. No 19(3), p. 342–368.

LIMA, A. Astronomia no ensino de ciências: a construção de uma sequência didático-pedagógica a partir da análise dos livros didáticos de ciências. **UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**. Brasília. DF. 2018.

MADURA, T. A Case Study in Astronomical 3D Printing: The Mysterious η Carinae **Publications of the Astronomical Society of the Pacific**. No 129:058011. p. 18.

MAHIL, S. Fostering STEM+ education: improve design thinking skills. **2016 IEEE Glob. Eng. Educ. Conf.** p. 125–129. 2016.

MAKINO, M. et al. 3D printing of police whistles for STEM education. **Microsyst. Technol.** 2017.

MCMENAMIN, P.G. The production of anatomical teaching resources using three-dimensional (3D) printing technology. **Anat. Sci. Educ.** No 7 p. 479–486. 2014.

MIMS F.M. Amateur Science - Strong Tradition, Bright Future. **Science**. Vol. 284, pp. 55-56. 02 Apr 1999. DOI: 10.1126/science.284.5411.55

MUELLER, T. Small Bodies Near & Far. **European Commission in HORIZON 2020 Framework Programme for Research and Innovation under Grant agreement No 687378**. Disponível em <http://www.mpe.mpg.de/~tmueller/sbna/>. Acesso em: dezembro 2018.

NASA. **Center of Near Earth Object Studies**. Disponível em: <https://cneos.jpl.nasa.gov/>. Acesso em: 27 de outubro de 2018

RAMANI, G. B.; SIEGLER, R. S. Promoting broad and stable improvements in low-income children's numerical knowledge through playing number board games. **Child Development**. No 79(2). p. 375–394. 2008.

ROSCOE, J.F.; FEARN S.; POSEY, E. Posey Teaching computational thinking by playing games and building robots. **Conf. Interact. Technol. Games** pp. 9-12, (2014).

RUSSEL, D. W.; LUCAS, K. B.; MCROBBIE, C. J.. Role of the microcomputer-based laboratory display in supporting the construction of new understandings in thermal physics. **Journal of Research in Science Teaching**. No 41(2), p. 165-185. 2004.

SCHELLY, C. Open-source 3-D printing Technologies for education: bringing additive manufacturing to the classroom. **J. Vis. Lang. Comput.** No 28. p. 226–237. 2015.

SCHWARZ, C. V. et al; Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners. **Journal of Research in Science Teaching**. No 46(6). p. 632-654. 2009.

SCHWARTZ, D. L.; BLACK, T. Inferences through imagined actions: knowing by simulated doing. **Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition**. No 25. p. 1–21. 1999.

SPOHN, T.; BREUER, D.; JOHNSON, T. Encyclopedia of the Solar System. Elsevier 3rd Edition. ISBN: 9780124158450. Abril de 2014.

STIER, K.; BROWN, R. Integrating rapid prototyping technology into the curriculum. **J. Ind. Technol.** No 17. 2000.

THOLEN, D.J. "Asteroid taxonomic classifications". Asteroids II; Proceedings of the Conference. **University of Arizona Press**. pp. 1139–1150. 1989.

TORRES, J.; VASCONCELOS, C. Natureza da Ciência e Modelos Científicos: um Estudo com Futuros Professores do Ensino Básico. **Interações**. p. 460-471. 2015.

VANDEVELDE, C. et al. Design and evaluation of a DIY construction system for educational robot kits. **Int. J. Technol. Des. Educ.** No 26. p. 521–540. 2016

VENKATESH, Viswanath; DAVIS, Fred. A theoretical extension of the Technology Acceptance Model: four longitudinal field studies. **Management Science**. 2000, vol. 46, n. 2, pp. 186-204.

WESTFALL, J.; SHEEHAN, W. Celestial Shadows: Eclipses, Transits, and Occultations. **Springer-Verlag**. New York. 2015.

WONG, N.; CHENG, H.H. CPSBot: a low-cost reconfigurable and 3D-printable robotics kit for education and research on cyber-physical systems. **2016 12th IEEE/ASME Int. Conf. Mechatron. Embed. Syst. Appl.** p. 1–6. 2016.

LINKS DE RECURSOS ÚTEIS

<https://reprap.org/wiki/RepRap>

<https://www.makerbot.com/>

<https://www.reddit.com/r/3Dprinting/>

<https://www.tinkercad.com/>

<http://www.meshlab.net/>

<http://www.3ders.org/>

<https://www.shapeways.com/blog/>

<https://www.nwa3d.com/education/best-free-design-software-for-schools/>

<https://3d.si.edu/>

<https://www.simplify3d.com/support/print-quality-troubleshooting/>