



Especialização em  
**ENSINO DE  
ASTRONOMIA**

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO  
UNIDADE ACADÊMICA DE EDUCAÇÃO A DISTÂNCIA E TECNOLOGIA  
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ENSINO DE ASTRONOMIA E  
CIÊNCIAS AFINS**

**ALUNO: PLÍNIO GIROGIO ARRUDA DA SILVA**

**ORIENTADOR: Dr. ANTÔNIO CARLOS DA SILVA MIRANDA**

**PROPOSTA PEDAGÓGICA DE ENSINO DE EXOPLANETAS PARA ALUNOS DO  
ENSINO MÉDIO USANDO COMO MOTIVAÇÃO À OLIMPÍADA BRASILEIRA DE  
ASTRONOMIA E ASTRONÁUTICA - OBA**

**Recife**

**2022**

**PLÍNIO GIROGIO ARRUDA DA SILVA**

**PROPOSTA PEDAGÓGICA DE ENSINO DE EXOPLANETAS PARA ALUNOS DO  
ENSINO MÉDIO USANDO COMO MOTIVAÇÃO À OLIMPÍADA BRASILEIRA DE  
ASTRONOMIA E ASTRONÁUTICA - OBA**

Projeto de pesquisa de trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Especialização em Ensino de Astronomia e Ciências Afins, da Unidade Acadêmica de Educação a Distância e Tecnologia UAEADTec/UFRPE, como exigência de conclusão do curso, sob a orientação do professor Prof. Dr. Antônio Carlos da Silva Miranda.

**Recife**

**2022**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Sistema Integrado de Bibliotecas  
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

P728p Silva, Plínio Giorgio Arruda da  
PROPOSTA PEDAGÓGICA DE ENSINO DE EXOPLANETAS PARA ALUNOS DO ENSINO MÉDIO  
USANDO COMO MOTIVAÇÃO À OLIMPÍADA BRASILEIRA DE ASTRONOMIA E ASTRONÁUTICA – OBA /  
Plínio Giorgio Arruda da Silva. - 2022.  
111 f. : il.

Orientador: Dr. ANTONIO CARLOS DA SILVA MIRANDA.  
Inclui referências e anexo(s).

Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) - Universidade Federal Rural de Pernambuco,  
Especialização em Ensino de Astronomia, Recife, 2022.

1. Astronomia. 2. Exoplanetas. 3. Proposta pedagógica. I. MIRANDA, Dr. ANTONIO CARLOS DA  
SILVA, orient. II. Título

---

CDD 520

**PLÍNIO GIROGIO ARRUDA DA SILVA**

**PROPOSTA PEDAGÓGICA DE ENSINO DE EXOPLANETAS PARA ALUNOS DO  
ENSINO MÉDIO USANDO COMO MOTIVAÇÃO À OLIMPÍADA BRASILEIRA DE  
ASTRONOMIA E ASTRONÁUTICA – OBA**

Projeto de pesquisa de trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Especialização em Ensino de Astronomia e Ciências Afins, da Unidade Acadêmica de Educação a Distância e Tecnologia UAEADTec/UFRPE, como exigência de conclusão do curso, sob a orientação do professor Prof. Dr. Antônio Carlos da Silva Miranda.

Aprovado em: 17 / 06 / 2022

BANCA EXAMINADORA:

---

Antônio Carlos da Silva Miranda (Orientador)  
Doutor em Astrofísica – UFRPE

---

Alexandro Cardoso Tenório (Examinador interno)  
Doutor em Física – UFRPE

---

Antônio de Pádua Santos (Examinador interno)  
Doutor em Física - UFRPE

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus, familiares, professores da especialização, colegas de curso e ao meu orientador prof. Dr. Antônio Carlos da Silva Miranda pelo auxílio e apoio durante todo o curso. Quero também agradecer a equipe do conselho de administração do Colégio 3º Milênio de Limoeiro-PE e também a todos os alunos que fazem parte do ensino médio do Instituto Santo Inácio de Loyola, localizado na cidade de Vitória de Santo Antão, escola na qual nos recebeu de braços abertos para fornecer sua estrutura física e equipamentos para realizarmos a nossa pesquisa.

## RESUMO

O trabalho de pesquisa consiste em uma proposta pedagógica sobre exoplanetas voltada para estudantes do ensino médio que buscam participar das olimpíadas científicas como as olimpíadas de astronomia na qual destacamos a Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica – OBA. Além disso, propomos a divulgação da Astronomia para toda a comunidade estudantil e incentivamos a participação das olimpíadas científicas de uma forma geral. No Brasil, existem duas olimpíadas nacionais que possuem em seus programas curriculares temas de Astronomia que são a OBA e a ONC (Olimpíada Nacional de Ciências). No entanto, a proposta pedagógica auxiliará os professores e alunos na preparação destas olimpíadas bem como na difusão do ensino da Astronomia. Os professores do ensino médio poderão utilizar como material de apoio o produto educacional que apresenta uma sequência didática na qual já foi aplicada e obteve-se resultados satisfatórios.

Palavras-chave: Astronomia, Exoplanetas, Proposta pedagógica.

## **ABSTRACT**

The research work consists of a pedagogical proposal on exoplanets aimed at high school students who seek to participate in scientific olympics such as the astronomy olympics in which we highlight the Brazilian Astronomy and Astronautics Olympiad - OBA. In addition, we propose the dissemination of Astronomy to the entire student community and encourage the participation of scientific Olympics in general. In Brazil, there are two national Olympics that have astronomy themes in their curricular programs, namely the OBA and the ONC (National Science Olympiad). However, the pedagogical proposal will help teachers and students in the preparation of these Olympics as well as in the dissemination of astronomy teaching. High school teachers will be able to use as support material the educational product that presents a didactic sequence in which it has already been applied and satisfactory results have been obtained.

Keywords: Astronomy, Exoplanets, Pedagogical proposal.

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1</b> – Modelo Geocêntrico.....                    | 13 |
| <b>Figura 2</b> – Epíclis de Ptolomeu.....                   | 14 |
| <b>Figura 3</b> – Modelo Heliocêntrico.....                  | 15 |
| <b>Figura 4</b> – Modelo Geo-heliocêntrico.....              | 16 |
| <b>Figura 5</b> – Astronomia Nova e Harmonia dos Mundos..... | 18 |
| <b>Figura 6</b> – Velocidade Radial.....                     | 23 |
| <b>Figura 7</b> – Trânsito Planetário.....                   | 23 |
| <b>Figura 8</b> – Microlente Gravitacional.....              | 25 |
| <b>Figura 9</b> – Zona habitável 1.....                      | 26 |
| <b>Figura 10</b> – Classificação das Estrelas.....           | 27 |
| <b>Figura 11</b> – Zona habitável 2.....                     | 27 |
| <b>Figura 12</b> – Método de trânsito.....                   | 31 |
| <b>Figura 13</b> – Método da velocidade radial.....          | 32 |
| <b>Figura 14</b> – Método da Microlente gravitacional.....   | 33 |
| <b>Figura 15</b> – Astrometria.....                          | 34 |
| <b>Figura 16</b> – Questionário inicial aluno 1.....         | 38 |
| <b>Figura 17</b> – Questionário inicial aluno 2.....         | 39 |
| <b>Figura 18</b> – Questionário inicial aluno 3.....         | 40 |
| <b>Figura 19</b> – Questionário final aluno 1.....           | 43 |
| <b>Figura 20</b> – Questionário final aluno 2.....           | 44 |
| <b>Figura 21</b> – Questionário final aluno 3.....           | 46 |
| <b>Figura 22</b> – Método de Eratóstenes.....                | 60 |
| <b>Figura 23</b> – Órbita de Marte.....                      | 62 |
| <b>Figura 24</b> – Lei das Órbitas.....                      | 64 |
| <b>Figura 25</b> – Lei das Áreas.....                        | 65 |
| <b>Figura 26</b> – Lei dos Períodos.....                     | 65 |
| <b>Figura 27</b> – Gif do método de trânsito planetário..... | 72 |
| <b>Figura 28</b> – Missões Espaciais.....                    | 82 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 29</b> – Telescópio espacial Hubble.....     | 83 |
| <b>Figura 30</b> - Telescópio espacial Kepler.....     | 84 |
| <b>Figura 31</b> – Telescópio espacial Tess.....       | 85 |
| <b>Figura 32</b> – Hubble e James Webb.....            | 86 |
| <b>Figura 33</b> – Telescópio espacial James Webb..... | 87 |
| <b>Figura 34</b> - Órbita do James Webb.....           | 88 |

## SUMÁRIO

|   |    |
|---|----|
| <b>1 INTRODUÇÃO</b> .....                               | 3  |
| <b>2 OBJETIVOS</b> .....                                | 6  |
| 2.1 OBJETIVO GERAL.....                                 | 6  |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....                          | 6  |
| <b>3 JUSTIFICATIVA</b> .....                            | 7  |
| <b>4 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....                    | 11 |
| 4.1 Introdução histórica.....                           | 11 |
| 4.2 Exoplanetas .....                                   | 21 |
| 4.2.1 Métodos de Detecção .....                         | 21 |
| 4.2.1.1 Velocidade Radial.....                          | 22 |
| 4.2.1.2 Método de Trânsito.....                         | 23 |
| 4.2.1.3 Microlente Gravitacional.....                   | 24 |
| 4.3 Zona Habitável.....                                 | 26 |
| <b>5 METODOLOGIA</b> .....                              | 28 |
| 5.1 Encontro 1.....                                     | 28 |
| 5.2 Encontro 2.....                                     | 30 |
| 5.3 Encontro 3.....                                     | 34 |
| 5.4 Encontro 4.....                                     | 35 |
| <b>6 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS QUESTIONÁRIOS</b> ..... | 36 |
| 6.1 Questionário inicial.....                           | 36 |
| 6.2 Questionário final .....                            | 42 |
| <b>7 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....                     | 49 |
| <b>REFERÊNCIAS</b> .....                                | 51 |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Anexos.....</b>                       | <b>56</b> |
| <b>PRODUTO EDUCACIONAL.....</b>          | <b>56</b> |
| <b>Questionário inicial.....</b>         | <b>90</b> |
| <b>Questionário final.....</b>           | <b>91</b> |
| <b>Lista de exercícios sugerida.....</b> | <b>92</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

As olimpíadas científicas vêm ganhando força nos últimos anos em todo o país e no mundo por estudantes do ensino fundamental anos iniciais até os alunos do ensino médio. No Brasil, algumas universidades, como a USP (Universidade de São Paulo), a Unicamp (Universidade de Campinas) e a UNESP (Universidade Estadual Paulista) já adotam como sistema de ingresso em alguns cursos de Pedagogia, Ciência da Computação, Ciências Biológicas, Engenharias, Licenciaturas em Física, Química e Matemática, entre outros, usando um sistema de pontuação para esses alunos participantes e medalhistas em olimpíadas do conhecimento. Nesses referidos sistemas de pontuação, os alunos vão adquirindo a partir do momento que são medalhistas nas olimpíadas nacionais e até mesmo com apenas as suas participações em olimpíadas científicas internacionais. Além de um nível mais elevado, as provas dessas olimpíadas possuem um caráter mais desafiador para os estudantes, pois os mesmos necessitam se aprofundar nos respectivos temas de sua olimpíada de escolha.

Historicamente, foi de matemática, na Hungria, no ano de 1894 que a primeira olimpíada científica aconteceu, e aqui no Brasil a primeira aplicação de uma olimpíada de conhecimento também foi de matemática e ocorreu no ano de 1979 (DELUCIA, 2017). A pesquisa deste trabalho será voltada para o ensino da astronomia usando como incentivo a Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica (OBA), que teve sua primeira aplicação no ano de 1998 e hoje tem alcançado quase um milhão de estudantes em todo o país. A OBA acontece em fase única, dividida em quatro níveis, onde o nível 4 é voltada para os alunos do ensino médio e é diferente de outras olimpíadas que possuem mais de uma fase e ocorre uma vez a cada ano. Abordando conteúdos simples como sistema solar até outros mais complexos como cálculo da velocidade de aproximação ou afastamento de galáxias utilizando o efeito doppler, a OBA tem ajudado na divulgação da astronomia nas escolas públicas e privadas despertando o interesse dos alunos e desmistificando o assunto que por vezes é confundido com astrologia (GRAEL, 2015). Podemos dizer que o céu é um laboratório do qual podemos utilizar para investigarmos o cosmos, e desta forma enxergamos que a Astronomia tem uma importância motivadora sobre o ensino das ciências o que leva a curiosidade da humanidade em desmistificar o universo. Ainda sobre esse caráter motivador, trabalhar a Astronomia com os estudantes, tanto dentro como fora da sala de aula poderemos desenvolver nos alunos um olhar diferenciado para as

novas faces da ciência sob a medida da interdisciplinaridade que tem à Astronomia (RODRIGUES, 2019).

O incentivo na participação dos alunos em olimpíadas de conhecimento vai além das vagas em universidades públicas, pois para muitos docentes, as olimpíadas são motivadoras de uma movimentação por parte dos estudantes e também dos professores em trabalharem na sala de aula alguns temas que são considerados intrigantes e até mesmo interessantes de serem discutidos com os estudantes em sala de aula. A OBA tem tido uma crescente na participação dos estudantes desde as séries iniciais até o ensino médio, pois ela aborda para os alunos do ensino fundamental anos iniciais questões que são tratadas de forma lúdica, o que se aponta como fator positivo da mesma e vai a uma abordagem mais profunda para os alunos do ensino médio que tem aprofundado em temas da Física dos programas dos vestibulares como a Física Moderna. Um tema como Física Moderna, que no ano de 2005 veio a ser inserido nos programas de vestibulares tradicionais do estado de Pernambuco, e neste ano, foi “revolucionário” tanto no âmbito docente como no discente devido a seu caráter de aplicabilidade tecnológica e por ser uma novidade nas provas de vestibulares de nosso estado. O uso de projetos com recursos pedagógicos ainda não é bem utilizado no Brasil e assim o interesse dos alunos em estudarem temas como os de Física Moderna por exemplo vão sendo deixados de lado (MARQUES, 2005).

Visando que muitos destes temas não são trabalhados em sala de aula no horário regular, propomos uma metodologia de ensino sobre os exoplanetas que poderá ser realizada no formato presencial ou online, para que o professor possa motivar seus alunos no tocante a astronomia para estudantes do ensino médio. Sou professor do ensino médio da rede particular de ensino desde 2005 e faço parte da especialização de ensino de Astronomia da UFRPE de onde podemos aprender e difundir o conhecimento que adquirimos em sala de aula e possamos repassar para a comunidade docente de nosso estado ferramentas que os auxiliem com o ensino de Astronomia.

Assim, nesse projeto de pesquisa, pretendemos utilizar uma proposta de ensino de Exoplanetas como uma forma de adquirir conhecimento sobre a mesma sem o enfoque que muitas unidades escolares utilizam para a competição como fim da participação nas olimpíadas do conhecimento como relata (NOVAES, 2019). Nele, iremos identificar quais os conhecimentos prévios (subsunçores) que os alunos

possuem sobre o tema, a fim de dar um direcionamento mais preciso para atingirmos nossos estudantes de forma que eles tenham uma aprendizagem significativa. Os indícios de uma aprendizagem significativa serão assim considerados se o conteúdo descoberto estiver ligado a subsunções relevantes e pré-existentes na estrutura cognitiva do estudante como afirma (MOREIRA, 1999). Porém, para (DARROZ, 2011) uma maneira eficaz de se evidenciar a aprendizagem significativa do aluno é de formular problemas e questões de uma forma inovadora, abordando questionamentos ao tema trabalhado na proposta pedagógica exigindo deles uma transformação dos conhecimentos adquiridos. Contudo, acreditamos que devido ao caráter multidisciplinar da astronomia e bem como a motivação dos professores e seus alunos para a participação nas olimpíadas científicas são essenciais para aprendizagem e compreensão das ciências como Física, Química, Biologia e também da Matemática. E com essa proposta pedagógica, visamos potencializar a aprendizagem dos conteúdos de astronomia e direcionar os professores do ensino médio a um formato diferente do chamado ensino tradicional.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Neste projeto de pesquisa sobre o ensino da Astronomia nas escolas públicas e particulares, pretendemos incentivar os professores e alunos, mais especificamente do ensino médio, para que possam compreender como avançou a Astronomia desde o período onde prevaleceu a teoria geocêntrica de Ptolomeu até os dias atuais com a descoberta de novos sistemas solares e de novos planetas, que são conhecidos por **Exoplanetas**. Além disso, iremos aprofundar nos métodos existentes para a detecção dos mesmos, onde os estudantes poderão partir de uma abordagem histórica, conceitual e aplicações (questões de provas de olimpíadas científicas). A proposta será levada para as escolas públicas e privadas que tem participado das olimpíadas de astronomia, bem como as que ainda não participaram dessa olimpíada. Assim, iremos mapear através de uma análise de dois questionários onde iremos analisar como foi o desempenho desses alunos usando como parâmetro a proposta pedagógica utilizada para a preparação na Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica - OBA.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Analisar os conhecimentos prévios dos alunos sobre exoplanetas, bem como seu conhecimento sobre algum outro tema relacionado a astronomia.

Avaliar de forma qualitativa a natureza do conhecimento dos alunos sobre a astronomia de uma forma geral e também se é frequente ou não sua participação na olimpíada de astronomia.

Identificar quais as deficiências dos alunos sobre conhecimentos acerca da linha do tempo histórica da astronomia de um período onde prevaleceu a teoria geocêntrica até a concepção e comprovação da teoria heliocêntrica,

Traçar propostas sequenciais sobre essas possíveis deficiências para que possamos sanar algumas delas para que o aluno possa compreender de forma adequada a aplicação e importância da revolução científica dentro da astronomia.

Verificar o conhecimento de forma circunstancial após a inserção da proposta pedagógica, analisando a evolução do conhecimento dos alunos através de dois questionários.

### 3 JUSTIFICATIVA

A escolha de uma proposta de ensino da astronomia para os estudantes que farão as provas do nível 4 (alunos do ensino médio) da Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica, foi motivada pelo fato de que a mesma tem tido uma crescente procura pela maior parte dos estudantes inscritos neste nível e que suas questões terem grande relevância para o ensino da astronomia. Ainda podemos destacar que a nossa proposta da sequência didática em nosso produto educacional venha incentivar os estudantes a se aprofundarem ainda mais no cosmos. Pois, acreditamos que o ensino de astronomia vai além de uma participação em uma olimpíada. Ela oferta aos estudantes uma investigação do Universo, onde possam ver a revolução científica da criação de um modelo que possa responder aos questionamentos que surgiram desde a Grécia antiga com Aristóteles e que foi corrigido inicialmente por Copérnico (teoria heliocêntrica), bem como ela oferece um laboratório ao ar livre, no qual os alunos poderão fazer observações dos astros bem como também de alguns fenômenos, onde podemos destacar os mais simples que são os eclipses.

Analisando também a proposta da BNCC (Base Nacional Curricular Comum) que tem por objetivo que todos os estudantes de escolas públicas e particulares possam aprender um conjunto de conhecimentos e habilidades comuns para que os mesmos tenham a desigualdade educacional reduzida priorizando a qualidade do ensino desses jovens em suas escolas (BNCC, 2021). Os conteúdos da base já apontam o ensino da Astronomia desde o ensino fundamental tendo como temas que vão desde o estudo do sistema solar até a evolução estelar para os alunos do 9º ano. Essa proposta geralmente não é seguida à risca pelos professores, pois os mesmos seguem os programas dos livros de ciências que são adotados pela escola e até mesmo devido a suas formações acadêmicas como apontam as pesquisas de ensino. Quando entramos no ensino médio, a proposta da BNCC chega a propor temas que tratam um aprofundamento do que foi proposto no ensino fundamental onde os professores de Física trabalham apenas a Gravitação com as Leis de Kepler e a dinâmica de Newton com a força gravitacional. Este aspecto se deve ao fato de que estes dois conteúdos acima citados também fazem parte dos programas dos vestibulares nacionais e Enem. No entanto, devemos ter um olhar para os estudantes que buscam se aprofundar em assuntos como galáxias, evolução estelar,

exoplanetas, missões espaciais, que vão além dos já abordados em sala de aula, estamos produzindo um produto educacional que visa ajudar aos professores do ensino médio a terem um guia prático de uma sequência didática para que possam trabalhar de forma clara e epistemológica com esses estudantes em sala de aula. Sobre a sequência didática:

Uma sequência didática é entendida como instrumento de fortalecimento das relações entre a teoria veiculada nos cursos de formação de professores e as práticas desenvolvidas em sala de aula atendendo de forma mais efetiva a aprendizagem dos estudantes (GIORDAN, 2012, p. 2).

Neste produto educacional, propomos uma sequência didática, estilo roteiro (guia flexível), para os professores do ensino médio que desejam se aprofundar no tema de Exoplanetas e também para aqueles que atribuem este conhecimento como forma de aplicação prática, as olimpíadas de astronomia. A principal olimpíada de Astronomia que acontece no país é a Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica – OBA, porém, existem outras olimpíadas abordam o tema como a Olimpíada Nacional de Ciências – ONC e a Olimpíada Pernambucana de Astronomia – OPA.

A participação em Olimpíadas Científicas vem ganhando adeptos em todo o Brasil e algumas das universidades nacionais já utilizam um sistema de pontuação, que os estudantes irão adquirir no decorrer de vida acadêmica, como forma de ingresso em alguns cursos nestas universidades. Para isso, os estudantes deverão participar das principais olimpíadas nacionais e internacionais e onde com suas conquistas (medalhas e certificados) eles irão pontuando de acordo com o edital da referida universidade. Com essa pontuação, eles podem se candidatar a ingressarem em alguns cursos como engenharias, licenciaturas, pedagogia, entre outros. Este processo de ingresso teve início na região sudeste do país, e projetos já tramitam para que outras universidades públicas também possam abrir esta porta para que os estudantes de determinadas áreas do conhecimento consigam ingressar no curso que desejam sem precisar utilizar o modelo tradicional de vestibular como já é conhecido.

A Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica – OBA, teve início no ano de 1998 com o objetivo de desenvolver a ciência e divulgar a Astronomia em todo o

território nacional através deste evento pedagógico, despertando assim o interesse pela Astronomia para jovens e adultos (ERTHAL, 2019). Neste início, a OBA era dividida em duas modalidades que denominam de nível e destinadas aos estudantes através de suas idades, ou seja, o nível 1 era para alunos com até 16 anos e o nível 2 para os que tinham idade entre 16 até 18 anos. No ano de 1999, a SAB (Sociedade Astronômica Brasileira) assumiu a comissão organizadora da OBA e a dividiu em três níveis fundamentada nas séries dos estudantes e não mais através das idades (ERTHAL, 2019). Ainda vale ressaltar que em 1998 a OBA conseguiu atingir apenas 21 escolas de 8 cidades diferentes, com um quantitativo entre 10 a 15 mil estudantes. Já em sua terceira edição, ela conseguiu atingir a 26 estados com um quantitativo de 23.913 estudantes de todos os níveis como relata (MATSUURA, 2018).

Desde 2004 que a olimpíada é dividida em quatro níveis, onde o nível 1 é para os estudantes da 1ª a 3ª série do ensino fundamental anos iniciais, o nível 2 para os alunos do 4º e 5º anos do ensino fundamental anos iniciais, já o nível 3 é desenvolvida para os estudantes do 6º ao 9º ano do ensino fundamental anos finais e o nível 4 é destinado aos alunos do ensino médio. A prova da OBA é dividida em todos os níveis em duas partes, das quais abordam temas de Astronomia (7 questões) e de Astronáutica (3 questões), totalizando assim 10 questões. Desde sua segunda edição que a OBA premia os estudantes com medalhas e certificados, bem como os professores das escolas envolvidos na olimpíada. Fazendo um comparativo de crescimento nas premiações, a OBA já entregou 1672 medalhas em 1999 e hoje são 50 mil medalhas distribuídas para todo o Brasil, pois a mesma neste ano de 2022 teve quase dois milhões de estudantes participantes. Para os alunos do ensino médio que estarão submetidos à prova nível 4, terão uma oportunidade de fazerem parte da equipe que representará o Brasil em olimpíadas internacionais de Astronomia. Pernambuco teve um representante pela última vez na equipe nacional no ano de 2013, com um estudante do Recife (OBA, 2022). Visamos também na possibilidade de termos um representante de nosso estado numa equipe nacional para as olimpíadas de astronomia. Desta forma, vemos com grande satisfação e notória importância que a OBA tem para os estudantes de uma forma geral, pois a prova tem um tratamento lúdico em seus níveis iniciais e fundamentam-se no arcabouço teórico da cinemática e da dinâmica da gravitação.

Sobre a importância da OBA para os estudantes de todos os níveis:

Porém, o mais importante foi que durante os trabalhos da II OBA ficou evidenciado que a OBA: a) contribuiu para desenvolver o estudo da ciência astronômica em todo o Brasil; b) incentivou muito a população estudantil no aprofundamento dos estudos da ciência astronômica, pois tinham uma motivação lúdica; c) e um veículo extremamente profícuo, inclusive para contestar conhecimentos errôneos advindos do “bom senso” ou do livro didático; d) incentivou os professores responsáveis pelo ensino dos conteúdos de astronomia no ensino médio e fundamental a se atualizarem para melhor poderem atender aos anseios de boa classificação dos seus alunos, (MATSUURA, 2018, p.426-427).

A prova aborda assuntos simples que estão na grade curricular das escolas do setor público e privado como fases da lua, estações do ano, sistema solar, constelações e reconhecimento do céu até temas mais complexos como evolução estelar, buracos negros, lei de Hubble e conhecimentos específicos das missões espaciais.

Desta forma, percebemos que a maioria dos temas desta olimpíada para os níveis 3 e 4 já se encontram fora do programa escolar. Visando a possibilidade de auxiliar professores das redes privadas e públicas, resolvemos desenvolver um produto educacional que traz uma sequência didática com o objetivo de preparação dos estudantes destes níveis para as olimpíadas de astronomia. Fazendo um estudo prévio das provas da OBA, vimos que o tema deste trabalho (Exoplanetas) vem atrelado a um assunto que se encontra também em programas dos vestibulares nacionais que são as Leis de Kepler. Assim, além de abordamos em nosso produto uma boa parte do que se encontra nos livros de Astronomia, também fizemos uma passagem pelas leis de Kepler e suas aplicações, já que as mesmas são aplicáveis para qualquer sistema solar. Portanto, consideramos que o grande desafio de nosso produto educacional estar em inserir o estudo dos Exoplanetas e métodos para detecção na proposta pedagógica para esses estudantes do ensino médio, porém a mesma irá ajuda-los a compreender de uma forma mais abrangente e clara o movimento dos astros celestes e sua posição orbital se o mesmo tem a possibilidade de obter água em estado líquido com o intuito de abrigar vida.

## 4 REVISÃO DA LITERATURA

### 4.1 Introdução histórica

Alguns conhecimentos adquiridos pelos estudantes das séries referentes ao ensino fundamental anos finais retratam de um prévio conhecimento geralmente restrito a apenas o movimento dos planetas do sistema solar bem como a ordem que estão dispostos no espaço como os livros didáticos corretamente os expõem. No entanto, é notável que conhecer alguns conceitos sobre a velocidade, natureza das órbitas, se elípticas ou circulares e também o intervalo de tempo orbital, fica restrito apenas para aqueles que já se encontram no primeiro ano do ensino médio quando discutido em sala por alguns professores.

Verificamos assim que temos a existência de um paradigma a ser quebrado por esses estudantes que são motivados a crerem através uma observação do céu que a Terra pode estar sendo o centro do universo pois não a sentimos se mover e bem como os outros astros celestes possuem esse movimento aparente no céu. Para o epistemólogo Thomas Khun, conceitua que tudo isso advém de um conjunto de crenças estabelecidas em livros e alguns manuais onde um grupo de pessoas estão comprometidos e seguirão as regras deste referido método científico (MASSONI, 2005).

Segundo KHUN (1978, p.32): “Essas transformações de paradigmas da Óptica Física são revoluções científicas e a transição sucessiva de um paradigma a outro, por meio de uma revolução, é o padrão usual do desenvolvimento da ciência amadurecida”. Em se tratando de Astronomia, a quebra do paradigma mais importante ficou conhecida por *Revolução Copernicana*, onde o monge Nicolau Copérnico em sua obra *Revolutionibus Orbium Coelestium* publicada em 1543, rompeu a teoria geocêntrica de Ptolomeu e fez nascer assim o modelo heliocêntrico que conhecemos até hoje. O modelo heliocêntrico de Copérnico, é uma tradução fiel das observações feitas que contradiziam os epiciclos e deferentes de Ptolomeu. Com a obra de Copérnico, outros nomes deram continuação a teoria heliocêntrica no qual podemos destacar os mais conhecidos e importantes listados na literatura que são eles: *Galileu Galilei*, *Tycho Brahe*, *Johannes Kepler* e *Isaac Newton*. Foram através dos trabalhos de Tycho Brahe que o seu ajudante Johannes Kepler pode continuar as pesquisas e assim desenvolver teorias que são utilizadas até hoje para os corpos

celestes. Na Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica – OBA, o conhecimento acerca das leis de Kepler e suas aplicações já são abordadas para os estudantes do ensino fundamental anos finais, prova nível 3 que se destina para os estudantes do 6º ao 9º ano (OBA, 2022).

É, então notório que ao se estudar as leis de Kepler com os alunos do ensino fundamental anos finais, devemos fazer uma inserção de conhecimentos prévios e avalia-los de forma clara e precisa para que possamos entender e sanar as deficiências encontradas pelos alunos e até de alguns professores, pois alguns podem nunca terem tido contato com tal teoria. Para se chegar a uma compreensão mais profunda acerca das leis de Kepler, iremos propor uma aula de uma contextualização histórica da astronomia e daremos exemplos acerca de alguns paradigmas que foram quebrados como o movimento dos planetas propostos por Ptolomeu.

A visão e constituição do Universo nos remonta a Grécia antiga para um dos filósofos mais importantes da época, Aristóteles. Filho de médico, Aristóteles teve uma boa educação e desde cedo mostrou interesse nas concepções do que tudo era constituído e foi o primeiro a apresentar um sistema compreensível de mundo (PIRES, 2011). Para Aristóteles toda a matéria era constituída por quatro elementos: terra, água, ar e fogo. Tal concepção foi primeiramente adotada por Empédocles e em seguida por Platão de onde a transmitiu para Aristóteles. Todos esses elementos constituíam o Cosmos, e assim para Aristóteles não havia espaços vazios no universo.

Como a matéria é capaz de assumir várias formas, os elementos podem se transformar uns nos outros. As formas instrumentais para produzir os elementos eram aquelas associadas com as quantidades primárias: quente, frio, úmido e seco. Temos as combinações: frio e seco = terra, frio e úmido = água, quente e úmido = ar, quente e seco = fogo. O céu, por sua vez, era composto de um único elemento o éter, um elemento imutável,... (PIRES, 2011, p.34).

O movimento dos objetos era dividido em movimento natural e movimento violento, e sua explicação para isso, estava intimamente ligado ao fato da constituição elementar do corpo, ou seja, uma pedra solta de uma determinada altura do solo, cai verticalmente para baixo pois a pedra era constituída de terra e portanto, estendia esta

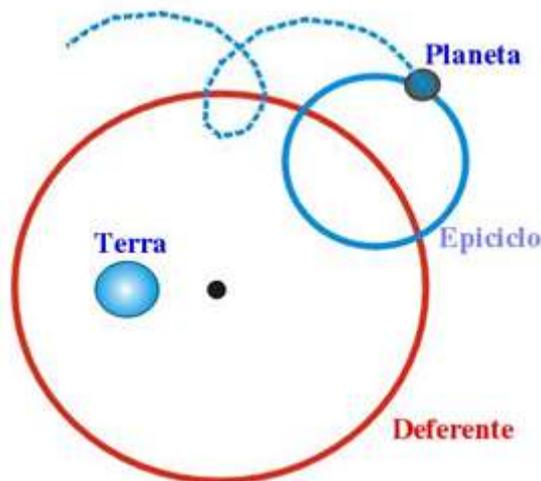
mesma ideia para os demais corpos. Já a sua visão do Universo era que o mesmo era dividido em duas regiões: a terrestre e a sublunar. A região terrestre era constituída por quatro esferas, concêntricas e formadas pelos quatro elementos acima citados, e as mesmas se encontravam em repouso e os mesmos não se misturavam. Devido as ideias de movimento e repouso e da formação dos elementos como constituintes principais, ele concluiu que a Terra estava em repouso no centro do Universo e que as estrelas, que viviam na região supralunar, estariam em movimentos circulares perfeitos e eram constituídas de éter e não de fogo. Fortalecendo assim a concepção geocêntrica de mundo que perduraria por vários séculos. A ilustração a seguir mostra a representação do modelo geocêntrico de Aristóteles.



Fonte: <https://www.jw.org/pt/biblioteca/revistas/despertai-n5-2016-outubro/conceito-de-aristoteles-sobre-universo/>

Seguidor das ideias aristotélicas, Claudio Ptolomeu teve muita importância na continuação do modelo geocêntrico. Uma obra importante de Ptolomeu foi o *Megale Sintaxis*, conhecido como *A grande composição*, que mais tarde ao passar pela tradução árabe ficou conhecido como *al-Majisti* e ao mudar para o latim recebeu o nome de *Almagesto* (O Grande) como relata (PIRES, 2011). Ptolomeu também teve a influência da geometria de Apolônio de Perga e de um dos maiores astrônomos da Grécia Antiga, Hiparco, para a construção de seu sistema de epiciclos e deferentes no qual explicava as observações dos movimentos dos planetas em torno da Terra do modelo geocêntrico (SILVA, 2018). Ele também extraiu e aprimorou as tabelas do seu livro o *Almagesto* para a divulgação separada e desenvolveu uma versão resumida e

mais simples para os leitores que não fossem especialistas no qual ficou conhecida por **Hipótese Planetária** (ROONEY, 2018). O modelo de Ptolomeu, respondeu por vários séculos as observações e explicava os movimentos circulares aparentes dos planetas proposto por Aristóteles. Com a Terra ao centro, os planetas giram em torno de um ponto em uma trajetória circular na qual denominou de **epiciclo** e este ponto descreve em torno da Terra uma órbita também circular conhecida por **deferente**, onde vale ressaltar que a Terra não estava no centro desta deferente e sim dentro da órbita.



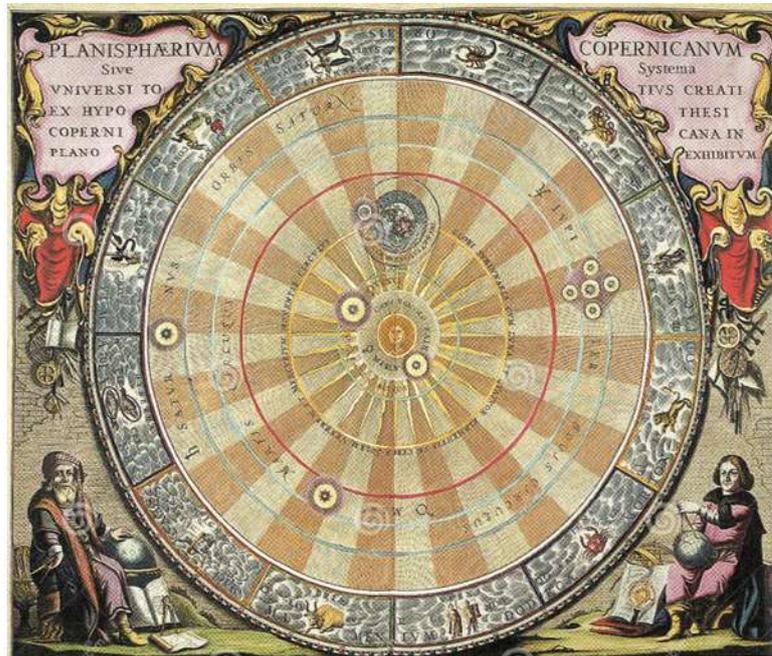
Fonte: <http://astronomia.blog.br/epiciclos-de-ptolomeu-e-materia-escura/>

O modelo geocêntrico de Claudio Ptolomeu perdurou do séc II d.c até o séc.XVI d.c., no qual foi perdendo força devido a algumas inconsistências que ocorreram durante este tempo. Uma delas estava associada à órbita de Marte, que por sua vez, no céu noturno, ao longo dos dias aparentava fazer um “laço” no céu. Os epiciclos e deferentes de Ptolomeu mostrou sua fragilidade ao tentar explicar este fato. Assim, no ano de 1543, o monge polonês Nicolau Copérnico desenvolveu através de observações que a Terra não poderia estar no centro do sistema solar, e o que se observou da órbita de Marte, era explicado colocando o Sol no centro do sistema solar. Para o sistema de Copérnico o universo é organizado assim: O Sol localiza-se fixamente no centro e em sua volta, movendo-se em trajetória circulares os planetas Mercúrio, Vênus, Terra e a sua Lua, Marte, Júpiter e Saturno (SILVA, 2018). Ainda neste modelo, Copérnico ressalta que a Terra teria um movimento de rotação (girando

em torno de seu próprio eixo) e o movimento de translação determinado pelo movimento do planeta Terra em torno do Sol no qual era explica as estações do ano.

Não obstante as vantagens do modelo de Copérnico ele não foi aceito de imediato. Um dos motivos foi a ausência de uma Física capaz de descrever satisfatoriamente os fenômenos físicos que ocorrem na Terra se considerarmos em movimento. A proposta de Copérnico de um sistema do mundo no qual a Terra se move e o Sol está em repouso não era por si só suficiente para a rejeição da física antiga. A aceitação da teoria copernicana do movimento da Terra implicava necessariamente a uma física não aristotélica (SILVA, 2018, p.85).

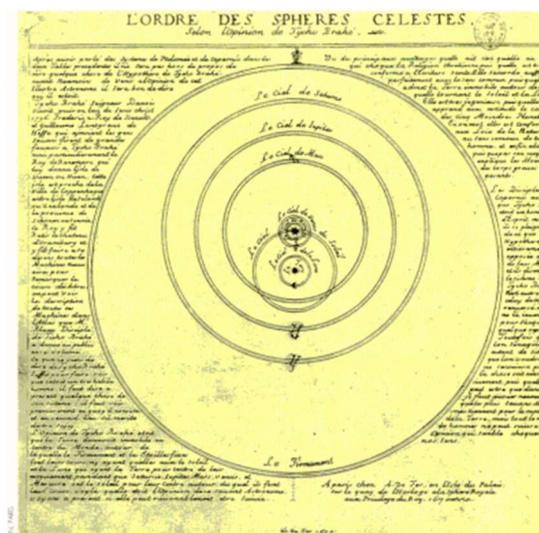
Mesmo não podendo comprovar com uma teoria física, ressaltamos que o modelo heliocêntrico de Copérnico foi de certa forma revolucionário, pois a teoria geocêntrica de Ptolomeu perdurou 1700 anos e que era totalmente defendido pela igreja católica (ROONEY, 2018).



Fonte: <https://pt.dreamstime.com/ilustra%C3%A7%C3%A3o-astrol%C3%B3gica-de-andreas-cellarius-da-macrocosmica-arm%C3%B4nica-macro%C3%B3smica-na-vis%C3%A3o-helioc%C3%AAntrica-que-o-sol-coloca-image228033171>

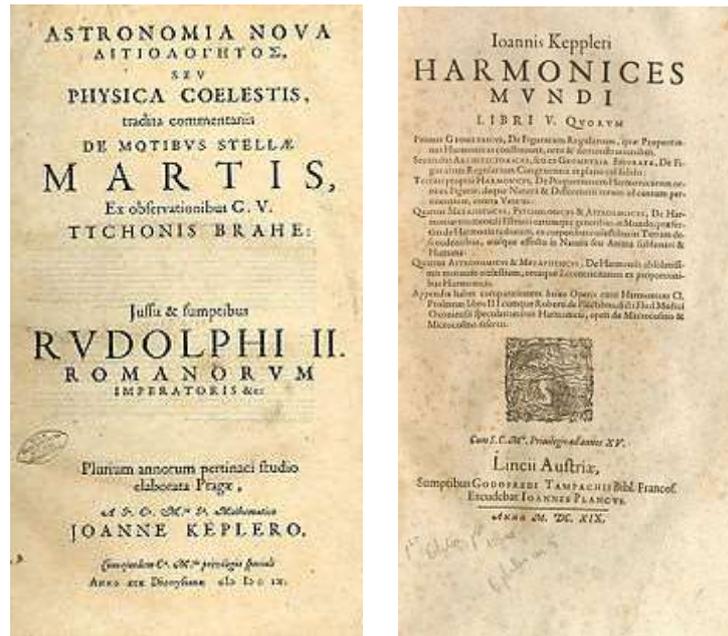
A teoria geocêntrica, que se consolidou por vários séculos tem sido aceita pela comunidade científica da época onde a considerava como uma ciência normal. Assim, com a chegada da teoria heliocêntrica, houve uma *ruptura epistemológica*, e tal

rompimento ficou mundialmente conhecido por *Revolução Copernicana*. As revoluções científicas que aconteceram na história da humanidade, foram de grande importância para a evolução do pensamento científico e evoluiu a humanidade para um patamar mais avançado no campo científico. Podemos citar aqui neste trabalho uma outra revolução científica que foi a explicação através da *teoria da relatividade restrita e geral* que fez com que pudéssemos comprovar que o tempo e o espaço não são absolutos como era defendido pela mecânica newtoniana (ROONEY, 2018). William Shakespeare é considerado um dos maiores escritores já existentes e conhecido por várias obras importantes. Uma delas é *Hamlet*, no qual o poeta e escritor se baseou num dos maiores astrônomos da época que foi o dinamarquês *Tycho Brahe*. O livro *Hamlet* é considerado como uma obra que traz à tona a batalha entre o modelo geocêntrico de Claudio Ptolomeu e o modelo heliocêntrico, onde o personagem Cláudio é uma alusão ao Ptolomeu (STUART, 2018). Tycho Brahe é considerado um dos mais importantes astrônomos de sua época, pois ele fez inúmeras medições dos astros e trouxe uma grande contribuição para os seus sucessores com dados que ajudariam a consolidar ainda mais a teoria heliocêntrica. Brahe foi agraciado pelo rei dinamarquês com uma ilha e lá ele conseguiu construir um dos maiores observatórios astronômicos de sua época. Brahe também é o criador de um sistema cosmológico híbrido onde a Terra continuaria no centro e alguns planetas orbitariam também o Sol.



Fonte: [http://www.cvalg.pt/astrologia/historia/tycho\\_brahe.htm](http://www.cvalg.pt/astrologia/historia/tycho_brahe.htm)

Tycho em suas observações e dedicação ao campo da astronomia, na qual considerase uma de suas maiores paixões, necessitava de um ajudante com certas habilidades matemáticas para o auxiliar. Foi a partir daí que ele conheceu o seu mais famoso pupilo o astrônomo *Johannes Kepler*. Kepler era um jovem astrônomo que com os dados coletados por Brahe, teve a chance de publicar duas obras importantes para o campo da Astronomia no qual comprovou matematicamente a natureza das órbitas dos planetas bem como a relação entre suas distâncias até o Sol e seus períodos de revolução. Ele é considerado um dos defensores mais viris do modelo cosmológico de Copérnico e com todos os dados coletados por Brahe, Kepler descreveu em três leis o que conhecemos hoje por *cinemática da gravitação*. Anos após a morte de Tycho, Kepler pode juntar dados com mais precisão nas observações e publicou em 1609 o *Nova Astronomia baseada nas causas ou Física do Céu junto com comentários sobre o movimento do planeta Marte* onde descreveu a lei das órbitas e a lei das áreas que ficaram conhecidas como a primeira e segunda leis de Kepler (PIRES, 2011). Em seus manuscritos, Kepler apresentava suas ideias de forma que comparada com os modelos planetários de Ptolomeu e Copérnico eram as mais confiáveis e verdadeiras onde descrevera a física do cosmos através do planeta Marte. Desde a publicação de seu livro em 1609, Johannes continuou investigando o movimento dos astros e conseguiu publicar vários trabalhos. Dentre eles, está o *Harmonia do Mundo* que foi publicado em 1619. Foi nesse livro que Kepler descreveu a sua terceira lei, a lei dos períodos. Assim ele encontrou através de sua habilidade matemática, a relação entre a velocidade dos planetas em suas órbitas e bem como os tamanhos delas (PIRES, 2011). Algumas das complexidades encontradas por ele foi na velocidade constante dos planetas bem como suas órbitas circulares como propunha Copérnico. Ao retirar todos os epiciclos de Ptolomeu e aproveitando o modelo heliocêntrico de Copérnico, Kepler percebeu que tudo se encaixou quando ele acrescentou uma órbita elíptica aos planetas e desvendando de uma vez por todas os problemas que encontrara com Marte (MOSLEY & LYNCH, 2011).



Fonte: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Harmonices\\_Mundi](https://pt.wikipedia.org/wiki/Harmonices_Mundi)

É importante que aqui descrevamos as leis de Kepler na ordem apresentada pelos livros didáticos. Assim:

1ª Lei: Os planetas se movem em órbitas elípticas, com o Sol num dos focos (e não no centro); b) 2ª Lei: A velocidade orbital de um planeta varia de tal modo que uma linha que ligue ao Sol varre áreas iguais em intervalos de tempos iguais; c) 3ª Lei: O tempo que um planeta leva para completar uma volta ao redor do Sol é denominado período  $P$ , e é proporcional ao tamanho da órbita,  $A$ . O quadrado do período  $P$  é proporcional ao cubo do eixo semimaior,  $a$ . Isso significa que, quanto mais afastado do Sol, mais tempo levará para girar ao seu redor. (MOSLEY & LYNCH, 2011. P33).

As leis de Kepler marcaram fortemente a teoria heliocêntrica e explicaram satisfatoriamente o movimento dos planetas. No entanto, quando tratamos do modelo heliocêntrico, não podemos esquecer de um dos maiores nomes que contribuiu com suas observações e com isso foi pondo a fundo o modelo de Aristóteles ao tratar o mundo supra lunar como um mundo perfeito. Galileu Galilei escreveu sobre alavancas e roldanas, desenvolveu instrumentos que determinavam as variações de temperatura de um corpo. Curiosamente ele admirava o trabalho de Ptolomeu e o ensinava até

que teve o primeiro contato com um telescópio (PIRES, 2011). A partir daí, Galileu publicou em 1610, após várias observações realizadas desde 1609, o livro *Siderius Nuncius* (Mensageiro das Estrelas) descrevendo assim os resultados de suas observações durante este período. Durante a trégua ocorrida na guerra dos oitenta anos, um fabricante de lentes chamado de *Hans Lippershey*, unindo utilizando-se de duas lentes na qual as usava na construção dos óculos, mostrou ao príncipe Maurício de Nassau ao que chamava de *luneta espiã*, um instrumento simples onde constituído de um tubo com uma lente convergente numa ponta e uma lente divergente na outra (MOSLEY & LYNCH, 2011). Como era muito habilidoso na construção de instrumentos, Galileu construiu a sua própria luneta e com um poder de ampliação de até oito vezes, o que era novidade para a época. Surpreendeu a todos com seus desenhos que realizou após observar a Lua e suas respectivas formas nas quais conhecemos por fases lunares. Além disso, descobriu as luas de Júpiter e os anéis de Saturno. Todas as irregularidades encontradas na Terra foram registradas por ele ao observar as crateras da lua, o que contrariava o que se conhecia por um céu perfeito e imutável (MOSLEY & LYNCH, 2011). Foi em 1632 que Galileu escreveu uma obra que o colocou no banco dos réus da inquisição. Diálogo, como é chamado *Diálogo sobre os dois máximos sistemas de mundo*. Neste livro ele foi encorajado pelo papa Urbano VII a escrever sobre as duas visões de mundo, o modelo geocêntrico de Ptolomeu e a teoria heliocêntrica de Copérnico, porém sem mostrar que o segundo modelo era o correto. Um dos personagens do livro era chamado de Simplicio (algo simples) no qual era defensor das ideias de Ptolomeu e isso irritou a comunidade católica da época. Assim, Galileu foi condenado a prisão domiciliar por heresia. Na história da ciência, é comum encontrarmos na literatura que uma das maiores revoluções científicas foi a *copernicana*, porém quando nos portamos para o século XVII são as obras de Galileu que trazem um cunho de ordem revolucionária para a humanidade e assim consideramos que implicou numa mudança intelectual radical o que culminou no nascimento do que conhecemos por ciência moderna (MARICONDA, 2006). A importância de Galileu para o avanço da Física está ligada à sua habilidade matemática e na comprovação da teoria através de experimentos. Ele desenvolveu equações que descrevem o movimento em linha reta dos corpos tanto de velocidade constante como os de velocidade variável, onde a cinemática galileana serviu de base para o desenvolvimento da dinâmica, bem como o movimento terrestre. Para (MARICONDA, 2006), a atitude científica galileana é a procura das regularidades

matematicamente expressáveis da chamada leis da natureza e que utiliza o método científico para comprovação de suas teorias através da experimentação.

No mesmo ano da morte de Galileu, nasceu um dos maiores gênios da humanidade, Isaac Newton. Considerado como um dos maiores cientistas de todos os tempos, Newton se tornara o gigante que se apoiou em outros ombros durante mais de quatrocentos anos (RONNEY, 2013). Os *Principia – Princípio matemático da filosofia natural*, publicado em 1687, Newton descreveu a base das leis da mecânica contribuindo detalhes utilizando o cálculo diferencial por ele desenvolvido. Assim, foi descrita as leis de Newton:

Primeira Lei: Os corpos se movem em linha reta com velocidade uniforme, ou permanecem parados, a não ser que uma força aja para mudar sua velocidade e direção.; Segunda Lei: As forças produzem aceleração proporcional à massa do corpo ( $F = ma$ , ou  $F/m = a$ ).; Terceira Lei: Toda ação de uma força produz uma reação igual e oposta. (Por exemplo, um foguete é impulsionado para frente com a mesma força que os gases de escape são expelidos para trás dele.) (ROONEY, 2013. P 84).

Uma contribuição importante e que é considerada a sua quarta lei, foi a lei de Gravitação Universal, na qual ele propõe que todo o corpo que possui massa atrai outros corpos com massa, o que Newton denominou de gravidade. A mecânica newtoniana é aplicada a todos os corpos pertencentes a Terra bem como a qualquer corpo celeste. Com isso, podemos aplicar as bases das leis da Gravitação para outros sistemas solares utilizando como base a mecânica newtoniana para a determinação da velocidade, aceleração, tempo e até mesmo a massa desses corpos. Os planetas existentes em outros sistemas solares, são conhecidos como **Exoplanetas**, bem como os métodos de detecção são frutos da presente pesquisa. Um apanhado geral acerca das leis de Kepler e bem como o estudo das contribuições de Galileu e Newton, são consideradas fundamentais para o aporte teórico da compreensão das técnicas de detecção dos exoplanetas (SANTOS, 2017). O relato mais antigo sobre a existência de outros mundos nos remonta a uma carta que o filósofo grego Epicuro escreveu para Heródoto, considerado pai da História, onde Epicuro defendia a concepção de um universo infinito com incontáveis mundos (FARIAS & BARBOSA, 2017). Ainda vale ressaltar, em uma contextualização histórica e epistemológica o

papel importante do teórico de cosmologia o italiano Giordano Bruno. Giordano teve participação ativa na divulgação do modelo heliocêntrico e além disso, defendia a concepção da existência de outros sistemas solares semelhantes ao nosso, o que contrariava as ideias da igreja, fazendo com que em 1600 ele fosse condenado a morte pela inquisição. Do ponto de vista filosófico, Giordano Bruno levou a teoria heliocêntrica mais a fundo dando ampla visão do cosmos, ou seja, para ele o nosso sistema de mundo constituído pela Terra, Lua, Sol e os demais planetas, era um dos infinitos mundos de um universo infinito. Romper as fronteiras do mundo é libertar o homem de suas limitações de forma que possamos pensar e agir livremente (MARTINS, 2012). É com essa indagação que começaremos a enxergar o universo e investigar mais a fundo o universo e descobrir novos mundos.

## **4.2 Exoplanetas**

O que são exoplanetas? São planetas que orbitam outras estrelas que não seja o nosso Sol (KARTUNEN, 2016). O estudo desses exoplanetas vem passando por melhorias e tem sido crescente e promissora as pesquisas na sua exploração (LENCHUK, 2021). No início, a busca por planetas fora de nosso sistema solar tem encontrado dificuldades através das limitações da tecnologia. Foi a partir da descoberta da estrela de Bernard, em 1916, acabou por trazer uma esperança de encontrar esses planetas alienígenas (SPARROW, 2018). Em 1969, o astrônomo holandês Peter van de Kamp comprovou através de suas investigações que o balanço causado na estrela de Bernard era devido a existência de planetas com tamanhos semelhantes ao de Júpiter. No entanto, a detecção de planetas extrassolares faz parte dos temas da Astrofísica e vem recebendo muito destaque nos últimos anos. As agências espaciais internacionais, responsáveis pelas pesquisas astronômicas como a NASA, já realizaram inúmeras missões espaciais com o objetivo de detecção dos exoplanetas tendo como a mais recente o envio ao espaço do telescópio James Webb que foi lançado em dezembro de 2021 (SANTOS, 2017).

### **4.2.1 Métodos de Detecção**

Hoje já se sabe que os métodos de detecção dos exoplanetas configuram com segurança os planetas já descobertos fora do nosso sistema solar. Os métodos são baseados nas perturbações do movimento orbital e na velocidade radial do planeta, onde por exemplo observa-se isso em nosso sistema solar, no qual o Sol e

os planetas orbitam em torno deste ponto (KARTUNEN, 2016). O movimento orbital do planeta, dependendo de seu tamanho, pode chegar a ocultar cerca de 0,008% do brilho da estrela como o planeta Vênus em relação ao nosso Sol (SANTOS, 2017). Veremos a seguir alguns métodos de detecção dos exoplanetas e alguns exemplos já encontrados. Importante ressaltar, que alguns métodos são mais eficazes do que outros como o caso do método do trânsito e da velocidade radial.

#### 4.2.1.1 Velocidade Radial

A ideia da detecção dos planetas orbitando outras estrelas, utilizando a medida das mudanças em sua velocidade radial é datada de 1952, pelo astrônomo ucraniano Otto Struve (SPARROW, 2018). O método da velocidade radial usa como base no movimento do "bamboleio" de uma estrela orbitada por um planeta. Este movimento se deve ao fato existente da relação entre o centro de massa e o movimento do exoplaneta que contém menos massa que a estrela e assim o centro de massa do sistema encontra-se perto ou na própria estrela (LENCHUK, 2021). Com o "balanço" da estrela e baixa luminosidade do planeta, a detecção é feita sobre o espectro da luz enviada pela estrela. Para isso, faz-se uso da equação do *Efeito Doppler*, pois devido a esse movimento de aproximação e afastamento observaremos daqui da Terra uma alteração no comprimento de onda da luz emitida e nesta variação conclui-se a existência de um exoplaneta.

#### *Equação Doppler*

$$\frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} = \frac{v}{c}$$

Onde  $\lambda$  é o comprimento observado,  $\lambda_0$  o comprimento de onda emitido,  $v$  é a velocidade radial da estrela na direção do observador e  $c$  é a velocidade da luz no vácuo. A radiação emitida pela estrela é de um espectro contínuo de um corpo negro, pois os átomos de hidrogênio absorvem esta radiação em frequências equivalentes as transições do átomo de hidrogênio (AMORIM & SANTOS, 2017). Este método foi o responsável pela descoberta do primeiro exoplaneta em 1995 por pesquisadores da Universidade de Genebra. Este exoplaneta ficou conhecido por 51 Pegasi b que se encontra a cinquenta anos luz da Terra na constelação de Pégaso (LENCHUK, 2021).

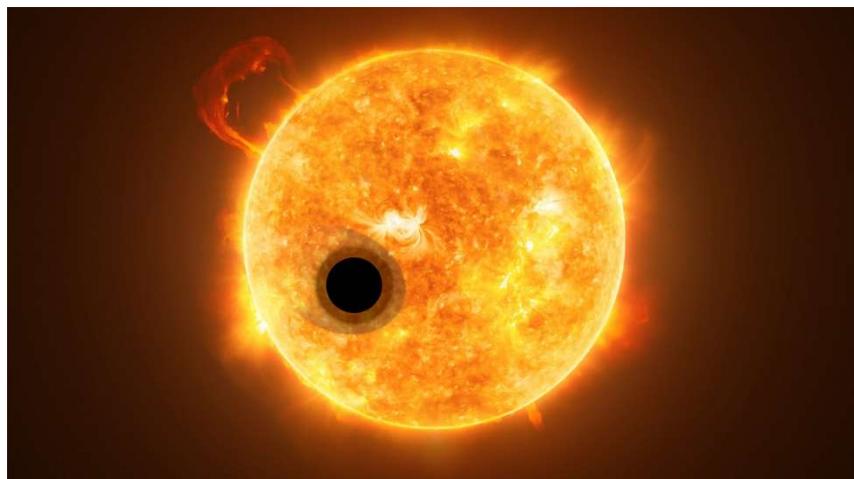
A descoberta de alguns exoplanetas é facilitada através de seu tamanho e proximidade da estrela. Assim eles são classificados como Júpiteres Quentes. Segundo (KARTUNEN, 2016) os planetas gigantes gasosos como também são conhecidos, afetam o movimento da sua estrela hospedeira e devido ao seu período orbital ser curto fica mais fácil a sua detecção através da mudança observada na frequência da luz emitida pela estrela.



Fonte: <https://exoplanets.nasa.gov/discovery/how-we-find-and-characterize/>

#### 4.2.1.2 Trânsito Planetário

O método de trânsito consiste numa técnica na detecção da queda no brilho de uma estrela quando o exoplaneta passa na sua frente percorrendo seu disco orbital e possui um tamanho angular inferior ao da estrela como acontece com os satélites naturais de Júpiter (SANTOS, 2017).

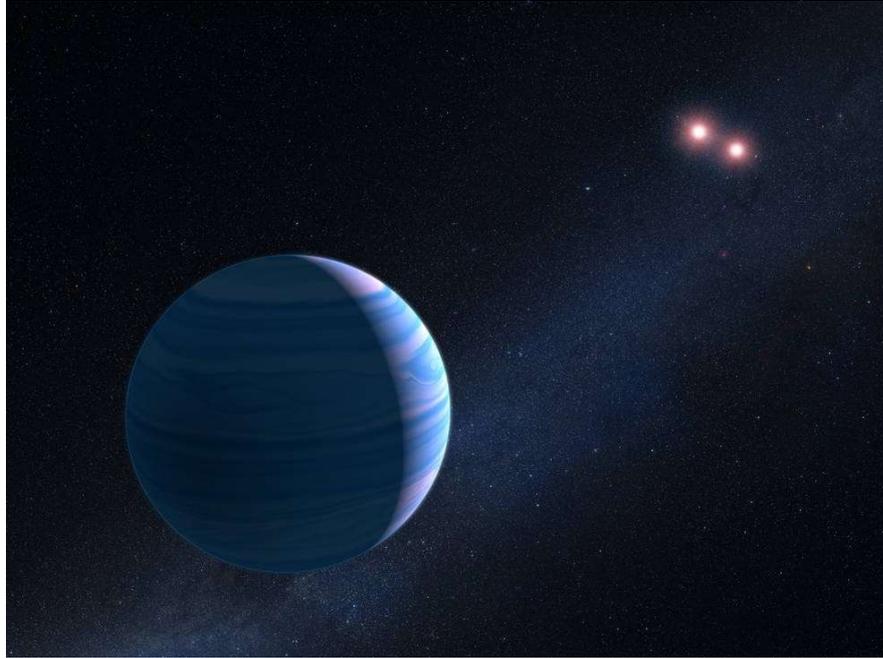


Fonte: <https://exoplanets.nasa.gov/discovery/how-we-find-and-characterize/>

O primeiro exoplaneta investigado pelo método de trânsito foi o *HD 209458b*, o qual já havia sido descoberto pelo método da velocidade radial no ano de 1999 com o uso da variação espectral determinada pelo efeito doppler. No entanto, foi em 2002 que os astrônomos conseguiram encontrar os primeiros exoplanetas detectados pelo método de trânsito: o *OGLE-TR-56b* e *OGLE-TR-10b* com tamanhos próximos de Júpiter (SANTOS, 2017). A missão Kepler da NASA, fez um mapeamento numa área abrangente a 3 mil anos luz e confirmou a existência de 2331 exoplanetas e conseguiu catalogar mais de 4600 candidatos a exoplanetas (SANTOS, 2017). Vale ressaltar que através deste método, é necessário fazer a mesma observação três vezes e medir pequenas variações de brilho na estrela separadas por um mesmo intervalo de tempo (LENCHUK, 2021).

#### **4.2.1.3 Microlente Gravitacional**

Na história da ciência, o físico teórico Albert Einstein já previa a existência de ondas gravitacionais fundamentado na teoria da relatividade geral que consiste numa ondulação provocada no tecido espaço-tempo quando dois corpos de grande massa se fundem. Elas foram detectadas pela primeira vez no ano de 2015, pelo LIGO (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory) através do resultado da fusão de dois buracos negros super massivos (LENCHUK, 2021). Foi no ano de 1919, que o astrofísico britânico Arthur Eddington confirmou através de fotografias que a teoria da relatividade estava correta através de um eclipse solar. A teoria da relatividade geral, comprova que corpos de grande massa podem deformar o espaço em sua volta, e quando um corpo massivo passa diante de uma estrela, irá amplificar a luz emitida por estrelas distantes que se encontram atrás da estrela eclipsada. Esse fenômeno ficou conhecido como microlente gravitacional (STUART, 2018). Quando uma estrela tem planetas a orbitando, este faz com que observemos um súbito aumento desta amplificação. No entanto, vale ressaltar que o método da microlente gravitacional para planetas que se encontram distantes de suas estrelas hospedeiras. Este método é mais recente e a interpretação da existência dos planetas num sistema solar em investigação é complementado através da observação do efeito Doppler. Para um planeta que orbita um par de estrelas do tipo anã branca apresenta um padrão diferente de espectro luminoso quando comparado a um sistema estelar de anãs brancas quando não possui planetas em órbitas.



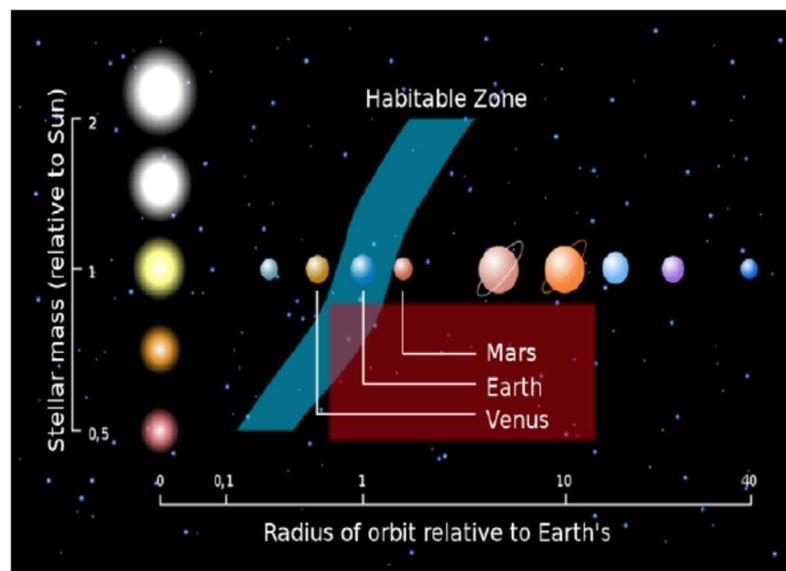
Fonte: <https://revistagalileu.globo.com/Ciencia/noticia/2016/09/astronomos-descobrem-um-gigante-gasoso-orbitando-duas-estrelas.html>

De acordo com dados coletados pela NASA, já foram descobertos cerca de 5.000 exoplanetas e mais de 3.700 sistemas planetários. Dos cinco métodos utilizados pela NASA para detectar os planetas alienígenas, destacamos os três que mais foram executados. O método do trânsito planetário é o responsável por cerca de 77% do quantitativo de planetas descobertos, seguido pelo método da velocidade radial com aproximadamente 18% do total e com apenas 2,6% dos planetas descobertos temos o método da microlente gravitacional. Além de descobrirem e catalogarem estes planetas, os astrônomos buscam possibilidade da existência de vida nestes planetas. Assim, as investigações seguem também para o posicionamento orbital do planeta em torno de sua estrela no qual denominam de *zona habitável* ou também conhecida por *zona de goldilocks* (cachinhos dourados). A busca por planetas que se encontram nesta referida região, que são considerados parecidos com a Terra e capazes de sustentar a vida, tem sido um dos maiores desafios da astronomia moderna (SPARROW, 2018).

Neste trabalho de pesquisa, faremos uma pequena abordagem sobre as zonas habitáveis, devido a sua relevância ao estudo dos exoplanetas. É importante também levarmos em consideração a contribuição que as estrelas possuem para a faixa de localização das zonas habitáveis.

### 4.3 Zona Habitável

Zona habitável é uma região do universo que possui a capacidade de sustentar a vida mediante a existência de água na forma líquida na condição de temperatura variando entre 0°C e 100°C numa pressão atmosférica de  $10^6$  Pa (SANTOS, 2019). Os astrônomos em suas pesquisas de investigação sobre os exoplanetas, está associada a sua localização espacial que apresente condições necessárias para que possam abrigar vida (FARIAS & BARBOSA, 2017).



Fonte: [http://www.if.ufrgs.br/fis02001/aulas/vida\\_ET/vet.htm](http://www.if.ufrgs.br/fis02001/aulas/vida_ET/vet.htm)

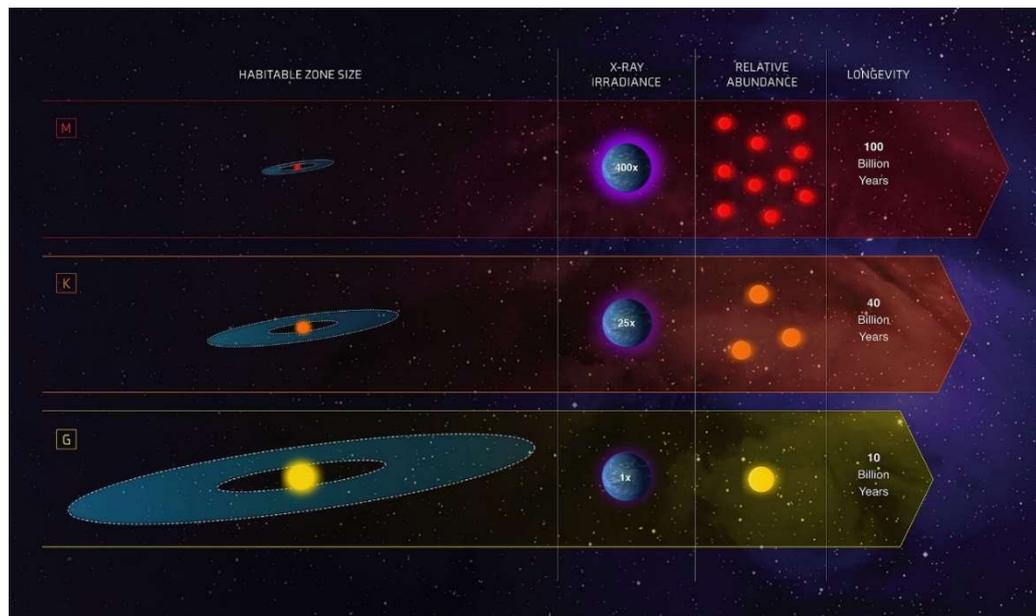
As regiões de zonas habitáveis são também dependentes do tamanho e temperatura das estrelas. Estrelas são esferas auto gravitantes de gás ionizado, cuja fonte de energia é a transmutação de elementos através de reações nucleares, isto é, da fusão nuclear de hidrogênio em hélio e posteriormente, em elementos mais pesados (FILHO & SARAIVA, 2017). Elas possuem massas entre 0,08 à 100 vezes a massa de nosso Sol ( $M_{\odot} \simeq 2 \times 10^{30} \text{ kg}$ ) e temperaturas efetivas variando entre 2500K e 30.000K. Assim, a faixa de habitabilidade varia de acordo com a classificação estelar. Estrelas mais quentes, como as do tipo O e B, possuem uma região de zona habitável maior do que as estrelas mais frias. Isso mostra que os planetas que orbitam este tipo de estrelas devem estar consideravelmente mais distantes delas (STUART, 2018). É

importante conhecer a classificação das estrelas quanto a sua temperatura e cor para entendermos melhor essa configuração.

| Classe Espectral | Cor da estrela   | Temperatura (K) | Exemplo    |
|------------------|------------------|-----------------|------------|
| O                | AZUL             | 30.000          | MINTAKA    |
| B                | BRANCO-AZULADO   | 20.000          | RIGEL      |
| A                | BRANCO           | 10.000          | SIRIUS     |
| F                | BRANCO-AMARELADO | 7.000           | PROCION    |
| G                | AMARELA          | 6.000           | CAPELLA    |
| K                | ALARANJADO       | 4.000           | ALDEBARÃ   |
| M                | VERMELHA         | 3.000           | BETELGEUSE |

Fonte: figura criada pelo autor - Classificação espectral das estrelas

Estrelas do tipo anã vermelha, apresentam uma estreita faixa de habitabilidade e o planeta se encontrará muito próximo a ela, fazendo assim que fique exposto a altos índices de radiação de raios X e do ultravioleta, que comparado ao Sol, chega-se a centenas de milhares de vezes mais expostos a essa radiação.



Fonte: <https://exoplanets.nasa.gov/search-for-life/habitable-zone/>

## 5. METODOLOGIA

As etapas de planejamento das aulas são de fundamental importância para que possamos alcançar de forma significativa a aprendizagem dos alunos acerca do tema **Exoplanetas**. Assim, levaremos em consideração todos os conhecimentos prévios já adquiridos (subsunçores) em sua trajetória escolar, que através de um pré-teste (questionário) será verificado o quanto os alunos sabem sobre o assunto. Além disso, faremos uma abordagem histórica (linha do tempo) sobre a evolução das ideias desde a concepção de que a Terra era o centro do Universo (Teoria Geocêntrica de Ptolomeu) até a revolução copernicana no tocante ao modelo Heliocêntrico. Sequenciamos as aulas em quatro encontros de sessenta minutos cada um e que descrevemos a seguir:

### 5.1 Encontro 1: Aplicação de um questionário

O objetivo desta primeira aula é de uma análise qualitativa e quantitativa por parte do professor sobre o que os estudantes sabem sobre o assunto e mostrarão através de um questionário de respostas discursivas onde analisaremos as suas respectivas respostas. As perguntas serão voltadas inicialmente a temas simples como sistemas planetários, teorias sobre o movimento dos planetas e condições para a vida fora de nosso sistema solar. Aqui destacamos que a procura por conhecimentos de temas de astronomia vem a passos lentos no Brasil. Existe um certo esforço das escolas em difundir estes conhecimentos através do incentivo em participações dos estudantes nas olimpíadas científicas como a OBA (GONZATTI, 2013). E, com base nesse pressuposto, o questionário foi montado em ordem crescente de dificuldade com perguntas referentes ao nível 3 da prova da OBA (nível para alunos do ensino fundamental anos finais) até o nível 4 no qual se refere aos estudantes do ensino médio. O questionário tem um caráter motivador, ou seja, faz com que os alunos possam responder com suas palavras de uma forma clara e simples e utilizar seus conhecimentos prévios destes assuntos considerados mais comuns e geralmente trabalhados em sala de aula quando o mesmo fazia parte do ensino fundamental. Assim, ele será direcionado a questionamentos mais aprofundados como a cinemática

e a dinâmica da Gravitação que assim o levará a melhor compreender sobre o tema Exoplanetas.

### Linha do tempo

Nesta aula faremos uma apresentação em ppt (Power Point) através de imagens e informações sobre como era concebido o nosso Universo desde a Grécia no período Aristotélico considerado precursor do modelo Geocêntrico, destacando sua obra “Os Céus” encontra-se uma combinação entre a filosofia e a metafísica, bem como de elementos de percepções empíricas próximas ao senso comum como relata (PORTO, 2020). Podemos citar também Ptolomeu, no qual descreve em seu famoso livro *Almagesto* suas observações e demonstrações das orbitas dos planetas onde ele construiu um modelo no qual insere novos conceitos como epiciclos, deferente e equantes. Porém, para (PEREIRA, 2011) a caracterização de Ptolomeu como um astrônomo instrumental que em oposição ao realismo de Aristóteles é amplamente empregada devido a Pierre Duhem, que em seu *Sózieta phainómena*, observou em seu slogan salvar os fenômenos uma motivação dos antigos astrônomos uma busca na explicação do movimento dos corpos celestes e suas trajetórias circulares serem independentes da realidade. A partir do século XVI entram figuras importantes como o Nicolau Copérnico, Johannes Kepler, Tycho Brahe, Galileu Galilei, Isaac Newton, na qual iremos chegar na concepção atual de mundo. Vale destacar também, alguns nomes importantes que geralmente não são lembrados nos livros didáticos. Em seu livro *O livro de ouro do Universo*, Ronaldo Mourão destacou nomes importantes desta evolução sobre a vida em outros planetas, no qual deixaram em suas obras a ideia implícita da existências de novos mundos como o poeta romano Tito Lucrécio, o filósofo inglês Guilherme de Ockham, o filósofo francês Nicolas Oresme, o monge italiano Giordano Bruno, e também ao astrônomo holandês Christiaan Huygens, que 1699 publicou uma obra **Cosmothéoros** na qual defendia a existência de outros mundos habitados e orbitando uma estrela como de fato acontece com nosso planeta . Enfatizaremos nesta aula que as ciências estão susceptíveis mudanças como aconteceu com uma quebra de paradigma na transição do período geocêntrico ao heliocêntrico. A epistemologia de Tomas Khun (1978) será base de nossa fundamentação teórica onde usaremos o seu texto acerca da *Revolução Copernicana* para colocar em discussão com os estudantes de que no

campo científico sempre teremos um período onde a ciência será dita como verdadeira até que novas teorias possam surgir e mostrar novos horizontes. De acordo com Thomas Khun o conceito de ciência normal é relacionado a um período no qual a comunidade científica reconhece durante algum tempo conhecimentos de fundamentos para a prática de suas atividades na época (MASSONI, 2005). A revolução copernicana foi uma alteração na visão de um mundo baseado na concepção aristotélica por uma imagem de um Universo infinito de bases metodológicas mais precisas (PORTO, 2020).

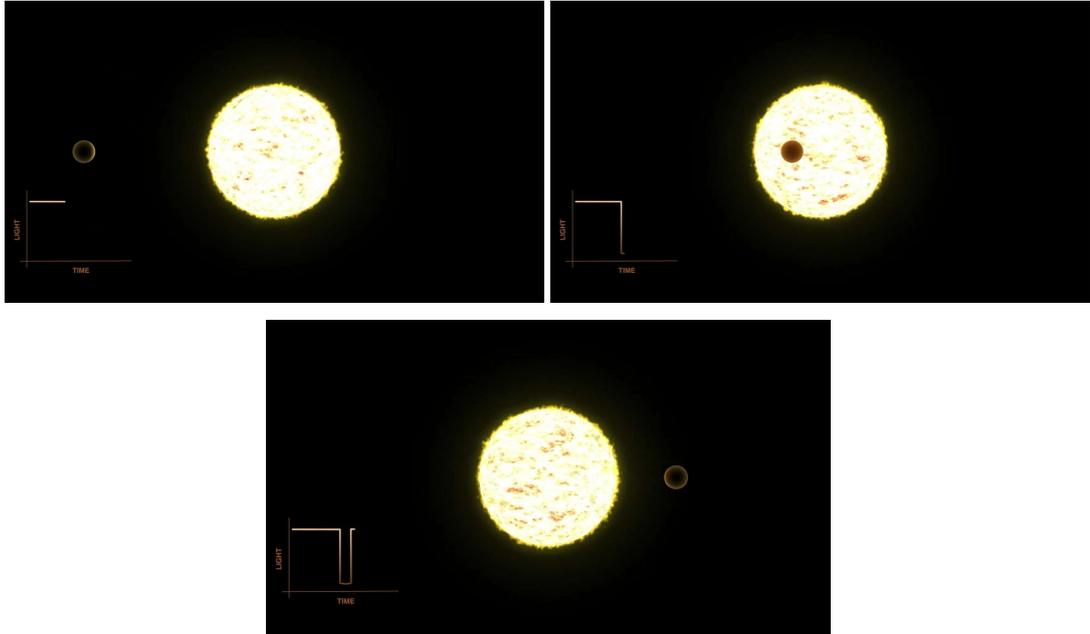
## **5.2 Encontro 2: Exoplanetas (Apresentação e exploração do tema)**

Nesta aula partiremos da definição de Exoplanetas bem como conhecer os seus métodos de detecção. Descreveremos uma linha do tempo desde as primeiras ideias lançadas sobre o universo infinito e os primeiros exoplanetas detectados. Iremos também fazer uso do site como o <https://exoplanets.nasa.gov/what-is-an-exoplanet/planet-types/overview/> para que os alunos possam identificar os tipos (classificação) de exoplanetas bem como a eficiência dos métodos de detecção através da exposição de imagens e textos. Nos últimos trinta anos foram descobertos mais de quatro mil planetas que orbitam outras estrelas, apresentando uma grande diversidade de planetas semelhantes aos do nosso sistema solar como Júpiter e outros compactos e coplanares como a Terra (KIPPING, 2022).

Existe atualmente cinco métodos de detecção de planetas fora de nosso sistema solar e ainda dentro da via láctea com distâncias relativas de até milhares de anos-luz. Dentro destes cinco métodos, os mais eficientes são: o *método de trânsito* e o *método da velocidade radial*. Os outros três métodos, e pouco utilizados, são o de *microlente gravitacional*, *astrometria* e *imagem direta*. O método de trânsito, foi considerado o mais eficiente por ter detectado o maior número de exoplanetas comparados aos demais.

Nele, a análise é feita ao se observar a redução (muito pequena) no brilho da estrela hospedeira, devido a passagem do planeta em sua frente na linha de visada do (observador) telescópio (SANTOS, 2017). Faz-se assim uma sondagem das informações obtidas e desta forma podemos analisar algumas conclusões importantes do planeta como sua massa, tamanho e até propriedades estruturais

da atmosfera do planeta. Segundo dados atualizados da Nasa, já foram descobertos 5009 exoplanetas e destes 76,8% (cerca de 3.815 exoplanetas) foram descobertos pelo método de trânsito. A imagem a seguir, ilustra o trânsito de um planeta em sua órbita em volta de uma estrela e vemos uma pequena redução do brilho da estrela no diagrama abaixo.



Fonte: <https://exoplanets.nasa.gov/what-is-an-exoplanet/planet-types/overview/>

Acessado em: 23/03/2022

A velocidade radial consiste numa medição da velocidade de aproximação ou afastamento da estrela em relação a um observador (aqui na Terra por exemplo). Esse movimento que acontece na estrela, se deve ao fato da presença de um outro corpo (planeta) próximo dela, e ambos se movimentam em relação a um ponto denominado *centro de massa*.

Este ponto, geralmente fica mais próximo a estrela devido a sua massa ser maior que a do planeta. Assim, ela configura um movimento de “bamboleio” e assim explica essa relação de aproximar e se afastar do observador (LENCHUK, 2021). Analisando a aparente alteração da luz captada por efeito Doppler podemos verificar a mudança na frequência da onda emitida detectando assim um planeta próximo dela.

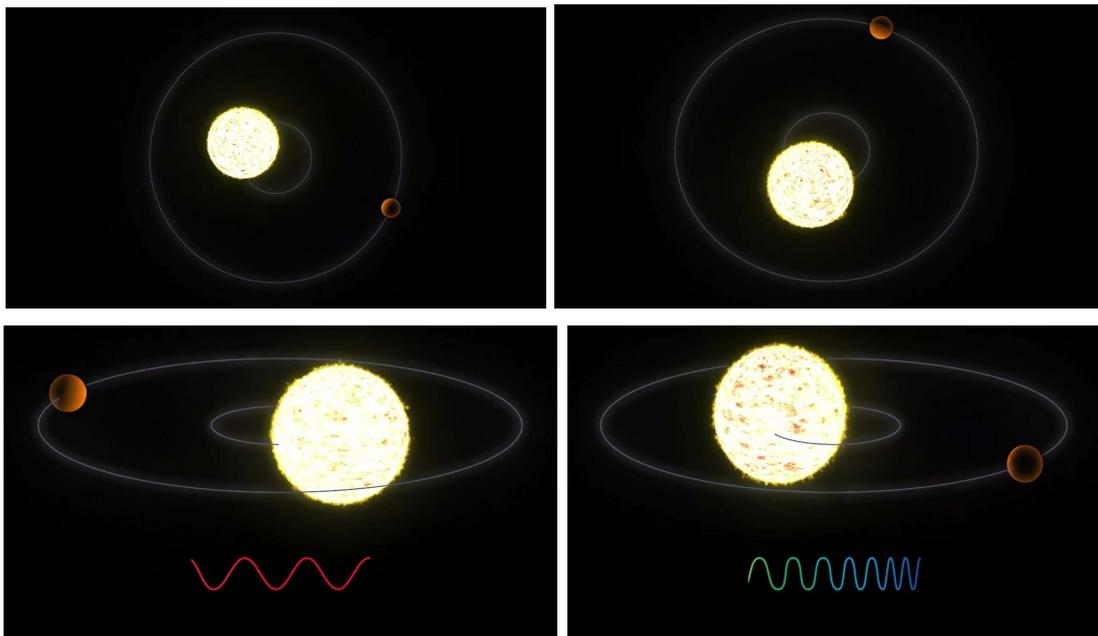
Para (LENCHUK, 2021) a vantagem desse método é a capacidade que se tem para determinar a mínima massa do exoplaneta e uma desvantagem seria a difícil descoberta do planeta se a estrela estiver envolvida por uma nuvem gasosa

que seria um fator de alteração nas raias espectrais. Nas imagens abaixo percebemos a relação de observação da variação de comprimento de onda e frequência devido ao movimento relativo entre a estrela e o observador que pode ser determinada através da relação, para uma velocidade radial bem abaixo da velocidade da luz, como:

$$\frac{v}{c} = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0},$$

onde  $\lambda$  representa o comprimento de onda aparente (detectado pelo observador),  $\lambda_0$  é o comprimento de onda emitido pela estrela,  $v$  é a componente da velocidade da estrela na direção do observador e  $c$  é a velocidade da luz (FILHO, 2017).

Para a faixa do comprimento de onda do vermelho, o movimento da estrela é de afastamento em relação ao observador e em caso de detecção de um comprimento de onda na faixa do azul, indica que a estrela estaria se aproximando do observador.



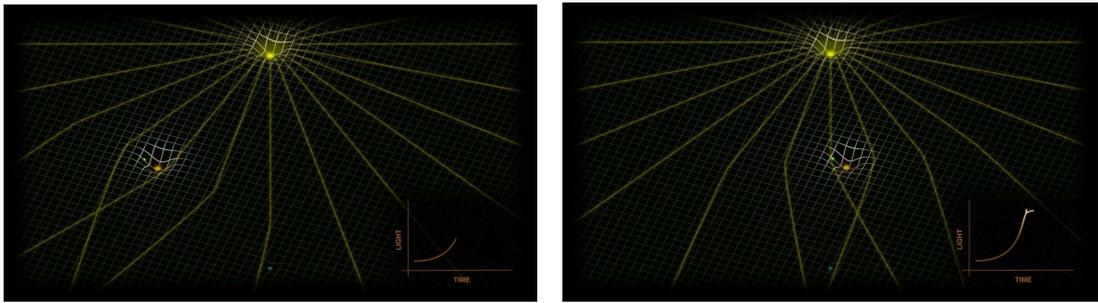
Fonte: <https://exoplanets.nasa.gov/what-is-an-exoplanet/planet-types/overview/>

Acessado em: 23/03/2022

O método da velocidade radial também é utilizado na observação das estrelas binárias. É importante mencionar que existem quatro tipos de estrelas binárias como as *eclipsantes*, *visuais*, *astrométricas* e as *espectroscópicas*. Este último, é constatado com a observação das variações das raias espectrais e da determinação das velocidades radiais das estrelas, através do efeito Doppler - Fizeau como relata (MELLO, 2014).

A teoria da Relatividade Geral proposta por Albert Einstein no início do século XX prevê que a luz sofre uma deformação em sua trajetória ao passar por um campo gravitacional, ou seja, a gravidade “dobra” ou “deforma” a trajetória da luz. O efeito de microlente gravitacional consiste na passagem de uma estrela (plano principal) sobrepondo uma outra estrela (segundo plano) onde a gravidade da primeira estrela faz com que a luz da segunda apresente um brilho maior devido ao desvio gravitacional.

Assim, se a estrela da frente tiver algum planeta o brilho da mesma será mais forte do que o de uma estrela sem planetas (KARTTUNEN, 2016). É importante ressaltar que o efeito da lente gravitacional não depende do comprimento de onda observado, ou seja, é um fenômeno acromático e também não possui um foco definido como uma lente óptica convencional como sugere (LIMA, 2019).

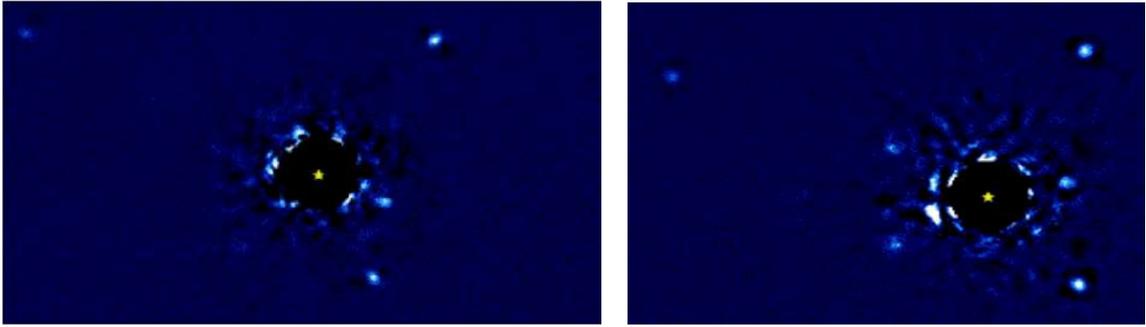


Fonte: <https://exoplanets.nasa.gov/what-is-an-exoplanet/planet-types/overview/>

Acessado em: 25/03/2022

Os métodos da astrometria e o da imagem direta são duas formas de detecção que ainda se tem poucos exoplanetas descobertos até o momento. Cerca de apenas 14 exoplanetas para o método da imagem direta e 1 para a astrometria. Na imagem direta, consiste numa detecção de um planeta como fonte pontual de luz. Nele vemos a luz refletida pelo planeta de sua estrela hospedeira ou até mesmo pela emissão térmica do planeta que deve ser diferenciado pela resolução superficial do mesmo.

O método da astrometria refere-se a medida da posição e do movimento das estrelas dentro de galáxias e também de aglomerados estelares, onde pode-se determinar o deslocamento da estrela hospedeira devido à presença de um planeta através da atração gravitacional entre eles (PERRYMAN, 2018). O método da astrometria até o momento, tem sido o menos eficaz na detecção de exoplanetas. De acordo com o arquivo da NASA, o único planeta descoberto através por este método aconteceu em 2107.



Fonte: <https://exoplanets.nasa.gov/discovery/how-we-find-and-characterize/>

Acessado: 29/03/2022

Ao final desta aula, os estudantes receberão do professor um artigo intitulado **Como identificar exoplanetas** (encontra-se nas referências deste trabalho) para que possam levar para casa e ter o seu momento de leitura deste material que será utilizado no próximo encontro.

### 5.3 Encontro 3: Participação dos alunos

Neste terceiro encontro, a sala de aula será organizada em círculo, onde, os alunos em grupo de três componentes realizarão um pequeno debate acerca do artigo distribuído ao final da aula anterior. O artigo trata sobre uma compreensão dos conceitos da Física aplicados aos métodos de detecção dos exoplanetas. Assim, cada grupo poderá falar com suas próprias palavras sobre um determinado método de detecção, onde o professor e os demais alunos poderão fazer comentários sobre o tema escolhido por um referido grupo. O objetivo desta aula é fazer com que os alunos possam discutir com o grande grupo sobre o tema trabalhado em sala e perceber a importância de se aprofundar em ciências, mais especificamente a astronomia. Utilizaremos também ao final de cada discussão, imagens, com o uso de um notebook (com internet) e um projetor para a observação de alguns grupos de planetas extrassolares descobertos pelo método discutido.

Ao final desta aula, o professor irá pedir que os grupos escolham um método de detecção e faça, para o último encontro, uma apresentação através de banners que serão depois postos num hall da escola para que os demais alunos da mesma possam ver o trabalho realizado pelos estudantes do ensino médio.

#### **5.4 Encontro 4: Fechamento das atividades**

No último encontro os alunos responderam um segundo questionário para averiguação dos conhecimentos adquiridos durante as aulas (encontros anteriores). Neste questionário, abordamos perguntas direcionadas ao tema da pesquisa e os alunos puderam responder com suas palavras sem o rigor cobrado das literaturas sobre os exoplanetas. Aqui iremos verificar a evolução das respostas dos estudantes, bem como averiguar as suas deficiências e avanços em seus conhecimentos sobre o tema.

## 6. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS QUESTIONÁRIOS

No primeiro encontro com os estudantes, foi aplicado um questionário com o objetivo de averiguar os conhecimentos prévios dos alunos acerca do tema. Nele, foi introduzido um pequeno texto de apoio e seis perguntas das quais as três primeiras eram baseados na parte introdutória da Gravitação Universal onde direcionamos as ideias sobre os modelos de Ptolomeu (teoria Geocêntrica) e o modelo Copernicano (teoria Heliocêntrica) e também sobre seus conhecimentos sobre as leis de Kepler. As três últimas perguntas faziam alusão ao tema deste trabalho no qual verificamos também o que os alunos conheciam sobre os Exoplanetas. Os estudantes eram da primeira e segunda série do Ensino Médio de uma escola localizada na cidade de Vitória de Santo Antão. A pesquisa foi feita com quinze estudantes do ensino médio, sendo dez deles do segundo ano e cinco do primeiro ano.

O texto de apoio colocado ao questionário, foi desenvolvido pelo autor desta pesquisa, onde se fundamentou na teoria do epistemólogo Thomas Khun, no qual tratamos a quebra de paradigmas e as revoluções científicas e também fundamentamos o texto na concepção de David Ausubel para dar suporte as concepções dos alunos sobre seus conhecimentos prévios. Vejamos a seguir o questionário e algumas respostas de alguns alunos.

### 6.1 Questionário – Inicial

A ciência em alguns momentos da história da humanidade passou por várias rupturas de paradigmas na qual conhecemos por *Revolução Científica*. Uma das mais importantes foi a transição do modelo Geocêntrico defendido por Claudio Ptolomeu e que perdurou por muitos séculos, para o modelo Heliocêntrico de Nicolau Copérnico. Este modelo trouxe uma nova concepção de pensamentos sobre a estrutura do Universo e uma delas foi a de que o ele é infinito.

Assim, responda com suas palavras as perguntas propostas referentes à Astronomia, e caso desconhecer, pedimos que responda **não sei**.

1. Escreva com suas palavras o que é o modelo Geocêntrico?
2. Escreva com suas palavras o que é o modelo Heliocêntrico?

3. Você conhece as leis de Kepler? Se sim, descreva-as.
4. O que são Exoplanetas?
5. Você conhece algum método de detecção de exoplanetas? Se sim, descreva-os.
6. O que você entende por zona habitável?

**Observação:** Suas respostas e sua participação neste questionário são imprescindíveis para o andamento e desenvolvimento deste projeto.

A participação, concentração e veracidade das respostas dos estudantes são de grande importância para o desenvolvimento deste trabalho. Assim, fizemos uma análise das respostas, onde deixamos claro que se o mesmo desconhecia do tema, deveriam escrever **não sei** e assim eles fizeram. Este fato é fundamental para o professor, pois a partir daí ele poderá montar sua estratégia para atingir esses estudantes, que em sua maioria, desconhece do tema e até mesmo não sabem o básico da Gravitação que é o conhecimento sobre as teorias geocêntrica e heliocêntrica, bem como também sobre as leis de Kepler. A nossa preocupação em difundir o estudo da Astronomia para os estudantes do ensino médio, fez com que viéssemos propor este modelo de intervenção em sala de aula, para que de certa forma pudéssemos contribuir com o ensino das ciências. A maioria dos estudantes do ensino médio terminam seus estudos sem o conhecimento de muitas questões tanto epistemológicas quanto ao arcabouço teórico, o que se observa um despreparo desses jovens frente ao estudo das ciências, bem como o da Astronomia (MARTINS e LANGHI, 2012). A astronomia é considerada como uma ciência de grande potencial de desenvolvimento na capacidade de observação, bem como analisar e interpretar fenômenos naturais onde estes são de livre acesso. Quando se trata de temas que requerem mais aprofundamento teórico, existe uma necessidade de pesquisas de cunho pedagógico por parte dos professores para que os seus alunos possam ter ferramentas nas quais possam extrapolar apenas a informação que se tem nos livros. Contudo, (MARTINS e LANGHI, 2012) afirma que se levarmos em conta no processo de aprendizagem através do qual toda nova informação implementada aos alunos, deverão interagir com as informações já preexistentes neles, e isso fez com que a proposta deste trabalho fosse além de levar apenas o conhecimento teórico sobre os exoplanetas, também precisávamos aplicar uma proposta que buscasse entender o que os estudantes já conheciam sobre o tema.

Abaixo está descrita as respostas de alguns alunos, escolhidos aleatoriamente, apenas para uma análise prévia.

**Aluno 1:**

FRPE TEC UFRPE

Questionário - Exoplanetas  
Especialização em Ensino de Astronomia | Plínio Giorgio

Aluno(a):  Série 1<sup>o</sup>

A ciência em alguns momentos da história da humanidade passou por várias rupturas de paradigmas na qual conhecemos por *Revolução Científica*. Uma das mais importantes foi a transição do modelo Geocêntrico defendido por Claudio Ptolomeu e que perdurou por muitos séculos, para o modelo Heliocêntrico de Nicolau Copérnico. Este modelo trouxe uma nova concepção de pensamentos sobre a estrutura do Universo e uma delas foi a de que o ele é infinito. Assim, responda com suas palavras as perguntas propostas referentes à Astronomia, e caso desconhecer, pedimos que responda **não sei**.

**Respostas:**

1. Que a terra é o centro do universo
2. Que a terra não é o centro, e sim gira ao redor do Sol, que é o centro da galáxia
3. Não sei
4. Não sei
5. Não sei
6. A zona onde os planetas habitam, por exemplo, ao redor do Sol.

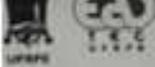
1. Escreva com suas palavras o que é o modelo Geocêntrico?
2. Escreva com suas palavras o que é o modelo Heliocêntrico?
3. Você conhece as leis de Kepler? Se sim, descreva-as.
4. O que são Exoplanetas?
5. Você conhece algum método de detecção de exoplanetas? Se sim, descreva-os.
6. O que você entende por zona habitável?

**Observação:** Suas respostas e sua participação neste questionário são imprescindíveis para o andamento e desenvolvimento deste projeto.

UMA HISTÓRIA DE GRANDES RESULTADOS

1. Que a terra é o centro do universo.
2. Que a terra não é o centro, e sim gira ao redor do Sol que é o centro da galáxia.
3. Não sei.
4. Não sei.
5. Não sei.
6. A zona onde os planetas habitam, por exemplo, ao redor do Sol.

## Aluno 2:


**Questionário - Exoplanetas**  
 Especialização em Ensino de Astronomia | Plínio Giorgio

Aluno(a):  Série 1ª Em

A ciência em alguns momentos da história da humanidade passou por várias rupturas de paradigmas na qual conhecemos por Revolução Científica. Uma das mais importantes foi a transição do modelo Geocêntrico defendido por Claudio Ptolomeu e que perdurou por muitos séculos, para o modelo Heliocêntrico de Nicolau Copérnico. Este modelo trouxe uma nova concepção de pensamentos sobre a estrutura do Universo e uma delas foi a de que o ele é infinito. Assim, responda com suas palavras as perguntas propostas referentes à Astronomia, e caso desconhecer, pedimos que responda não sei.

**Respostas:**  
 1- Modelo onde a Terra é o centro do universo e tudo o orbita.  
 2- Modelo onde o Sol é o centro do universo e tudo o orbita.  
 3- Não conheço.  
 4- Não sei o que são.  
 5- Não sei quais são.  
 6- Zona habitável é toda a área no universo onde há capacidade de haver vida.

1. Escreva com suas palavras o que é o modelo Geocêntrico?
2. Escreva com suas palavras o que é o modelo Heliocêntrico?
3. Você conhece as leis de Kepler? Se sim, descreva-as.
4. O que são Exoplanetas?
5. Você conhece algum método de detecção de exoplanetas? Se sim, descreva-os.
6. O que você entende por zona habitável?

**Observação:** Suas respostas e sua participação neste questionário são imprescindíveis para o andamento e desenvolvimento deste projeto.

1. Modelo onde a Terra é o centro do universo e tudo a orbita.
2. Modelo onde o Sol é o centro do universo e tudo o orbita.
3. Não conheço.
4. Não sei o que são.
5. Não sei quais são.
6. Zona habitável é toda a área no universo onde há capacidade de haver vida.

## Aluno 3:

UFRPE  
TEC  
UFRPE

Vitória de Santo Antão, ..... de ..... de 2022

**Questionário - Exoplanetas**  
Especialização em Ensino de Astronomia | Plínio Giorgio

Especialização em  
**ENSINO DE ASTRONOMIA**

Aluno(a):  Série 1º 3

A ciência em alguns momentos da história da humanidade passou por várias rupturas de paradigmas na qual conhecemos por *Revolução Científica*. Uma das mais importantes foi a transição do modelo Geocêntrico defendido por Claudio Ptolomeu e que perdurou por muitos séculos, para o modelo Heliocêntrico de Nicolau Copérnico. Este modelo trouxe uma nova concepção de pensamentos sobre a estrutura do Universo e uma delas foi a de que o ele é infinito. Assim, responda com suas palavras as perguntas propostas referentes à Astronomia, e caso desconhecer, pedimos que responda **não sei**.

**Respostas:**

- 1- Terra é centro do universo
- 2- Sol é o centro
- 3- Sim mas não sei descrever elas
- 4- não sei
- 5- Não sei
- 6- Uma zona que pode ser habitada por seres vivos.

1. Escreva com suas palavras o que é o modelo Geocêntrico?  
*Terra é o centro do universo*
2. Escreva com suas palavras o que é o modelo Heliocêntrico?
3. Você conhece as leis de Kepler? Se sim, descreva-as.
4. O que são Exoplanetas?
5. Você conhece algum método de detecção de exoplanetas? Se sim, descreva-os.
6. O que você entende por zona habitável?

**Observação:** Suas respostas e sua participação neste questionário são imprescindíveis para o andamento e desenvolvimento deste projeto.

1. Terra é o centro do universo.
2. Sol é o centro.
3. Sim, mas não sei descrever elas.
4. Não sei.
5. Não sei.
6. Uma zona que pode ser habitada por seres vivos.

Verificamos que os quinze alunos que participaram deste questionário, todos tinham um conhecimento prévio acerca dos modelos e concepções sobre a teoria geocêntrica e heliocêntrica. Sobre algum conhecimento das leis de Kepler, foi verificado que 33% dos alunos (5 alunos) souberam responder e explicar (descrevendo-as) e os demais 67% (10 alunos) responderam não sei. A pergunta de número 4, apenas dois alunos (13% do total) responderam corretamente e os demais 13 alunos (87% do total), responderam não sei. Analisando as respostas dos alunos a pergunta de número 5, foi verificado que todos eles desconheciam os métodos de detecção dos exoplanetas descobertos pela NASA. A resposta dos estudantes da pergunta seis, foram assertivas. Todos eles responderam corretamente a definição de zona habitável para o olhar da possibilidade da existência de vida nesta região. Porém, apenas dois deles fizeram referência a região do espaço onde um determinado planeta possui condições necessárias para o desenvolvimento da vida bem como a existência de água na fase líquida.

A aplicação de um questionário tem sido muito proveitosa para o andamento da aprendizagem dos estudantes. Desde o conhecimento prévio dos alunos bem como o desenvolver do produto educacional através desta sequência didática para que os professores possam ter em mãos uma ferramenta que fez com que a evolução do conhecimento dos estudantes fosse alcançada. É importante lembrar que esta proposta vai além dos estudantes interessados em fazer uma olimpíada científica, mas sim temos também o trabalho de fazer a divulgação das ciências, aqui em destaque a Astronomia, com um tema tão atual e relevante para a humanidade.

No programa dos vestibulares de Pernambuco, em particular o programa do vestibular seriado da UPE, a Astronomia tem relevância para os alunos da primeira série do ensino médio. Os estudantes deverão se aprofundar nas leis de Kepler, força gravitacional, velocidade orbital e de escape. O tema do nosso trabalho é mais voltado para as olimpíadas de astronomia e que também é relevante o conhecimento acerca das leis de Kepler.

Visando as possíveis respostas dos alunos, criamos uma estratégia de aula que levássemos para a nossa intervenção em sala e apresentação do contexto inicial da astronomia, desde as primeiras contribuições dos gregos até meados do século XXVI, fazendo uma linha do tempo e apresentando os conceitos de geocentrismo, heliocentrismo e as leis de Kepler como encontramos na literatura para que se fortaleça os conhecimentos dos estudantes.

## 6.2 Questionário – final

No quarto encontro com os estudantes, aplicamos um segundo e também último questionário para verificarmos como anda os conhecimentos dos alunos que participaram desta sequência pedagógica. Semelhante ao primeiro encontro, onde aplicamos o questionário inicial, colocamos um pequeno texto no qual pedimos que respondessem com suas próprias palavras e em caso de desconhecer do que se trata a pergunta ou até mesmo se não lembrasse, deveria responder **não sei**.

As perguntas são parecidas com as do primeiro, porém o que buscamos é verificar nas palavras dos estudantes alguma prova de houve aprendizagem ou não por eles. A verificação dessas respostas, traz um indicativo muito importante para esta pesquisa, pois também podemos sugerir até mesmo propostas de conteúdos que são relevantes para as olimpíadas de astronomia e vestibulares em geral.

Veremos a seguir, as perguntas deste questionário final e analisaremos as respostas dos alunos.

Fundamentando-se nas aulas ministradas sobre as Leis de Kepler e Exoplanetas, bem como seus métodos de detecção, respondam o questionário a seguir a partir de seus conhecimentos adquiridos após a intervenção do professor. Assim, responda com suas palavras as perguntas propostas referentes aos temas e caso desconhecer, pedimos que responda **não sei**.

1. Descreva com suas palavras o que você conhece sobre as leis de Kepler.
2. Escreva com suas palavras o que são Exoplanetas?
3. Cite quais métodos de detecção de Exoplanetas você conhece.
4. De acordo com a pergunta anterior, descreva com suas palavras os métodos de detecção.
5. Com as suas palavras e utilizando a concepção de órbitas planetárias, descreva com suas palavras o que você entende por Zona Habitável?
6. Você conhece alguma missão espacial que um de seus propósitos foi detectar exoplanetas? Se sua resposta for sim, cite os que você conhece.

**Observação:** Suas respostas e sua participação neste questionário são imprescindíveis para o andamento e desenvolvimento deste projeto.

## Aluno 1:


**Questionário Final – Exoplanetas**  
 Especialização em Ensino de Astronomia | Plínio Giorgio

Aluno(a):  Série: 1

Fundamentando-se nas aulas ministradas sobre as Leis de Kepler e Exoplanetas, bem como seus métodos de detecção, respondam o questionário a seguir a partir de seus conhecimentos adquiridos após a intervenção do professor.  
 Assim, responda com suas palavras as perguntas propostas referentes aos temas e caso desconhecer, pedimos que responda não sei.

1. Descreva com suas palavras o que você conhece sobre as leis de Kepler.
2. Escreva com suas palavras o que são Exoplanetas?
3. Cite quais métodos de detecção de Exoplanetas você conhece.
4. De acordo com a pergunta anterior, descreva com suas palavras os métodos de detecção.
5. Com as suas palavras e utilizando a concepção de órbitas planetárias, descreva com suas palavras o que você entende por Zona Habitável?
6. Você conhece alguma missão espacial que um de seus propósitos foi detectar exoplanetas? Se sua resposta for sim, cite os que você conhece.

Observação: Suas respostas e sua participação neste questionário são imprescindíveis para o andamento e desenvolvimento deste projeto.

**Respostas:**  
 1ª lei → A Terra gira em torno do sol ~~em~~ em órbita helicoidal.  
 2ª lei → Quanto mais perto o planeta está da estrela que orbita, maior sua velocidade.  
 3ª lei →  $\frac{T^2}{R^3} = K$   
 2) São os planetas que não pertencem ao sistema solar.  
 3) Pode ser detectado de acordo com o estudo de existência de sua estrela.  
 4) Como na maioria das vezes o brilho da estrela ofusca o exoplaneta, é necessário estudar a estrela primeiro, para poder detectá-lo.  
 5) É onde pode existir vida.  
 6) Não sei.

1. 1ª lei: A terra gira em torno do sol em órbita helicoidal
- 2ª lei: Quanto mais perto o planeta está da estrela que *orbita*, maior sua velocidade.
- 3ª lei:  $\frac{T^2}{R^3} = k$
2. São os planetas que não pertencem ao sistema solar.
3. Pode ser detectado de acordo com o estudo de existência de sua estrela.
4. Como na maioria das vezes o brilho da estrela ofusca o exoplaneta, é necessário estudar a estrela primeiro para poder detectá-lo.
5. É onde pode existir vida.
6. Não sei

## Aluno 2:

Vitória de Santo Antão, ..... de ..... de 2022



**Especialização em ENSINO DE ASTRONOMIA**

**Questionário Final – Exoplanetas**  
Especialização em Ensino de Astronomia | Plínio Giorgio

Aluno(a):  Série 1ª EM

Fundamentando-se nas aulas ministradas sobre as Leis de Kepler e Exoplanetas, bem como seus métodos de detecção, respondam o questionário a seguir a partir de seus conhecimentos adquiridos após a intervenção do professor.  
Assim, responda com suas palavras as perguntas propostas referentes aos temas e caso desconhecer, pedimos que responda não sei.

1. Descreva com suas palavras o que você conhece sobre as leis de Kepler.
2. Escreva com suas palavras o que são Exoplanetas?
3. Cite quais métodos de detecção de Exoplanetas você conhece.
4. De acordo com a pergunta anterior, descreva com suas palavras os métodos de detecção.
5. Com as suas palavras e utilizando a concepção de órbitas planetárias, descreva com suas palavras o que você entende por Zona Habitável?
6. Você conhece alguma missão espacial que um de seus propósitos foi detectar exoplanetas? Se sua resposta for sim, cite os que você conhece.

**Observação:** Suas respostas e sua participação neste questionário são imprescindíveis para o andamento e desenvolvimento deste projeto.

**Respostas:**

- 1- Dão 3 leis de Kepler, a primeira afirma que a órbita dos planetas é realizada em elipse, já a segunda afirma que a órbita dos planetas são realizadas em um tempo igual independente do raio - do ao quadrado sobre o raio do planeta ao solto.
- 2- Exoplanetas são aqueles que se encontram fora do nosso sistema solar.
- 3- O método de velocidade radial e de trânsito e o gravitacional.
- 4- O de velocidade radial consiste em analisar a velocidade que um planeta passa na frente de sua estrela e quando se aproxima o de trânsito se assemelha ao anterior, pois ele analisa a aproximação dos planetas do nosso ponto de vista e o gravitacional analisa a distorção das órbitas das estrelas e planetas para ter a noção das presenças.
- 5- A Zona Habitável é uma área específica na qual a órbita de um planeta se encontra onde há possibilidade de vida.

A resposta do item 6, o estudante fez no verso da folha.

6- Sim, dentre as mais famosas estão o lançamento dos satélites Mariner e James Webb ao espaço.

1. São 3 leis de Kepler, a primeira afirma que a órbita dos planetas é realizada em elipse, já a segunda afirma que a órbita dos planetas são realizadas em um tempo igual independente da região e por fim a terceira que afirma que a constante  $K$  se dá pelo período ao quadrado sobre o raio do planeta ao cubo.
2. Exoplanetas são aqueles que se encontram fora do nosso sistema solar.
3. O método da velocidade radial, o de trânsito e o gravitacional.
4. O da velocidade radial consiste em analisar a velocidade que um planeta passa na frente de sua estrela e quantas vezes isso acontece, o de trânsito se assemelha ao anterior, pois ele analisa a aproximação dos planetas do nosso ponto de vista e o gravitacional analisa a distorção das órbitas das estrelas e planetas para ter a noção das mesmas.
5. A zona habitável é uma área específica na qual a órbita de um planeta se encontra onde há possibilidade de vida.
6. Sim, dentre os mais famosos estão os lançamentos dos satélites Hubble e James Webb ao espaço.

## Aluno 3:

UFRPE UFRPE  
 Especialização em ENSINO DE ASTRONOMIA  
 Questionário Final – Exoplanetas  
 Especialização em Ensino de Astronomia | Plínio Giorgio

Aluno(a):  Série 13

Fundamentando-se nas aulas ministradas sobre as Leis de Kepler e Exoplanetas, bem como seus métodos de detecção, respondam o questionário a seguir a partir de seus conhecimentos adquiridos após a intervenção do professor.  
 Assim, responda com suas palavras as perguntas propostas referentes aos temas e caso desconhecer, pedimos que responda não sei.

1. Descreva com suas palavras o que você conhece sobre as leis de Kepler.
2. Escreva com suas palavras o que são Exoplanetas?
3. Cite quais métodos de detecção de Exoplanetas você conhece.
4. De acordo com a pergunta anterior, descreva com suas palavras os métodos de detecção.
5. Com as suas palavras e utilizando a concepção de órbitas planetárias, descreva com suas palavras o que você entende por Zona Habitável?
6. Você conhece alguma missão espacial que um de seus propósitos foi detectar exoplanetas? Se sua resposta for sim, cite os que você conhece.

Observação: Suas respostas e sua participação neste questionário são imprescindíveis para o andamento e desenvolvimento deste projeto.

Respostas:

- 1- 1ª Lei: As órbitas dos planetas são elípticas
- 2ª Lei: A reta que liga os planetas ao sol tem áreas e tempo iguais
- 3ª Lei: o quadrado do período é proporcional ao cubo do raio.
- 2- Planetas que não fazem parte do sistema solar
- 3- Velocidade Radial, ondas gravitacionais e transitividade planetária
- 4- Velocidade Radial: consiste em medir as oscilações que um planeta em órbita causa em uma estrela.
- 5- Zona do espaço que pode existir vida ex: entre Vênus e Marte.
- 6- Não

1. 1ª lei: as órbitas dos planetas são elípticas
- 2ª lei: a reta que liga os planetas ao sol tem áreas e tempo iguais
- 3ª Lei: o quadrado do período é proporcional ao cubo do raio.
2. Planetas que não fazem parte do sistema solar.
3. Velocidade radial, ondas gravitacionais e transitividade planetária
4. Velocidade radial: consiste em medir as oscilações que um planeta em órbita causa em uma estrela.
5. Zona do espaço que pode existir vida ex: entre Vênus e Marte.
6. Não.

Após a aplicação do questionário final, fizemos uma análise das respostas dos estudantes e nos deparamos com um fator positivo de aprendizagem. Dos quinze participantes da pesquisa, todos responderam conhecer e descrever as leis de Kepler. Reparamos, contudo, algumas inconsistências nas respostas sobre por exemplo o aluno 1 que confundiu a nomenclatura da trajetória trocando de elíptica para helicoidal. Este aluno, ainda se referiu a segunda lei de Kepler relacionando a velocidade orbital no tocante ao planeta possuir uma velocidade maior quando se aproxima do Sol e menor quando se afasta. Isso é uma explicação dada pelo professor da pesquisa quando tratou a segunda lei ao passo da conservação no momento linear, assim acreditamos que o estudante 1 lembrou da segunda lei por este viés e não através da definição por lei das áreas como está nos livros didáticos. Os estudantes 2 e 3 responderam corretamente sobre a primeira lei, nos quais afirmam ser elípticas as trajetórias dos planetas, porém não deixam claro em suas palavras sobre a segunda lei que é conhecida como lei das áreas. O aluno 2 fala em órbitas iguais em tempos iguais e afirma que isto independe da região e já o aluno 3 se aproximou ainda mais da definição encontrada nos livros didáticos onde diz que a reta tem áreas iguais em tempos iguais. Aqui vimos 3 exemplos de alunos da série inicial do ensino médio que apesar de ter apenas um primeiro encontro com o assunto, mostraram uma evolução em seus conhecimentos que anteriormente não existia. A pergunta de número dois também teve 100% de acerto, onde os estudantes entenderam de forma clara e simples a definição de exoplanetas. Na pergunta de número três, o aluno 1 descreve superficialmente o que lembrara dos métodos de detecção. Ele fez uma observação sobre a importância de se conhecer a estrela hospedeira na qual se encontra o planeta, mas não soube descrever nenhum nome dos métodos de detecção deles. Isso aconteceu com outros três estudantes e foi verificado que os demais onze alunos (73% do total) mostraram conhecer pelo menos um método de detecção de exoplanetas como descreveu os estudantes 2 e 3. A pergunta de número quatro tem por objetivo o aprofundamento nas respostas da pergunta anterior que seria descrever sobre os métodos de detecção. A resposta deste item teve de forma assertiva nove alunos (60%) o que consideramos também como um resultado positivo no conhecimento dos alunos, no entanto é necessário que o professor ainda possa fazer outros encontros com os estudantes com debates sobre o tema bem como também utilizar para tal em sala de aula leitura de artigos

científicos de fácil compreensão com um viés voltado para a parte teórica e não matemática apenas. Pois assim, acreditamos que teremos um avanço no assunto principalmente para aqueles estudantes que irão participar das olimpíadas de astronomia. A pergunta cinco é de importância para as pesquisas dos exoplanetas que apresentam semelhança ao nosso planeta, pois os astrônomos buscam encontrar esses planetas que possuem essas características de possibilidade de abrigarem vida devido ao seu posicionamento na sua órbita. Sugerimos a leitura de um artigo que se encontra em nossas referências de (FARIAS & BARBOSA, 2017) pois trata de forma clara a importância da zona habitável e sua relação com a possibilidade de vida devido a possível existência de água. A última pergunta deste questionário se refere ao conhecimento das missões espaciais que tiveram entre outras atribuições a de encontrar planetas alienígenas. A OBA, como já sabemos, é dividida em astronomia (70% da prova) e astronáutica (30% da prova). A parte da prova que se refere a astronáutica, busca do aluno o conhecimento sobre as missões espaciais que foram enviadas ao espaço desde as missões Apollo até as atuais como o James Webb. No entanto, a OBA consegue trazer informações básicas e fundamentais no texto das questões de astronáutica que possibilitam aos estudantes uma fácil interpretação. Adquirir o conhecimento básico de algumas missões espaciais são fundamentais para a esta olimpíada. E a pergunta seis, foi elaborada apenas para termos o conhecimento de forma quantitativa dos estudantes que conheciam pelo menos os nomes de alguma missão que ele conheça. Verificamos que apenas oito (53% dos alunos) conheciam o nome de ao menos uma das missões espaciais como descreveu o aluno 2 os nomes dos telescópios espaciais como o Hubble e o James Webb.

Assim, foi verificado que pelas respostas dos estudantes tivemos um avanço significativo na aprendizagem deles no tocante as leis de Kepler e os exoplanetas. Além disso, sugerimos que os professores possam trabalhar de forma integrada estes dois temas desde a concepção epistemológica (em linha do tempo) com as visões de mundo desde Aristóteles até Newton, descrever de forma clara e objetiva as leis de Kepler e a sua aplicação a qualquer corpo celeste no qual podemos destacar estes exoplanetas e seus métodos de detecção. Temas estes que consideramos relevantes e atuais, e que possam ajudar a difundir ainda mais a astronomia e bem como incentivar os estudantes a participarem das olimpíadas científicas aprimorando seus conhecimentos e desempenho em sala.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A proposta pedagógica mostrou-se eficaz no avanço da aprendizagem dos alunos que participaram do processo avaliativo. A necessidade de inserir conteúdos que se encontram fora da proposta definida pela BNCC, tem sido cada vez mais evidente quando se trata de olimpíadas científicas como a OBA, pois esbarram no tempo de aula regular dos professores e com isso precisamos ofertar no contraturno. Dos conteúdos abordados na prova da OBA, as leis de Kepler e a dinâmica de Newton são temas comuns na maioria dos vestibulares nacionais. Porém, outros como estrelas, galáxias, exoplanetas, exoluas e as missões espaciais por exemplo, precisam de uma abordagem mais aprofundada para que os alunos possam ter contato através de uma proposta pedagógica voltada para as olimpíadas de Astronomia. Vale ressaltar que no Brasil, não só a Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica – OBA aborda estes conteúdos, mas também a Olimpíada Nacional de Ciências - ONC e a Olimpíada Pernambucana de Astronomia – OPA contemplam em seus conteúdos programáticos esses temas que já citamos e além disso a história da astronomia.

Tradicionalmente, falar sobre a história da ciência em sala de aula tem sido de certa forma obsoleto. A pouca importância dada a este elemento se torna clara também ao desconhecimento por parte dos estudantes quando se fala de nomes como Eratóstenes, Hiparco, Ptolomeu, Copérnico, Tycho Brahe, Galileu e Giordano Bruno, visto que são pessoas que tiveram importância fundamental na transição do pensamento e alguns responsáveis pelas revoluções científicas. Desta forma, foi percebido que para uma proposta pedagógica ser mais abrangente, fez-se necessário uma abordagem epistemológica da astronomia, antes de darmos início ao desenvolvimento do tema principal da sequência pedagógica. É de fundamental importância que os professores tenham zelo e apreço pela ciência que lecionam bem como algum conhecimento histórico, o que torna mais atrativo em nossa opinião (OLIVEIRA, 2011).

As leis de Kepler têm papel importante no estudo da cinemática dos corpos celestes, bem como a dinâmica de Newton. Essas duas teorias são chaves importantes para o estudo dos exoplanetas bem como parte dos processos de detecção dos mesmos como mostramos no método de trânsito. Torna-se relevante também, que os professores possam fazer um estudo do comportamento de uma

onda, que no nosso caso foi uma onda eletromagnética (luz visível), no tocante a mudança aparente do comprimento de onda e da frequência quando existe um movimento relativo entre a fonte e o observado. Fenômeno que conhecemos por efeito doppler, que tem sido fundamental para os métodos da velocidade radial e microlente gravitacional.

Durante o desenvolvimento da pesquisa, alguns estudantes apresentaram dificuldades de compreensão na parte matemática do tema devido ao desconhecimento de algumas equações e da necessidade do conhecimento teórico básico. Na parte final do trabalho, quando falamos sobre a zona habitável, ocorreu a necessidade de compreensão da relação da mesma com o tipo de estrela na qual orbita o referido planeta. Assim, como a proposta pedagógica não é algo fechado, deixamos a possibilidade da imersão do estudo simples dos tipos de estrelas e suas respectivas zonas habitáveis para serem trabalhadas com os estudantes de uma forma simples e prática.

## REFERÊNCIAS

A. J. MARQUES.; C. E. da SILVA. **Utilização da Olimpíada Brasileira de Astronomia como Introdução à Física Moderna no Ensino Médio.** Física na Escola, vol. 6, nº 2, 2005.

A. Oliveira, C. Kemeicik, A. C. T. Monteiro, T. S. Benincá, C. D. S. Mattos, e G. L. Schmidt, **Sequência didática para o ensino de astronomia por investigação utilizando o Stellarium, Cadernos de Astronomia.**, vol. 1, nº 1, p. 123–137, jul. 2020.

AMORIM, R.G.G; SANTOS, W.C. **Determinação da Massa e Dados Orbitais de Exoplanetas pelo Método Doppler.** Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 39, nº1, 2017.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base nacional comum curricular.** Brasília, DF: MEC, 2018.

BRUM, E. dos S. B.; SIMONETTI, D.; MERLI, R. F. PIBID-TOO e os Produtos Educacionais Digitais: os Resultados de um Grupo em Ação. **Jornal Internacional de Estudos em Educação Matemática**, v.12, n.1, p. 57-66, 2019.

DARROZ, Luiz Marcelo.; HEINECK, Renato.; PÉREZ, Carlos Ariel Samudio. **Conceitos Básicos de Astronomia: Uma Proposta Pedagógica,** Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia – RELEA, nº12, p. 57-69, 2011.

DELUCIA, Juliana. **Olimpíada científica como influência formativa no ensino básico,** Revista Ciências e Ideias, v.8, n.2, p.178, 2017.

ERTHAL, João Paulo Casaro; VIEIRA, Andriele da Silva. **Vinte anos de OBA: Uma análise da evolução do exame ao longo dos anos.** Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia – RELEA, n.27, p.35-34, 2019.

FARIAS, Maria Licia de Lima; BARBOSA, Marco Aurélio. **Integrando o ensino de astronomia e termodinâmica: explorando a zona habitável no diagrama de fase da água.** Revista Brasileira de Ensino de Física, vol.39, n.4, 2017.

FILHO, Kepler de Souza Oliveira; SARAIVA, Maria de Fátima Oliveira. **ASTRONOMIA E ASTROFÍSICA**, 4 ed, São Paulo, Editora Livraria da Física, 2017.

GONZATTI, Sônia Elisa Marchi.; MAMAN, Andréia Spessatto.; BORRAGINI, Eliana Fernandes.; KERBER, Júlia Cristina.; HAETINGER, Werner. **Ensino de Astronomia: Cenários da prática docente no Ensino Fundamental**, Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia RELEA, n.16, p.27-43, 2013.

GIORDAN, Marcelo.; GUIMARÃES, Yara A. F.; MASSI, Luciana. **Uma análise das abordagens investigativas de trabalhos sobre sequências didáticas: tendências no ensino de ciências.**

Disponível em: [http://www.lapeq.fe.usp.br/textos/ec/ecpdf/giordan\\_guimaraes\\_massi-enpec-2012.pdf](http://www.lapeq.fe.usp.br/textos/ec/ecpdf/giordan_guimaraes_massi-enpec-2012.pdf)

GRAEL, Fernanda. **Olimpíadas de Astronomia se fortalecem no Brasil**, Revista Eletrônica de Jornalismo Científico, 2015. Disponível em:

<<https://www.comciencia.br/comciencia/handler.php?section=8&edicao=117&id=1416>> Acessado em 19 de julho 2021

KARTUNEN, Hannu.; KRÖGER, Pekka.; OJA, Heikki.; POUTANEN, Markku.; DONNER, Karl Johan. **Fundamental Astronomy**. 6 ed. Springer. Finlândia. 2016.

KIPPING, D., BRYSON, S., BURKE, C. *et al.* **An exomoon survey of 70 cool giant exoplanets and the new candidate Kepler-1708 b-i.** Nature Astronomy **6**, 367–380 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41550-021-01539-1>

KUHN, Thomas S. **A Estrutura das Revoluções Científicas**, São Paulo, Perspectiva, 1978.

LENCHUK, A. P.; FERREIRA, A. M.; VETTORACI, D. B.; BAYERL, L. C.; GOMES, R, de T.; **Como identificar exoplanetas**. Cadernos de Astronomia, vol. 2, nº 1, p. 187-192, 2021.

LIMA, José Ademir Sales. SANTOS, Rose Clivia. **Do Eclipse Solar de 1919 ao Espetáculo das Lentes Gravitacionais**. Revista Brasileira de Ensino de Física, vol.41, suppl,1. e20190199 (2019).

LOPES, Ideusa Celestino. **Giordano Bruno: Entre o Geocentrismo e o Heliocentrismo**. Revista de Filosofia, v. 9, n1, 2014.

M. A. MOREIRA.; F. OSTERMANN. **A Física na formação de Professores do Ensino Médio**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 1999. 151p.

MARICONDA, Pablo Rubén. **Galileu e a ciência moderna**. Cadernos de Ciências Humanas – Especiaria. v.9, n.16, p. 267-272. 2006.

MARTINS, Bruno de Andrade.; LANGHI, Rodolfo. **Uma proposta de atividade para a aprendizagem significativa sobre as fases da Lua**. Revista Latino Americana de Educação em Astronomia – RELEA, n.14, p. 27-36, 2012.

MARTINS, Roberto de Andrade. **O Universo: Teorias sobre sua origem e evolução**. 2ª ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2012.

MASON, S.F., **História da Ciência – As principais correntes do pensamento científico**. 1ª ed. Rio de Janeiro. Editora Globo, 1964.

MASSONI, Neusa Teresinha. **Epistemologias do Século XX**. Texto de apoio ao professor de Física, v. 16, n3, 2005.

MATSUURA, Oscar T. **História da Astronomia no Brasil**. Recife: Cepe, 2014. v.2, Cap.14, p.418-448, 2013.

MELLO, Daniel R. C. **Aprendendo física com as estrelas binárias**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 36, n.3, 3307 (2014).

MORAIS, Antônio Manuel Alves. **Gravitação & Cosmologia: Uma Introdução**. Livraria da Física, 2009.

MOREIRA, Marcos Antônio. **Desafios no ensino da física**. Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 43, suppl. 1, e20200451 (2021).

MOSLEY, Michael. LYNCH, John. **Uma História da Ciência: experiência, poder e paixão**. Rio de Janeiro: Zahar, 2011.

MOURÃO, Ronaldo Rogério de Freitas. **O livro de ouro do Universo. Mistérios da astronomia e da ciência**. 2ª ed. Harper Collins Brasil. Rio de Janeiro. 2019.

NOVAES, Luiz Carlos. **Os impactos da política educacional paulista na prática docente e na organização do trabalho pedagógico nas escolas estaduais paulistas na perspectiva dos professores**. Jornal de Políticas Educacionais, nº 5, Janeiro–junho de 2009, p. 13–26

OLIMPÍADA BRASILEIRA DE ASTRONOMIA E ASTRONÁUTICA (OBA).

**Regulamento da 25ª Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica: 2022**

Disponível em:

[http://www.oba.org.br/sisglob/sisglob\\_arquivos/REGULAMENTO%20DA%2016%C2%AA%20MOBFOG%20PARA%20O%20N%C3%8DVVEL%204%20\(2\).pdf](http://www.oba.org.br/sisglob/sisglob_arquivos/REGULAMENTO%20DA%2016%C2%AA%20MOBFOG%20PARA%20O%20N%C3%8DVVEL%204%20(2).pdf)

OLIVEIRA, Stênio Gonçalves. **Kuhn, Feyerabend e a Revolução Copernicana: “Irracionalidades” na atividade científica?** Dissertação de mestrado em educação em ciência e matemática, UFG, 2011.

PEREIRA, Humberto Antônio de Barros. **Esferas de Aristóteles, círculos de Ptolomeu e instrumentalismo de Duhem**, Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 33, n. 2, 2011.

PERRYMAN, Michael. **The Exoplanet Handbook**. 2ª ed. Cambridge. 2018.

PIRES, Antônio S. T. **Evolução das ideias da Física**. 2ª ed. São Paulo. Ed. Livraria da Física. 2011.

RODRIGUES, Fábio Matos.; BRICIA, Viviane. **O ensino de astronomia e as possíveis relações com o processo de alfabetização científica**. Revista Latino Americana de Educação em Astronomia – RELEA, n.28, p. 95-111, 2019.

ROONEY, Anne. **A História da Astronomia – Dos planetas e estrelas aos pulsares e buracos negros**. São Paulo: M. Books do Brasil Editora Ltda, 2018.

ROONEY, Anne. **A História da Física – Da filosofia ao enigma da matéria negra**. São Paulo: M. Books do Brasil Editora Ltda, 2013.

ROSA, Carlos Augusto de Proença. **História da Ciência: Da Antiguidade ao Renascimento Científico**. Vol. 1. 2ª ed. FUNAG, 2012.

SANTOS, Isabela Marcelina de Oliveira.; SANTANA, Thiago Marcel de Almeida.; VIEIRA, Danilo Souza.; FERNANDES, Iranderly Fernandes de.; **Onde podemos encontrar vida no universo?** Caderno de Física da UEFS 17 (01): 1603.1-8, 2019.

SANTOS, W. C.; AMORIM, R. G. G.; **Descobertas de exoplanetas pelo método do trânsito**. Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 43, suppl. 1, e20200451 (2021).

SILVA, Ana Paula Bispo, SILVEIRA, Alessandro Frederico.; **História da Ciência e Ensino – Propostas da sala de aula**, São Paulo: Ed. Livraria da Física, v.3, 2018.

SPARROW, Giles. **50 Ideias de Astronomia que você precisa conhecer**. 2ª Ed. São Paulo: Planeta, 2022.

STUART, Colin.; **História do Universo para quem tem pressa – do big bang às mais recentes descobertas da Astronomia**, 1ª ed, Rio de Janeiro, Valentina, 2018.

## ANEXOS

### PRODUTO EDUCACIONAL

Tendo como objetivo a melhoria e até mesmo o aperfeiçoamento das aulas ministradas pelos professores das escolas de ensino básico, os programas de pós-graduação têm lançado propostas metodológicas que poderão auxiliar os docentes das instituições de ensino. Segundo BRUM (2019) o Produto Educacional pode ser caracterizado como uma sequência didática, um aplicativo educacional, um jogo, um vídeo, um conjunto de vídeo aulas, um equipamento, uma exposição, etc. Assim, a proposta de Produto Educacional será uma sequência didática, onde os professores poderão utilizar como material de consulta para a aula sobre Exoplanetas com foco nas olimpíadas de Astronomia. Apresentamos a seguir as sugestões de slides para os dois encontros nos quais fizemos uso de um notebook, o projetor (datashow), uma passador de slides, utilização do Power Point como recurso de apresentação de slides e animações em vídeos.

#### Aula 1: Sugestão de 90 minutos

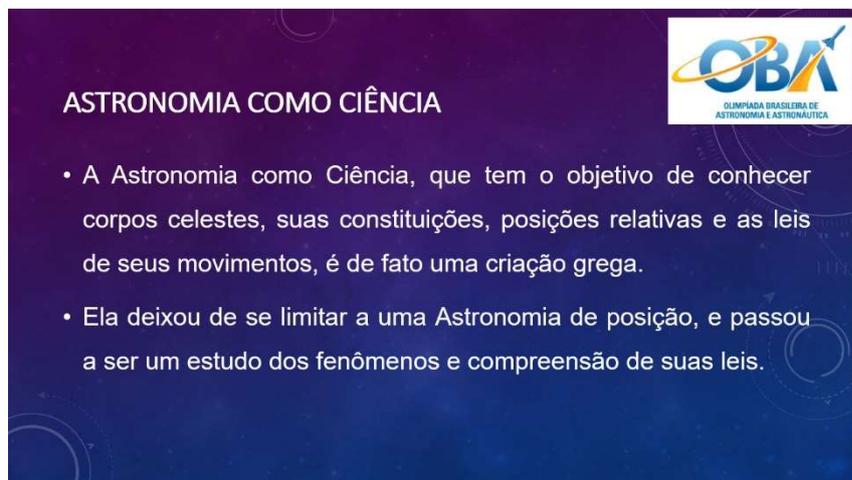
A primeira aula, fizemos um momento de introdução histórica da Astronomia utilizando os principais nomes da Grécia Antiga, desde Aristóteles até Ptolomeu. Nesse primeiro slide temos a sugestão de capa para aula com o título que abordaremos as concepções e quebra de paradigma do modelo Geocêntrico ao Heliocêntrico.



**2º Slide:** Definição do conceito atual de Astronomia, fazendo a transição de uma Astronomia de posição (observacional) para uma Ciência propriamente dita. Para aprofundamento desta introdução, sugerimos a leitura da referência (ROSA, 2012, p 156-159). No texto da referência citada o leitor encontrará uma breve linha do tempo, porém rica em informações que irão desde a utilização de instrumentos utilizados para a observação dos astros no qual se tinha um acúmulo de dados até a transição para a Astronomia como ciência.

**Sugestão de perguntas para os alunos:**

1. O que é astronomia?
2. Alguém já ouviu falar sobre o assunto?
3. Você já leu algo sobre astronomia?

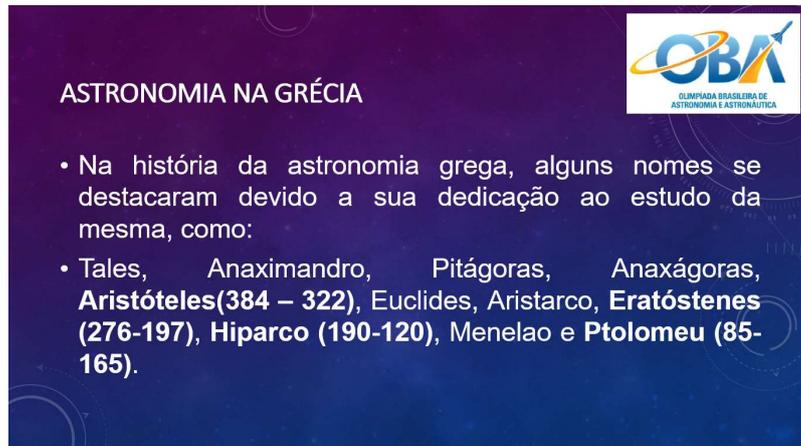


**3º Slide:** Marca a Astronomia na Grécia, onde destacamos os principais nomes da época que foram Aristóteles, Eratóstenes, Hiparco e Ptolomeu entre outros. Em (ROSA, 2012 p. 57), o leitor poderá enfatizar que os estudos astronômicos se deram através de especulações abstratas dentro da Cosmologia e Cosmogonia (consiste na investigação da origem do sistema solar). Ver-se também a importância da influência da escola pitagórica no qual as formas oriundas do universo eram de geometria perfeita como uma esfera, bem como o movimento dos planetas eram ditos em trajetórias circulares perfeitas.

**Sugestão de perguntas para os alunos:**

1. Vocês conhecem algum filósofo grego que foi importante na história da ciência?

## 2. Saberiam dizer algum filósofo grego que contribuiu para a astronomia?



**ASTRONOMIA NA GRÉCIA**

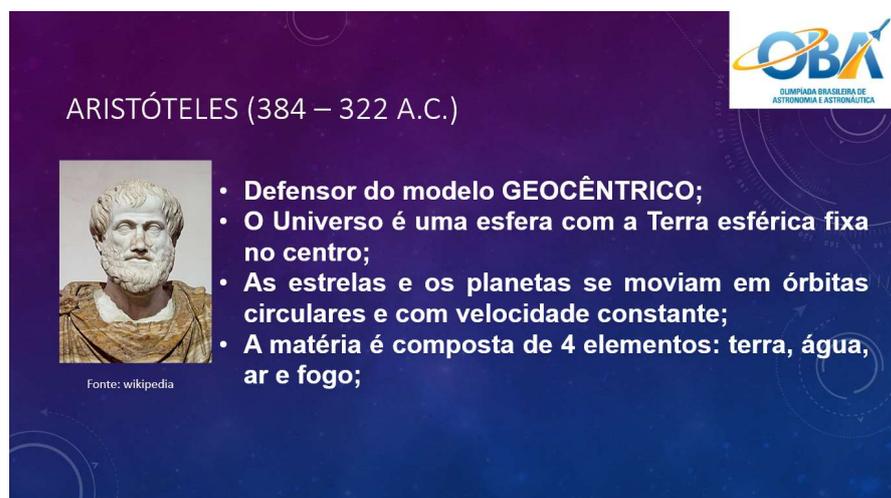
- Na história da astronomia grega, alguns nomes se destacaram devido a sua dedicação ao estudo da mesma, como:
- Tales, Anaximandro, Pitágoras, Anaxágoras, **Aristóteles(384 – 322)**, Euclides, Aristarco, **Eratóstenes (276-197)**, **Hiparco (190-120)**, Menelao e **Ptolomeu (85-165)**.

**4º Slide:** Tratamos sobre a concepção de mundo do filósofo Aristóteles, bem como suas ideias acerca da forma do universo e dos corpos celestes. Utilizamos também uma imagem retirada da internet que mostra de forma simples como era para Aristóteles sua visão de universo.

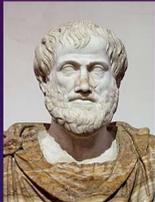
Para leitura: (ROSA, 2012, p. 159-161) e (MASON, 1964, p. 31-32).

### Sugestão de perguntas para os alunos:

1. Quem foi Aristóteles?
2. Qual era sua visão de universo?
3. Alguém sabe dizer o que é o modelo Geocêntrico?



**ARISTÓTELES (384 – 322 A.C.)**



- Defensor do modelo **GEOCÊNTRICO**;
- O Universo é uma esfera com a Terra esférica fixa no centro;
- As estrelas e os planetas se moviam em órbitas circulares e com velocidade constante;
- A matéria é composta de 4 elementos: terra, água, ar e fogo;

Fonte: wikipedia

Sugestão de imagem a ser inserida na aula, é o modelo de mundo de Aristóteles. Nela o professor poderá apresentar aos seus alunos e discutir

sobre a presença de esferas em volta da Terra, que se encontra ao centro (modelo geocentrista) bem como o movimento dos demais corpos celestes que seriam realizados em esferas perfeitas.



Fonte: <https://www.jw.org/pt/biblioteca/revistas/despertai-n5-2016-outubro/conceito-de-aristoteles-sobre-universo/>

Acessado em 10/04/2022

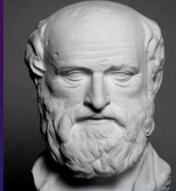
**5º Slide:** Aqui ressaltamos a importância de Eratóstenes para a comprovação de que a Terra era “esférica”.

Para leitura: (RONNEY, 2018, p.99-100).

**Sugestão de perguntas para os alunos:**

1. Quem aqui na sala acredita que a Terra é esférica?
2. Quem acredita que a Terra é plana?
3. Você conhece alguém que comprovou se a Terra é “redonda”?

ERATÓSTENES (276 – 197 A.C.)



Fonte: wikipedia

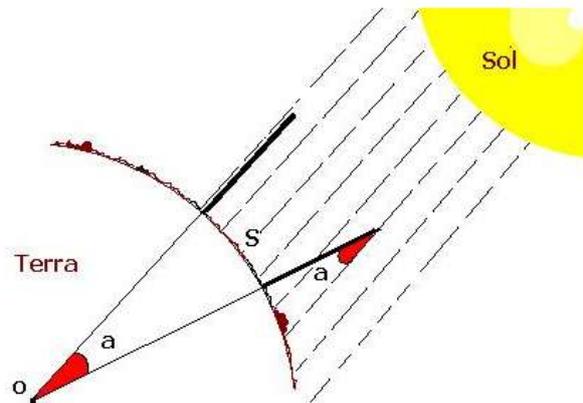
Calculou o raio da Terra;  
Comprovação que a Terra não pode ser plana.



Sugestão para uso dessa imagem no slide. Nesta imagem o professor poderá fazer uso da geometria para comprovar a igualdade dos ângulos mostrados na imagem com a propriedade de retas paralelas cortadas por uma transversal e

tornando os ângulos alternos e internos. E depois com o uso de uma regra de três simples, pode-se determinar o raio da Terra como fez Eratóstenes.

Resolver em sala o exercício 1 da lista em anexo referente a prova do OBA-2013.



Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Erat%C3%B3stenes>

**6º Slide:** Uma passagem histórica ao que se considera o maior astrônomo da antiguidade no qual deu grande contribuição a astronomia observacional e construiu alguns instrumentos para determinação das estrelas.

Para leitura: (ROSA, 2012, p. 162-163) e (MASON, 1964, p.38-39).

### Sugestão de perguntas para os alunos:

1. Vocês sabem o que significa solstícios e equinócios?
2. Conhecem algum instrumento usado na antiguidade para se observar os astros?

## HIPARCO DE NICEIA (190-120 A.C.)



Fonte: wikipedia

- Considerado o maior astrônomo da antiguidade e o verdadeiro criador da ciência celeste;
- Inventou instrumentos para determinar as posições das estrelas;
- Descobriu a precessão dos equinócios (considerada sua maior obra);
- Rejeitou a teoria heliocêntrica de Aristarco de Samos.



**7º Slide:** Um dos principais personagens da história da astronomia foi Claudio Ptolomeu. Defensor do geocentrismo e seguidor das ideias de Aristóteles, escreveu um livro que ficou conhecido como a bíblia da Astronomia, o *Almagesto* onde teve como base as descobertas de Apolônio de Pérgamo sobre o movimento dos planetas em seu *Teoria de ciclos e epiciclos*.

Para leitura: (ROSA, 2012, p.160-167).

**Sugestão de perguntas para os alunos:**

1. Alguém já leu sobre epiciclos e deferentes?
2. Como explicar que a Terra está no centro?
3. É difícil através apenas da observação considerar que a Terra não é o centro do universo?

CLAUDIO PTOLOMEU (85-165 D.C.)



Fonte: wikipedia

- Utilizou as descobertas geométricas de Apolônio de Pérgamo sobre o movimento dos planetas denominado **Teoria dos Ciclos e Epiciclos**;
- É considerado o criador mais sofisticado da Cosmologia da Antiguidade;
- Obra: *Almagesto*
- Essa obra se tornou a “bíblia” da Astronomia até Copérnico e Kepler.

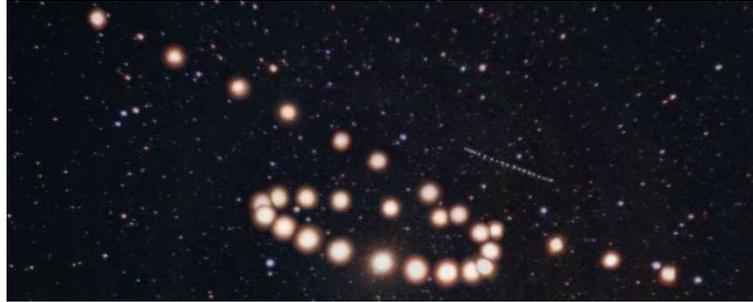


**8º Slide:** A órbita de Marte, vista da Terra mostrada na imagem só seria possível se a nós não estivéssemos em um modelo Geocêntrico como defendia Ptolomeu. Com inconsistências nesta situação, o modelo Heliocêntrico de Copérnico é mais consistente para responder a tal. A obra de Copérnico marcou a transição do modelo geocêntrico para o heliocêntrico e este evento ficou conhecido como a *Revolução Copernicana*.

Para leitura: (MOSLEY & LYNCH, 2011, p. 26-27), (MARTINS, 2012, p.95-97), (ROSA, 2012, p.423-427) e (MASSONI, 2005, p.15-19).

**Sugestão de perguntas para os alunos:**

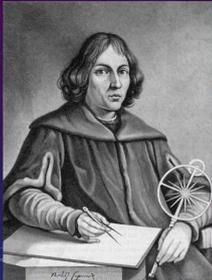
1. O que vocês sabem sobre revolução científica?
2. O que você entende por modelo heliocêntrico?
3. Já ouviram falar em Revolução Copernicana?



Fonte: [https://www.ufmg.br/espacodoconhecimento/o-movimento-retrogrado-dos-planetas/](https://www.ufmg.br/espacodoconhecimento/o-movimento-retrogrado-dos-planet/)

## NICOLAU COPÉRNICO





Fonte: wikipedia

- 1543 – *Revolutionibus Orbium Coelestium*;
- Esta obra representou a ruptura da antiga concepção do Universo (modelo geocêntrico), colocando o Sol no lugar da Terra (modelo heliocêntrico) (ROSA, 2012).
- Como o próprio (KHUN, 1978) relata que a ciência normal está atrelada a um período de tempo, isso nos faz entender que a ciência é de certa forma estática até que uma outra ideia seja lançada de forma que a anterior passe a ser obsoleta para esse novo grupo de cientistas.

**9º Slide:** Outro grande personagem da epistemologia da ciência foi Tycho Brahe. Foi diretor do mais moderno centro de pesquisas da Europa onde coletou dados valiosos através de suas observações que mais tarde foram usadas por Kepler para desenvolver seus trabalhos sobre Gravitação. Para leitura: (MORAIS, 2009, p. 56-59) e (ROSA, 2012, p.431-433).

### Sugestão de atividade para os alunos:

1. Usando sua imaginação, tente desenhar um modelo geo-heliocêntrico, ou seja, um modelo que atenda a concepção geocêntrica e heliocêntrica ao mesmo tempo.
2. Fazer uma pesquisa em grupo, catalogando algumas imagens de instrumentos utilizados por Tycho Brahe em suas observações.



### TYCHO BRAHE (1546 – 1601)



Fonte: wikipedia

- Foi o primeiro grande diretor do centro de pesquisas da Europa e o primeiro grande observatório moderno de Uraninburgo (Dinamarca) onde colheu dados mais precisos sobre os movimentos dos planetas (MORAIS, 2009);
- Defensor do sistema geocêntrico;
- Criou um sistema de mundo denominado **geo-heliocêntrico**, onde os planetas giravam em torno do Sol e que por sua vez girava em torno da Terra (ROSA, 2012).
- Obra: *Astronomiae instauratae mechanica*

**10° Slide e 11° Slide:** Johannes Kepler foi o sucessor de Tycho Brahe e conseguiu através das valiosas informações deixadas por Brahe chegar a desenvolver três leis que descrevem o movimento dos corpos celestes. As leis de Kepler como são conhecidas foram publicadas em duas obras:

1. *Astronomia Nova* (1609): descrevendo a lei das órbitas e a lei das áreas
2. *Harmonia dos Mundos* (1619): descrevendo a lei dos períodos.

Para leitura: (PORTO, 2015), (RONNEY, 2018, p. 61-64) e (MORAIS, 2009, p. 59-60).

#### **Sugestão de perguntas para os alunos:**

1. Qual a forma geométrica da trajetória dos planetas em torno do Sol?
2. Você sabe o que é afélio e periélio?
3. Quanto tempo em dias nosso planeta leva para dar uma volta em torno do Sol? Sabe como se chama esse tempo?



### JOHANNES KEPLER (1571 – 1630)



Fonte: wikipedia

- Estudou na universidade de Tübingen (Alemanha) e foi o aluno predileto do famoso astrônomo e matemático *Michael Mastlin*;
- Aprendeu a astronomia ptolomaica e também a copernicana;
- Obra de 1596: *Mysterium cosmographicum*;
- Kepler foi trabalhar com Brahe como seu assistente, e após a morte de Brahe (1601), Kepler herdou todos os dados que Tycho Brahe adquiriu sobre Marte, e assim descobriu que sua órbita era elíptica;



JOHANNES KEPLER (1571 – 1630)



Fonte: wikipedia

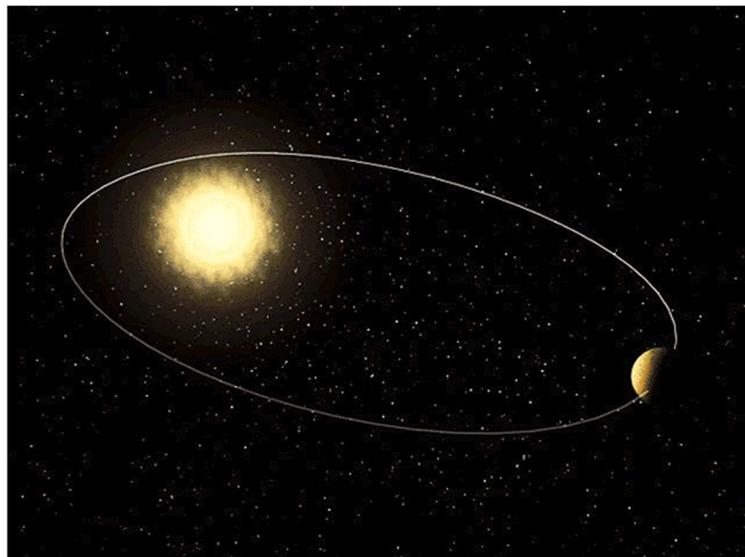
- Após esta descoberta, Kepler percebeu que poderia estender essa teoria para os demais planetas do sistema solar;
- 1609: Publicou o livro *Astronomia Nova*, descrevendo nele as duas primeiras leis da qual conhecemos por *lei das órbitas* e a *lei das áreas* respectivamente (RONNEY, 2018);

**12° e 13° Slides:** Descrever as leis de Kepler.

Para leitura: (MOSLEY & LYNCH, 2011, p.33).

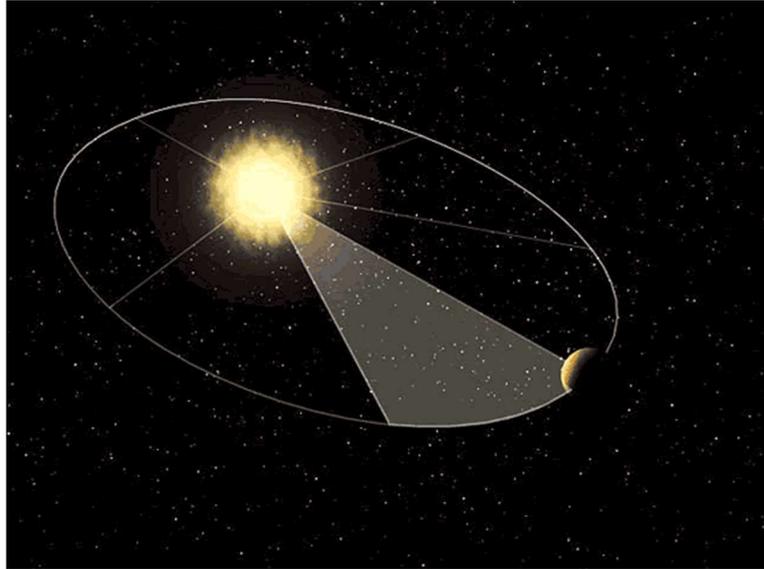
**Sugestão auxiliar:** Utilize gifs (pequenos vídeos) que mostrem em forma de animação o movimento dos planetas em suas órbitas elípticas.

Lei das órbitas



Fonte: <https://www.fq.pt/astronomia/leis-de-kepler>

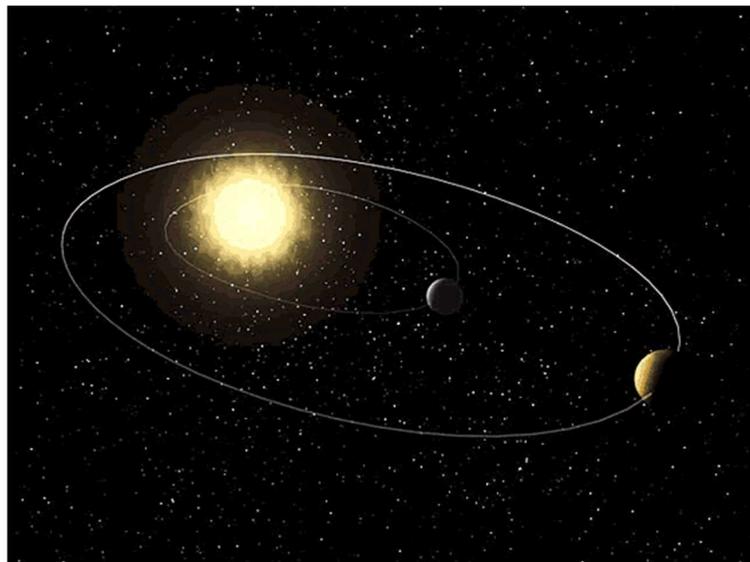
Lei das áreas



Fonte: <https://www.fq.pt/astronomia/leis-de-kepler>

Na fonte dessas imagens, podemos baixar e encaixar no power point como ferramenta necessária para a observação em vídeo (animação) em sala de aula.

### Lei dos Períodos



Fonte: <https://www.fq.pt/astronomia/leis-de-kepler>



LEIS DE KEPLER – ASTRONOMIA NOVA (1609)

1ª Lei: **Lei das Órbitas:** Todos os planetas giram em torno do Sol em órbitas elípticas, onde o Sol ocupa um dos focos da elipse.

2ª Lei: **Lei das áreas:** O raio vetor imaginário que une os planetas ao Sol, varre áreas iguais em intervalos de tempos iguais.

LEIS DE KEPLER – HARMONIA DOS MUNDOS (1619)

- A principal inovação de sua terceira lei, publicada em *Harmonia dos Mundos*, foi o vislumbre de Kepler sobre as relações matemáticas que envolvia os aspectos dos movimentos dos planetas em torno do Sol e o período de suas órbitas (PORTO, 2015);
- 3ª Lei: **Lei dos Períodos:** A razão entre o quadrado do período de revolução dos planetas pelo cubo do raio médio de suas órbitas é constante.

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


**Sugestão de exercícios:**

Resolver neste momento em sala os exercícios 2 (OBA-2019) e 3 (OBA-2020) que se encontram na lista posta em anexo.

**14º Slide:** Galileu teve papel importante na evolução da astronomia. Aristóteles defendia um modelo de mundo cuja divisão era de uma formação dos quatro elementos abaixo da órbita da lua e um outro mundo acima da órbita da lua (supralunar) considerando a morada dos deuses onde tudo era “perfeito”. Galileu com seu espírito investigativo apontou uma luneta para o céu e verificou a existência de imperfeições, como as crateras da lua.

Para leitura: (RONNEY, 2018, p.80-82), (MORAIS, 2009, p.61-65) e (SPARROW, 2022, p.10-13).

### Sugestão de perguntas para os alunos:

1. O que você entende por método investigativo?
2. Você já utilizou algum instrumento de observação como binóculos ou lunetas?
3. Quais planetas possuem luas?
4. É verdade que o sol possui manchas?



## GALILEU GALILEI – (1564 – 1642)



- Pai da Astronomia observacional;
- Observou as fases de Vênus;
- Descobriu 4 luas de Júpiter: Io, Ganimedes, Calisto e Europa;
- Identificou manchas no Sol;
- 1642: Publica a obra *Diálogos sobre os dois principais sistemas mundiais*;
- Foi condenado à prisão domiciliar pela inquisição por heresia;

Fonte: wikipedia

### Sugestão de imagens:

- Utilize imagens das luas de Júpiter;
- Usar imagens de instrumentos de observação – telescópios;
- Usar imagens do Sol e de suas manchas solares;

**15°, 16°, 17° e 18° Slides:** As leis da Mecânica Clássica (também conhecida como newtoniana) teve fundamental importância na Física para corpos que se movem em velocidades abaixo da velocidade da luz. Newton também teve papel importante na Astronomia devido aos seus melhoramentos no telescópio e também a explicação e comprovação da força gravitacional.

Para leitura: (MORAIS, 2009, p.66-82).

### Sugestão de perguntas para os alunos:

1. Você conhece a 2ª lei de Newton?
2. O que você entende por força centrípeta? E força centrífuga?
3. A velocidade de um corpo é uma grandeza escalar ou vetorial? Como se calcula?

#### 4. O que você entende por gravidade?



### ISAAC NEWTON – (1643 – 1727)

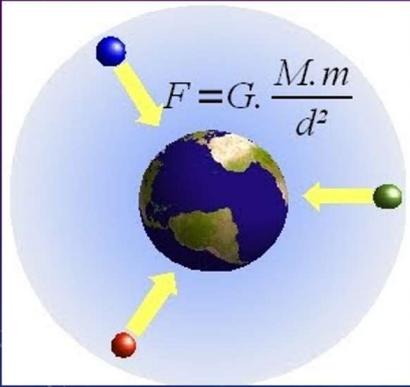


Fonte: wikipedia

- Conhecido como um dos mais influentes cientistas de todos os tempos;
- 1687: Publica o *Principios Matemáticos da Filosofia Natural*;
- Nesta obra Newton descreveu as Leis do Movimento e da Gravitação Universal;



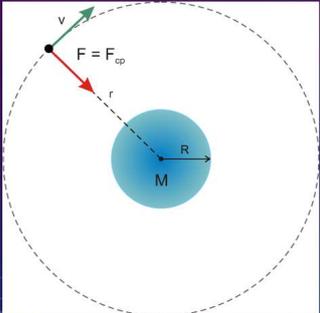
### FORÇA GRAVITACIONAL



Durante um período pandêmico que ocorreu na Inglaterra em meados de 1665/1666, fizeram com que todos os estudantes da Universidade de Cambridge retornassem as suas casas para que se evitasse a proliferação da doença. Assim, Isaac Newton pôde dar continuidade aos seus trabalhos sobre a Gravitação (gravidade).

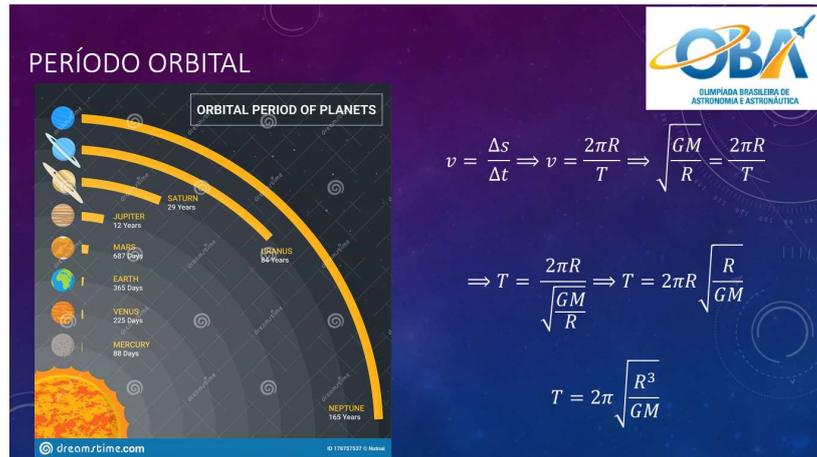


### VELOCIDADE ORBITAL E ACELERAÇÃO DA GRAVIDADE



$$F_G = F_{ctp} \Rightarrow G \frac{M \cdot m}{r^2} = \frac{m \cdot v^2}{r} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$$

$$F_G = P \Rightarrow G \frac{M \cdot m}{r^2} = mg \Rightarrow g = \frac{GM}{r^2}$$



### Sugestão de exercícios:

Responder em sala de aula com os alunos os exercícios 4 (OBA-2021) e 5 (OBA – 2021) onde se referem a uma aplicação da força gravitacional proposta por Isaac Newton.

**19º Slide:** Giordano Bruno foi um personagem importante na história da ciência e um dos mais importantes precursores da existência de um universo infinito. Ele acreditava na existência de outros mundos (exoplanetas) em outros sistemas solares. Foi condenado a morte por heresia e por defender sua concepção de mundo que era contrária a igreja católica. Falar sobre Giordano, tem um caráter epistemológico e abre nossa discussão para o tema de exoplanetas, pois desde o século XVII já existiam pessoas que acreditavam na existência de novos mundos ainda não descobertos. Hoje sabemos da confirmação de mais de 5 mil planetas, o que confirma que o Giordano estava certo.

Para leitura: (LOPES, 2014), (NEVES, 2004).

### Sugestão de perguntas para os alunos:

1. Qual sua concepção de Universo? Ele é infinito ou finito?
2. Existe vida fora da Terra?
3. Você acredita que pode existir outros planetas fora do sistema solar?



### GIORDANO BRUNO (1548 – 1600)



Fonte: wikipedia

- Seguidor do modelo heliocêntrico de Copérnico;
- Defendeu que o Universo é infinito e também da multiplicidade dos mundos;
- Obras importantes: *Comentário da arte de Lúlio*, *A sombra das ideias*, *Sobre o infinito*, *o Universo e os mundos*, *Sobre o imenso e inumerável*;
- Foi condenado a morte na fogueira pela Inquisição em fevereiro de 1600 por heresia (NEVES, 2004).

Observação: a proposta deste último slide sobre Giordano Bruno é para que os estudantes possam aprender um pouco mais sobre a história das ciências no âmbito geral.

Sugestão de filme: Giordano Bruno

Duração: 1h e 53 minutos

No filme vemos a imposição da igreja católica e da não aceitação que ela possui quanto ao heliocentrismo. Os escritos de Giordano Bruno sobre a infinidade dos mundos e que a Terra gira em torno do Sol (olhando apenas para o viés científico), o levou a ser condenado a morte em praça pública no ano de 1.600.

Link do filme: <https://www.youtube.com/watch?v=Vk-2j7wZjto>

## REFERÊNCIAS

KUHN, Thomas S. **A Estrutura das Revoluções Científicas**, São Paulo, Perspectiva, 1978.

MORAIS, Antônio Manuel Alves. **Gravitação & Cosmologia: Uma Introdução**. Livraria da Física, 2009.

NEVES, Marcos Cesar Danhoni. **Do infinito, do mínimo e da inquisição em Giordano Bruno**. Ilhéus – BA. Editora da UESC. 2004.

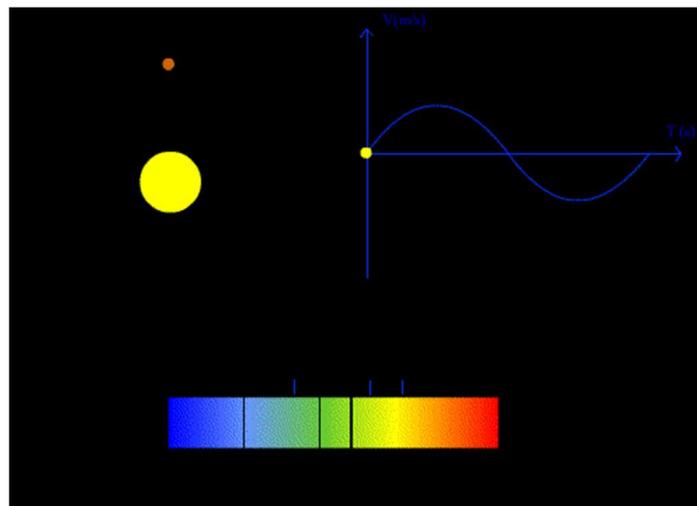
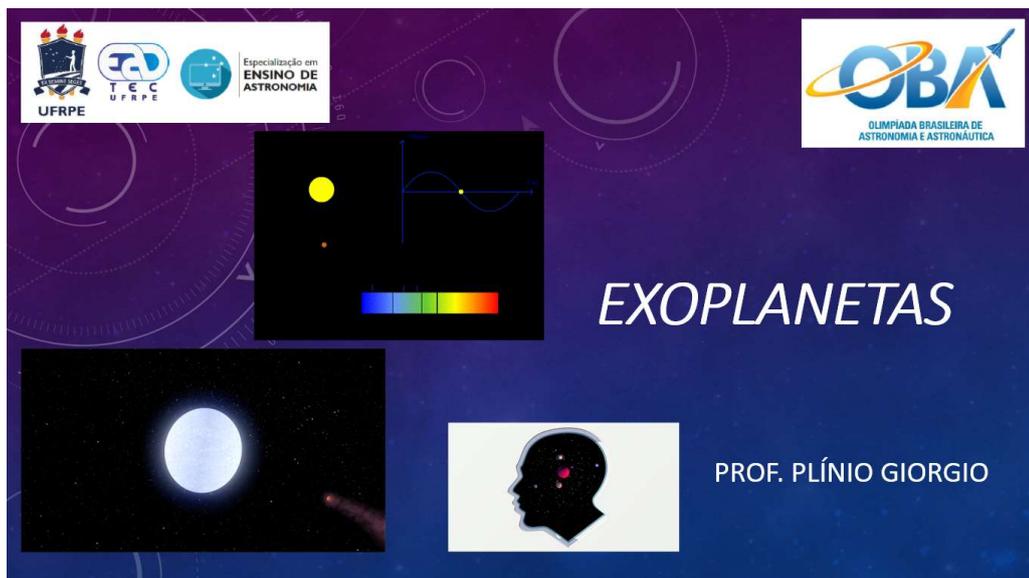
PORTO, Claudio M. **Panorama geral da obra astronômica de Kepler**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 37, n. 3, 2015.

RONNEY, Anne. **História da Astronomia: Dos planetas e estrelas aos pulsares e buracos negros**. M. Books do Brasil. 2018.

ROSA, Carlos Augusto de Proença. **História da Ciência: Da Antiguidade ao Renascimento Científico**. Vol. 1. 2ª ed. FUNAG, 2012.

## Aula 2: Sugestão de 90 minutos

O segundo encontro marca o início da aula sobre os exoplanetas. Propomos a segunda parte da sequência didática com uso de um computador (notebook) conectado a internet, um projetor (datashow) e o programa de power point. A sugestão de capa é o uso de gif animados que já façam alusão aos métodos de detecção dos exoplanetas.



Fonte: <http://planeta.rio/observacao-direta-de-exoplanetas/>

**1° Slide:** Neste primeiro slide começaremos com a definição de exoplanetas e uso de algumas imagens relacionadas de alguns já detectados.

Para leitura: (SPARROW, 2022, p.98-102)

O QUE SÃO EXOPLANETAS?

São planetas que geralmente orbitam outras estrelas e se encontram fora do nosso sistema solar.

Fonte: <https://canaltech.com.br/espaco/tudo-o-que-sabemos-sobre-exoplanetas-181401/>

Fonte: <https://canaltech.com.br/espaco/tudo-o-que-sabemos-sobre-exoplanetas-181401/>

OBA  
OLIMPIADA BRASILEIRA DE  
ASTRONOMIA E ASTRONÁUTICA

**2°, 3°, 4° e 5° Slides:** Segundo a NASA, os exoplanetas são divididos em quatro tipos: Gigantes gasosos, Semelhantes a Netuno, Super-Terras e Terrestres. Cada classificação está associada ao tamanho e semelhança com alguns planetas do nosso sistema solar.

Para leitura: <https://exoplanets.nasa.gov/what-is-an-exoplanet/planet-types/overview/>

**Sugestão de perguntas para os alunos:**

1. Na sua opinião, como são os exoplanetas?
2. Será que eles são parecidos com a Terra?
3. Qual sua opinião sobre a existência de planetas semelhantes à Terra?

**Sugestão de link dos tipos de exoplanetas:**

**Gigantes gasosos:**

[https://exoplanets.nasa.gov/eyes-on-exoplanets/#/planet/KELT-9\\_b/](https://exoplanets.nasa.gov/eyes-on-exoplanets/#/planet/KELT-9_b/)

**Semelhantes a Netuno:**

<https://exoplanets.nasa.gov/exoplanet-catalog/6282/kepler-1655-b/>

**Super Terras:**

[https://exoplanets.nasa.gov/eyes-on-exoplanets/#/planet/GJ\\_15\\_A\\_b](https://exoplanets.nasa.gov/eyes-on-exoplanets/#/planet/GJ_15_A_b)

**Terrestres:**

[https://exoplanets.nasa.gov/eyes-on-exoplanets/#/planet/TRAPPIST-1\\_e/](https://exoplanets.nasa.gov/eyes-on-exoplanets/#/planet/TRAPPIST-1_e/)

TIPOS DE EXOPLANETAS

**1. Gigantes gasosos:**

- planeta composto principalmente de gás (He e/ou H<sub>2</sub>);
- Comumente chamados de *Júpiteres Quentes*;
- 1495 exoplanetas gasosos já descobertos;
- 51 Pegasi b (o mais famoso já descoberto//primeiro exoplaneta a ser descoberto);

**Vamos conhecer alguns exemplos de Júpiteres Quentes**

[https://exoplanets.nasa.gov/eyes-on-exoplanets/#/planet/KELT-9\\_b/](https://exoplanets.nasa.gov/eyes-on-exoplanets/#/planet/KELT-9_b/)

[https://exoplanets.nasa.gov/eyes-on-exoplanets/#/planet/Kepler-7\\_b/](https://exoplanets.nasa.gov/eyes-on-exoplanets/#/planet/Kepler-7_b/)

TIPOS DE EXOPLANETAS

**2. Semelhantes a Netuno:**

- são semelhantes ao planeta Netuno e Urano;
- 1724 exoplanetas já descobertos;
- Exemplo mais famosos é o *Kepler - 1655 b*;

Exemplos de exoplanetas Semelhantes a Netuno

<https://exoplanets.nasa.gov/exoplanet-catalog/6282/kepler-1655-b/>

[https://exoplanets.nasa.gov/eyes-on-exoplanets/#/planet/GJ\\_436\\_b/](https://exoplanets.nasa.gov/eyes-on-exoplanets/#/planet/GJ_436_b/)

TIPOS DE EXOPLANETAS

**3. Super Terras:**

- são planetas mais massivos que a Terra e mais leves e menores que Netuno e Urano. Possuem o dobro da Terra e uma massa cerca de dez vezes maior;
- São feitos de gás, rochosos, ou até mesmo de uma combinação de gás e rocha;
- 1567 já descobertos;
- Possuem o dobro da Terra e uma massa cerca de dez vezes maior;
- Kepler-452b é o primeiro descoberto semelhante à Terra;

Exemplos de Super Terras

[https://exoplanets.nasa.gov/eyes-on-exoplanets/#/planet/GJ\\_15\\_A\\_b/](https://exoplanets.nasa.gov/eyes-on-exoplanets/#/planet/GJ_15_A_b/)

[https://exoplanets.nasa.gov/eyes-on-exoplanets/#/planet/55\\_Cnc\\_e/](https://exoplanets.nasa.gov/eyes-on-exoplanets/#/planet/55_Cnc_e/)



**TIPOS DE EXOPLANETAS**

**4. Terrestres:**

- Exoplanetas com dimensões compreendidas entre a metade da Terra e menor que o dobro do tamanho do nosso planeta;
- 187 já descobertos;

Exemplos de exoplanetas Terrestres

[https://exoplanets.nasa.gov/eyes-on-exoplanets/#/planet/TRAPPIST-1\\_e/](https://exoplanets.nasa.gov/eyes-on-exoplanets/#/planet/TRAPPIST-1_e/)

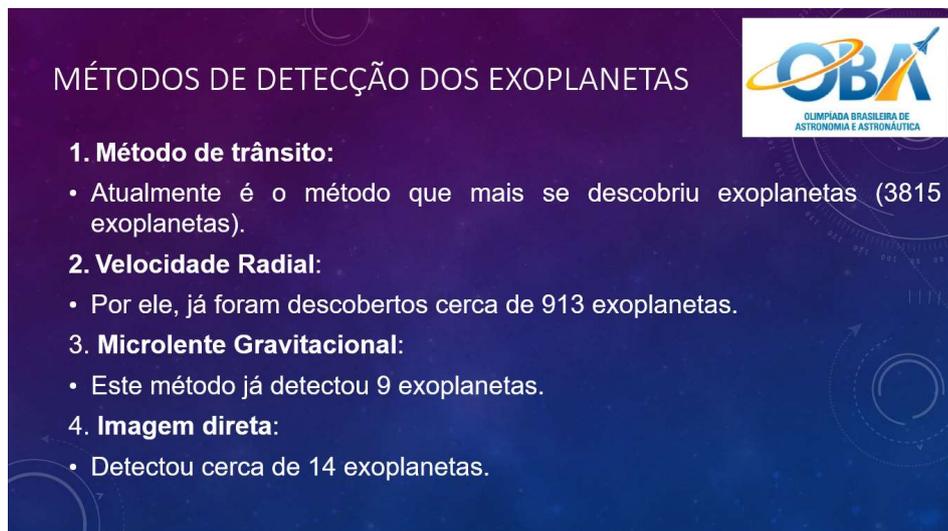
[https://exoplanets.nasa.gov/eyes-on-exoplanets/#/planet/TRAPPIST-1\\_d/](https://exoplanets.nasa.gov/eyes-on-exoplanets/#/planet/TRAPPIST-1_d/)

**6°, 7°, 8°, 9° e 10° Slides:** A NASA utiliza métodos precisos de detecção de exoplanetas que são conhecidos como *método de trânsito*, *velocidade radial*, *microlente gravitacional* e *imagem direta*.

Para leitura: (PERRYMAN, 2018, p.39-175), (SANTOS, 2021) e (LENCHUK, 2021).

**Sugestão de perguntas para os alunos:**

1. O que você entende por ocultação de um astro?
2. Sabem o que é espectro eletromagnético?
3. A luz é uma onda transversal ou longitudinal? Qual a diferença?
4. O que é comprimento de onda?
5. O que é o efeito doppler? Ele acontece com a luz também?
6. Já ouviram falar em ondas gravitacionais? O que são?



**MÉTODOS DE DETECÇÃO DOS EXOPLANETAS**

**1. Método de trânsito:**

- Atualmente é o método que mais se descobriu exoplanetas (3815 exoplanetas).

**2. Velocidade Radial:**

- Por ele, já foram descobertos cerca de 913 exoplanetas.

**3. Microlente Gravitacional:**

- Este método já detectou 9 exoplanetas.

**4. Imagem direta:**

- Detectou cerca de 14 exoplanetas.

### Sugestão de uso dos vídeos:

[https://exoplanets.nasa.gov/multimedia-resources/?order=pub\\_date+desc&per\\_page=50&page=0&search=&filter\\_categories%5B0%5D%5B%5D=174&fs=&fc=&ft=&dp=&category=174](https://exoplanets.nasa.gov/multimedia-resources/?order=pub_date+desc&per_page=50&page=0&search=&filter_categories%5B0%5D%5B%5D=174&fs=&fc=&ft=&dp=&category=174)

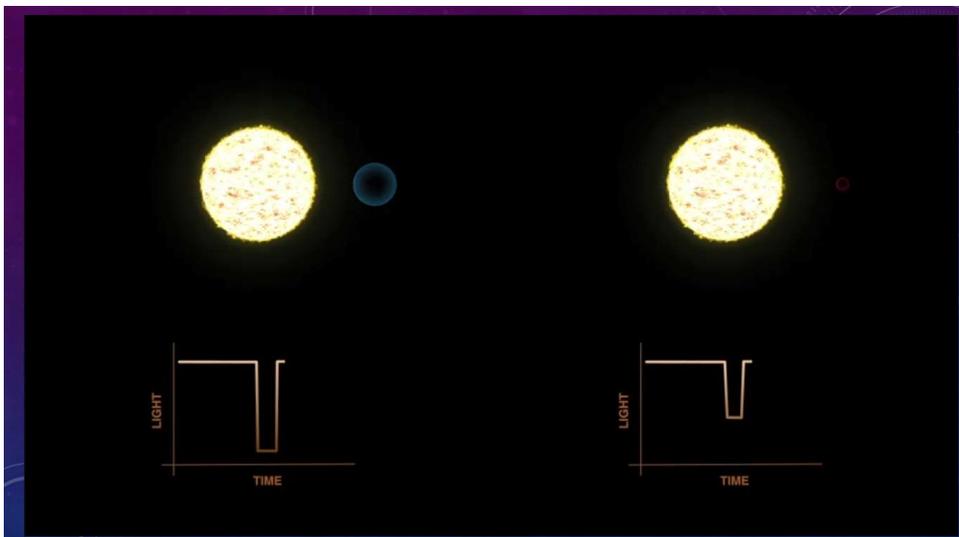
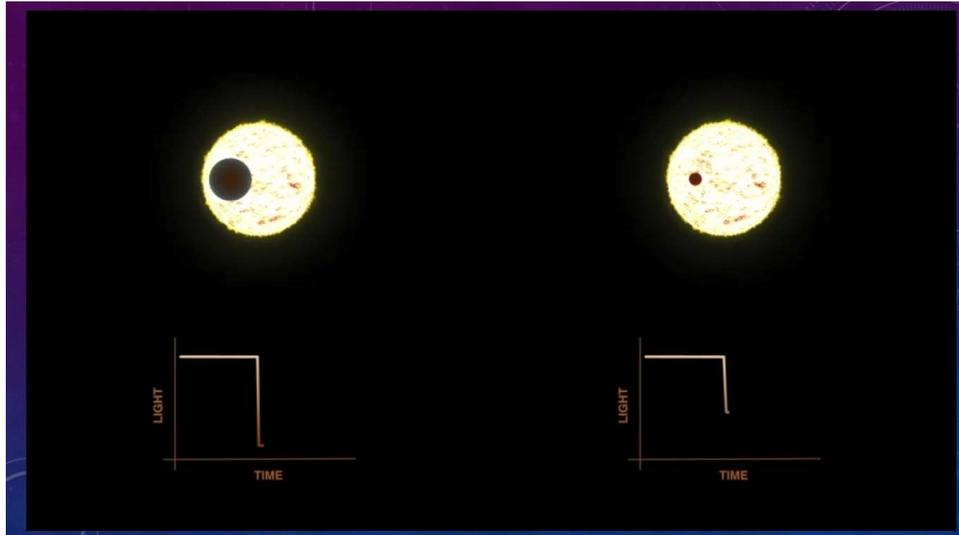
Neste link sugerimos os vídeos de apoio para serem utilizados em sala durante a aula que facilitará a aprendizagem dos alunos referente aos métodos de detecção.

**COMO FUNCIONAM ESTES MÉTODOS DE DETECÇÃO DE EXOPLANETAS?**

**Método de trânsito:**

- O trânsito planetário, é uma técnica baseada na redução do brilho da estrela quando um exoplaneta, em sua trajetória orbital, passa entre a estrela e um determinado observador (SANTOS, 2017);
- **Observação:** Para ser considerada a medição da redução de brilho causada pela presença de um exoplaneta, se faz necessário a verificação de pelo menos três intervalos de tempos orbitais do mesmo.

The slide also features the logo of the OBA (Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica) in the top right corner. Below the text, there is a diagram illustrating the transit method. It shows a large yellow star on the right and a smaller blue planet on the left. A red dot representing the exoplanet is shown moving across the face of the star. Below the diagram are two graphs with 'LIGHT' on the vertical axis and 'TIME' on the horizontal axis. The first graph shows a constant light level, while the second graph shows a dip in light level during the transit event.



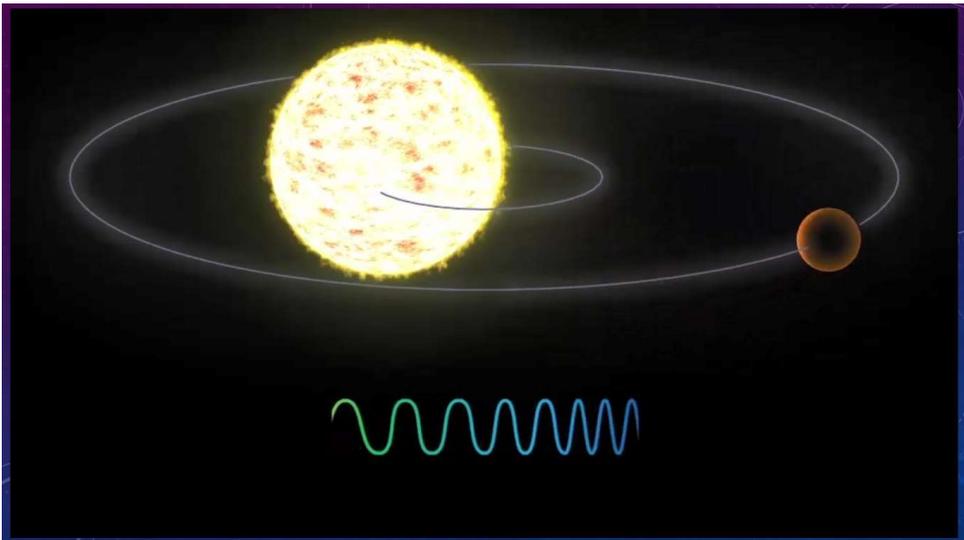
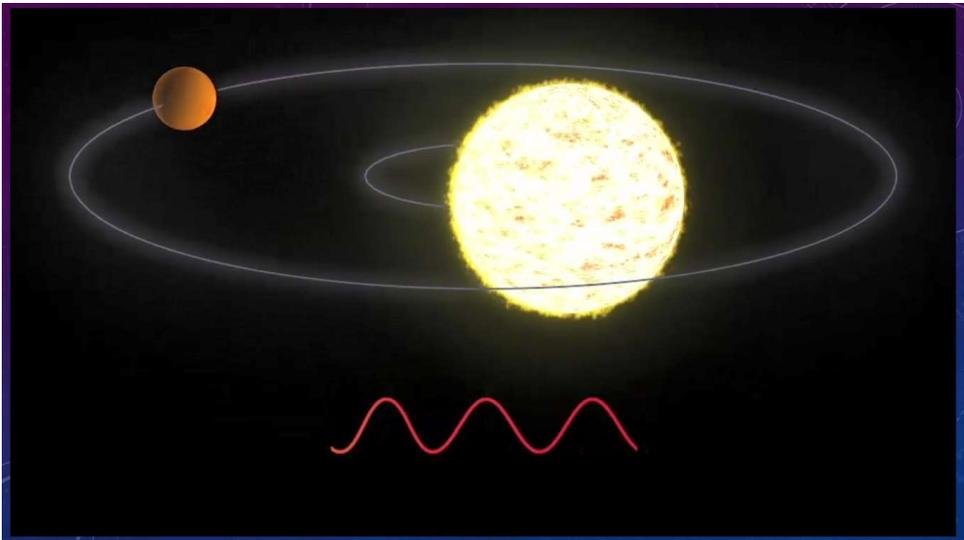
## COMO FUNCIONAM ESTES MÉTODOS DE DETECÇÃO DE EXOPLANETAS?



### Velocidade Radial

- Esse método utiliza o efeito Doppler-Fizeau da luz para detectar os exoplanetas. Nele, devido a presença do planeta, a estrela hospedeira “balança” causando assim uma variação aparente na cor de sua luz.

- Equação Doppler-Fizeau:  $\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{v_r}{c}$

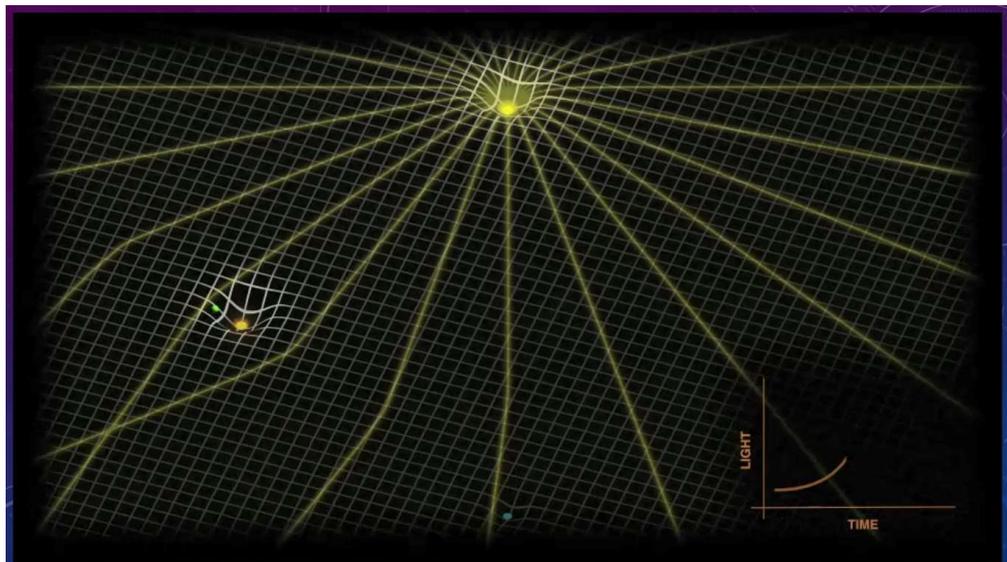
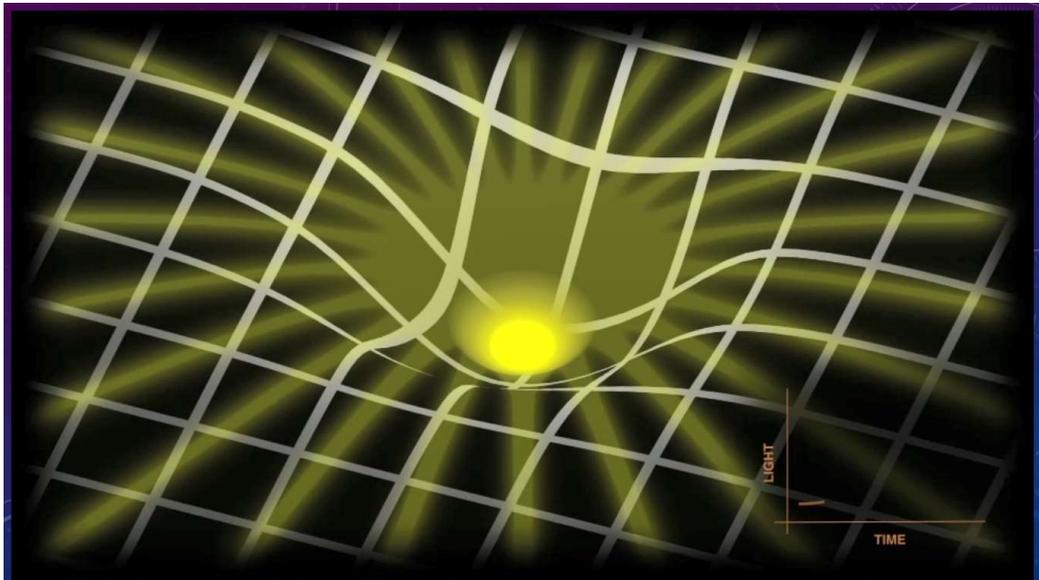


## COMO FUNCIONAM ESTES MÉTODOS DE DETECÇÃO DE EXOPLANETAS?



- **Microlente Gravitacional:**

A luz da estrela é dobrada e focalizada pela gravidade à medida que um exoplaneta passa entre a Terra e a estrela.

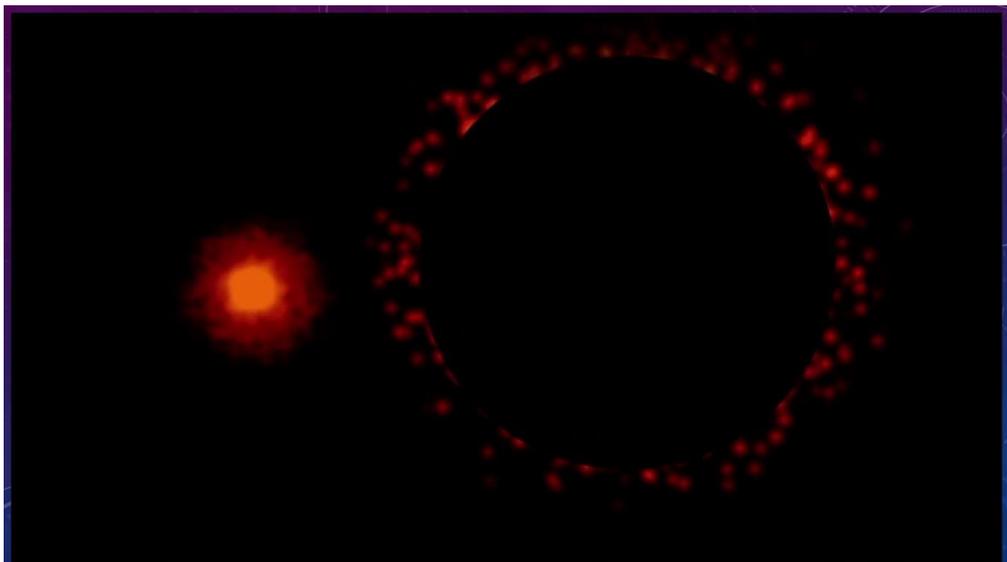
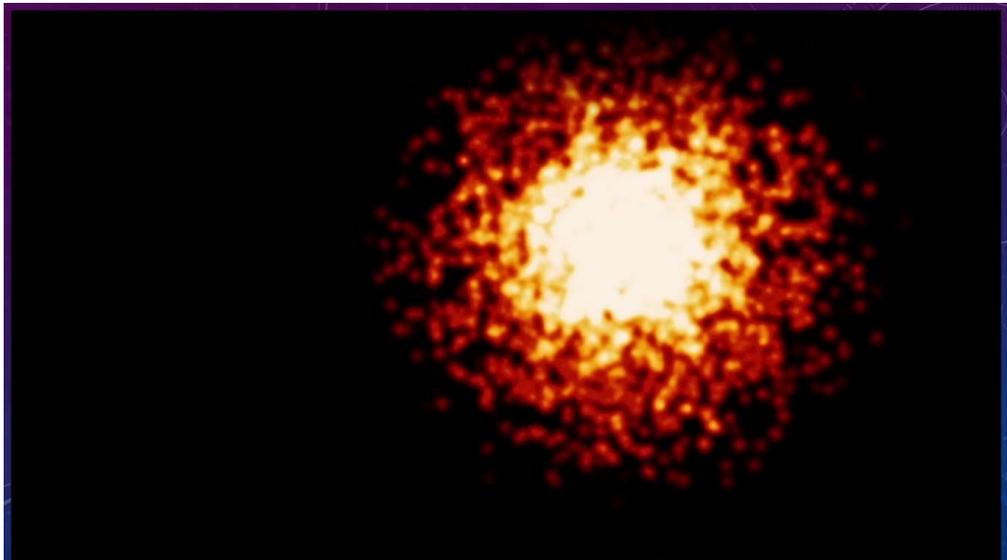


## COMO FUNCIONAM ESTES MÉTODOS DE DETECÇÃO DE EXOPLANETAS?



- **Imagem direta:**

Usando técnicas de remoção do brilho das estrelas, os astrônomos conseguem identificar a presença de exoplanetas orbitando a referida estrela.



**11° Slide:** Neste ponto destacamos a busca dos astrônomos por planetas que possam ter condições favoráveis para a vida. Aqui destacamos o conceito de zona habitável e a ligação com a presença de água líquida.

Para leitura: (FARIAS, 2017) e (SPARROW, 2022, p.106-109).

### Sugestão de perguntas para os alunos:

1. Você acredita que possa existir alguma forma de vida fora da Terra?
2. O que você sabe sobre zona habitável?

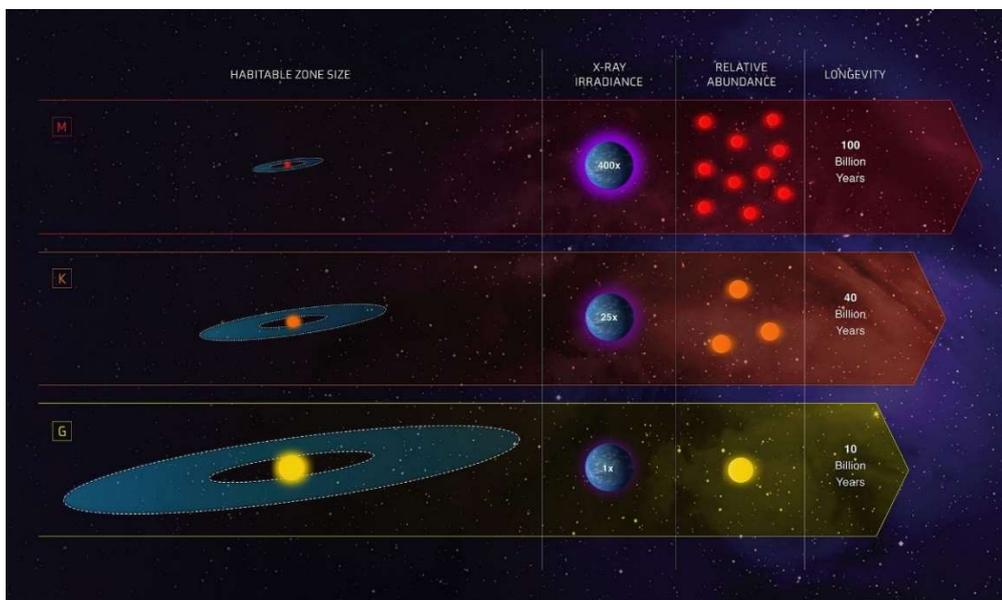
Sugestões: a) enfatize que se trata da visão de um planeta em sua órbita, pois geralmente os alunos confundem zona habitável com habitação.

b) é importante a utilização de imagens e links com pequenos vídeos sobre as zonas habitáveis e diferenciar as mesmas pela característica da estrela.

## ZONA HABITÁVEL

- A definição de “zona habitável” é a distância de uma estrela na qual a água líquida poderia existir nas superfícies dos planetas em órbita.
- As zonas habitáveis potencialmente capazes de hospedar planetas com vida são mais amplas para estrelas mais quentes.
- Anãs vermelhas menores e mais escuras, o tipo mais comum em nossa galáxia Via Láctea, têm zonas habitáveis muito mais apertadas como no sistema [TRAPPIST-1](#). Planetas na zona habitável comparativamente estreita de uma anã vermelha, que fica muito perto da estrela, são expostos a níveis extremos de raios-X e radiação ultravioleta (UV), que pode ser até centenas de milhares de vezes mais intensa do que a que a Terra recebe do Sol.

OLIMPIADA BRASILEIRA DE  
ASTRONOMIA E ASTRONÁUTICA



**12° e 13° Slides:** As missões espaciais são essenciais para o estudo dos exoplanetas e são abordadas nas olimpíadas de astronomia como a OBA. Geralmente utilizam as mais atuais como o telescópio espacial James Webb e satélites do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais).

Para leitura: (FORTES, 2018).

**Sugestões de perguntas para os alunos:**

1. Como o homem foi a lua?
2. Você conhece as missões espaciais que levaram o homem a lua?
3. Você já ouviu falar no telescópio espacial Hubble?



Fonte: <https://www.muycomputer.com/2017/02/23/exoplanetas-nasa/>

## TELESCÓPIO ESPACIAL HUBBLE



- O Hubble contém observatórios espaciais que observam o universo em diferentes comprimentos de onda como: *luz visível, raios gama, raios X e infravermelho* (FORTES, 2018).



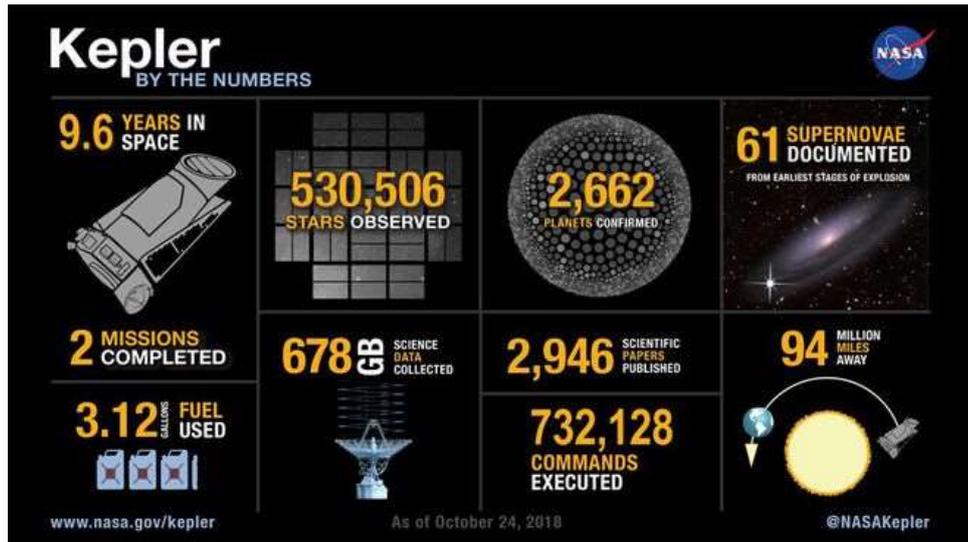
Fonte: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Telesc%C3%B3pio\\_espacial\\_Hubble](https://pt.wikipedia.org/wiki/Telesc%C3%B3pio_espacial_Hubble)

#### 14° Slide:

### TELESCÓPIO ESPACIAL KEPLER



- Lançado em 2009, o telescópio Kepler tinha como objetivo navegar pelo espaço observando estrelas e procurando planetas extrassolares. Primeiro “caçador de planetas” da NASA, ele encontrou mais de 2,6 mil exoplanetas ao longo de diferentes missões. Em 2018, terminou sua jornada.



Fonte: <https://exoplanets.nasa.gov/keplerscience/>

## TELESCÓPIO ESPACIAL SPITZER



- Em 16 anos de atividade, o Spitzer observou e analisou planetas fora do nosso sistema solar – os exoplanetas –, moléculas complexas em região de formação estelar e estrelas e galáxias que se formaram quando o universo ainda era relativamente jovem, entre outros objetos.
- Captou radiação na faixa do infravermelho o que “permite ‘driblar’ nuvens espessas de gás e poeira que escondem o nascimento de estrelas, por exemplo – o que é muito difícil fazer quando se observa usando a luz visível”.

## TELESCÓPIO ESPACIAL TESS



- O catálogo de candidatos a exoplanetas já identificados pelo telescópio Transiting Exoplanet Survey Satellite (TESS), da NASA, acaba de passar a marca dos 5.000 objetos de interesse. Grande parte destes números vem do levantamento Faint Star Search, liderado por Michelle Kunimoto. A missão foi lançada em 2018 e, desde então, o catálogo de descobertas vem crescendo em ritmo estável.

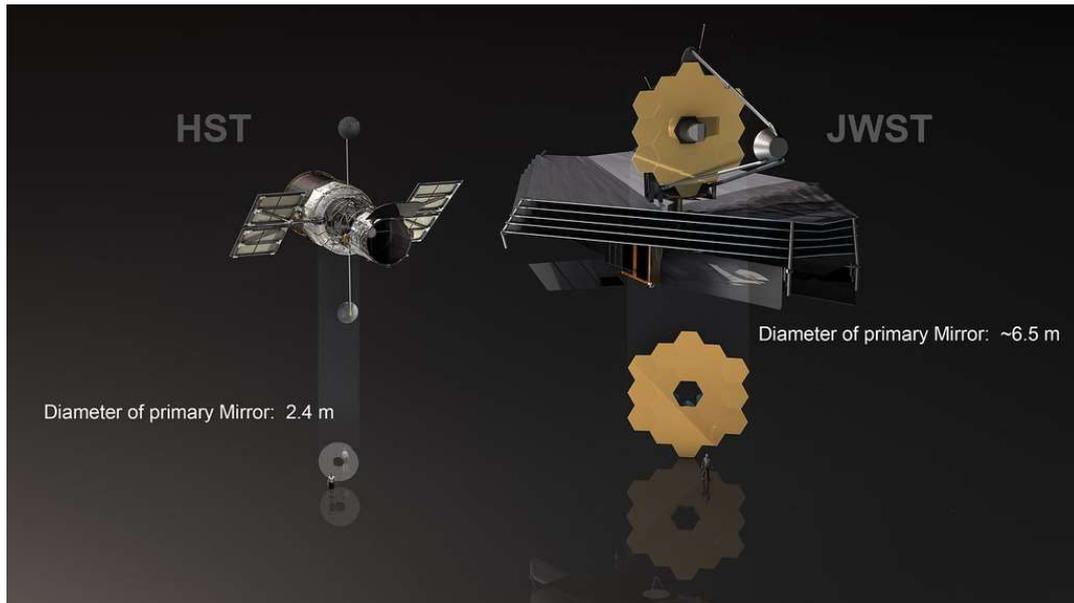


Fonte: <https://news.northropgrumman.com/news/features/orbital-atk-built-tess-satellite-set-to-begin-two-year-mission>

## TELESCÓPIO ESPACIAL JAMES WEBB - JWST



- O telescópio espacial James Webb estudará as primeiras estrelas e galáxias que se formaram, o nascimento de sistemas planetários e até mesmo as origens da vida. Considerado o maior e mais potente observatório espacial já desenvolvido pela NASA, ele conta com quatro instrumentos sensíveis a diferentes comprimentos de onda da luz visível e infravermelha e orbitará o Sol a 1,5 milhão de quilômetros da Terra.
- Os telescópios ópticos comuns detectam a mesma parte do espectro eletromagnético visível aos olhos humanos, que inclui comprimentos de onda de 380 a 740 nanômetros. O Hubble pode ainda observar um pouco da luz ultravioleta, com comprimentos de onda mais curtos, e da luz infravermelha, mais longa. Já o James Webb é um telescópio infravermelho, otimizado para observar comprimentos de onda de 600 a 28 mil nanômetros.

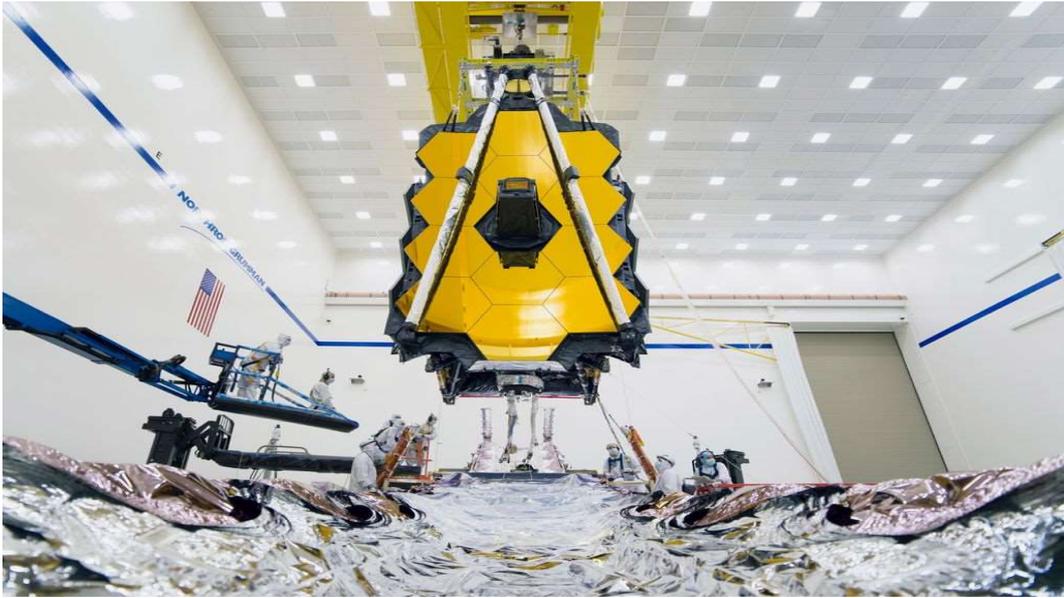


Fonte: <https://canaltech.com.br/espaco/telescopio-james-webb-tudo-sobre-o-maior-observatorio-da-nasa-202954/>

## TELESCÓPIO ESPACIAL JAMES WEBB - JWST



- Além disso, o Webb tem uma estrutura bem diferente daquela usadas em outros telescópios. Ele conta com um espelho formado por 18 segmentos hexagonais de berílio (um metal leve bastante usado em veículos espaciais), com uma leve camada de ouro que aumenta a reflexão da luz infravermelha. Quando estão na posição adequada, eles formam um espelho principal com diâmetro de 6,5 m, sendo 2,7 vezes maior que aquele do Hubble. Na prática, isso se traduz em uma área efetiva de 25 m<sup>2</sup>.
- O novo telescópio espacial ficará em um ponto que permite orbitar o Sol "vendo" a estrela e a Terra na mesma direção — o chamado Ponto de Lagrange L2, um lugar em que a gravidade de dois corpos massivos mantêm um terceiro em posição fixa em relação a eles. Como ficará constantemente exposto à luz solar, o telescópio conta com um escudo térmico de cinco camadas, que cria um "lado quente" e um "lado frio". Entre seus instrumentos, está a Near-Infrared Camera (NIRCam), uma câmera infravermelha que detectará a luz de estrelas e galáxias próximas da Via Láctea.

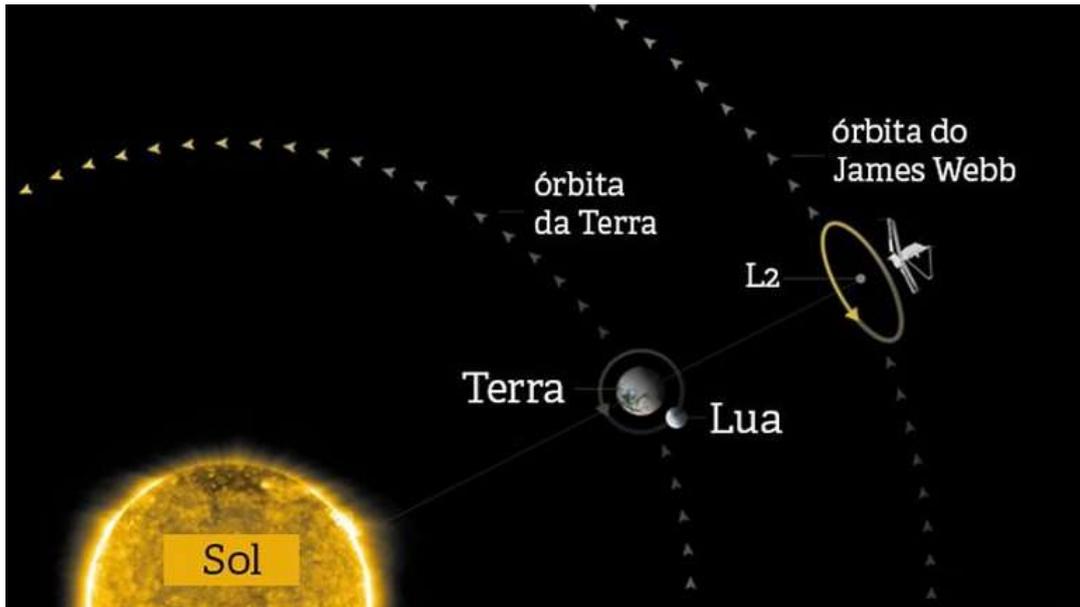


Fonte: <https://youyes.com/noticias/lancamento-do-telescopio-james-webb-e-adiado-novamente>

## PONTOS DE LAGRANGE



- Os pontos de Lagrange são lugares em que as forças de atração gravitacional exercidas por duas massas - neste caso, o Sol e a Terra - cancelam a aceleração centrípeta. Isto cria uma zona mais estável, ideal, portanto, para a colocação de satélites e estações espaciais porque será necessário usar menos combustível para manter uma nave espacial no ponto desejado.
- Foi descoberto no ano de 1772 pelo italiano Joseph – Louis de Lagrange.



Fonte: <https://agenciabrasil.abc.com.br/internacional/noticia/2022-01/telescópio-james-webb-chega-ao-destino-final-onde-ficara-em-orbita>

## TELESCÓPIO ESPACIAL JAMES WEBB - JWST

- O telescópio James Webb se concentrará em quatro áreas principais da astronomia e da cosmologia: Observar as primeiras luzes do Universo, a estruturação das galáxias no Universo primordial, o nascimento das estrelas e observar a estruturação de sistemas protoplanetários e o nascimento dos planetas.
- Em outras palavras, isso envolve examinar todas as fases da história cósmica, das primeiras luzes após o Big Bang até a formação das estrelas, dos planetas e das galáxias, além da evolução de cada um desses sistemas.

## REFERÊNCIAS

PERRYMAN, Michael. **The Exoplanet Handbook**. 2ª ed. Cambridge. 2018.

SANTOS, W. C.; AMORIM, R. G. G.; **Descobertas de exoplanetas pelo método do trânsito**. Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 39, n. 2, 2017.

FORTES, Eliane Cristina F. Silva.; AZEVEDO, Francine.; KOLLAND, Marcos. **Desvendando o Endereço Físico do Telescópio James Webb**. Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 40. n. 3, 2018.

<https://exoplanets.nasa.gov/>

<https://exoplanets.nasa.gov/search-for-life/habitable-zone/>

<https://exoplanets.nasa.gov/what-is-an-exoplanet/overview/>

<https://exoplanets.nasa.gov/discovery/missions/#first-planetary-disk-observed>

<https://canaltech.com.br/espaco/telescopio-james-webb-tudo-sobre-o-maior-observatorio-da-nasa-202954/>

## QUESTIONÁRIO INICIAL

A ciência em alguns momentos da história da humanidade passou por várias rupturas de paradigmas na qual conhecemos por *Revolução Científica*. Uma das mais importantes foi a transição do modelo Geocêntrico defendido por Claudio Ptolomeu e que perdurou por muitos séculos, para o modelo Heliocêntrico de Nicolau Copérnico. Este modelo trouxe uma nova concepção de pensamentos sobre a estrutura do Universo e uma delas foi a de que o ele é infinito.

Assim, responda com suas palavras as perguntas propostas referentes à Astronomia, e caso desconhecer, pedimos que responda **não sei**.

1. Escreva com suas palavras o que é o modelo Geocêntrico?
  
2. Escreva com suas palavras o que é o modelo Heliocêntrico?
  
3. Você conhece as leis de Kepler? Se sim, descreva-as.
  
4. O que são Exoplanetas?
  
5. Você conhece algum método de detecção de exoplanetas? Se sim, descreva-os.
  
6. O que você entende por zona habitável?

**Observação:** Suas respostas e sua participação neste questionário são imprescindíveis para o andamento e desenvolvimento deste projeto.

## QUESTIONÁRIO FINAL

Fundamentando-se nas aulas ministradas sobre as Leis de Kepler e Exoplanetas, bem como seus métodos de detecção, respondam o questionário a seguir a partir de seus conhecimentos adquiridos após a intervenção do professor.

Assim, responda com suas palavras as perguntas propostas referentes aos temas e caso desconhecer, pedimos que responda **não sei**.

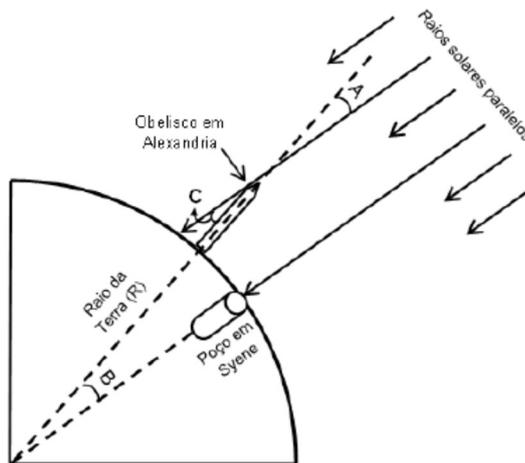
1. Descreva com suas palavras o que você conhece sobre as leis de Kepler.
  
2. Escreva com suas palavras o que são Exoplanetas?
  
3. Cite quais métodos de detecção de Exoplanetas você conhece.
  
4. De acordo com a pergunta anterior, descreva com suas palavras os métodos de detecção.
  
5. Com as suas palavras e utilizando a concepção de órbitas planetárias, descreva com suas palavras o que você entende por Zona Habitável?
  
6. Você conhece alguma missão espacial que um de seus propósitos foi detectar exoplanetas? Se sua resposta for sim, cite os que você conhece.

**Observação:** Suas respostas e sua participação neste questionário são imprescindíveis para o andamento e desenvolvimento deste projeto.

## LISTA DE EXERCÍCIOS SUGERIDA

### ASTRONOMIA – Método de Eratóstenes e as Leis de Kepler

1. **(OBA – 2013)** Num círculo, de raio  $R$ , seu comprimento mede  $2\pi R$ , (use  $\pi = 3$ ) e temos 360 graus. Eratóstenes (cerca de 276 a.C. – 193 a.C.), sábio grego, nascido em Cirene e falecido em Alexandria, diretor da grande biblioteca desta cidade, no Egito, sabia disso. Ele também sabia que num certo dia, ao meio dia, em Syene, atual Assuã, uma cidade a 800 km de Alexandria, ao Sul do Egito, o Sol incidia diretamente no fundo de um poço e nenhum obelisco projetava sombra neste instante. Porém, no mesmo dia, em Alexandria, um obelisco projetava uma sombra! Tal fato só seria possível se a Terra fosse esférica, concluiu ele. Coincidentemente ambas as cidades estão próximas do mesmo meridiano.

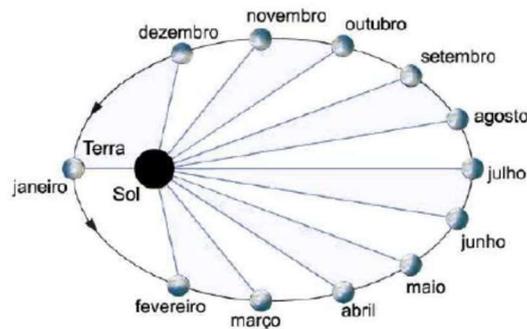


Eratóstenes mediu o ângulo  $C$ , indicado na figura, e encontrou o valor de  $7^\circ$  (sete graus). Com isso ele determinou o raio da Terra ( $R$ ). Determine o valor encontrado por Eratóstenes para o raio da Terra, em km.

2. **(OBA – 2019)** As leis de Kepler são as três leis do movimento planetário definidas por Johannes Kepler (1571 – 1630), um matemático e astrônomo alemão. Kepler estudou as observações colhidas por mais de 20 anos pelo astrônomo Tycho Brahe (1546 — 1601) e descobriu, por volta de 1605, que os planetas seguiam três leis matemáticas:

- A primeira Lei (das órbitas) diz que a órbita de cada planeta é uma elipse, com o Sol em um dos focos.
- A segunda Lei (das áreas) afirma que a reta que une o planeta ao Sol varre áreas iguais em tempos iguais.
- A terceira Lei (harmônica) relaciona o quadrado do período orbital dos planetas diretamente com o cubo de sua distância média ao Sol.

A figura mostra a órbita da Terra (fora de escala e bem mais achatada) e as posições da Terra ao longo do ano.



Escreva C (certo) ou E (errado) na frente de cada afirmação.

- ( ) Entre março e abril a velocidade orbital da Terra é maior do que entre maio e junho.
- ( ) Em fevereiro a velocidade orbital da Terra está aumentando.
- ( ) A força da gravidade do Sol é a mesma em todos os pontos da órbita da Terra.
- ( ) Pela 3ª Lei de Kepler podemos afirmar que em julho a velocidade orbital da Terra é a menor.
- ( ) Pela 2ª Lei de Kepler podemos afirmar que em janeiro a velocidade orbital da Terra é a maior

3. **(OBA – 2020)** As três Leis de Kepler (1571 – 1630) descrevem os movimentos dos planetas, luas, cometas, satélites artificiais etc e para os planetas dizem o seguinte:

**1ª Lei (Lei das órbitas):** A órbita de cada planeta é uma elipse, estando o Sol num dos focos.

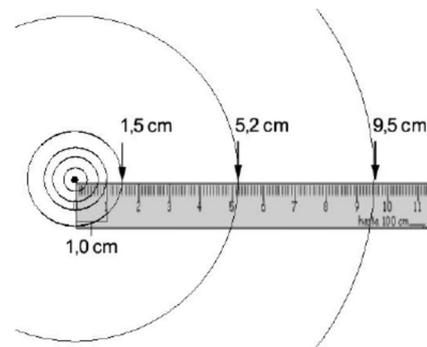
**2ª Lei (Lei das áreas):** Uma linha reta entre o Sol e o planeta “varre” áreas iguais em iguais intervalos de tempos.

**3ª Lei (Lei dos períodos):** O quadrado do Período orbital (P) dividido pelo cubo da distância (D) média do planeta ao Sol é uma constante (k), ou seja,  $P^2/D^3 = k$

A figura ao lado traz o esquema das órbitas dos 6 primeiros planetas do Sistema Solar, na escala correta de distância, onde 1,0 cm = 1,0 UA. Note que a constante k é a mesma para todos os astros que orbitam o Sol e depende das unidades usadas para se expressar P e D. Por exemplo, no caso da Terra, se usarmos o período, P, em unidades de ANOS TERRESTRES ( $A_T$ ), e a distância média (D) ao Sol, em UNIDADE ASTRONÔMICA, UA, que é a distância entre o Sol (bolinha preta no centro da figura, fora de escala) e a Terra (terceira órbita), então temos:

$$k = 1 \frac{A_T^2}{UA^3}$$

Dito isso, marque com um X a opção que traz o período (P) aproximado de Júpiter (em  $A_T$ ), sendo que a distância média de Júpiter ao Sol, em UA, está na figura.



- ( ) 12  $A_T$   
 ( ) 3  $A_T$   
 ( ) 5,2  $A_T$   
 ( ) 27  $A_T$

4. **(OBA – 2021)** A tabela mostra as massas e distâncias (expressas em unidades arbitrárias) entre quatro pares diferentes de estrelas binárias (casos I, II, III e IV).

| Caso | Massa da estrela 1 | Distância entre a estrela 1 e a estrela 2 | Massa da estrela 2 |
|------|--------------------|---|--------------------|
| I    | 1                  | 1   | 5                  |
| II   | 2                  | 2   | 8                  |
| III  | 4                  | 2   | 2                  |
| IV   | 8                  | 3   | 4                  |

Assinale a alternativa que traz a ordem crescente da intensidade das forças gravitacionais exercidas entre os pares em cada caso.

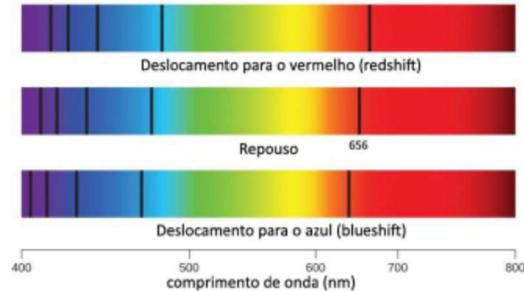
- a) II, III, IV, I  
 b) III, II, IV, I  
 c) I, II, IV, III  
 d) IV, III, II, I  
 e) III, IV, II, I

5. **(OBA – 2021)** Um satélite artificial, de massa  $m$ , encontra-se em uma órbita circular, de raio  $r$ , em torno da Terra. Seu período orbital vale  $P$ . Assinale a alternativa que traz o que aconteceria com o raio da órbita se o satélite tivesse o quádruplo da sua massa e mantivesse o mesmo período orbital.

- a) Diminuiria de um quarto.  
 b) Diminuiria para  $r/16$ .  
 c) Aumentaria para  $4r$ .  
 d) Permaneceria inalterado.  
 e) Aumentaria para  $16r$ .

## Astronomia – Física dos métodos de detecção dos Exoplanetas

1. (OBA – 2021) Uma linha importante no espectro de absorção das estrelas ocorre no comprimento de onda de repouso de 656 nm. A imagem a seguir exemplifica como esta linha pode ser observada no espectro de uma estrela.



Imagine que você observou, do seu observatório, cinco estrelas e descobriu que essa linha de absorção é observada nos seguintes comprimentos de onda, mostrados na tabela, para cada uma das cinco estrelas.

| Estrela | Comprimento de onda da linha de absorção |
|---------|--|
| A       | 654 nm                                   |
| B       | 659 nm                                   |
| C       | 656 nm                                   |
| D       | 657 nm                                   |
| E       | 655 nm                                   |

Leia atentamente as afirmações abaixo.

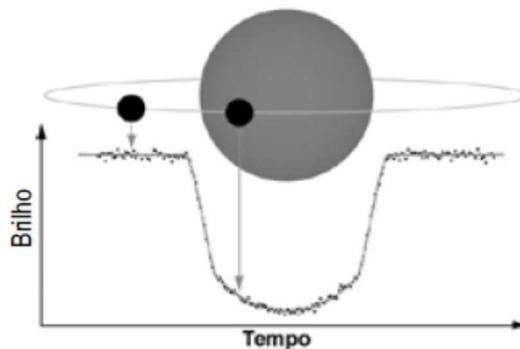
- 1) A estrela A está se afastando de nós.
- 2) A estrela E está se aproximando de nós a mais de 450 km/s.
- 3) A estrela B se afasta de nós mais rapidamente do que a estrela D
- 4) Entre as estrelas, a estrela D é a que tem a menor velocidade de aproximação de nós.
- 5) A velocidade radial da estrela C é nula.

Assinale a única alternativa que contém a sequência correta de Falso e Verdadeiro das afirmações acima.

- a) 3 Falsa - 5 Falsa - 2 Verdadeira - 1 Verdadeira - 4 Falsa
- b) 3 Verdadeira - 5 Verdadeira - 2 Falsa - 1 Verdadeira - 4 Falsa
- c) 3 Verdadeira - 5 Verdadeira - 2 Verdadeira - 1 Falsa - 4 Falsa
- d) 3 Falsa - 5 Falsa - 2 Falsa - 1 Verdadeira - 4 Verdadeira
- e) 3 Verdadeira - 5 Verdadeira - 2 Verdadeira - 1 Falsa - 4 Verdadeira

2. (OBA – 2017) Outro método usado para detectar planetas extrassolares é conhecido pelo nome de método de trânsito planetário. Como as estrelas são muito maiores do que os planetas e emitem luz, o brilho da estrela fica ligeiramente reduzido

pelo bloqueio que o disco do planeta causa durante o seu trânsito, como ilustra a figura ao lado. Cerca de 75% dos planetas extrassolares descobertos até o momento (cerca de 3.600) o foram por este método. Em fevereiro de 2017 foi anunciada a descoberta, pelo método do trânsito, do sistema planetário extrassolar TRAPPIST-1 com sete planetas, tipo terrestre, ao seu redor, sendo 4 de tamanho similar à Terra e três deles dentro da chamada zona de habitabilidade.



Todos os planetas, incluindo os extrassolares, devem obedecer à terceira lei de Kepler, a qual é dada por:

$$\frac{T^2}{D^3} = \frac{4\pi^2}{G(M + m)} = K$$

onde  $T$  é o período do planeta,  $D$  sua distância média à estrela,  $M$  a massa da estrela,  $m$  a massa do planeta,  $\pi \cong 3,14$ ,  $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{kg}^{-1} \text{m}^3 \text{s}^{-2}$  e  $K$  é a constante de Kepler.

a) Chamando  $K_S$  para o Sistema Solar e  $K_T$  para o Sistema Trappist-1, calcule a razão entre  $K_S$  e  $K_T$ , ou seja, calcule  $\frac{K_S}{K_T}$ .

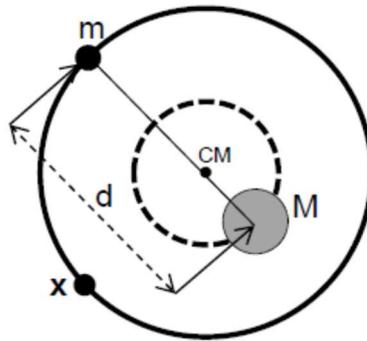
**Resposta a):**.....

**Dados:** O período orbital da Terra ( $T$ ) é de 360 dias (para simplificar as contas) e sua distância média ao Sol ( $D$ ) é de 1 UA (Unidade Astronômica). O período orbital do planeta “d” ( $T_d$ ) de Trappist-1 é de 4 dias e sua distância média a Trappist-1 ( $D_d$ ) é de 0,02 UA. Como estrelas têm muito mais massa que planetas, despreze  $m$  na Lei de Kepler. Use  $M_S$  para a massa do Sol e  $M_T$  para a massa de Trappist-1.

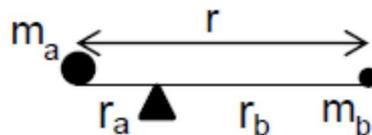
b) Calcule quantas vezes a massa da estrela Trappist-1,  $M_T$ , é menor do que a do Sol,  $M_S$ , isto é, faça  $\frac{M_T}{M_S}$ .

**Resposta b):**.....

3. (OBA – 2017) Existem alguns métodos para identificar planetas extrassolares, todos com suas limitações, claro. Um deles é o da detecção da variação da velocidade radial da estrela, devido à presença de um planeta ao seu redor. Ou seja, quando o plano da órbita do planeta extrassolar está na direção da linha de visada da Terra, a estrela ora se aproxima e ora se afasta de nós. Esta oscilação pode ser observada no seu espectro e com isso pode-se determinar a massa do planeta que esta estrela possui. Esta oscilação ocorre porque ambos (estrela e planeta) giram em torno do centro de massa (CM) ou baricentro do sistema. Na figura ao lado representamos a estrela **51 Pegasi**, da constelação de Pégaso, de magnitude aparente 5,5, distante 51 anos-luz, de massa  $M = 2,2 \times 10^{30}$  kg e sua órbita, quase circular (linha tracejada) e seu planeta chamado **51 Pegasi b**, com período orbital de 4,2 dias, de massa  $m = 9,5 \times 10^{26}$  kg e sua órbita (também quase circular). Note que:  $M = 2.316m$ . Os centros de massa da estrela e do planeta estão separados, em média, pela distância  $d = 8 \times 10^6$  km.



a) Qual é a distância do centro da **51 Pegasi** ao baricentro do sistema? Vamos ajudar. Você sabe que quando está numa gangorra e do outro lado está alguém mais pesado que você, ele precisa ficar mais perto do centro da gangorra e você mais longe do centro dela, se desejarem, por exemplo, deixar a gangorra parada com ambos equilibrados na horizontal. Existe uma equação que relaciona suas massas ( $m_a$  e  $m_b$ ) e respectivas distâncias ( $r_a$  e  $r_b$ ) ao centro da gangorra para que ela fique em equilíbrio:  $m_a \times r_a = m_b \times r_b$ . Já entendeu, certo? É só colocar estrela e planeta na gangorra.



Resposta a):..... km

b) O período orbital de **51 Pegasi b** é de 4,2 dias. Qual é o período orbital de **51 Pegasi**?

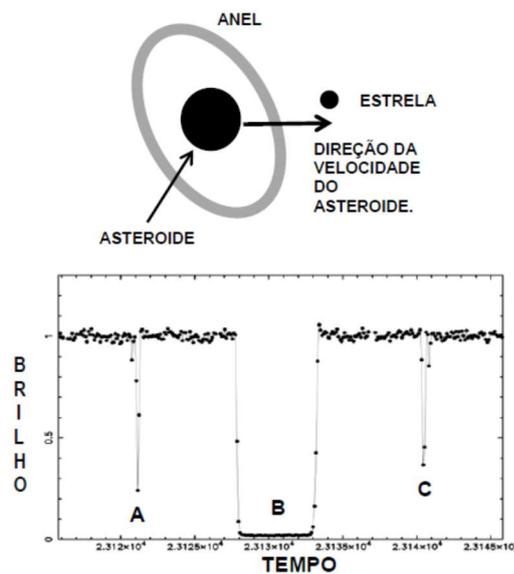
Resposta b):..... dias

c) Faça um **X** no círculo tracejado onde estará **51 Pegasi** quando **51 Pegasi b** estiver na posição **X** indicada na figura acima.

4. (OBA – 2015) Em 2014, Felipe Braga Ribas, jovem astrônomo do Observatório Nacional, com a colaboração de vários outros astrônomos, descobriu o primeiro asteroide com anéis, Chariklo. O Chariklo move-se a 20 km/h e está entre as órbitas de Saturno e Urano. Chariklo passou na frente de uma estrela, conforme ilustra, esquematicamente, a figura abaixo à esquerda, e isso permitiu descobrir que ele tem anel, qual o tamanho e o raio do anel, bem com o tamanho do asteroide etc. A figura abaixo à direita mostra o brilho da estrela ocultada por Chariklo. Note que ela tinha um brilho constante, mas no instante **A** seu brilho caiu para quase zero, no instante **B** seu brilho foi para zero e no instante **C** seu brilho caiu quase pela metade, depois ficou constante novamente.

a) Escreva a letra **A** onde estava, aproximadamente, a estrela sobre o anel (ou sobre o asteroide) da figura abaixo à esquerda quando ela foi ocultada no instante **A**.

b) Escreva as letras **B** e **C** onde estava, aproximadamente, a estrela sobre o anel (ou sobre o asteroide) da figura abaixo à esquerda quando ela foi ocultada nos instantes **B** e **C**.

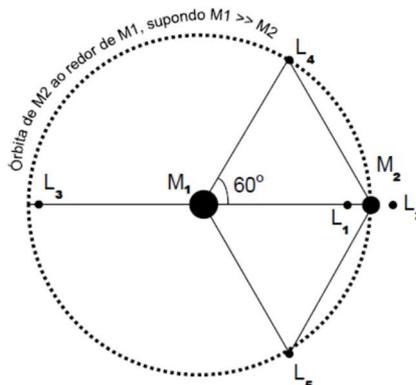


## Astronáutica

1. **(OBA – 2018)** Com o desenvolvimento da astronáutica está cada vez mais fácil colocarmos telescópios em órbita. Contudo, alguns, como o SOHO (Solar and Heliospheric Observatory = Observatório Solar e Heliosférico), precisam girar ao redor do Sol no mesmo período que a Terra e ficar entre o Sol e a Terra, pois precisa observar o Sol 24h/dia. Mas pela terceira lei de Kepler  $T^2 = k D^3$ , ou seja, quanto menor a distância ao Sol, menor será o período e vice-versa. Logo, não seria possível colocar o SOHO e outros satélites para girarem ao redor do Sol, com o mesmo período da Terra estando num lugar diferente da Terra. Mas o italiano Joseph-Louis de Lagrange, em 1772, descobriu que há cinco pontos, chamados pontos Lagrangianos, num sistema Terra-Sol, ou Terra-Lua, ou Sol-planeta, que são “especiais”. O ponto  $L_1$  fica na linha Terra-Sol, entre Terra e Sol e um observatório ali colocado move-se com o mesmo período da Terra, tal como faz o SOHO, o qual nunca é eclipsado pela Lua e recebe sempre a mesma irradiação do Sol. Veja a figura ao lado. O ponto  $L_2$  fica depois do cone de sombra (umbra) da Terra, será o local de posicionamento do Telescópio Espacial James Webb e terá período de translação igual ao da Terra. Os pontos  $L_4$  e  $L_5$  ficam sobre a órbita da Terra e são localizados por um triângulo equilátero com aresta igual à distância Terra-Sol.

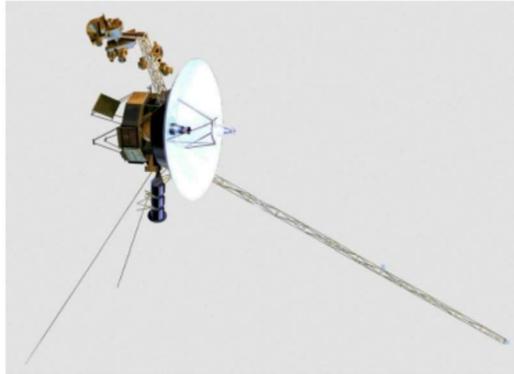
a) Considere que  $M_1$  seja a massa do Sol,  $M_2$  a massa da Terra,  $R$  a distância Terra-Sol e  $r$  a distância da Terra aos pontos Lagrangianos  $L_1$  e  $L_2$  (são simétricos em relação a  $M_2$ ). Pode-se demonstrar que  $r$  é dado por:  $r \approx \sqrt[3]{\frac{M_2}{3M_1}} R = 1,4784 \times 10^8 \text{ km}$ .

Sabendo-se que a distância média à Lua é de 384.000 km, calcule quantas vezes  $r$  está mais distante do que a órbita da Lua.



b) Conforme explicado, a vantagem dos pontos  $L_1$ ,  $L_2$  e  $L_3$  é que mesmo estando à diferentes distâncias da Terra ao Sol, ainda assim, satélites ali colocados teriam o mesmo período de translação da Terra ao redor do Sol, isto é, 365,25 dias. Qual seria o período de translação de satélites colocados nos pontos Lagrangianos  $L_4$  e  $L_5$ ? A resposta só vale com uma justificativa.

2. **(OBA – 2021)** A Voyager 2 é uma nave robótica norte-americana lançada pela NASA em 20 de agosto de 1977. A sonda se aproximou dos quatro planetas gigantes do Sistema Solar, produzindo valiosíssimos resultados científicos e as melhores fotografias daqueles corpos e dos seus satélites obtidas até então. Tornou-se o quarto artefato humano a ultrapassar a órbita de Plutão, em 1989, e no final de 2005 encontrava-se a uma distância de cerca de 75 UA (unidades astronômicas) da Terra.



Voyager 2. Crédito da imagem: NASA (domínio público) Sua velocidade atual em relação ao Sol é de 15,3 km/s, o que equivale a cerca de 3,23 UA/ano. Assinale a alternativa que traz a que distância, em UA, a Voyager 2 estará da Terra no final de 2025.

- a) 136,4
- b) 139,6
- c) 75,0
- d) 171,9
- e) 107,3

3. **(OBA – 2021)** O jipe-robô Perseverance, da NASA, para pousar em segurança na superfície marciana, em 2021, teve que realizar uma sequência de manobras aeroespaciais muito arriscadas. Com 1.025 kg de massa, ao chegar a 120 km da superfície marciana, o Perseverance iniciou o processo de entrada (registrado por tempo = 0 s na tabela abaixo), descida e pouso. Até o acionamento do paraquedas a velocidade foi reduzida tão-somente em função do atrito entre a cápsula que protege o Perseverance e a atmosfera marciana. Depois o paraquedas foi acionado e funcionou por 2 minutos, quando foi ejetado e entraram em funcionamento 8 retrofoguetes que reduziram a velocidade final de 306 km/h para 3,6 km/h.

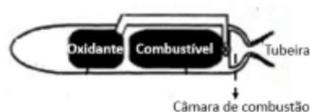
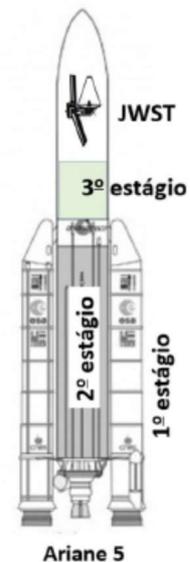
| Evento   | Tempo [s] |
|--|-----------|
| Contato com a atmosfera marciana                     | 0         |
| Acionamento do paraquedas                            | 240       |
| Ejeção do paraquedas e acionamento dos retrofoguetes | 360       |
| Ejeção do sistema de retrofoguetes e pouso           | 420       |

| Altitude [km] | Velocidade [km/h] | Velocidade [m/s] |
|---------------|-------------------|------------------|
| 120           | 19.800            | 5.500            |
| 11            | 1.512             | 420              |
| 2             | 306               | 85               |
| 0,02          | 3,6               | 1                |

Baseado nessas informações, assinale a opção que traz o valor aproximado da desaceleração do Perseverance devido ao acionamento do paraquedas.

- a)  $-2,8 \text{ m/s}^2$
- b)  $-10,1 \text{ m/s}^2$
- c)  $-21,2 \text{ m/s}^2$
- d)  $-1,4 \text{ m/s}^2$
- e)  $-5,0 \text{ m/s}^2$

4. **(OBA – 2022)** No Natal de 2021, uma obra-prima da engenharia espacial foi lançada ao espaço. Trata-se do Telescópio Espacial James Webb (James Webb Space Telescope - JWST), com 6.000 kg de massa, que levou décadas para ser desenvolvido e demandou investimentos de 10 bilhões de dólares dos EUA, Europa e Canadá. Para posicionar o JWST no ponto de Lagrange  $L_2$ , situado a 1,5 milhão de quilômetros da Terra (ao longo da linha Terra-Lua), foi utilizado o foguete europeu Ariane 5, que possui 3 estágios, conforme ilustrado na figura. Os 2 motores do 1º estágio do Ariane 5 utilizam propelente sólido e funcionam por 2 minutos, após os quais são liberados, caindo no mar. O motor do 2º estágio funciona por 9 minutos, findos os quais o estágio é ejetado e o motor do 3º estágio é acionado. Este funciona por 16 minutos. O 2 e 3 estágios fazem uso de propelente líquido: hidrogênio (combustível) e oxigênio (oxidante). A energia liberada durante a reação química entre o H e o O gera vapor de água a 3.000 C de temperatura e 100 atmosferas de pressão no interior da câmara de combustão. É a expansão desses gases através da tubeira que gera a força de empuxo necessária ao movimento do Ariane 5.



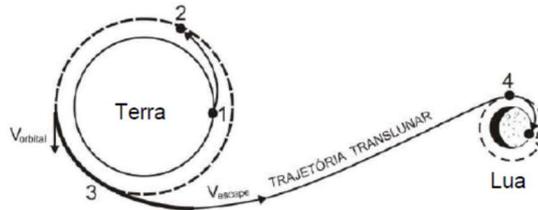
**Item a)** Considere que no instante do lançamento a massa total do foguete Ariane 5 é de 800.000 kg, qual é a porcentagem desse total que corresponde apenas ao foguete Ariane 5?

**Item b)** Considerando-se que as ondas eletromagnéticas enviadas pelo sistema de comando na Terra para o JWST viajam à velocidade da luz (300.000 km/s), qual é o tempo necessário para que um comando chegue até o telescópio espacial?

Assinale a alternativa que contém as respostas corretas aos itens “a” e “b” acima e na sequência correta. Registre abaixo as suas contas ou explicações.

- a) 79,40% e 3,0 s
- b) 79,40% e 4,0 s
- c) 80,00% e 5,0 s
- d) 99,25% e 5,0 s
- e) 99,25% e 3,0 s

5. (OBA – 2019) *Era quase meia noite, horário de Brasília, do dia 20 de julho de 1969 quando o astronauta norte-americano Neil Armstrong pisou na superfície da Lua. Em 2019 comemoramos 50 anos desse evento, que nos lembra o quão longe podemos ir com criatividade, engenhosidade, determinação e trabalho. Os 384.000 km que separam a Terra da Lua foram vencidos por meio das seguintes etapas: 1. Lançamento do Saturno V; 2. Órbita da Terra; 3. Período de injeção na trajetória translunar; 4. Órbita da Lua; e 5. Pousou lunar, mostrados esquematicamente na figura.*



a) O 1º estágio do Saturno V é composto de 5 motores F-1. Cada um desses motores produz o empuxo  $E$  (força) de  $6.900.000 \text{ N}$ . Considerando que a massa  $m$  inicial do Saturno V é de  $3.000.000 \text{ kg}$  e  $g \approx 10 \text{ m/s}^2$ , calcule a aceleração inicial do Saturno V, em  $\text{m/s}^2$ . Dica: Utilize a segunda Lei de Newton e considere que apenas as forças de empuxo e peso atuam sobre o foguete, que voa sempre na vertical.

b) O valor da aceleração que você obteve acima só é válido para o primeiro instante de voo porque, a partir da ignição dos 5 motores F-1 que equipam o 1º estágio do Saturno V, sua massa é reduzida à taxa de  $15.000 \text{ kg/s}$ , em função do consumo de propelente. Sabendo que os 5 motores F-1 funcionam por 160 segundos, qual será a aceleração do Saturno V quando tiverem transcorridos 100 segundos de voo? Em seus cálculos considere que  $g \approx 10 \text{ m/s}^2$  e o Empuxo dos motores não varia com a altitude.