

ORGANIZADORES

CARLOS ALBERTO DE LIMA RIBEIRO

MARILDO GERALDÊTE PEREIRA

PAULO CÉSAR DA ROCHA POPPE

PRODUTOS
EDUCACIONAIS
DO MESTRADO
PROFISSIONAL
EM ASTRONOMIA

PARADIDÁTICOS I

ORGANIZADORES

CARLOS ALBERTO DE LIMA RIBEIRO

MARILDO GERALDÊTE PEREIRA

PAULO CÉSAR DA ROCHA POPPE

PRODUTOS
EDUCACIONAIS
DO MESTRADO
PROFISSIONAL
EM ASTRONOMIA

PARADIDÁTICOS I

I SÃO PAULO I 2024 I



DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)

P964

Produtos Educacionais do Mestrado Profissional em
Astronomia: Paradidáticos I / Organização Carlos Alberto
de Lima Ribeiro, Marildo Geraldête Pereira, Paulo César da
Rocha Poppe. – São Paulo: Pimenta Cultural, 2024

Livro em PDF

ISBN 978-85-7221-123-9

DOI 10.31560/pimentacultural/2024.11239

1. Ensino de Astronomia. 2. Evolução Estelar. 3. Detritos
Espaciais. 4. Física Moderna. 5. Educação. I. Ribeiro, Carlos
Alberto de Lima (Org.). II. Pereira, Marildo Geraldête (Org.).
III. Poppe, Paulo César da Rocha (Org.). IV. Título.

CDD 370.520

Índice para catálogo sistemático

I. Educação - Astronomia

Simone Sales – Bibliotecária – CRB: ES-000814/0

Copyright © Pimenta Cultural, alguns direitos reservados.

Copyright do texto © 2024 os autores.

Copyright da edição © 2024 Pimenta Cultural.

Esta obra é licenciada por uma Licença Creative Commons:

Atribuição-NãoComercial-SemDerivações 4.0 Internacional - (CC BY-NC-ND 4.0).

Os termos desta licença estão disponíveis em:

<<https://creativecommons.org/licenses/>>.

Direitos para esta edição cedidos à Pimenta Cultural.

O conteúdo publicado não representa a posição oficial da Pimenta Cultural.

Direção editorial	Patricia Bieging Raul Inácio Busarello
Editora executiva	Patricia Bieging
Coordenadora editorial	Landressa Rita Schiefelbein
Assistente editorial	Júlia Marra Torres
Diretor de criação	Raul Inácio Busarello
Assistente de arte	Naiara Von Groll
Edição eletrônica	Andressa Karina Voltolini Milena Pereira Mota
Imagens da capa	Freepik - kjpgarter, vecstock
Tipografias	Acumin, Montserrat, Gobold
Revisão	Landressa Rita Schiefelbein
Organizadores	Carlos Alberto de Lima Ribeiro Marildo Geraldête Pereira Paulo César da Rocha Poppe

PIMENTA CULTURAL

São Paulo • SP

+55 (11) 96766 2200

livro@pimentacultural.com

www.pimentacultural.com



2 0 2 4

CONSELHO EDITORIAL CIENTÍFICO

Doutores e Doutoradas

Adilson Cristiano Habowski

Universidade La Salle, Brasil

Adriana Flávia Neu

Universidade Federal de Santa Maria, Brasil

Adriana Regina Vettorazzi Schmitt

Instituto Federal de Santa Catarina, Brasil

Aguimario Pimentel Silva

Instituto Federal de Alagoas, Brasil

Alaim Passos Bispo

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil

Alaim Souza Neto

Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Alessandra Knoll

Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Alessandra Regina Müller Germani

Universidade Federal de Santa Maria, Brasil

Aline Corso

Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Brasil

Aline Wendpap Nunes de Siqueira

Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil

Ana Rosangela Colares Lavand

Universidade Federal do Pará, Brasil

André Gobbo

Universidade Federal da Paraíba, Brasil

Andressa Wiebusch

Universidade Federal de Santa Maria, Brasil

Andreza Regina Lopes da Silva

Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Angela Maria Farah

Universidade de São Paulo, Brasil

Anísio Batista Pereira

Universidade Federal de Uberlândia, Brasil

Antonio Edson Alves da Silva

Universidade Estadual do Ceará, Brasil

Antonio Henrique Coutelo de Moraes

Universidade Federal de Rondonópolis, Brasil

Arthur Vianna Ferreira

Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil

Ary Albuquerque Cavalcanti Junior

Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil

Asterlindo Bandeira de Oliveira Júnior

Universidade Federal da Bahia, Brasil

Bárbara Amaral da Silva

Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil

Bernadette Beber

Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Bruna Carolina de Lima Siqueira dos Santos

Universidade do Vale do Itajaí, Brasil

Bruno Rafael Silva Nogueira Barbosa

Universidade Federal da Paraíba, Brasil

Caio Cesar Portella Santos

Instituto Municipal de Ensino Superior de São Manuel, Brasil

Carla Wanessa do Amaral Caffagni

Universidade de São Paulo, Brasil

Carlos Adriano Martins

Universidade Cruzeiro do Sul, Brasil

Carlos Jordan Lapa Alves

Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Brasil

Caroline Chioquetta Lorenset

Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Cássio Michel dos Santos Camargo

Universidade Federal do Rio Grande do Sul-Faced, Brasil

Christiano Martino Otero Avila

Universidade Federal de Pelotas, Brasil

Cláudia Samuel Kessler

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

Cristiana Barcelos da Silva.

Universidade do Estado de Minas Gerais, Brasil

Cristiane Silva Fontes

Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil

Daniela Susana Segre Guertzenstein

Universidade de São Paulo, Brasil

Daniele Cristine Rodrigues

Universidade de São Paulo, Brasil

Dayse Centurion da Silva

Universidade Anhanguera, Brasil

Dayse Sampaio Lopes Borges
Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Brasil

Diego Pizarro
Instituto Federal de Brasília, Brasil

Dorama de Miranda Carvalho
Escola Superior de Propaganda e Marketing, Brasil

Edson da Silva
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil

Elena Maria Mallmann
Universidade Federal de Santa Maria, Brasil

Eleonora das Neves Simões
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

Eliane Silva Souza
Universidade do Estado da Bahia, Brasil

Elvira Rodrigues de Santana
Universidade Federal da Bahia, Brasil

Éverly Pegoraro
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil

Fábio Santos de Andrade
Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil

Fabrcia Lopes Pinheiro
Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Brasil

Felipe Henrique Monteiro Oliveira
Universidade Federal da Bahia, Brasil

Fernando Vieira da Cruz
Universidade Estadual de Campinas, Brasil

Gabriella Eldereti Machado
Universidade Federal de Santa Maria, Brasil

Germano Ehlert Pollnow
Universidade Federal de Pelotas, Brasil

Geymeesson Brito da Silva
Universidade Federal de Pernambuco, Brasil

Giovanna Ofretorio de Oliveira Martin Franchi
Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Handerson Leylton Costa Damasceno
Universidade Federal da Bahia, Brasil

Hebert Elias Lobo Sosa
Universidad de Los Andes, Venezuela

Helciclever Barros da Silva Sales
*Instituto Nacional de Estudos
e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira, Brasil*

Helena Azevedo Paulo de Almeida
Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil

Hendy Barbosa Santos
Faculdade de Artes do Paraná, Brasil

Humberto Costa
Universidade Federal do Paraná, Brasil

Igor Alexandre Barcelos Graciano Borges
Universidade de Brasília, Brasil

Inara Antunes Vieira Willering
Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Jaziel Vasconcelos Dorneles
Universidade de Coimbra, Portugal

Jean Carlos Gonçalves
Universidade Federal do Paraná, Brasil

Jocimara Rodrigues de Sousa
Universidade de São Paulo, Brasil

Joelson Alves Onofre
Universidade Estadual de Santa Cruz, Brasil

Jónata Ferreira de Moura
Universidade São Francisco, Brasil

Jorge Eschriqui Vieira Pinto
Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Brasil

Jorge Luís de Oliveira Pinto Filho
Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil

Juliana de Oliveira Vicentini
Universidade de São Paulo, Brasil

Julierme Sebastião Morais Souza
Universidade Federal de Uberlândia, Brasil

Junior César Ferreira de Castro
Universidade de Brasília, Brasil

Katia Bruginski Mulik
Universidade de São Paulo, Brasil

Laionel Vieira da Silva
Universidade Federal da Paraíba, Brasil

Leonardo Pinheiro Mozdzenski
Universidade Federal de Pernambuco, Brasil

Lucila Romano Tragtenberg
Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, Brasil

Lucimara Rett
Universidade Metodista de São Paulo, Brasil

Manoel Augusto Polastreli Barbosa
Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

Marcelo Nicomedes dos Reis Silva Filho
Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Brasil

Marcio Bernardino Sirino
Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Brasil

Marcos Pereira dos Santos
Universidad Internacional Iberoamericana del Mexico, México

Marcos Uzel Pereira da Silva

Universidade Federal da Bahia, Brasil

Maria Aparecida da Silva Santandel

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil

Maria Cristina Giorgi

Centro Federal de Educação Tecnológica

Celso Suckow da Fonseca, Brasil

Maria Edith Maroca de Avelar

Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil

Marina Bezerra da Silva

Instituto Federal do Piauí, Brasil

Mauricio José de Souza Neto

Universidade Federal da Bahia, Brasil

Michele Marcelo Silva Bortolai

Universidade de São Paulo, Brasil

Mônica Tavares Orsini

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil

Nara Oliveira Salles

Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil

Neli Maria Mengalli

Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, Brasil

Patrícia Biegging

Universidade de São Paulo, Brasil

Patricia Flavia Mota

Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil

Raul Inácio Busarello

Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Raymundo Carlos Machado Ferreira Filho

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

Roberta Rodrigues Ponciano

Universidade Federal de Uberlândia, Brasil

Robson Teles Gomes

Universidade Católica de Pernambuco, Brasil

Rodiney Marcelo Braga dos Santos

Universidade Federal de Roraima, Brasil

Rodrigo Amancio de Assis

Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil

Rodrigo Sarruge Molina

Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

Rogério Rauber

Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Brasil

Rosane de Fatima Antunes Obregon

Universidade Federal do Maranhão, Brasil

Samuel André Pompeo

Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Brasil

Sebastião Silva Soares

Universidade Federal do Tocantins, Brasil

Silmar José Spinardi Franchi

Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Simone Alves de Carvalho

Universidade de São Paulo, Brasil

Simoni Urnau Bonfiglio

Universidade Federal da Paraíba, Brasil

Stela Maris Vaucher Farias

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

Tadeu João Ribeiro Baptista

Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno

Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Brasil

Taíza da Silva Gama

Universidade de São Paulo, Brasil

Tania Micheline Miorando

Universidade Federal de Santa Maria, Brasil

Tarcísio Vanzin

Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Tascieli Feltrin

Universidade Federal de Santa Maria, Brasil

Tayson Ribeiro Teles

Universidade Federal do Acre, Brasil

Thiago Barbosa Soares

Universidade Federal do Tocantins, Brasil

Thiago Camargo Iwamoto

Universidade Estadual de Goiás, Brasil

Thiago Medeiros Barros

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil

Tiago Mendes de Oliveira

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Brasil

Vanessa Elisabete Raue Rodrigues

Universidade Estadual de Ponta Grossa, Brasil

Vania Ribas Ulbricht

Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Wellington Furtado Ramos

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil

Wellton da Silva de Fatima

Instituto Federal de Alagoas, Brasil

Yan Masetto Nicolai

Universidade Federal de São Carlos, Brasil

PARECERISTAS E REVISORES(AS) POR PARES

Avaliadores e avaliadoras Ad-Hoc

Alessandra Figueiró Thornton
Universidade Luterana do Brasil, Brasil

Alexandre João Appio
Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Brasil

Bianka de Abreu Severo
Universidade Federal de Santa Maria, Brasil

Carlos Eduardo Damian Leite
Universidade de São Paulo, Brasil

Catarina Prestes de Carvalho
Instituto Federal Sul-Rio-Grandense, Brasil

Elisiene Borges Leal
Universidade Federal do Piauí, Brasil

Elizabeth de Paula Pacheco
Universidade Federal de Uberlândia, Brasil

Elton Simomukay
Universidade Estadual de Ponta Grossa, Brasil

Francisco Geová Goveia Silva Júnior
Universidade Potiguar, Brasil

Indiamaris Pereira
Universidade do Vale do Itajaí, Brasil

Jacqueline de Castro Rimá
Universidade Federal da Paraíba, Brasil

Lucimar Romeu Fernandes
Instituto Politécnico de Bragança, Brasil

Marcos de Souza Machado
Universidade Federal da Bahia, Brasil

Michele de Oliveira Sampaio
Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

Pedro Augusto Paula do Carmo
Universidade Paulista, Brasil

Samara Castro da Silva
Universidade de Caxias do Sul, Brasil

Thais Karina Souza do Nascimento
Instituto de Ciências das Artes, Brasil

Viviane Gil da Silva Oliveira
Universidade Federal do Amazonas, Brasil

Weyber Rodrigues de Souza
Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Brasil

William Roslindo Paranhos
Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Parecer e revisão por pares

Os textos que compõem esta obra foram submetidos para avaliação do Conselho Editorial da Pimenta Cultural, bem como revisados por pares, sendo indicados para a publicação.

AUXPPG - Termo de Outorga nº 023/2021 - UEFS

A realização desta obra foi viabilizada pelos recursos oriundos do Termo de Outorga nº 023/2021 da Universidade Estadual de Feira de Santana com objetivo de estimular o desenvolvimento científico, a pesquisa, a capacitação científica e tecnológica, e a inovação por meio da Lei Estadual nº 11.174/2008 e no Decreto Estadual nº 9266/2004.

SUMÁRIO

Prefácio	14
-----------------------	-----------

CAPÍTULO 1

Cledston Mario de Santana Lima

Carlos Alberto de Lima Ribeiro

Compreendendo a evolução estelar a partir de conceitos de Física Moderna.....	16
--	-----------

Introdução	19
------------------	----

Os primeiros passos do ser humano.....	21
--	----

A contribuição dos gregos.....	24
--------------------------------	----

O Sol e as estrelas são a mesma coisa	27
---	----

Então, como o Sol produz energia?	34
---	----

Átomos, radioatividade e Física Nuclear: o caminho para o entendimento do mecanismo energético nas estrelas.....	40
--	----

Do átomo grego à proposta de Bohr.....	41
--	----

E a Física Nuclear, como fica?	51
--------------------------------------	----

Tópico especial: sobre as interações fundamentais.....	55
---	----

Estamos expostos o tempo todo às radiações.....	65
---	----

Fissão nuclear: a quebra do núcleo libera energia.....	66
---	----

A fusão nuclear: muito mais energia	70
--	----

Será que já temos algo a dizer sobre a fonte de energia nas estrelas?	72
Um pouco sobre evolução estelar: uma estrela nasce, cresce e morre	80
O elemento mais abundante do universo	81
Nucleossíntese primordial	84
Nucleossíntese estelar.....	85
A estrela entrou em desequilíbrio. E agora?.....	89
Como os astrônomos sabem tantas coisas sobre as estrelas?	95
A luz.....	96
E a Astronomia?	100
Radiação térmica.....	103
A solução dada por Planck.....	106
Classificação das estrelas	108
Tópico especial: as mulheres na ciência	114
Instrumentos de observação	117
Como o efeito fotoelétrico influenciou as observações astronômicas?	121
Como ficamos?	127
Referências	128

CAPÍTULO 2

Irineu Santos

Antônio Delson Conceição de Jesus

Astronomia para a educação básica	134
Cientistas negros homenageados	135
Apresentação.....	146
Introdução	148
O Big Bang não foi uma explosão.....	152
Galáxia.....	155
Via Láctea.....	161
Os planetas.....	165
O sistema solar	167
Estrutura do Sol.....	170
Planetas.....	173
Planeta anões.....	182
Exoplanetas	185
Os movimentos da Terra (rotação, revolução, precessão e nutação).....	187
Magnetosfera.....	194
Satélite natural	196
A Lua: o satélite natural da Terra.....	198
Eclipse	201
Efeito das marés.....	202
Asteroides	205

Pontos de lagrangianos e os asteroides troianos	211
A descoberta de Ceres, o primeiro asteroide.....	213
Pesquisa e monitoramento: asteroides, meteoroides e meteoritos.....	218
Monitoramento dos NEO (<i>Near Earth Object</i>).....	220
Colisões de asteroides	221
Evidências de colisão de asteroides.....	224
Meteoritos Bendegó e Chelyabinsk (colisões significativas mais recentes)	226
Cometas	232
Difusão das primeiras tecnologias.....	235
A influência da tecnologia espacial na sociedade	239
Voar: do sonho a realidade	240
Projetos pré-lunares	241
Missão lunar	244
Satélites artificiais	255
Órbitas dos satélites artificiais	258
O primeiro Observatório Nacional & Marcgraf	261
Projeto do Programa Nacional de Atividades Espaciais (PNAE)	264
Foguete espacial (VLS).....	267
Tecnologia espacial recente e prevista	268
Saiba um pouco mais de Astronomia	275
Temperatura dos planetas Mercúrio, Vênus e Terra.....	275

Órbitas elípticas dos planetas.....	276
Todos os pontos brilhantes no céu.....	278
Forças gravitacionais e o efeito das marés	282
Demonstração do limite de Roche.....	288
Cálculo da órbita de um satélite artificial	290
Cálculo da velocidade de escape da Terra	292
Equação do foguete.....	294
Cálculo do tempo que a luz do Sol leva para chegar à Terra.....	299
Cálculo de volume dos astros	300
Cálculo da aceleração da gravidade.....	304
Sugestão de atividade para a sala de aula	306
Questões de Astronomia resolvidas	313
Referências	324

CAPÍTULO 3

José Augusto Reis Campos dos Santos

Nazareno Getter Ferreira de Medeiros

Vera Aparecida Fernandes Martin

Novas tecnologias aplicadas ao ensino:

uma proposta de introdução à Astronomia	342
Agradecimentos	344
Introdução	346
Ambientação:	
o meu universo	348
Apresentação do Curso.....	349
Informações do ABC da Astronomia:	
Astronomia (TV Escola).....	356

Informações do ABC da Astronomia: Heliocentrismo (TV Escola).....	357
Observando o céu e a esfera celeste	359
Informações do ABC da Astronomia: Constelações (TV Escola)	359
Informações do ABC da Astronomia: Zodiaco (TV Escola)	360
Informações do ABC da Astronomia: Cruzeiro do Sul (TV Escola).....	361
Informações do ABC da Astronomia: Noite (TV Escola).....	362
Informações do ABC da Astronomia: Estrelas (TV Escola)	363
Informações do ABC da Astronomia: Distância (TV Escola)	364
Informações do ABC da Astronomia: Universo (TV escola)	378
Informações do ABC da Astronomia: Rotações e revoluções (TV escola).....	379
Informações do ABC da Astronomia: A Lua (TV escola)	381
Informações do ABC da Astronomia: Fases da Lua (TV escola).....	382
Conclusão	
Questionário da participação no curso	434
Referências.....	448
Sobre os autores	452
Índice Remissivo.....	454

PREFÁCIO

O Mestrado Profissional em Astronomia (MPAstro) integra, desde agosto de 2013, o sistema de Pós-Graduação *Stricto Sensu* da Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS). A origem remonta, inicialmente, às ofertas regulares de capacitações destinadas aos professores e professoras da rede de ensino do Estado da Bahia, uma parceria frutífera entre o Observatório Astronômico Antares - UEFS e o Instituto Anísio Teixeira (IAT/SEC/BA). Em seguida, o amadurecimento suficiente para a implantação de uma Especialização Interdisciplinar em Astronomia nos anos de 2007 e 2008, o verdadeiro embrião para a construção do projeto do Mestrado Profissional em Astronomia no Departamento de Física da UEFS.

Como todo programa de pós-graduação com perfil profissional, destacamos que a importância do mesmo se revela no contato direto com os profissionais atuantes, ou seja, professores e professoras da Educação Básica e do Ensino Superior com formação nas grandes áreas do conhecimento científico, social e humano, como a Física, Química, Biologia, Matemática, Geografia, História, Pedagogia e Filosofia. Embora distintas, salientamos que todas elas dialogam ricamente com a ciência astronômica, o carro-chefe do projeto, ratificando, dessa maneira, a característica interdisciplinar das nossas ações acadêmicas nos campos do ensino, da pesquisa e da extensão universitária.

Ao longo de uma década de compromisso acadêmico, o MPAstro já contribui com a formação qualificada de aproximadamente 100 professores e professoras, justificando, em várias

dimensões, a nossa parcela de contribuição social para o Estado da Bahia. Em um contexto de alegria, apresentamos, com grande satisfação, os novos Produtos Educacionais – Coletânea de Paradidáticos (Livros 1 e 2) e de Manuais Didáticos (Livro 3) – elaborados ao longo do último quadriênio (2017-2020) no Mestrado Profissional em Astronomia (MPAstro) da Universidade Estadual de Feira de Santana.

Boa leitura e aprendizagem a todos!

Prof. Dr. Paulo César da Rocha Poppe

Docente e Orientador no Programa

Feira de Santana, 2023

1

*Cledston Mario de Santana Lima
Carlos Alberto de Lima Ribeiro*

COMPREENDENDO A EVOLUÇÃO ESTELAR A PARTIR DE CONCEITOS DE FÍSICA MODERNA

Este capítulo é um produto educacional oriundo de dissertação apresentada ao Mestrado Profissional em Astronomia da Universidade Estadual de Feira de Santana, cujo título é *Inserção de Tópicos de Física Moderna no Ensino Médio Usando a Astronomia como Mediadora do Processo de Ensino-Aprendizagem*, sob orientação do Prof. Dr. Carlos Alberto de Lima Ribeiro.

Para Jane, Luiz e Isabela.

INTRODUÇÃO

Há décadas que a Física Moderna se estabeleceu como área científica, promovendo uma mudança profunda no pensamento humano ao proporcionar avanços importantes em diversas áreas, desde a própria física, passando pela química e biologia, engenharias e até mesmo filosofia. Parte significativa da tecnologia atual só foi possível mediante aplicações diretas ou indiretas da Mecânica Quântica, por exemplo. Nesse sentido, levando em consideração esse aspecto, é de fundamental importância entender o mundo que nos cerca.

Sem nenhuma restrição à sua capacidade interna de revolução, uma das áreas que recebe suas contribuições é a Astronomia, que vem obtendo descobertas importantes na medida em que alia as mais poderosas técnicas de observação às mais poderosas teorias sobre o comportamento de partículas subatômicas, por exemplo. Seguindo esse raciocínio, as perguntas feitas na Astronomia foram acompanhando, de certa forma, a evolução dessas ideias, como foi o caso da composição das estrelas e a forma como elas produzem energia. Precisou-se do estabelecimento da Física Atômica e Nuclear para se chegar a uma resposta satisfatória. Pensando filosoficamente, o mundo do muito pequeno ajudou a entender o mundo do muito grande.

Grande parte dessas descobertas foram possíveis mediante o desenvolvimento da Espectroscopia onde, através da análise da luz emitida por uma estrela, pode-se deduzir quais elementos químicos a compõem, bem como que material se interpõe entre o objeto em questão e a Terra. Também é possível determinar a temperatura superficial de uma estrela com base na sua cor, partindo de modelos baseados nos estudos da Radiação de Corpo Negro, por exemplo, considerado o problema que deu início à Física Moderna.

O que dizer, então, sobre as técnicas de observação astronômica? Do olho humano usado de modo bastante eficiente há séculos em um céu favorecido pela baixa luminosidade da superfície, passando pela revolução da fotografia, que substituiu o processo de desenho das imagens à mão (Galileu que o diga), levando à culminância hoje com o uso dos Dispositivos de Carga Acoplada (CCD), que permitem a obtenção de imagens de objetos distantes.

Considerações como as feitas acima demonstram a estreita relação entre a Astronomia e a Física Moderna, bem como a importância desses temas na Educação Básica, particularmente no Ensino Médio. Aos estudantes que saem dessa fase do ensino deve ser permitido acesso a um conhecimento estabelecido há décadas e que, em certa medida, vem provocando mudanças de comportamento na sociedade. Extensas pesquisas têm sido feitas no sentido de se introduzir tópicos de Física Moderna no Ensino Médio, convergindo para uma necessidade premente de mudança na prática profissional.

O presente livro é resultado direto dessa mudança. Durante a vida acadêmica e profissional do autor, foram aplicadas diversas propostas de discussão desses temas na sala de aula e diante do Mestrado Profissional em Astronomia da Universidade Estadual de Feira de Santana, houve a convergência dessas ideias na aplicação de um projeto exclusivo com esse objetivo. A dissertação apresentada ao programa tem o título *Inserção de tópicos de Física Moderna no Ensino Médio usando a Astronomia como meio facilitador do processo de ensino-aprendizagem*, onde há a descrição das pesquisas e atividades realizadas.

A partir das notas de aulas, foi elaborado este capítulo, reunindo informações sobre a Evolução Estelar, com ênfase na colaboração das primeiras ideias sobre a Física Moderna, como descrito acima. Dúvidas e questionamentos feitos pelos estudantes durante as aulas foram incorporadas ao texto. O material não pretende ser formal ou esgotar os temas, pois se trata de um paradidático com conteúdo de nível diferente da etapa educacional em questão.

Um desses questionamentos foi sobre o papel das mulheres nas descobertas que estavam sendo apresentadas. Na Física Nuclear, em particular, foi discutida a presença de Lise Meitner e Madame Curie, rendendo boas discussões em sala de aula. O fato de que um grupo de mulheres foi importante no estudo do espectro das estrelas foi abordado, levando em conta a situação de que seus nomes permaneceram durante muito tempo ocultos dos materiais sobre o tema.

Ligado ao fato acima relatado, diante do erro conceitual sobre o Sol não ser uma estrela, os estudantes questionaram quando ele passou a ser visto como tal, com todas as suas características. À época das discussões, o assunto não foi abordado de maneira adequada, mas, ao ser incorporado à versão final do material, procurou-se dar ênfase ao fato de que o estudo dos espectros das estrelas e comparação com os espectros obtidos do Sol, ter levado à conclusão que todos sabem hoje: o Sol é uma estrela.

O capítulo é destinado a pessoas que gostam dos temas tratados, especialmente a estudantes e professores. O conteúdo é tratado de maneira histórica e conceitual, adaptando a linguagem formal de outras obras de nível superior para se adequar ao entendimento dos que possam se interessar. Tudo isso procurando trazer informações científicas com precisão suficiente para garantir uma boa compreensão do tema.

OS PRIMEIROS PASSOS DO SER HUMANO

Quem nunca se perguntou, em algum momento da vida, o que são as estrelas, esses pontos brilhantes no céu noturno que *dizem* estar distantes de nós? O termo “dizem” deve ser grifado, pois quem tem acesso a essas informações são os cientistas, astrônomos

competentes que dizem certas coisas que a maioria das pessoas não entende ou simplesmente não se interessa. Embora seja verdade o fato de que a maioria não se importa, é verdade também que o conhecimento desses fatos é extremamente importante para a compreensão da vida na Terra e, por que não, do seu futuro? Assuntos como fontes de energia alternativa, bem como a formação dos elementos químicos são extremamente atuais e é importante se conhecer os detalhes de como tudo isso é possível nesse universo vasto e ainda desconhecido. A partir do que os especialistas sabem hoje sobre as estrelas – a forma como produzem energia e como evoluem – é possível que, no futuro, permita o avanço de técnicas importantes para a obtenção de energia na Terra, já que grande parte das fontes atuais ou são esgotáveis ou produzem lixo perigoso.

Quando crescemos, também nos dizem que o Sol, o nosso Sol, é uma estrela assim como todas as outras. Mas daí surge uma outra pergunta: por que o Sol transforma a noite em dia e o mesmo não acontece com as outras estrelas? Por que o Sol se apresenta tão grande para nós quando comparado com outras estrelas? Crescemos mais e nos perguntamos: como o Sol e as outras estrelas produzem energia? Hoje, qualquer um pode acessar a grande rede e encontrar a resposta com apenas um clique. Mas, de certa forma, isso não tem muita graça, se o que se quer é o aprendizado de fato.

Em uma breve olhada na história de diversas civilizações mundiais, encontra-se a fase prolífica dos mitos, sejam eles de criação ou não. Muitos deles encontram ecos uns nos outros, talvez demonstrando uma certa linearidade na forma como o cérebro humano foi se desenvolvendo. E lendas envolvendo o Sol são muitas. É fácil imaginar as civilizações antigas admirando um fogo no céu, iluminando todo o ambiente, produzindo calor e reinando acima de suas cabeças como um rei. As lendas devem ter se propagado de forma absurdamente rápida. O objetivo aqui não é mostrar ou discutir esses mitos, mas alguma coisa deve ser falada sobre isso.

Na cultura egípcia, por exemplo, havia Rá, o deus-Sol, líder dos deuses daquele povo. Posteriormente, foi mesclado com outro deus, Amon, tornando-se a nova figura mitológica Amon-Rá. Já os astecas, cultuavam o Sol sob a imagem do deus Tonatiuh, que tinha que travar uma luta eterna com a escuridão para poder renascer todos os dias. Para a mitologia nórdica, a deusa Sol era perseguida por um lobo (isso explicava o movimento diurno do astro) e quando havia um eclipse, era porque o lobo estava muito perto de seu intento. Lembrando um pouco dos indígenas brasileiros, há um mito em particular no qual o Sol é um moço que, ao se recusar a executar a tarefa de carregar lenha, é obrigado a beber uma tinta quente e vermelha. De tanto beber, vai ficando vermelho e cada vez mais quente, até que sobe pelos céus e passa a iluminar e aquecer todo o mundo. Mitos como esses se espalham pelo mundo, alguns ligados a sentimentos humanos, outros para explicar os fenômenos observados no dia a dia.

Figura 1 - À esquerda, pedra encontrada representando aspectos da cultura asteca com Tonatiuh ao centro (*National Museum of Anthropology, Mexico City*); à direita, uma representação do deus Rá



Fonte: Diana (c2011-2024).

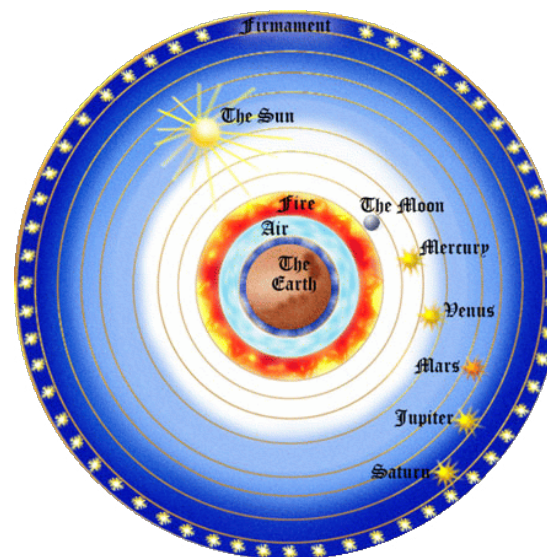
A própria palavra *Helio* deriva do grego *Helios*, que representava uma divindade. Sua imagem era associada a uma figura cuja cabeça era adornada por raios de luz, em um carro flamejante puxado por cavalos em alta velocidade. Assim, Helios vigiava o mundo trazendo luz à vida do povo grego.

A CONTRIBUIÇÃO DOS GREGOS

Com o passar dos tempos, as investigações filosóficas foram tomando o lugar das conjecturas mitológicas e outras preocupações foram se sobrepondo. A astronomia começou a detalhar as posições dos astros no céu na medida em que as observações foram se tornando cada vez mais acuradas. O que não fez com que a filosofia, baseada em observações, mas extremamente especulativa, pudesse dar sua contribuição para o problema.

De modo geral, o Sol ainda era o astro reinante no céu e ocupava lugar de destaque no mesmo, ou seja, pensando numa estrutura de universo observável, embora a Terra fosse colocada no centro de tudo. Isso é o que se convencionou chamar de *geocentrismo*, e, embora já há muito tempo derrubado, o fato é que tudo acontece como se fosse assim mesmo! Nesse sentido, o Sol era uma espécie de bola de fogo, enquanto éramos envolvidos por esferas contendo a Lua e os demais planetas, uma para cada um desses astros. O que é curioso, é que em alguns esquemas, havia um outro tipo de fogo, esse divino, com posições variando de filósofo para filósofo. A última esfera, a chamada *esfera das estrelas fixas*, era pensada como um envoltório contendo buracos nos quais podíamos ver a luzes produzidas por um fogo intenso na parte de trás. Essas eram as estrelas e parecia uma explicação razoável, pelo menos para uma criança de hoje.

Figura 2 – O universo do geocentrismo



Fonte: Experimentos ([2018?]).

Levando em consideração o fato de que observar o céu e interpretar os fenômenos para entender os próximos requer certo grau de inteligência, podemos considerar que a Astronomia nasceu há muito tempo. Mas, entendendo a filosofia como sendo uma estrutura de pensamento coeso, uma primeira tentativa de se desvencilhar dos mitos, admite-se sua importância para a Astronomia como ciência de fato. Os filósofos não se preocupavam em observar somente, mas em traçar esquemas cada vez mais sofisticados para a compreensão do *Cosmos*.

Assim, o tempo dos astrônomos era dedicado basicamente à Mecânica Celeste (embora o termo não existisse na época), hoje uma área da Astronomia que estuda o movimento dos objetos celestes. Modelos como o *geocêntrico* e o *heliocêntrico* surgiram nessa esteira, bem como suas teorias-base.

O mundo viu perplexo o universo geocêntrico de Ptolomeu e outros ruirem diante de Copérnico e Galileu e o surgimento da Mecânica de Newton alavancar de um modo nunca visto na história humana a Astronomia, desvendando segredos antes ocultos pela falta de ferramentas adequadas de investigação, como telescópios, a matemática e um método poderoso de investigação. O método científico tentava retirar qualquer vestígio de opiniões e influência divina das questões científicas. Essas mudanças somente são, de certa forma, comparadas, às mudanças causadas pela introdução da Física Moderna, objetivo pretendido com o presente material.

Embora perguntas antigas fossem sendo respondidas e novas sendo elaboradas e investigadas, alguns problemas ainda persistiam. Do que são formadas as estrelas e como o Sol produz calor? Preocupações como essas não estavam nas prioridades de investigação dos astrônomos, que se interessavam mais pelo movimento planetário, como dito antes.

Um dos motivos para esse desinteresse talvez tenha sido o fato de as estrelas serem aparentemente fixas, não se podia notar nenhuma mudança em suas posições no tempo de vida dos mortais. O próprio Sol, até Galileu observar suas manchas, parecia e parece imutável sem a instrumentação correta. Outra coisa associada a isso pode estar relacionada ao brilho fraco das estrelas observáveis, mesmo aquelas vistas em noites de céu limpo, o que não era difícil naqueles tempos sem iluminação na superfície da Terra e poluição. Os telescópios e lunetas eram apontados para as mesmas e pareciam não modificar sua aparência, mesmo com o aumento provocado pelo aparelho. Diga-se de passagem, que mesmo hoje em dia e com o mais sofisticado instrumento, se um desavisado fã de Astronomia olhar para uma estrela e esperar ver uma esfera flamejante, pode se decepcionar. A conclusão talvez fosse que eram muito distantes para serem investigadas.

O SOL E AS ESTRELAS SÃO A MESMA COISA

Toda pessoa que se propõe a traçar um panorama sobre uma determinada situação executa uma tarefa ingrata. E como todo trabalho científico sério deve-se partir de uma pergunta. Como o trabalho aqui exposto não pretende ser original, várias fontes foram consultadas e serão devidamente citadas na sua parte final. A pergunta a ser respondida aqui é a seguinte: quando o Sol passou a ser visto como uma estrela, assim como as outras? O caráter dessa pergunta é estritamente histórico, pois foi mostrado anteriormente que as ideias mais aceitas em diversas épocas davam conta de que o Sol e as estrelas eram objetos de natureza diferentes. Porém, em meio a ideias que se parecem umas com as outras, sempre se infiltram outras diferentes que são colocadas de lado pelo grupo vencedor.

Ao que tudo indica, foi Anaxágoras por volta de 450 a.C. o primeiro a propor que Sol e estrelas são a mesma coisa. Para ele, o Sol e as estrelas eram bolas de fogo no céu e o fato de as estrelas parecerem bem menores poderia ser explicado por suas distâncias. Foi seguido por Aristarco de Samos pouco mais de dois séculos depois. Este propôs um método para medir o tamanho do Sol, bem como sua distância até nosso planeta e concluiu que era muito maior que a Terra, elaborando o modelo heliocêntrico no qual o Sol estava no centro de tudo. Essas ideias iam de encontro às ideias vigentes em suas respectivas épocas, carecendo de provas, o que fez com que fossem esquecidas.

Figura 3 – Aristarco de Samos



Fonte: Aristarco [...] (2024).

Aristarco era chamado de o “Copérnico antigo”, viveu na primeira metade do século III a.C., seu pensamento é uma das raras tentativas de romper com a doutrina do geocentrismo na Antiguidade. Para ele, o Sol estava no centro do sistema, tendo a Terra e demais astros girando ao seu redor. Também concebeu um cosmos infinito, na medida em que a esfera das estrelas fixas se encontrava a uma enorme distância do centro, o Sol. Suas ideias foram eclipsadas por vários estudiosos, como Hiparco de Nicéia.

É do conhecimento de todos que depois que Aristóteles e Ptolomeu propuseram os seus sistemas de mundo, cada um em uma época e com poucas variações, foram esses que permaneceram os sistemas adotados para a compreensão do cosmos durante quase dois séculos.

Figura 4 – Claudio Ptolomeu



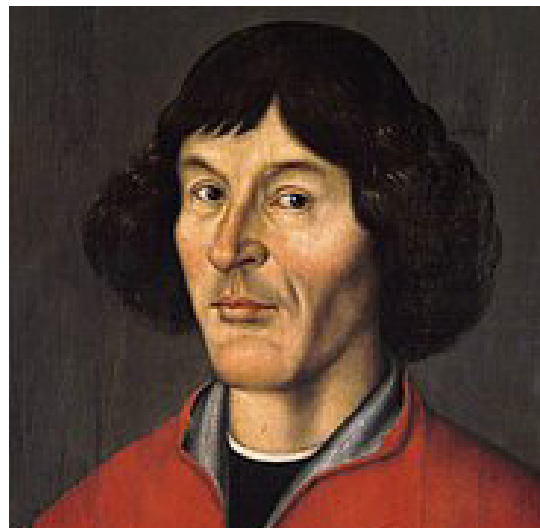
Fonte: Ptolemeu (2024).

Ptolomeu viveu no século II d.C. Vários escritos chegaram até nós, sendo o mais importante o *Almagesto*, uma síntese matemática do modelo geocêntrico, onde sistematizou o pensamento de Aristóteles sobre a estrutura do universo. Em síntese, suas conclusões foram: o movimento no céu é circular, com o centro coincidindo com a Terra; esta, por sua vez, é redonda; a imobilidade da Terra no centro, com o céu girando. Seu pensamento durou até o século XV.

As ideias subversivas antigas começaram a ser resgatadas aos poucos e uma figura emblemática foi a responsável por trazê-las de volta: Giordano Bruno. Sob a égide do modelo heliocêntrico resgatado por Copérnico, sua proposta foi imaginar a Terra como um planeta assim como os outros, não fazendo sentido dividir o universo como no geocentrismo. Concluiu que o Sol é uma estrela, que o universo é infinito e que existem muitos mundos. Em um certo sentido, quando olhamos para o céu noturno repleto de estrelas, podemos estar contemplando outros mundos com seus respectivos astros.

Esse é um pensamento bastante moderno, mas não agradou ao pensamento vigente. Giordano Bruno foi condenado e em 1600 foi morto na fogueira por suas ideias (tinha apenas 52 anos de idade).

Figura 5 - Nicolau Copérnico

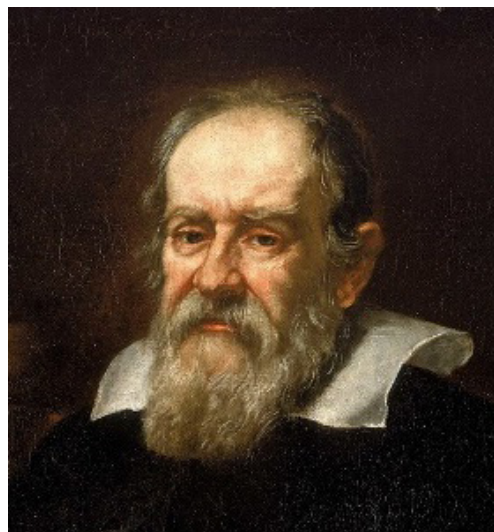


Fonte: Nicolau [...] (2024).

Copérnico nasceu em 1473, na Polônia. Sua obra mais célebre é o *De Revolutionibus Orbium Coelestium* (*A Revolução dos Orbes Celestes*), onde, retomando as ideias de Aristarco de Samos, propõe um modelo para um sistema heliocêntrico, com uma estrutura rigorosa e diversas proposições que destoavam do pensamento vigente. Em suma, suas ideias foram: o universo é esférico; a Terra é esférica; o movimento nos céus é circular, uniforme e perpétuo; a Terra gira em torno de um centro e em torno de si mesma; as dimensões no universo são enormes se comparadas com a Terra. O livro contendo suas proposições só foi publicado no ano de sua morte, 1543. Uma batalha pela sua aceitação se iniciou, mas sem a ajuda de seu autor demorou algum tempo até que fosse considerada uma obra essencial na Astronomia e no pensamento como um todo.

Em 1609, Galileu Galilei apontou o telescópio para o céu e começou a desmoronar o edifício aristotélico-ptolomaico ao observar diversos fenômenos, como crateras e montanhas na Lua, a descoberta de que esta não possui luz própria, refletindo os raios solares, bem como os satélites de Júpiter. Além disso, o número de estrelas observáveis aumentou consideravelmente, observando pequenos pontos distribuídos no céu, o que o fez concluir que talvez estivessem muito distantes. Com a ideia de que os movimentos locais eram os mesmos que os fora da Terra, Galileu entendeu que o Sol também era uma estrela e que se apresenta grande porque está bem perto do nosso planeta. Observa-se, no entanto, que não havia provas de fato para essa conclusão, embora ele tenha chegado mais perto da mesma. Justifica-se, portanto, a não aceitação de imediato dessas ideias, mesmo entre os estudiosos da época.

Figura 6 – Galileu Galilei

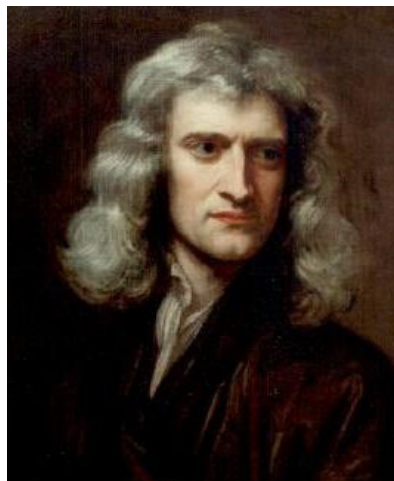


Fonte: Galileu [...] (2024).

Galileu nasceu em 1564, em Pisa, Itália. Considerado o cientista que ruiu o edifício aristotélico, suas obras são marcos na revolução científica, seja pela precisão com que defendia suas ideias, seja pela clareza e estilo diferenciado para a época, tendo escrito suas obras em italiano e não em latim, como era comum. Defendeu arduamente a teoria copernicana. Condenado duas vezes pelo Santo Ofício, Galileu morreu em 1642 em prisão domiciliar. Usou o telescópio para observar o céu e nisso encontrou provas de que o pensamento de Aristóteles estava equivocado e que o universo era copernicano. Além disso, estabeleceu as bases para a ciência do movimento que, anos depois, viria a ter em Isaac Newton seu principal desenvolvedor.

Levando em consideração as ponderações de Galileu, quando de fato os cientistas começaram a refletir sobre a possibilidade de o Sol ser uma estrela? Que o Sol não é um planeta parecia um consenso, principalmente em relação às leis de Kepler e pela grande teoria de Isaac Newton para a gravidade, que conseguiam explicar fenômenos com o astro fixo firmemente no centro do sistema. Mas, ao que tudo indica foi quando Christiam Huygens (1629-1695) determinou a distância até a estrela Sirius e concluindo que talvez ela fosse tão brilhante quanto o Sol. A sua distância até nós é que a tornava aparentemente fraca.

Figura 7 – Isaac Newton



Fonte: Isaac [...] (2024).

Isaac Newton nasceu em 1642, na Inglaterra e desde muito cedo se interessou pelas ciências naturais e matemática. De temperamento difícil, mas dono de um intelecto privilegiado, debruçou-se sobre vários problemas, como a Teoria das Cores (na qual defendeu a natureza corpuscular da luz, em contraste com a teoria ondulatória). Sua maior obra, no entanto, versa sobre as leis do movimento e a teoria da gravidade. Resgata ideias de Galileu sobre o movimento, numa sistematização em que demonstra matematicamente suas consequências. Propõe a Teoria da Gravitação Universal, ordenando o universo do ponto de vista heliocêntrico, talvez acabando de uma vez por todas com a disputa entre uma Terra estática e no centro e uma Terra caminhante no sistema. É considerado o pai da Mecânica Celeste, tendo sua teoria se mostrado capaz de, nas décadas seguintes, resistir a um sem-número de testes e promover um grande avanço na Astronomia e em outras áreas.

Os próximos passos seguiram o caminho do desenvolvimento científico, com a síntese e proposta de Isaac Newton para a Teoria da Gravidade, o aprimoramento de métodos para determinação das distâncias dos astros e mais precisamente quando uma área fundada pelo mesmo Newton começou a florescer: a Espectroscopia. Em resumo, descobriram que a luz emitida pelo nosso Sol tem a mesma natureza da luz emitida por outras estrelas. Pronto! O Sol também é uma estrela. Esse assunto será abordado mais adiante.

ENTÃO, COMO O SOL PRODUZ ENERGIA?

Esta questão agora parece pertinente, levando em conta a escolha feita aqui em não se ater muito à cronologia dos fatos, embora seja importante manter alguma coerência. No dia a dia, os seres humanos lidam com a geração de energia de diversas formas: usa-se energia elétrica para tarefas diárias, coloca-se gasolina nos veículos para o deslocamento semanal, fogão a gás para o cozimento dos alimentos e, em última instância, os alimentos são usados para a manutenção da vida de um modo geral. E em todas essas tarefas, é preciso repor a energia para manter tudo funcionando: as hidrelétricas usam a energia potencial gravitacional de quedas d'água para mover turbinas, compra-se gasolina em postos, troca-se o botijão de gás quando este acaba e depois de eliminar a energia ingerida nos alimentos, é preciso de mais para a continuidade das tarefas.

Pensava-se, de modo geral, que o Sol possuía um depósito infinito de combustível capaz de sustentar para sempre sua emissão de energia. Com o desenvolvimento da Termodinâmica (área da Física que estuda o calor e suas transformações) e especificamente a Lei de Conservação da Energia, o problema da geração de energia no Sol precisava de uma resposta rápida e satisfatória. Qual mecanismo repõe a energia irradiada pelo Sol?

A questão do combustível queimado pelo Sol começou a ser seriamente considerada quando o estudo do calor passou a ser alvo de investigações científicas, lá pelos idos da Revolução Industrial inglesa, nos séculos XVIII e XIX. O advento de novos métodos na manufatura de produtos deu-se muito por conta da aquisição de máquinas que podiam aumentar a produção, tornando-a mais eficiente. Eficientes também deveriam ser essas novas máquinas, movidas a vapor, impulsionando pesquisas para o entendimento do funcionamento destas no intuito do seu aprimoramento efetivo. Os estudos da Termodinâmica contribuíram para isso, onde nomes como Thomas Newcomen e James Prescott Joule tornaram-se conhecidos. O combustível mais conhecido na época e o mais eficiente era o carvão, extraído das minas espalhadas pela Europa para colocar trens e máquinas diversas em trabalho intenso. Nesse sentido, era natural pensar que um astro como o Sol, iluminando e aquecendo a Terra, usasse o mesmo combustível para isso.

A pergunta que ficava era: Poderia o carvão ser o combustível que mantinha o Sol brilhando? Se assim fosse, quanto tempo levaria para queimar todo o seu conteúdo?

A pergunta era simples e o seu cálculo também. Só precisava do calor de combustão do carvão. Além disso, deveria levar em consideração que o Sol fosse composto exclusivamente do combustível em questão e, através de uma regra de três simples, obter o tempo necessário para o astro consumir tudo. Cálculos foram feitos levando em consideração o carvão, querosene e até mesmo hidrogênio e os valores obtidos variavam entre mil e dez mil anos. Embora estudos feitos a partir da Bíblia mostrassem que a Terra não poderia ter mais de dez mil anos, esse era o tempo admitido para a história escrita, o que causava problemas.

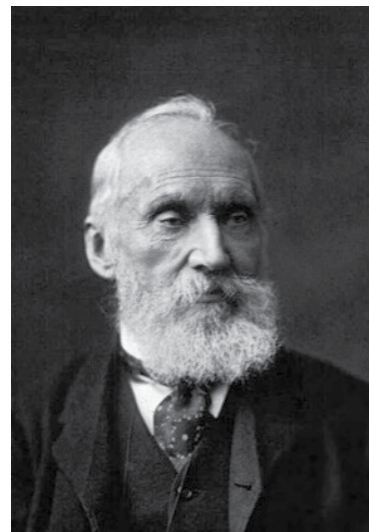
Abre-se o precedente para outro tipo de discussão: o tempo que o Sol leva para queimar seu combustível deve ser pelo menos igual à idade da Terra. A busca pelo combustível correto para a

geração de energia passava por saber com precisão a idade do nosso planeta. Cientistas, como o Lord Kelvin, por exemplo, se ativeram em ambos os problemas.

Ao que tudo indica, esses cálculos baseados em textos sagrados tiveram certa primazia até o Iluminismo, época em que começaram as primeiras tentativas científicas para alcançar a resposta ao problema. Alguns modelos eram baseados na Lei de Resfriamento dos Corpos de Isaac Newton, no qual estudava-se o tempo que uma esfera de certo material levava para se resfriar a partir de uma dada temperatura. Adepto desse esquema, em 1779, o Conde de Buffon extrapolou esse estudo para uma esfera do tamanho da Terra e obteve o resultado aproximado de 75 mil anos.

Quando as investigações começaram a se aterem em registros fósseis, nos séculos XVIII e XIX, as ideias antigas sobre a idade do planeta foram gradativamente sendo esquecidas. Cientistas renomados como Lamarck defendiam que os registros da flora e fauna revelavam que o tempo necessário para a ocorrência do que era encontrado deveria ser bem mais longo do que o admitido. O que fica evidente é que a cada nova descoberta, as estimativas sobre a idade da Terra aumentavam, desagradando alguns cientistas proeminentes, entre eles William Thomson, conhecido como Lord Kelvin. Para uma abordagem mais completa sobre o tema, recomenda-se o artigo *Reverendo o debate sobre a idade da Terra*, escrito por A. C. Tort e F. Nogarol (2013).

Figura 8 – Lord Kelvin



Fonte: William [...] (2024).

Lord Kelvin nasceu em 1824, na Irlanda do Norte, falecendo em 1907. Recebeu o título de Lord Kelvin aos 68 anos de idade por completar a implantação de um cabo de telégrafo entre a Europa e a América do Norte. Deu importantes contribuições para o estudo do calor, como no estabelecimento da Segunda Lei da Termodinâmica, na qual não se pode converter toda a energia de um sistema em trabalho. Investigou as propriedades dos gases, concluindo que a energia cinética das moléculas se anularia à aproximadamente -273 °C, admitindo, assim, a menor temperatura permitida. Passou a ser conhecida como o zero absoluto. A partir disso, propôs uma nova escala de temperatura relacionada somente a propriedades físicas, denominada de Escala Kelvin.

Kelvin voltou sua atenção para o cálculo da idade do Sol, propondo um modelo baseado na ideia de Ludwig von Helmholtz de que o calor do Sol se origina de contração gravitacional, levando em consideração aspectos da Termodinâmica desenvolvida na

época. Refinando o modelo, Kelvin chegou a um resultado entre 20 e 100 milhões de anos. Para a Terra, Kelvin usou parâmetros semelhantes e obteve resultados que variavam de 100 a 200 milhões de anos. Para um leigo, esses valores parecem muito distantes entre si, mas deve-se entender que os dados disponíveis até àquele momento eram escassos.

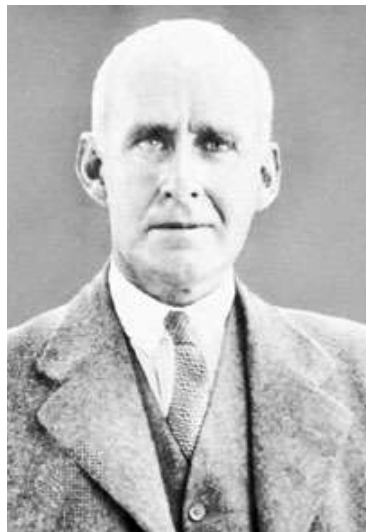
O relevante é que, para os evolucionistas e geólogos mais experientes, havia evidências contundentes de que a Terra era bem mais velha do que se supunha. Um ex-aluno de Kelvin foi um dos primeiros a questionar a sua autoridade, admitindo que não havia erro nos seus cálculos, mas que o modelo utilizado por ele estava equivocado. Tudo dependia, mais uma vez, de obter a idade da Terra, sendo que o valor deveria entrar em consonância com os dados obtidos, que iam se tornando cada vez mais precisos.

O problema perduraria até os primeiros anos do século XX, quando a radioatividade começou a abrir os horizontes para uma compreensão mais profunda da natureza. Modelos como o de Kelvin não levavam em consideração um calor adicional vindo da emissão de radiação de materiais no interior do planeta. Nesse sentido, a Radioatividade foi demonstrando que a Terra tinha a idade na casa dos bilhões de anos, o que forçou os cientistas a abandonarem velhos modelos para a energia no Sol e nas demais estrelas (nessa época, a Espectroscopia já havia revelado que o Sol era de fato uma estrela, o tornando uma fonte rica de estudo para a compreensão desses astros). A Física Nuclear será tratada no próximo capítulo e a Espectroscopia em seguida, como resposta à pergunta: como os astrônomos sabem tanta coisa sobre as estrelas?

O fato é que, por volta de 1920, o astrônomo inglês Arthur A. Eddington, ao estudar estrelas variáveis conhecidas como Cefeidas, deduziu que a contração gravitacional, por si só, não poderia ser a responsável pela fonte de energia das estrelas. Qual foi, então, sua hipótese? Provavelmente, alguma fonte de

energia no interior do átomo. Porém, suas ideias eram por demais especulativas para uma boa recepção por parte da comunidade científica. Vejamos rapidamente a seguir que base teórica respaldou o entendimento desse problema.

Figura 9 - Arthur Eddington



Fonte: Arthur [...] (2024).

Nascido em 1882 na Inglaterra, Eddington deu importantes contribuições para a Astrofísica. Ficou famoso por organizar expedições em 1919 para comprovar previsões da Teoria Geral da Relatividade de Albert Einstein durante um eclipse total do Sol. Estudou o interior das estrelas, estabelecendo uma relação entre a massa e a luminosidade desses astros, sendo um dos primeiros a sugerir a sua possível fonte de energia. Morreu em novembro de 1944.

ÁTOMOS, RADIOATIVIDADE E FÍSICA NUCLEAR: O CAMINHO PARA O ENTENDIMENTO DO MECANISMO ENERGÉTICO NAS ESTRELAS

O momento crucial do problema da geração de energia no Sol e nas demais estrelas havia chegado. Por volta de 1920, Arthur Eddington chegava perto da sua solução, mas a pretensão dessa narrativa de apresentar o conteúdo com o mínimo de coerência ficaria comprometida se os próximos fatos não fossem apresentados, mesmo que represente uma volta no tempo, especificamente ao final do século XIX.

Como já dito, as descobertas da radioatividade e do núcleo atômico foram essenciais. Esse caminho começou a ser traçado com a descoberta dos raios-X por Roentgen, quando trabalhava com raios catódicos em seu laboratório. Depois de estudos de Becquerel e outros, o casal Pierre e Marie Curie intensificaram o trabalho com essa radiação e mais tarde a chamou de radioatividade, verificando esse mesmo fenômeno em outros elementos.

No caso da Física Nuclear há um marco, que pode ser datado a partir do momento que Ernest Rutherford propôs a existência do núcleo através do experimento de bombardeamento de uma folha de ouro com partículas alfa, em 1911. As primeiras décadas do século XX deram início a uma profusão de teorias que provocaram uma verdadeira revolução na ciência e no pensamento humano.

DO ÁTOMO GREGO À PROPOSTA DE BOHR

A ideia de um constituinte básico para a matéria nasceu na Grécia Antiga, com Demócrito e Leucipo (cerca de 400 a.C.), quando imaginaram que se um pedaço de qualquer material fosse quebrado em várias partes, chegaria à pequenas unidades chamadas átomos (átomo = indivisível). Mais uma vez uma ideia revolucionária eclipsada pela autoridade de estudiosos que davam corpo teórico ao que hoje se chama de senso comum.

Fazendo oposição a essa premissa, a constituição das coisas passava pelos quatro elementos, terra, fogo, água e ar e tudo poderia ser explicado mais ou menos como uma variação de suas quantidades. Assim, com a assinatura de peso de filósofos como Aristóteles, a ideia dos quatro elementos básicos da matéria durou até o século XIX, principalmente pensando nos trabalhos dos alquimistas, considerados precursores das técnicas químicas modernas. Claro que no percurso, as ideias atomísticas foram sendo revisitadas por um ou outro pesquisador, mas sem ganhar força, continuava prevalecendo sua concorrente.

Por volta de 1808, John Dalton resgatou o conceito de átomo ao explorar a natureza das reações químicas, conseguindo explicar a combinação da massa das reações e as proporções para a composição das substâncias conhecidas. Por exemplo, o dióxido de carbono sendo composto por uma parte de carbono e duas de oxigênio. Essa nova abordagem ganhou alguns defensores, como Ludwig Boltzmann e Amedeo Avogadro, este último propondo que as moléculas são constituídas por átomos.

Figura 10 – John Dalton



Fonte: John [...] (2024).

Dalton nasceu na Inglaterra em 1766, tendo contribuído nas áreas de Química, Física e Meteorologia. Com o auxílio do seu modelo atômico da matéria, descreveu leis para as reações químicas usadas atualmente. Morreu em 1844.

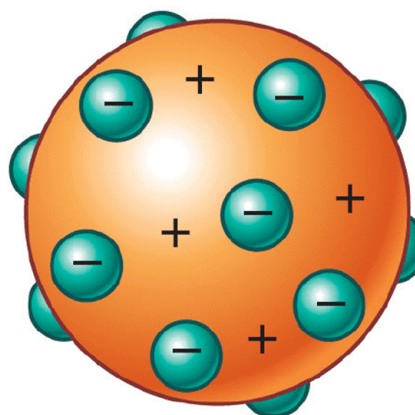
O átomo de Dalton era puro no que diz respeito à sua constituição, rígido e sem estrutura interna, embora fosse mais palpável do que o átomo grego. A estrutura atômica viria a ser revelada com duas grandes descobertas: a Radioatividade e os elétrons.

Em 1897, J. J. Thomson anunciou a descoberta do elétron, tendo medido a relação carga-massa dessas partículas. Estudava a constituição dos raios catódicos, descobrindo que eram compostos por partículas negativas, pois se desviavam para o lado positivo de uma placa carregada. Havia evidências de que os elétrons faziam parte do átomo, o que contribuía para o abandono da ideia de átomo

indivisível. Era preciso, nesse sentido, reformular a proposta atômica de Dalton e propor um novo modelo que desse conta desses fatos.

O próprio Thomson desenvolveu um modelo para o átomo, no qual este tinha uma arquitetura esférica, sendo uma massa positiva, incrustada pelos elétrons recém-descobertos de carga negativa. Essa pasta positiva era necessária para garantir a estabilidade da matéria.

Figura 11 - Modelo atômico de Thomson



Fonte: O modelo [...] (c2008-2024).

Como os elétrons são negativos, devido à força repulsiva coulombiana, os mesmos estariam distribuídos de maneira uniforme e estimativas indicavam que o raio atômico era da ordem de dez bilionésimos do metro. Seu modelo, batizado de “pudim de passas”, permitia a emissão de espectros de radiação já bastante conhecidos desde o início do século XIX, porém sem concordância total com os dados. A Espectroscopia será relatada mais adiante, mas, desde já, o seu papel mostra-se relevante no estudo da estrutura atômica e na investigação da Evolução Estelar.

Figura 12 - Ernest Rutherford

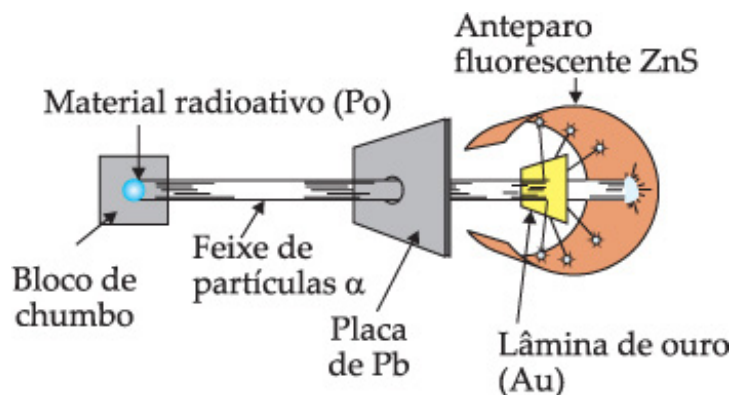


Fonte: Ernest [...] (2024).

Neozelandês, Rutherford nasceu em 1871, graduando-se em Matemática e Física. Executou diversos trabalhos com radiações, tendo descoberto os raios alfa e beta em 1899, sendo agraciado com o Prêmio Nobel em 1908. Faleceu em 1937.

Diante dessas previsões matemáticas, o modelo avançou muito no quesito investigação da natureza atômica até ser testado experimentalmente. Coube a Ernest Rutherford, em 1911, começar uma nova era. Trabalhando com Hans Geiger e Ernest Marsden, foi realizado um experimento no qual partículas alfa (núcleos de hélio) eram emitidos de uma fonte radioativa e atingiam uma fina placa de ouro.

Figura 13 - Esquema do experimento de Rutherford. As partículas alfa foram colimadas por uma abertura numa placa de chumbo e atravessaram uma fina lâmina de ouro, atingindo um anteparo que cintilava a cada colisão.

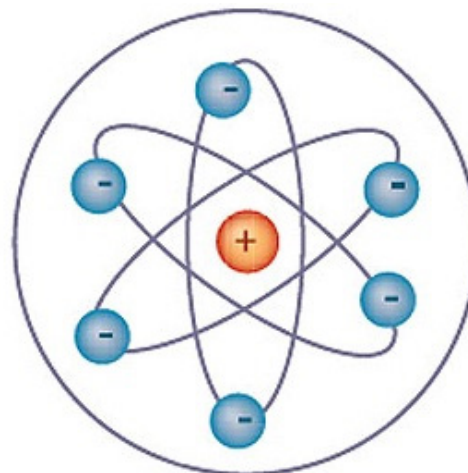


Fonte: O modelo [...] ([2018?]).

Usando o modelo de Thomsom, previa-se que as partículas iriam ser defletidas de diversos ângulos pela repulsão coulombiana (a partícula alfa tem carga positiva), embora os desvios não seriam grandes, devido ao raio atômico de dez bilionésimos do metro. Essas partículas foram observadas, ao colidirem em uma tela, com o auxílio de um microscópio. As deflexões foram medidas e ângulos maiores do que noventa graus foram detectados em maior quantidade do que o esperado, incluindo ângulos da ordem de cento e oitenta graus. O próprio Rutherford se mostrou espantado com o resultado, o obrigando, em 1911, a propor um novo modelo para o átomo.

Baseando-se nos resultados, principalmente na questão de que algumas partículas sofriam deflexão de ângulos muito grandes, Rutherford desenvolveu um modelo atômico composto por uma região ínfima com carga positiva, chamada núcleo, rodeada por elétrons em movimento circular.

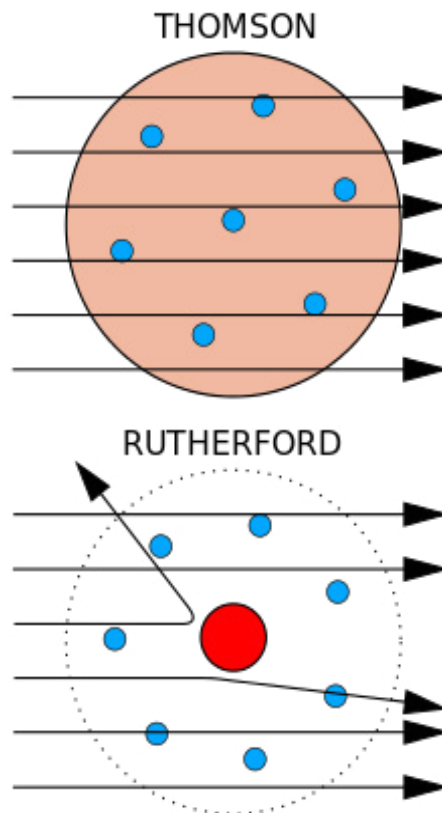
Figura 14 – Modelo atômico de Rutherford



Fonte: Fontanailles (2013).

Para justificar os dados, a massa do átomo deveria estar concentrada quase toda no núcleo, e, como os elétrons são extremamente leves, há muito espaço vazio. Isso explicava o fato de a maioria esmagadora das partículas alfa atravessarem a folha de ouro com pequenas deflexões. As poucas partículas que ricocheteavam em grandes ângulos encontravam a região pequena do núcleo, com uma concentração alta de cargas positivas (hoje conhecidas como prótons). Mas somente a presença das cargas positivas causava certo problema a existência do átomo. Os prótons deveriam se repelir mutuamente com o aumento do número atômico. Para contornar esse problema, Rutherford introduziu teoricamente outra partícula, sem carga, assim evitando o colapso do átomo. Essa partícula é o nêutron, que somente foi detectado em 1932 por James Chadwick.

Figura 15 – Previsões dos dois modelos. Para o modelo de Thomson era esperado que praticamente todas as partículas alfa atravessassem a folha de ouro. Os resultados, porém, demonstraram um efeito inesperado. Partículas eram defletidas de pequenos ângulos, enquanto algumas sofriam grandes desvios, sendo observados, inclusive, da ordem de cento e oitenta graus.



Fonte: Experimento [...] ([2018?]).

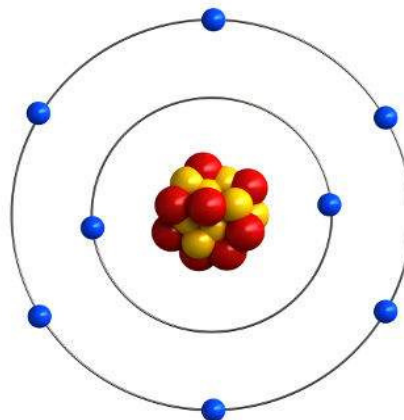
Vale ressaltar nesse ponto que duas propostas de modelos parecidos com o de Rutherford foram feitas nos primeiros anos do século XX, uma por Jean Perrin e outra pelo japonês H. Nagaoka. Essas discussões não foram adiante por falta de evidências.

Falaremos a seguir das falhas do modelo de Rutherford, que evoca o modelo do sistema solar e depois das correções feitas por Niels Bohr. Como o objetivo não é falar especificamente sobre modelos atômicos e sim introduzir a Física Nuclear, detalhes dos mesmos serão omitidos, a menos que sejam necessários para o entendimento do tema.

Para Rutherford, diante de suas descobertas, os elétrons participavam das reações químicas, dos fenômenos ligados à eletricidade etc., enquanto os núcleos dos fenômenos radioativos. Nascia, nesse sentido, a Física Nuclear. Porém, o grande problema desse modelo estava justamente no fato de os elétrons girarem ao redor do núcleo, como um minissistema planetário. A Teoria Eletromagnética admite que portadores de carga quando acelerados emitem radiação, logo, perdendo energia. Como os elétrons possuem carga negativa e estão em movimento circular, portanto, constantemente acelerados, a emissão de energia faria com que os elétrons caíssem no núcleo, comprometendo a estabilidade atômica. O que fazer?

Historicamente, a essa altura, a Teoria Quântica já dava seus primeiros passos, com a abordagem feita por Planck da Radiação de Corpo Negro e a proposta de Einstein para o Efeito Fotoelétrico. A natureza parecia ter uma estrutura diferente da considerada pela Física Clássica. Diante do problema da estabilidade atômica, Niels Bohr postulou que os elétrons giravam em torno do núcleo em órbitas específicas, sendo que, enquanto permanecessem nas mesmas, não emitiriam energia. Bohr quantizou o átomo, na medida em que os elétrons só podem estar em suas respectivas órbitas. São as chamadas camadas eletrônicas ou níveis de energia.

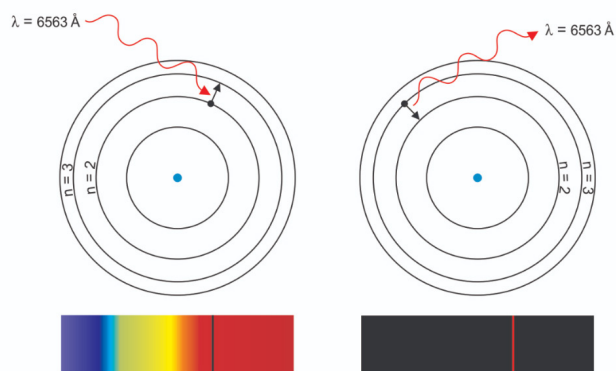
Figura 16 - Átomo de Bohr



Fonte: Características [...] ([2018?]).

Quando o átomo recebe energia externa, o elétron a absorve, mudando para uma órbita mais externa como num salto. Como não pode permanecer nessa camada, volta para sua origem, devolvendo a energia que recebeu na forma de luz ou fóton. Da próxima vez que acender uma lâmpada fluorescente pense nesse processo.

Figura 17 - Esquema do elétron saltando de órbita



Fonte: Saraiva, Oliveira Filho e Müller ([2018?]).

A figura acima ilustra esse processo, com o elétron recebendo energia externa, saltando para uma órbita acima e logo depois voltando para seu estado original, não sem antes liberar a energia que recebeu. Voltaremos a esse assunto quando tratarmos da Espectroscopia.

Figura 18 - Niels Bohr



Fonte: Niels [...] (2024).

Bohr nasceu em 1885 na Dinamarca, trabalhou com Thomson e Rutherford na Inglaterra. Estudou as propriedades do espectro do átomo de hidrogênio. Foi laureado com o Prêmio Nobel de Física de 1922. Durante a Segunda Guerra Mundial, percebendo a gravidade da situação em relação à produção da bomba atômica, tentou demover o então presidente dos Estados Unidos dessa ideia, embora não tenha obtido êxito. Morreu em 1962.

Niels Bohr resolveu o problema da estabilidade atômica com um postulado simples, representando um avanço interessante no campo das investigações atômicas, embora seu modelo funcionasse bem para

o átomo de hidrogênio, com um elétron apenas. Os espectros emitidos pelos átomos eram bem conhecidos e uma análise mais profunda revelou que havia uma estrutura fina nos mesmos, ou seja, onde parecia ter uma linha espectral somente, revelou-se outra, demonstrando que o modelo não conseguia lidar com a descoberta sem um ajuste.

E esse ajuste foi resolvido por William Wilson e Arnold Sommerfeld. Os dois físicos substituíram as órbitas circulares por elípticas. Sem discutir os pormenores, o que acontece é que, numa órbita circular, tem-se apenas uma variável, o raio. Já na elíptica, obtém-se dois parâmetros, a saber, o semieixo maior e o semieixo menor. Isso aparece na forma de subcamadas, que todo estudante do primeiro ano do ensino médio aprende.

E A FÍSICA NUCLEAR, COMO FICA?

A pretensão é falar um pouco sobre Física Nuclear, pelo menos os seus principais aspectos, para podermos relacioná-la à produção de energia nas estrelas. Como foi dito, essa área da física tem um marco, quando Rutherford propôs a existência do núcleo atômico. Embora isso seja verdade, é verdade também que o caminho vinha se delineando desde o fim do século XIX, com a descoberta dos raios-X por Roentgen. Quando Becquerel observou que sais de urânio emitiam certo tipo de energia, primeiramente pensou se tratar dos mesmos raios-X. Em seguida, o casal Pierre e Marie Curie estudaram essa radiação e mais tarde a chamou de radioatividade, verificando esse mesmo fenômeno em outros elementos, descobrindo, inclusive, dois novos, o polônio (400 vezes mais radioativo que o urânio) e o rádio (900 vezes).

Figura 19 - Wilhelm Conrad Roentgen



Fonte: Wilhelm [...] (2024).

Nascido na Alemanha no ano de 1845, Roentgen descobriu, 50 anos depois, ondas eletromagnéticas que batizou de raios-X, fazendo referência a algo desconhecido em matemática. A descoberta foi feita enquanto trabalhava com raios catódicos, percebendo que estes produziam luminescência fora do tubo. Depois de estudar arduamente suas propriedades, começou a produzir as chamadas radiografias de diversos objetos, sendo uma das mais famosas a imagem dos ossos da mão de sua esposa, Bertha Roentgen. Foi ganhador do primeiro Prêmio Nobel de Física, em 1901, por uma descoberta que revolucionou a medicina e deu início ao caminho que levou à Física Nuclear. Morreu em 1923.

A maioria dos elementos químicos são estáveis, ou seja, não emitem radiação espontaneamente. Mas alguns possuem essa propriedade por terem núcleos mais instáveis. Essa instabilidade faz com que o núcleo emita partículas e radiação, provocando decaimento, transmutação de elemento químico em outro. Ora, basicamente o

átomo é composto por elétrons, na eletrosfera e na região central, o núcleo, contém prótons e nêutrons. O que define um elemento químico é seu número atômico, ou seja, a quantidade de prótons. No processo de decaimento, a quantidade de prótons de elementos muda, portanto, mudando o número atômico também. Esse era o sonho dos alquimistas.

Assim, a composição do núcleo está de acordo com a relação

$$A = Z + n$$

onde A é o número de massa, Z o número atômico ou de prótons e n o número de nêutrons. Levando em consideração medidas modernas, as massas dessas partículas estão distribuídas assim: $m_p = 1,6726 \times 10^{-27}$ kg, $m_n = 1,6749 \times 10^{-27}$ kg e $m_e = 9,1094 \times 10^{-31}$ kg.

Figura 20 - Marie Skłodowska Curie

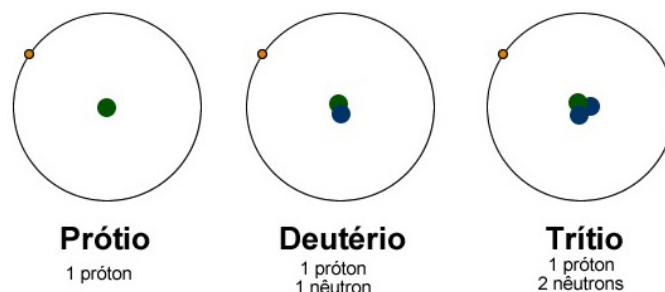


Fonte: Marie [...] (2024).

Marie Curie nasceu em Varsóvia em 1867, na Polônia, se naturalizando francesa. Conduziu pesquisas importantes na área da radioatividade, desenvolvendo técnicas para isolar isótopos de elementos radioativos e participou da descoberta de dois elementos químicos, o rádio e o polônio. Casou-se com Pierre Curie, parceiro na vida e no trabalho científico. Ganhou o Nobel de Física em 1903 junto com seu marido e Henry Becquerel. Também foi laureada com o Nobel de Química em 1911, tornando-se a única mulher a ganhar dois Nobel em áreas diferentes. Morreu aos 66 anos em 1934, por conta de uma leucemia provocada pela exposição a elementos radioativos.

Os núcleos podem ser representados com a simbologia ${}_Z^AX$, onde X é o elemento químico. Os núcleos de um mesmo elemento químico possuem o mesmo número atômico (prótons), podendo ter diferentes números de nêutrons. Nesse caso, são chamados de isótopos os elementos que possuem mesmo número atômico e diferentes números de massa. Exemplo disso é o carbono (C), que pode aparecer com 6 prótons e 6 nêutrons (${}_6^{12}\text{C}$) ou com 6 prótons e 8 nêutrons (${}_6^{14}\text{C}$). A maior parte dos núcleos tem formato esférico, sendo que poucos possuem o formato de elipse, porém, a diferença entre os semieixos não sendo muito expressiva.

Figura 21 - Isótopos do hidrogênio



Fonte: Fonseca, c2006-2024.

Os nêutrons não possuem carga, mas os prótons são positivos, o que, devido à repulsão coulombiana (aquela mesma que os estudantes do terceiro ano do ensino médio aprendem quando trabalham com eletrostática), deixaria a existência do núcleo impossível. Os prótons se repelem, disputando por espaço. De maneira geral, existe uma “cola” dentro do núcleo, chamada de força nuclear forte, que, a partir de certa distância (10^{-15} m), passa a superar o valor da força de repulsão, mantendo a estrutura intacta. Na verdade, é mais complicado do que isso, mas, para os devidos fins, serve como primeiro entendimento.

TÓPICO ESPECIAL: SOBRE AS INTERAÇÕES FUNDAMENTAIS

Isaac Newton foi o responsável por introduzir, de maneira formal, o conceito de força, pelo menos do ponto de vista matemático. Estabeleceu a força como princípio fundamental e desenvolveu toda a sua teoria baseada nesse conceito. Embora tenha sido superado pelas assertivas da Física Moderna, em particular depois que Einstein reformulou seu conceito de gravidade, usa-se seus princípios ainda hoje para situações cotidianas. Para Newton, tudo no universo poderia ser explicado pela ação ou ausência de forças.

Com a sistematização do eletromagnetismo, a descoberta da estrutura atômica e de partículas elementares, houve uma verdadeira reestruturação do conceito de força, a partir do surgimento da ideia de campo. A força atua no raio de ação de um certo campo, que é uma região de influência no espaço a partir de uma certa fonte.

Além disso, o bombardeamento de núcleos com partículas em aceleradores trouxe uma série de descobertas ligadas à estrutura das próprias partículas que os cientistas tomaram como elementares.

Por exemplo, com exceção dos elétrons, os prótons e nêutrons são constituídos por outras partículas, estas sim parecendo ser fundamentais de fato. Surgiu a chamada Física de Partículas, inaugurando ou aperfeiçoando novas técnicas, além de elaborar uma nova teoria que desse conta dessa profusão de objetos microscópicos que surgia. Hoje se conhece mais de 300 tipos de partículas elementares, entre as detectadas em aceleradores e as observadas nos raios cósmicos. A teoria é chamada de Modelo Padrão e consegue explicar as observações com razoável precisão.

Cada partícula ou conjunto delas interage de modo específico com as outras ou com a matéria. O conhecimento acumulado admite que os fenômenos físicos no universo são manifestações de um ou mais dentre quatro interações fundamentais: gravitacional, eletromagnética, nuclear forte e nuclear fraca. A primeira já é conhecida desde que Isaac Newton publicou seu *Principia* e fundou a Mecânica Celeste. É resultado da massa de uma partícula. A eletromagnética é conhecida desde que os fenômenos elétricos e magnéticos foram unificados por James Clerk Maxwell e é resultado da ação de cargas positivas e negativas. As nucleares forte e fraca apareceram quando os fenômenos atômicos se tornaram evidentes, sendo que a primeira é resultado da descoberta do núcleo e a segunda de fenômenos radioativos (também ligados ao núcleo). A interação forte, particularmente, é responsável por manter a estrutura do núcleo.

No Modelo Padrão, para cada interação, há a partícula chamada de mediadora. Para a interação fraca são os bósons W e Z ; na forte, os glúons; na eletromagnética, os elétrons; na gravitacional, os grávitons. No caso destes últimos, ainda não houve sua detecção. Espera-se que com a nova janela aberta com as ondas gravitacionais, dentro de algum tempo os grávitons possam se mostrar aos físicos.

Essa teoria é de fundamental importância não só para a física em si, mas para a Astronomia em particular, sendo a Cosmologia a principal delas. Se o *Big Bang* aconteceu de fato, no início, a

densidade do átomo primordial era tão alta que não poderia haver as quatro forças fundamentais, admitindo-se que estavam todas unificadas. A especulação sobre a Teoria Unificada começou a ganhar força e, no estado atual da física, parece ser uma espécie de *Pedra Filosofal*. Mas o grande problema, de fato, está justamente na força gravitacional e a não detecção de sua partícula mediadora, o gráviton.

Com o avanço de medidas precisas envolvendo objetos celestes e novas teorias (uma candidata é a Teoria das Cordas), espera-se que dentro em breve a unificação ocorra, proporcionando uma compreensão mais profunda do universo. Ou o tempo revele que o nosso conhecimento é insuficiente. E assim a ciência caminha.

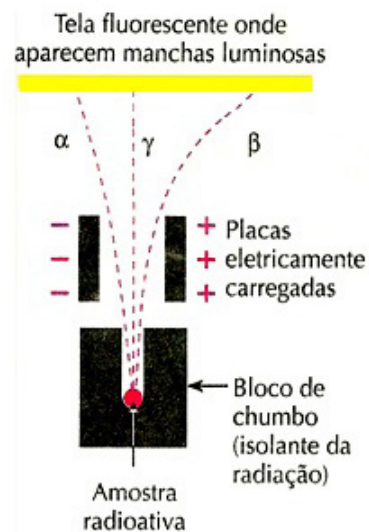
Em continuidade, podemos fazer a seguinte pergunta: por que ocorre essa emissão de radiação? Existem núcleos estáveis e instáveis. Usando um dispositivo chamado espectrômetro de massa, pode-se medir a massa do átomo. Verifica-se que a massa do núcleo é sempre menor que a soma das massas das partículas que o compõem. A essa diferença dá-se o nome de Energia de Ligação (E_L).

Em resumo, se a soma das massas das partículas é maior do que a massa do núcleo, tem-se que o núcleo é instável e este pode decompor-se em outros núcleos numa série de emissões radioativas, liberando energia, pois a tendência de todo isótopo é atingir a estabilidade. A liberação de energia pode ocorrer de duas maneiras: liberação de partículas do núcleo e emissão de fótons energéticos.

Mas que emissões podem ocorrer?

Em 1900, Rutherford e o casal Curie, independentemente, descobriram as radiações alfa (α) e beta (β), e P. Villard a radiação gama (γ). O próprio Rutherford investigou suas propriedades usando o aparato abaixo.

Figura 22 - Experimento de Rutherford



Fonte: Fogaça, c2024.

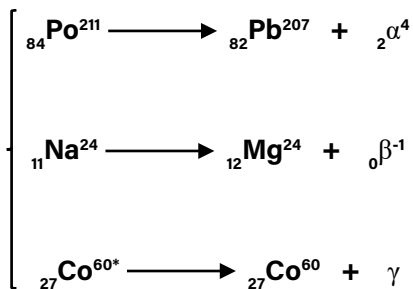
O experimento consistiu numa amostra radioativa colocada num bloco de chumbo. As emissões passaram entre duas placas carregadas com cargas de sinais opostos e atingiram uma tela fluorescente. Através da observação da cintilação da tela, é possível medir os possíveis desvios sofridos pelas partículas. Suas conclusões são mostradas abaixo.

Raios α : núcleos de hélio (2 prótons); carga positiva; muito pesados; velocidade de cerca de 20.000 km/s; baixo poder de penetração (barrados por uma folha de papel).

Raios β : sofrem grandes desvios; carga negativa; semelhante a elétrons; velocidades próximas a da luz.

Raios γ : sem massa ou carga; se deslocam na velocidade da luz (cerca de 300.000 km/s); alto poder de penetração; altamente energético.

Em suma, uma emissão espontânea ocorre sempre que um núcleo se encontra excitado, mas como sua condição natural é a estabilidade, o excedente de energia é liberado na forma de partículas e/ou onda eletromagnética. Sim, os chamados raios gama nada mais são do que ondas eletromagnéticas de altíssima energia. Falaremos dessas ondas mais tarde. Abaixo, tem-se alguns exemplos de decaimento.



(* representa que o estado é excitado)

Com o tempo, a atividade da amostra de um material radioativo diminui, ou seja, seu poder de emissão cai. Para isso, usa-se uma grandeza chamada de meia-vida ($t_{1/2}$). Esse é o tempo que o número de desintegrações numa amostra cai pela metade. A meia-vida é característica de cada isótopo radioativo. Abaixo, seguem as meias-vidas de alguns deles.

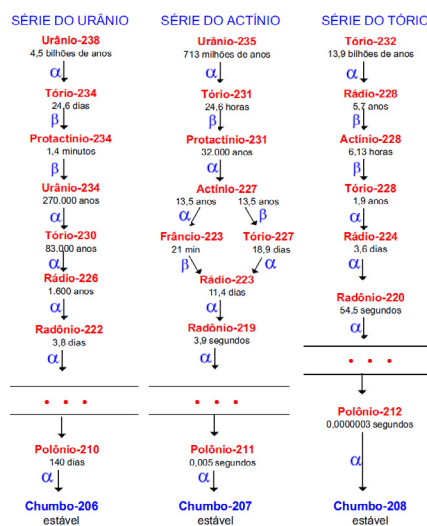
- Urânio 238 \longrightarrow 4,5 bilhões de anos
- Rádío 226 \longrightarrow 1.622 anos
- Césio 137 \longrightarrow 30 anos
- Radônio 220 \longrightarrow 54 segundos

Alguns nuclídeos realizam decaimentos sucessivos até atingirem a estabilidade. Para um elemento em específico, essas

transmutações ganham o nome de séries ou famílias radioativas. As mais importantes são:

- Série do Tório: começa com o Tório 232 e termina com o Chumbo 208;
- Série do Urânio: começa com o Urânio 238 e termina com o Chumbo 206;
- Série do Actínio: começa com o Actínio 227 e termina com o Chumbo 207.

Figura 23 - Principais séries radioativas



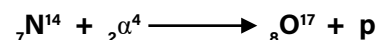
Fonte: Cardoso (2012).

As séries acima terminam com o Chumbo (Pb), elemento mais estável. Outra informação importante é que as mesmas são todas reações naturais.

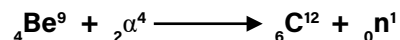
Mas o que dizer sobre as reações nucleares artificiais? Em uma parte do texto acima, foi falado do sonho dos alquimistas. Esses

precursores da química moderna buscavam encontrar o *Elixir da Vida* e tinha como meta também a chamada *Pedra Filosofal*, uma forma de transmutar qualquer objeto em ouro. Sabe-se hoje que teoricamente isso só é possível alterando o número de partículas do núcleo atômico e que a natureza executa essa tarefa com certa eficiência. Mas a grande pergunta que fica é: se a natureza pode controlar esse fenômeno, será que ao ser humano também não é permitido?

Com esse pensamento, Rutherford e outros começaram algumas investigações nesse sentido. Aliás, o pai da Física Nuclear foi o responsável pela primeira reação nuclear artificial da história. Ele fez passar partículas alfa por um tubo contendo diversos tipos de gases, sem resultados mesmo depois de meses de tentativa. Quando colocou nitrogênio (N_2), detectou a ejeção de partículas que podiam alcançar distâncias muito maiores do que as alfas. Mais tarde, verificou que possuíam carga positiva e foram chamados de prótons. Ele tinha observado a formação de O^{17} . A descoberta foi feita em 1919.



Outros experimentos foram feitos com câmaras de nuvens. A descoberta do nêutron só foi possível com esse tipo de aparato, embora não tenha sido uma tarefa fácil, experimento esse realizado por James Chadwick em 1932. A obtenção é descrita pela equação:



Os projéteis que passaram a ser usados foram núcleos de hidrogênio (H^1), que são prótons e, com a descoberta dos nêutrons, essas partículas se mostravam tão adequadas quanto, pois possuem massa semelhante. Na verdade, os pesquisadores observaram que o uso de prótons no bombardeio era dispendioso em termos de energia, pois, ao se aproximarem do núcleo do elemento em questão, sofriam repulsão coulombiana (cargas de mesmo sinal), tendo que vencer essa barreira. Com os nêutrons isso não acontecia, pois não possuem carga. Essas partículas, no entanto, tinham que ser arremessadas com velocidades

cada vez maiores. Foi preciso desenvolver aparelhos específicos para o alcance do intento, chamados de aceleradores de partículas, hoje tão importantes na Física de Partículas e Altas Energias.

Esse procedimento passou a ser usado também na obtenção de elementos químicos artificiais, proposta feita por Enrico Fermi em 1934. O primeiro transurânico foi sintetizado em 1940, o netúnio (Np), de número atômico 93. Nessa técnica, o nêutron penetra o núcleo, fazendo emitir um elétron e se transmutando num próton. Isso aumenta o número atômico do original. Elementos com Z acima de 100 só podem ser produzidos por fusão nuclear, onde aceleradores de partículas fazem dois núcleos colidirem tão fortemente que estes se fundem, produzindo núcleos mais pesados.

Figura 24 – Enrico Fermi



Fonte: Enrico [...] (2024).

Fermi nasceu em Roma no ano de 1901, naturalizado estadunidense. Destacou-se pelos estudos da Física Atômica e Nuclear, tendo desenvolvido o primeiro reator de fissão da história. Recebeu o Prêmio Nobel de Física em 1938. Participou do Projeto Manhattan, esforço gigantesco na construção da bomba atômica. Depois da Segunda Guerra, se dedicou à Física de Partículas, dando grandes contribuições. Morreu em 1954. O elemento químico artificial de número atômico 100 foi batizado de fêrmio em sua homenagem.

Nesse momento podemos recordar de uma passagem do filme *Homem de Ferro 2* (2009), quando o personagem Tony Stark descobre que o elemento paládio (Pd) que figura no seu peito está provocando sua morte lenta. Através das anotações do seu pai, resolve sintetizar um novo elemento químico e para isso, constrói um acelerador de partículas. Depois de bombardear nêutrons com algum núcleo não identificado, consegue realizar a tarefa e substituir o paládio no peito. Apesar de toda a ficção envolvida, a técnica usada pelo personagem vem acompanhando a ciência há décadas, sendo que vários elementos artificiais foram sintetizados dessa forma.

O estudo da Física Nuclear possibilitou enormes avanços não somente das investigações a respeito da estrutura da matéria, mas também aplicações em diversas áreas do conhecimento, desde medicina, passando pela indústria e engenharia, até controle de pragas e alimentos.

Figura 25 – Comparando alimento irradiado com alimento natural. Apesar da polêmica envolvida, a irradiação de alimentos melhora a aparência dos mesmos e evita a proliferação de microrganismos.



Fonte: Souza (c2024).

Quadro 1 – Alguns usos para as radiações

Traçadores radioativos	Usados, por exemplo, para estudo do comportamento de abelhas, formigas etc., podendo ser acompanhadas por detectores.
Controle de pragas	Esterilização de insetos, por exemplo.
Indústria	Examinar soldas, junções metálicas, rachaduras em peças, desgastes das partes móveis de um motor etc.
Datação radioativa	Determinar idades de rochas, fósseis, objetos históricos etc.
Preservação de alimentos	Irradiação de batatas, cebolas, carnes etc., para melhor conservação, na medida em que diminui a ocorrência de doenças nos mesmos.

Fonte: Peruzzo (2012).

ESTAMOS EXPOSTOS O TEMPO TODO ÀS RADIAÇÕES

A radioatividade não é algo novo nas nossas vidas. Ela está presente na natureza desde antes dos seres humanos. É claro que a tecnologia fez com que essa presença aumentasse ainda mais, causando problemas para organismos vivos. Porém, em níveis controlados, essa exposição a elas não causa malefício algum, nada que um pormenorizado estudo não possa provar.

Devemos ter em mente que existem radiações não ionizantes e radiações ionizantes. As não ionizantes nos cercam de várias formas e não provocam mudanças consideráveis em estruturas vivas, por exemplo, pois possuem pouca energia. São exemplos desse tipo a luz, o calor e as ondas de rádio.

As ionizantes possuem altos níveis de energia, sendo que metade dessa exposição vem de radiação cósmica, ou seja, de fora do planeta, composta por prótons, íons pesados, raios-X e gama, estes, os mais perigosos. Quanto mais alto se estiver em relação ao solo, mais expostos estaremos a essas radiações, que ao entrarem na atmosfera se desdobram em outras partículas e atingem o solo. Um dado reconfortante é que apenas um terço dessa exposição diária vem de fontes não naturais. Dentre outras fontes que se enquadram nesse quesito, inclui-se a emissão de usinas nucleares e resíduos vindos da queima do carvão, que libera anualmente para o ar 9.000 toneladas de tório e 4.000 toneladas de urânio, ambos radioativos.

Alguns dados são fornecidos abaixo:

- Potássio (K): em 1 litro de leite de vaca encontra-se 1,4 g de potássio, sendo 0,0118% de K^{40} ;
- Em outros alimentos: C^{14} , Ra^{228} e Ra^{226} ;

- Cada tonelada de granito possui 20 g de tório e 9 g de urânio;
- Ao verificar o rótulo de uma garrafa de água mineral, observa-se a presença de alguns elementos radioativos, como o potássio e o magnésio em pequenas quantidades, revelando as características da fonte em questão.

Em várias outras situações podem ser encontrados esses elementos, o que prova que estamos imersos nesse universo radioativo desde sempre, embora, como dito, nossa tecnologia fez aumentar essa exposição.

Levando em consideração as fontes naturais, o radionuclídeo mais presente é o radônio (Rn), que é originado da desintegração do rádio (Ra). Um dos motivos de se manter um ambiente sempre arejado é que o gás Rn pode se infiltrar de diversas formas no ambiente, e se inalado em grandes quantidades pode provocar câncer.

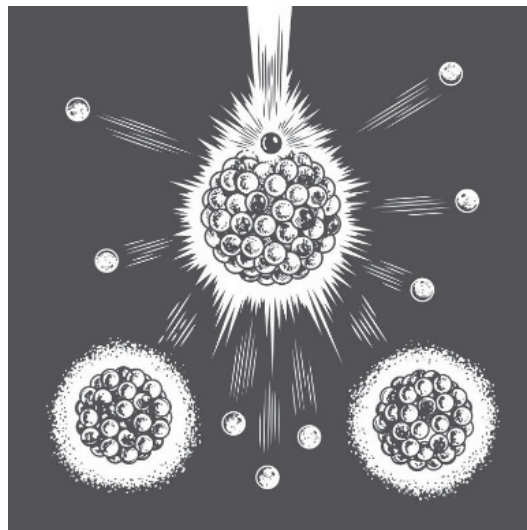
FISSÃO NUCLEAR: A QUEBRA DO NÚCLEO LIBERA ENERGIA

O físico italiano Enrico Fermi propôs a obtenção de elementos mais pesados a partir do bombardeamento por nêutrons. Juntamente com Emilio Segrè, começou uma série de experimentos nesse sentido, bombardeando urânio com nêutrons e imaginaram ter obtido o elemento com número atômico 93 (como já dito, sintetizado em 1940). Ao analisar os resultados, a química Ida Noddack interpretou-os de modo diferente. Para ela, o que eles tinham conseguido foi quebrar o núcleo de urânio. Os dois pesquisadores continuaram suas experiências, ainda discordando da química, quando, em 1938, Otto Hahn e Fritz Strassmann, ao bombardear núcleos de urânio, obtiveram, sem sombra de dúvidas,

o elemento químico bário (Ba), com quase metade da massa do urânio. A interpretação: o núcleo de urânio tinha se partido.

Segundo cálculos feitos por Lise Meitner e Otto Frisch, seu sobrinho, a energia liberada nesse processo era milhões de vezes maior do que a liberada em uma reação química. A técnica envolve adicionar nêutrons a um núcleo, mudando suas características geométricas. Nesse ponto, a força nuclear, que mantinha sua estabilidade, é superada pela repulsão elétrica, que passa a dominar. Esse domínio atinge um limite, fazendo o núcleo se romper. Os modelos admitem que o núcleo se estica a tal ponto que a “cola” que o mantém coeso (a força nuclear forte) não consegue impedir o estiramento. Tem-se a chamada Fissão Nuclear.

Figura 26 - Esquema simples da fissão nuclear



Fonte: Silas (c2024).

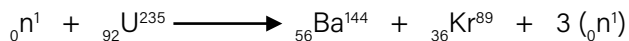
Figura 27 – Lise Meitner



Fonte: Lise [...] (2024).

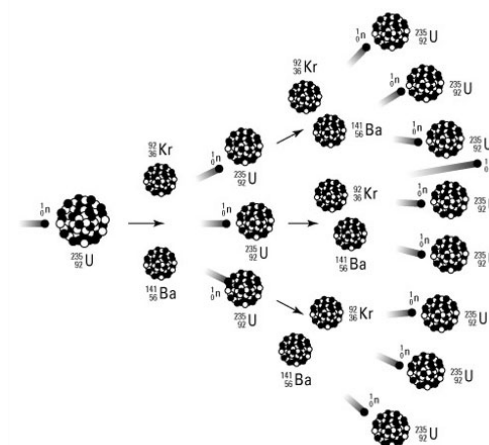
Lise Meitner foi uma física austríaca nascida em Viena em 1878, e é considerada a intérprete da fissão nuclear. Na Universidade de Viena, foi aluna de Ludwig Boltzmann. Juntamente com Otto Hahn, descobriu o elemento protactínio. Fugiu da Alemanha para a Suécia, onde trabalhou com poucos recursos por conta do preconceito com as mulheres, embora se mantivesse atualizada sobre as pesquisas por Hahn através de cartas. Em 1939, Meitner publicou na *Revista Nature* a interpretação do fenômeno que denominou de fissão nuclear, junto com seu sobrinho Otto Frisch. Por sua pesquisa em fissão nuclear, Otto Hahn recebeu o Prêmio Nobel de Química em 1944, não reconhecendo, no entanto, a verdadeira participação de Lise Meitner. Apesar disso, é considerada a mulher mais importante na ciência do século XX. O elemento químico meitnério foi batizado assim em sua homenagem. Morreu em 1968.

Como o núcleo se parte, os pedaços são compostos por partículas e outros elementos químicos, geralmente radioativos. E o material resultante pode ter diversas reações diferentes. Considere-se a reação:



Nessa combinação, além dos produtos bário e criptônio, obtém-se também três nêutrons. Se cada nêutron ejetado colidir com mais um núcleo, tem-se um total de nove nêutrons no final. Se o processo seguir, a produção de nêutrons aumenta exponencialmente, constituindo o que se chama de reação em cadeia. Foi obtida pela primeira vez sob a supervisão de Enrico Fermi.

Figura 28 - Representação de uma reação em cadeia



Fonte: Lira (c2006-2024).

Um isótopo que permite a fissão nuclear é chamado de físsil, sendo que os mais usados são o urânio 235 e 233 e o plutônio 239. Somente o U^{235} é encontrado naturalmente, extraído do U^{238} , que não é físsil.

Infelizmente, muitas pesquisas em fissão nuclear nasceram na esteira do que viria a ser a Segunda Guerra Mundial, especificamente no Projeto Manhattan. É de conhecimento de todos que o resultado disso foi a construção e lançamento das bombas atômicas de Hiroshima e Nagasaki, que ceifaram inúmeras vidas. Finda a guerra, os pesquisadores investiram tempo e esforços na pesquisa de uma forma de produzir energia elétrica a partir da fissão. O processo tem que ser controlado dentro de reatores. Mas a polêmica envolvendo o seu uso gira em torno dos perigos, principalmente dos núcleos originados da reação, grande parte radioativos.

A FUSÃO NUCLEAR: MUITO MAIS ENERGIA

Se, por um lado, ao bombardear um núcleo com nêutron, obtém-se núcleos menores e geralmente radioativos, o que acontece se dois deles forem forçados a colidirem? Ocorre outra reação, conhecida como fusão nuclear. Essa área nasceu quando os estudos do plasma ganharam força, fazendo com que os pesquisadores percebessem que o processo de fusão era bastante promissor, pois trazia mais vantagens que a fissão.

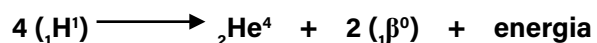
Em linhas gerais, no que consiste o plasma? Se aquecermos um material sólido, o mesmo passa para o estado líquido. Permanecendo o aquecimento, passa para o estado gasoso, dando mais liberdade para as partículas se moverem. Todo estudante chega ao ensino médio sabendo desses detalhes. A matéria se apresenta em três estados: sólido, líquido e gasoso. Quando o aquecimento da massa gasosa se mantém, os elétrons se dissociam dos átomos, a matéria passando a se constituir por uma "sopa" de núcleos e elétrons. Isso é o plasma, o quarto estado da matéria. A fusão nuclear pode ocorrer facilmente aí dentro.

No que consiste, então, a fusão nuclear? Ocorre quando dois núcleos são aproximados o bastante para que se fundam, formando outro elemento químico mais pesado. Quando isso ocorre, a massa do núcleo formado é um pouco menor do que a massa dos núcleos individuais. A diferença é transformada em energia, de acordo com a equação de Einstein

$$E = mc^2,$$

onde m é a diferença de massa entre os reagentes e o produto e c é a velocidade da luz, que é de 3×10^8 m/s.

Essa energia emitida é bem maior do que a obtida com a fissão. A fusão em altas temperaturas é chamada de fusão termonuclear.



No exemplo acima, temos quatro átomos de hidrogênio se fundindo para formar um átomo de hélio, mais duas partículas beta e energia. Essa reação é bastante clássica e sua importância será discutida mais adiante.

Em termos de comparação, a porcentagem da massa transformada em energia na fissão é de 0,1% e na fusão, 0,7%.

Na aproximação dos dois núcleos, a repulsão coulombiana deve ser vencida de alguma maneira. Quando é suficiente, a atração nuclear se torna superior e os núcleos se fundem. Isso acontece quando a distância entre eles é da ordem de mais ou menos 10^{-15} m, distância conhecida como 1 fermi.

Segundo Peruzzo *et al.* (2014), as condições para a ocorrência da fusão são:

- a. Temperaturas elevadas do plasma: entre 45 e 400 milhões de kelvin;
- b. A quantidade de íons por unidade de plasma deve ser alta;
- c. Tempo de confinamento deve ser grande.

Essa fonte de energia é bastante promissora, mas reproduzir essas condições aqui na Terra é muito difícil. Um esforço mundial vem sendo feito há décadas nesse sentido e estima-se que em mais alguns anos, um reator de fusão esteja operacional.

SERÁ QUE JÁ TEMOS ALGO A DIZER SOBRE A FONTE DE ENERGIA NAS ESTRELAS?

Bem, terminamos a seção 2 com a proposta de Eddington para esse problema. Na verdade, foi uma suposição. Lá pelos idos de 1920, o astrofísico se preocupou com o mecanismo que poderia fazer uma estrela como o Sol produzir tanta energia de maneira estável e por tanto tempo. Lembremos que a idade da Terra tinha sido calculada em alguns bilhões de anos e que o Sol não poderia ter menos do que isso. Sua proposta foi algum mecanismo ligado ao átomo. Imaginou a fusão do hidrogênio para a produção dessa energia, a partir de dados obtidos por F. W. Aston. Físicos como George Gamow e Edward Teller, nos anos seguintes, contribuíram com cálculos importantes nesse sentido.

Figura 29 – George Gamow



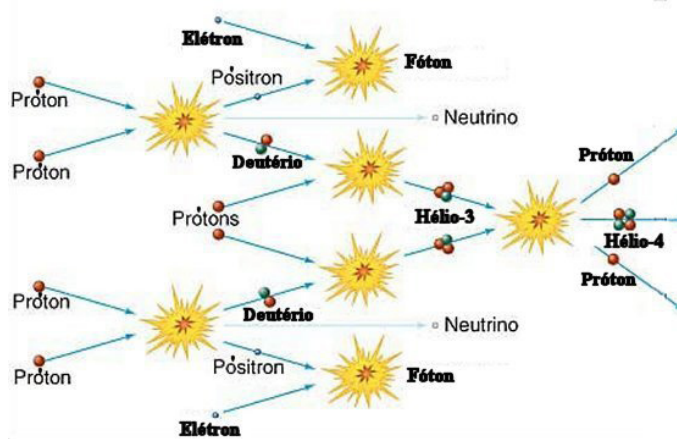
Fonte: George [...] (2024).

Físico nascido na Ucrânia em 1904, Gamow também foi um divulgador da ciência, tornando-se cidadão estadunidense em 1940. Na década de 1930 iniciou estudos em cosmologia, ao lado de Eduard Teller, dedicando-se a entender o processo de formação dos elementos químicos em um universo em nascimento. Publicou uma série de artigos tratando do tema, propondo o que viria a se chamar de Teoria do *Big Bang*, uma ideia já proposta por Lemaitre. Junto com Ralph Alpher e Robert Herman, previu a existência de uma radiação cósmica de fundo que poderia ser detectada, mas foram ignorados por outros cientistas. Mais tarde, a radiação foi detectada nos Laboratórios Bell, nos Estados Unidos, tornando-se umas das principais evidências da Teoria do *Big Bang*. Gamow morreu em 1968.

Mas foi Hans Bethe, alemão, quem deu o mais importante passo no entendimento da produção de energia das estrelas, antes da Segunda Guerra Mundial. Depois de uma conferência que reuniu astrônomos e físicos nos Estados Unidos, em 1939, Bethe publicou

um artigo intitulado *A Produção de Energia nas Estrelas*, que lhe valeu o Prêmio Nobel de Física em 1967. Nesse trabalho desenvolveu a teoria de como a fusão nuclear permite o mecanismo que faz as estrelas brilharem. Ele analisou diferentes possibilidades para o processo de fusão do hidrogênio em hélio, chamado ciclo próton-próton, concluindo que em estrelas menores, como o Sol, esse era o mecanismo predominante. Para estrelas mais quentes e maiores, o processo é conhecido como ciclo CNO (carbono-nitrogênio-oxigênio). Nessa queima, a temperatura é fator importante, por isso se chama fusão termonuclear.

Figura 30 – Ciclo próton-próton



Fonte: Oliveira Filho (2014).

No ciclo próton-próton dois pares de prótons se fundem separadamente, formando deutério, que, ao receberem um próton cada, produzem hélio 3, logo depois se juntando e formando hélio 4.

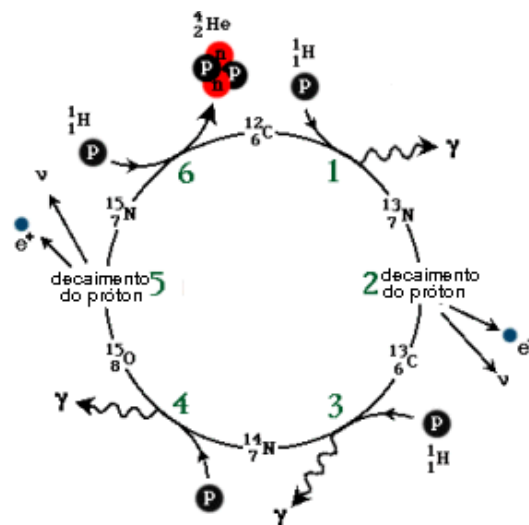
Figura 31 – Hans Albrecht Bethe



Fonte: Hans [...] (2024).

Bethe nasceu em 1906 na Alemanha, tornando-se cidadão estadunidense. Graduou-se em física em Frankfurt e fez doutorado em Munique, estudando a teoria do campo cristalino, rapidamente aplicada no estudo dos sólidos iônicos. Deixou a Alemanha em 1933 depois que os nazistas assumiram o poder, indo para a Inglaterra e depois Estados Unidos. Usando as reações nucleares, principalmente a fusão, estabeleceu como as estrelas produzem energia através desse processo, ganhando o Prêmio Nobel de Física em 1967. Faleceu em março de 2005 nos Estados Unidos, aos 98 anos de idade.

Figura 32 – Representação esquemática do ciclo CNO



Fonte: Oliveira Filho (2014).

Em teoria, a fusão também pode ser obtida acelerando-se dois núcleos, fazendo com que a alta energia cinética force a ocorrência do evento. Na prática, isso é bem difícil. Por isso se usa a temperatura para esse intento, que faz com que os núcleos se juntem, rompendo em certo momento a barreira coulombiana. Um dos grandes problemas em se reproduzir esse mecanismo aqui na Terra é justamente esse: a temperatura deve chegar na casa dos milhões de kelvin, no mínimo.

Quadro 2 – Exemplos de reações e temperaturas mínimas para ocorrerem

REAÇÃO	TEMPERATURA MÍNIMA
$4\text{H}^1 \longrightarrow \text{He}^4$	8 milhões de kelvin
$3\text{H}^4 \longrightarrow \text{C}^{12}$	100 milhões de kelvin
$2\text{C}^{12} \longrightarrow \text{Mg}^{24}$	1 bilhão de kelvin

Fonte: Oliveira Filho e Saraiva (2022a).

Anteriormente, falamos da barreira coulombiana que os núcleos devem vencer para a ocorrência da fusão. O problema é que, por exemplo, em uma temperatura de 15 milhões de kelvin, como é o interior do Sol, os núcleos possuem energia cinética mil vezes menor do que a barreira. É como quebrar uma porta de vidro espessa caminhando a uma velocidade de meio metro por segundo! Como explicar, então, a ocorrência da fusão de núcleos? Impossível do ponto de vista clássico.

Um dos trabalhos de George Gamow, ainda na década de 1920, foi justamente demonstrar esse efeito. Os prótons são considerados partículas quânticas, tendo certa probabilidade de participarem da fusão, mesmo com energias tão baixas. Esse é o chamado Efeito Gamow, uma espécie de tunelamento, onde a partícula consegue, de alguma maneira, atravessar uma barreira que lhe parecia intransponível. O que nos leva à conclusão de que, sem a Física Quântica, esse fenômeno não poderia ser compreendido.

O Quadro abaixo faz uma comparação entre as energias liberadas por três tipos de reações diferentes: química, fissão e fusão nuclear. A disparidade entre os valores das energias química e por fissão diante da fusão nuclear é bastante alta.

Quadro 3 - Energias liberadas por cada reação

Reações	Química	Fissão	Fusão
Exemplos de reação	$C + O_2 \rightarrow CO_2$	$n + U^{235} \rightarrow Ba^{143} + Kr^{91} + 2n$	$H^2 + H^3 \rightarrow He^4 + n$
Combustível Típico	Carvão	UO_2 (3% U^{235} + 97% U^{238})	Deutério & Lítio
Temperatura para reação (C)	873	1273	1 000 000
Energia liberada por kg de Combustível (J/kg)	$3,3 \times 10^7$	$2,1 \times 10^{12}$	$3,4 \times 10^{14}$

Fonte: Oliveira Filho e Saraiva (2022a).

Vamos analisar alguns dados obtidos para o Sol sobre sua produção de energia. Veremos mais adiante que nossa estrela é de pequeno a médio porte, mas seus números em relação aos que os seres humanos lidam no dia a dia são impressionantes.

- a. Cada metro quadrado da Terra recebe do Sol 1.400 Watts de potência, sendo o Watt equivalente a Joule por segundo. Tem-se aproximadamente a mesma potência gerada por 215 lâmpadas de led de 6,5 W;
- b. Sua luminosidade é de 4×10^{26} Watts, algo como 5 trilhões de bombas de hidrogênio por segundo. Essa energia seria suficiente para abastecer a Terra durante 9 milhões de anos;
- c. Aproximadamente 600 milhões de toneladas de hidrogênio são convertidos em hélio por segundo.

A seguir, faremos alguns cálculos com dados bastante conhecidos para obtermos o tempo que nossa estrela levará transformando hidrogênio em hélio. A matemática envolvida é simples e pode ser reproduzida por qualquer pessoa com o mínimo de conhecimento sobre a mesma. Esses cálculos foram baseados nos encontrados no livro *Astronomia e Astrofísica*, de Kepler de Souza Oliveira Filho.

Como dito anteriormente, a massa que entra numa reação de fusão é maior do que a massa resultante. Essa falta é explicada pela liberação de energia através da equação de Einstein

$$E = mc^2$$

No Sol, por exemplo, quatro prótons se fundem formando hélio. A massa dos quatro prótons juntos é 4,0324 u, onde u é a unidade de massa atômica, de valor aproximado de $1,66 \times 10^{-24}$ kg. A massa do átomo de hélio é de 4,0039 u. Sendo Δm a diferença de massa, tem-se

$$\Delta m = 4,0324 \text{ u} - 4,0039 \text{ u} = 0,0285 \text{ u}$$

Dividindo Δm pela massa dos quatro prótons antes da fusão, obtém-se

$$\frac{0,0285}{4,0324} = 0,007$$

Isso significa que 0,7% da massa da reação é transformada em energia. Levando em consideração que a massa que entra na reação corresponde a 10% do total de hidrogênio da estrela, a equação para a energia produzida é, já com as correções:

$$E = 0,007 \times 0,1 \times M_s \times c^2$$

Sendo M_s a massa do Sol, cujo valor é de $1,99 \times 10^{30}$ kg e a velocidade da luz é de 3×10^8 m/s. Substituindo na equação, temos

$$E = 1,26 \times 10^{44} \text{ Joules.}$$

Prosseguindo, a luminosidade do Sol é de 4×10^{26} J/s. Fazendo uma regra de três simples com os valores da energia e luminosidade, podemos calcular o tempo que o Sol levará produzindo energia.

$$t = \frac{3,15 \times 10^{17}}{3,15 \times 10^7} = 10 \times 10^{17} \text{ s}$$

Por fim, se um ano tem , depois de uma outra regra de três, obtém-se:

$$t = \frac{3,15 \times 10^{17}}{3,15 \times 10^7} = 10 \times 10^{10} \text{ anos}$$

Isso equivale a 10 bilhões de anos produzindo energia através da fusão termonuclear do hidrogênio em hélio, antes de começar o processo de instabilidade. Os cálculos mais aceitos dão conta de que o Sol possui cerca de 5 bilhões de anos de idade, o que sobra mais ou menos o mesmo tempo até começar a "morrer". Para as demais estrelas, os cálculos são feitos com base nos dados do Sol, sendo que as equações envolvidas dependem dos mesmos.

São décadas de observação feitas pelos astrônomos, aliando novas técnicas e teorias para criar o arcabouço teórico que se conhece como Evolução Estelar, que une áreas tão díspares quanto Física Térmica e Teoria Quântica. O que a ciência sabe sobre as estrelas é motivo de comemoração por parte dos especialistas, principalmente no quesito ligado à produção de energia. Esses astros fascinantes garantem as condições necessárias para que ocorra a fusão nuclear, considerada o processo mais importante do universo. O ser humano busca não só entendê-lo como reproduzi-lo aqui na Terra. Muitos acreditam que esse caminho possa levar à solução dos problemas energéticos do planeta.

UM POUCO SOBRE EVOLUÇÃO ESTELAR: UMA ESTRELA NASCE, CRESCER E MORRE

Parece estranho associar a vida de uma estrela à vida humana. O próprio termo “vida” se mostra deslocado em certo sentido, pois a entendemos como uma propriedade de seres que interagem com outros, de alguma maneira promovendo uma relação harmoniosa com outrem. Mas não é harmoniosa a relação entre as estrelas e os demais objetos celestes? Não foi uma estrela que permitiu o florescimento da vida na Terra? Quase todos os elementos químicos são produzidos em uma estrela e na sua morte, outros mais pesados são lançados no espaço profundo. Nós mesmos somos feitos desses elementos, formando a matriz de toda a vida, já se tornando um lugar comum o fato de sermos “poeira de estrelas”.

É muito poético pensar nesses termos e pode servir de introdução para um dos temas mais interessantes e controversos da

ciência. Mas não devemos perder de vista que, apesar dessas relações feitas, a evolução estelar se dá por processos puramente físicos e que, mesmo usando-se termos associados à vida e à morte, esses objetos não são seres biológicos. O que não tira a sua importância para a compreensão do estado em que se encontra o universo, com toda sua complexidade, incluindo passado, presente e futuro.

Foi demonstrada a jornada para a compreensão da forma como uma estrela produz energia, levando os cientistas a desenvolverem ferramentas e teorias modernas que têm transformado a humanidade de maneira irreversível. A Física Nuclear desvendou esse mistério, oportunizando a sua aplicação para a geração de energia na Terra, espera-se, em um futuro próximo.

Mas o estudo do universo permite grandes perguntas, em particular, referentes às estrelas. Como se dá o “nascimento” de uma estrela? Quais as etapas da chamada evolução estelar? E talvez a pergunta mais fascinante: Quais os estágios finais da vida de uma estrela? As respostas obtidas ao longo de décadas são desconcertantes e serão tratadas nas próximas seções de forma leve, porém, permitindo aos leitores uma compreensão geral do tema.

O ELEMENTO MAIS ABUNDANTE DO UNIVERSO

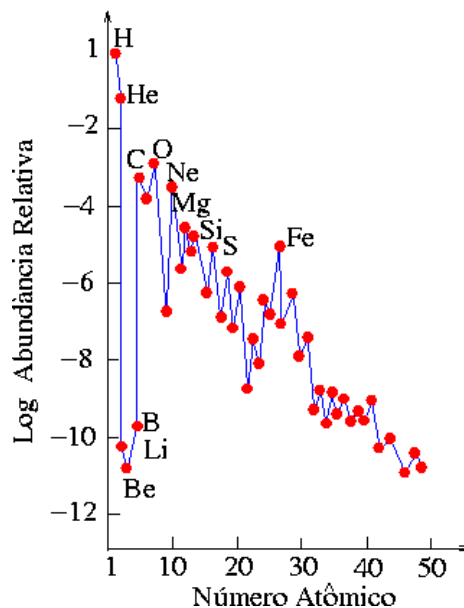
A ciência tenta seguir um princípio básico estabelecido há séculos conhecido como Navalha de Ockham, ideia na qual uma assertiva científica deve ser a mais simples possível dentre outras candidatas a explicar a natureza. Mas será que a sensação que fica ao se estudar física, por exemplo, é a ideia de que as teorias são realmente as mais simples? Um estudante do ensino médio vai dizer

categoricamente que não. As teorias que eles estudam não são as mais simples. Pode-se concordar com isso até certo ponto. Afinal, o que garante que a teoria aceita é realmente a mais simples?

Toda essa retórica acima serve para iniciar uma discussão sobre o elemento mais abundante do universo. A tabela periódica foi organizada de modo a atender ao crescimento do número atômico, que representa o número de prótons no núcleo de cada elemento químico. Sem levar em consideração os detalhes dessa organização, temos, de um modo geral, elementos naturais e artificiais. O de estrutura mais simples, o primeiro nessa organização, é o hidrogênio, que possui um próton e um nêutron no seu núcleo. O mais simples, então, é mais abundante. Formado nos primórdios do universo, algum tempo após o *Big Bang*, ainda é disparado o elemento mais presente, permeando regiões imensas do universo em variadas densidades. E faz parte também da constituição de uma estrela. Sim. Uma estrela é formada quase que completamente por hidrogênio. O nosso Sol, por exemplo, é uma imensa esfera de gás degenerado, composta por 91,2% de hidrogênio, 8,7% de hélio e o restante de outros elementos.

Essa distribuição para o Sol é tão importante que há um gráfico, batizado de abundância cósmica, que foi elaborado com base em dados obtidos por medidas na fotosfera e vento solar, além de meteoritos. Isso, apesar de representar a distribuição no sistema solar, pode ser estendido para o restante do universo.

Figura 33 – Abundância cósmica



Fonte: Abundância [...] ([2018?]).

Para o universo visível, as porcentagens são:

- 73,5 % de hidrogênio;
- 24,9 % de hélio;
- O restante de outros elementos.

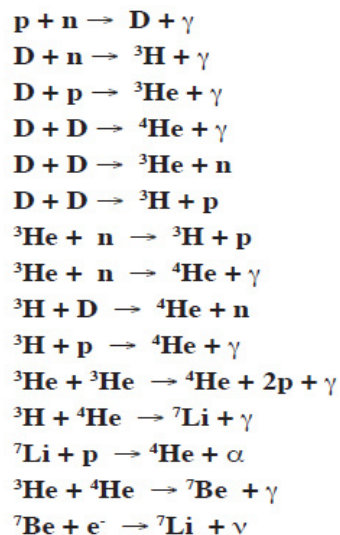
Nesse sentido, podemos falar dos processos de formação dos elementos químicos. Não era possível responder à pergunta até que se tivessem dados suficientes e precisos, bem como uma base teórica para isso. Hoje, se admite três processos: nucleossíntese primordial, nucleossíntese estelar e nucleossíntese interestelar. Vamos dar ênfase especificamente aos dois primeiros processos, os que mais interessam o presente trabalho.

NUCLEOSSÍNTESE PRIMORDIAL

A teoria mais aceita para a formação do universo é conhecida como *Big Bang*, mas, a despeito de várias confirmações bem-sucedidas, não é uma unanimidade. Seguindo essa ideia, tudo começou com um ponto de alta densidade e temperatura, tão particular, que os cosmólogos buscam uma teoria unificada para a sua compreensão (ver seção sobre as forças fundamentais). O fato é que nesse momento só existiam partículas elementares, como elétrons, prótons etc., além de radiação. Com a expansão, a temperatura e a densidade foram diminuindo, até atingir o estado atual. Aliás, uma das grandes vitórias da Teoria do *Big Bang* foi alcançada com a previsão e detecção da diluição dessa energia com a expansão, chamada de radiação cósmica de fundo, a 2,7 kelvin de temperatura, feito que rendeu o Prêmio Nobel de Física a Arno Penzias e Robert Wilson em 1978.

Nos primeiros segundos de expansão a temperatura era da ordem de alguns trilhões de kelvin e com o resfriamento, ao atingir a ordem dos bilhões de kelvin, foram sintetizados o deutério, o trítio e isótopos de hélio e lítio. As reações ocorridas estão listadas abaixo.

Figura 34 - Formação dos elementos mais leves



Fonte: Maciel (2004).

As reações terminam no Li^7 por que, com a expansão, as temperaturas não são mais suficientes para a sintetização de elementos mais pesados.

NUCLEOSSÍNTESE ESTELAR

Nesse momento, o material primordial que compõe o universo foi sintetizado e, à medida que se expande, há o seu espalhamento em todas as regiões. Com abundância de hidrogênio, mais leve e simples, por toda a parte vão se criando bolsões desse elemento e pouco a pouco, sua densidade vai aumentando. Esses são os aglomerados moleculares. É a hora da gravidade atuar. Quanto mais denso, maior a atração gravitacional, que vai gerando rotação

como um carrossel composto de gás. O que se tem são aglomerados de gás e poeira, se aglutinando e girando. Sabe-se que, quando um gás é comprimido, sua pressão e temperatura aumentam (termodinâmica básica), o que de fato ocorre, sendo que no centro, esse aumento é maior. As regiões mais próximas dele têm maior temperatura do que as mais afastadas, isso se chama de gradiente.

Pois bem, as camadas mais externas comprimem a região central até uma densidade limite, onde começa um equilíbrio, no qual as mais internas suportam a pressão gravitacional das outras. A temperatura sobe o suficiente e atinge cerca de 150.000 kelvin nesse estado. Diz-se, então, que há a formação de uma protoestrela.

A temperatura e pressão continuam subindo na parte interna e quando atinge a casa dos milhões de kelvin, inicia-se o processo de fusão termonuclear. Como já sabemos, átomos de hidrogênio se fundem e formam átomos de hélio, um dos eventos mais poderosos do universo. Uma estrela acaba de nascer.

O que é uma estrela, então? "Estrelas são esferas autogravitantes 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" (Oliveira Filho; Saraiva, 2004). Portanto, só há estrela se houver fusão termonuclear. A maioria das estrelas nasce em aglomerados, permanecendo juntas por toda a vida ou se desgarrando com o passar do tempo.

Figura 35 – M8 é uma nebulosa de emissão localizada em Sagitário, conhecida como a Nebulosa da Lagoa



Fonte: Colombari (2016).

Quando uma estrela nasce, começa o processo de queima do hidrogênio, entrando assim numa fase chamada de Sequência Principal (SP). Continuando a comparação com o ser humano, é a sua fase produtiva, onde brilha durante anos, sendo que sua estrutura é mantida em equilíbrio. Há uma intensa queda de braço entre a geração de energia no núcleo, a chamada pressão de radiação, e a pressão gravitacional das camadas mais externas. Esse equilíbrio é tênue e enquanto houver fusão, ele é mantido. A maior parte do tempo de vida de uma estrela corresponde à sequência principal.

O que define quanto tempo uma estrela passa na sequência principal é a sua massa. Estrelas de grande massa queimam o hidrogênio mais rapidamente do que as de pequena massa. O Quadro abaixo mostra valores para alguns casos.

Quadro 4 – Características e tempo de vida na sequência principal

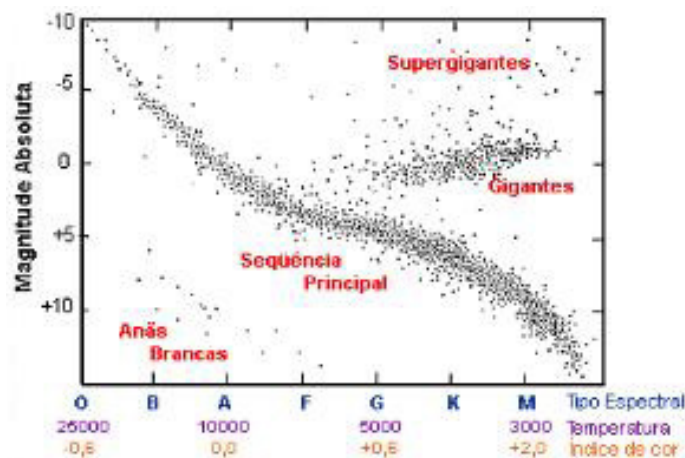
Massa em relação à massa do Sol	T(K) superfície	Luminosidade	Tempo na S.P.
25	35.000	80.000	3 milhões de anos
15	30.000	10.000	15 milhões de anos
3	11.000	60	500 milhões de anos
1 (Sol)	6.000	1	10 bilhões de anos
0,5	0,025	0,025	200 bilhões de anos

Fonte: adaptado de Peruzzo et al. (2014).

O estudo do espectro de uma estrela revela os elementos químicos que a compõem, bem como sua temperatura superficial, o que define sua cor. A Espectroscopia será abordada mais adiante.

Dados importantes da Evolução Estelar podem ser reunidos em um gráfico chamado de Diagrama H-R. Isso foi feito de forma independente pelo dinamarquês Ejnar Hertzsprung em 1911 e pelo americano Henry Russel (daí o nome do diagrama) em 1913. Os dados para sua construção foram obtidos na época, associando luminosidade e temperatura superficial de várias estrelas catalogadas.

Figura 36 – Diagrama H-R



Fonte: Gregorio-Hetem e Jatenco-Pereira (2010).

Nesse diagrama, a temperatura cresce para a esquerda e a luminosidade cresce para cima. A maior parte das estrelas se encontram na sequência principal, ou seja, transmutam hidrogênio em hélio. Nas outras regiões são apresentadas outras categorias de estrelas, como as gigantes, supergigantes e anãs brancas.

Uma curiosidade é que as estrelas gigantes são mais frias que o Sol, mesmo sendo maiores e mais brilhantes. As anãs brancas são mais quentes do que o Sol, portanto, mais azuis, ao mesmo tempo que são mais luminosas e menores.

Como dito anteriormente, o estudo de uma estrela é feito tomando o Sol como referência. Nesse sentido, as massas das estrelas variam entre $0,08M_s$ e $100M_s$. Objetos gasosos menores que $0,08M_s$ não conseguem produzir a fusão termonuclear. Nas estrelas acima de $100M_s$, a temperatura é tão alta no seu núcleo que a faria se destruir, impossibilitando sua existência.

Uma estrela passa a maior parte de sua vida sendo produtiva, transformando hidrogênio em hélio, o que, no caso do nosso Sol, possibilita a manutenção da vida na Terra. Mas é uma constatação que nada é eterno. Uma estrela não queima seu combustível para sempre. Vimos que quando 10% do hidrogênio é queimado, algo começa a acontecer. O equilíbrio é interrompido e a estrela sai da sequência principal. Uma sequência de fases acontece e o caminho depende de sua massa. É o que vamos discutir a seguir.

A ESTRELA ENTROU EM DESEQUILÍBRIO. E AGORA?

Esgotou-se o hidrogênio do núcleo e a chamada pressão de radiação diminui, provocando a instabilidade, pois a gravidade

empurra o núcleo contra si mesmo, agora composto por hélio. O núcleo aumenta sua temperatura e como efeito cascata, faz as camadas externas também ficarem mais quentes. Nestas, o hidrogênio presente começa a fundir, produzindo mais hélio, fazendo com que a estrela aumente consideravelmente seu tamanho. A estrela se torna uma gigante vermelha.

Enquanto isso, o núcleo continua se contraindo e aumentando sua temperatura, quando chega a cerca de 100 milhões de kelvin, suficiente para começar a queima do hélio, que se transforma em carbono e oxigênio. Em geral, a partir desse ponto, a evolução estelar depende se a estrela pertence a um binário ou múltiplo ou é uma simples. No primeiro caso, depende de sua massa e separação entre si. No segundo, depende somente de sua massa. É o caso que vamos nos ater.

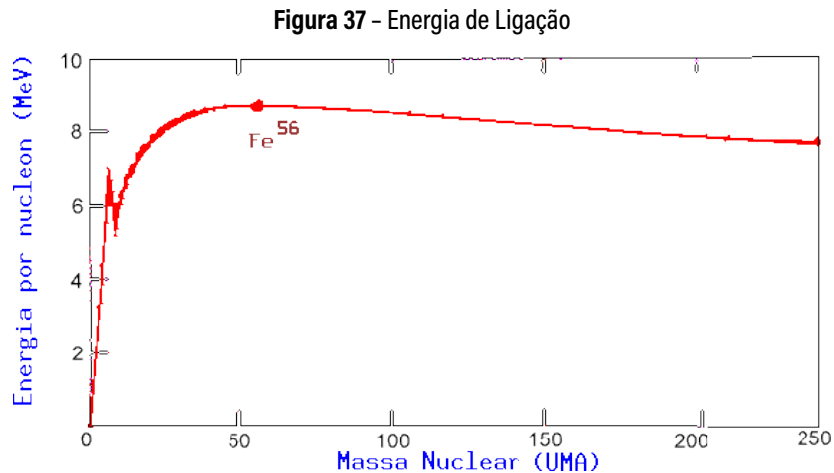
Se uma estrela tiver entre $0,08M_{\odot}$ e $0,8M_{\odot}$, ao queimar o hidrogênio do núcleo, se expande ao provocar a queima do hidrogênio nas camadas que estão mais acima, como relatado anteriormente. O núcleo, por sua vez, não tem temperatura suficiente para a fusão do hélio, tornando-se uma anã branca com núcleo composto por esse elemento. A fase final de estrelas desse tipo ainda não foi observada por que a idade do universo não é suficiente para elas terem saído da sequência principal (vide Quadro 4).

Se sua massa inicial for entre $0,8M_{\odot}$ e $10M_{\odot}$, após queimar o hidrogênio central, passa a fundir o hélio criado, tornando-se gigante e supergigante vermelha. O núcleo torna-se composto por carbono e oxigênio e as camadas superiores, ao queimar hidrogênio e hélio, fazem a estrela se contrair e expandir continuamente. Isso ejetam as camadas mais externas para o espaço, formando as nebulosas planetárias. Depois de alguns milhares de anos, essa matéria se dispersa, expondo um caroço que, ao se resfriar, também se torna uma anã branca, sem ocorrência de fusão. Esse será o destino do Sol, que ao se expandir, levará consigo a vida na Terra (se

ainda houver). Mas estimativas indicam que isso ocorrerá dentro de 5 ou 6 bilhões de anos.

Se a massa for acima de $10M_{\odot}$, após a fase de supergigante, ocorre um dos eventos mais energéticos conhecidos, chamado de supernova. Assim, ejetará grande parte de sua massa ao espaço, dando origem, inclusive, a elementos mais pesados. O que acontece é que estrelas de grandes massas evoluem muito rapidamente pela aceleração da produção de energia. A temperatura atinge a casa dos bilhões de kelvin, permitindo a fusão dos elementos O^{16} , Mg^{24} , Si^{28} , S^{32} , Cl^{35} , Ca^{40} , Sc^{45} , Ti^{48} e assim sucessivamente até o ferro (Fe^{56}).

Observando o gráfico abaixo, que mostra a energia de ligação dos átomos, percebe-se que há liberação de energia por fusão até o Fe^{56} , com o crescimento da curva. Portanto, sua energia de ligação é mais alta.

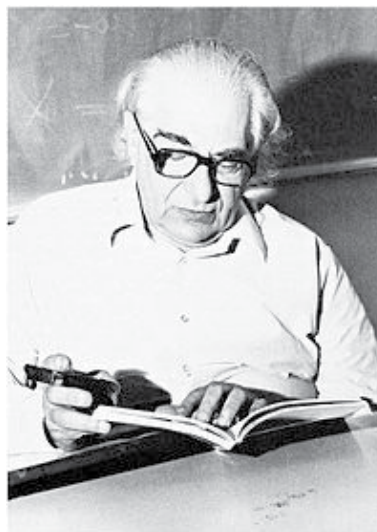


Fonte: Oliveira Filho e Saraiva (2008).

A partir do ferro, a reação nuclear mais vantajosa é a fissão, ou seja, a quebra do átomo. A pressão e a temperatura são tão altas, que elétrons e prótons se fundem, gerando nêutrons. Estes ocupam menos

espaço por não possuírem carga, aumentando o calor, o que produz a emissão de neutrinos, que deixam a estrela. Neutrinos são partículas subatômicas sem carga, muito mais leves que os elétrons e por isso de difícil detecção. Essa fuga de neutrinos leva consigo a energia central da estrela, gerando colapso gravitacional e uma explosão violenta, denominada de supernova, ocorre. Esse fenômeno foi estudado, dentre outros, pelo físico brasileiro Mario Schenberg. Conta-se que George Gamow lhe mostrou uns cálculos sobre o assunto, onde não conseguia resolver o problema. Schenberg, chegando em casa, se debruçou sobre o problema, encontrando a solução. Quando a mostrou a Gamow, fez referência ao fato de que no cassino da Urca, no Rio de Janeiro, o dinheiro foge como os neutrinos. Juntos, publicaram um artigo em 1941, quando o fenômeno passou a ser chamado de Processo Urca.

Figura 38 - Mario Schenberg



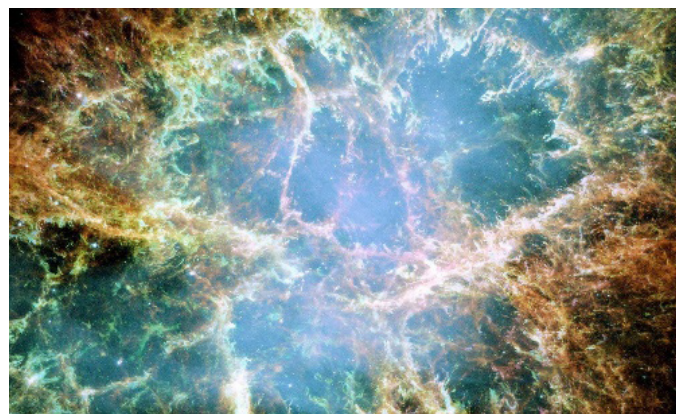
Fonte: Mário [...] (2024).

Nascido no Recife em 1914, Schenberg é considerado o maior físico teórico do Brasil. Formado em engenharia elétrica e matemática. Em 1939 foi para a Europa, trabalhando na Universidade

de Roma com Enrico Fermi, Wolfgang Pauli em Zurique e em Paris com Frédéric Joliot-Curie, genro do casal Curie. Mais tarde trabalharia com George Gamow em problemas de astrofísica, como o Processo Urca e com o físico indiano Subrahmanyan Chandrasekhar, onde juntos estabeleceram o limite de Schenberg-Chandrasekhar, estabelecendo a maior massa que pode ter o núcleo de uma estrela sem ocorrência de reações nucleares. Foi um ativista político, deputado estadual duas vezes pelo estado de São Paulo, sofrendo perseguições durante a ditadura militar. Teve uma vida política e acadêmica bastante prolífica, conhecendo diversos físicos de renome mundo afora em uma época em que a física fervia de descobertas importantes que moldaram o nosso conhecimento sobre o universo.

Em uma supernova, a luminosidade aumenta tanto que corresponde à mesma luminosidade de uma galáxia com 200 bilhões de estrelas. Um dos primeiros relatos desse fenômeno foi feito em 1054 d.C. pelos chineses, se tornando, durante várias semanas, o objeto mais brilhante no céu depois do Sol e da Lua. Esse evento originou a Nebulosa do Caranguejo.

Figura 39 – Nebulosa do Caranguejo



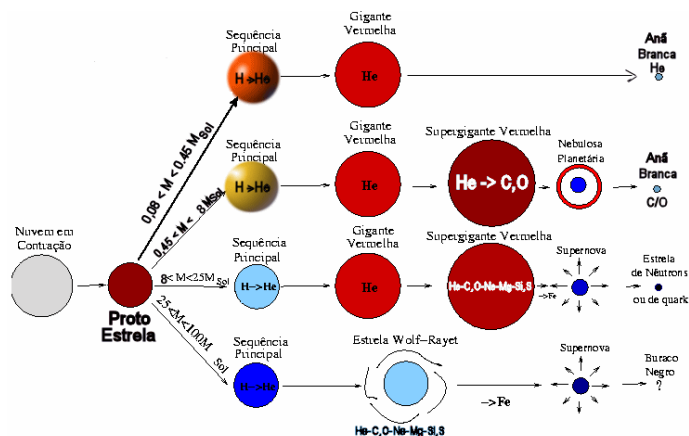
Fonte: Oliveira Filho e Saraiva (2022b).

A última supernova observada a olho nu foi a SN1987A, na galáxia Grande Nuvem de Magalhães, em 1987. A sua ocorrência foi relativamente próxima da Terra, sendo um deleite para os astrônomos, pois permitiu o estudo usando instrumentos modernos. Tudo começou com a intensa detecção de neutrinos vindos daquela região, o que deixou em alerta vários observatórios ao redor do mundo.

A ejeção de matéria e energia de uma supernova é grande, mas depois de algum tempo vai se esmaecendo, revelando um núcleo central composto por nêutrons, produzidos pela fusão de elétrons e prótons. É a chamada estrela de nêutrons, objeto com alta densidade, girando velozmente e enviando sinais de rádio que podem ser detectados com bastante precisão. Também são chamadas de pulsares. Sua densidade é tão alta que um cubo com volume igual a $1,0 \text{ cm}^3$ de sua matéria, possui massa de 100 milhões de toneladas! E o seu campo gravitacional pode chegar a um bilhão de vezes o campo gravitacional da Terra!

Estrelas de nêutrons surgem após uma supernova para estrelas que iniciam sua vida com massa entre $10M_s$ e $25M_s$. O que acontece com estrelas de massa acima de $25M_s$? A evolução delas é a mesma das anteriores. Porém, o colapso gravitacional, que antes era barrado pela compressão dos nêutrons, para estrelas supermassivas, continua em ritmo acelerado e após a supernova, o que resta é um objeto tão denso que nem mesmo a luz (fóton) consegue escapar. Em 1967 o físico John Wheeler, em uma palestra em Nova York, ao se referir a esse tipo de fenômeno, alguém na plateia sugeriu que usasse o termo buraco negro, termo que apareceria com frequência em textos futuros. Sim, o que fica após a supernova é um buraco negro. Como curiosidade, essa proposta já havia sido feita pelo astrônomo inglês John Michell, em 1784.

Figura 40 - Infográfico Evolução Estelar



Fonte: Oliveira Filho e Saraiva (2022b).

As supernovas são importantes para a produção de elementos mais pesados e por espalhá-los no espaço. Os elementos que a estrela sintetizou ao longo de sua vida e outros produzidos na sua morte constituem, de modo geral, a formação dos demais objetos astronômicos, como planetas, asteroides e até mesmo nós, seres humanos. O lugar comum que afirma poeticamente que somos poeira de estrelas é cientificamente verdadeiro.

COMO OS ASTRÔNOMOS SABEM TANTAS COISAS SOBRE AS ESTRELAS?

Frequentemente, pessoas com pouco conhecimento científico se perguntam como os cientistas conseguem descobrir tantas coisas sobre a natureza. Essas indagações ganham outros contornos quando o assunto é Astronomia, onde se costuma dizer que o laboratório é literalmente o universo. No caso das estrelas, a mais próxima

da Terra está a 150 milhões de quilômetros, reinando no sistema que ganha seu nome e mantendo outros astros orbitando à sua volta. Foi dito que o Sol serve de base para entendermos como funcionam as outras estrelas, porém, mesmo estando próxima, os eventos que produz não nos permitem trazer um pedaço seu ou mesmo enviar uma sonda que adentre sua atmosfera e testemunhe em tempo real a fusão nuclear e a geração de energia que a mantém em funcionamento. Então, tudo não passa de especulação? Talvez sim. Mas até as especulações podem ter base científica.

O que foi mostrado anteriormente, a Evolução Estelar, as previsões de suas mortes, bem como seus constituintes, foram propostos a partir de dados coletados durante décadas, sendo que a virada em relação aos mesmos se deu a partir do século XIX. Uma estrela emite luz, que nos atinge mais ou menos fortemente dependendo da distância que se encontra de nós. As investigações demonstraram que a luz emitida por elas carrega informações importantíssimas sobre sua composição, temperatura e outros dados que serviram de base para traçarmos o caminho histórico e conceitual mostrado nos capítulos anteriores.

Novamente, fica-se com a sensação que estudar as estrelas traz algo de poético. Seu brilho nos ensina muita coisa sobre seu comportamento.

A LUZ

As especulações sobre a natureza da luz datam da Grécia antiga. À época, uma das teorias que surgiram considerava a luz como pequenas partículas, fazendo parte da teoria atomística da matéria. Com poucas modificações, a teoria corpuscular da luz passou séculos sem muitos avanços, até que o árabe Alhazen a retomou, dando grandes contribuições ao que se costumou chamar de Óptica.

A natureza da luz daria um salto com a ideia de que era uma onda, sendo que fenômenos ligados a esse ente físico foram se mostrando idênticos aos que aconteciam com a luz. Um dos grandes expoentes nesse sentido foi Christian Huygens, que a tratava como uma sucessão de ondas que se propagam pelo espaço, chegando a demonstrar que na mesma havia reflexão, refração e se propagava em linha reta.

No entanto, um outro estudioso defendia a ideia corpuscular, tendo escrito um livro intitulado sugestivamente *Optiks* (Óptica). Isaac Newton, depois de fazer uma série de experimentos, conseguiu explicar ocorrências com a ideia de que a luz era composta por partículas, incluindo a refração da mesma por um prisma. Nesse trabalho, Newton provou que a luz do Sol era composta pelas cores do arco-íris, quando a fez passar por um prisma, obtendo essas cores projetadas em um anteparo. O experimento crucial foi, ao colocar um outro prisma diante da luz decomposta, recuperar a luz branca original. Ao conjunto de cores produzido pela decomposição da luz, chama-se de espectro.

A teoria ondulatória ficou eclipsada durante praticamente todo o século XVIII, esperando o século seguinte para ganhar a notoriedade necessária. Enquanto essas discussões passavam à margem, a instrumentação astronômica, que depende da luz, foi se aprimorando com lentes acopladas em telescópios cada vez maiores para a investigação do céu.

A verdade é que ambas as teorias, a ondulatória e a corpuscular, tinham limitações, mas o século XIX trouxe descobertas importantes em favor da primeira. Fenômenos como difração e interferência, observados por cientistas como Thomas Young, foram de fundamental importância. Tudo parecia caminhar para a vitória da luz como onda. Mas, que tipo de onda? Uma onda precisa de um meio, mas a luz parecia que não. Ou se tinha um, ainda não fora detectado, como era o caso do éter.

Mas foi James Clerk Maxwell, na segunda metade do século XIX, que pareceu pôr fim à discussão. Fundador e grande unificador da Teoria Eletromagnética Clássica (aquela que se estuda no terceiro ano do Ensino Médio), uniu vários resultados da eletricidade e do magnetismo com a óptica e demonstrou, entre outras coisas, que a luz era um tipo de onda, chamada de eletromagnética, com características como comprimento de onda e frequência. Seus trabalhos também previram a existência dessas ondas, bem como sua geração a partir da variação de campos elétricos e magnéticos em uma fonte. Embora quando da sua morte não tinha sido reconhecido, suas previsões foram confirmadas por Heinrich Hertz, transformando o seu trabalho na base do que se chama de Eletromagnetismo. A velocidade das ondas previstas por Maxwell concordavam com as medidas da velocidade da luz, levando à conclusão de que é uma onda eletromagnética.

Figura 41 – James Clerk Maxwell



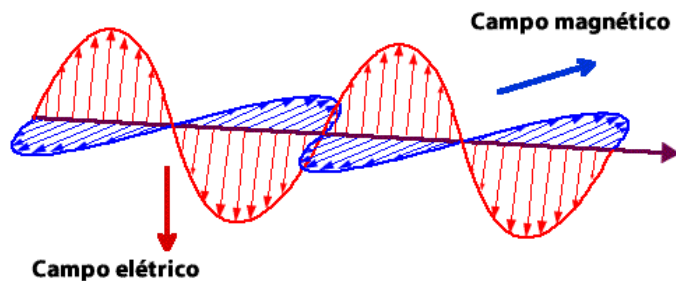
Fonte: James [...] (2024).

Maxwell foi um físico e matemático escocês nascido em 1831. Conhecido como fundador da Teoria Eletromagnética, unindo a eletricidade, o magnetismo e a óptica, com quatro belas equações

que revolucionaram a física. Com estas equações, previu a existência das ondas eletromagnéticas, sua teoria sendo capaz de provar que a luz é uma delas. Trabalhou também em Mecânica Estatística, desenvolvendo o que se chama de distribuição de Maxwell-Boltzmann. Considera-se a Teoria Cinética dos Gases, na qual também se debruçou, fundamental no desenvolvimento posterior da física quântica. Faleceu em 1879.

O que significa a luz como onda eletromagnética? Uma onda desse tipo é resultado da oscilação de uma carga elétrica, que faz variar seu campo elétrico e gera campo magnético, também oscilante. Essa sucessão de oscilações é a onda em questão em todas as direções.

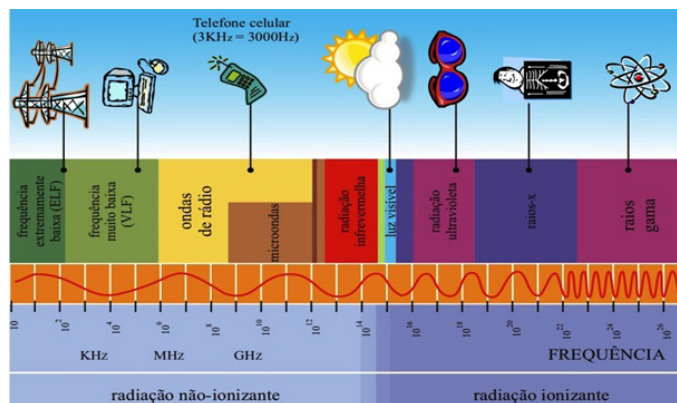
Figura 42 - Esquema básico da propagação de uma onda eletromagnética



Fonte: Buglia (2016).

O chamado espectro eletromagnético é o conjunto de ondas eletromagnéticas separadas pela sua frequência ou comprimento de onda. Cada uma carrega uma quantidade de energia, que cresce de acordo com sua frequência. A chamada luz visível compreende uma pequena parte do espectro e é chamada assim porque sensibiliza os nossos olhos. As duas ondas mais energéticas do espectro já foram apresentadas e são geradas em processos atômicos e nucleares, sendo, portanto, as mais perigosas para tecidos vivos.

Figura 43 – Espectro eletromagnético



Fonte: Espectro [...] (c2024).

Mas o que é a luz de fato? A luz é uma onda eletromagnética. E é outra coisa. Por ora, nos ateremos ao primeiro caso.

E A ASTRONOMIA?

Newton havia observado a luz branca do Sol ser decomposta em suas cores e, para ele, comprovado que as cores não são modificações dessa luz, mas sim, fazia parte da mesma. Sem entrar no mérito sobre a metodologia aplicada por ele ser adequada ou não, o fato é que suas descobertas tiveram um impacto significativo na confecção de telescópios, que foram melhorados e nas décadas seguintes, viriam a ampliar o conhecimento dos objetos celestes.

A observação feita por Newton do espectro solar parece ter sido responsável pela retomada das discussões sobre a natureza da luz, mas, no século seguinte, trouxe poucos avanços em sua compreensão. O inglês havia aberto o caminho que culminaria com o nascimento de uma área, a Espectroscopia, a análise da luz

emitida por objetos ou substâncias. A Análise Espectral permitiu o nascimento da Astrofísica e particularmente da Física Estelar.

Em 1802, William H. Wollaston observou linhas escuras no espectro solar, imaginando que eram os limites das cores do arco-íris. Em 1819, Joseph Von Fraunhofer, enquanto observava a dispersão da luz em vidros de diversos tipos, descobriu as mesmas linhas escuras no espectro superpostas às cores do arco-íris. Foram 576 linhas finas e negras ao todo, as quais foram denominadas com letras. Verificou posteriormente que a luz vinda de planetas possuía as mesmas linhas que o espectro solar, concluindo que os mesmos refletiam a luz do Sol. No mesmo conjunto de experimentos, verificou que a luz emitida por estrelas não possuía todas as mesmas linhas apresentados pelo Sol, ou seja, não tinham a mesma distribuição. Mas estavam lá.

Figura 44 - Linhas de Fraunhofer



Fonte: Oliveira Filho e Saraiva (2022c).

Ao que tudo indica, foi o próprio Fraunhofer o primeiro a usar o que se chama hoje de rede de difração para a análise espectral, substituindo o prisma nesse papel. É um dispositivo com uma rede de fios finos capaz de separar a luz em seus diferentes comprimentos de onda. Ao conjunto que faz essa análise (não só com redes de difração) dá-se o nome de espectroscópio.

Nos anos seguintes, poucos avanços significativos foram produzidos, ganhando destaque o Efeito Doppler-Fizeau, fenômeno que provoca a variação do comprimento de onda da luz quando a fonte se desloca. Esse fenômeno foi usado para medir as velocidades relativas de estrelas, mostrando-se de extrema importância futura

para a espectroscopia. Em seguida, vários cientistas, entre eles Leon Foucault e Anders Ångström, verificaram que havia linhas indicadas por Fraunhofer, que coincidia com uma linha específica do sódio, mas não tiraram grandes conclusões disso.

A espectroscopia enquanto disciplina parece ter nascido de fato com os trabalhos do químico Robert Wilhelm Bunsen e o físico Gustav Robert Kirchhoff, aperfeiçoando juntos um espectroscópio. Descobriram que uma substância quando incandescente produzia um espectro contínuo, sem raios. Os gases apresentavam um espectro com raios brilhantes (discreto) e a medida dos comprimentos de onda indicavam a sua natureza.

Figura 45 - Tipos de espectro



Fonte: Prado e Leite (2012).

Em linhas gerais, os dois cientistas descobriram que:

1. Um sólido, líquido ou gás muito densos, emitem radiação contínua;
2. Um gás incandescente, à baixa pressão, emite espectro com linhas brilhantes (emissão), sendo que o número e a posição das mesmas são propriedades específicas;

3. Se o espectro contínuo passar por um gás frio, este causa a presença de linhas escuras (absorção), sendo que sua posição depende dos elementos químicos presentes no gás.

Com o advento dessas leis, a Espectroscopia ganha contornos definitivos, pois o espectro emitido por uma substância é uma espécie de DNA. Isso possibilita a descoberta de novos elementos químicos e a identificação de vários outros na investigação astronômica. Com a técnica e as leis, foi possível verificar definitivamente que as linhas escuras no espectro solar eram sódio, indicando a presença desse elemento na sua atmosfera. O Sol era feito de um gás muito denso ou sólido quente, segundo Kirchhoff.

Seguindo as linhas das descobertas, em 1862, Ångstron identifica hidrogênio no Sol, confirmando um resultado obtido em 1766 por Cavendish. Em 1868, Norman Lockyer descobriu uma linha estranha na parte amarela do mesmo espectro, identificando, assim, um novo elemento químico, o hélio. Somente 27 anos depois o hélio foi descoberto na Terra.

As linhas espectrais são explicadas pelo modelo atômico de Bohr, por conta dos orbitais dos elétrons. Quando um átomo fica excitado, os elétrons mudam de camada por absorverem energia. Como não podem permanecer em órbitas proibidas, voltam à sua órbita original, emitindo a energia que receberam na forma de luz (fótons) com valor específico.

RADIAÇÃO TÉRMICA

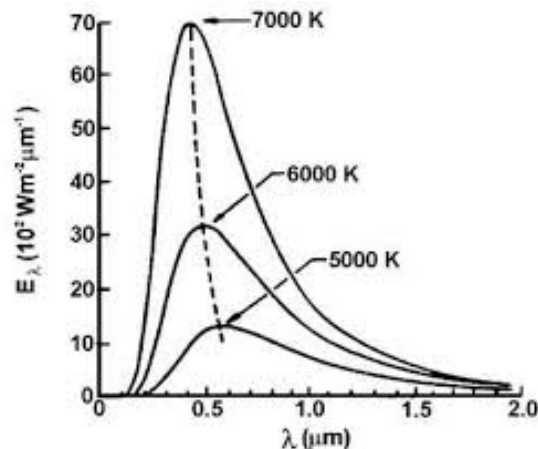
Anteriormente foi falado que substâncias incandescentes emitem um espectro contínuo, com cores características do material de que é feita. Kirchhoff era um estudioso dessas emissões, tendo se debruçado nisso em diversas ocasiões e, mais ou menos na mesma

época, definiu um tipo de objeto específico, denominado corpo negro. Antes de entender seu conceito é preciso definir radiação térmica. É toda radiação emitida por um corpo devido exclusivamente à sua temperatura. As antigas lâmpadas incandescentes são um belo exemplo disso. O filamento de tungstênio se aquece tanto pela passagem de corrente elétrica que passa a emitir luz.

O que é então um corpo negro? É um objeto que absorve toda a radiação incidente sobre ele. Assim, emite um espectro de radiação que depende apenas da sua temperatura. O modelo usado por Kirchhoff usava um forno hipotético aquecido, com um pequeno orifício em uma das faces (uma caixa). Por esse orifício, uma pequena quantidade de radiação poderia escapar e ser detectada. Esse modelo funciona bem na observação de alguns fenômenos, como no caso de uma barra metálica sendo aquecida, por exemplo. A temperatura da barra aumenta e, em determinado momento, torna-se incandescente. Observa-se que, permanecendo o aquecimento, a cor da barra vai variando, até atingir um tom branco-azulado. A luz é uma onda eletromagnética (pelo menos até o início do século XX) e a cor que apresenta depende da temperatura. No fim das contas, a frequência é proporcional à temperatura.

Se isso é verdade, ao estudar corpos com estas características, pensou-se em obter a distribuição espectral para a emissão do objeto em questão, para cada temperatura. Uma quantidade importante nesse estudo é a intensidade da radiação emitida, observando-se um pico de emissão em determinado comprimento de onda diferente, para uma dada temperatura. Por exemplo, para corpos abaixo de 600 °C, a emissão mais forte é no infravermelho. Entre 600 °C e 700 °C, a cor é vermelho escuro. Acima disso, a faixa muda para o vermelho claro, tendendo ao branco. Para cada faixa de temperatura dessas, a emissão máxima representa um comprimento de onda específico (ou frequência).

Figura 46 - Curva de Corpo Negro para cada temperatura



Fonte: Leis [...] ([2018?]).

Em pouco tempo, surgiram diversas curvas como esta, representando dados experimentais muito bem detalhados.

A emissão cresce de acordo com a temperatura e isto foi enunciado em 1879 por Josef Stefan e Ludwig Boltzmann, com a relação:

$$I = \sigma T^4$$

Na equação acima, σ representa a constante de Stefan-Boltzmann, cujo valor é $5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^2$.

Experimentalmente, as curvas demonstram um deslocamento para o comprimento de onda na emissão máxima com a temperatura e a lei expressa é chamada de deslocamento de Wien.

$$\lambda_{max} \times T = 2,898 \times 10^{-3} \text{ mK}.$$

As tentativas de se equacionar o problema como um todo se mostraram infrutíferas, pois nenhuma delas dava conta dos dados experimentais. Uma delas levava ao que ficou conhecido como catástrofe do ultravioleta, pois, para os comprimentos de onda grandes, a

emissão tendia a um valor infinito. Isto não é observado. Para comprimentos de onda pequenos e grandes, a emissão cai para zero. Várias tentativas foram feitas no sentido de resolver esse problema levando em consideração as teorias vigentes na época. A física estava próxima de uma grande mudança de pensamento.

A SOLUÇÃO DADA POR PLANCK

Esse trabalho apresentou a Física Moderna quando falou sobre os modelos atômicos, que levaram à Física Nuclear, permitindo entender o mecanismo de produção de energia nas estrelas. Mas o primeiro passo, a primeira ideia que levou a essa revolução, foi omitido. Costuma-se admitir que o início da Física Moderna se localiza no ano de 1900, quando Max Planck apresentou a solução para o problema da Radiação de Corpo Negro.

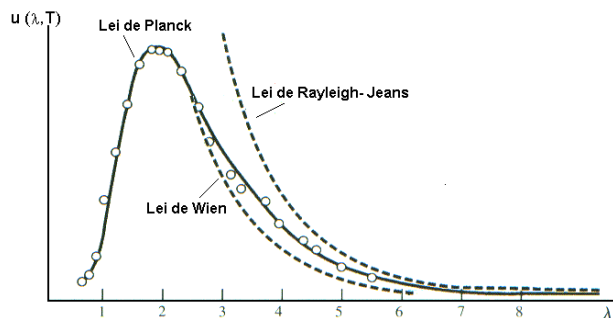
Depois de 6 anos de trabalho, Planck chegou a uma solução elegante admitindo que a oscilação dos átomos das paredes da cavidade do corpo teórico idealizado por Kirchhoff só permitia valores específicos de energia, ou seja, não era contínua. Assim, a energia era quantizada, contrariando o que se pensava até àquela época, de que a energia era contínua. Os valores permitidos são dados pela equação:

$$E_n = nhf,$$

sendo n um inteiro positivo, f a frequência de oscilação e h uma nova constante da natureza, batizada de constante de Planck, cujo valor é $6,626 \times 10^{-34} \text{ Js}$.

Sua equação, que não vai ser mostrada aqui, concordava muito bem com as experiências, como no gráfico abaixo. A lei de Stefan-Boltzmann e a lei de deslocamento de Wien são obtidos diretamente da mesma.

Figura 47 - Comparação entre os dados e a Lei de Planck para a Radiação de Corpo Negro



Fonte: Mundim (c1997).

A despeito do sucesso de sua interpretação, a aceitação pela comunidade científica não foi imediata, pois encontrar um significado físico parecia impossível. A ideia de que a energia, mesmo que para aquele caso específico, aparecia em valores discretos, como pacotes (aliás, o termo “quântico” vem de “quantum”, que significa pacote) era contrária à chamada Física Clássica. Assim, parecia um contrassenso admitir isso, pois a energia não se apresentava “granulada”, mas poderia assumir qualquer valor. É sempre assim quando se trata de uma nova ideia surgindo no meio de outras tão arraigadas e que, de certa forma, tinham levado as coisas muito longe conceitual e experimentalmente. Sentimentos como esse levaram o Lord Kelvin a propagar que a Física tinha descoberto todos os segredos da natureza e os próximos passos seriam ajustes normais às teorias. O próprio Planck pareceu tratar sua nova ideia como um artifício matemático. Um cientista da velha guarda tinha dado o pontapé inicial para uma revolução sem precedentes no pensamento humano.

Figura 48 – Max Karl Ernst Ludwig Planck



Fonte: Max [...] (2024).

Físico alemão nascido em 1858, Planck é considerado um dos mais importantes do século XX. Tornou-se especialista em Termodinâmica, debruçando-se sobre o problema da radiação de corpo negro. Em dezembro de 1900, publicou um artigo no qual apresentou a solução para o problema, introduzindo o conceito de *quantum*, dando início a uma revolução no pensamento científico. Foi nomeado reitor da Universidade de Berlim em 1913. Em 1918, foi laureado com o Prêmio Nobel de Física. À época do nazismo, tentou convencer Hitler a dar liberdade aos cientistas judeus, sem sucesso. Faleceu em 1947.

CLASSIFICAÇÃO DAS ESTRELAS

Uma quantidade enorme de dados foi sendo obtida, em diversos lugares na Europa, usando os espectros estelares. Citar todos aqui seria uma tarefa monumental, fugindo ao escopo desta obra. Um astrônomo amador, em particular, foi de extrema importância

nessa catalogação, William Huggins, que se tornou membro da Royal Society de Londres. Outro importante estudioso foi Ângelo Secchi, do Observatório do Vaticano. Ambos chegaram à conclusão de que nem todas as estrelas produzem espectro como o do Sol. Em 1863, Secchi fez a primeira classificação do espectro das estrelas, levando em consideração as linhas de absorção (escuras). Dividiu em classes: I para as brancas; II para as amarelas; III para vermelhas; IV para as vermelhas escuras.

A essa época, a fotografia como técnica de armazenamento da informação ainda não era muito usada. A foto do espectro solar foi obtida em 1842 e a primeira foto do espectro de outra estrela (que não o Sol) só foi feita por Henry Draper em 1872. Com a técnica fotográfica se espalhando, inúmeros dados foram sendo coletados, envolvendo os espectros de estrelas diversas.

No final do século XIX, Edward Charles Pickering, no Observatório de Harvard, começou uma série de coletas de espectros estelares, utilizando espectroscópios e fotografias. Em 1890 publicou uma classificação espectral de mais de 10.000 estrelas (todas localizadas no Hemisfério Norte), classificação esta quase que exclusivamente feita por Williamina Fleming, que não era astrônoma, mas foi treinada para a tarefa. Annie Jump Cannon, em conjunto com Pickering, ampliaram essa classificação entre 1918 e 1924, no chamado Henry Draper Catalogue, com a classificação de mais de 225.300 estrelas.

Essa é a classificação atual, baseada nas suas temperaturas e composições químicas. Toda estrela é, com boa aproximação, um corpo negro. Sua curva de irradiação em função do comprimento de onda, é semelhante à curva para este corpo. A emissão depende da temperatura e sua cor reflete isso.

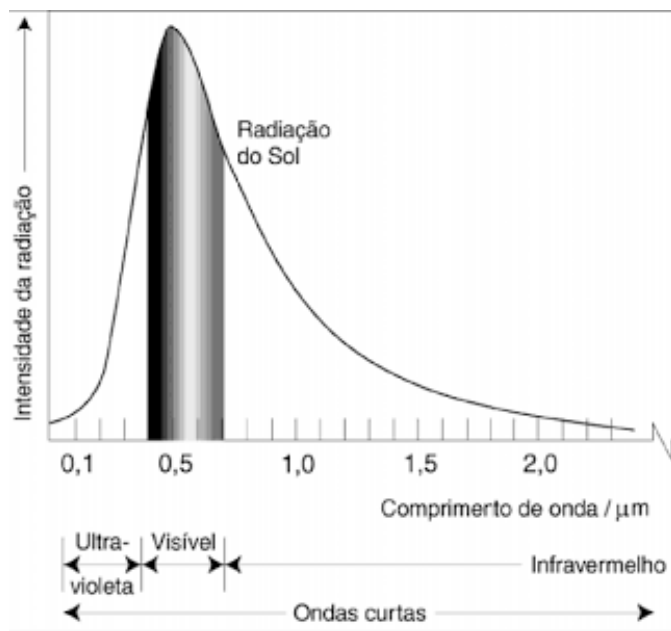
Figura 49 – Annie Jump Cannon



Fonte: Annie [...] (2024).

Cannon nasceu em 1863, em Dover, Estados Unidos. Estudou física e astronomia no Wellesley College, graduando-se em 1884. Em 1896 se tornou assistente no Observatório de Harvard, passando a integrar um grupo conhecido pejorativamente como “as mulheres de Pickering”, responsáveis por catalogar estrelas. Esse trabalho proporcionou a criação de uma classificação que é usada até hoje em astronomia, sendo que depois de 1924, tinha catalogado dezenas de milhares de estrelas até a magnitude 11, de observação bastante difícil. Descobriu 300 estrelas variáveis e cinco novas, explosão causada pela acreção de hidrogênio na superfície de um anã branca. Foi a primeira mulher a se tornar uma oficial da *American Astronomical Society*. Somente em 1938 foi nomeada para a faculdade de Harvard. A cratera lunar Cannon foi nomeada em sua homenagem. Faleceu em 1941.

Figura 50 - Curva de corpo negro para o Sol



Fonte: Lutgens e Tarbuck (1998).

O trabalho feito por Pickering e Cannon é conhecido como Classificação Espectral de Harvard, apresentando as características resumidas abaixo.

Quadro 51 - Classificação Espectral de Harvard e algumas características

Tipo	Cor	Tsuperfície (K)	Linhas proeminentes de absorção	Exemplos
O	Azul	30.000	He ionizado (fortes), elementos pesados ionizados (OIII, NIII, SiIV), fracas linhas de H	
B	Azulada	20.000	He neutro (moderadas), elementos pesados 1 vez ionizados	Rigel (B8)
A	Branca	10.000	He neutro (muito fracas), ionizados, H (fortes)	Vega (A0) Sírius (A1)
F	Amarelada	7000	Elementos pesados 1 vez ionizados, metais neutros (FeI, CaI), H (moderadas)	Canopus (F0)
G	Amarela	6.000	Elementos pesados 1 vez ionizados, metais neutros, H (relativamente fracas)	Sol (G2) Alfa Cen (G2)
K	Laranja	4.000	Elementos pesados 1 vez ionizados, metais neutros, H (fracas)	Arcturus (K2) Aldebaran (K5)
M	Vermelha	3.000	Átomos neutros (fortes), moleculares (moderadas), H (muito fracas)	Betelgeuse (M2)

Fonte: Gregorio-Hetem e Jatenco-Pereira (2010).

Outra importante astrônoma nesse seguimento foi Cecília Payne, inglesa que viu nos Estados Unidos uma oportunidade para conseguir seu objetivo, que era obter um doutorado. Chegando em Harvard, começou uma série de estudos dos espectros estelares, chegando a determinar a proporção dos elementos químicos nas mesmas. Concluiu que os principais constituintes de uma estrela são o hidrogênio e o hélio. O astrônomo Henry Russell (o mesmo do Diagrama H-R) discordou dos resultados, pois na época a proporção dos elementos químicos nas estrelas era considerada a mesma da Terra. Mas, anos depois, chegou à mesma conclusão, admitindo que a colega estava certa. Mesmo diante do próprio Russell creditando a descoberta à Payne, frequentemente ele aparece como o pesquisador que a fez.

Figura 52 – Cecilia Payne-Gaposchkin



Fonte: Cecilia [...] (2024).

Cecilia Payne nasceu em 1900 na Inglaterra, entrou em Cambridge em 1919. Assistiu uma palestra de Arthur Eddington sobre as expedições para confirmar a Teoria da Relatividade Geral de Einstein, o que a inspirou na escolha pela astronomia. Foi para os Estados Unidos continuar seus estudos, tendo recebido uma bolsa para estudar em Harvard em 1923, entrando para o observatório. Fez parte da equipe feminina de Pickering. Em seu Ph.D., estudou as atmosferas estelares e, usando vários resultados, estabeleceu que as estrelas são feitas basicamente de hidrogênio e hélio. Casou-se com o astrônomo soviético Sergey Gaposchkin, depois de conseguir uma colocação para ele em Harvard, pois este não pôde retornar à União Soviética por problemas políticos. Em 1956, Payne foi nomeada professora titular em Harvard, se aposentando em 1966. Faleceu em 1979.

TÓPICO ESPECIAL: AS MULHERES NA CIÊNCIA

A história humana é cheia de contradições e momentos nebulosos. Vivemos hoje em um mundo melhor, embora ainda se espere muita coisa para ser feita em diversos campos. A ciência, como parte da história, reflete ou acompanha esses momentos. Um desses capítulos foi a dificuldade que as mulheres sempre tiveram em se impor perante uma sociedade machista e excludente. Discutir esse tipo de assunto não é simplesmente levantar uma bandeira feminista, rótulo que entrou em moda nas últimas décadas associado às pessoas que defendem que as mulheres possam ocupar qualquer lugar e contrárias à ideia de que são inferiores a quem quer que seja. Para entender e atestar isso, basta evocar a própria ciência. Por que a mente de uma mulher seria inadequada para o trabalho científico?

Mas durante muitos anos, essa pareceu ser a regra. A educação das mulheres era feita em casa, em conventos ou instituições desse tipo e suas funções, quando ultrapassavam os limites da cozinha e dos cuidados com a família, eram ligadas a lecionar as séries iniciais. Isso não foi um problema só de alguns países, mas do mundo, que viu avanços científicos brilhantes, contudo permanecia com uma visão tacanha da sociedade. Um homem ou uma mulher de décadas atrás que fosse transportado para o século XXI iria ficar bestificado com as posições que as mulheres ocupam, embora reconhecesse certa semelhança em algumas situações, como o fato de o salário médio de uma mulher ainda ser inferior ao de um homem, com a mesma função e nível de escolaridade.

É a ciência um trabalho masculino?

Em termos de dados, por exemplo, com relação à física no Brasil, a Sociedade Brasileira de Física (SBF) possui 27% de mulheres filiadas e a Sociedade Astronômica Brasileira (SAB), 29% (Menezes, 2017, p. 342). E o número de bolsistas ainda é menor, cerca de 10% em física e astronomia. Então, a resposta à pergunta é um sonoro sim. Nesse caso, é preciso cooptar mais mulheres para a carreira científica. Estudos demonstram que talvez os responsáveis sejam pais e professores nesse processo.

Os dados acima se referem ao Brasil, mas podem ser estendidos a outros lugares do mundo, com uma ou outra adaptação. O fato é que, historicamente, a presença de mulheres nas áreas científicas nunca foi substancial e quando aconteceu, muitas delas não receberam o devido reconhecimento. Um caso atípico foi o de Madame Curie, laureada com dois Nobéis, de física e química. Especula-se que o reconhecimento talvez tenha sido feito pela presença do marido, embora tenha passado também por alguns percalços. Mas o que importa é que outras tantas, inclusive contemporâneas a ela, não receberam os mesmos louros.

Lise Meitner, por exemplo, foi a intérprete da fissão nuclear, colaborando em diversas descobertas importantes para a Física Nuclear. Quando do reconhecimento pelos resultados, nem mesmo seus colegas, como Otto Hahn, foram capazes de citá-la. Enfrentou dificuldades para ingressar em uma universidade devido às leis vigentes na Áustria sobre o acesso de mulheres e quando começou sua carreira, trabalhou cinco anos sem remuneração, de 1907 a 1912. Foi reconhecida em 1966 quando recebeu o Prêmio Fermi, ao lado de Hahn e Fritz Strassmann, pela descoberta da fissão.

Outro caso emblemático é referente às “mulheres de Pickering” ou calculadoras de Harvard. Edward Pickering contratou uma equipe de mulheres para analisar chapas fotográficas de espectros e imagens de estrelas, tarefa que tinha começado com uma ex-empregada sua, Williamina Fleming. Pagando aproximadamente a metade

do valor que pagava a um homem realizando a mesma atividade, essas mulheres começaram um processo sem precedentes na história da ciência. Horas e horas de trabalho, dias a fio, anos de análise, foram gerando catálogos importantes com a classificação espectral estelar. Destaque para Annie Jump Cannon, que desenvolveu a classificação espectral atual e Cecilia Payne, que demonstrou que as estrelas são basicamente feitas de hidrogênio e hélio no seu Ph.D. Fica a curiosidade de que a classificação espectral não ganhou o nome de Cannon, mas sim, de Classificação Espectral de Harvard.

Nas últimas décadas, casos como esses estão sendo reavaliados por pesquisadores em história da ciência, na tentativa de mostrar à sociedade que a mulher contribuiu e contribui para a ciência, só faltando oportunidade para realizar seus trabalhos. A ciência, assim como qualquer outra área, é sim lugar de mulher.

Figura 53 – As calculadoras de Harvard. Em pé, no centro, Williamina Fleming



Fonte: Williamina [...] (2024).

INSTRUMENTOS DE OBSERVAÇÃO

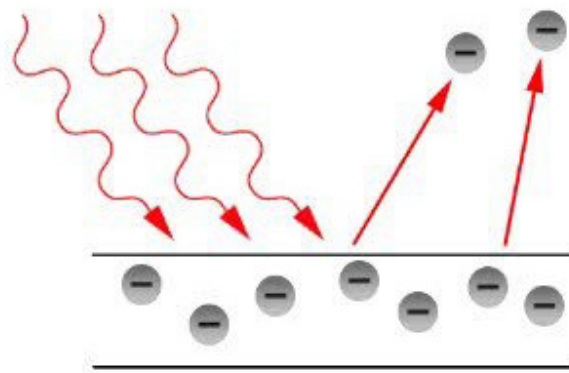
Essa etapa do presente livro está tratando de como os astrônomos descobrem tantas coisas sobre o universo, em particular, sobre as estrelas, esses objetos que fascinam a muitos ao redor da Terra. Já foi apresentada a Espectroscopia que, aliada às investigações sobre a radiação térmica, permitiram e permitem conhecer a composição de diversos corpos celestes. A Análise Espectral tornou-se uma técnica de fundamental importância para o nascimento das Astrofísica.

Para atingir esse nível de conhecimento, o pensamento científico teve que dar um salto conceitual, com a ruptura provocada pela Física Moderna, especificamente a chamada Física Quântica. Organizemos as coisas: com a solução do problema do Corpo Negro dada por Planck, nasce a Física Quântica; a ideia de quantização é aplicada ao modelo atômico de Bohr, que inclui o núcleo descoberto por Rutherford anos antes; as investigações da Radioatividade e da Física Atômica levam ao surgimento da área conhecida como Física Nuclear, chave para o entendimento das estrelas; a Espectroscopia é uma área que surgiu no século XIX, portanto, antes da Física Moderna, mas foi com esta que ganhou forças e outros contornos. Porém, ficou um buraco.

Max Planck, quando quantizou a energia de cavidade, não pareceu ter ficado satisfeito com sua proposta, seguindo o que parte dos cientistas da época acreditavam. Afinal, suas considerações teóricas estavam em conflito com as ideias vigentes. Quem foi o responsável, então, por demover os pares na aceitação de que a natureza se comportava realmente daquele jeito? Bem, claro que a pergunta acima carrega um peso enorme, ou melhor, o cientista que executou a tarefa foi quem comprou a ideia de que os fenômenos são o que são e não se comportam como os seres humanos determinam.

Albert Einstein e sua mente privilegiada trouxe certo frescor ao mundo quântico que acabara de nascer. Debruçou-se sobre um problema descoberto no século XIX (esse século parece ter sido fundamental para a ruptura proporcionada pela Física Moderna). Em 1887 Heinrich Hertz tentava produzir as ondas eletromagnéticas previstas por James Clerk Maxwell, verificando que apareciam mais centelhas entre os eletrodos quando fazia incidir luz sobre eles. Phillip Lenard investigou ainda mais o problema e descobriu que, quanto mais intensa a luz, mais elétrons avançavam do metal, mas isso acontecia somente com luz acima de certa frequência. O fenômeno ficou conhecido como Efeito Fotoelétrico, consistindo na ejeção de elétrons de um metal quando da incidência de luz de uma certa frequência.

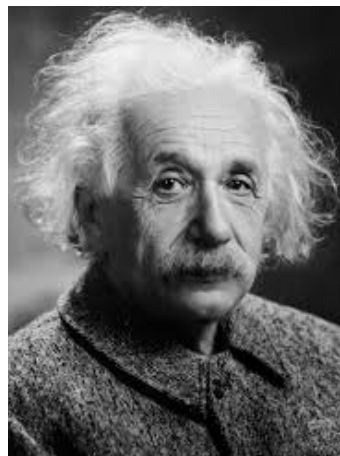
Figura 54 – Esquema simplificado do efeito fotoelétrico



Fonte: Asth (c2011-2024).

A Física Clássica não conseguia explicar o fenômeno, sendo um dos problemas o fato de que, com o aumento da intensidade da luz, deveria aumentar a energia com que os elétrons eram ejetados. E deveria acontecer para qualquer frequência. Mas isso não era observado. Os cientistas tinham um pequeno problema ainda sem solução.

Figura 55 – Albert Einstein



Fonte: Albert [...] (2024).

Einstein foi um físico alemão nascido em 1879, desenvolveu as teorias da relatividade restrita e geral, ajudou a estabelecer a física quântica, entre outras contribuições. Ganhador do Prêmio Nobel de Física de 1921 pela explicação do efeito fotoelétrico. Em 1905, considerados os anos milagrosos, Einstein publicou uma série de artigos sobre temas diversos. Apresentou ao mundo a desconcertante Teoria da Relatividade Restrita, onde demonstrou que a velocidade da luz é uma constante e que por conta disso, fenômenos nada intuitivos acontecem com partículas que andam com velocidades próximas a mesma. Também se debruçou sobre o movimento browniano, bem como o estabelecimento da relação entre a massa e a energia, em uma famosa equação. Anos depois, generalizou a Teoria da Relatividade, também provocando discussões a respeito de suas conclusões. Tornou-se celebridade internacional e passou a viajar o mundo inteiro dando palestras. Faleceu em 1955. Em 1999 foi considerado por vários cientistas o físico mais importante de todos os tempos. Sua biografia é tão extensa que não cabe em poucas palavras.

Debruçando-se sobre o problema do efeito fotoelétrico, Albert Einstein partiu das ideias de Planck para resolvê-lo. Propôs que, se a luz incidente fosse tratada como partícula, o fenômeno seria visto como uma colisão entre partículas de luz e elétrons. Assim, toda a energia da partícula hipotética é transferida para o elétron, que ganha energia cinética. Chamando de ϕ a energia necessária para arrancar os elétrons do metal (função trabalho) e a energia cinética adquirida por eles de E_c , a equação para o efeito fotoelétrico é dada por

$$E_c = E - \phi$$

O termo E representa a energia das partículas de luz, batizadas de fótons pelo físico Gilbert Lewis, em 1926. Einstein chamou cada fóton de *quantum* de luz (fazendo referência aos trabalhos de Planck). Essa energia depende apenas da frequência e da constante de Planck, dada pela expressão

$$E = hf,$$

sendo f a frequência da luz. Assim, quanto maior a frequência da luz, maior a energia dos fótons. Sua teoria explicou com muito sucesso os dados experimentais. A energia dos elétrons emitidos depende da frequência dos fótons e da função trabalho do metal.

Einstein ampliou a quantização proposta por Planck, na medida em que considerou a própria energia radiante como sendo formada por partículas, com energia definida. Isso foi tão novo na época, que grande parte dos cientistas não a aceitou. A mudança veio quando, dois anos mais tarde, publicou um outro artigo discutindo o calor específico dos sólidos à baixas temperaturas, adotando o modelo de vibração quantizada de Planck. As previsões foram confirmadas pela experimentação. Depois da realização do *1 Conselho Solvay*, na Bélgica em 1911, os cientistas participantes discutiram essas e outras ideias, tornando a nova física algo que pudesse ser desenvolvido futuramente.

Albert Einstein ganhou o Prêmio Nobel de Física em 1921 pela explicação do efeito fotoelétrico. Em 1916, o físico norte-americano Robert Millikan comprovou experimentalmente as hipóteses de Einstein, obtendo a medida da constante de Planck. Por esse feito, ele também recebeu o Prêmio Nobel de Física, agora em 1923.

O efeito fotoelétrico hoje tem inúmeras aplicações, como a ativação da iluminação pública e controle do tempo de exposição da luz em câmeras fotográficas. Esta última aplicação interessa a este livro em particular, pois foi e é de fundamental importância para a Astronomia. A revolução que se seguiria após as propostas de Einstein e Planck ainda dá frutos teóricos, experimentais e tecnológicos, que mudaram para sempre o entendimento do ser humano sobre a natureza.

Diante dessas descobertas, como fica a natureza da luz? A luz é uma onda, mas também é uma partícula. Experimentalmente, ela pode comportar-se como uma ou como outra coisa. Desconcertante essa possibilidade, mas há evidências de que tudo seja desse jeito. A Física Quântica precisa desses modelos para descrever suas observações e ambos funcionam muito bem, o que era impensável com a Física Clássica, que admitia a luz e os objetos como tendo uma natureza só. Os avanços promovidos pelas novas ideias apenas corroboram uma teoria já bem estabelecida.

COMO O EFEITO FOTOELÉTRICO INFLUENCIOU AS OBSERVAÇÕES ASTRONÔMICAS?

Desde que a humanidade se encantou pelos céus e dominou o processo de registro do que via, mesmo que de forma rudimentar, o resultado dessas observações pode ser visto espalhado pelo mundo

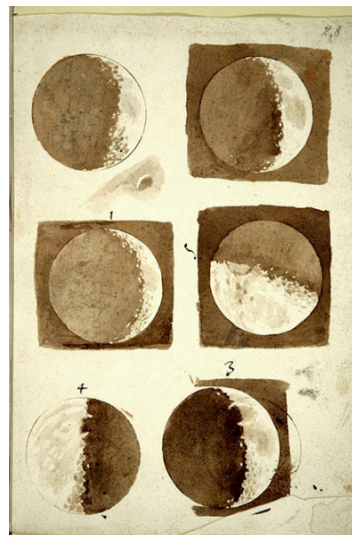
em cavernas e outros lugares. Alguns dos registros mais comuns e mais interessantes encontrados pelos especialistas têm relação direta com a Astronomia, ou seja, contém imagens do céu noturno recheado de constelações etc.

Com o domínio da escrita, as civilizações foram aprimorando a forma como observavam a natureza, desenvolvendo técnicas especiais para alcançar objetivos diversos. A astronomia, como uma ciência antiga, foi bastante beneficiada por isso. O instrumento principal usado durante séculos foi o olho humano. Mas essas observações precisavam de registro, para que pudessem ser analisadas por outros, por exemplo. E não tinha nada melhor do que os desenhos. Durante muito tempo, todo astrônomo era também um artista. E foi assim até a segunda metade do século XIX, quando outra técnica foi introduzida.

Mesmo quando Galileu, em 1609, introduziu o uso do telescópio para observar os astros, o método de registro continuou o mesmo.

Depois da revolução de Isaac Newton com o aperfeiçoamento do telescópio refletor, ampliando o raio de visão humano e permitindo, nos séculos seguintes, avanços significativos em novas descobertas sobre o universo, ainda os desenhos eram a única forma de perpetuar os eventos. Então, os astrônomos de modo geral tinham que desenvolver habilidades cada vez mais precisas para desenhar com mais alto nível de fidedignidade o que observavam.

Figura 56 – Desenhos da Lua feitos por Galileu em 1609



Fonte: Webb (2023).

Como garantir que esses desenhos representavam os eventos tal qual eram de fato? Não é preciso ser especialista para saber que não há garantia alguma, mesmo o astrônomo em questão sendo talentoso na arte de desenhar. Precisava-se de um método mais eficaz de registro. Com a invenção da fotografia, a sua aplicabilidade começou a ser explorada em Astronomia. A primeira imagem que chegou até nós é um registro da Lua feito por John Whipple. Um dos pioneiros do uso da fotografia (não na Astronomia) foi Joseph Niépce que, em 1842, fez o registro de uma imagem em uma superfície tratada quimicamente.

Figura 57 - Imagem da Lua obtida por Whipple



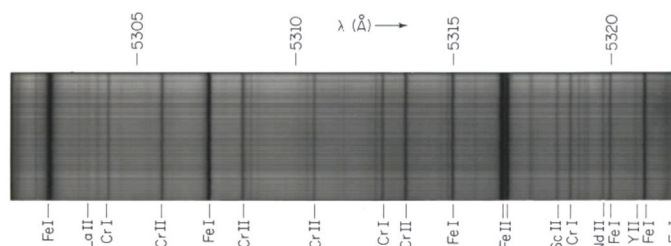
Fonte: Oliveira Filho (2018).

Essa técnica permitiu os astrônomos avançarem em suas investigações, pois passaram a analisar as imagens obtidas em outros momentos, inclusive promovendo a colaboração entre especialistas que não participaram diretamente da observação.

Em verdade, o olho humano é mais eficiente do que a fotografia. A eficiência quântica é a medida da fração de radiação registrada por um detector: o olho humano tem eficiência quântica de 10%, enquanto o filme fotográfico, de no máximo 3%. Mas uma vantagem da fotografia é o tempo de exposição. O olho humano registra a luz em aproximadamente 100 milissegundos (0,1 s), enquanto uma chapa pode ser exposta por horas. O fato é que a fotografia promoveu avanços importantes e um dos resultados mais interessantes foi que, em 1925, Edwin Hubble ampliou a nossa imagem do universo fazendo medidas fotométricas precisas da então nebulosa de Andrômeda, constatando que é uma galáxia maior do que a nossa.

Na área da espectroscopia, a revolução não foi menor. Os espectros antes eram desenhados à mão. Os espectros estelares passaram a ser fotografados, o que possibilitou uma análise mais detalhada. A chapa era colocada no plano focal do espectroscópio.

Figura 58 - Espectro do Sol mostrando as diversas linhas de absorção



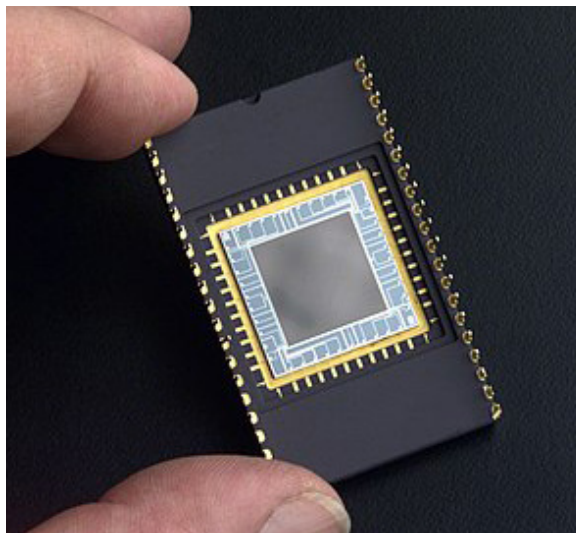
Fonte: Picazzio (2011).

Chegou, então, em meados do século XX, a revolução eletrônica, especificamente depois da Segunda Guerra Mundial. Tudo isso se deve à ramificação das aplicações do efeito fotoelétrico. O transistor foi inventado em 1948 por John Bardeen, Walter H. Brattain e William Shockley, dispositivo que serve como amplificador eletrônico. Seus autores ganharam o Prêmio Nobel de Física em 1956.

Mas foi o surgimento do Dispositivo de Carga Acoplada (*Charge-Coupled Device*) ou CCD, em 1969, que viria, anos mais tarde, a mudar mais uma vez o registro astronômico. Seus desenvolvedores foram Willard Boyle e George Smith, ambos ganhadores do Prêmio Nobel de Física de 2009. Esse hiato grande entre o seu desenvolvimento e o reconhecimento da sua importância em diversas áreas é justamente porque as décadas seguintes viram florescer a microeletrônica, não somente afetando áreas científicas, mas também diretamente a sociedade.

Basicamente um CCD funciona com uma matriz de fotoelementos, cada elemento denominado de *pixel*. O pixel acumula carga proporcionalmente à luz incidente, em linhas gerais, produzindo uma imagem eletrônica.

Figura 59 – Dispositivo de Carga Acoplada (CCD)



Fonte: Dispositivo [...] ([2018?]).

O CCD foi substituindo a fotografia convencional na Astronomia, até que na década de 1980 ocorreu a mudança definitiva. Em termos técnicos, a popularização do dispositivo se deu principalmente pela eficiência quântica, que, dependendo da faixa de frequência, chega a 90% da luz incidente. Outro motivo é que as imagens digitais podem ser comprimidas e enviadas para estudo em diversos lugares sem perda de resolução. Em comparação, a imagem obtida com um CCD permite o registro de objetos milhões de vezes mais fracos que os visíveis a olho nu, através do ajuste do tempo de exposição.

O Dispositivo de Carga Acoplada rompeu os muros da Astronomia e hoje é encontrado em câmeras digitais e nos *smartphones*, sendo usado no dia a dia de diversos cidadãos pelo mundo.

COMO FICAMOS?

Depois de uma viagem histórica e conceitual, agora estamos compreendendo um pouco mais sobre a natureza. A física é um campo científico rico em descobertas, apresentando alta capacidade para conversar com outras áreas. Embora a afirmativa pareça arrogante, a verdade é que o pensamento humano enquanto representação da realidade foi moldado por suas assertivas. O caso da mecânica newtoniana, incluindo a Astronomia desenvolvida a partir daí, é um belo exemplo disso. A última grande revolução ocorrida no século XX foi a promovida pela Física Moderna, em particular, as ideias do mundo quântico. Não somente em termos de ciência, mas a própria filosofia e percepção da realidade, foram profundamente reavaliados depois das teorias modernas.

Deixando de lado as questões filosóficas, tentou-se demonstrar que a Astronomia avançou bastante com o advento da Física Moderna, embora tenha havido um recorte importante sem a inclusão de todos os pormenores. O objetivo foi abordar questões conceituais das ideias iniciais da grande revolução, costurando com informações históricas, na medida em que perguntas referentes às estrelas foram sendo colocadas pelos cientistas.

As estrelas despertam o interesse de muitas pessoas, bem como a Física Moderna. Nas últimas décadas, o ensino de física no Brasil vem sendo alvo de muitas discussões, a maioria delas fazendo referência à introdução de suas ideias mais recentes no ensino médio. Ao juntar as duas áreas no texto, este pode servir de base para esse objetivo, embora o tema não tenha sido esgotado. Oriundo de um trabalho de pesquisa do Mestrado Profissional em Astronomia da Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS), optou-se por deixar de fora desse livro as atividades realizadas com os estudantes, dando liberdade a professores e alunos usarem-no da forma que lhes aprouver. A relação entre Física e Astronomia ficou evidente nesse

sentido, deixando claro que suas aplicações se estendem além dos campos onde inicialmente surgiram, com forte impacto nas nossas vidas, como é o caso da Física Nuclear e do Efeito Fotoelétrico.

Fazendo esse tipo de correlação, espera-se que os possíveis leitores compreendam o mundo a sua volta e principalmente, possam enxergar a ciência como parte da cultura humana.

REFERÊNCIAS

ABUNDÂNCIA Cósmica. **Astro.iag.usp**, [2018?]. Disponível em: <http://www.astro.iag.usp.br/~ronaldo/intrcosm/Glossario/AbundCosm.html>. Acesso em: 20 fev. 2024.

ALBERT Einstein. **Wikipédia**, 2024. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Albert_Einstein. Acesso em: 20 fev. 2024.

ANDERY, Maria Amalia; MICHELETTO, Nilza; SÉRIO, Tereza Maria Pires; RUBANO, Denize Rosano; MOROZ, Melania; PEREIRA, Maria Eliza; GIOIA, Sílvia Catarina; GIANFALDONI, Mônica; SAVIOLI, Márcia Regina; ZANOTTO, Maria de Lourdes. **Para compreender a ciência: uma perspectiva histórica**. 13 ed. Rio de Janeiro: Garamond; São Paulo: EDUC, 2004.

ANNIE Jump Cannon. **Wikipédia**, 2024. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Annie_Jump_Cannon. Acesso em: 20 fev. 2024.

ARISTARCO de Samos. **Wikipédia**, 2024. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Aristarco_de_Samos. Acesso em: 20 fev. 2024.

ARTHUR Eddington. **Wikipédia**, 2024. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Arthur_Eddington. Acesso em: 20 fev. 2024.

ASTH, Rafael C. Efeito Fotoelétrico. **Toda Matéria**, c2011-2024. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/efeito-fotoeletrico/>. Acesso em: 20 fev. 2024.

BUGLIA, Fernando. Física para o Enem: Afinal, o Que É a Luz? **Info Enem**, 27 jun. 2016. Disponível em: <https://infoenem.com.br/fisica-para-o-enem-afinal-o-que-e-luz/>. Acesso em: 20 fev. 2024.

CARACTERÍSTICAS del Modelo Atómico de Bohr. Caracteristicass.de, [2018?]. Disponível em: <https://www.caracteristicass.de/modelo-atomico-de-bohr/>. Acesso em: 20 fev. 2024.

CARDOSO, Eliezer de Moura. **A energia nuclear**. 3.ed. Rio de Janeiro: CNEN, 2012. (Apostila educativa).

CECILIA Payne-Gaposchkin. **Wikipédia**, 2024. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Cecilia_Payne-Gaposchkin. Acesso em: 20 fev. 2024.

COLOMBARI, R. The Lagoon Nebula in High Definition. **APOD**, 14 dez. 2016. Disponível em: <https://apod.nasa.gov/apod/ap161214.html>. Acesso em: 20 fev. 2024.

DE REVOLUTIONIBUS orbium coelestium. **Wikipédia**, 2024. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/De_revolutionibus_orbium_coelestium. Acesso em: 20 fev. 2024.

DIANA, Daniela. Rá, Deus do Sol. **Toda Matéria**, c2011-2024. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/ra-deus-do-sol/>. Acesso em: 20 fev. 2024.

DISPOSITIVO de carga acoplada. **Wikipédia**, [2018?]. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Dispositivo_de_carga_acoplada. Acesso em: 20 fev. 2024.

EISBERG, Robert; RESNICK, Robert. **Física Quântica**: átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas. 10 ed. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1997.

ENRICO Fermi. **Wikipédia**, 2024. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Enrico_Fermi. Acesso em: 20 fev. 2024.

ERNEST Rutherford. **Wikipédia**, 2024. Disponível em: Acesso em: 20 fev. 2024.

ESPECTRO Eletromagnético. **Resumo Escolar**, c2024. Disponível em: <https://www.resumoescolar.com.br/fisica/espectro-eletromagnetico/>. Acesso em: 20 fev. 2024.

EXERCÍCIOS. **Espetacular Química**, 15 fev. 2014. Disponível em: <http://espetacularquimica.blogspot.com/>. Acesso em: ago. 2018.

EXPERIMENTO de Geiger-Marsden. **Wikipédia**, [2018?]. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Experimento_de_Geiger-Marsden. Acesso em: 20 fev. 2024.

EXPERIMENTOS Cosmológicos. **Astro.iag.usp**, [2018?]. Disponível em: <http://www.astro.iag.usp.br/~ronaldo/introcosm/Historia/hist10.html>. Acesso em: 20 fev. 2024.

FEYNMAN, Richard Phillips; LEIGHTON, Robert Benjamin; SANDS, Matthew. **Lições de Física de Feynman**. Tradução de Adriana Válio Roque da Silva, Kaline Rabelo Coutinho. Porto Alegre: Bookman, 2008.

FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. Emissões Radioativas Naturais. **Mundo Educação**, c2024. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/quimica/emissoes-radioativas-naturais.htm>. Acesso em: 20 fev. 2024.

FONSECA, Bruna Teixeira da. Isótopos. **InfoEscola**, c2006-2024. Disponível em: <https://www.infoescola.com/quimica/isotopos/>. Acesso em: 20 fev. 2024.

FONTANAILLES, Gilvan. O Modelo Atômico de Rutherford. **Espetacular Química**, 26 fev. 2013. Disponível em: <https://espetacularquimica.blogspot.com/2013/02/modelo-atomico-de-rutherford.html>. Acesso em: 20 fev. 2024.

GALILEU Galilei. **Wikipédia**, 2024. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Galileu_Galilei. Acesso em: 20 fev. 2024.

GEORGE Gamow. **Wikipédia**, 2024. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/George_Gamow. Acesso em: 20 fev. 2024.

GREGORIO-HETEM; Jane; JATENCO-PEREIRA, Vera. Estrelas: classificação espectral. /n: GREGORIO-HETEM; Jane; JATENCO-PEREIRA, Vera. **Observatórios Virtuais – Fundamentos de Astronomia**. São Paulo: IAG/USP, 2010. (apostila). Disponível em: <http://www.astro.iag.usp.br/~jane/aga215/apostila/cap10.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2024.

HANS Bethe. **Wikipédia**, 2024. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Hans_Bethe. Acesso em: 20 fev. 2024.

ISAAC Newton. **Wikipédia**, 2024. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Isaac_Newton. Acesso em: 20 fev. 2024.

JAMES Clerk Maxwell. **Wikipédia**, 2024. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/James_Clerk_Maxwell. Acesso em: 20 fev. 2024.

JOHN Dalton. **Wikipédia**, 2024. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/John_Dalton. Acesso em: 20 fev. 2024.

LEIS de radiação (para corpos negros). **Física.ufpr**, [2018?]. Disponível em: <https://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap2/cap2-5.html>. Acesso em: 20 fev. 2024.

LIRA, Júlio César Lima. Reação em Cadeia. **InfoEscola**, c 2006-2024. Disponível em: <https://www.infoescola.com/quimica/reacao-em-cadeia/>. Acesso em: 20 fev. 2024.

LISE Meitner. **Wikipédia**, 2024. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Lise_Meitner. Acesso em: 20 fev. 2024.

LUTGENS, Frederick K.; TARBUCK, Edward J. **The atmosphere**. 7 ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1998.

MACIEL, Walter Junqueira. A Formação dos Elementos Químicos. *Revista USP*, São Paulo, n. 62, p. 66-73, julho/agosto, 2004.

MACIEL, Walter Junqueira. **Introdução à Estrutura e Evolução Estelar**. São Paulo: EDUSP, 1999.

MARIE Curie. **Wikipédia**, 2024. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Marie_Curie. Acesso em: 20 fev. 2024.

MÁRIO Schenberg. **Wikipédia**, 2024. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/M%C3%A1rio_Schenberg. Acesso em: 20 fev. 2024.

MARTINS, Roberto de Andrade. **Becquerel e a descoberta da radioatividade**: uma análise crítica. Campina Grande: EDUEPB/Livraria da Física, 2012.

MAX Planck. **Wikipédia**, 2024. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Max_Planck. Acesso em: 20 fev. 2024.

MENEZES, Débora Peres. Mulheres na Física: a realidade em dados. **Caderno brasileiro de Ensino de Física**, [S. l.], v. 34, n. 2, p. 341-343, ago. 2017.

MIZRAHI, Salomon. Mulheres na Física: Lise Meitner. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [S. l.], v. 27, n. 4, p. 491-493, 2005.

MOREIRA, Marco Antônio. O Modelo Padrão da Física de Partículas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [S. l.], v. 31, n. 1, 1306, 2009.

MUNDIM, Kleber C. Aula 18. **Ensino a distância pro**, c1997. Disponível em: <http://www.ensinoadistancia.pro.br/EaD/Fisica-4/Aulas/Aula-18/aula-18.html>. Acesso em: 20 fev. 2024.

NICOLAU Copérnico. **Wikipédia**, 2024. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Nicolau_Cop%C3%A9rnico. Acesso em: 20 fev. 2024.

NIELS Bohr. **Wikipédia**, 2024. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Niels_Bohr. Acesso em: 20 fev. 2024.

OLIVEIRA FILHO, Kepler de Souza. Ciclo Próton-Próton. **Astro**, 03 set 2014 (modificado). Disponível em: <http://astro.if.ufrgs.br/evol/reacoes/reacoes.htm>. Acesso em: 20 fev. 2024.

OLIVEIRA FILHO, Kepler de Souza; SARAIVA, Maria de Fátima Oliveira. Fusão Termo-Nuclear. **Astro**, 28 ago. 2022a (modificado). Disponível em: <http://astro.if.ufrgs.br/estrelas/node10.htm>. Acesso em: 20 fev. 2024.

OLIVEIRA FILHO, Kepler de Souza; SARAIVA, Maria de Fátima Oliveira. Energia Nuclear de Ligação. **Astro**, 14 maio 2008 (modificado). Disponível em: <http://astro.if.ufrgs.br/estrelas/node12.htm>. Acesso em: 20 fev. 2024.

OLIVEIRA FILHO, Kepler de Souza; SARAIVA, Maria de Fátima Oliveira. Evolução Final das Estrelas. **Astro**, 28 set. 2022b. Disponível em: <http://astro.if.ufrgs.br/estrelas/node14.htm>. Acesso em: 20 fev. 2024.

OLIVEIRA FILHO, Kepler de Souza; SARAIVA, Maria de Fátima Oliveira. Espectroscopia. **Astro**, 23 ago. 2022c (modificada). Disponível em: <http://astro.if.ufrgs.br/rad/espec/espec.htm>. Acesso em: 20 fev. 2024.

OLIVEIRA FILHO, Kepler de Souza; SARAIVA, Maria de Fátima Oliveria. **Astronomia e Astrofísica**. 2 ed. São Paulo: Livraria da Física, 2004.

OLIVEIRA FILHO, Kepler Souza. Fotografia. **Astro**, 2 abr. 2018 (modificado). Disponível em: <http://astro.if.ufrgs.br/telesc/fotografia.htm>. Acesso em: 20 fev. 2024.

OLIVEIRA, Ivan dos Santos. **Física Moderna**: para iniciados, interessados e aficionados. 2 ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2009.

OPTICKS. **Wikipédia**, 2024. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Opticks>. Acesso em: 20 fev. 2024.

PERUZZO, Jucimar. **Física e energia nuclear**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2012.

PERUZZO, Jucimar; POTTKER, Walmir Eno; PRADO, Thiago Gilberto do. **Física Moderna e Contemporânea**: das teorias quânticas e relativísticas às fronteiras da física. v.1 e 2. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2013.

PICAZZIO, E. **O céu que nos envolve**: introdução à Astronomia para educadores e iniciantes. São Paulo: Odysseus, 2011.

PIETROCOLA, Maurício; POGIBIN, Alexander; ANDRADE, Renata de; ROMERO, Talita Raquel. **Física em contextos**: pessoal, social e histórico. v 3. São Paulo: Editora FTD, 2010.

PIZA, Antônio Fernando Ribeiro de Toledo. Física Nuclear: conteúdo, contatos imediatos e aura. **Revista USP**, São Paulo, n. 66, p. 62-73, julho/agosto, 2005.

PRADO, Rogério Junqueira; LEITE, Diego de Oliveira. Espectroscopia no Infravermelho: Uma Apresentação para o Ensino Médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [S. l.], v. 34, n. 2, 2504, 2012.

PTOLEMEU. **Wikipédia**, 2024. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Ptolemeu>. Acesso em: 20 fev. 2024.

ROSA, Carlos Augusto de Proença. **História da Ciência**: a Ciência e o Triunfo do Pensamento Científico no Mundo Contemporâneo. 2 ed. Brasília: FUNAG, 2012.

ROSA, Carlos Augusto de Proença. **História da Ciência**: da antiguidade ao renascimento científico. 2 ed. Brasília: FUNAG, 2012.

ROSA, Carlos Augusto de Proença. **História da Ciência**: o Pensamento Científico e a Ciência no Século XIX. 2 ed. Brasília: FUNAG, 2012.

SARAIVA, Maria de Fátima Oliveira; OLIVEIRA FILHO, Kepler de Souza; MÜLLER, Alexei Machado. Espectroscopia. **if.ufrgs**, [2018?]. Disponível em: http://www.if.ufrgs.br/fis02001/aulas/aula_espec.htm. Acesso em: 20 fev. 2024.

SILAS, Joab. O que é fissão nuclear? **Brasil Escola**, c2024. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-fissao-nuclear.htm>. Acesso em: 20 fev. 2024.

SOUZA, Líria Alves de. Alimentos irradiados. **Mundo Educação**, c2024. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/quimica/alimentos-irradiados.htm>. Acesso em: 20 fev. 2024.

TORT, A. C.; NOGAROL, F. Revendo o debate sobre a idade da Terra. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [S. l.], v. 35, n. 1, mar., 2013.

WEBB, Claire Isabel. Cosmic vision. **Aeon**, 10 mar. 2023. Disponível em: <https://aeon.co/essays/jwsts-cosmic-revelations-will-change-our-interior-lives-too>. Acesso em: 20 fev. 2024.

WILHELM Röntgen. **Wikipédia**, 2024. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Wilhelm_R%C3%B6ntgen. Acesso em: 20 fev. 2024.

WILLIAM Thomson. **Wikipédia**, 2024. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/William_Thomson. Acesso em: 20 fev. 2024.

WILLIAMINA Fleming. **Wikipédia**, 2024. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Williamina_Fleming. Acesso em: 20 fev. 2024.



2

Irineu Santos
Antônio Delson Conceição de Jesus

**ASTRONOMIA PARA
A EDUCAÇÃO BÁSICA**

DOI: [10.31560/pimentacultural/2024.1239.2](https://doi.org/10.31560/pimentacultural/2024.1239.2)

CIENTISTAS NEGROS HOMENAGEADOS

Quando questionamos a contribuição de povos para o desenvolvimento das sociedades, no que se refere a temas relacionados à filosofia, como expoente do conhecimento racional e o desenvolvimento das ciências, nossas lembranças nos remetem aos gregos. Em hipótese alguma, devemos negar a importante contribuição que esses pensadores deram à humanidade, porém, injustiças são cometidas quando excluímos as contribuições também essenciais, de outros povos como: os egípcios, chineses, maias, astecas, entre outros.

Este comportamento é resultante da informação distorcida, da maioria dos livros que omitem, e as vezes insistem, em negar a relevante contribuição que os povos de todos continentes deram ao desenvolvimento da sociedade. Às vezes, quando povos, como os egípcios, são mencionados, os autores o fazem tão superficialmente, que um leitor desatento poderá não perceber que o Egito está localizado no continente africano. Dado que, o referido país já foi o berço da civilização, onde tem a mais antiga biblioteca do planeta, conhecida por Biblioteca de Alexandria.

Cunha (2011), Mestre em Ensino e Filosofia da Ciência, enfatiza que as distorções do legado científico dos povos africanos e afrodescendentes constituem uma predominância do eurocentrismo da história oficial, que tenta invisibilizá-los. A insistência em negar o passado científico e tecnológico dessa população e exacerbar apenas seu “caráter lúdico” é uma das principais estratégias de ensino com bases eurocêntricas, que ainda se faz presente em diversos espaços educativos. Esta postura, ainda corriqueira, nas práticas de alguns educadores, tem contribuído para abalar a autoestima da população africana e sua diáspora.

A título de informação, segue o resumo bibliográfico de alguns cientistas negros que contribuíram para o desenvolvimento da Ciência, inclusive para a Astronomia, que são invisíveis aos olhos desatentos de alguns setores da sociedade intelectualizada. Em favor do antirracismo, eis uma oportunidade para homenageá-los:

Arthur Bertram Cuthbert Walker II (1936-2001), foi um físico que estudou ativamente o Sol por meio de raios-x e sensores ultravioletas. Ele é mais conhecido por ter desenvolvido telescópios ultravioletas para fotografar a coroa solar, por sinal. Suas metodologias ainda são usadas na Astrofísica atual, em telescópios solares como o SOHO/EIT e o TRACE, e também na fabricação de microchips via fotolitografia ultravioleta. Há um prêmio, anual, dado em seu nome pela Sociedade Astronômica do Pacífico.

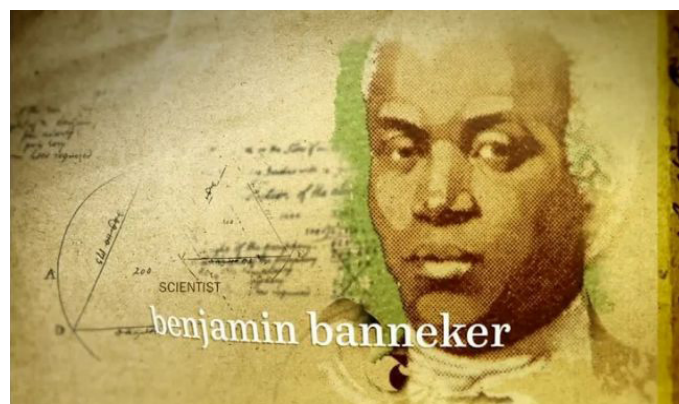
Figura 1 – Bertram, o físico que estudou ativamente o Sol por meio de raios-x e sensores ultravioletas



Fonte: Cavalcante (2023).

Benjamin Banneker (1731-1806), astrônomo afro-americano, relojoeiro e inventor. Criou um almanaque que continha informações sobre os movimentos do Sol, da Lua e dos planetas. Ele aprendeu Astronomia e Matemática Avançada através de livros emprestados por seu vizinho, o topógrafo George Ellicott. Banneker fez cálculos para prever eclipses solares e lunares, inclusive corrigiu erros cometidos por especialistas da época. Depois, compilou sua obra no *Benjamin Banneker Almanac*, com uma tabela das posições dos objetos celestes e onde elas apareciam no céu em determinadas épocas do ano.

Figura 2 - Benjamin criou um almanaque sobre os movimentos do Sol, da Lua e dos planetas



Fonte: Cavalcante (2023).

George Washington Carver (1864-1943), cientista que ficou mais conhecido por descobrir 100 usos para o amendoim. Aprendeu a ler e escrever em casa com sua mãe de criação porque as escolas locais, na época, não permitiam estudantes negros, e isso despertou seu interesse na aprendizagem ao longo da vida. Carver foi autodidata, conduziu experimentos biológicos de seu próprio projeto, e acabou conseguindo um Mestrado no Programa de Botânica da *Iowa State Agricultural College* com uma reputação de cientista brilhante. No Instituto Normal e Industrial Tuskegee para Negros,

Carver desenvolveu métodos de rotação de culturas, que revolucionou a agricultura do sul nos Estados Unidos da América (EUA).

Figura 3 – George Washington descobriu 100 usos para o amendoim



Fonte: Cavalcante (2023).

Patrícia Era Bath (1942-2019), contribuiu para a melhora na visão de milhares de pessoas, graças à sua invenção para o tratamento da catarata. Depois de concluir o Colegial em apenas dois anos, formou-se em medicina pela *Howard University*. Sua pesquisa revelou que, quando comparados aos outros pacientes, os negros tinham oito vezes mais chances de desenvolver glaucoma e duas vezes mais chances de ficarem cegos com essa doença. Ela buscou, então, desenvolver um processo para aumentar o atendimento oftalmológico para pessoas incapazes de pagar por isso. Hoje, essa iniciativa é chamada de Oftalmologia Comunitária e opera em vários países.

Em 1981, Bath trabalhou em sua invenção mais notável: uma sonda a laser que tratava com precisão as cataratas, com menos dor ao paciente. Com a nova sonda, ela foi capaz de restaurar a visão de pacientes que estavam cegos por 30 anos. Em 1988, Bath se tornou

a primeira médica negra a receber uma patente para fins médicos e, depois que se aposentou em 1993, Bath continuou defendendo os menos favorecidos clinicamente, concentrando-se no uso da tecnologia para oferecer serviços médicos em regiões remotas.

Figura 4 – Bath, a primeira médica negra a receber uma patente para fins médicos



Fonte: Cavalcante (2023).

Katherine Johnson (1918-), cientista americana da NASA que fez, à mão, cálculos responsáveis por levar o primeiro astronauta americano à órbita da Terra e que contribuíram para levar o Homem à Lua com o programa Apollo. Johnson concluiu o Ensino Médio aos 14 anos e, aos 18, recebeu um diploma universitário, mas só começou a trabalhar na NASA aos 35 anos.

Ela foi contratada para ser um “computador humano”, nome que as pessoas como ela recebiam na época por fazer cálculos matemáticos à mão. O cargo era reservado, inicialmente, apenas a mulheres brancas, mas, a partir de 1940, passaram a contratar negras, que trabalhavam em uma ala segregada chamada “*West Area Computers*”, na sala “computadores de cor” (*colored computer*). Em 1960, Katherine assinou seu primeiro relatório para a NASA e

se tornou a primeira mulher da sua área a receber créditos por um relatório de pesquisa.

Figura 5 – Katherine, cientista estadunidense da NASA



Fonte: Cavalcante (2023).

Mary Jackson (1921-2005), conquistou o diploma duplo em Matemática e Ciências Físicas em 1942. Ela foi a primeira engenheira negra da NASA, e trabalhou como “computador humano” sob a supervisão de Dorothy Vaughan em 1951. Dois anos após sua contratação, passou a trabalhar com o engenheiro Kazimierz Czarnecki no projeto de Túnel de Pressão Supersônico.

Mary Winston Jackson foi considerada a terceira protagonista de *Estrelas Além do Tempo* (2016). Apesar de seus diplomas e experiência, ela deveria ter uma pós-graduação pela Universidade de Virgínia, porém a instituição não aceitava alunos negros naquela época. Após vencer a segregação nos tribunais e ganhar o direito ao estudo, Jackson se torna a primeira engenheira negra da NASA em 1958.

Figura 6 – Mary conquistou o diploma duplo em Matemática e Ciências Físicas



Fonte: Cavalcante (2023).

Guion Bluford (1942-), foi o primeiro homem negro estadunidense a ir ao espaço. Formado em engenharia aeroespacial pela Universidade Estadual da Pensilvânia, entrou para a Força Aérea dos Estados Unidos qualificando-se como piloto em janeiro de 1966. O coronel Bluford entrou para o corpo de astronautas da NASA em 1978, trabalhando até 1983 em funções técnicas em terra.

Sua primeira missão espacial foi na missão STS-8 Challenger, lançada em agosto de 1983. Sua segunda missão foi em outubro de 1985 na STS-61-A Discovery, uma missão de sete dias que foi a primeira com oito tripulantes. Nesta ocasião, ele realizou estudos científicos no Spacelab. Realizou quatro missões espaciais, acumulando um tempo total de 28 dias no espaço.

Figura 7 - Bluford foi o primeiro homem negro estadunidense a ir ao espaço



Fonte: Cavalcante (2023).

Justiniano Clímaco da Silva (1908-2000), nascido em Santo Amaro da Purificação Bahia, conhecido por Doutor Preto, primeiro médico a chegar a Londrina, em 1938, época de grandes epidemias, que matavam muitas pessoas nos municípios. Foi médico da saúde pública na cidade e tornou-se especialista no combate às doenças infectocontagiosas, como a malária e a febre amarela. Foi um dos primeiros médicos e o primeiro médico negro da cidade.

Figura 8 - Doutor Preto, primeiro médico a chegar a Londrina em 1938



Fonte: Silva e Penta (2010).

Enedina Alves Marques (1913-1981), primeira mulher negra a se formar engenheira civil no Brasil. Ao ingressar em 1940 na faculdade de engenharia, turma formada somente por homens brancos, enfrentou várias perseguições e preconceitos, conseguiu concluir sua formatura de Engenheira Civil em 1945, pela Universidade do Paraná.

No ano seguinte à sua formação, Enedina passou a trabalhar como auxiliar de engenharia na Secretaria de Estado de Viação e Obras Públicas e, em seguida, foi transferida para o Departamento Estadual de Águas e Energia Elétrica do Paraná. Trabalhou no desenvolvimento do Plano Hidrelétrico do Paraná em diversos rios do estado, com destaque para o projeto da Usina Capivari-Cachoeira.

Figura 9 - Enedina, primeira mulher negra a se formar engenheira civil no Brasil



Fonte: Paiva (2020).

Milton Santos (1926-2001), bacharel em direito pela UFBA, mas que conquistou maior destaque na geografia, sendo um dos grandes nomes da área no Brasil e realizando trabalhos em diversas áreas da geografia, o único estudioso fora do mundo anglo-saxão a receber o

que pode ser considerado o Nobel da Geografia pelo conjunto de sua obra, o prêmio Vautrin Lud. Realizou grandes esforços para debater a globalização da economia, enfatizando seu efeito devastador no Brasil, e propor saídas para que a população pobre não seja mais parte desse jogo apenas como vítima. Milton Santos publicou mais de 40 livros e 300 artigos. Doutor em Geografia pela Universidade de Estrasburgo e professor visitante em Stanford, atuava como consultor da Organização das Nações Unidas (ONU), da Organização Internacional do Trabalho (OIT), da Organização dos Estados Americanos (OEA) e da Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (Unesco). Foi professor das universidades de Paris (França), Columbia (EUA), Toronto (Canadá) e Dar es Salaam (Tanzânia). Recebeu vários títulos acadêmicos e honorarias pelos seus méritos.

Figura 10 – Milton Santos um dos grandes nomes da Geografia Brasileira

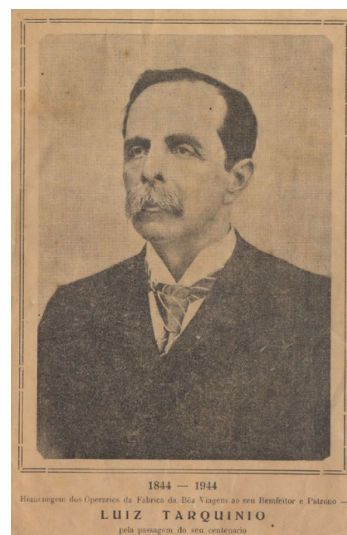


Fonte: Milton [...] ([2019?]).

Luiz Tarquínio (1844-1944) grande empreendedor e abolicionista, filho da ex-escravizada Maria Luiza, começou a trabalhar aos 10 anos, em uma loja de tecidos do lojista Lino Porphyrio da Silva, no centro da cidade de Salvador. Foi trabalhar na limpeza, porém como tinha sido alfabetizado em casa com sua mãe e frequentou a escola pública por dois ou três anos, sabia as quatro operações de matemática, então foi logo promovido a atendente de balcão.

Em 1891, Tarquínio criou a Companhia Empório Industrial do Norte, no bairro da Boa Viagem. Construiu a primeira vila operária do país, foi dos primeiros ou o primeiro, a introduzir benefícios trabalhistas como a licença-maternidade. Para marcar a seriedade e independência empresarial mandou gravar na fachada da fábrica a seguinte frase: "Empresa organizada sem os privilégios nem favores do governo".

Figura 11 – Luiz Tarquínio empreendedor e abolicionista, filho de Maria Luiza



Fonte: Luiz [...] (c2019).

APRESENTAÇÃO

A expressão ciência vem do latim, que quer dizer “conhecimento”, porém definir e entender o que é ciência não é tão simples como imaginamos. Há muitos séculos pensadores e cientistas têm debatido sobre esse tema. Aristóteles definiu a ciência como “conhecimento demonstrativo”, em outras palavras, a Ciência é o conhecimento comprovado expresso por demonstração e fundamentada por observações, análises e experimentos, considerando as diversas hipóteses. Galileu desenvolveu o método científico (*métodos*: caminhar para chegar a um fim), onde o conhecimento deveria basear-se em experimentações e na lógica matemática. Já Karl Popper propõe a refutabilidade, segundo ele uma teoria deve ser rigorosamente testada por observação e experimentos, se falhar deve ser substituída, ou reformulada. Segundo seus argumentos só as teorias que podem ser falseadas são capazes de fornecer informação sobre o mundo.

Podemos observar que o conceito de ciência, como reprodução humana, está em constante reformulação para acompanhar as mudanças necessárias em consonância com a evolução da sociedade. Os pesquisadores e os professores estão sempre se atualizando e revendo os conceitos científicos, pois constantemente as teorias são reformuladas ou refutadas para adequar-se aos novos rigores da comunidade científica.

Este capítulo educacional foi elaborado durante o curso de Mestrado em Ensino de Astronomia, com a finalidade de servir como material de apoio didático para os docentes da Educação Básica. Em especial os professores das áreas de: Física, Geografia, Matemática, Ciências e áreas afins. Os professores de outras áreas, como História, Filosofia etc. também podem consultá-lo, pois apesar de ser um livro da área Astronomia e Astrofísica, o mesmo foi escrito numa linguagem acessível para professores de qualquer área. Os cálculos foram suprimidos, os existentes estão reservados numa seção específica,

denominada de: Saiba um pouco mais de Astronomia, destinado aos professores da área de exatas ou curiosos. O conteúdo deste capítulo consta dos assuntos de Astronomia, órbitas dos satélites artificiais e aplicações.

Abordaremos os conteúdos de Astronomia e Astrofísica, além dos conceitos sobre: Asteroides, Meteoroides e Tecnologia Espacial. Explicaremos sobre temas correlatos, como alguns meteoroides que caíram na Terra, como os meteoritos de Bendegó e de Chelyabinsk, falaremos também das possibilidades da queda de asteroides no futuro, o monitoramento da Ciência Espacial sobre estes corpos e os mecanismos de defesa, entre outros temas. Foi incluída alguns exercícios como questões baseadas nas provas da Olimpíada Brasileira de Astronomia (OBA), com assuntos de Astronomia, Física e Matemática para os professores treinarem com seus alunos. Incluímos sugestões de experimentos e de fabricação de instrumentos astronômicos.

As motivações para produção deste capítulo foram diversas, além do incentivo do meu orientador, o senso do dever de colaborar com os professores da Educação Básica, elaborando este material de consulta. Durante as minhas pesquisas do Mestrado percebi uma ausência de livros que tratassem de tais assuntos com o devido rigor científico.

É comum circular nos meios de comunicação de massa, notícias sobre Astronomia ou fenômenos astronômicos. Às vezes os autores da reportagem, costumam usar a linguagem formal jornalística do tipo: "Um asteroide passou raspando a Terra"; "O que acontecerá quando o Sol morrer?" etc. É nítido que o título da reportagem e, às vezes, seu conteúdo, não tem preocupação com as formalidades científicas (Figura 12). Um estudante que ler tais matérias jornalísticas poderá recorrer ao professor solicitando algum esclarecimento, esse é o momento que o docente necessita possuir alguns conhecimentos de Astronomia para prestar as devidas explicações, caso não os possua poderá dá-las de forma equivocada.

Figura 12 – Imagem do Sol publicada no Jornal *El País* em 02 de outubro de 2019



Fonte: Carbonell (2019).

Espero que este capítulo consiga ajudar os professores e demais interessados em estudar ou pesquisar sobre Astronomia e Astrofísica!

INTRODUÇÃO

Arqueologia é a Ciência que estuda o modo de vida e as mudanças culturais das diferentes sociedades humanas, porém, pouco se sabe de como se deu a evolução do hominídeo (*Sahelanthropus tchadensis*) para o *Homo habilis*, *Homo sapiens*. Pesquisas têm encontrado vestígios de que os primeiros grupos sociais se formaram graças ao advento da agricultura e da domesticação de animais. Regiões como as proximidades do rio Nilo (antigo Egito) e a Mesopotâmia (entre os rios Eufrates e Tigre) constituem importantes fontes de pesquisa para desvendar os costumes e como viviam os povos primitivos.

Os arqueólogos têm pesquisado e coletado vários materiais destes sítios arqueológicos e encaminhado para laboratórios a fim de serem analisados. Contudo, as hipóteses levantadas têm algumas controvérsias, pois é difícil obter dados tangíveis da vida dos humanos pré-históricos, visto que este período antecede à escrita. As informações são conseguidas por meio dos vestígios de alguns materiais: rochas, cerâmicas, pinturas rupestres, atividades culturais etc., que servem como fontes de pesquisa. A Arqueoastronomia tem verificado que estas sociedades primitivas já realizavam tímidas observações dos astros e os interpretavam como mensageiros dos deuses ou tentavam relacioná-los a fenômenos da natureza, era, pois, o começo de uma astronomia rudimentar.

As evidências sobre o Universo sempre nos remetem a pesquisa de povos antigos e, frequentemente, a Astronomia é considerada uma das ciências mais antigas praticadas pelo ser humano e, concomitantemente, tem se desenvolvido com a humanidade, logo, o hábito ou necessidade de observar os astros e usar tais experiências para solucionar problemas das sociedades tribais não foi mérito de uma única cultura. A Astronomia Cultural ou Etnoastronomia tem estudado como os povos antigos percebiam os corpos celestes, dentre os quais: os chineses, egípcios, os babilônicos, os gregos, os mesoamericanos e outros.

Quem primeiro construiu um modelo cosmológico que interpretava os movimentos dos astros foram os gregos. No século IV A. E. C.¹, a sua visão, era que as estrelas eram fixas em uma esfera, eles denominavam este sistema como esfera celeste e girava em torno da Terra, a cada 24 horas. Este modelo de interpretação do Universo foi aprofundado e detalhado dando origem, no século VI, ao que denominamos hoje de Astronomia Antiga. Vários astrônomos como: Tales de Mileto (~624-546 A. E. C.), Pitágoras (~572-497 A. E. C.)

1

Antes da Era Comum.

Aristóteles (384-322 A. E. C), Claudio Ptolomeu (90-168 E. C²), entre outros, contribuiram para este novo modelo de descrição do Universo. Ptolomeu é considerado o último astrônomo importante da antiguidade.

Os conhecimentos astronômicos por toda Idade Média foram baseados nos textos do astrônomo egípcio Ptolomeu, contidos no *Almagesto* (o Grande Tratado). Sua obra com 13 volumes era uma síntese das observações de Aristóteles, Hiparco, Posidônio, entre outros. A teoria de Ptolomeu foi base para o sistema geocêntrico, onde a Terra era o centro do Universo. Essa concepção foi defendida pela Igreja Católica até o século XVI. O movimento dos planetas era explicado por meio da combinação de pequenos círculos, chamados de epiciclos.

Na transição da Idade Média e início da Renascença surge o astrônomo e matemático polonês, Nicolau Copérnico (1473-1543) que, ao ler a hipótese heliocêntrica de Aristarco de Samos (310-230 A. E. C.), concordou que o Sol posicionado no Centro do Universo era mais razoável que a Terra. Copérnico registrou suas ideias no livro *De Revolutionibus*. Em 1600 Johannes Kepler (1571-1630) foi trabalhar com o astrônomo Tycho Brahe (1546-1601) e, após a sua morte, Kepler assumiu seu posto e utilizou também os dados das observações dos planetas, se dedicando a estudá-los por vinte anos. Apesar de Tycho Brahe não acreditar na hipótese heliocêntrica de Copérnico, foram suas observações que deram condições para Kepler criar as leis do movimento planetário (Damasio, 2001).

O atual estágio da Astronomia Contemporânea tem relação com dois acontecimentos que se destacaram na história da Ciência. Uma das quais foi a introdução da luneta³ nas observações dos

2 Era comum.

3 Alguns autores atribuem a invenção do telescópio, isto é, a luneta usada por Galileu, ao alemão Hans Lippershey (1570-1619). Em 1609 Galileu foi o primeiro astrônomo a usá-la para observar os astros.

astros, por Galileu Galilei (1564-1642). Ao usar o instrumento óptico para fazer observações astronômicas Galileu conseguiu ver alguns detalhes do céu, que até então, não eram possíveis serem vistos a olho nu. Como por exemplo, os satélites de Júpiter, as crateras da Lua, as manchas solares e a Via Láctea. Ele se tornou um defensor do sistema heliocêntrico de Copérnico. As descobertas de Galileu são consideradas um marco da Astronomia Moderna, posto que seus argumentos serviram de base para refutar a concepção de um universo onde a Terra era o centro. O outro acontecimento de significativa repercussão foi a conquista do espaço, com a viagem do primeiro homem à Lua, em 1969, marcando mais um importante capítulo na história da Astronomia.

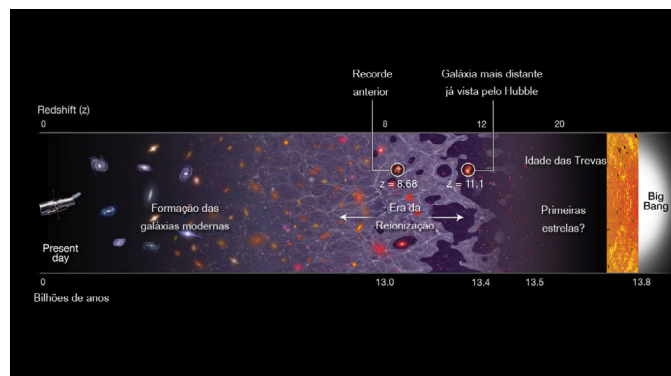
Embora a Astronomia fosse considerada uma das mais antigas ciências e sua consonância com a tecnologia espacial tenha desenvolvido equipamentos que estão a serviço da sociedade, seus conceitos e sua importância raramente são discutidos na educação básica, especialmente no Ensino Médio, etapa final da referida modalidade de ensino. Segundo Ferreira e Meghioratti (2008), apesar de ser possível abordar os estudos da Astronomia no Ensino Médio e fazer transdisciplinaridade com outras áreas do conhecimento como: Matemática, Biologia, História, Geografia, entre outras, geralmente este assunto não é incluído no planejamento das escolas (Ferreira; Meghioratti, 2008).

Estudar o Universo sempre foi motivo do interesse e de encantamento para o ser humano, por meio das novas tecnologias espaciais foi possível conhecer mais detalhes da Via Láctea, descobrir outras galáxias, registrar a explosão e nascimento de estrelas mais distantes, bem como saber mais pormenores sobre a formação do Sistema Solar.

O BIG BANG NÃO FOI UMA EXPLOSÃO

O telescópio espacial Hubble conseguiu localizar a mais antiga galáxia do Universo, GN-Z 11, que é uma galáxia *redshift*⁴ (afasta-se para o vermelho espectroscópico), isso quer dizer que ela está se afastando em direção à constelação da Ursa Maior. Ainda é observada como era há 13,4 bilhões de anos, 400 milhões de anos após o *Big Bang*. Sua distância é de aproximadamente 32 bilhões de anos-luz da Terra. Após as análises pelo espectrógrafo⁵, os astrónomos concluíram que estavam analisando as informações da galáxia mais distante do Universo.

Figura 13 - Imagem artística representando a escala da idade do Universo



Fonte: *Descoberta [...]* (2016).

- 4 *Redshift* é um termo em inglês, significa desvio para o vermelho. A frequência de uma onda de luz observada no espectrógrafo em função da velocidade entre a fonte emissora e o observador se afasta, ou seja, aumentando o comprimento de onda desviando para o vermelho (semelhante ao que ocorre no efeito Doppler).
- 5 Instrumento usado na Astronomia para analisar a luz emitida ou refletida dos corpos celestes.

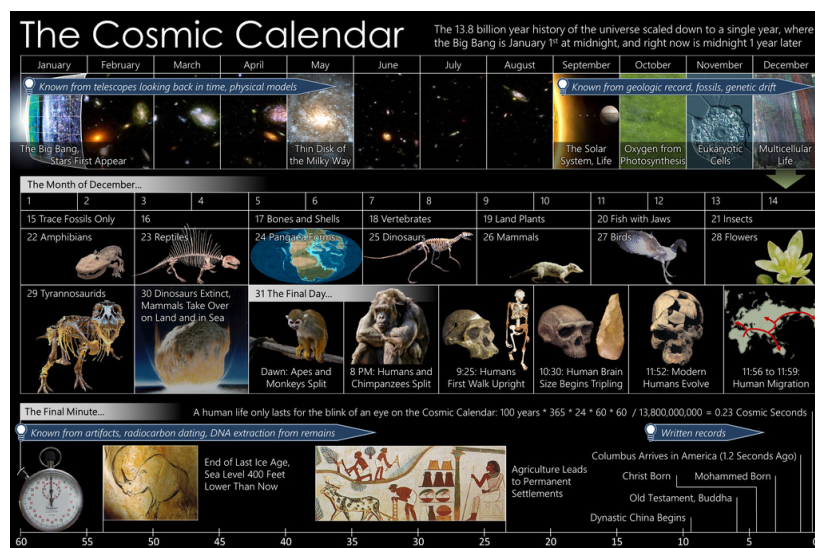
Quando falamos sobre a evolução inicial do universo, a primeira expressão que nos vem à mente é *Big Bang*, não obstante, algumas pessoas acreditam que o termo se refere a uma explosão. O reforço frequente deste equívoco, fora de contexto, leva algumas pessoas a imaginar, erroneamente, que se refere a uma reação explosiva, semelhante a uma bomba. No entanto, os cosmólogos empregam o termo para fazer referência a uma ideia aproximada de um universo originalmente muito quente, denso e reduzido, em certo tempo do passado. Alguns registros têm confirmado que em 1950 o astrônomo britânico, Fred Hoyle (1915-2001), sugeriu, por acaso, o termo *Big Bang* ou Grande Explosão, para o evento que se deduz como o início da expansão do Universo, entretanto, esta concepção se popularizou e perdura até então (Figura 14).

O universo é um dos principais laboratórios dos astrônomos, seus mistérios sempre encantaram a humanidade. Os povos primitivos sempre observaram o céu por vários motivos: curiosidade, orientação para deslocamento, sobrevivência, entre outras práticas, porém observá-lo com objetivos científicos é uma prática recente, se compararmos ao período da Pré-história (Paleolítico). Alguns astrônomos famosos mais antigos foram: Tales de Mileto (~624-546 A. E. C.), Pitágoras (~572 – 497 A. E. C.), Eratóstenes (276-194 A. E. C.), entre outros, incluindo Claudio Ptolomeu (85 E. C. – 165 E.C.), o último astrônomo da antiguidade. Galileu é considerado pai da Astronomia moderna, ele também prestou importantes contribuições para a Mecânica, o relato de suas observações foi publicado em 1610, no livro *O mensageiro*.

O ser humano sempre questionou sua origem, isto é, querer saber como foram os primeiros estágios da vida no nosso planeta, e ainda, fez o seguinte questionamento: a Terra é o único planeta com condições habitáveis? Essa pergunta não tem resposta única e definitiva, dado que várias correntes de conhecimento tentam respondê-la e a Ciência não é a verdade absoluta e nem as respostas são imutáveis. Segundo o astrônomo, Carl Sagan (1934-1996) somos

constituídos de material estelar, isso quer dizer que o carbono, nitrogênio, o oxigênio, assim como os elementos pesados foram criados há, aproximadamente, 4,5 bilhões de anos, quando foi formado o Sistema Solar. Em outras palavras, o ser humano, os outros animais, tudo o que existe na Terra contém material estelar. As estrelas nascem e morrem e quando elas morrem explodem violentamente, lançando nuvens de poeira e gás para o espaço da galáxia, em vista disso, podemos afirmar que cada um de nós somos pedacinhos das estrelas que vieram da galáxia (Moon, 2013).

Figura 14 - Calendário Cósmico, resumindo toda a história conhecida do Universo em um ano cósmico



Fonte: Calendário [...] ([2019?]).

A figura 14 é um Calendário Cósmico, ilustrando a idade do Universo e da Terra, cuja finalidade é simplificar nossa compreensão, o físico Carl Sagan o popularizou em seu livro *Os Dragões de Éden* (1977). Nesse calendário os 13,8 bilhões de anos do Universo são sintetizados em uma escala de um ano, nesse esquema todas as informações que

sabemos sobre a história do Universo são iniciadas em janeiro cósmico, exatamente à meia-noite, ou seja, o *Big Bang*. No calendário, o Sistema Solar é exibido a partir de setembro, data de sua formação, e as primeiras formas de vida na Terra manifestam-se em novembro e os dinossauros em 25 de dezembro. Em 31 de dezembro, às 22 h 30 min. o cérebro dos primeiros *Homo* começam a triplicar de tamanho, a evolução dos humanos modernos se dá às 23h 52 min. Migram para os continentes entre 23h 56 min e 23h 59 min. Estamos em 31 de dezembro às 23 h 59 min 59 seg. Quando se iniciam a cultura moderna e o desenvolvimento das ciências (Martins, 2016; Calendário [...], 2011).

GALÁXIA

O termo galáxia (galaktikos) é derivado do grego, cujo significado é “branco leitoso”. Galáxia é um grande sistema, gravitacionalmente ligado, formado por estrelas, remanescentes de estrelas, um meio estelar de gás, poeira e matéria escura. As hipóteses para distinguir um aglomerado de galáxia foram iniciadas por volta do século XVIII, pois vários astrônomos já haviam observado entre as estrelas corpos extensos e difusos, que foram denominados nebulosas. Atualmente, sabemos que, parte desses objetos pertenciam a nossa galáxia, eram nuvens de gás, iluminadas por e algumas delas, as nebulosas espirais. Dentre os estudiosos, destaca-se o astrônomo e caçador de cometa, Charles Messier (1730-1818) que deu início ao catálogo de nebulosas (Catálogo Messier). Graças a habilidade de Messier, 46 cometas foram descobertos, sendo que desses, 21 teriam sido vistos pela primeira vez por ele.

Nesse período os instrumentos de observação não eram de boa qualidade, se comparados aos atuais, e ainda não se tinha noção clara do conceito de galáxia, contribuindo para dificultar uma identificação com certa precisão. Seu equipamento de observação era um

telescópio refrator de 108 mm, portanto, seus frequentes enganos são compreensíveis. Durante as observações, Messier se deparava com a dificuldade de identificar alguns objetos já vistos, além de se enganar com outros que tinham aparência de cometa, mas que na verdade não eram, esse engano era frequente. Para solucionar o problema, ele resolveu construir um catálogo dos objetos observados, para não se confundir novamente quando o corpo celeste fosse visto outra vez e distinguir os que aparentavam ser cometas e não eram. Alguns dos objetos ele classificou de enxame globular e nebulosa.

A lista de Messier era constituída de galáxias, nebulosas e enxame de estrelas. Alguns desses objetos poderiam ser vistos a olho nu, por exemplo, a Galáxia de Andrómeda (M31), que por abuso do termo algumas pessoas chamam-na de “Nebulosa de Andrómeda”. A primeira edição foi publicada em 1771, com o nome de Catálogo de Messier. Nela estava incluso o registro de 109 objetos brilhantes com aparência de nuvem. No século XIX mais nebulosas foram conhecidas e verificadas, inclusive, a sua forma espiral. Uma das mais famosas foi a Galáxia Whirlpool (M51 do catálogo de Messier), em seu catálogo os objetos são identificados por um M mais número, a letra é a inicial do seu nome em sua homenagem e o número representa a ordem cronológica da descoberta (exemplo M101). Posteriormente, outros astrônomos, como: Camille Flammarion (1842-1925), Helen Hogg (1903-1966), William Herschel (1738-1822), Lord Rosse (1800-1867), entre outros, incluíram novos objetos celestes construindo um catálogo com cinco mil nebulosas. Seu catálogo se tornou famoso, servindo de consulta até os dias atuais, as cartas celestes indicam as posições dos objetos de Messier, relacionados às constelações. Por exemplo, M1 Nebulosa do Caranguejo, M42 Nebulosa de Órion etc. A Figura 15 é a galáxia M31, atualmente denominada Galáxia de Andrómeda ou NGC224 – *New General Catalogue* (Almeida, 2005; Evans, 2009).

Figura 15 – Galáxia de M31 (Andrômeda), até 1899 era Nebulosa de Andrômeda



Fonte: Evans.

A concepção de galáxia, no contexto que temos hoje, levou algumas décadas para ser formulada, devido à falta de clareza, os astrônomos não conseguiam distinguir os objetos observados nos domínios de nossa galáxia ou extragaláctico. Com o Telescópio Hooker de 250 cm no Monte de Wilson, o astrônomo estadunidense Edwin Powell Hubble (1889-1953) conseguiu definir os limites externos de algumas nebulosas espirais como aglomerado de estrelas individuais. Ele também identificou algumas estrelas variáveis como as Cefeidas⁶. Constatou ainda, que os objetos que foram observados com telescópios menos potentes não faziam parte de nossa galáxia. Por meio da lei de Leavitt-Shapley foi possível determinar a distância de M31, estimando em 800 mil anos-luz, significando que seria um objeto fora de nossa galáxia, pois o diâmetro de nossa galáxia, de um braço a outro só tem aproximadamente 81,5 anos-luz. Em 1923, Hubble distinguiu melhor os sistemas exteriores a Via Láctea. Suas observações permitiram estimar que as estrelas estavam além dos

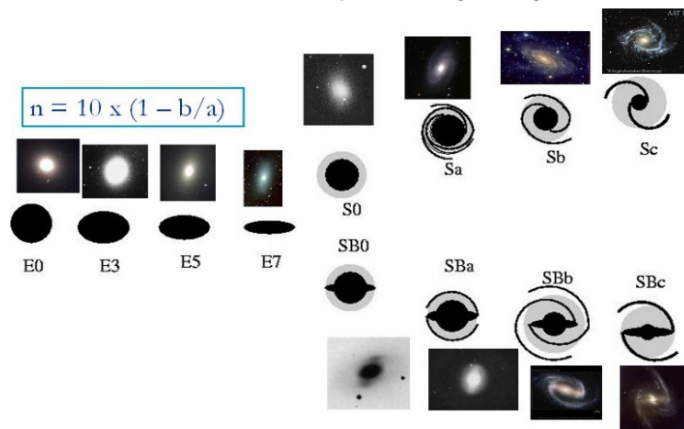
6

Estrelas gigantes ou supergigantes amarelas com 4 a 15 vezes a massa do Sol e de 100 a 30.000 vezes mais brilhantes.

limites da Via Láctea, ele elaborou em 1936 um sistema de classificação para as galáxias que é usado até hoje, conforme a Figura 16.

Hubble também observou que as galáxias estavam se afastando, ele então concluiu que entre 10 a 15 bilhões de anos atrás elas deveriam estar todas num mesmo ponto, muito quente, numa singularidade espaço-tempo, que se expandiu. Os aglomerados e as galáxias são alguns dos objetos que fazem parte da matéria visível do universo, melhor dizendo, a matéria que conhecemos.

Figura 16 - Esquema de Hubble para classificação de galáxia, mostrando os diversos tipos morfológico de galáxia



Fonte: Galáxias ([2018?]).

Aglomerados estelares são agrupamentos de estrelas velhas ou jovens gravitacionalmente ligadas por atração mútua. Como todas foram formadas pela mesma nuvem de gás, admite-se que as estrelas têm mesma idade, mesma composição química e estão relativamente à mesma distância. Baseado na teoria do *Big Bang*, para explicar a expansão do Universo, a cosmologia postula que a matéria escura não interage com a matéria comum, ou só interage gravitacionalmente.

O modelo cosmológico mais aceito é Λ CDM – *Lambda-Cold Dark Matter* (lambda matéria escura fria), que descreve com sucesso a estrutura e a formação do universo. Lambda é uma constante cosmológica proposta por Albert Einstein, reformulando a teoria original da relatividade geral que concluía que o universo era estacionário.

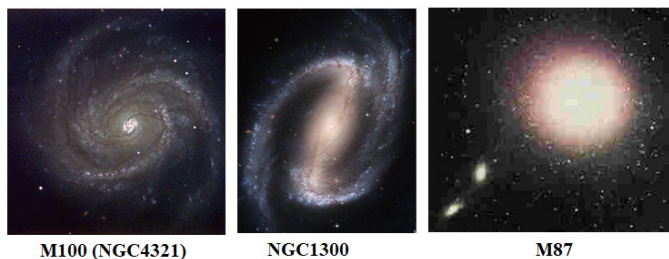
As galáxias apresentam diversidade em suas características morfológicas, aparentes. A classificação de sua forma e de sua estrutura, observada no óptico (luz visível) e no espectro eletromagnético, se deve a Edwin Powell Hubble, que catalogou as galáxias em diferentes formatos e perfis de luminosidade. Conforme Hubble, há três tipos básicos: espirais, elípticas e irregulares. A divisão classificatória das galáxias espirais ocorre de acordo com sua simetria, a presença de disco e dos braços espirais. Outros parâmetros também introduzidos são a divisão de galáxias normais, ativas e *starburst* (com elevada formação estelar). A maioria das galáxias conhecidas são normais (97%) e se dividem em: elípticas, lenticulares, aspirais e irregulares. Na Figura 17 temos imagens de galáxias do tipo espiral e elíptica.

A classificação das galáxias é baseada no esquema publicado no livro de Hubble, *The Realm of the Nebulae*, (1936), que consiste em três sequências principais: elípticas, espirais e espirais barradas. As galáxias elípticas são divididas em E0, E3, E5 e E7, o número acompanhando à letra define o grau de achatamento, por exemplo, E0 representa uma galáxia aproximadamente esférica, por outro lado, E7 é uma elíptica achatada vista de perfil, porém até então nunca foi observada. As galáxias espirais quando vistas de frente aparentam forma espiral, a classificação se dá conforme características específicas, tais como: tamanho do núcleo, do enrolamento das espirais dos braços e de uma estrutura no formato de barra atravessando o núcleo, este grupo está subdividido em: barradas, identificadas pelas siglas SBa SBb e SBc; e não barradas, identificadas por Sa,

Sb e Sc⁷. Pode haver também classificação intermediária na subdivisão, por exemplo: uma galáxia pode ser classificada com morfologia entre Aa e Sb. A classificação de uma intermediária, designa uma letra maiúscula e duas minúsculas (Sab), esse esquema de classificação é chamado de Esquema de Hubble, conforme as figuras 16 e 17. Hubble caracterizou uma quarta classificação, as galáxias irregulares, aquelas sem simetria, apresentando uma estrutura caótica (Oliveira Filho, Saraiva; 2014).

A classificação morfológica das galáxias espirais é complexa, devido à estrutura de seus braços. Alguns elementos, como grande variedade de estrelas, nas regiões de sua vizinhança, procedente dos aglomerados abertos, grande quantidade de gás e de poeira, distribuída irregularmente, contribuem para dificultar sua classificação morfológica. Algumas galáxias apresentam bojo grande, e braços espirais mais fechados, outras possuem bojo menor e braços espirais mais abertos (Madejsky, 2014).

Figura 17 – Galáxias: espiral barrada M100 (SAsb), NGC 1300 (SBb) e galáxia elíptica (E0)



M100 (NGC4321)

NGC1300

M87

Fonte: Galáxias ([2018?]).

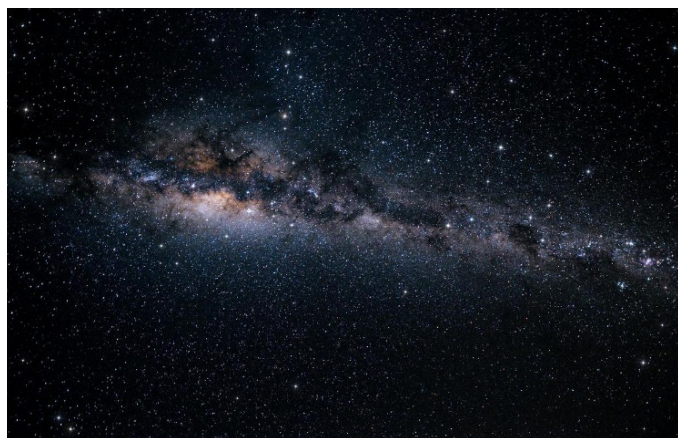
7

a: núcleo maior, braços pequenos e bem enrolados. b: núcleo e braços intermediários. c: núcleo menor, braços grandes e mais abertos.

VIA LÁCTEA

Astrônomos, astrofísicos e cosmólogos, ainda não têm informações precisas para delimitar com segurança as dimensões do universo, até onde sabemos, sua constituição é de objetos observáveis como: gás, poeira, nebulosas, galáxias, partículas e de objetos não observáveis, que ainda não podem ser observados diretamente pelos equipamentos disponíveis, este material é chamado de matéria escura, ou energia escura. Os objetos que já foram observados, até então, correspondem a 5% da massa total do universo, a outra parte é 25% de matéria escura e 70% de energia escura. O nome da nossa galáxia é Via Láctea (caminho do leite). Se olharmos o espaço numa noite de céu límpido e longe das luzes artificiais da cidade, uma pessoa que tem experiência de fazer observação poderá ver uma faixa nebulosa atravessando o hemisfério celeste de um horizonte a outro, que se assemelha a imagem presente na Figura 18. Os povos antigos insinuavam que a referida região era um caminho embranquecido semelhante ao leite.

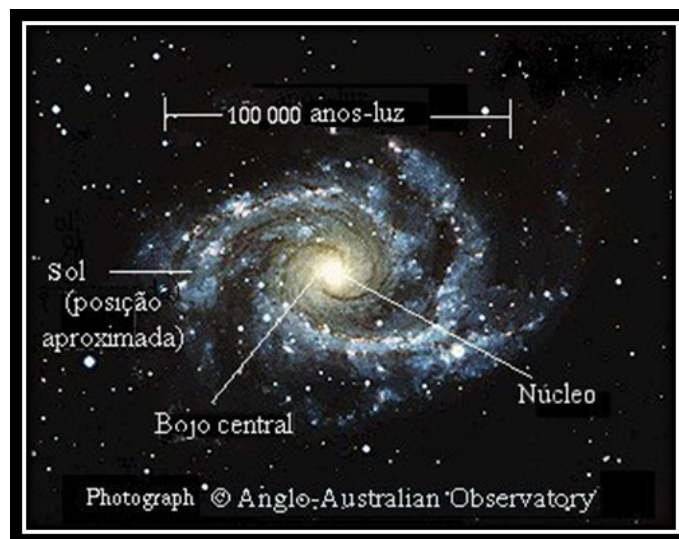
Figura 18 - O plano do centro galáctico da Via Láctea



Fonte: Mota (2020).

As pesquisas do astrônomo Edwin P. Hubble foram bastante importantes para distinguir as nebulosas das galáxias e compreender sua morfologia. Baseado em sua classificação, foi construída a classificação morfológica da nossa galáxia. A Via Láctea é uma galáxia espiral, que está numa transição intermediária entre Sa e Sb, classificada como Sab. Sua forma foi determinada por meio de observações em comprimento de ondas longas, como rádio e infravermelho, capazes de penetrar na poeira do plano galáctico. Se pudéssemos olhar a Via Láctea de fora, sua aparência seria como a da galáxia NCG 2997 (Figura 19).

Figura 19 – Imagem de galáxia NCG 2997 (localizada há 50 milhões de anos-luz) usada para comparação *com a* Via Láctea

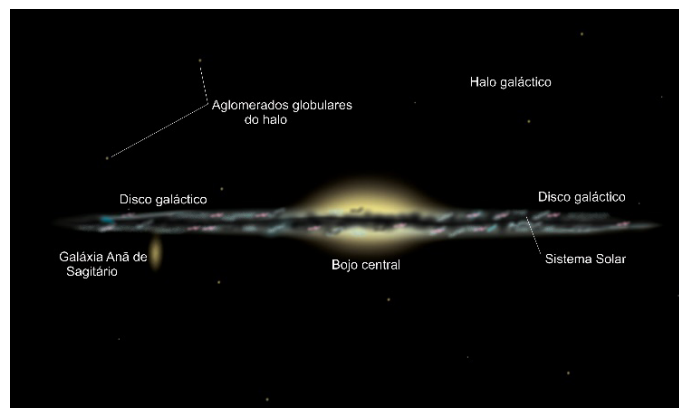


Fonte: Oliveira Filho e Saraiva (2019).

Harlow Shapley (1885-1975), estudando a distribuição do sistema esférico de estrelas, chamado de aglomerados globulares, estimou o tamanho da Via Láctea e a posição do Sol, pois, segundo suas pesquisas, a Via Láctea tem, aproximadamente, 150 globulares

de estrelas, o disco galáctico está envolvido pelo halo formado de aglomerados estelares com tamanho aproximado de 30.000 pc^8 ($100\ 000$ anos luz⁹), sua espessura é de 300 pc e o bojo, onde está contido o núcleo, tem 2.000 pc . O Sol está num dos seus braços. A distância entre o centro da galáxia e a posição do Sol é de, aproximadamente, 8.500 pc . Hubble mensurou estes valores baseando-se nos aglomerados globulares coincidentes com os limites da Via Láctea, a Figura 20 é uma representação de nossa galáxia vista de perfil.

Figura 20 - Imagem representativa das dimensões da Via Láctea vista de perfil



Fonte: Via [...] ([2019?]).

O lançamento do Telescópio Espacial Hubble (HST), que ocorreu em 24 de abril de 1990, cuja a missão foi denominada STS-31 do Discovery, foi decisivo para a descoberta de milhares de galáxias. O Hubble, conforme se sabe, é um satélite artificial não tripulado, que transporta um telescópio refletor com espelho de $2,4$ metros de diâmetro, está a uma distância de, aproximadamente, 600 km da superfície da Terra. Fora da atmosfera da Terra, nesta posição, ele pode capturar imagens com melhor qualidade, livre de aberrações ópticas. Essa vantagem

8 1 parsec (pc) = $206\ 265 \text{ UA}$; Unidade Astronômica (1 UA) = $149\ 597\ 870,69 \text{ km}$.

9 Um ano-luz (1 AL) km.

proporcionou imagens de fenômenos fantásticos como o nascimento de estrelas, buracos negros, colisões de cometas etc. Com ele pode se fazer uma estimativa da idade do Universo em, aproximadamente, 13,5 bilhões anos, com melhor margem de erro. O Hubble nos deu uma visão mais detalhada da nossa Via Láctea e foi possível ver com maior detalhamento um dos seus braços. Num dos braços da Via Láctea, há uma estrela muito especial para nós, com oito planetas clássicos e quatro planetas anões girando em seu entorno, essa estrela chama-se Sol. O conjunto de todos os astros que estão sob a influência do Sol e mais o próprio Sol é chamado de Sistema Solar. Nas próximas seções faremos um breve relato de como o sistema solar foi formado (Oliveira Filho; Saraiva, 2014; WOtP, 2014).

Figura 20 - Hubble, o primeiro telescópio espacial, lançado em 24 de abril de 1990



Fonte: Sérvulo (2015).

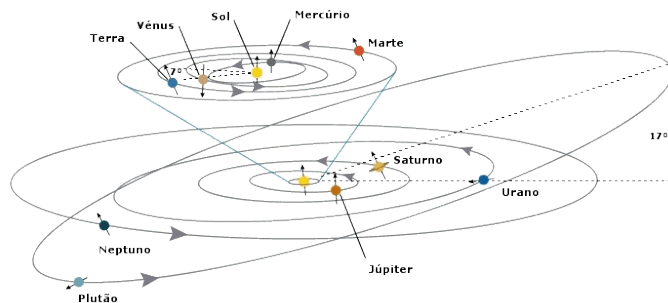
OS PLANETAS

O advento da ciência computacional tem contribuído em diversos ramos da Física. O uso do computador em simulações se faz cada vez mais necessário, se tornando uma ferramenta indispensável na elaboração de modelos teóricos. O uso de técnicas cada vez mais avançadas consegue elaborar modelos virtuais que se aproximam da realidade (Figura 22).

Baseado nos modelos teóricos cosmológicos que dispomos, é possível usar a simulação computacional para recriar modelos aproximados das circunstâncias semelhantes àquela que originou o Sistema Solar. As simulações admitem que a periferia da nebulosa solar resultaria num sistema solar semelhante ao nosso.

As observações modernas desenvolvem argumentos teóricos para descrever a formação das estrelas. Segundo as teorias mais recentes, as estrelas são formadas por gases interestelares que se colapsaram, essa concepção é chamada de hipótese nebular, sugerida em 1755 pelo alemão filósofo físico Immanuel Kant (1724-1804). Seus argumentos físicos explicam o achatamento e a taxa de *spin* (rotação). Segundo essa teoria, após o colapso das nuvens, houve um resfriamento e apenas o Protossol, no centro do sistema, se manteve com a temperatura mais elevada.

Figura 22 - Simulações computacionais baseadas nas teorias que explicam a origem do nosso sistema solar



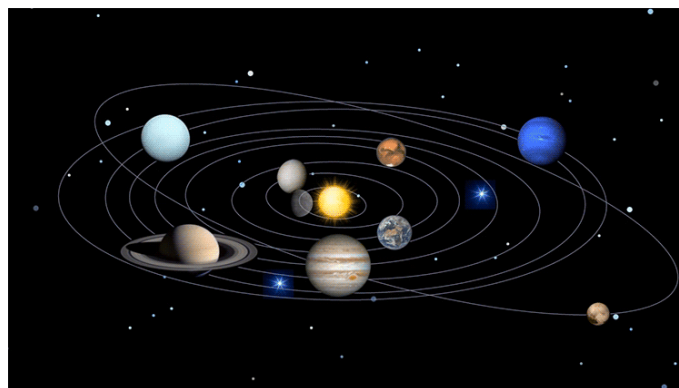
Fonte: A formação [...] ([2019?]).

A nebulosa solar, inicialmente, era uma nuvem de baixa densidade, porém com capacidade de concentração gravitacional dos seus gases e poeiras, concentrando maior quantidade de matéria no seu centro, formando uma protoestrela. A nebulosa perdia matéria da zona exterior, diminuindo seu tamanho e aumentando sua velocidade de rotação. A força centrífuga impedia a incorporação de material, e a porção excedente formou o que podemos chamar de disco protoplanetário. Esse material composto principalmente de hidrogênio, hélio no estado gasoso e uma pequena quantidade de outros materiais mais pesados, deram origem ao Sistema Solar.

A hipótese nebular apresenta argumentos que também descrevem como foi formada o sistema das estrelas, o sistema solar e os planetas a partir do gás exterior do disco. Materiais foram agregados, formando corpos de tamanhos da ordem de quilômetros de diâmetro, a composição dos materiais dependia da distância ao Sol. Nas regiões mais externas, a temperatura era mais baixa e mesmo os materiais voláteis conseguiam se condensar, ao passo que, nas regiões mais internas e quentes as substâncias voláteis foram perdidas. Estudos recentes ratificam as teorias e afirmam que os planetas são resultados dos planetesimais que aumentaram de tamanho por acreção de material, originando corpos maiores. Na parte externa do Sistema Solar, o material condensado da nebulosa continha silício e gelo, tornando seus núcleos tão grandes, da ordem de dez vezes a massa da Terra, que foram capazes de atrair gás ao seu entorno e, ainda pelo processo de acreção, aglomeraram grande quantidade de hidrogênio e hélio da nebulosa solar, formando os planetas jovianos. Na parte interna onde os silicatos estavam presentes, os núcleos planetários não puderam crescer muito e originaram os planetas terrestres.

Os planetesimais que não tiveram incorporação de material suficiente para se tornarem planetas foram ejetados por perturbações planetárias para o cinturão de Kuiper, localizado além das órbitas de Netuno até aproximadamente 50 UA¹⁰, e para nuvem esférica de Oort, que se estende a 50.000 UA.

Figura 21 - Representação dos planetas orbitando em torno do Sol, imagem fora de escala, sem os cinco planetas anões e os cinturões de asteroides



Fonte: Os planetas [...] ([2019?]).

Essa é uma das teorias que melhor explica a formação do sistema solar baseado em simulações computacionais (Figura 23). Lembrado que a ciência está em constante pesquisa, sempre revendo conceitos e teorias, sendo assim não há verdades absolutas, teorias podem ser refutadas ou melhoradas para melhorar o progresso científico (Oliveira Filho; Saraiva, 2014; Mckee, 2019).

O SISTEMA SOLAR

No ano de 1796 foi apresentada uma importante teoria, proposta pelo matemático francês Pierre-Somon Laplace (1749-1827), semelhante à hipótese nebular sugerida por Kant, porém restrita, pois sua teoria se propunha a explicar apenas origem do sistema solar. Laplace propôs sua teoria das probabilidades para os cálculos e concluiu que, uma vez que todos os planetas estão no mesmo plano, girando em torno do Sol, na mesma direção, e também giram em torno de si mesmos, na mesma direção (exceto Vênus), só poderiam ter surgido de uma mesma grande nuvem de partículas e rotação (Martins, 1994).

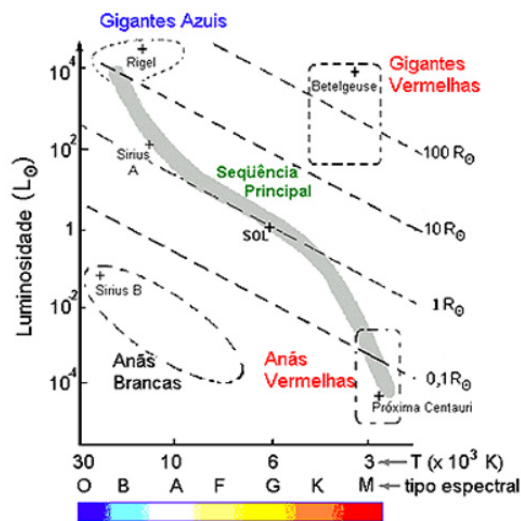
Em 1945 o físico alemão, Carl Friedrich Freiherr von Weizsäcker (1912-2007), desenvolveu a hipótese nebular para explicar a formação dos planetas. Segundo sua teoria, durante o colapso, o gás e a poeira pertencentes à nebulosa formaram um disco em rotação, concentrando uma grande quantidade de matéria em uma região central, originando uma protoestrela, se tornando o que é atualmente o Sol. O material excedente do colapso da nebulosa, forma um grande disco, denominado disco planetário, com o Sol no centro, nesta nova fase do sistema solar, inicia-se a formação dos planetas. Nesta etapa “última”, houve um resfriamento que ocasionou a condensação rápida (em termos astronômicos) do material, originando os planetas, agregando esse material em tamanhos da ordem de quilômetros de diâmetro, cuja composição dependia da distância ao Sol, dando origem os planetesimais. A acreção destes formou planetas maiores. À vista disso, os mais externos tinham temperatura mais baixas e os materiais voláteis tinham condições de se condensar ao passo que, os das regiões mais internas e quentes, as substâncias voláteis foram perdidas (Bernardes; Mendes; Teixeira, 2017).

Pesquisas mais recentes têm observado que nuvem densa de gás e poeira cósmica, denominada nuvem molecular, no meio interestelar, colapsa sob ação da gravidade concentrando matéria em uma região central. Quando o acúmulo de matéria atinge o tamanho ideal tem-se uma provável estrela. Estes processos confirmam os argumentos físicos que à medida que o glóbulo colapsa forma-se um disco em rotação com a protoestrela no centro.

O Sistema Solar é uma região localizada em um dos braços da nossa galáxia, Via Láctea, composto pelo o Sol e todos os corpos que estão sob seu domínio gravitacional. O Sol representa 99,8% da massa total deste Sistema, sendo uma bola de gás incandescente, cuja composição principal é hidrogênio (91,2%) e hélio (8,7%) e, aproximadamente, 0,1% de oxigênio e carbono. É a estrela mais próxima da Terra, a uma distância de 149.600.000 km. Segundo a classificação da escala

H-R¹¹ o Sol é uma estrela intermediária de quinta grandeza, classificação espectral G2, de cor amarela, sua temperatura efetiva é inferior a $T_{ef} = 6.000\text{ K}$, a Figura 24 é do diagrama H-R, que expressa a classificação de estrelas. Há diversas estrelas maiores e mais quentes que o Sol, assim como há outras estrelas menores e de temperatura mais fria. Por exemplo, a estrela Sirius é maior, tem duas massas solares ($2,4M_{\odot}$) e é mais quente, está a 5,24 anos-luz da Terra. Por sua vez, a estrela Alpha Centauri B, a mais próxima do Sistema Solar, é menor que o Sol, ($0,91M_{\odot}$) e ligeiramente mais fria. O raio do Sol é $6,960 \times 10^8\text{m}$ e sua massa é $1,989 \times 10^{30}\text{kg}$. O Sol é a principal fonte de energia da Terra¹². Estima-se que o Sol, tenha a idade de 4,5 bilhões de anos e permanecerá em atividade por mais 6,5 bilhões de anos. O tempo médio de vida de uma estrela é 11 bilhões de anos (Oliveira Filho; Saraiva, 2014).

Figura 22 – Diagrama H-R, baseado na posição em que se encontra o Sol, ainda há hidrogênio para milhões de anos



Fonte: Gregorio-Hetem e Jatenco-Pereira (2010).

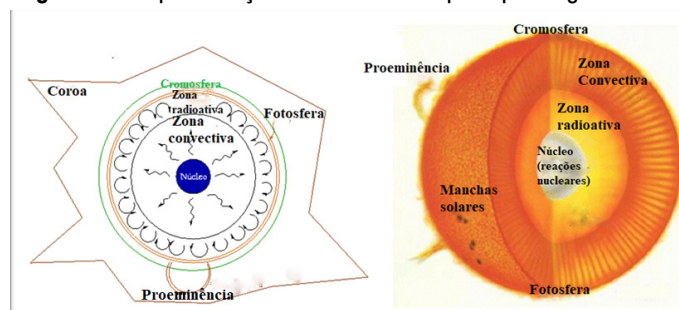
11 O diagrama H-R (Hertzsprung-Russell) é uma homenagem aos astrônomos: Ejnar Hertzsprung (1873-1967), Henry Norris Russell (1877-1957).

12 Um foto emanado do Sol leva, aproximadamente, 8 minutos e 19 segundos para chegar à Terra.

ESTRUTURA DO SOL

A introdução da Fotometria e da Espectroscopia na Astronomia foi uma ferramenta espetacular para estudar e obter informações acerca das estrelas por meio do estudo da luz. As informações da análise dos elementos químicos, temperatura, evolução, entre outras características, tornou possível saber os estágios evolutivos de uma estrela. Dado que, o sol é a estrela mais próxima da Terra e a mais conhecida, portanto é o modelo perfeito para ser estudado e sabermos o comportamento de outras estrelas que estão mais distantes, vistas por nós, no céu como pontos de luz. Nessa seção serão descritas algumas características da estrutura do Sol, informações comentadas servem de parâmetro para entendermos as outras. Para finalidade didática, o Sol está esquematizado em seis regiões, para facilitar a compreensão (Figura 25):

Figura 23 - Representação da estrutura das principais regiões do Sol



Fonte: imagem modificada a partir de Oliveira e Saraiva (2019).

- I. Coroa: é a região que está acima da cromosfera, é visível durante os eclipses totais. Seu aspecto é bastante brilhante, é produzido por átomos de ferro, níquel, neônio e cálcio altamente ionizados. O fato de haver estes elementos ionizados implica que sua temperatura é extremamente alta, em torno

de um milhão de graus Kelvin. Da coroa emana o vento solar que chega até os planetas do sistema solar;

- II. Cromosfera: é a camada da atmosfera solar logo acima da fotosfera. Tem cor avermelhada e é também visível durante os eclipses solares totais, estende-se por 10.000 km acima da fotosfera fundindo-se na coroa, temperatura média de 15.000 K, crescente da base para o topo. Sua aparência é ondulatória devido à presença de estruturas espículas¹³, isto é, jatos de gás;
- III. Fotosfera: tem 330 km de espessura e temperatura de 5.785 K, é a camada visível do Sol. Tem aparência da superfície de um líquido em ebulição, cheia de bolhas, ou grânulos, com aproximadamente 1.500 km de diâmetro. Um dos fenômenos fotosféricos mais notável da fotosfera são as manchas solares, regiões irregulares de cor escurecida circundante, que podem ser observadas da Terra¹⁴. As manchas solares já eram conhecidas pelos chineses, 28 anos a. e. c. Seu estudo científico começou com o uso do telescópio, sendo observado por Galileu Galilei. As manchas têm duas partes: a umbra, parte central mais escura; e penumbra, região um pouco mais clara;
- IV. Zona convectiva: estende-se por aproximadamente 15% do raio solar, é responsável pelo transporte da energia gerada no núcleo até a superfície, por meio de correntes de convecção;
- V. Zona radioativa: região onde a energia flui por radiação, fica logo abaixo da zona convectiva. Transporta energia por radiação, isto é, emissão de foto;

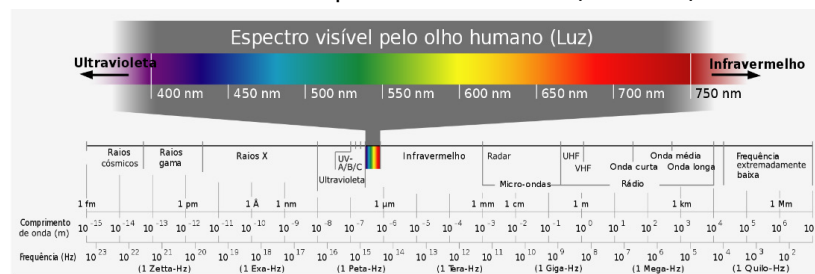
13 As espículas são componentes da cromosfera solar em forma de jatos de gás com fluxo de massa incandescente (Selhorst, 2007).

14 É muito perigoso olhar diretamente para o Sol, para estudar as características dele, os astrônomos usam filtros especiais. Na antiguidade alguns astrônomos observadores ficaram cegos.

- VI.** Núcleo: região onde é produzida a energia do Sol por reações termonucleares, a temperatura do núcleo chega a 10 milhões de graus Kelvin (10^6K). Durante as reações quatro prótons de hidrogênio são fundidos em um núcleo de hélio, com liberação de energia e aumentando a quantidade de hélio do núcleo. Embora o Sol tenha hidrogênio suficiente para bilhões de anos, de acordo com teoria de Hans Albrecht Bethe, sua vida é finita. Segundo o modelo de evolução estelar, daqui a 1,1 bilhões de anos, o brilho do Sol aumentará em 10%, uma das consequências será elevar a temperatura da Terra e aumentar o vapor de água atmosférica, causando efeito estufa. Esta evolução prosseguirá aumentando e também o calor aqui na Terra, modificando totalmente as condições atuais. Quando o hidrogênio do núcleo terminar, o Sol evoluirá para uma estrela gigante vermelha e perderá parte de sua massa, se afastará da Terra e se aproximará de Marte. A redução da massa do Sol, o transformará em uma estrela anã branca, segundo os astrofísicos, este é o estágio final de uma estrela, isto quer dizer, o Sol estará próximo da "morte". Nesta fase ele estará aproximadamente a $1,85 UA$ da Terra (Oliveira; Saraiva, 2004);
- VII.** Vento solar: é um fluxo contínuo de partículas emitidas da coroa solar, proveniente da emissão de matéria solar, essa perda é em torno de $10^{-13}M_{\odot}$ por ano. As injeções coronais de massa são bolhas de gás quente, em forma de plasma, aquecidas pelos campos magnéticos do Sol. As partículas presentes no vento solar que chegam até a Terra são retidas pelo campo magnético terrestre, elas são desviadas para uma barreira chamada Cinturão Van Allen, situada na magnetosfera terrestre, só chegando até a Terra as que penetram pelos polos, assunto que será discutido em seção específica;
- VIII.** Da radiação solar, que chega até a Terra, a radiação ultravioleta (mais alta que o violeta) tem comprimento de onda menor

do que a radiação visível, normalmente dividida em três faixas: UV – B, UV – B e UV – C. A UV – B tem comprimento de ondas entre 2.900 e 3.200Å¹⁵, esta faixa de onda radioativa é a mais perigosa que chega até nós e demais seres vivos (Figura 26). O ozônio (O₃) atmosférico e o oxigênio molecular (O₂) e o nitrogênio (N), se constituem mecanismos de proteção, para os seres vivos da superfície terrestre, desses componentes nocivos da radiação solar. Estudos têm constatado um buraco na camada de ozônio sobre a Antártica, sendo um motivo de preocupação para a comunidade científica, pois se o aumento do buraco for confirmado, poderá haver elevado aparecimento de câncer de pele e catarata nos habitantes (Oliveira Filho; Saraiva, 2004).

Figura 24 – Espectro eletromagnético de diversos comprimentos de ondas, radiações ultra violetas (UV-A, UV-B e UV-C). Faixa de onda da luz visível aproximadamente 350nm (350 X 10⁻⁹m)



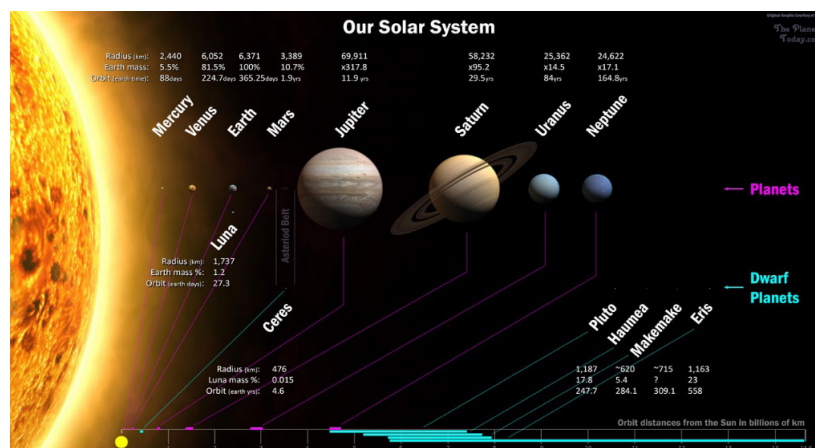
Fonte: Espectro [...] ([2019?]).

PLANETAS

A estrutura interna dos planetas depende de certos parâmetros físicos, como: composição química, temperatura, densidade etc. variando conforme seu raio. Em geral, a pressão aumenta próximo

ao seu centro e a temperatura também aumenta. O aumento da pressão ocorre devido ao calor liberado no centro do planeta por decaimento de elementos radioativos. A técnica usada para estudar a estrutura interna dos planetas é a medida de ondas sísmicas. Até o momento esse método só foi usado para estudar a Terra e a Lua. A temperatura dos planetas do Sistema Solar é influenciada pela distância do Sol (Figura 27).

Figura 25 - Ilustração do Sistema Solar com oito planetas clássicos e cinco planetas anões, não estão inclusos os cinturões de asteroides (imagens fora de escala)



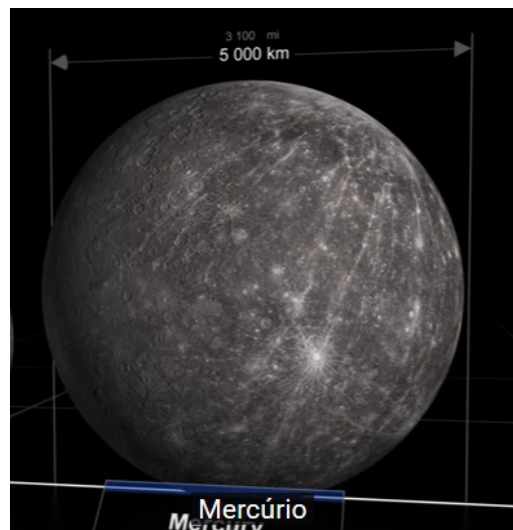
Fonte: Our [...], (c2011-2024).

O Sistema Solar tem oito planetas clássicos, divididos em telúricos (os terrestres) e jovianos (os gasosos). Os telúricos são os quatro planetas mais próximos do Sol (Mercúrio, Vênus, Terra e Marte), compostos por rochas e metais e têm atmosferas pouco espessas enquanto os jovianos são os quatro mais distantes, os gasosos (Júpiter, Saturno, Urano e Netuno). A atmosfera dos planetas rochosos evoluiu pelo escape dos gases leves, as reações entre gases atmosféricos e a superfície modificaram substancialmente sua atmosfera primitiva, por outro lado, os gasosos tiveram pouca evolução e mantêm, praticamente, os mesmos gases da atmosfera primitiva. De maneira bem

sucinta, serão apresentados alguns dados dos oitos planetas do sistema solar, estas informações são apenas para efeito de comparação com o planeta Terra e de alguma das suas características.

- a. Mercúrio é o planeta mais próximo do Sol, sua distância média é, aproximadamente, 0,39 UA (57.910.000 km). Em virtude de sua órbita ser interna, em relação à Terra, sua observação torna-se mais difícil. Ele possui massa de $0,6 M_T^{16}$ ($3,28k5 \times 10^{23} \text{kg}$), sua temperatura média é de $186,85 \text{ }^\circ\text{C}$. Sua volta em torno do Sol (período de revolução) é de, aproximadamente, 87,9 dias terrestres (dT) e dá uma volta em torno de seu próprio eixo (período de rotação) em $58,6 dT$. Sua gravidade é de $3,7 \text{ m/s}^2$, velocidade de escape de: $4,3 \text{ km/s}$ e albedo 0,142 (Bond). Albedo é a medida da taxa de luminosidade que um corpo reflete para o espaço, o albedo é medido com base na concepção de George Phillips Bonde (Bond), albedo geométrico é a razão entre seu brilho real e seu ângulo de fase de um disco plano real;

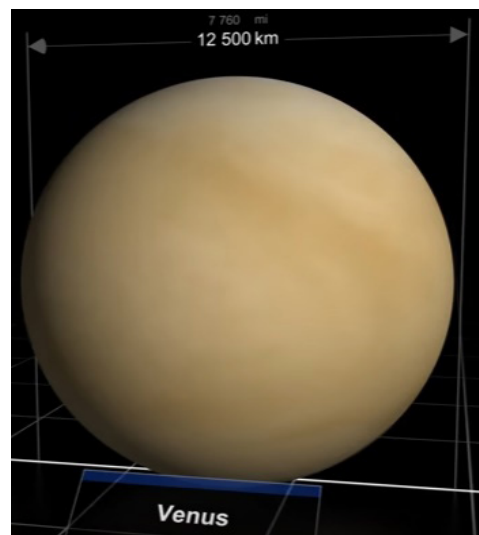
Figura 26 - Mercúrio (primeiro planeta do sistema solar), raio de 2.439,7 km



Fonte: Comparação [...] (2016).

- b. Vênus (o segundo planeta em relação ao Sol), está a uma distância de, aproximadamente, 0,72 UA (104.200.000 km). É um dos planetas próximos à Terra, seu período de revolução é de 224,7 dT e seu período de rotação é de -243,0 dT (o sinal negativo é para informar que seu período é retrógrado). Sua massa é de: 0,8 M_t ($4,867 \times 10^{24}kg$), temperatura média de 471 °C; devido ao efeito estufa, a gravidade é de $8,87m/s^2$, velocidade de escape de: 10,4 km/s e albedo 0,90 (Bond). Na antiguidade o planeta Vênus era confundido com uma estrela, porque antes da alvorada e depois do ocaso seu brilho é máximo, em decorrência dessa característica já foi nomeado de estrela da manhã (estrela d'alva) e estrela da tarde (vésper);

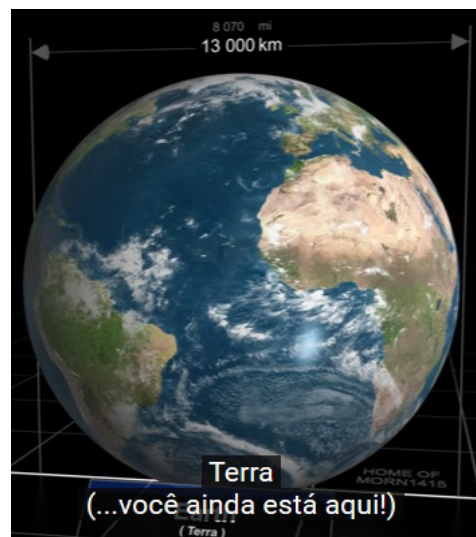
Figura 27 - Vênus (segundo planeta do Sistema Solar), raio de 6.051,8 km



Fonte: Comparação [...] (2016).

- c. Terra é o terceiro planeta em relação ao Sol, está a uma distância de 1UA (146.600.000 km). É o único planeta que até o momento têm comprovação da existência de vida na forma complexa. Pesquisas têm levantado a hipótese da existência de micro-organismos fora da Terra, todavia são conjecturas bastante preliminares, sem consenso científico ainda. O raio da Terra é de, aproximadamente, 6.378,2 km, massa de $6,0 \times 10^{24} \text{kg}$ e temperatura média de 14 °C. Seu período de revolução (Translação) é de 365,26 dias e período de rotação de 23 h 56 min, aceleração da gravidade $9,78 \text{m/s}$ a velocidade de escape é de $11,2 \text{ km/s}$ e o albedo 0,306 (Bond);

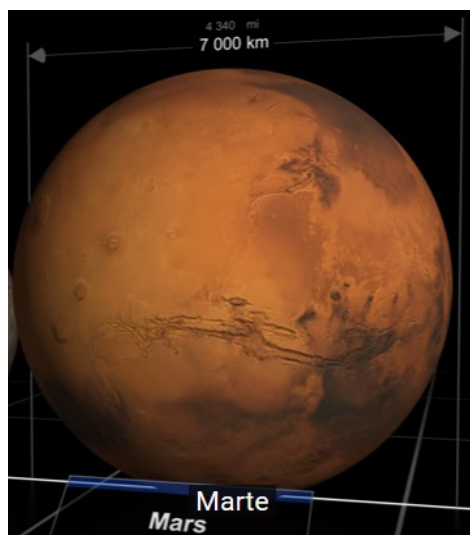
Figura 28 - Terra (terceiro planeta do Sistema Solar), raio 6.378,2 km



Fonte: Comparação [...] (2016).

- d. Marte é o quarto planeta em relação ao Sol, está a uma distância de, aproximadamente, 1,52 UA (227.940.000 km). É o segundo planeta relativamente próximo à Terra, seu período de revolução é de 686,98 dT e seu período de rotação é de 24 h 37 min. Tem massa de $0,107 M_T$ (kg), temperatura média de $-63\text{ }^\circ\text{C}$, aceleração de gravidade e velocidade de escape $5,0\text{ km/s}$, com albedo de 0,17 (Bond);

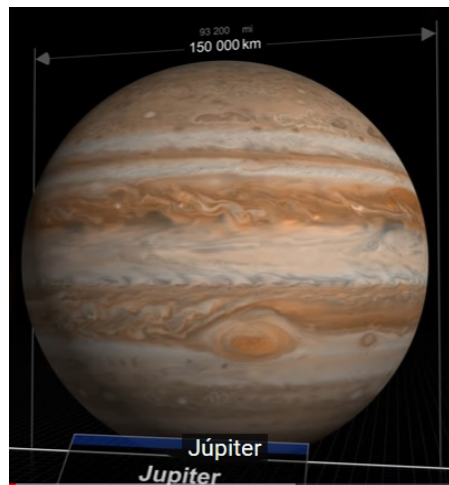
Figura 29 – Marte (quarto planeta do Sistema Solar), raio 3.389,50 km



Fonte: Comparação [...] (2016).

- e. Júpiter (o quinto planeta em relação ao Sol), está a uma distância de, aproximadamente, 5,2 UA (778.330.000 km). Seu período de revolução é de 11,86 anos terrestres (aT) e período de rotação de 9 h 48 mim. Massa de $317,9 M_T$ ($1,898 \times 10^{27}$ kg), temperatura média de -108 °C, aceleração da gravidade $24,79 m/s^2$, velocidade de escape $60,0$ km/s e albedo 0,43. Júpiter é o maior planeta do Sistema Solar, tem mais do dobro da massa de todos os planetas juntos. Estudos indicam que Júpiter contribuiu para a estabilidade e atual configuração planetária durante a formação do Sistema Solar;

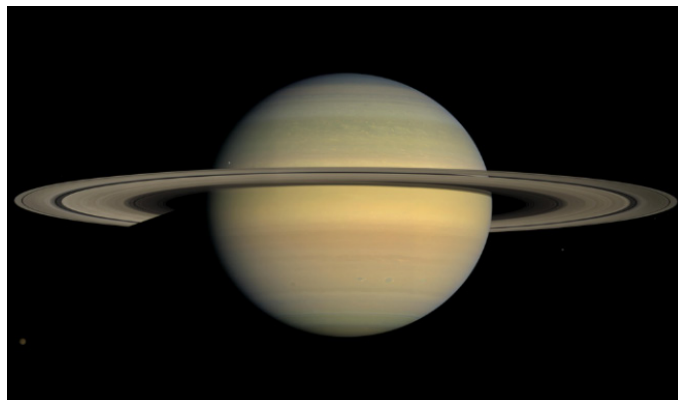
Figura 30 - Júpiter (quinto planeta do Sistema Solar), raio 69.911 km



Fonte: Comparação [...] (2016).

- f. Saturno (o sexto planeta em relação ao Sol), a uma distância de, aproximadamente, 9,54 UA (1.429.400.000 km), período de revolução é de 29,46 aT e período de rotação de: 10 h 12 min. Sua massa é 95,2 M_T ($5,682 \times 10^{26} kg$), temperatura máxima de $-139 \text{ }^\circ\text{C}$, aceleração da gravidade de $10,4 \text{ m/s}^2$, velocidade de escape de $35,4 \text{ km/s}$ e albedo 0,34;

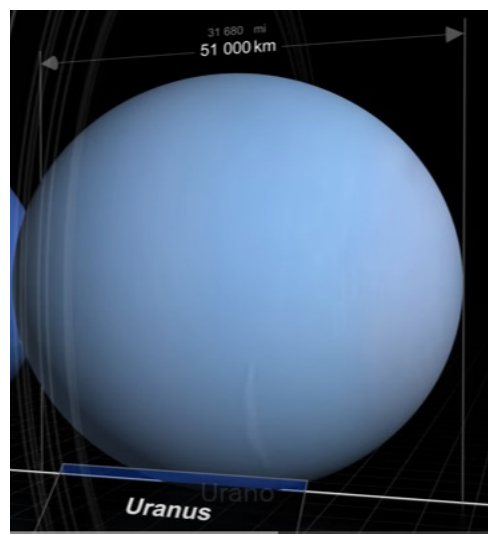
Figura 31 – Saturno (sexto planeta do Sistema Solar), raio 58.322 km



Fonte: Testoni (2018).

- g.** Urano (o sétimo planeta em relação ao Sol), a uma distância de, aproximadamente, 19,18 UA (2.870.990.000 km), o período de revolução é de 84,04aT e o período de rotação de -17 h 54 min. Tem massa de 14,6 M_T (8,861 X 10²⁵ kg), temperatura média de -220 °C, aceleração da gravidade de 8,69m/s² e velocidade de escape de 21,4km/s e albedo 0,30;

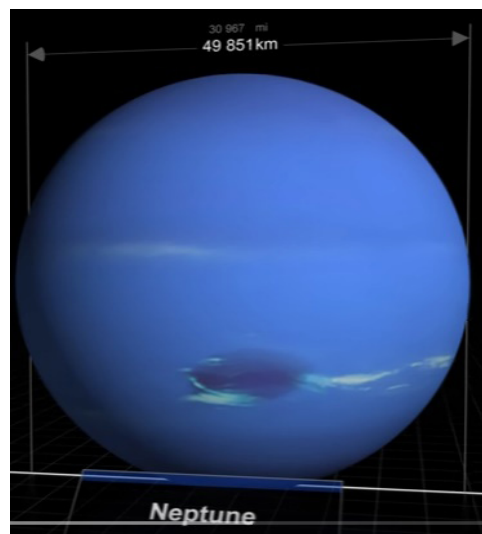
Figura 32 – Urano (sétimo planeta do Sistema Solar), raio 25.362 km



Fonte: Comparação [...] (2016).

- h. Netuno (o oitavo planeta em relação ao Sol), a uma distância de, aproximadamente, 30,06 UA (4.504.300.000 km), o período de revolução é de 164,8aT e o período de rotação é de 19 h 06 min. Com massa de 17,2 M_T ($1,024 \times 10^{26} \text{kg}$), temperatura máxima de $-220 \text{ }^\circ\text{C}$, aceleração da gravidade de $11,15 \text{m/s}^2$, velocidade de escape de $24,0 \text{km/s}$ e albedo 0,29 (Bond) (Oliveira Filho; Saraiva, 2004; Madejsky, 2014).

Figura 33 - Netuno (oitavo planeta do Sistema Solar), raio 24.622 km



Fonte: Comparação [...] (2016).

PLANETA ANÕES

No Sistema Solar existe outra classe de planetas denominados planetas anões (Ceres, Plutão, Haumea, Makemake e Eris) pelos critérios da União Astronômica Internacional (IAU) estes corpos celestes não se enquadram na categoria de planeta clássico. Os

planetas anões representam uma nova classificação de pequenos planetas decidida em Assembleia da IAU, após esta decisão, Plutão e mais quatro objetos foram incluídos na classificação de planetas anões. Destes, Plutão foi o primeiro a ser descoberto. Inicialmente, era considerado um planeta, contudo com a nova definição da IAU, foi reclassificado. Planetas anões será o assunto abordado nesta seção.

Plutão foi descoberto em 1930 e até 24 de agosto de 2006 era considerado o menor e mais distante planeta do Sistema Solar, mas na 26ª assembleia da IAU foi decidido que Plutão seria classificado como planeta anão, por não atender aos requisitos exigidos dos planetas clássicos. Nessa ocasião a IAU definiu novas regras para que um corpo celeste seja considerado um planeta: ele deve estar em órbita em torno do Sol, ter massa suficiente para que sua própria gravidade supere as forças de corpo rígido, dando-lhe equilíbrio hidrostático (tornando-o quase esférico), não ser um satélite e ser dominante em sua órbita. Baseado nestes critérios Plutão foi reclassificado.

Figura 34 – Plutão (o maior objeto do cinturão Kaiper), raio 1.188,3 km e massa $1,305 \times 10^{22} \text{kg}$, está a 5.913.520.000 km do Sol

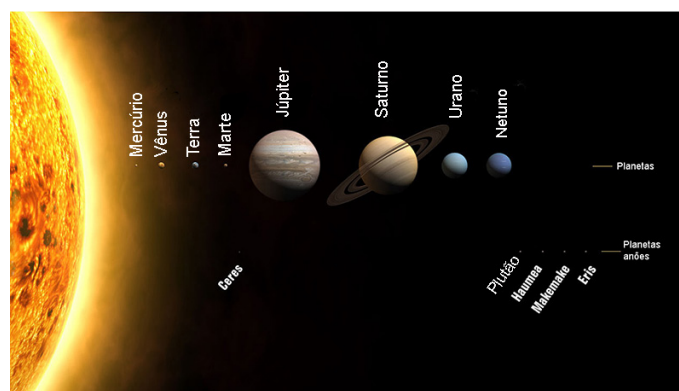


Fonte: Plutão ([2019?]).

Plutão é menor que todos os planetas do Sistema Solar, no entanto, tem cinco satélites naturais (luas), Caronte, Nix, Hidra, Estige e Cérbero. Caronte, tem a metade do tamanho de Plutão, alguns astrônomos consideram o sistema formado por Plutão e Caronte planeta binário, dado que, o centro de massa do Sistema está fora de Plutão. Após a definição dos novos critérios de classificação, pela IAU, outros corpos celestes ganharam status de planeta anão, e até então no Sistema Solar temos, além de Plutão, mais quatro planetas anões. Ceres, Haumea, Makemake e Eris, no cinturão de Kuiper, os três últimos estão além da órbita de Netuno, são denominados Objetos Transnetunianos.

O planeta anão Ceres está localizado no cinturão principal de asteroide entre Marte e Plutão, inicialmente, Ceres foi considerado um asteroide (o tema asteroide será tratado em seção específica). A Figura 37 é uma ilustração representando os planetas clássicos e os planetas anões do Sistema Solar, vale salientar que tal representação não corresponde à real configuração planetária, pois na imagem os planetas estão expostos no mesmo plano e fora de escala (Oliveira; Saraiva, 2004; Madejsky, 2014; Nasa, 2018).

Figura 35 – Representação do Sistema Solar com inclusão dos cinco planetas anões



Fonte: Our [...] (c2011-2024).

EXOPLANETAS

A exploração de corpos fora do Sistema Solar é uma atividade realizada em cooperação entre diversos países. Os projetos são elaborados pelas agências ESO, NASA, ESA e outras. Graças às novas tecnologias, os astrofísicos e os astrônomos têm se dedicado a estudar regiões profundas que ultrapassam nosso sistema solar. Um dos elementos estudados que têm contribuído para a compreensão do universo são os exoplanetas. Exoplanetas são planetas que orbitam estrelas que não são o Sol, ou que orbitam um remanescente estelar. A Astronomia e outras ciências afins têm interagido na elaboração de instrumentos espaciais e desenvolvendo novas pesquisas para explorar o espaço, tentando descobrir novos sistemas planetários, fora dos domínios do Sol.

A evidência da possibilidade da existência de planetas fora do Sistema Solar foi registrada em 1917 no Observatório de Monte Wilson, mas naquela ocasião o espectro de tal corpo foi interpretado como sendo de uma estrela. Pesquisas prosseguiram na direção da obtenção de mais informações sobre estes estranhos fenômenos, contudo, o primeiro exoplaneta foi confirmado em 1992 pelos astrônomos Aleksander Wolszczan e Dale Frail, eles detectaram dois planetas orbitando um pulsar (estrela de neutro) PSR B1257 +12. Acredita-se que tenham sido formados em decorrência da explosão de supernovas que produziram o pulsar.

O primeiro exoplaneta foi definitivamente descoberto em 6 de outubro de 1995, por Michel Mayor e Didier Queloz, da Universidade de Genebra, ganhadores do Prêmio Nobel de Física de 2019. Eles descobriram o exoplaneta 51 Pegasi b, orbitando a estrela 51 Pegasi a, aproximadamente, 50 anos-luz ($1AL = 9,46 \times 10^{12} km$) da Terra. Desde então, missões espaciais têm sido programadas com o propósito de detectar mais alguns exoplanetas, um dos projetos desta natureza foi a Missão Kepler, iniciado pela NASA em 2009.

Do ponto de vista das novas descobertas a missão foi exitosa, pois até 2013 já haviam sido detectados, aproximadamente, quatro mil exoplanetas. E no ano de 2015 já era confirmada a descoberta de mais de 1.915 planetas, com 20 vezes a massa de Júpiter ($M < 20M_J$), orbitando outras estrelas, e este número só tem crescido.

Pesquisadores têm observado um exoplaneta em formação ainda escondido em seu espesso disco de gás e poeira, presume-se que o fenômeno foi observado pelo VLT (*Very Large Telescope*). Uma equipe internacional liderada por Sascha Quanz (ETH Zurique, Suíça) tem estudado o disco de gás e poeira em torno da jovem estrela HD100546, uma das estrelas localizadas relativamente perto, a 335 anos-luz. Este planeta é um potencial gigante gasoso semelhante a Júpiter. As evidências indicam que um protoplaneta está se formando, até o momento os pesquisadores o nomearam de HD100546 b.

Figura 36 - HD 100546 b é um potencial exoplaneta gasoso em formação, foi observado pelo *Very Large Telescope* (VLT), está a 335 anos-luz



Fonte: Comparação [...] (2016).

Os critérios para classificar a massa e o tamanho devem ser os mesmos usados para planetas do Sistema Solar. As técnicas usadas para detectá-los são diversas: método de imageamento, método atmosférico etc., mas o método que tem dado melhor resultado é o de efeito Doppler, pela medida da perturbação gravitacional que os exoplanetas causam em suas estrelas centrais. O interesse das pesquisas com o propósito de detectar exoplanetas, proporciona relevância do ponto de vista prático e teórico, que vai desde a elaboração de resposta da origem do universo à possibilidade de estabelecer uma colônia de humanos além do Sistema Solar. É evidente que tal probabilidade, para os recursos tecnológicos espaciais disponíveis, ainda é remota, pois acredita-se que os limites do Sistema Solar ultrapassam a nuvem de Oort a 50.000 UA, isto é, cinquenta mil vezes a distância da Terra ao Sol. Portanto, uma missão tripulada com intenção de explorar um exoplaneta, com características iguais ou próximas da Terra, só seria possível, se estivesse, relativamente, próximo às fronteiras do Sistema Solar, em veículo espacial com capacidade de desenvolver altíssima velocidade (Oliveira Filho; Saraiva, 2004; Madejsky, 2014).

OS MOVIMENTOS DA TERRA (ROTAÇÃO, REVOLUÇÃO, PRECESSÃO E NUTAÇÃO)

A percepção da medida do tempo é baseada no movimento aparente dos astros que compõem o Sistema Solar. Dentre as unidades de tempo, as mais importantes para organizar nossas vidas são os dias e os anos. Na contagem civil um dia tem 24 horas, incluindo os períodos diurno e noturno, correspondendo ao amanhecer e anoitecer, baseado no movimento completo da Terra em torno do seu próprio eixo, um ano tem aproximadamente 365 ou 366 dias, se o

ano for bissexto¹⁵, essa quantidade de dias está relacionada a uma volta completa do nosso planeta em torno do Sol.

Pesquisas realizadas pelos astrônomos e astroarqueólogos têm admitido que quantificar e organizar um calendário não é uma tarefa tão simples como aparenta. O calendário que atende às necessidades culturais civis e religiosas está direto ou indiretamente relacionado aos movimentos dos astros, em particular aos movimentos da Terra, os principais são: rotação, movimento em torno do seu próprio eixo; translação, movimento em torno o Sol, precessão e nutação (este é um movimento referente ao deslocamento e a pequena oscilação do eixo da Terra).

O movimento aparente diurno dos astros é de leste para oeste, no caso do Sol, ele surge no lado leste e oculta-se no lado oeste do horizonte, estes movimentos são chamados de nascer e ocaso. Essa medida temporal é baseada na rotação da Terra, dividido em tempo solar, tempo sideral, entre outros. O tempo solar e o tempo sideral não se coincidem, o solar é baseado no tempo aparente do Sol e o sideral no movimento aparente do ponto vernal¹⁶. Um dia solar é chamado de dia médio e tem 24 h 00 min 00 seg. (dia civil), já o dia sideral tem 23 h 56 min 04 seg., sendo ligeiramente menor.

A contagem dos anos tem relação com o movimento orbital da Terra, está dividido também em tempo sideral e solar. Um ano sideral é o período de revolução da Terra em torno do Sol com relação às estrelas e tem 365,2564 dias médios, ou 365 d 6 h 9 min 10 seg. Contudo, um ano tropical¹⁷ é o período de revolução da Terra em torno do Sol com

15 Sexto dia antes das kalendas de março (*ante diem bis Kalendas Martias*).

16 Ponto Vernal é o ponto imaginário de intercepção do equador celeste com eclíptica (trajetória aparente do Sol). São dois os pontos vernais, o de Áries (Equinócio de Outono, 21 de março) e de Libra (Equinócio de Primavera, 23 de setembro). No hemisfério sul.

17 O ano tropical tem por base os trópicos. Os números do calendário não são exatamente rigorosos e eternamente imutáveis, por causa dos movimentos da terra, depois de algum tempo há necessidade de reforma, a último foi em 1582 pelo Papa Gregório III, suprimindo 10 dias do mês de outubro.

relação ao início da estação do ano (Equinócio Vernal) e tem 365,2422 dias médios, ou 365 d 5 h 48 min 46 seg. Em virtude do movimento de precessão o tempo tropical é menor. A fração 0,2564 de dias são somados e ao completar, aproximadamente, 24 horas, ou um dia civil, é acrescentado mais um dia ao ano, formando um ano bissexto com 366 dias, essa alteração ocorre a cada quatro anos.

São notáveis recursos de aplicativos em diversas plataformas digitais acessíveis aos estudantes e ao público em geral, para informar, diariamente, as condições do tempo (se o dia será de chuva ou de sol). Contudo, ainda é possível algumas pessoas acreditarem que as estações do ano estão diretamente relacionadas à distância entre o Sol e a Terra, isto é, quando a Terra passa pelo periélio e pelo afélio. Para reforçar este equívoco, alguns livros didáticos representam a elipse, da trajetória da Terra em torno do Sol, com a excentricidade exagerada, sem acrescentar alguma observação, para evitar que o estudante seja induzido ao erro.

A órbita da Terra é uma elipse, tem excentricidade de 0,0167, contribuindo para a variação da distância entre a Terra e o Sol, este valor equivale aproximadamente 3% da distância total. Vale salientar que quando é verão no mês de janeiro (no Brasil) o planeta Terra está mais próximo do Sol, contudo, neste mesmo período, o hemisfério norte também está próximo ao Sol e nesta mesma época, lá é inverno. Concluimos, portanto, que a crença das estações do ano se deva à aproximação entre a Terra e o Sol é equivocada. A causa principal das estações do ano é a inclinação do eixo de rotação da Terra em relação a sua órbita. Essa inclinação é chamada de obliquidade da elipse, cujo valor é $23^{\circ} 27'$. O ponto de intersecção entre a eclíptica e o equador é chamado de ponto vernal ou ponto gama (ponto de Áries, oposto ao ponto de Libra), pertence tanto ao equador celeste quanto à eclíptica. O ponto vernal representa o equinócio de primavera em setembro no HN e equinócio de outono no HS¹⁸ em março, é a passagem do Sol

do hemisfério sul celeste para o hemisfério norte celeste, nesta época, raio do Sol incide, diretamente, no equador, iluminando os hemisférios norte e sul igualmente, e com a mesma distribuição luminosa. A Figura 39 é uma representação do plano da eclíptica (linha tracejada) e do plano do equador (linha cheia).

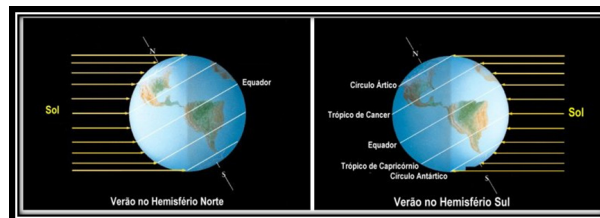
Figura 37 – Eclíptica representando a trajetória aparente do Sol, março e setembro o Sol cruza a linha do equador. Os equinócios são os pontos de intersecção da eclíptica e o equador celeste



Fonte: Saraiva (2010).

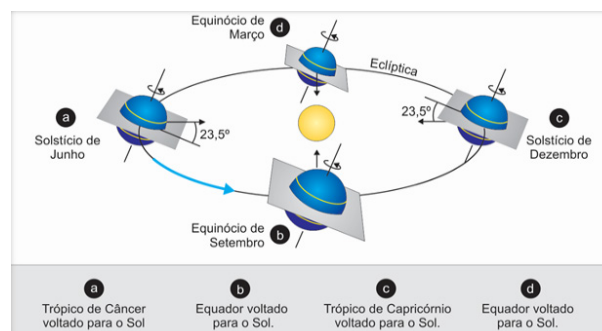
Na passagem do Sol nos trópicos de capricórnio e de câncer, que é a máxima declinação, temos os solstícios de verão, sendo graças à inclinação entre a eclíptica e o equador, à medida que a Terra orbita em torno do Sol que os raios solares incidem mais em um hemisfério que em outro, em determinada época do ano. Quando o hemisfério norte está voltado para o Sol, este é mais aquecido numa certa época do ano que o hemisfério sul. A Terra continua no seu movimento de revolução, o hemisfério sul é que se volta para o Sol e, conseqüentemente, fica mais aquecido que o hemisfério norte, já é outra época do ano, conforme a Figura 40.

Figura 38 – Representação do movimento de revolução da Terra em torno do Sol e a inclinação da eclíptica com o plano do equador



Fonte: Saraiva (2010).

Figura 39 – Representação da incidência dos raios do Sol, nos hemisférios norte e sul



Fonte: Movimento [...] ([2010?]).

Quando o Sol está posicionando no seu limite máximo, isto é máxima declinação, em relação a linha do equador, no norte ou no sul, ocorre o solstício. Este fenômeno ocorre em duas épocas do ano, junho e dezembro, quando a incidência é máxima em um hemisfério ocorre o solstício de verão e quando a incidência é menor ocorre solstício de inverno, nesta época do ano as noites são mais longas que os dias. Por outro lado, as estações do ano, no equador, são bem parecidas, visto que, a altura do Sol nesta região muda muito pouco ao longo do ano. Ao passo que, ao se afastar, em direção aos trópicos, as estações ficam mais distintas. A translação da Terra em torno do Sol e a obliquidade diferente de zero, isto é, a inclinação do plano orbital, são o conjunto de fatores que permitem a existência de diferentes estações do ano na Terra (Figura 41).

Na figura 42 apresentamos um quadro com o resumo dos principais eventos que marcam o início das estações do ano, e algumas de suas características. Cada evento tem relação com a incidência dos raios solares e com a inclinação da Terra em relação seu eixo de rotação.

Figura 40 – Quadro resumido dos principais eventos que dão início às estações do ano, solstícios e equinócios

HEMISFÉRIO NORTE (HN)	HEMISFÉRIO SUL (SL)
Solstício de Verão	Solstício de Inverno
Tem início entre os dias 21 ou 22 de junho, nesta época do ano o Sol incide, perpendicularmente, sobre o trópico de câncer, caracterizado como o dia mais longo do ano em todo hemisfério norte da Terra. No polo norte o Sol sempre fica acima do horizonte (máxima declinação norte: $+23^{\circ}27'$).	Tem início entre os dias 21 ou 22 de junho, nesta época do ano o Sol incide, perpendicularmente, sobre o trópico de câncer, caracterizado como o dia claro mais curto do ano em todo hemisfério sul da Terra. No polo norte o Sol sempre fica abaixo do horizonte.
Solstício de Inverno	Solstício de Verão
Tem início entre os dias 21 ou 22 de dezembro, nesta época do ano o Sol incide perpendicularmente, sobre o trópico de capricórnio, caracterizando o dia claro mais curto do ano em todo hemisfério norte da Terra. No polo norte o Sol fica sempre abaixo do horizonte.	Tem início entre os dias 21 ou 22 de dezembro, nesta época do ano o Sol incide, perpendicularmente, sobre o trópico de capricórnio, caracterizando o dia claro mais longo do ano em todo hemisfério sul da Terra. No polo sul o Sol fica sempre acima do horizonte (máxima declinação sul: $-23^{\circ}27'$).
Equinócio de Primavera	Equinócio de Outono
Tem início entre os dias 20 ou 21 de março, o Sol cruza o equador celeste indo do HS para o HN. Os hemisférios são iluminados igualmente, têm como característica o dia e a noite duram 12h em toda a Terra. Nos polos o Sol fica no horizonte.	Tem início entre os dias 20 ou 21 de março, o Sol cruza o equador celeste indo do HS para o HN. Os hemisférios são iluminados igualmente, têm como característica o dia e a noite duram 12h em toda a Terra. Nos polos o Sol fica no horizonte.
Equinócio de Outono	Equinócio de Primavera
Tem início entre os dias 21 ou 22 de setembro, neste período o Sol cruza o equador celeste indo para o hemisfério HS para o HN. Os hemisférios são iluminados igualmente, têm como característica dia e noite duram 12h em toda a Terra (nos polos 24h de crepúsculo).	Tem início entre os dias 21 ou 22 de setembro, neste período o Sol cruza o equador celeste indo para o hemisfério HS para o HN. Os hemisférios são iluminados igualmente, tem como característica dia e noite duram 12h em toda a Terra (nos polos 24h de crepúsculo).

Fonte: Solstício [...] (c2024).

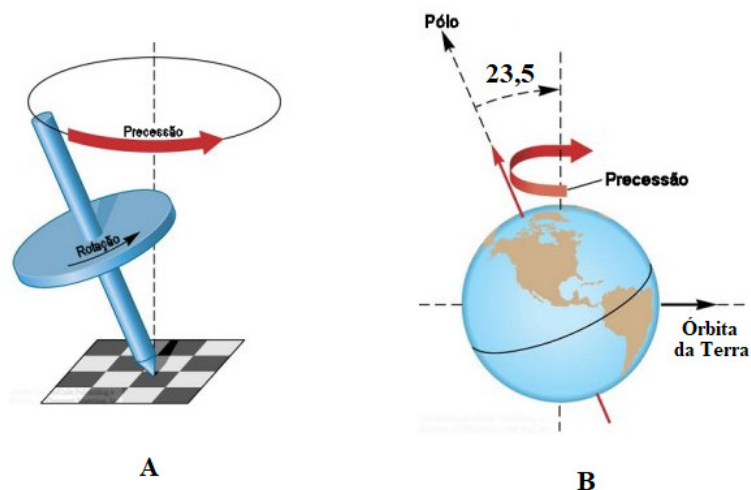
A Terra não é uma esfera perfeita, é achatada nos polos e bojuda no equador. Para determinar a posição dos astros, na esfera celeste, dois planos imaginários são definidos. Um plano intercepta o plano do equador, perpendicular ao eixo de rotação e o outro é o plano da eclíptica com inclinação oblíqua de $23^{\circ} 27'$, em relação ao equador e esta, por sua vez, está inclinada $5^{\circ} 8'$ em relação ao plano da Lua. A eclíptica é a projeção sobre a esfera celeste da trajetória do Sol observado a partir da Terra. As forças diferenciais do Sol, da Lua, na Terra, além da força de maré causam um movimento de precessão da Terra. Em virtude do seu movimento, o eixo de rotação da Terra não se alinha com o eixo da eclíptica, sendo pressionado em torno dele. Esse movimento tem semelhança com o movimento de um pião, girando e pressionando em torno do eixo vertical.

Precessão é uma força diferencial que produz um torque¹⁹ tendendo alinhar o eixo de rotação da Terra com a eclíptica, mas como o torque é perpendicular ao momentum angular de rotação da Terra, o efeito resultante é mudar a direção do eixo de rotação, sem alterar sua inclinação (Figura 43). A consequência é a mudança dos polos celestes, forçando cada polo a se mover lentamente em torno do polo da eclíptica, descrevendo uma circunferência. O tempo necessário para descrever uma volta completa é de 25.770 anos. Estudos têm observado certos movimentos periódicos não circulares do polo da Terra em torno do polo da eclíptica. Tais movimentos são, aproximadamente, oscilantes, isto é, apresentam regulares de amplitudes máximas. Esta oscilação é chamada de nutação e tem período de 18,613 anos. Estudos indicam que a provável causa do movimento de nutação é devido a pequenas variações na inclinação do eixo da Lua e pelo deslocamento dos nodos²⁰ da órbita (Oliveira; Saraiva, 2004; Precessão, 2016).

19 Torque, ou momento angular, é uma grandeza vetorial associada a uma força que produz rotação num corpo ($\tau = \vec{r} \times \vec{F}$).

20 Explicação de nodos na seção *Eclipse*.

Figura 41 – Representação do movimento de precessão da Terra. A imagem A é uma ideia alusiva ao movimento de um peão e a imagem B são os eixos de rotação, do movimento e da eclíptica (imagem modificada)



Fonte: *Precessão* (2016).

MAGNETOSFERA

A magnetosfera é o escudo que protege o planeta do vento de partículas que vêm do Sol. A Terra tem um grande campo magnético intrínseco, estudos indicam que esse campo magnético é produzido por correntes elétricas nas ligas de ferro condutoras de seu núcleo, a convecção em virtude da temperatura do núcleo²¹ é responsável pelo surgimento do campo magnético, com momento magnético de $7,91 \times 10^{15} \text{ T.m}^3$. O campo magnético da Terra abrange grande distância, formando um invólucro protetor denominado magnetosfera e funciona como um escudo, protegendo a Terra do vento solar. A magnetosfera é uma região situada acima da ionosfera, a qual

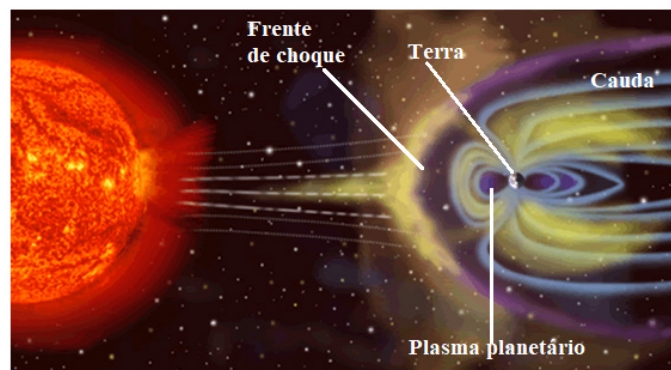
21

A temperatura do núcleo da Terra varia em torno de 3.000 °C (núcleo externo) a 6.000 °C (núcleo interno).

controla a emissão de partículas carregadas procedentes do Sol. A atmosfera e a ionosfera do planeta, numa região espacial denominada magnetopausa, consiste numa região espacial de interação entre o vento solar e o corpo planetário (Figura 44).

O vento solar viaja na região interplanetária a uma velocidade de, aproximadamente, 400 km/s, é considerado um plasma altamente condutor, como a energia cinética é maior que a energia magnética ocorre uma espécie de “congelamento” no plasma. Quando o vento solar encontra um obstáculo eletromagnético ele não penetra porque é desacelerado, sendo refletido em torno do escudo protetor. O vento solar se move mais rápido que a onda de depressão necessária para defletir-lo e uma onda de choque se forma à frente das cavidades magnetosféricas. A região intermediária entre a zona de choque do vento solar e a magnetopausa é chamada de magnetobainha. A magnetopausa se constitui de uma camada limitante entre o plasma planetário e do vento solar, fluindo nele uma corrente elétrica que separa os campos nos lados opostos. O campo magnético planetário é comprimido no lado diurno, região denominada frente de choque e se alonga no lado noturno, região da cauda. Na magnetopausa e na magnetobainha o vento solar é desacelerado para velocidade abaixo da do som.

Figura 42 – Representação da Magnetosfera, escudo protetor do vento solar (imagem modificada)



Fonte: Geomagnetismo (c2024).

No lado diurno, lóbulo norte, direção Terra/Sol, a magnetopausa se comprime e se estende em torno de, aproximadamente, 10 a $12R_T^{24}$, sendo chamada a frente de choque da Terra. No lado noturno, lóbulo sul anti-solar, a magnetosfera se estende numa magnetocauda, a uma distância de, aproximadamente, $100R_T$ com diâmetro de $40R_T$. O plasma magnetosférico terrestre consiste, basicamente, de elétrons de H^+ (hidrogênio excitado), sendo a ionosfera e o vento solar as principais fontes de íons. As regiões dos polos são chamadas de cúspides polares da magnetosfera, onde a configuração geométrica das linhas de campo é divergente e facilita a entrada de partículas do vento solar na magnetosfera (Echer, 2010). As partículas carregadas pelo campo magnético da Terra são desviadas para o cinturão de Van Allen, porém além dos polos, partículas chegam até o solo penetrando numa região conhecida como Anomalia geométrica do Atlântico Sul.

A magnetosfera pode ser intrínseca para planetas magnetizados, como a Terra e induzida para planetas não magnetizados, como no caso Vênus e outros. Os planetas magnetizados formam uma magnetosfera no espaço envolvendo o planeta no qual o plasma do vento solar é excluído, controlando o movimento das partículas carregadas. Nos planetas não magnetizados, correntes elétricas fluem através do planeta e do vento solar, criando forças de desaceleração, desviando o fluxo do vento solar incidente (Oliveira Filho; Saraiva, 2004; Echer, 2010).

SATÉLITE NATURAL

Segundo Arthur C. Clarke (1917-2008), satélite é um corpo de menor massa orbitando outro corpo de massa maior. Até o século XVII a Lua era o único satélite conhecido. Foi Galileu Galilei que descobriu as quatro luas de Júpiter: Io, Europa, Ganímedes e

Calisto. Alguns satélites são maiores do que determinados planetas, como é o caso de Ganímedes (um dos quatro satélites galileanos), ele é o maior satélite do Sistema Solar. Outro exemplo, é Titan (um dos satélites de Saturno), o segundo maior satélite, cujo o raio é de 2.631 km. Ganímedes e Titan, são maiores que Mercúrio em tamanho (não em massa). Um fenômeno especial, envolvendo a relação entre planeta e seu satélite, é caso de Caronte, satélite de Plutão, pois o diâmetro de Caronte é quase a metade do diâmetro de Plutão. Alguns pesquisadores o chamam de astro duplo, dado que o centro de massa do sistema Plutão-Caronte está fora do planeta.

Até a primeira viagem espacial poucos satélites eram conhecidos, apenas 24, incluindo a Lua. Após a conquista do espaço com as novas tecnologias, um número significativo de sondas espaciais tem sido usado para explorar o Sistema Solar. Tais missões de explorações espaciais descobriram novos satélites e este número só tem aumentado significativamente. Atualmente, já são conhecidos 214 satélites naturais no Sistema Solar. Na Tabela 1, a seguir, temos os satélites conhecidos e seus respectivos planetas.

Tabela 1 - Quantidade de satélites de cada Planeta

Planetas Clássicos	Mercúrio	Vênus	Terra	Marte	Júpiter	Saturno	Urano	Netuno
Quantidade de satélites	0	0	1	2	79	82	27	14
Planetas anões	Ceres	Plutão	Haumea		Makemaka		Éris	
Quantidade de satélites	0	5	2		1		1	

Fonte: Lista (2019).

A LUA: O SATÉLITE NATURAL DA TERRA

A Lua é o satélite natural da Terra e o corpo celeste mais próximo do nosso planeta, está a uma distância média de 384.000 km. Essa distância foi confirmada cronometrando o tempo de ida e de volta da luz de um feixe de laser refletido num espelho colocado na Lua pelos astronautas. A medida da distância Terra-Lua é facilmente comprovada porque já conhecemos a velocidade da luz. A Lua é um satélite natural de tamanho mediano, seu raio mede $R_L = 1738\text{km}$ e tem massa de $M_L = 7,35 \times 10^{22}\text{kg}$.

As datações geológicas indicam que as idades da Lua e da Terra são próximas, levando em consideração as margens de erro, que as mesmas apresentam. Uma das evidências de tal informação é baseada na densidade da Lua, que tem semelhança com o manto terrestre (as conclusões tomam por base as análises das rochas trazidas pelos astronautas que foram à Lua). Há algumas teorias que tentam explicar a formação da Lua, uma delas é chamada de modelo de fissão, a qual defende a ideia de que a Lua teria sido formada de um material que havia se despreendido da Terra, no momento em que a velocidade rotacional da Terra teria aumentado subitamente, devido à diminuição abrupta do momento de inércia da Terra. Uma outra teoria, chamada de modelo de captura, defende a hipótese de que a Lua teria sido formada em outra região do Sistema Solar e teria sido capturada pela Terra. E a terceira, é a da colisão. Segundo esta hipótese a Lua foi derivada da colisão de um grande asteroide com a Terra há, aproximadamente, 10^9 anos. Nenhuma das teorias citadas é conclusiva, todas deixam algumas lacunas. A teoria da colisão tem conquistado maior adesão entre alguns cientistas.

Figura 43 - Lua cheia, satélite natural e corpo celeste mais próximo da Terra



Fonte: Lua ([2020?]).

A órbita da Lua em torno da Terra é de uma volta completa ao longo de um mês, cuja face voltada para o Sol é iluminada. A fração iluminada (área da face) que é vista da Terra é chamada de fase da Lua. Cada variação diária do ciclo da face da Lua, cuja porção iluminada está voltada para Terra, representa uma fase, sendo que, são quatro as fases mais importantes, na cultura popular:

- I. Lua Nova: a face iluminada não pode ser vista da Terra; a Lua nasce aproximadamente 6 h e se põe às 18 h;
- II. Lua Quarto-Crescente: a metade do disco iluminado pode ser visto da Terra; a Lua vista do hemisfério sul da Terra, lembra uma letra "C" e vista do hemisfério norte da Terra, lembra uma letra "D". A Lua e o Sol são vistos da Terra separados por um ângulo de 90°;

- III. Lua Cheia: toda face iluminada está voltada para a Terra; permanece no céu durante toda a noite, com forma de um disco. A Lua nasce 18 h e se põe às 6 h do dia seguinte;
- IV. Lua Quarto-Minguante: metade do disco iluminado pode ser visto da Terra; a Lua vista do hemisfério sul da Terra, lembra uma letra D e vista no hemisfério norte da Terra, lembra uma letra C. A Lua nasce aproximadamente meia-noite e se põe aproximadamente meio dia.

O movimento da Lua em torno da Terra tem como consequência: mês lunar, mês sideral e dia lunar.

- I. Mês Lunar: intervalo de tempo entre duas fases iguais consecutivas e é de 29 d 12 h 44 min 2,9 seg (\approx dias). Chamado também de mês sinódico ou lunação;
- II. Mês Sideral: tempo necessário para a Lua completar uma volta em torno da Terra, em relação a uma estrela. Sua duração é de 27 d 7 h 43 min 11 seg (\approx dias). Chamado também de período sideral da Lua (Oliveira; Saraiva, 2004);
- III. Dia Lunar: a Lua se move, aproximadamente, 13° para o leste por dia, em relação às estrelas. Esse movimento é um reflexo da translação da Lua em torno da Terra, completada em um mês sideral. O Sol também se move aproximadamente 1° por dia para o leste refletindo a translação da Terra em torno do Sol, completada em 365,2564 dias (ano sideral). Portanto a Lua se move, aproximadamente, 12° , sendo o dia lunar, aproximadamente, 24 h 50 min. Da Terra sempre é vista a mesma face da Lua, isso indica que seu período de translação é igual ao período de rotação em torno do seu próprio eixo, dito em outros termos, a rotação é sincronizada com a translação (Oliveira; Saraiva, 2004).

ECLIPSE

Um eclipse é um evento astronômico que acontece quando um corpo celeste em trânsito coincide ou atravessa a posição aparente de outro mais distante, isto é, entrando na sombra de outro corpo celeste. Essa expressão vem do grego que quer dizer “deixar para trás”. Um eclipse envolvendo o Sol, a Terra e a Lua, só é possível quando tais corpos estão, praticamente, alinhados, na linha dos nodos²², quer dizer, os pontos onde a órbita da Lua cruza a eclíptica, nesta circunstância a sombra da luz solar atinge o corpo eclipsado. O fenômeno ocorre quando a Lua está próxima do ponto de interseção entre os dois planos, da Terra (Eclíptica) e da Lua, conforme mostra a Figura 46.

Os eclipses mais conhecidos são: lunar, solar, parcial ou total. Eclipse solar ocorre quando a Lua está entre a Terra e o Sol, de forma que a sombra da Lua atinja a Terra. Se o disco do Sol estiver totalmente atrás da Lua o eclipse é total, caso contrário o eclipse é parcial. Eclipse lunar acontece quando a Lua entra na sombra da Terra. Se a Lua estiver inteiramente imersa na umbra²³ da Terra o eclipse é total, se for apenas parte da Lua, o eclipse é parcial. Ainda há outros eclipses, os eclipses anular e penumbral²⁴ (Oliveira; Saraiva, 2004).

22 Linha dos nodos ou nodos orbitais, pontos onde a órbita da Lua cruza a eclíptica, a projeção da trajetória aparente do Sol. Nódulo ascendente onde a Lua atravessa o norte da eclíptica e nódulo descendente onde a Lua atravessa o sul da eclíptica (ou linha de interseção dos dois planos: da órbita e de referência).

23 Umbra do latim “sombra total”: região da sombra que não recebe luz de nenhum ponto da fonte (neste caso a fonte é o Sol).

24 Penumbra do latim “quase”: região da sombra que recebe luz de alguns pontos da fonte (nesse caso a fonte é o Sol).

Figura 44 - Representação do plano orbital da Lua em relação ao plano da Terra e os Nodos



Fonte: Oliveira Filho e Saraiva (2023).

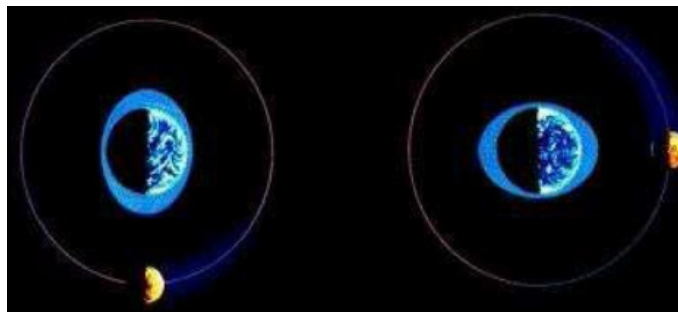
EFEITO DAS MARÉS

Efeito maré é a deformação, principalmente nos oceanos, devido às forças gravitacionais diferenciais exercidas pela Lua e pelo Sol sobre a Terra. Essa ocorrência não é exclusiva em nosso planeta, é um fenômeno físico quando um corpo está sobre ação gravitacional de outro. A ideia básica do efeito maré é: o puxão gravitacional sentido pelas partículas no lado mais próximo de um dado corpo, é maior do que puxão gravitacional sentido pelas partículas do seu centro, por outro lado, o centro desse corpo sente um puxão gravitacional maior que as partículas no lado oposto, visto que, estas estão mais distantes do centro do referido corpo.

As marés na Terra constituem um fenômeno relacionado à tração gravitacional exercida pela Lua na Terra, a atração gravitacional do Sol na Terra também contribui, todavia com menor intensidade.

O fenômeno maré está diretamente relacionado à atração que a Terra sente, sua intensidade depende da distância entre o ponto da Terra e da Lua. Em vista disso, a intensidade no lado da Terra, que está mais próximo da Lua, tem maior atração gravitacional que o seu centro. Em contrapartida, no lado da Terra que está mais distante da Lua, a intensidade da atração gravitacional é menor que no centro. Dito de outra forma, um lado está sendo puxado na direção da Lua, e o outro está sendo puxado na direção oposta. Como as massas líquidas são bastante fluídas, isto é, tem maior grau de liberdade que as sólidas, elas se “empilham” nos dois lados da Terra, formando um bojo de água em direção à Lua e outro na direção contrária, conforme representa a Figura 47.

Figura 45 - Representação do deslocamento das massas líquidas (maré alta e maré baixa) acompanhando a posição da Lua



Fonte: Mantellatto (2012).

O sol também exerce influência na maré, contudo com energia menor que a Lua. A força da maré é diretamente proporcional à massa do corpo e inversamente proporcional à distância ao cubo. Em razão disso, embora a massa do Sol seja bem maior que a massa da Lua, ele está bem mais distante da Terra que da Lua, graças a isso, sua influência é bem menor. A maré provocada pelo o Sol tem efeito de menos da metade do efeito que a Lua provoca. Os efeitos das duas marés se combinam vetorialmente, de forma que a intensidade da maré resultante depende da elongação da Lua (Figura 47).

Na Lua Nova ou Lua Cheia as duas forças se somam e produzem marés mais altas e mais baixas. Na Lua Quarto Crescente ou Minguante os efeitos maré são atenuados.

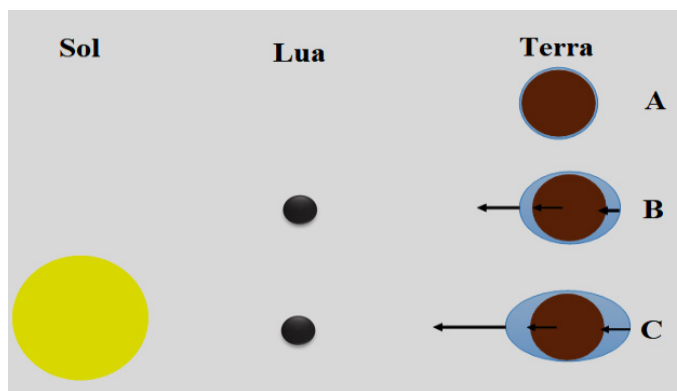
Os corpos celestes exercem ou “sentem” algum tipo de interação gravitacional entre si. No caso das marés essa interação tem um limite, conhecido por limite Roche, apresentado pelo Francês, Eduardo Roche (1820 – 1883). O limite de Roche é calculado pela seguinte expressão:

(1)

$$d = 2,44 \left(\frac{\rho_M}{\rho_m} \right)^{1/3} R.$$

Na segunda seção específica (*Saiba um pouco mais sobre Astronomia*) apresentamos a demonstração da expressão matemática do limite de Roche.

Figura 46 - Representação das ações das Marés. Em (A) distribuição idêntica das massas oceânicas, em relação ao centro de massa, em (B) as massas oceânicas deformadas na direção mais próxima e mais afastada da Lua. Em (C) a influência do Sol e da Lua se combinam vetorialmente alongando a deformação das massas oceânicas (representação exagerada)



Fonte: Imagem dos arquivos do próprio autor (2019) adaptado de Maré (2011).

ASTEROIDES

A maioria das pessoas não sabem diferenciar Meteoro, Meteoritos e Asteroides. Este tipo de equívoco, às vezes, é cometido por profissionais da educação e pelos meios de comunicação, por não possuírem familiaridade com alguns conceitos astronômicos.

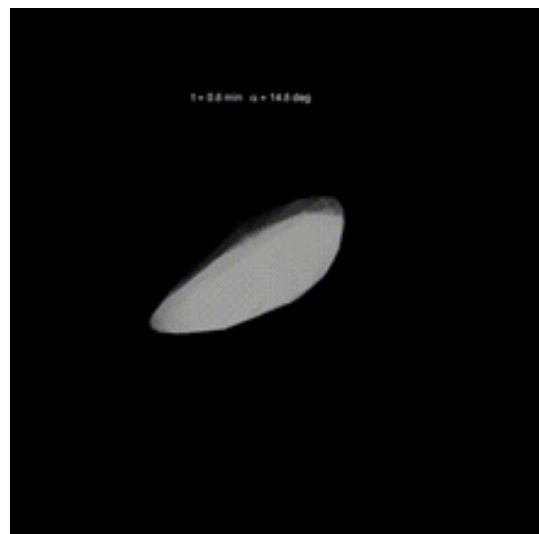
O espaço tem regiões com grande concentração de corpos rochosos com diferentes diâmetros. Os relativamente pequenos são denominados meteoroides e os maiores são chamados de asteroides. Alguns desses objetos chegam a cruzar a órbita da Terra e entram na atmosfera terrestre com velocidade de, aproximadamente, 30 mil km/h (8.333,33 m/s), emitindo uma onda luminosa. Meteoros são fenômenos luminosos que podem ser vistos no céu a olho nu, algumas culturas os denominam “estrela cadente”. Esta expressão tem origem no grego “metewros” e quer dizer “elevado; alto (no céu)”. A luminosidade desses fragmentos rochosos é em razão do atrito com os gases presentes na atmosfera da Terra. O atrito com os gases que circundam o planeta, eleva sua temperatura tornando-os incandescentes. Quando o fenômeno ocorre durante a noite, é facilmente percebido, dependendo das características físicas do objeto, a luminosidade do meteoro pode ser mais brilhante que uma estrela no céu. As dimensões desses corpos variam, podendo ter de alguns milímetros até quilômetros²⁵. Quando eles não são totalmente destruídos durante a sua entrada na Terra e atingem o solo terrestre são chamados meteoritos. Os meteoritos de tamanho considerável, que adentram o espaço terrestre, são extremamente brilhantes, têm aparência de uma “bola de fogo” (Bólides) e emitem som característico da explosão de uma bomba.

25

Recentes observações do telescópio NEOWISE o número de objetos maiores que 1 km é cerca de 981. A título de exemplo, o menor NEA é o 2008 TS₂₆ (1 m) e o maior deles é 1036 Ganymed (38 km).

Meteoroides são fragmentos de materiais de asteroides ou rastro da cauda de cometas, entre outros, que vagueiam pelo espaço e que, segundo a Organização Internacional de Meteoros, possuem dimensões significativamente menores que um asteroide e significativamente maiores que um átomo ou molécula, distinguindo-se dos asteroides (objetos maiores) e da poeira interestelar (objetos menores, inclusive micrométricos).

Figura 47 – Asteroide 2008 TC3 que atravessou o ar como um meteoro e se fragmentou a 37 km de altitude. Os meteoritos que foram criados na explosão foram espalhados no deserto da Núbia, entre o Egito e o Sudão em 2008.



Fonte: 2008 TC3 ([2019?]).

Atualmente, a *International Astronomical Union* (IAU, 1961) define a diferença entre os meteoroides e os asteroides pelas suas dimensões, os que têm diâmetro superior a dez metros são considerados asteroides. Porém, essa classificação pode não ser rigorosa, por exemplo, o asteroide 2008 TC3 tinha entre 2 a 5 m de diâmetro, como é mostrado na Figura 49. Ele foi descoberto em 6 de outubro de 2008, por Richard A. Kowalski, a uma distância radial, semieixo

maior de, aproximadamente, 495.000 km da Terra. No dia 7 de outubro do mesmo ano, o referido corpo entrou na atmosfera terrestre, semelhante a uma bola de fogo, explodindo a 37 km antes de atingir o solo. Os meteoritos criados pela explosão do asteroide 2008 TC3 foram encontrados no deserto de Núbia, entre Egito e Sudão. Foi a primeira vez que tal fenômeno foi observado por um satélite artificial e por observadores, que puderam acompanhar a sua trajetória. As pesquisas pelos asteroides só vieram a interessar à ciência, depois da descoberta de Ceres, assunto tratado na seção *A descoberta de Ceres, o primeiro asteroide* deste trabalho de pesquisa.

A maior concentração de asteroides do Sistema Solar está em regiões específicas como: o Cinturão Principal de Asteroides, o Cinturão de Kuiper e a hipotética Nuvem de Oort. O Cinturão Principal de Asteroide está localizado entre as órbitas de Marte e Júpiter, a uma distância que varia de 1,8 até 3,2 unidades astronômicas (UA). Na órbita do planeta Júpiter temos dois pontos gravitacionais entre Júpiter, o Sol e os Asteroides. Esta região são chamados de pontos Lagrange, L_4 e L_5 , (explicação na seção seguinte) concentra vários asteroides denominado de troianos. Há também outros tantos concentrados na órbita de Netuno (a uma distância superior a 30 UA) chamados de transnetunianos, nesta região está localizado o Cinturão de Kuiper. Em geral, os asteroides são corpos rochosos e metálicos ou metálico-rochosos de dimensões relativamente pequenas se comparadas aos planetas, que povoam o espaço, orbitando o Sistema Solar, alguns com possibilidade de cruzar a órbita de satélites e planetas (incluindo a Terra), e também alguns deles são capturados em regiões coorbitais dos planetas, e alguns deles se tornam satélites irregulares.

O Cinturão de Kuiper (ou Cinturão de Edgeworth-Kuiper) é uma região "gelada" considerada o cinturão de asteroides de gelo. Esta Região se encontra externo ao Sistema Solar, que se estende desde a orbita de Netuno até aproximadamente 50 UA (50 vezes a

distância média da Terra ao Sol). O primeiro objeto descoberto nessa região foi o (15760) 1992 Q B1, em 30 de agosto de 1992, por David C. Jewitt e Jane X. Luu, usando um telescópio de 88 polegadas da Universidade do Havaí, localizado em Mauna Kea, Havaí. A existência desta região havia sido prevista pelos cálculos dos astrônomos Kenneth Essex Edgeworth (1880-1972) em 1949 e Gerard Peter Kuiper (1905-1973) em 1951. Temos ainda possíveis asteroides que estão dentro do que é chamado de Nuvem de Oort. A Nuvem de Oort é uma nuvem de objetos que foram estimados pelo fluxo de cometas que entram no nosso Sistema Solar interno. A Nuvem de Oort é considerada fonte dos cometas de longo período. A nomenclatura Nuvem de Oort foi dada em homenagem ao astrônomo neerlandês Jean Hendrik Oort (1900-1992), que foi um dos pesquisadores das características deste local. Estima-se que a nuvem de Oort está a 50.000 UA, bem além do cinturão de Kuiper, é considerada, portanto, o berçário dos cometas (MENDES, 2019; DINIZ, 2002).

Antes da descoberta do primeiro asteroide no Cinturão de Kuiper imaginava-se que não existia nada para ser descoberto externo ao Sistema Solar. Desde então já foram observados mais de mil objetos com diâmetros de 2.000 km e estima-se que existam pelo menos cem mil com diâmetro de 100 km. A descoberta desses corpos no Cinturão de Kuiper, forneceu argumentos para Plutão deixar de ser interpretado como um corpo anômalo (fora da ordem), passou a ser considerado um corpo pertencente ao conjunto de objetos deste cinturão.

Depois da descoberta do Cinturão de Kuiper a visão que se tinha do Sistema Solar foi modificada. Por exemplo, a dinâmica do Cinturão Kuiper tem variedade orbital, isso faz com que as observações sejam divididas em diferentes interpretações dos grupos, podendo reconstruir processos da evolução do Sistema Solar. Os numerosos objetos gelados presentes no Cinturão de Kuiper poderão ser considerados remanescentes do disco planetesimal externo, sendo uma possível fonte de informação importante para se descobrir como se

deram alguns processos físicos e químicos do disco de gás protossolar e de alguns sistemas planetários. Os objetos do Cinturão de Kuiper são chamados de população transnetuniana, a descoberta de tais objetos ajudaram na reconstrução da percepção das dimensões do Sistema Solar (Mendes, 2019; Diniz, 2002).

O Sistema Solar é povoado por asteroides, com destaque para os locais de maior concentração já mencionados. Algumas hipóteses tentam explicar a origem deles, mas ainda não há um consenso, por hora são possibilidades, algumas com chances de boa aproximação. A ciência computacional tem prestado relevante colaboração, elaborando simulações numéricas de alto custo computacional e de longo prazo sobre a formação do Sistema Solar. Apesar do vasto número de informações sobre os asteroides, inclusive com dados obtidos por meio de sondas espaciais, enviadas para o espaço profundo, ainda não se tem um consenso sobre a sua formação. Sobre a origem dos asteroides, a maior unanimidade é que eles foram formados dentro da nuvem de gás e poeira que circundava o Sol e que eles são matérias que não fizeram parte do crescimento planetário. Em resumo, eles são restos da formação planetária. E durante a formação do Sistema Solar eles são chamados de planetesimais. Quanto ao Cinturão Principal de Asteroides foi proposto um modelo hipotético denominado "Caótico" publicado no *The Astrophysical Journal*, cujos pesquisadores são os astrônomos brasileiros André Izidoro e Othon Winter, do Grupo Dinâmica Orbital e Planetologia da Unesp. É consensual a ideia de que o Cinturão Principal de Asteroides foi originado na mesma época da formação do Sistema Solar (Izidoro *et al.*, 2016).

Há pelo menos duas teorias consensuais na comunidade científica explicando a origem do Cinturão Principal de Asteroides e dos Asteroides Troianos, que têm despertado o interesse da maioria dos pesquisadores. Uma delas afirma que os asteroides são corpos primitivos, desde a formação do Sistema Solar. Estes "pequenos" objetos fazem parte deste sistema desde a sua for-

mação. A outra hipótese é chamada de Migração Planetária. Os planetas do Sistema Solar são divididos em rochosos e gasosos e estes dois grupos estão numa região chamada Cinturão Principal de Asteroides. Os dois maiores planetas gasosos, Júpiter e Saturno, foram formados quando o Sol ainda era uma estrela jovem, com idade de 10 milhões de anos. O modelo explica que na formação do Sistema Solar, os planetas Júpiter e Saturno foram formados distantes de suas órbitas e num processo de interação dinâmica com os planetesimais (corpo rochoso e/ou de gelo) do disco protoplanetário, os remanescentes do sistema planetário deslocaram-se até as posições atuais.

A hipótese para a formação do Cinturão Principal de Asteroides é o modelo do Grand Tack que invoca a migração planetária de Júpiter. Neste modelo, Júpiter e Saturno foram formados quando o Sol ainda era jovem e estava envolvido em uma nuvem de gás e poeira. Com a presença do gás, Júpiter e Saturno podem migrar para a região onde o Cinturão Principal de Asteroides se encontra e voltar para as suas posições atuais. Nesta migração, Júpiter excita os planetesimais (percussores de asteroides) para atingir órbitas similares às órbitas encontradas no Cinturão Principal de Asteroides e também explica as propriedades químicas dos objetos. Por meio de simulações computacionais, essa teoria tenta explicar como o cinturão de asteroides se formou.

A origem dos Asteroides Troianos de Júpiter é explicada após os planetas gigantes serem formados e não haver mais gás no Sistema. Os planetas gigantes foram formados em órbitas bem mais próximas e através da interação dinâmica com os planetesimais atingiram suas posições atuais. Durante este processo, Júpiter e Saturno causam uma instabilidade planetária que lança planetesimais para regiões mais afastadas e alguns destes planetesimais foram capturados para os pontos de Lagrange L_4 e L_5 e formaram os Asteroides Troianos de Júpiter, destes o de maior concentração de asteroide é no ponto L_4 .

PONTOS DE LAGRANGIANOS E OS ASTEROIDES TROIANOS

A descoberta do asteroide Aquiles (588-Achilles) em 1906, pelo astrônomo alemão Max Wolf (1863-1932), confirmou as previsões teóricas realizadas no século XVIII pelo matemático francês Joseph Louis Lagrange (1736-1813), que em seus estudos do problema de três corpos previu que um pequeno corpo celeste, na mesma órbita de um planeta, situado a uma distância angular de 60° à frente e atrás, teria estabilidade relativa.

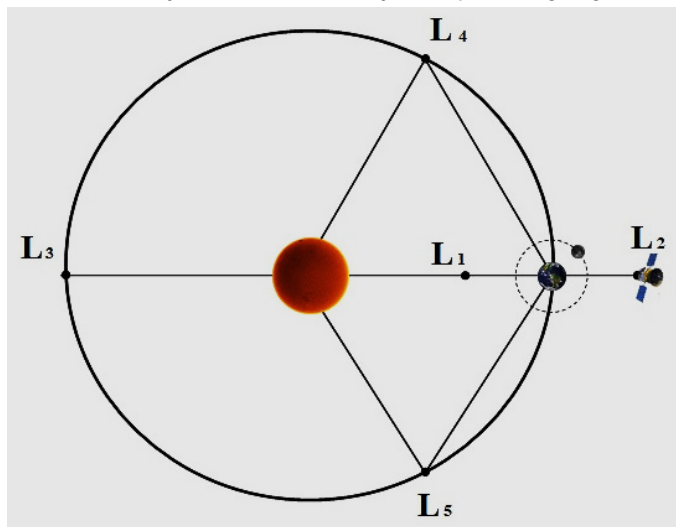
Os pontos de Lagrange aparecem no problema restrito de três corpos, que envolvem dois corpos com massas consideráveis e um corpo teste (que pode ser um asteroide). Os pontos são identificados pela letra L (com índice de 1 a 5 representando, pois, cada ponto) em homenagem a Lagrange. Os pontos L_1 , L_2 e L_3 são colineares, posicionados sobre uma reta passando pelo centro do corpo de massa maior (por exemplo o Sol) e do corpo de massa menor (por exemplo Júpiter) os pontos L_4 situam-se a uma distância angular de 60° à frente do corpo de massa menor e L_5 a mesma distância (60°) atrás. Estes pontos formam os vértices de dois triângulos equiláteros, cujas bases dos triângulos são comuns, pois, ambos estão situados ao longo de uma linha, conectando o centro de gravidade de duas massas. Isso condiz, por exemplo, a uma configuração envolvendo os asteroides troianos, neste caso, formaria um sistema com o Sol, Júpiter e o asteroide, e essa distância corresponde a distância Sol - Júpiter.

Os pontos L_4 e L_5 são considerados estáveis, com possibilidade de acúmulo de matéria e poeira nessas regiões e são chamados de pontos de Lagrange triangulares. Por outro lado, os pontos L_1 , L_2 e L_3 são instáveis, tal que satélites artificiais posicionados nestes locais têm que corrigir suas órbitas periodicamente. Cabe a ressalva de

que tais pontos não são fixos no espaço; eles se movem, conforme a configuração orbital do conjunto, permanecendo em repouso em relação ao sistema de corpos.

Os pontos lagrangianos podem ser formados por dois corpos com massas de tamanho, proporcionalmente, bastante diferentes. Os sistemas podem ser Sol e Júpiter, Sol e Terra, Terra e Lua etc. Tomando como exemplo o sistema Sol -Terra, os pontos colineares L_1 , L_2 e L_3 , posicionados sobre a reta passam pelo Sol e pela Terra; o ponto L_4 fica situado a 60° à frente da Terra e o ponto L_5 a 60° atrás, formando os vértices de dois triângulos equiláteros, cuja base comum está situada ao longo de uma linha, conectando o centro de gravidade das duas massas, correspondendo à distância do sistema Sol-Terra, conforme mostra a Figura 50.

Figura 48 - Uma ilustração teórica da localização dos pontos lagrangianos, Sol -Terra



Fonte: imagem reconstruída a partir de Fortes, Azevedo e Kolland (2018).

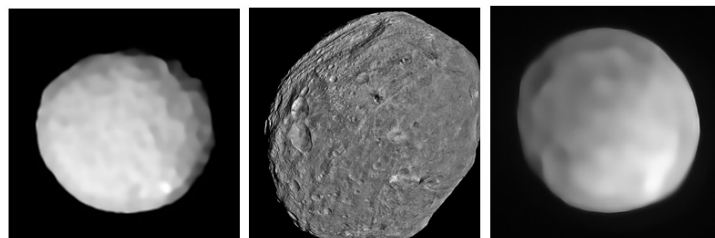
O ponto L_2 está a 1,492 milhões de quilômetros da Terra, é considerado ideal para observar o universo, com um telescópio espacial colocado nele. Em razão da instabilidade gravitacional, a

trajetória do satélite artificial deve ser corrigida permanentemente. Por outro lado, por ser um ponto na direção oposta ao Sol, a incidência da ação eletromagnética e de poeira no veículo espacial é bastante amenizada. Um satélite artificial em L_2 orbita o Sol com a mesma velocidade da Terra (Fortes; Azevedo; Kolland, 2018).

A DESCOBERTA DE CERES, O PRIMEIRO ASTEROIDE

O primeiro asteroide localizado no Sistema Solar foi Ceres. Jhoannes Kepler (1571-1630) postulou em 1596 a possível existência de um planeta entre Marte e Júpiter. Pode-se assim dizer que as buscas dos astrônomos por esse corpo desconhecido iniciaram-se com as informações de Kepler. Em 1755 Kant também citou a possível existência de mais um planeta entre Marte e Júpiter. Quase meio século depois, Ceres foi descoberto em 1801 por Piazzi, numa região denominada cinturão principal. Em vista disto, outros asteroides menores, nesta mesma localização, foram conhecidos, são eles: 2-Pallas, 4-Vesta e 10-Hygiea, com diâmetros de, aproximadamente: 582 km, 572 km e 530 km, respectivamente, conforme a Figura 51.

Figura 49 – Estes são os maiores asteroides do Cinturão Principal de Asteroide atualmente. As suas massas, pela ordem da imagem são respectivamente: $2,11 \times 10^{20} \text{kg}$, $2,97 \times 10^{20} \text{kg}$ e $8,21 \times 10^{19} \text{kg}$



2-Pallas

4-Vesta

10-Hygiea

Fonte: 2 Palas ([2019?]), 4 Vesta ([2019?]) e 10 Hígia ([2019?]).

Nesta relação, d é a distância do planeta em relação ao Sol e n é um índice para cada planeta. Por meio dessa expressão eles propuseram uma tabela expressando a distância entre os planetas em unidade astronômica (UA), conforme se segue (Tabela 2).

Tabela 2 – As distâncias em UA, dos primeiros planetas clássicos e do planeta anão Ceres, desconhecidos até o século XIX

Planeta	n	Distância (d) entre o Sol e o planeta em U. A.
Mercúrio	-	0,4 (para esse planeta $n \rightarrow -\infty$)
Vênus	0	0,7
Terra	1	1,0
Marte	2	1,6
Ceres*	3	2,8
Júpiter	4	5,2
Saturno	5	10,0
Urano	6	19,6

*Atualmente Ceres é considerado um planeta anão.

Fonte: *Asteroide (2011)*.

A sequência representava a distância aproximada entre os planetas e o Sol. Baseado nessa equação inferiu-se a provável existência de um terceiro planeta entre Marte e Júpiter. A série é iniciada atribuindo ao valor de índice n tendendo a menos infinito, para o planeta Mercúrio ($n \rightarrow -\infty$), zero para Vênus ($n = 0$), um para Terra ($n = 1$), dois para Marte ($n = 2$) e assim sucessivamente. Para o suposto planeta desconhecido, entre Marte e Júpiter ($n = 3$) e de acordo com a série, ele estaria cerca de 2,8 UA do Sol.

A progressão matemática de Titius parecia ser infalível quando o astrônomo William Herschel (1738-1822) descobriu o planeta Urano em 1781, que está situado a 19,22 UA do Sol (2.876.679.082 km), pela série, o valor atribuído ao índice seria $n = 6$ constatando uma distância de 19,6UA. A descoberta repercutiu positivamente entre

os astrônomos, dando esperança e confiança à equação. O resultado obtido, levou à impressão de que a equação era confiável e se tornaria uma lei denominada Titius-Bode. A partir da descoberta de novos planetas, Netuno²⁶ e Plutão, os cálculos obtidos com a referida equação não coincidiram com as distâncias reais, fornecendo valores muito além. Diante da falha, a lei entrou em desuso.

Apesar da lei de Bode perder a credibilidade, os astrônomos permaneceram procurando o suposto terceiro planeta, denominado "Planeta Ausente". Por volta de 1800, um grupo de 24 astrônomos se organizaram para localizá-lo. As pesquisas se concentraram na região entre os planetas Marte e Júpiter. Em 1801, o astrônomo italiano Giuseppe Piazzi (1746-1826), em Palermo (Itália), notou a presença de um objeto desconhecido, aparentemente parecido com uma estrela, de brilho bastante fraco, de oitava magnitude²⁷. Esta suposta estrela estava na região da Constelação de Touro e se deslocava em relação às outras com movimento lento e uniforme. Visto que ela não estava acompanhada de nebulosa, Piazzi pensou que se tratasse de um cometa. Nebulosas são nuvens interestelares (poeira cósmica) de hidrogênio, hélio e gases ionizados, antes os astrônomos usavam o termo nebulosa para descrever qualquer corpo celeste difuso, pois os conhecimentos e os instrumentos de observação eram limitados, se comparados aos atuais. Baseado em sua hipótese inicial, ele batizou o suposto cometa de Ceres, em homenagem a deusa grega protetora da Sicília.

Piazzi adoeceu e ficou um tempo sem fazer observações. Quando as retomou, não conseguiu visualizar o tal corpo celeste. Vários cálculos foram realizados para tentar descobrir sua órbita. Porém, os parâmetros da órbita de Ceres só foram descobertos pelo alemão Carl Fredrich Gauss, que desenvolveu um método capaz de determinar

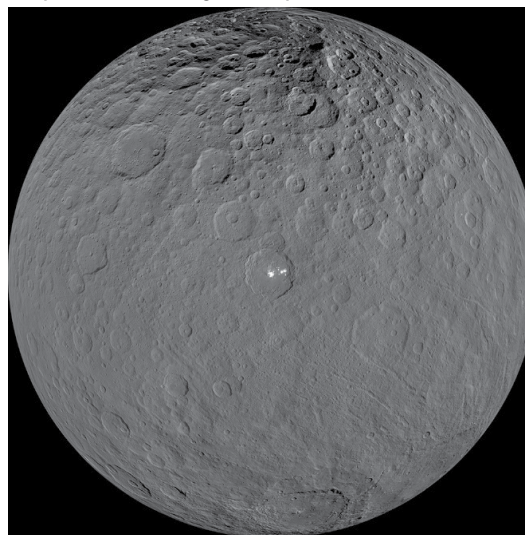
26 Netuno é o oitavo planeta do sistema solar e está a 4.503.443.661 km (~30,4 UA) do Sol, pela lei de Titius-Bode $n = 7$ e a distância de Urano seria: $d = 38,8$ UA.

27 Magnitude aparente é uma escala logarítmica usada na Astronomia para medir o brilho das estrelas em um determinado comprimento de onda, geralmente no óptico ou infravermelho.

órbitas de qualquer corpo previsível no Sistema Solar. Após os esforços e contribuições de alguns astrônomos, por fim, Ceres foi confirmado, visto em setembro de 1801 pelo Barão von Zach e em janeiro de 1802 por Heinrich W. M. Olbers, Ceres já foi considerado o maior asteroide do Cinturão Principal de Asteroides, seu diâmetro é de 974,6 km, atualmente está classificado como planeta anão, note na Figura 52. Quando Ceres foi considerado um planeta anão, os maiores asteroides do Cinturão Principal de Asteroides passaram a ser agora: 2- Pallas, 4-Vesta e 10 Hygiea.

O segundo asteroide foi descoberto em março de 1802 por Olbers (pequeno planeta), ele o nomeou de Pallas (nome da deusa grega da sabedoria). O nome atual do asteroide é Olbers em sua homenagem. Esses novos acontecimentos, levaram vários astrônomos a admitirem a hipótese de que esses pequenos objetos rochosos, possivelmente, seriam restos da explosão de um planeta na região entre Marte e Júpiter.

Figura 50 – O asteroide Ceres, descoberto em 1801 e passando à categoria de planeta anão em 2006



Fonte: Ceres (2020).

Em 1803, William Herschel sugeriu o nome asteroide, para designar esses novos objetos, que em grego quer dizer “quase estrela”. Ele propôs este nome em virtude da aparência que estes objetos têm, quando observados pelos telescópios, em razão do seu albedo²⁸. Inicialmente, os asteroides não despertavam o interesse dos astrônomos e, anteriormente, suas pesquisas foram até desestimuladas. Com o lançamento de satélites artificiais, sondas e do telescópio espacial Hubble, novas imagens com resolução bem melhor do universo permitiram mais informações sobre tais corpos celestes.

Os asteroides são classificados baseados em sua composição química e analisando seu albedo. Porém, há algumas divergências nos parâmetros usados, atualmente, para classificar asteroides e luas. De acordo com as regras atuais, alguns satélites planetários se enquadrariam como asteroides capturados pelo planeta, como por exemplo, as luas de Marte (Deimos e Phobos), as oito luas externas de Júpiter etc. Os asteroides são classificados em três grupos: ferrosos, ferroso-rochosos e rochosos.

Os ferrosos, ou metálicos (F_e e N_i) são do tipo M e pouco abundantes; os rochosos de tipo C, são condritos (chondrites), compostos de carbono e silício; constituem 60% dos asteroides conhecidos, eles refletem pouco a luz do Sol, sendo seu albedo de 6%. Os asteroides do tipo S são constituídos de ferro-níquel metálico misturado com silicatos de magnésio e ferro, seu albedo é entre 10% a 22%, eles compõem 30% dos asteroides catalogados. Os valores dos percentuais do albedo e da distribuição não são tão rigorosos, podendo haver discrepâncias em algumas literaturas, dado que as observações desses corpos são difíceis. Como no caso do tipo C, possuidor de baixo albedo, portanto, é um dos mais difíceis de ser localizado. A figura 53 é a imagem de um meteorito condrito, este

28

Albedo é a quantidade de luz incidente que o corpo celeste reflete, é uma medida de refletividade ou brilho intrínseco do objeto. A quantificação varia entre 0,0 e 1,0. Zero para os objetos que absorvem totalmente a luz e um para os que refletem totalmente.

tipo de meteorito é considerado primordial por toda a história do Sistema Solar e que não tenha sido submetido a diferenciação por processos de fusão em seu interior.

Figura 51 - Meteorito de Murchison, sendo do tipo condrito carbonáceo



Fonte: Murchison [...] (c2016).

PESQUISA E MONITORAMENTO: ASTEROIDES, METEOROIDES E METEORITOS

Pesquisar os asteroides, meteoroides e meteoritos, a princípio, pode ser útil para analisar e compreender a sua composição química, para monitorar sua órbita e verificar a possibilidade de cruzar a órbita da Terra. Os fragmentos de asteroides que venceram a resistência do ar, e que nessa transição se tornam meteoritos e atingem a superfície da Terra, ao serem encontrados são encaminhados para

análise física e química, pois são materiais preciosos por conter informação importante a respeito do Universo. Uma vez, conhecendo detalhadamente de sua estrutura e as misturas dos compostos químicos, pode-se obter informação das condições primitivas que formaram o Sistema Solar há 4,5 bilhões de anos.

Os interesses dos cientistas em pesquisar tais corpos têm várias motivações, sendo as mais importantes: (1) compreender a formação do Sistema Solar; e (2) prever a possibilidade desses corpos, de tamanho considerável, colidirem com a Terra. Os asteroides, em especial os meteoroides, são os fornecedores de meteoritos, recolhidos na superfície terrestre. Esses meteoritos ao serem analisados são fontes de informação dos compostos químicos voláteis e minerais, que poderão servir de motivação para a exploração e colonização do Sistema Solar no futuro. Os meteoritos encontrados e catalogados estão guardados em museus de alguns países.

Algumas teorias levantam hipóteses de que as moléculas, que são base de carbono e materiais voláteis e, portanto, base da formação da vida, nas condições que conhecemos, podem ter sido trazidas para a Terra pelos asteroides e cometas. Nesse sentido, os asteroides podem fornecer informação da mistura química primordial que formou a Terra, os outros planetas e corpos menores do Sistema Solar, como também informações sobre o material para os primeiros compostos orgânicos. Estudá-los pode contribuir para desvendar como foram sintetizados os elementos químicos que compõem a vida.

As missões espaciais têm contribuído bastante para o monitoramento e a identificação de objetos próximos à Terra. Cada informação nova serve de esperança para compreender melhor a formação do Sistema Solar, em especial a vizinhança do entorno do planeta Terra. As descobertas de asteroides despertam o interesse de envio de missões espaciais ao encontro desses objetos e também de estudar as órbitas daqueles que se aproximam da Terra (NEO), para prevenir-se uma possível colisão.

MONITORAMENTO DOS NEO (*NEAR EARTH OBJECT*)

As agências espaciais monitoram os objetos que passam próximos da Terra. Os mesmos são denominados de *Near Earth Object* (NEO), cujo significado é "objetos com trajetória que se aproxima periodicamente da órbita terrestre, aproximadamente a 0,33 UA" (Santana *et al.*, 2017). Tais corpos pode serem divididos em três grupos: *Near Earth Meteoroids*, *Near Earth Comets* e *Near Earth Asteroids* (NEAs)²⁹, todos são considerados categorias asteroides próximos à Terra. Até o momento os observados mais próximos da Terra são quatro: classe Atens ($a < 1,0$ UA), classe Apollos ($a > 1,0$ UA), classe Amors ($a > 1,0$ UA) e classe Atira ($a > 1,0$ UA), onde é a dimensão do semieixo maior da órbita. Dentre os grupos de asteroides NEAs há mais um grupo especial, os PHAs (*Potentially Hazardous Asteroids*), estes são considerados potencialmente perigosos, em consequência da distância mínima de interseção orbital com a Terra. São incluídos nessa classe os que passam a uma distância de 0,05 UA, ou seja, 7.480.000 km da Terra (Santana *et al.*, 2017).

A NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) e a ESA (*European Space Agency*) catalogam os NEOs e NEAs com 1 km de diâmetro e 0,05 UA de distância, dado que, estes corpos poderão apresentar grande perigo para o planeta Terra. Estudos indicam que a colisão de um asteroide dessa dimensão é capaz de liberar energia equivalente a 6 mil bombas semelhantes àquela lançada na cidade de Hiroshima. Alguns estudos têm levantado a seguinte hipótese: para cada seis, há apenas uma possibilidade de um asteroide de 1 km de diâmetro atingir a Terra a cada 100 mil anos e um meteoróide de tamanho significativamente menor que um asteroide (por exemplo, em torno de 05 a 15 metros de diâmetros), cair na Terra a cada 300

anos. Além disso, compete enfatizar que tais conjecturas em parte são teóricas. Detectar a possibilidade de um asteroide entrar em rota de colisão com Terra não é suficiente, é importante saber outros parâmetros como velocidade, tamanho e sua massa. Uma das ferramentas capazes de fornecer tais informações é a radioastronomia, área da Astronomia iniciada em 1932 com o engenheiro Karl Guthe Jansky (Reis, 2012; Santana *et al.*, 2017; Jesus, 2018).

Os sinais luminosos vindos do Universo, captados pelos telescópios ópticos, têm muitas limitações, tal como o desvio da trajetória da luz causada pela atmosfera da Terra prejudicando as observações. A "janela óptica" da luz visível é bastante limitada, correspondendo a uma faixa bastante estreita do espectro eletromagnético. Por outro lado, há vários corpos celestes no Universo que emitem radiações em comprimento de ondas não visíveis aos olhos humanos, como por exemplo, raios-X, raios gama e inclusive ondas de rádio. Como a "janela de rádio" é muito mais larga que da "janela óptica" os radiotelescópios captam sinais emitidos em uma dada radiofrequência e conseguem obter informações de objetos mais distantes do Universo que os telescópios óticos (Lattari; Trevisan, 2001).

COLISÕES DE ASTEROIDES

A entrada de meteoróide na atmosfera terrestre é um evento frequente, mas a de asteroide ocorre eventualmente. Os asteroides pequenos (ou meteoróide), com diâmetros inferiores a 100 m e material de baixa coesão, não representam perigo grave para o planeta, pois ao entrarem na atmosfera são desintegrados devido à ação da resistência do ar. Alguns resistem a esta ação natural e caem na superfície da Terra. Aparentemente, os casos mais frequentes de queda são no deserto ou no mar. As evidências são decorrentes

dos meteoritos resgatados; entretanto, corpos de média proporção (>100 m de diâmetro) representam perigo considerável, se caírem em regiões urbanas. Um asteroide de 140 m pode causar um tsunami, se cair no mar. Os danos do impacto de um asteroide (>1 km de diâmetro) poderão ser de pequena proporção até a extinção total da vida na Terra assim como, supostamente, aconteceu com os dinossauros.

O conceito de vida, do ponto de vista da ciência, é bastante complexo, posto que a ciência tem evoluído, mas a compreensão de como a vida surgiu no planeta Terra ainda é um tema amplamente debatido, nos diversos campos do conhecimento científico, como: Astronomia, Biologia, Química, Geologia, entre outras ciências. Graças à complexidade desse assunto, novas áreas científicas surgiram, a exemplo da Astrobiologia, com o propósito de prestar sua contribuição. A Astrobiologia é uma ciência que tem a finalidade de estudar a origem, evolução e a distribuição da vida no Universo.

A Geologia divide a história do planeta em grandes intervalos de tempo, a saber: Pré-Cambriano, Cambriano e Ordoviciano. Entre estes há outros intervalos intermediários ou de transição. Estima-se que a vida evoluiu para organismos complexos como os atualmente existentes nos últimos 540 milhões de anos, a partir do período Cambriano, quando a atmosfera já estava protegida dos efeitos da radiação. Esta hipótese revela que o planeta passou por, pelo menos, cinco grandes extinções. Os motivos mencionados são diversos: dilúvio basalto (vulcanismo intenso), impactos de cometas e asteroides, entre outros. Em cada um desses eventos, a Terra passou por severas transformações, tanto do ponto de vista físico, como: mudanças nas massas líquidas, formação de geleiras e alteração no nível do mar, modificações das massas continentais, formação da Pangeia, e também transformações dos gases (desbalanceamento de CO_2), entre outras modificações. Regis-

tros de fósseis indicam que já havia floresta, trilobites, anfíbios, ou seja, existiam algumas espécies de vida. Em todos esses eventos catastróficos houve extinção, modificação e readaptação da vida existente. Pesquisadores levantam a hipótese de que a penúltima devastação foi no Triássico (há 252 milhões de anos), onde ocorreu a primeira extinção de algumas espécies de dinossauros (theropoda, prosauropoda e ornitísquios). Nesse período houve a desintegração da Pangeia, formando os atuais continentes. Uma das hipóteses possíveis foi a ocorrência de dilúvio basalto, que causou a mudança climática, mas com efeito moderado. A última extinção, uma das mais catastróficas, ocorreu no período Jurássico (há 65 milhões de anos) com a extinção quase que total das últimas espécies de dinossauros (pterossauro, plesiosauria).

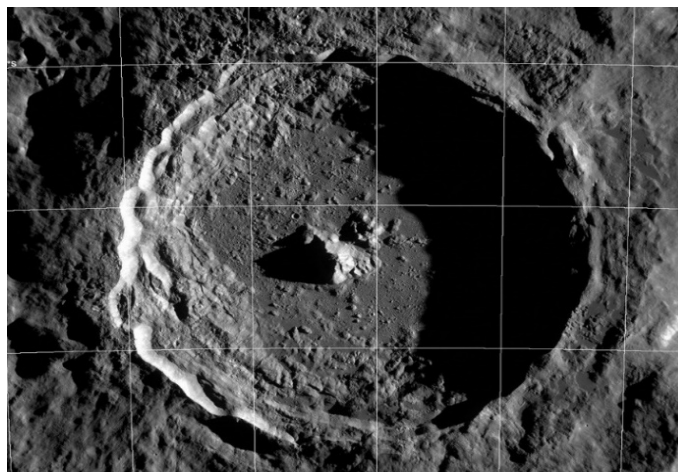
O debate sobre a extinção dos dinossauros caminha por várias hipóteses, a mais consensual pela comunidade científica é a da entrada de um meteoro na Terra, no final do período Jurássico. Acredita-se que na ocasião um asteroide de, aproximadamente, 10 km de diâmetro caiu na península de Yucatán, onde atualmente é conhecida como o Golfo do México. Uma das evidências do acontecimento é uma cratera submarina, de 180 km de diâmetro, denominada Cratera Chichulub, localizada numa pequena cidade do México de nome Chichulub. O impacto dos fragmentos do asteroide foi tão grande que levantou toneladas de poeira, que ficou suspensa na atmosfera, bloqueando a luz do Sol por muito tempo. A consequência desse evento catastrófico foi o impedimento da realização de fotossíntese e a queda de temperatura do planeta, ocasionando um período denominado Era Glacial, extinguindo os dinossauros do Planeta. Apesar dos eventos catastróficos, de altíssima energia geológica e astronômica, a extinção total da vida na Terra é, praticamente impossível, pois há vida em quase todos os lugares do planeta, em vários níveis de complexidade (Galante *et al.*, 2016).

EVIDÊNCIAS DE COLISÃO DE ASTEROIDES

Várias evidências de queda de meteorito em diversas regiões já foram documentadas, no Planeta e fora dele. O interesse sobre esses eventos tem despertado a atenção dos cientistas, tanto das agências espaciais quanto dos institutos de pesquisas das universidades, como Universidade do Kansas, no estado do Kansas (EUA), o Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (IAG-USP), no Brasil, entre outras. Seguem alguns exemplos de tais eventos documentados em algumas pesquisas:

Cratera Tycho (cratera lunar): localizada no hemisfério sul da Lua, formada por um asteroide de 10 km de diâmetro, evento acontecido por volta de 100 milhões de anos. Ela tem, em média, 85 km de diâmetro, com 4.800 metros de profundidade e um pico central de 2,0 km, a Figura 54 é a imagem da cratera lunar no hemisfério sul da Lua.

Figura 52 – Cratera lunar nomeada por Tycho, homenagem ao dinamarquês Tycho Brahe



Fonte: *Crateras [...]* (2013).

Cratera de Barringer: localizada no estado do Arizona, nos EUA. Ela surgiu devido ao impacto de um meteorito metálico de 40 a 45 metros de diâmetro, que atingiu a Terra há 50 mil anos. Estima-se que sua velocidade era de 40 mil km/h, deixando um buraco de 1 km de diâmetro. O impacto provocou a energia de uma bomba de hidrogênio de, aproximadamente, 10 megatons, Figura 55. Dentro dela cabem as três pirâmides do Egito e a Esfinge.

Figura 53 - Cratera Barringer no deserto do Arizona EUA, tem 1.200 metros de diâmetros por 170 de profundidade



Fonte: Nascimento (2018).

Cratera da Colônia: localizada no bairro Parelheiros, zona sul de São Paulo, foi criada com o impacto de um meteorito de, aproximadamente, 200 metros de diâmetro, entre 5 a 35 milhões de anos, formando uma cratera de 3,6 km de diâmetro, aproximadamente 300 metros, de profundidade, e 120 metros de borda soerguida, veja a Figura 56 (Silveira, 2017).

Figura 54 - Cratera da Colônia, São Paulo, o círculo branco demarca a cratera que tem 3,6 quilômetros de diâmetro e cerca de 300 metros de profundidade



Fonte: Silveira (2017).

METEORITOS BENDEGÓ E CHELYABINSK (COLISÕES SIGNIFICATIVAS MAIS RECENTES)

Os vestígios têm apontado que, até o momento, a maior incidência da entrada de asteroides ou meteoroides na atmosfera terrestre são nas regiões desérticas e oceânicas, devido à vasta extensão territorial da superfície do Planeta. Contudo, a penetração desses corpos no Planeta, pode ocorrer em qualquer região, inclusive em zonas urbanas. Assim sendo, o Brasil também tem registrado achados de meteoritos, sendo que o mais famoso deles é o meteorito de Bendegó.

Aproximadamente, 57 peças que compunham o mais famoso meteorito brasileiro, foram catalogadas, pelos especialistas da Geociência. A peça principal tem massa de 5.360 kg. O Meteorito de Bendegó foi encontrado em 1784, no sertão da Bahia, na atual cidade

de Monte Santo, no leito do Riacho Bendegó. Este famoso evento aconteceu ainda no reinado de D. Maria I e do governador baiano D. Rodrigues José Menezes. A identidade da pessoa que encontrou o meteorito ainda gera dúvidas, pois dois nomes são citados nos registros e são eles: Bernardino da Mota Botelho e Domingos da Mota Botelho.

O artefato original está exposto no Museu Nacional, porém há três réplicas de tamanho real: uma em Paris (*Palais de la Découverte*), outra em Monte Santo (Museu do Sertão) e a última em Feira de Santana (Observatório Antares, Museu de Ciência e Tecnologia, veja Figura 57). Sua constituição é de siderito (F_e-N_i), liga de ferro e níquel. O meteorito Bendegó está classificado como o 16º dos meteoritos mais massivos já catalogados. Provavelmente, devido às condições de tecnologia disponíveis e ao espaço tempo para encontrá-lo, depois da queda, não se tem registro da dimensão da cratera causada pelo seu impacto, mas documentos indicam que foi mapeada uma área de $12km^2$ para coletar seus fragmentos.

Figura 55 – Réplica do Meteorito de Bendegó que foi encontrado no sertão baiano em 1784 (e outros meteoritos menores), expostos no Observatório Antares em Feira de Santana (BA)



Fonte: Meteorito [...] (2018).

O Meteorito de Bendegó foi ignorado no local de sua queda por mais de cem anos. Só em 1887 que a Sociedade de Geografia do Rio de Janeiro, no final do II Império do Brasil, coordenou uma expedição, sob a chefia de José Carlos de Carvalho, para transportá-lo até a sede da corte do Imperador. A ousada façanha foi iniciada em 7 de setembro de 1887 e concluída, com sua chegada no Rio de Janeiro, em 15 de junho de 1888. Segundo Carvalho (2011 *apud* Carvalho, 1888/1928/1995)³⁰ o meteorito para chegar ao seu destino foi transportado por ferrovia, navio e carroça até a Corte do Império, como mostra a Figura 58. A permanência do Meteorito de Bendegó na floresta por mais de um século evidencia o descaso ou a falta de interesse pelo conhecimento científico que tal artefato poderia traduzir para a comunidade acadêmica brasileira (Carvalho *et al.*, 2011).

Figura 56 – Meteorito Bendegó sendo transportado por carroça, do local onde foi encontrado, para a estação da Ferrovia



Fonte: Meteorito [...] (2018).

Em 30 de junho de 1908, na região de Tunguska, na Sibéria, um asteroide ou um cometa (não foi possível identificá-lo com precisão) de aproximadamente 100 mil toneladas explodiu na atmosfera (*airburst*), devastando cerca de 2.000 km² de floresta, destruindo a fauna e a flora locais. A temperatura local, estima-se, teve aumento de 2.000 graus Celsius. Outro evento semelhante aconteceu em 12 de fevereiro de 1947, na cadeia de montanhas Sikhote-Alin, perto de Vladivostok, também na Sibéria. Um asteroide de aproximadamente 100 toneladas se desintegrou no ar, deixando mais de 106 crateras, com aproximadamente 28 metros. Mais de 28 toneladas de meteoritos oriundos do referido corpo foram recuperadas.

A queda mais recente de um asteroide, noticiada, ocorreu em 15 de fevereiro de 2013, na Rússia, região de Urais, na cidade de Chelyabinsk, às 09 h 20 min 26 seg (hora local). Moradores de alguns locais da Rússia e do Cazaquistão viram uma “bola-de-fogo” cruzar o céu e explodir sobre a cidade de Chelyabinsk (Figura 59).

Figura 57 - “Bola de fogo” (bóido) referente ao meteoro passando próximo à estrada de Kostanai na cidade de Chelyabinsk, Rússia



Fonte: Barbosa (2016).

Estima-se que antes da explosão o asteroide tinha aproximadamente 10 mil toneladas de massa e 17 metros de diâmetro. Tal objeto liberou, na explosão, energia equivalente a 500 quilotons. Para efeito de comparação a bomba lançada em Hiroshima liberou 13 quilotons de energia. Logo, pelos dados estimados a energia liberada pelo referido asteroide foi aproximadamente 38 vezes maior.

Figura 58 – Buraco, de seis metros no lago gelado, provocado pelos fragmentos do asteroide que superou à resistência da atmosfera



Fonte: Meteorito [...] (2013).

Após a explosão, vários fragmentos caíram no lago Cherbarkul, situado na a proximidade Chelyabinsk, Rússia. A Academia de Ciências da Rússia estimou que a explosão ocorreu entre 30 a 50 km de altitude e a 6 km da cidade de Chelyabinsk, e entrou na atmosfera com uma velocidade de 108.000 km/h. foram encontrados pedaços dos fragmentos do asteroide, que adentrou atmosfera superando a ação da gravidade, a uma distância de 70 km do local, abrindo uma cratera de 6 metros de diâmetro no lago, conforme mostra a Figura 60. Há registros de que a onda de choque quebrou várias portas e janelas das residências da cidade. Em razão do acontecimento, pelo menos 1.200 pessoas necessitaram

de cuidados médicos e foram encaminhadas para o hospital de Oblast em Chelyabinsk. O meteorito recebeu o nome da cidade Chelyabinsk e está exposto no museu de mesmo nome, conforme mostra a Figura 61.

Figura 59 – Meteorito de Chelyabinsk em exposição no museu de mesmo nome, na Rússia



Fonte: Estudo [...] (2014).

As ciências espaciais vêm desenvolvendo e testando técnicas para desviar a órbita, ou amenizar os efeitos catastróficos, de um possível asteroide que venha a entrar em rota de colisão com a Terra, ameaçando a vida terrestre. Esses recursos são denominados de mitigação (que veremos em seção específica). A Nasa e a ESA têm em seus bancos de dados a relação de vários asteroides, alguns com potencial risco de entrar em colisão com a Terra, denominados NEO (Estudo [...], 2014).

COMETAS

Por alguma razão, vários povos tinham especial dedicação à contemplação do céu. Registros indicam que as observações de cometas pelos chineses datam a partir de 1054 A. E. C. A dedicação em observar estes corpos celestes concedera-lhes vários registros significativos, até após 1600 E. C. No ocidente, as ideias referentes aos cometas foram comentadas, também no período medieval, inclusive na contemporaneidade dos filósofos e astrônomos Aristóteles e Ptolomeu. A visão que se tinha, naquela época, sobre os cometas era diferente da que se tem atualmente, acreditava-se que estes objetos eram portadores de mensagens de um deus punitivo e castigador da humanidade. Eles ainda não sabiam explicar a causa de tal fenômeno, que cruzava o céu oferecendo um espetáculo magnífico, visível à noite, a olho nu (Figura 62).

Figura 60 - Imagem de um cometa cruzando o céu com sua cauda

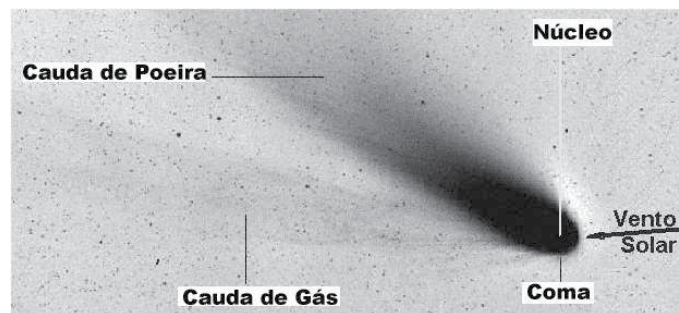


Fonte: Por que [...] ([2019]).

Hoje, sabemos que cometas são corpos menores que orbitam o Sistema Solar; seu nome vem do latim *cometes*, que foi importado do idioma grego *koinê*, que significa "cabeleira da cabeça". Os cometas são bastante pequenos, é difícil vê-los por meio de telescópios comuns, sendo bem mais visíveis quando se aproximam do Sol.

Os cometas são formados por uma mistura de gelo e poeira, Whipple os nomeou de "bola de gelo sujo" em 1950. Quando eles se aproximam do Sol, a camada de gelo que envolve o núcleo entra em estado de sublimação (mudando do estado sólido para o gasoso), em torno do cometa forma-se uma nuvem de gás e poeira, chamada coma, a parte sólida e gelada é identificada como o núcleo do cometa (Figura 63). O vento solar, fluxo de partícula carregada a partir do Sol, bafeja o gás e a poeira formando uma cauda, que aponta no sentido oposto ao Sol e pode se estender até 1 UA.

Figura 61 - Representação de um cometa com suas partes identificadas



Fonte: *Cometas* ([2019?]).

Os cometas, normalmente, podem ter duas caudas: uma mais longa, curva e amarelada, devido a poeira, e seu brilho se deve ao fato de emitir o reflexo da luz solar na poeira; outra reta e azulada em razão do gás, e seu brilho é por causa da emissão do monóxido de carbono ionizado. Também pode ser vista uma anticauda, isto é, uma cauda no sentido do Sol. Cabe esclarecer, que a visão espetacular de um cometa depende da posição do observador na Terra

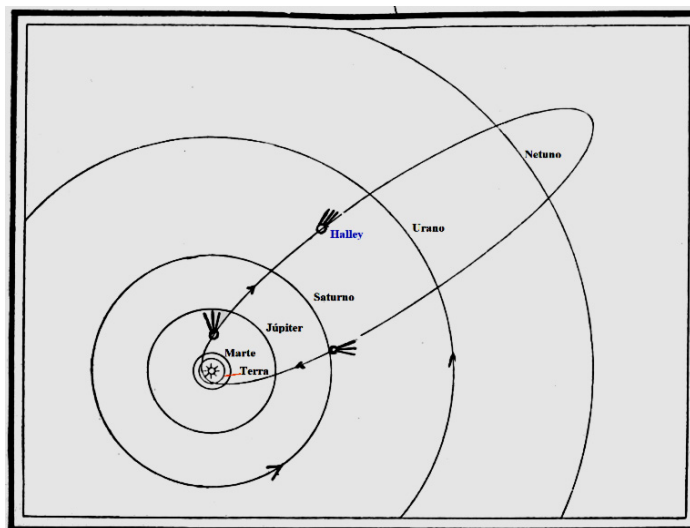
em relação ao Sol, e do local de onde ele esteja no momento de sua passagem. Este é um dos motivos pelos quais alguns não poderão ser vistos de qualquer lugar do planeta.

Determinar a órbita dos cometas sempre foi uma das tarefas mais trabalhosas para os astrônomos e matemáticos do século XVIII e assim permaneceu até os séculos seguintes. Depois da contribuição de vários astrônomos, a solução para a realização de cálculos mais simplificados foi dada em 1797 e 1799, pelo médico e astrônomo alemão, Heinrich W. Matthins Olbers (1758-1840) e pelo astrônomo português, José Monteiro da Rocha (1734-1819). No ano de 1986 um cometa passou na vizinhança do nosso Planeta: o cometa Halley. Foi atribuído este nome ao cometa, para homenagear o astrônomo britânico Edmond Halley (1656-1742), que foi um dos pioneiros a teorizar que cometas são corpos de passagem periódicas e previu que em 1758 um cometa passaria pelo Sistema Solar.

Usando o método de Newton, Halley calculou a órbita de 24 cometas e descobriu que os cometas vistos nos anos de 1531, 1607 e 1682 se tratavam do mesmo cometa, o qual possuía órbitas similares. Ele concluiu que esse e outros cometas não eram objetos novos, e sim os mesmos que retornavam depois de um certo período. Concluiu que o período estimado para o cometa Halley é de 75 a 76 anos e, nesse caso, presume-se que seu retorno (passando próximo da Terra) será no ano 2061 (Figueiredo, 2005).

A Figura 64 representa a órbita do cometa Halley em torno do Sol em 1986. Ele se move em regiões mais externas do sistema planetário, além da órbita de Netuno, até o sistema solar interior. As setas indicam que a órbita do cometa Halley é retrógrada, ou seja, ele gira em torno do Sol em sentido contrário a todos os outros planetas. Isto indica que o cometa "caiu" em direção ao Sol, em sua primeira órbita, há dezenas de milhares de anos, posteriores à formação do sistema planetário (Soares, 2016).

Figura 62 – Órbita do cometa Halley em sua passagem próxima à Terra em 1986



Fonte: Soares (2016).

DIFUSÃO DAS PRIMEIRAS TECNOLOGIAS

A história das ferramentas, das máquinas e das tecnologias têm forte relação com a História da Ciência, dado que a ciência é uma produção humana, o desenvolvimento da tecnologia caminha junto com a evolução da humanidade. Embora não haja registros escritos dos indícios das primeiras máquinas produzidas pela humanidade na pré-história, existem as evidências diretas e indiretas das transformações de objetos encontrados na natureza pelos seres humanos. Como exemplo, podemos citar as lascas de pedras utilizadas como ferramentas e as representações das pinturas rupestres etc. Desde a pré-história os seres humanos, de alguma forma, têm produzido peças cada vez mais elaboradas e eficientes como os primeiros instrumentos de pedra, de metais, até chegar às máquinas simples.

No contexto da revolução pré-industrial, diversos personagens inventores se destacaram, como por exemplo o pintor Leonardo Da Vinci (1452-1519), dentre as suas invenções, tem-se a máquina de moagem para moer as substâncias que usava em suas tintas. Outro importante inventor, James Watt (1736-1819) que aperfeiçoou, ou inventou, a máquina a vapor. Rudolf Diesel (1858-1913) foi outro importante inventor, desenvolveu o motor a combustão de pistão, atualmente dominado motor a diesel. Foram várias invenções até a era industrial, mas a passagem da energia humana, hidráulica e animal para a motriz, foi o ponto culminante para o início da evolução tecnológica e econômica. Outro passo importante para a evolução industrial foi a automação, introduzida na indústria no início de 1800 pelo francês Joseph Marie Jacquard (1752-1834), ao inventar um tear mecânico com leitura automática de cartão. A partir de então, as máquinas têm auxiliado, e as vezes substituído, o ser humano, gradativamente.

Figura 63 – Uma das primeiras lâmpadas inventadas no final do século XIX (1876)



Fonte: Moraes e Abreu (2006, p. 35).

Com o domínio da eletricidade, as lâmpadas a óleo e a gás foram substituídas pelas lâmpadas elétricas (Figura 65), inventadas por Thomas A. Edson (1847-1931), sendo mais uma influência para estimular o desenvolvimento industrial. A produção e a distribuição de energia elétrica por Thomas Edson, no século XVII e as tecnologias da comunicação, mobilizaram transformações econômicas e políticas. Pois, graças ao telefone, inventado em 1876 por Alexandre Graham Bell (1847-1922), a comunicação a longa distância por meio das máquinas foi iniciada. Em seguida foi a vez da máquina de calcular, inventada em 1823 por Charles P. Babbage e a máquina de escrever, cujo inventor foi Christopher L. Sholes, em 1867. As máquinas antecessoras do computador, construído por Konrad Zuse (1910-1995), entre 1935 e 1938. Alguns desses desenvolvimentos tecnológicos, configuraram um ensaio para a invenção do primeiro computador eletromecânico programável a fita, chamado Z1, uma máquina revolucionária para o contexto.

O desenvolvimento científico e tecnológico acompanha as mudanças da história, interferindo na vida das pessoas e no curso da economia global. Alguns pesquisadores consideram que após a segunda guerra mundial, no contexto da Guerra Fria, foi a era do desenvolvimento da tecnologia espacial. Essa afirmação se baseia no impulso científico depois dos dois principais eventos espaciais daquela época. Estes dois eventos são: o lançamento ao espaço do primeiro satélite artificial, o Sputnik 1 em 1957, e da primeira viagem espacial tripulada à Lua, em 1969. Após esses dois acontecimentos, novas tecnologias vêm impactando a sociedade com relevantes serviços. Desde então, vários produtos criados com a finalidade de atender às viagens espaciais têm contribuído com inúmeros benefícios, direta e indiretamente, na medicina, na telecomunicação, entre outras áreas. Para realizar as missões espaciais tripuladas ou não, foi necessário realizar várias pesquisas e desenvolver produtos, para garantir a integridade da tripulação e o sucesso da missão.

As agências espaciais de diversos países têm como missão explorar o espaço, mas para que seus objetivos tenham êxito, elas necessitam envolver-se em diversas pesquisas. Sempre que uma missão espacial é planejada, novos conhecimentos são gerados, devido à gama de pesquisas envolvidas. Aparentemente, os resultados desse árduo trabalho são intangíveis ao cotidiano da sociedade civil, mas o retorno do investimento à sociedade é significativo. Alguns produtos como: calçados esportivos, GPS, termômetros auriculares, óculos resistentes a impactos, entre outros, foram desenvolvidos durante as missões espaciais. Para Neil Armstrong e Buzz Aldrin permanecerem na superfície lunar por 2 horas e 31 minutos, praticamente, todos os equipamentos foram inventados ou aperfeiçoados para este feito, desde a sola de suas botas a computadores de bordo, usados na comunicação entre a base de comando e os astronautas.

Depois dessa fantástica missão, a ciência estadunidense expandiu-se, extraordinariamente, e os países que investem em tecnologia espacial também têm obtido significativos avanços científicos e industriais, pois esse é um tipo de pesquisa que influencia todas as áreas do conhecimento, gerando produtos tecnológicos que retornam beneficiando à sociedade. Quando alguém está fazendo exame de rastreamento de carcinoma da mama, cirurgia por meio de robô, ou usando aparelhos ortodônticos, controles remotos, entre outros, não imagina que essa tecnologia foi desenvolvida, durante as missões espaciais. Graças a essa interação, a sociedade, o saber científico e as tecnologias se desenvolvem, simultaneamente. A relação e os impactos da tecnologia espacial na sociedade são os assuntos que serão discutidos nas próximas seções (Borges, 2013; Abreu, 2006; Cury; Copobianco, 2010).

A INFLUÊNCIA DA TECNOLOGIA ESPACIAL NA SOCIEDADE

Durante muito tempo, a Astronomia se ocupou de medir a posição dos astros, tentando compreendê-los e interpretar suas leis. Esta fase foi importante, pois contribuiu para os astrônomos acumularem bastante conhecimentos e prestar significativas contribuições para a humanidade.

Para compreender a natureza física dos astros é necessário saber mais que a sua posição, com o propósito de ampliar as informações sobre os astros os astrônomos incorporaram alguns instrumentos espaciais, como os telescópios. Graças ao uso de novas tecnologias é possível obter várias informações sobre o Universo, tais como descobrir novas galáxias, saber quais os tipos de estrelas existem nelas, e mensurar temperatura, massa, luminosidade, idade de formação etc.

Este salto tecnológico da Astronomia tem início com a conquista do espaço, pelo o homem, pois a exploração do espaço passou a exigir tecnologias espaciais cada vez mais robustas, para atender ao desejo de desvendar os mistérios do Universo. Assim, outras áreas do conhecimento foram criadas, como por exemplo a Astrofísica, a Astrobiologia e outras; para estudá-lo por meio de leis e conceitos da Física, tais como: luminosidade, densidade temperatura, composição química, das estrelas, galáxias e meio estelar. Depois do lançamento do primeiro satélite artificial ao espaço, as novas tecnologias espaciais expandiram a sua eficiência e têm prestado inúmeros serviços à sociedade. Nas próximas seções serão abordados outros aspectos da tecnologia espacial e da Astronomia na sociedade: incluindo importantes contribuições e influências, promovendo desenvolvimento em diversos níveis, bem como, os impactos positivos e os nocivos, como a alteração do ambiente espacial no entorno da Terra.

VOAR: DO SONHO A REALIDADE

O sonho de voar, para a humanidade, não é recente. Esse desejo persegue o homem desde tempos remotos, por volta do século IV A. E. C. as narrativas épicas já versavam ideias de viagens escapando dos limites da Terra em direção ao espaço. O próprio Marco Túlio Cícero (106-43 A.E.C.) escreveu em seu livro *A República* (entre 54 e 51 A. E. C.), sobre um homem que viajou pelos cinco planetas existentes. Até o famoso Johannes Kepler (1572-1630) relatou em sua obra *Somnium* (1634) sobre uma viagem que fizera à Lua num sonho (Winter; Melo, 2007). Mas, de todas as obras de ficção a que mais se aproximou, de fato, da realidade foi a do escritor francês, Júlio Verne (1828-1905), considerado o inventor da ficção. Em 1865 ele publicou um romance, *De La Terre à la Lune* (1865), descrevendo uma viagem à Lua. Seu conto foi tão rico em detalhes técnicos que influenciou às gerações que se dedicaram às pesquisas na Astronáutica. A ficção de Verne só se tornou realidade 103 anos depois, com a ida do primeiro homem à Lua (Winter; Melo, 2007).

Antes dos primeiros veículos ultrapassarem a atmosfera terrestre, a ciência Astronáutica prestou enorme contribuição no desenvolvimento de motores. Para se colocar um satélite no espaço é necessário dispor de naves e foguetes espaciais, chamados veículos de lançamento, mas isso só foi possível com o desenvolvimento dos motores de reação a combustíveis potentes. Essa tecnologia, efetivamente, só se tornou possível no início do século XX. Os estudos teóricos e práticos sobre foguetes foram desenvolvidos com a contribuição de, pelo menos, quatro cientistas: o russo Konstantin Eduardovich Tsiolkovsky (1857-1935), o americano Robert Hutchigs Goddard (1882-1945), o romeno de ascendência alemã Hermann Julius Oberth (1894-1989) e o alemão Werner Magnus Maximilian von Braun (1912-1977).

O desenvolvimento da ciência Aeronáutica contou com a participação de vários cientistas importantes, tanto do lado dos estadunidenses como dos russos. Von Braun e sua equipe trabalharam em diversos projetos para as forças armadas dos EUA e para a NASA, inclusive nos foguetes Saturno e no Projeto Apollo, que levou o homem à Lua. Do lado soviético pode-se destacar o engenheiro Sergei Pavlovitch Korolev (1907-1966). Em 1946, Korolev trabalhou simultaneamente no desenvolvimento de mísseis nucleares balísticos e foguetes capazes de levar cargas ao espaço. As contribuições de Korolev para a Astronáutica russa foram inúmeras, por exemplo, ele participou do desenvolvimento do Sputnik, no primeiro voo de um homem ao espaço, primeiro pouso lunar de uma sonda etc. (Winter; Melo, 2007).

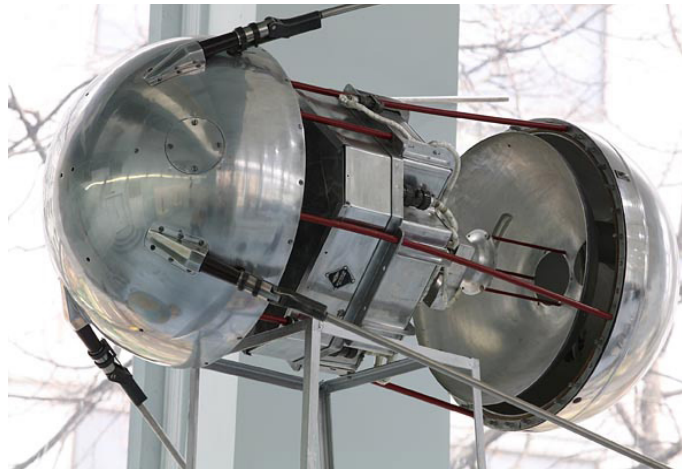
PROJETOS PRÉ-LUNARES

Depois da Segunda Guerra Mundial (1939-1945), a bipolaridade política entre os Estados Unidos da América (EUA) e União das Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS), contribuiu para o desenvolvimento da ciência e da tecnologia espacial. Nesta fase as relações políticas e diplomáticas entre os dois países eram tensas. Historicamente, este episódio é denominado por alguns como Guerra Fria. Conquistar o espaço era símbolo de força e hegemonia. A princípio, o projeto de conquista do espaço estava centrado na disputa de poder entre os dois blocos. De um lado os defensores do socialismo (a URSS) e do outro os defensores do capitalismo e da democracia (os EUA). Conquistar o espaço a partir de uma competição entre russos e norte-americanos, demonstraria poder político e domínio científico espacial.

O primeiro lançamento espacial realizado pela URSS foi em 4 de outubro 1957, o Sputnik 1, a Figura 66 é imagem do primeiro satélite artificial aparentando uma esfera. O primeiro satélite foi ao espaço e orbitou a Terra por 22 dias. Sua órbita foi uma elipse com uma altitude

de perigeu (ponto mais próximo da Terra) de 230 km e apogeu (ponto mais distante da Terra) de 950 km, período de 96 minutos e plano orbital com 65° em relação ao equador da Terra. Em 4 de novembro do mesmo ano, para marcar a comemoração da Revolução, a URSS lançou o segundo satélite, o Sputnik 2, ficando em órbita por 162 dias. Este maior, já com uma massa de 508 kg, foi o primeiro veículo espacial a levar um ser vivo ao espaço. Transportou uma pequena cadela chamada Laika, recolhida nas ruas de Moscou. Os resultados dessa missão não foram bem explicados, pois a cadela sobreviveu por mais ou menos 10 dias em órbita, morrendo devido ao superaquecimento do módulo que ocupava. Essa informação só foi divulgada alguns anos depois, sem muito esclarecimento, pois os russos não tinham interesse em divulgar o reconhecimento de falhas no projeto. Esta não seria a primeira vez que animais teriam sido enviados ao espaço. Tanto a URSS quanto os EUA já haviam realizado missões semelhantes, em regiões suborbitais, isto é, em pequenas altitudes.

Figura 64 – Sputnik 1 com a cúpula aberta, primeiro satélite russo lançado ao espaço em 1957



Fonte: Foto [...] (2007).

As notícias do exitoso lançamento do Sputnik causaram inquietação e insegurança nos EUA, que supuseram que a URSS detinha, no momento, maior poder tecnológico. Este evento gerou uma crise na comunidade científica espacial dos Estados Unidos. A reação imediata foi lançar um foguete, implementado no projeto Vanguard, em 6 de dezembro de 1957. Porém, o resultado foi decepcionante, pois após o artefato subir a um metro da plataforma, desintegrou-se em chamas. Com o insucesso do projeto Vanguard, as forças armadas norte-americanas colocaram em execução o Projeto Explorer, que só teve êxito depois de dois lançamentos abortados. O primeiro lançamento bem-sucedido dos EUA foi em 31 de janeiro de 1958, do satélite Explorer I (ou Satélite 1958 Alpha). O veículo conduziu um contador Geiger para medir a radiação ao redor da Terra (Winter; Melo, 2007).

Os dados obtidos com o contador Geiger, serviram para verificar a existência do campo magnético em torno da Terra, descobrindo uma região onde ocorrem várias atividades atmosféricas, devido à concentração de partículas carregadas, procedente do Sol. Atualmente, esta região é denominada Cinturão Van Allen, em homenagem ao físico James Van Allen, que construiu o contador Geiger. Estes foram os primeiros projetos espaciais dos EUA e foram coordenados pela Naca (*National Advisory Committee for Aeronautics*). Essa agência foi a precursora da Nasa (*National Aeronautics and Space*), criada em 29 de julho de 1958.

A primeira missão espacial russa desencadeou mudanças significativas no campo científico-tecnológico, visto que a superioridade tecnológica do seu rival, no momento, representava uma ameaça, tanto do ponto de vista da segurança nacional militar, quanto no aspecto econômico. Este evento gerou uma crise, fazendo com que houvesse várias mudanças em diversas organizações e na educação estadunidense. A partir de então, o Conselho Nacional de Pesquisa (NCR) e a *National Science Foundation* (NSF) e outras organizações profissionais de Ciências e Matemática realizaram diversas conferências e encontros para revisar o currículo escolar dessas disciplinas dentre outras áreas do conhecimento. Vários programas

foram criados nesse sentido, enfatizando os conteúdos de: Física (*Physical Science Study Committee - PSSC*), Química (*Chemical Education Materials Study - Chm Study*), Biologia (*Biological Sciences Curriculum Study - BSCS*), e Ciências da Terra (*Earth Sciences Curriculum Project - ESCP*). Os EUA exportaram esse projeto educacional para outros países, inclusive o currículo do Ensino Médio brasileiro foi influenciado por esse programa, no final das décadas de 50 e 60 (Winter; Melo, 2007).

As principais características desses programas educacionais foram o uso da abordagem de atividade orientada na educação científica, com ênfase em Ciência da Natureza e Matemática aplicadas ao dia a dia ou aos problemas tecnológicos. Depois do lançamento do Sputnik, as mudanças na educação foram consideradas as maiores, na abordagem curricular, no movimento educacional. Algumas hipóteses confirmam que uma das intenções dos EUA, com tais interferências, era tentar impedir as influências socialistas nas Américas.

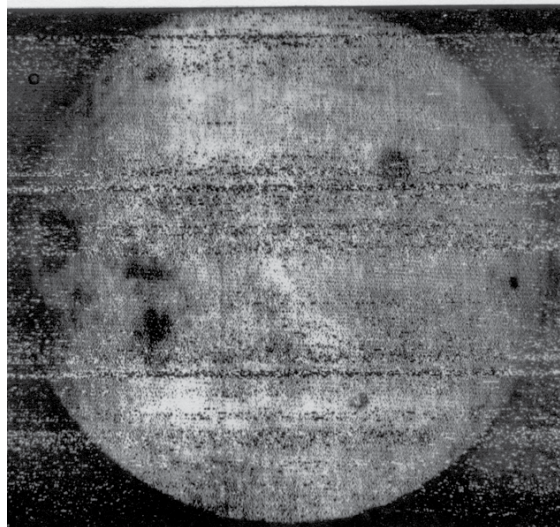
MISSÃO LUNAR

A primeira sonda dos EUA com o propósito de chegar à Lua foi a Thor-Able 1 (Pioneer 0), lançada em 17 de agosto de 1958. Mas uma falha no sistema de fornecimento de combustível nos motores do foguete causou uma explosão, impedindo seu lançamento. O audacioso projeto era uma tentativa dos EUA de se antecipar aos russos na corrida espacial, coincidindo com o evento do primeiro ano Geofísico Internacional, que aconteceu entre os anos 1957 e 1958. Porém, uma falha no sistema de controle de combustível do foguete que levaria a sonda Able 1 para o espaço causou uma explosão, 77 segundos após o lançamento, quando o foguete já estava aproximadamente a 16 km de altitude, as partes da fuselagem do foguete e da sonda caíram no oceano Atlântico (Winter; Melo, 2007).

Depois dos EUA lançarem o satélite Explorer I, a Rússia reagiu com o projeto Lunik. A primeira sonda lunar Russa foi a Lunik 1, lançada em 2 de janeiro de 1959. Foi o primeiro artefato humano a atingir a velocidade de escape da Terra. O objetivo da missão era colidir com a Lua, mas um atraso na ignição do foguete fez com que a sonda passasse próximo ao alvo, com uma diferença de 5.995 km da sua superfície. Contudo, a missão proporcionou informações importantes sobre o meio entre a Terra e a Lua. O lançamento da Lunik 2 em direção à Lua ocorreu em 12 de setembro de 1959. Esta foi a primeira nave espacial que conseguiu alcançar a superfície da Lua. Sua chegada à superfície lunar foi constatada, aproximadamente, 63 horas após o seu lançamento.

Em seguida, os russos lançaram a Lunik 3. Seu lançamento foi em 4 de outubro de 1959. A sonda sobrevoou a Lua no dia 6 de outubro, tirando cerca de 30 fotografias da face oculta da Lua. A Figura 67 é uma das primeiras fotografias da Lua tirada do espaço, algumas das quais foram divulgadas em 17 de outubro. Logo após, a sonda retornou e entrou na órbita terrestre. O projeto Lunik tornava cada vez mais possível a capacidade da URSS chegar primeiro à Lua. As missões que antecederam à primeira viagem que colocou o homem na Lua, foram relevantes para o sucesso das primeiras viagens espaciais tripuladas, uma vez que, elas serviram como fonte de informação e ensaio para este fim. Os resultados aproximavam, progressivamente, o ser humano do satélite natural da Terra.

Figura 65 – Foto da Lua tirada pela sonda soviética Luna 3 (Lunik 3), em 07 de setembro de 1959



Fonte: Murgic (1959).

As atividades desenvolvidas até então já tinham conseguido enviar animais para o espaço, bem como colocar satélites em órbita. Portanto as primeiras sondas enviadas ao espaço já haviam mostrado que o espaço poderia ser conquistado pelos humanos. Este era o novo desafio e os soviéticos foram os pioneiros. Em 12 de abril de 1961 o foguete Vostok decolou, levando a bordo um astronauta de 1,58 metros de altura, 69 kg e com 27 anos de idade, que ficou conhecido internacionalmente. Yuri Alekseyevich Gagarin, foi o primeiro homem a ir ao espaço, sua missão durou 108 minutos. Do espaço, ao olhar o planeta ele proferiu a seguinte frase: “A Terra é azul!”. Ele se tornou herói soviético e visitou vários países, tornando-se símbolo da capacidade tecnológica do regime socialista. Esteve no Brasil e foi condecorado com a medalha Cruzeiro do Sul, pelo Presidente Jânio Quadros (Figura 68).

Figura 66 – Yuri A. Gagarin primeiro cosmonauta a ir ao espaço, num foguete Vostok da antiga União Soviética



Fonte: Monteiro (2006-2024).

Os EUA também estavam desenvolvendo seus projetos com o mesmo objetivo de levar o homem à Lua. O primeiro cidadão estadunidense escolhido para tal missão foi Alan Bartlett Shepard Jr, em 5 de maio de 1961. Seu voo suborbital a bordo da Freedom 7, projeto Mercury, durou 15 minutos. Para os norte-americanos foi uma missão bem-sucedida.

Do outro lado, os russos não estavam parados. Em 7 de agosto de 1961, a URSS enviou seu segundo homem ao espaço, German Stepanovich Titov (1935-1990), na nave Vostok 2. Ele se tornou o terceiro homem a ir ao espaço. Este poderia ser considerado o primeiro voo espacial tripulado, pois Titov executou 17,5 órbitas ao redor da Terra e investigou os efeitos da falta de gravidade no organismo humano, por longo tempo. Depois destas duas e de outras viagens espaciais tripuladas, a União Soviética planejou enviar a primeira astronauta feminina e mais uma vez eles superaram os

norte-americanos nessa disputa pela conquista do espaço. A primeira mulher a realizar tal façanha foi Valentina Vladimirovna Tereshkova. A primeira *komsohabt*³¹ feminina foi ao espaço em 16 de junho de 1963 (veja na Figura 69). A missão dela foi na nave Vostok 6, permanecendo no espaço por mais de dois dias. Ela recebeu várias condecorações da União Soviética, tornando-se a presidente do comitê das mulheres soviéticas. Assim como Gagarin, ela se tornou membro do *Soviet Suprem* e foi eleita mulher do Século XX em 2001.

Figura 67 - Valentina, primeira mulher a ir ao espaço, ela era de cidadania russa e tinha 26 anos na época



Fonte: Valentina [...] (2020).

Depois das primeiras e bem-sucedidas missões tripuladas, iniciou-se outra fase, denominada Atividades Extra veiculares (AEV). Estes procedimentos consistiam em quaisquer serviços realizados por seres humanos fora de suas naves ou estações

espaciais. Isso incluía as realizadas sobre algum corpo celeste, caminhada no solo da Lua, por exemplo. A primeira AEV ocorreu em 18 de março de 1965, realizada pelo soviético Alexei Leonov. A primeira AEV dos EUA foi realizada em 3 de junho de 1965 pelo astronauta Edward H. White II, na missão Gemini IV, os estadunidenses não queriam ser superados pelos russos. A primeira AEV fora de Terra, em outro corpo celeste, foi realizada por Neil Armstrong, quando ele pisou no solo lunar, em 20 de julho de 1969 (Winter; Melo, 2007).

Chegar à Lua sempre foi um grande desafio, sendo superado após muitas pesquisas e o desenvolvimento da ciência e tecnologia espacial poderosa. Para superar este desafio, os EUA colocaram em prática o Programa Apollo, cujo objetivo era levar o homem à Lua. A dimensão deste programa envolveu 40 mil pessoas, incluindo indústrias, universidades e centros de pesquisas, gerando um dispêndio de 136 milhões de dólares (valores atualizados em 2006). A primeira missão que realmente colocou o primeiro homem em solo lunar foi planejada minuciosamente pela equipe do projeto. A nave espacial que finalmente concluiu a missão foi a Apollo 11. Sua tecnologia foi planejada para ser capaz de ir até a Lua e voltar, trazendo os astronautas em segurança; sua tripulação total foi de três astronautas: Niel Armstrong (comandante), Edwin 'Buzz' Aldrin (piloto do módulo lunar) e Michael Collins (piloto do módulo de comando), veja na Figura 70. A Apollo 11 foi lançada em 16 de junho de 1969 da base de lançamento 39 em Cabo Kennedy, em direção à Lua (Macau, 2007).

Figura 68 – Os astronautas que participaram da primeira viagem à Lua, em 1969 na espaçonave Apollo 11 (Armstrong, Collins e Aldrin)



Fonte: Apollo 11 ([2019]).

Figura 69 – Aldrin em solo lunar olhando para a Terra

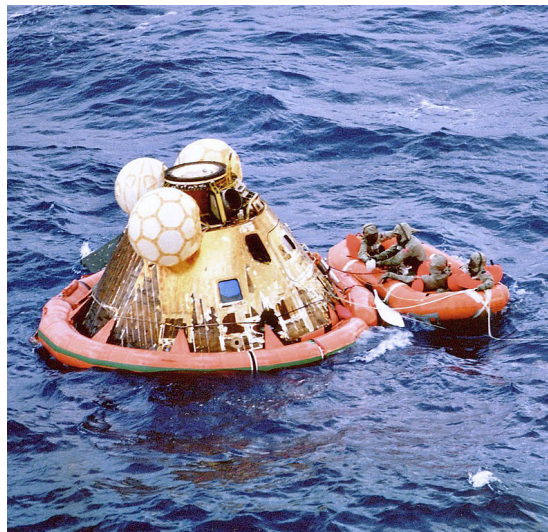


Fonte: Beaumont (2014a).

Em 19 de junho, a Apollo 11 passou pelo lado “oculto” da Lua e se preparou para entrar em órbita. Em 20 de julho, Armstrong eternizou-se como sendo o primeiro homem a pisar, literalmente, no solo da Lua (Figura 71). O local escolhido para o pouso (ou alunissagem) da nave foi uma região denominada Mar da Tranquilidade, um local relativamente plano e previamente mapeado por sondas não tripuladas. Quando o módulo lunar (LM) pousou na Lua, Armstrong proferiu a seguinte frase: “Houston, aqui é a Base da Tranquilidade. A Águia pousou” (Macau, 2007). Seis horas depois do pouso ele abriu a escotilha da LM, desceu as escadas, pisou no solo lunar e disse a frase histórica: “Este é um pequeno passo para o homem, mas um gigante salto da humanidade” (Macau, 2007). Depois de 2 horas e 31 minutos explorando as vizinhanças do local de pouso, eles coletaram 21 kg de rochas, instalaram alguns instrumentos e fizeram experiências diversas; ao finalizarem as tarefas voltaram para o LM. O módulo permaneceu na Lua por 21 horas e 36 minutos e decolou em direção ao módulo de comando (Macau, 2007).

A missão dos norte-americanos foi concluída e testemunhada por 600 milhões de pessoas, pois eles conectaram uma câmera de TV no Módulo Lunar e em vários lugares da Terra esse importante acontecimento pôde ser assistido. Em 24 de junho, o Módulo de Comando desceu no Oceano Pacífico a 2.660 km ao leste de *Wake Island* (Ilha Wake) e os desbravadores da Lua foram resgatados pela Marinha dos EUA (Figura 72).

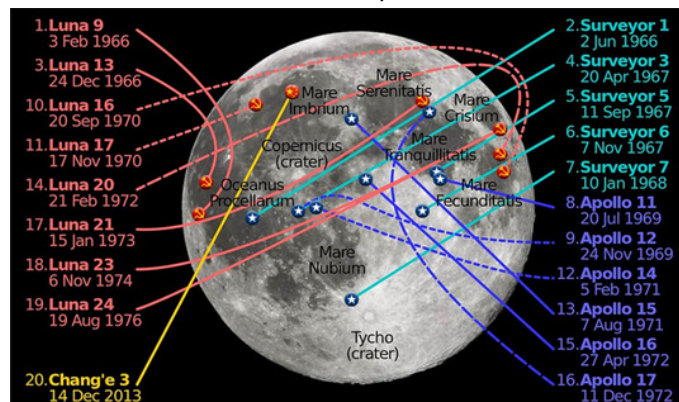
Figura 70 – Resgate dos astronautas no módulo de comando Columbia no Oceano Pacífico durante a amerrissagem (pouso em superfície líquida).



Fonte: Apollo 11 ([2019]).

Depois da primeira missão do programa Apollo 11, ocorreram mais seis viagens à Lua exitosas, exceto Apollo 13. A Figura 73 tem os registros dos locais das alunissagens (pouso na Lua). Decolagem das naves espaciais: Apollo 13, decolou em 12 de novembro de 1969; Apollo 14, em fevereiro de 1971; Apollo 15, julho de 1971; Apolo 16, abril de 1972; e Apollo 17, dezembro de 1972, que foi o último voo do Projeto Apollo para a Lua. A Apollo 13 foi única do projeto que foi abortada, devido a problemas técnicos. Eram previstas mais outras missões (Apolo 18 a 20), mas em virtude de cortes orçamentários foram canceladas pela NASA (Macau, 2007).

Figura 71 - Locais onde as sondas e as espaçonaves da Rússia, EUA e China pousaram na Lua



Fonte: Beaumont (2014b).

Das missões, foram trazidos em torno de 380 kg de rocha da Lua para análise. Estudos revelaram que essas rochas são bem mais antigas que as da Terra com idade de, aproximadamente, 3,2 a 4,6 bilhões de anos. A missão da Apollo 15 encontrou uma rocha especial, denominada Pedra Gênese, algumas hipóteses sugerem que ela deve ter sido originada na formação da Lua. As análises provenientes das missões e dos experimentos permitiram inferir algumas conclusões: a Lua é constituída de material bastante similar ao encontrado na Terra e por rochas de impacto (rochas originárias de vulcões e choque de meteoritos); possui uma crosta grossa com espessura de 60 km. Os pesquisadores concluíram que a formação de Lua é tão antiga quanto a Terra; não há existência de vida, nem de organismos e nem fósseis; e há algumas crateras.

Uma das contribuições relevantes para a Física, em consequência da conquista espacial, foi a colocação de um conjunto de espelhos refletivos na Lua pelos astronautas responsáveis das missões Apollo 11, 14 e 15. Esses refletores contribuíram para confirmar a distância entre a Terra e a Lua. A fim de realizar o experimento, os físicos dispararam pulsos de laser em direção aos refletores deixados

na Lua e, cronometrando o tempo de ida e volta do raio luminoso, confirmaram a distância Terra-Lua, com melhor precisão, visto que já era conhecida a velocidade da luz.

Devido à restrição orçamentária do governo estadunidense, a NASA não tem obtido recursos para empreender novas missões espaciais. A última viagem tripulada foi em 1972, com a espaçonave Apollo 17. Até o momento, projetos de retorno à Lua não têm sido debatidos. Um dos assuntos discutidos no momento é uma possível viagem ao planeta Marte, ainda sem data confirmada. Tem-se cogitado o interesse da NASA em fazer parcerias com empresas privadas para explorar o espaço. Missões espaciais não tripuladas, têm sido realizadas com frequência, a NASA já enviou dois robôs a Marte e a China enviou um, o Yutu-2, para explorar o lado oculto da Lua, em 2019, pela agência espacial chinesa CNSA. A Figura 74 é imagem do robô *Opportunity* (MER-B) segundo enviado a Marte em 7 de junho de 2003 e chegando a seu destino em 25 de janeiro de 2004 (Macau, 2007; Opportunity, 2003).

Figura 72 – O Robô *Opportunity* monitorando Marte, enviado pela Nasa em 2003



Fonte: *Opportunity* ([2003]).

O evento dos EUA, ao colocarem o primeiro homem em solo lunar, poderia ser interpretado *a priori* como uma vitória dos estadunidenses sobre os russos. Porém, antes da culminância, o que realmente marcou a história da tecnologia espacial foram as diversas

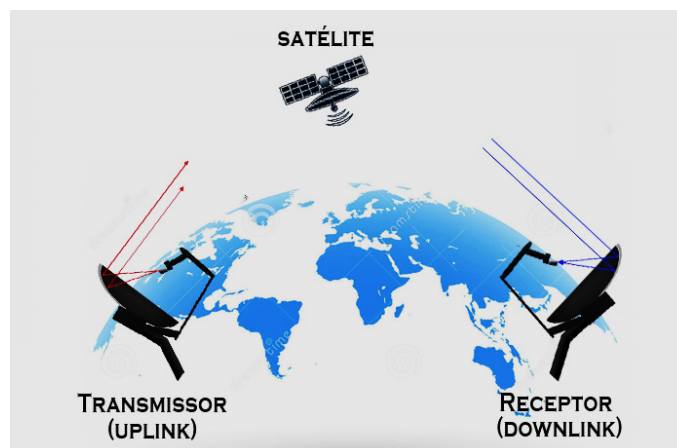
tentativas exitosas e também alguns fracassos de ambos os lados. Portanto, a análise dos fatos pode ser feita de outra maneira, a da conquista mútua. Observe que cada vitória de um país impactava e motivava o outro. No final ocorreu uma produção coletiva e exploração do espaço (Winter; Melo, 2007).

SATÉLITES ARTIFICIAIS

Depois das primeiras viagens espaciais, diversos satélites artificiais passaram a povoar o espaço. O primeiro satélite artificial, o Sputnik I, só tinha capacidade de emitir sinais característicos de “bip, bip, bip...”, mas o fato de ser o primeiro artefato humano enviado ao espaço, capaz de enviar sinais de comunicação para Terra, foi suficiente para entrar na história, marcando o início da corrida espacial e despertar a contraofensiva dos EUA. Um satélite artificial é um engenho de fabricação humana, colocado em órbita ao redor da Terra ou em outro planeta de interesse. O termo “satélite artificial” é usado para diferenciá-lo dos satélites naturais que estão em órbita em torno de alguns planetas.

Os primeiros satélites foram fabricados no período da Guerra Fria e tinham como principais premissas missões militares; portanto, os objetivos destes eram realizar registros fotográficos dos territórios inimigos. Hoje os satélites artificiais fazem parte do cotidiano de cada pessoa, pois são usados em diversas atividades como: transmissão de TV, sinal de telefonia, GPS, atividades científicas etc. O esquema básico da transmissão e da recepção de informação por satélite é constituído por uma plataforma, contendo todos os equipamentos para o seu funcionamento, painel solar para seu suprimento de energia e a carga útil, constituída de antenas, sensores transmissores e receptores, entre outros, conforme (Figura 75).

Figura 73 – Esquema da transmissão e recepção de sinais via satélite artificiais



Fonte: elaborado pelo autor (2019).

Os satélites artificiais são classificados em dois sistemas básicos de sensores passivos, os que recebem o sinal e transmitem sem alterá-lo e os ativos, que amplificam o sinal transmitido. O sistema de comunicação via satélite é composto de um satélite, ou conjunto de satélites, centro de controle responsáveis pelo monitoramento e estações terrestres munidas de antenas transmissoras e receptoras. Segue alguns tipos de satélites, segundo suas aplicações e utilidades:

1. Meteorológicos: são os que monitoram e analisam os diferentes padrões meteorológicos e suas alterações, tempo e clima, embora também monitorem ações humanas. Este tipo de satélite possui câmera que tira fotos (imagens) de diversos pontos do planeta, para identificar chuvas, neves, tipos de nuvens. Ajuda a prever o tempo e eventos climáticos como furacões, tornados etc.;
2. De Navegação: são os que facilitam o tráfego aéreo, marítimo e terrestre. Os condutores de veículos usam os dados

de navegação para ter orientação precisa de suas posições e também dados de seus deslocamentos. Em situações de emergência, eles também podem enviar sinais para o satélite e este retransmitir para as estações de emergências, auxiliando nas providências a serem tomadas;

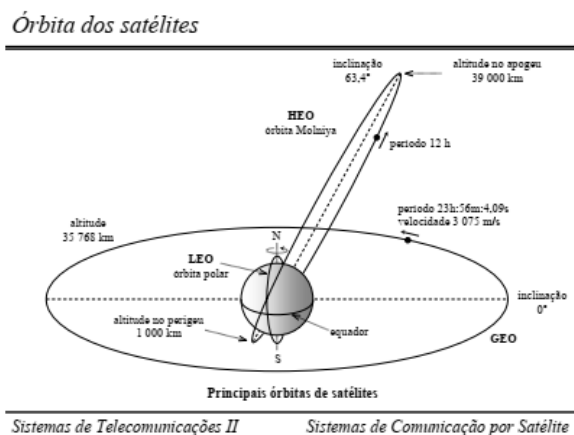
3. Militares: são os que ajudam as forças armadas a navegar, se comunicar, a coletar informações de inteligência, tiram fotos e captam ondas de rádios de transmissão de outros países;
4. Científicos: são os que fotografam objetos espaciais, ajudam os cientistas a pesquisar a Terra, os planetas, asteroides, buracos negros, cometas, o Sol e outros sistemas solares e recebem sinais de sondas espaciais. Eles também são usados para realização de experimentos científicos fora da Terra, experimentos de microgravidade etc.;
5. De Observação da Terra: são os que assessoram remotamente a superfície da Terra, registrando desmatamentos, crescimento populacional, utilização do solo, etc. Mapeiam também recursos minerais, hídricos, safras agrícolas etc.;
6. De Comunicação: são os que são usados para fins de comunicação, criando um canal de comunicação entre uma fonte transmissora e outra receptora. Eles transmitem programas televisivos, chamadas telefônicas, sinal de internet etc. Eles são importantes para as transmissões de longa distância em tempo real, por exemplo, os eventos esportivos entre países, como a Copa do Mundo. No caso das distâncias relativamente longas, entre a fonte transmissora e a receptora, o sinal sofre distorção, devido a vários fatores como a curvatura da Terra, interferências de fontes geradoras de ruídos, dentre outros. Estes inconvenientes são resolvidos com o uso dos satélites geoestacionários;

7. Geoestacionários: são os que completam uma órbita em torno do planeta em tempo de, aproximadamente, 24 horas. Assim, eles se encontram aparentemente parados relativamente a um observador fixo sobre a Terra, geralmente sobre a linha do Equador. Eles são utilizados como satélites de comunicação e de observação de regiões específicas da Terra. Eles se movem com a mesma velocidade angular da Terra;
8. Geossíncronos: são aqueles satélites que possuem uma órbita em torno da Terra com o mesmo período de rotação. Suas órbitas, geralmente, fazem um ângulo com a linha do Equador, chamado de inclinação da órbita. Uma órbita geoestacionária é também geossíncrona, mas com o ângulo de inclinação igual a zero (Florenzano, 2008; Leitão, 2019).

ÓRBITAS DOS SATÉLITES ARTIFICIAIS

Para um satélite permanecer no espaço, vários detalhes têm que ser previamente planejados. Conforme sua finalidade, deve-se escolher a órbita adequada, mas existem outros fatores determinantes, como por exemplo, não o colocar na faixa do Cinturão Van Allen. Esta é uma região do campo magnético terrestre na qual ocorrem vários fenômenos atmosféricos, devido a presença de partículas de alta e baixa energia. Estas partículas altamente carregadas, provenientes da atmosfera e do Sol, ao serem capturadas ficam presas nesta localidade do espaço. Em consequência desses fatores, foram selecionadas três divisões onde os satélites podem ser posicionados com segurança, a Figura 74 é um esquema representativo das referidas regiões.

Figura 74 – Representação das principais orbitas ocupadas por satélites artificiais



Fonte: Leitão ([2019]).

As altitudes órbitas dos satélites artificiais tratada aqui são:

1. Órbitas baixas da Terra (LEO): são colocados a maioria dos satélites científicos, meteorológicos e de sensoriamento remoto em baixa altitude, região de aproximadamente 180 a 2.000 km. Geralmente, estes satélites circulam a Terra cortando os polos, partindo da linha do Equador. Assim, eles obtêm imagens a cada 24 horas. Devido à aproximação com a Terra, eles se deslocam com velocidades elevadas (da ordem de 7,9 km/s). Esta dinâmica é para não ser capturado pela atmosfera ou força gravitacional da Terra, pois em velocidades pequenas, o satélite seria atraído pela gravidade ou arrastado pela força de arrasto atmosférico que o colapsaria na atmosfera, comprometendo sua missão. Nesta órbita, o satélite completa 16 a 17 voltas em torno da Terra num período de 24 horas;
2. Órbitas Geossíncronas (GEO): a órbita desses satélites é inclinada, com período semelhante ao período sideral da

Terra, ou seja, aproximadamente 23 horas 56 minutos. Sua altitude é de 37.700 km. Nessa posição três satélites conseguem cobrir quase que totalmente a superfície da Terra, com exceção dos polos. Assim sendo, para garantir a precisão são usados quatro satélites;

1. Órbitas Geoestacionárias: esse é um caso especial de órbita geossíncrona. A órbita desse satélite é circular, situando-se sobre o Equador. Nesta órbita o satélite gira com a mesma velocidade da Terra, permanecendo apontado sempre para uma mesma região, dando a sensação de estar estático em relação ao observador. Geralmente, esse tipo de órbita é reservado aos satélites de comunicação. A quantidade de satélites para ocupar essa órbita é limitada. A altitude da órbita é da ordem de 36.000 km;
2. Órbita Média da Terra (MEO): esta órbita é baixa e geoestacionária, ficando entre as altitudes de LEO e GEO. Nesta região encontram-se os satélites de transmissão de dados de internet banda larga, observações da geodesia (divisões curvas), da física espacial, dentre outras aplicações. Os militares e os conglomerados de satélites como GPS, localizam-se nesta região;
3. Highly Elliptical Orbit (HEO): esta é uma órbita frequentemente elíptica. Em baixas altitudes o satélite apresenta-se próximo do zênite (ponto vertical acima do observador), num período de tempo considerável. Existem ainda outros tipos de órbitas, que atendem a missões espaciais específicas, as quais não foram citadas aqui (Florenzano 2008; Leitão, 2019; Reis *et al.*, 2008). Um exemplo importante deste tipo de órbita são as órbitas Molniya, de satélites de comunicação russo, que têm inclinação de 63,4 graus e período orbital de metade de um dia sideral, argumento de perigeu de -9° graus. Eles são usados primariamente para prover cobertura de comunicação e monitoramento em latitudes altas, onde os satélites geoestacionários aparecem em uma elevação baixa.

Em princípios, os satélites permanecem em órbita em torno de um corpo devido à sua energia potencial e cinética orbitais, as quais são determinadas pela altitude nas quais eles operam. Devido a forças dissipativas que acontecem em diversas altitudes, os satélites perdem altitude e decaem, saindo das suas órbitas nominais (onde eles realizam as suas missões). Com a atuação do seu sistema de propulsão, o sistema de controle realiza manobras de correção, trazendo o satélite de volta à sua órbita nominal. Contudo, com o fim do combustível a bordo, o satélite perde altitude. E não se consegue mais leva-lo à sua órbita nominal. Daí, finda-se a vida do satélite. Seus sinais não serão mais precisos e ele perderá a sua utilidade. Ele decairá em altitude e se transformará em detrito espacial, objeto não operacional (Florenzano 2008; Leitão, 2019).

O PRIMEIRO OBSERVATÓRIO NACIONAL & MARCGRAF

Documentos de missionários naturalistas e etnólogos do Brasil colonial têm servido de base para pesquisar as relações dos primeiros habitantes brasileiros com Astronomia. Em vista disso, a astronomia brasileira inicia-se com os povos tradicionais (indígenas) que foram seus primeiros habitantes. Porém, segundo o professor astrônomo Matsuura (2013), foi durante a invasão holandesa que o cosmógrafo de Maurício de Nassau documentou as primeiras observações astronômicas do nordeste brasileiro. Essa seção é um breve resumo do trabalho de Marcgrave.

O primeiro Observatório Nacional foi criado em 27 de setembro de 1827 na cidade do Rio de Janeiro, no império de Dom Pedro I, porém, cabe registrar que os primeiros registros astronômicos do Brasil foram iniciados na cidade de Recife, Pernambuco e começaram com os trabalhos do médico, matemático e astrônomo, Jorge

Marcgrave (ou Georg Marcgraf; 1610-1644), de nacionalidade alemã, cosmógrafo da corte do conde Maurício de Nassau, no Brasil. Ele morreu aos 34 anos, sem nenhuma publicação, apenas algumas cartas. Suas observações foram citadas pelo teólogo e historiador holandês, Gaspar Barléu (1584-1648), que escreveu sobre o império colonial do Brasil holandês. A obra de Barléu foi inspirada na atuação de Maurício de Nassau. Em sua narrativa ele citou Marcgrave como astrônomo do conde, onde havia desenhado todas as fases do eclipse total do Sol, em 13 de novembro de 1640. Porém, registros informam que este eclipse no Recife foi parcial, não correspondendo com as anotações que se referiam os cálculos que Marcgrave fez.

Apesar disto, suas atividades astronômicas só viram a ter notoriedade de fato, por meio de uma publicação intitulada *Historia Naturalis Brasiliae* (Matsuura, 2013 *apud* Laet, 1648), considerada a primeira obra científica do Brasil. Na obra foram incluídas algumas informações astronômicas, uma das quais, a longitude de Recife, calculada com base nas observações de um eclipse lunar, na cidade de Recife em 20/21 de dezembro de 1638.

Uma biografia mais completa sobre Marcgrave só veio a ser escrita muitos anos depois pelo ictiólogo³² estadunidense Eugene Gudger (Matsuura, 2013 *apud* Gudger, 1912) que pela primeira vez incluiu informações que além de saber botânica e medicina, ele havia também aprendido cálculo. Antes de fazer parte da corte de Nassau, Marcgrave viveu dois anos em Stettin com o astrônomo Lorenz Eichstadt, que se tornou famoso por publicar efemérides planetárias. Outros registros indicam seu contato também em Estrasburgo com Jacob Bartsch (genro de Kepler). Consta também na biografia que Marcgrave foi aconselhado pelos pais a sair de casa (Liebstadt) e viajar pelo mundo, uma vez que a Alemanha estava devastada pela Guerra dos Trinta Anos. Depois de visitar várias universidades, ele

32

Ramo da zoologia que estuda os peixes e sua relação com o ambiente, padrões de crescimento, distribuição, condições de vida, alimentação, reprodução etc.

conseguiu vir para o Brasil com o sonho de praticar Astronomia. Com o patrocínio de Nassau, ele construiu um observatório astronômico em Recife. O livro *Observatório do Telhado* (1979), de Mtsuura, faz um relato dos seus trabalhos (Matsuura, 2013).

Não é possível afirmar com exatidão o local que Macgrave fez suas primeiras observações no Brasil, documentos citam pelo menos três locais: na casa de Guilherme Piso, na primeira residência do conde Nassau e no palácio de Friburgo. Sabe-se que ele instalou um observatório no telhado do conde, onde era um dos residentes, porém a estrutura residencial não havia sido planejada para essa finalidade, vindo a ruir em 18 de março de 1640. O observatório só voltou a funcionar em 11 de junho do mesmo ano. A despeito de que as atividades astronômicas de Marcgrave tenham ocorrido num momento de dominação estrangeira, elas marcam o início da Astronomia do Brasil. E graças aos trabalhos desse astrônomo, o Observatório Astronômico de Recife foi o primeiro das Américas e de todo Hemisfério Sul (Matsuura, 2013).

Apesar dos primeiros registros astronômicos do Brasil serem iniciados no século XVII, registros indicam que o marco inicial do Programa Espacial Brasileiro foi a partir de 1945 com a criação do Centro Técnico de Aeronáutica (CTA), constituído por dois institutos científicos. O Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), com finalidade de ensino e pesquisa e o Instituto Pesquisa e Desenvolvimento (IPD), voltado para dar suporte, estudar os problemas técnicos, econômicos e operacionais relacionados à Aeronáutica.

Após criado o CTA (Comando-Geral de Tecnologia Aeroespacial), várias instituições como o IAE (Instituto de Aeronáutica e Espaço), o INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), a AEB (Agência Espacial Brasileira) e a Embraer, entre outras, foram concebidas. A região de São José dos Campos (SP) se tornou um polo importante de indústria e tecnologia aeroespacial do Brasil. O atual CTA, também tem sede em São José dos Campos (SP). O INPE e

AEB, são duas instituições importantes no desenvolvimento de pesquisas na área espacial, com merecidos destaques por seus serviços em nível nacional e internacional. O INPE tem atuação de natureza técnica e a AEB tem atuação política e organizacional. O INPE atua desde o desflorestamento de matas, previsão de tempo à origem do Universo. Sua sede também é em São José dos Campos e há mais sete unidades em território nacional. A AEB é uma autarquia federal de natureza civil com sede em Brasília (DF), criada em 10 de fevereiro de 1994. Este órgão é responsável pela Política Nacional de Desenvolvimento das Atividades Espaciais (PNDAE), estabelecendo objetivos e diretrizes a serem materializados nos programas e projetos nacionais relativos à área espacial, destacando o Programa Nacional de Atividades Espaciais (PNAE). São várias instituições que fazem parte no desenvolvimento da ciência e tecnologia espacial brasileiras, que geram milhares de empregos e desenvolvem ciência de qualidade (Winter; Prado, 2007).

PROJETO DO PROGRAMA NACIONAL DE ATIVIDADES ESPACIAIS (PNAE)

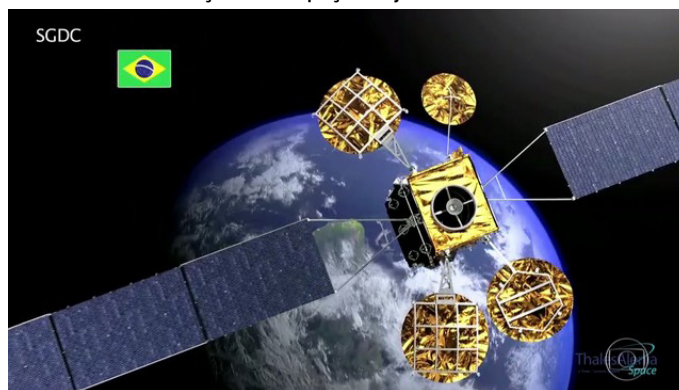
Segundo as informações publicadas no livro *A Conquista do Espaço* (2007), o Centro de Lançamento de Alcântara está em processo de modernização e capacitação de suas instalações. A base opera em lançamento de pequenos foguetes, apoio ao desenvolvimento de satélites. O programa Sino-Brasileiro de Observação de Recursos Terrestres (CBERS), tem sido a mais bem-sucedida cooperação científica internacional em andamento, entre o Brasil e a China.

No portal da AEB, constam informações dos projetos realizados mais recentes, como o lançamento dos satélites do programa CBERS. Já foram lançadas várias séries do projeto (1, 2A, 2B, 3 e 4); o CBERS-4A está para ser lançado, enquanto os CBERS-5 e 6 são projetos

em andamento. Além destes satélites, a AEB tem desenvolvido outros projetos, tais como o lançamento de pequenos satélites, chamados de nano-satélites e também satélites de coleta de dados os SCD-1 e SCD-2.

Em 04 de maio de 2017 foi lançado o mais importante dos satélites brasileiros, o Satélite Geoestacionário Brasileiro de Defesa e Comunicações Estratégicas (SGDC). A missão do lançamento do primeiro satélite de tecnologia nacional foi bem-sucedida. Um empreendimento com objetivo de melhorar o sinal de comunicação e transferência de informação civil e militar, desenvolvendo e protegendo a segurança nacional. O Brasil mantém parceria e cooperação de tecnologia espacial com outros países como Alemanha, Rússia, Argentina e China, dentre estes a parceria de maior amplitude tecnológica é com a China (Figura 77).

Figura 75 - Primeiro satélite geoestacionário do Brasil, lançado ao espaço em junho de 2017



Fonte: Satélite [...], 2017.

O desenvolvimento da Ciência Espacial e as relações internacionais brasileiras, poderiam estar em outro nível caso a Nasa não tivesse rescindido o acordo científico com o Brasil. Este lamentável acontecimento causou grave prejuízo, do ponto de vista científico. No final do ano de 1996, o Brasil foi convidado para fazer parte do Programa da

Estação Espacial Internacional, ISS, na condição de participante, com direito a utilizar a Estação Espacial. Os protagonistas do acordo envolviam do lado brasileiro a Agência Espacial Brasileira (AEB) e o Ministério das Relações Exteriores, e do lado dos norte-americanos, a Nasa. A culminância das negociações foi consolidada, em 14 de outubro de 1997, ficando combinado que a comunidade científica brasileira usaria do ambiente de microgravidade da ISS. Essa seria uma oportunidade para o envolvimento científico, tecnológico e industrial brasileiro, com possibilidade de participar de missões espaciais. No acordo que foi firmado, a contrapartida do Brasil seria de fornecer alguns equipamentos para a estação espacial e serviços de engenharia requeridos para sua operação, cujo investimento brasileiro seria de US\$ 120 milhões. Contudo, e infelizmente, o Brasil não cumpriu nenhum dos acordos, levando os EUA a decidirem por sua exclusão do programa, ocorrido em 2010.

Outra informação lamentável quanto à capacidade de investimento em Tecnologia Espacial do Brasil, publicada no site da Index-Mundi (2017)³³, em 2013, o PIB do Brasil foi de 2,416 bilhões de dólares; o investimento espacial do Brasil, em 2014 foi de 314 milhões de reais (84,408 milhões de dólares, ou seja, 0,03494%), ao passo que, a Argentina com um PIB de 0,912 bilhões³⁴ de dólares em 2013, investiu 1,2 bilhões no mesmo setor. A título de informação, conforme o Caderno de Alto Estudos nº 07 (A Política Espacial Brasileira) de 2010, em 2008 o Brasil investiu no programa espacial (Agência Espacial Brasileira – AEB) apenas a quantia de US\$ 147 milhões, este orçamento é inferior ao que a Holanda investe em seu programa espacial (um país que ainda não executa nenhuma atividade espaciais semelhante aos realizados pela AEB). Estes dados retratam o desinteresse do Brasil no que tange ao investimento em Ciência Espacial. O número de participantes em missões espaciais, em nível internacional, só tem crescido. O Brasil, até o momento, só conseguiu envolver um astronauta em missões espaciais.

33

Cf. <https://www.indexmundi.com/g/g.aspx?c=br&v=65&l=pt> (neste site não consta o PIB de 2014).

34

0,912 bilhões = 9.120.000 (nove milhões e 120 mil)

Assim sendo, é inadmissível que um país não invista na referida tecnologia, deixando sua população desprovida dos benefícios e proteção, oriundos desta evolução (Winter; Prado, 2007).

FOGUETE ESPACIAL (VLS)

Os satélites são colocados em órbita por meio dos foguetes ou veículos de transporte para o espaço, alguns chamados de Veículos Lançadores de Satélites (VLS). São classificados de acordo o tipo e finalidade: foguetes lançadores; foguetes de sondagens; mono, bi, ou multiestágios; combustível propelente sólido, líquido ou híbrido. O motor-foguete e a carga útil (satélite por exemplo) são os principais componentes do sistema ou da missão.

Para retirar um foguete espacial da superfície terrestre gasta-se muita energia, uma vez que se trata de um equipamento de massa relativamente grande. Para efeito de exemplo, a nave de Yuri Gagarin tinha 4,4 metros de comprimento por 2,4 de diâmetro e massa de 4.730 kg. Para minimizar o gasto de energia, os veículos lançadores são montados em forma de estágios, cada uma das partes dos estágios tem seu próprio tanque de combustível. As razões pelas quais os projetistas optam por estágios separados, são: para evitar levar ao espaço carga desnecessária, por outro lado um tanque grande que comportasse todo o combustível da missão, tornaria a decolagem praticamente inviável e muito mais dispendiosa. Com os tanques fracionados facilita-se a decolagem, pois uma vez queimado o combustível o tanque se torna inútil para o restante da viagem, sendo logo descartado, reduzirá a massa total do veículo. Só para termos uma ideia aproximada da massa de um VLS de 19 metros com sete estágios, ele transporta só de combustível 41 toneladas. Uma abordagem mais detalhada sobre lançamento de foguetes VLS poderá ser vista na Dissertação intitulada: *Uma Abordagem Educacional no Colégio*

Estadual Democrático Bertholdo Cirilo dos Reis sobre Conceitos de Astronomia Básica e Tecnologia Espacial (Santos, 2020), na seção 6.5 (Lançamento de Foguete Espacial).

TECNOLOGIA ESPACIAL RECENTE E PREVISTA

O futuro da exploração do espaço é bastante promissor. Além dos EUA, a Rússia e países europeus, bem como asiáticos, inclusive a China e a Índia, têm se interessado em participar de missões espaciais. Por exemplo, em janeiro de 2019 a China realizou uma missão enviando a sonda Chang'e 4 ao espaço para explorar o lado oculto da Lua. E em julho de 2019 a Índia também enviou a nave Chandrayaan-2 para pousar no lado oculto da Lua.

O aumento de missões espaciais contribui também para o acúmulo de lixo no espaço, como já mencionado em seção anterior. A agência espacial ESA está elaborando uma missão, ClearSpace, para a remoção de detritos espaciais (Figura 78). O ClearSpace-1 será a primeira missão espacial a remover um detrito da órbita, a missão está planejada para ser lançada em 2025. O contrato da missão está sendo adquirido como serviço de um consórcio comercial liderado por Startup, a fim de ajudar a estabelecer um novo mercado para manutenção em órbita, bem como, remoção de detritos. Após um processo competitivo, o referido consórcio torna-se candidato a executar a missão ClearSpace, uma empresa criada por uma equipe experiente em pesquisa de detritos espaciais do *Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne* (EPFL).

Figura 76 - ClearSpace-1 será a primeira missão espacial planejada para remover detritos da órbita



Fonte: ESA [...], 2019.

Outro programa da NASA foi o envio da sonda Parker em 2018 para estudar o Sol, essa sonda é a primeira que conseguiu chegar mais próximo de nossa estrela. Seu objetivo principal é investigar as forças que regem os ventos solares, além de estudar a coroa solar, a região externa da estrela cujas temperaturas superam em valor bastante elevado se comparado a temperatura da superfície solar (Figura 79).

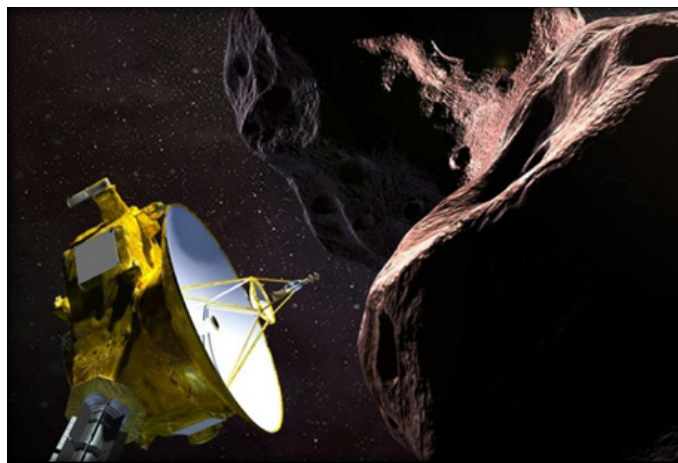
Figura 77 - Sonda solar Parker enviada para o espaço pela NASA para estudar o Sol



Fonte: Gnipper (2019).

A sonda New Horizons já estudou Plutão e agora está viajando em direção ao cinturão de Kuiper e temos observado um objeto transnetuniano denominado 2014 MU69 (Último Thule). Este objeto está a uma distância média do sol de 6,7 bilhões de quilômetros, ele leva 293 anos para dar uma volta completa em torno do Sol. A New Horizons foi lançada em 2006, levando 13 anos para chegar ao cinturão de Kuiper (veja a Figura 80).

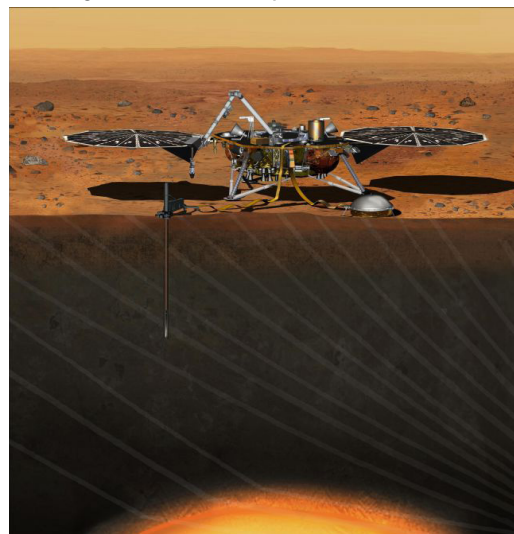
Figura 78 – Sonda New Horizons sobrevoando objeto transnetuniano com formato de “boneco de neve”



Fonte: Gnipper (2019).

Em 18 de dezembro de 2018 a Nasa comemorou o bem-sucedido pouso da sonda InSigh na superfície de Marte (veja na Figura 81). A missão da sonda, estimada para ser desenvolvida em dois anos, é estudar o interior do planeta vermelho, a fim dos cientistas entenderem melhor sua formação, bem como a dos demais planetas rochosos do sistema solar. A sonda analisará também os tremores que ocorrem lá denominados “martemotos”. O envio desta sonda é uma preparação para o envio de astronautas para a Lua e depois para marte.

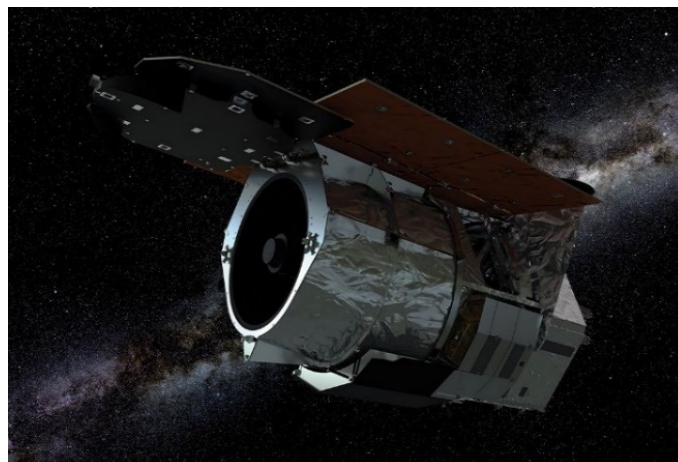
Figura 79 – Sonda InSigh enviada a Marte para estudar seu interior e seus tremores



Fonte: Gnipper (2019).

A NASA pretende enviar ao espaço um telescópio com capacidade de fazer pesquisa no infravermelho de campo amplo (WFIRST - *Wide Field Infrared Survey Telescope*), o mesmo terá a mais avançada resolução para captura de imagem. A missão WFIRST será chamada de Telescópio Espacial Romano Nancy Grace (ou Telescópio Espacial Romano), em homenagem à Dra. Nancy Grace Roman (falecida em 2018). Ela foi a primeira astrônoma chefe da Nasa e uma das maiores incentivadoras do programa Hubble (veja na Figura 82).

Figura 80 - Telescópio Espacial Romano Nancy Grace



Fonte: WFIRST [...] (2019).

A estação espacial ISS comporta até seis astronautas, em se tratando de distância astronômica ela está próxima da Terra, neste caso abastecê-la com os suprimentos necessário aos ocupantes poderia ser relativamente rápido, isto é, em um curto espaço de tempo. Todavia, não é tão simples assim, pois enviar um ônibus espacial ao espaço envolve uma série de detalhes técnicos e altos custos. Alguns problemas são contornados com recursos técnicos bem planejados, como água extraída do vapor de água do ar ou reaproveitamento de água do chuveiro reciclado e de urina tratada com produtos químicos, entre outras providências.

Após mais de quatro décadas da última viagem à Lua, a NASA em parceria com outros países, está liderando o programa Artemis com a previsão de levar astronautas (incluindo uma mulher) novamente à Lua em 2024, com intenção de iniciar a construção da estação Gateway, com finalidade de manter a presença constante de humanos na superfície lunar (ou na órbita da Lua). Este programa é uma espécie de teste preparatório, visando outra viagem mais longa, até o planeta Marte. Uma das dificuldades deste projeto, é a busca de

uma tecnologia que abasteça os tripulantes, permanentemente, em alimentos e água, quando o programa da viagem para Marte estiver em curso. A pretensão de enviar missões tripuladas ao espaço mais profundo depende da solução do problema de transportar suprimentos de sobrevivência, o que será um grande desafio para as equipes de engenheiros e projetistas espaciais.

Os projetos Biowyse financiados pela Comissão Europeia (CE e ESA) no âmbito do programa-quadro Horizonte 2020, em colaboração com o Timescale e o Eden-ISS, estão desenvolvendo tecnologias muito relevantes para a gestão de habitats espaciais e sistemas de suporte para Tecnologias Emergentes Futuras (FET), iniciativas próximas ao mercado. Tais ideias são pensadas para as missões mais distantes, no futuro, como por exemplo a missão Marte; inclusive, cogita-se a possibilidade de desenvolver cultivos na Lua, com a finalidade de fornecer suprimento aos astronautas (Figura 83).

Várias agências espaciais estão envolvidas em programas que visam explorar o espaço próximo e profundo no futuro. Alguns sites da Web, como: *PHYS.ORG*³⁵ e *UNIVERSE TODAY: Space and Astronomy News*³⁶, têm notícias de vários projetos espaciais em andamento e outros previstos. Por exemplo, o programa dos chineses que está construindo uma nova estação espacial, com 11 lançamentos planejados em até dois anos (veja na Figura 84). A estação espacial de 66 toneladas receberá equipes de três astronautas por até seis meses por vez.

35 C.f. <https://phys.org/partners/universe-today/>

36 C.f. <https://www.universetoday.com/>

Figura 81 - Protótipo de novas tecnologias para garantir água potável e comida aos astronautas em missões no espaço profundo



Fonte: Williams ([2019?]).

Figura 82 - Estação espacial chinesa Tiangong construída em 2022



Fonte: Setter (2020).

Há indícios de que os chineses pretendam ser um fornecedor desse tipo de serviços, a intenção é que a nova estação esteja preparada para abrir negócios espaciais em 2023, apresentará, portanto, três módulos: um espaço principal e dois módulos projetados para hospedar experimentos de colaboradores de todo o mundo que investigam desde tecnologias espaciais até biologia zero-G. O primeiro módulo da estação está previsto para ir ao espaço no

primeiro trimestre de 2022, à bordo do foguete pesado Long March 5B (Williams, [2019?]; Setter, 2020; Genipper, 2019).

SAIBA UM POUCO MAIS DE ASTRONOMIA

Nesta seção apresentaremos algumas aplicações envolvendo cálculos, com a finalidade de estimular o leitor a se aprofundar mais nos temas já abordados nas seções anteriores. Na maioria das vezes, os argumentos conceituais expostos numa aula de Física ou de Astronomia não são suficientes para apreender o assunto abordado, até mesmo convencer o aluno sobre a veracidade de tais argumentações sendo, portanto, necessárias outras atividades que sejam capazes de confrontar as dúvidas ou as incertezas do estudante, levando a uma reflexão mais consistente. As ferramentas do Cálculo e da Matemática, de um modo geral, são instrumentos para verificar os resultados explanados nas aulas teóricas. Pensando na possibilidade de oferecer tais oportunidades, os tópicos a seguir foram inclusos neste capítulo.

TEMPERATURA DOS PLANETAS MERCÚRIO, VÊNUS E TERRA

A temperatura de um planeta é fundamental para o desenvolvimento dos processos físicos e químicos relacionados à formação e evolução. No caso da Terra, essencial nos processos complexos da vida, para que ocorressem as diversas mutações propostas pela teoria de Darwin. Relacionar a temperatura dos planetas à distância pode nos levar a equívocos, pois o planeta Vênus tem temperatura superficial maior que Mercúrio, embora Vênus esteja bem mais distante do Sol que Mercúrio. A temperatura de Vênus é de $T_V = 780 \text{ K}$ e de Mercúrio $T_M = 60 \text{ K}$. A elevada temperatura em Vênus se deve a sua atmosfera bastante densa, rica em CO_2 (96,4) e outros elementos

como: N_2 , H_2O , e traços de HCl e HF , Vênus tem uma espessa nuvem de dióxido e enxofre gerando um forte efeito estufa, sua pressão atmosférica é $p_o = 91,17$ bar (90 atm).

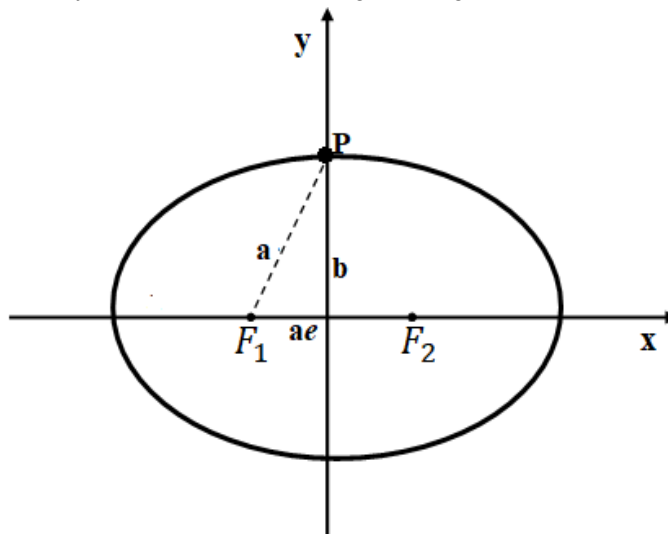
A temperatura média da Terra é de 15 °C ($T \approx 288K$), graças ao efeito estufa normal e natural que, caso não existisse a temperatura seria de, aproximadamente, -18 °C. A concentração dos gases (CO_2) proveniente da queima de combustíveis fósseis, poderá aumentar o efeito estufa e, conseqüentemente, elevar significativamente a temperatura. A atmosfera da Terra é composta, principalmente, por nitrogênio e oxigênio molecular, N_2 (78%) e O_2 (21%), respectivamente e outros gases, inclusive partículas de gases poluentes. A atmosfera da Terra tem uma massa de ar correspondente a $5,1 \times 10^{18}$ kg e pressão $p_o = 1,013$ bar (1 atm), situado nos primeiros 11 km da superfície e diminui, exponencialmente, com altura.

ÓRBITAS ELÍPTICAS DOS PLANETAS

Uma elipse é uma figura geométrica que possui dois eixos, um maior e outro menor, onde no eixo maior estão dois focos, conforme mostra Figura 85. Do ponto de vista da Matemática, podemos definir como sendo um conjunto de pontos de uma curva no plano, cuja soma das distâncias destes pontos aos focos é constante. As propriedades de uma elipse são: c é a distância do centro de cada foco ($c=ae$), a o semieixo maior e b o semieixo menor e e a *excentricidade*, que pode ser obtida pelo teorema de Pitágoras; $a^2 = b^2 + (ae)^2$, ou seja:

$$PF_1 + PF_2 = 2a = const.$$

Figura 83 - A representação de uma elipse com seus focos, a linha tracejada de F_1 a P forma um triângulo retângulo com seus eixos



Fonte: elaborada pelo autor (2019).

$$e = \frac{c}{a} = \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{a^2}} \quad (01)$$

Quanto maior a distância entre os dois focos, maior o valor da *excentricidade*. Uma elipse de excentricidade $e = 1,0$ ($a = c$), é dito que se degenerou num segmento de reta. No caso inverso, a excentricidade mínima $e = 0,0$ ($a = b$) degenera-se numa circunferência. Podemos até admitir que a circunferência é um caso particular da elipse.

Tabela 3 - Excentricidades dos planetas clássicos e de Plutão

Planetas	Excentricidades	Planetas	Excentricidades
Mercúrio	0,205630690	Ceres	0,079760170
Vênus	0,006800000	Júpiter	0,048392660
Terra	0,016710220	Saturno	0,054150600
Marte	0,093412330	Urano	0,044405586
Netuno	0,008585870	Plutão	0,250248710

Fonte: Características [...] (2013).

Alguns livros didáticos exageram ao reproduzir as órbitas dos planetas, levando a uma falsa ideia de órbitas elípticas bastante achatadas. As órbitas dos planetas não são uma circunferência perfeita, porém não são elípticas com excentricidades de valores elevados como são representadas. O planeta de maior excentricidade no Sistema Solar é Marte, com $e = 0,0934$. Observe que ele não é o planeta mais distante do Sol. Portanto, no caso de o planeta estar mais afastado não implica em órbita elíptica com maior excentricidade, como também o planeta mais próximo não possui uma órbita de menor excentricidade. Na Tabela 3 estão exemplificados os valores das excentricidades dos planetas clássicos e de um anão do Sistema Solar, como pode ser observado o valor da excentricidade de Mercúrio é mais elevada que do planeta Terra (Oliveira Filho; Saraiva, 2004; Excentricidade, 2023).

TODOS OS PONTOS BRILHANTES NO CÉU

Olhos destreinados têm dificuldade de distinguir no céu noturno o que são estrelas e o que são planetas. A distância entre a Terra e Vênus é a menor entre dois planetas (0,28 UA), logo ele é o segundo objeto mais brilhante no céu noturno (o primeiro é a Lua). Vênus está mais próximo do Sol que a Terra e seu brilho máximo é

atingido em dois momentos: no alvorecer e no ocaso (pôr do Sol). Em consequência desse fenômeno, os antigos o confundiam com uma estrela, o chamavam de estrela da manhã (estrela d'Alva) ou estrela da tarde (Vésper). Mas por que os planetas brilham semelhante às estrelas? As estrelas são as fontes de calor e de luz, são os únicos corpos celestes que fabricam sua própria energia e têm luz própria. E os planetas não possuem luz própria, mas refletem a luz recebida.

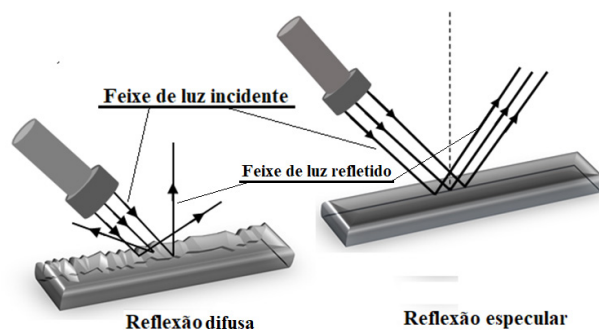
As ondas luminosas se propagam pelo ar em linha reta se afastando da fonte geradora. Essa hipótese é uma boa aproximação para a óptica geométrica que estuda as propriedades da luz. Quando um feixe luminoso proveniente de uma fonte luminosa qualquer (uma estrela ou uma lâmpada) incide sobre superfície, parte da luz incidente é refratada, penetrando na mesma, passando de um meio para outro. A outra parte incidente na superfície retorna e dizemos que ela foi refletida. Assim, a reflexão da luz é um fenômeno óptico ocasionado pelo retorno da luz incidente numa superfície, propagando-se no meio. O feixe de luz que incide sobre a superfície chamamos de feixe incidente e o devolvido pela superfície de feixe refletido. A reflexão pode ser, a princípio, de dois tipos: difusa ou especular (regular).

A reflexão difusa é aquela incidente em superfície irregular. Geralmente, a maioria dos corpos do nosso meio são refletores difusos, por exemplo, a superfície de uma parede, uma folha de papel, um tecido etc. Quando um feixe luminoso incide numa superfície irregular, cada ponto da região da superfície reflete a luz numa determinada direção. Consequentemente, o feixe de luz não é bem definido e observamos seu espalhamento em todas as direções (veja na Figura 86). Neste caso dizemos que houve difusão da luz pela superfície. Outro exemplo de difusão é quando acendemos uma lanterna num ambiente escuro; a trajetória dos feixes de luz não pode ser vista, a menos que haja fumaça ou partículas de poeira suspensas no ar. Quando um feixe de luz incide sobre uma superfície lisa o feixe refletido é bem definido e dizemos que a reflexão é especular; este fenômeno é observado quando a luz é refletida por um espelho. Ao

incidir sobre as superfícies polidas, como nos espelhos, o feixe de luz volta a se propagar no ar ou no vácuo. Dependendo do interesse de estudo, a luz pode ser considerada uma onda ou uma partícula.

Voltando à pergunta, num céu noturno com boa visibilidade, sem massa de nuvens ou poluição, podemos observar estrelas, planetas ou outros corpos que possam refletir a luz do Sol. No caso dos planetas, ao refletir a luz solar nós os vemos como um pontinho luminoso. Devemos esclarecer que o brilho aparente dos corpos que observamos no céu, geralmente, estão em diferentes planos e distâncias. A luz emitida pelo astro chega até nós, atravessando o espaço sideral. Esta região é praticamente um vácuo³⁷. Depois de percorrer este longo percurso, adentra a nossa atmosfera (que não é vácuo), esta região, próximo à Terra, tem maior concentração de partículas por milímetros cúbicos. Na atmosfera terrestre os feixes de luz sofrem deflexões, devido ao índice de refração de tantas camadas atmosféricas.

Figura 84 – Representação da reflexão da luz em superfície polida e áspera



Fonte: elaborada pelo autor (2019).

37

Na concepção científica o termo vácuo não é sinônimo da ausência total de matéria, e sim um conceito filosófico. Vácuo natural ou criado é uma região com o mínimo possível de partícula por milímetro cúbico. Por exemplo, o ultra vácuo tem uma pressão de 10^{-7} Pascal.

As estrelas são consideradas corpos luminosos por possuírem luz própria, os demais corpos celestes são considerados corpos iluminados, pois não possuem luz própria, eles refletem a luz das estrelas. No caso dos corpos que fazem parte do Sistema Solar refletem a luz do Sol. Esta luz que é refletida pelos corpos iluminados e que chega até nós é chamada de albedo. A taxa de energia irradiada pelo Sol que incide nos planetas, nos satélites naturais, nos asteroides, entre outros corpos, é albedo e é expressada em porcentagem. A Terra tem um albedo médio de 0,3. Isto quer dizer que da radiação eletromagnética do Sol que incide sobre nosso planeta, 30% retorna para o espaço. No caso do planeta Vênus seu albedo é de 75%. A quantidade de energia que um planeta devolve para o espaço depende da constituição física da superfície do astro, de sua atmosfera etc. O monitoramento da variação do albedo terrestre é importante para o monitoramento das mudanças climáticas globais, visto que, é medida do fluxo de radiação solar incidente na atmosfera e devolvida para o espaço externo. O albedo planetário é obtido por meio de satélites artificiais e sondas.

O Albedo é um fenômeno, portanto, que está relacionado ao brilho emitido pelos planetas. Logo, os diversos pontinhos brilhantes no céu noturno podem ser de estrelas ou planetas. A mensuração do albedo de um planeta pode ser usada para investigar a sua superfície. Assim, um albedo acima de 73% corresponde aos planetas jovianos – com exceção de Vênus – os planetas gasosos são envolvidos por densa atmosfera e o albedo observado não se refere à sua superfície, mas à alta refletividade de sua atmosfera. Uma dica para distinguir uma estrela de um planeta a olho nu, é observar, calmamente, a luminosidade de ambos. O brilho dos planetas tende a ser fixo e das estrelas tem um cintilamento, por causa da atmosfera. Não obstante, esse método não é 100% seguro, porque às vezes o brilho dos planetas pode apresentar uma leve flutuação, dependendo das condições atmosféricas entre o planeta e o observador.

O estudo do albedo da Terra é importante para avaliar as condições e queimadas de floresta. Os satélites artificiais monitoram a quantidade da luz do Sol que o planeta reflete para o espaço e analisa alguns parâmetros atmosféricos do clima e do ciclo da água. Alguma alteração significativa na média percentual do albedo indica alteração na atmosfera terrestre (Veissid; Pereira, 2000).

FORÇAS GRAVITACIONAIS E O EFEITO DAS MARÉS

A Terra tem, aproximadamente, 70% de sua superfície coberta por água, em estado líquido, este dado é consenso entre os pesquisadores. Segundo a Agência Nacional de Águas, 97,5% da água existente no planeta está nos oceanos. Por sua vez, os oceanos têm comportamentos cíclicos e as alterações da água do mar são chamadas de marés. A Marinha e as agências marítimas fazem previsões e registros do movimento das marés, o catálogo com o horário dessas oscilações é chamado de Tábua de maré.

Como sabemos, alguns corpos aparentemente esféricos da natureza não se constituem em esferas perfeitas, como por exemplo a Terra e a Lua. Isto se deve a alguns fenômenos relacionados ao próprio corpo, tais como rotação, forças gravitacionais diferenciais de corpos vizinhos, exercidas umas nas outras. A ação das forças diferenciais resulta nos fenômenos de precessão e maré. O efeito maré ou força da maré é mais uma consequência da força da gravidade. O efeito maré surge devido à ação da gravidade agindo numa grande massa, não constante em todo o seu diâmetro, fazendo com que um dos lados tenha maior aceleração que o centro, este fenômeno causa uma deformação nas partículas do corpo. No caso da Terra e da Lua, a influência gravitacional modifica a altura dos oceanos, para mais e para menos, denominando-as: maré cheia ou maré alta (preia-mar) e maré baixa ou maré seca, os intervalos entre uma alta e outra é chamado de zona entremarés (enchente e vazante).

A força total exercida em uma partícula é expressa por:

(02)

$$\vec{F}_{total} = \vec{F}_{CM} + d\vec{F}.$$

A força gravitacional diferencial ($d\vec{F}$) é a diferença entre a força gravitacional exercida em duas partículas próximas (supondo-as com massa m_1 e m_2), influenciadas por um terceiro corpo, posicionado a uma certa distância, porém um dos quais, com massa relativamente maior (M). A derivação da força diferencial pode ser expressa, matematicamente, considerando duas partículas de massa: m_1 e m_2 e separadas por uma distância r , no caso da partícula M , sua distância é R de m_2 . Seja a seguinte expressão:

$$\Delta F = F_1 - F_2.$$

(03)

A força diferencial (em módulo) para as forças é:

(04)

$$F_1 = \frac{GMm_1}{(R-r)^2}$$

e

(05)

$$F_2 = \frac{GMm_2}{R^2}.$$

As forças diferenciais podem ser explicitadas da seguinte forma:

$$\Delta F = F_1 - F_2 = \frac{GMm_1}{(R-r)^2} - \frac{GMm_2}{R^2} = GM \left[\frac{m_1}{(R-r)^2} - \frac{m_2}{R^2} \right]$$

Sendo as massas m_1 e m_2 pertencentes à mesma partícula, nesse caso; $m_1 = m_2 = m$. Substituindo por m , na equação e igualando os denominadores, tem-se:

$$\Delta F = GM \left[\frac{m_1 R^2 - m_2 (R-r)^2}{R^2 (R-r)^2} \right] = GM \left[\frac{mR^2 - mR^2 + m2Rr - mr^2}{R^2 (R-r)^2} \right]$$

$$\Delta F = GM \left[\frac{m2Rr - mr^2}{R^2 (R-r)^2} \right] = GMmr \left[\frac{2R-r}{R^2 (R^2 - 2Rr + r^2)} \right]$$

$$\Delta F = GMmr \left[\frac{2R-r}{R^4 \left(1 - \frac{2r}{R} + \frac{r^2}{R^2} \right)} \right]$$

Sendo $R \gg r$, devido M estar bastante distante, também; $2R - r \cong 2R$ e $1 - \frac{2r}{R} + \frac{r^2}{R^2} \cong 1$. Tem-se;

$$\Delta F = GMmr \left[\frac{2R}{R^4} \right] = GMmr \left[\frac{2}{R^3} \right]$$

A equação diferencial é:

(06)

$$\Delta F = \frac{2GMmr}{R^3}$$

Esta equação pode ser obtida de outro modo, derivando a Lei da Gravitação Universal de Newton:

(07)

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

Derivando em relação a R , tem-se:

$$\frac{dF}{dR} = -GMm R^{-2} =$$

$$dF = \frac{2GMm}{R^3} dR$$

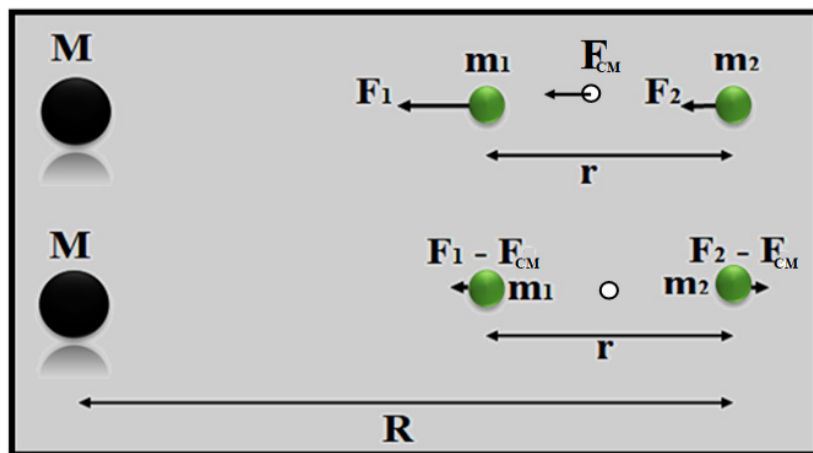
(08)

Essa expressão diferencial é praticamente idêntica à equação diferencial (06), distinguindo apenas do elemento diferencial dR , visto que, na expressão anterior constata-se a variável r . Neste caso dR é separação finitesimal entre os pontos das partículas. As expressões (06) ou (08) podem, perfeitamente, ser aplicadas na força de maré.

A Figura 87 é o esquema representando a ação da força gravitacional do corpo de massa M , atuando nas partículas m^1 e m^2 . A referida força incidirá com maior intensidade na periferia das partículas que no centro delas, a força diferencial $\Delta F = F^1 - F^2$ tende a separá-las, tentando afastá-las em relação ao seu centro de massa.

Em se tratando de partículas pertencentes ao mesmo corpo, a força diferencial causará deformações ou desagregação do sistema.

Figura 85 - Esquema representando a ação da força diferencial gravitacional de um corpo de massa M atuando nas partículas de massa m na sua vizinhança



Fonte: adaptada pelo autor a partir de Maré ([2019?]).

Seja, F_p atração gravitacional sentida por uma partícula em um ponto P na superfície da Terra, situada a uma distância r da Lua, F_c a força gravitacional sentida no centro da Terra, d é a distância de centro a centro, entre a Terra e a Lua, sendo R o raio da Terra, de acordo com a representação da Figura 88.

A força diferencial em um ponto na superfície da Terra em relação ao seu centro é:

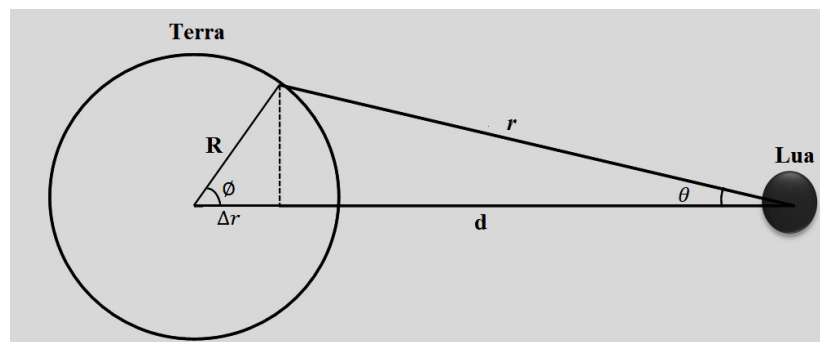
$$\Delta \vec{F} = \vec{F}_p - \vec{F}_c \quad (09)$$

A distância r é muito maior que o raio da Terra (R), portanto os ângulos θ e ϕ são bastante pequenos, neste caso, as forças F_p e F_c tornam-se, praticamente paralelas, ou seja, $\Delta r = R \cos(\phi) = R$. Em

vista disso, pode-se usar ΔF (módulo) ao invés de $\Delta \vec{F}$ (vetor), desse modo, a expressão (09) pode ser escrita em módulo assim:

$$\Delta F = F_P - F_C. \quad (10)$$

Figura 86 - Representação geométrica da interação gravitacional entre a Terra e a Lua



Fonte: adaptada pelo autor a partir de Saraiva, Oliveira Filho e Müller ([2019?]).

Visto que, ΔF já foi derivada (08), tem-se a expressão matemática da força de maré:

$$\Delta F = \frac{2GMm}{r^3} \Delta r. \quad (11)$$

Ou

$$F_M = \frac{2GMm}{r^3} dr \text{ (Força de maré)} \quad (12)$$

A incógnita M é referente à massa da Lua, no caso desta análise, é o corpo provocador da maré, m é a massa da partícula teste (no caso as partículas das massas líquidas, ou seja, a maré), r a distância em cada ponto medido entre a maré e o corpo causador (a Lua), d distância Terra-Lua e Δr é o elemento da distância entre os pontos. A distância d está na mesma direção de $R \cos(\theta)$.

DEMONSTRAÇÃO DO LIMITE DE ROCHE

Em 1850, o astrônomo Francês Eduardo Roche (1820-1883), demonstrou que havia uma distância mínima para um satélite fluído orbitar um planeta de raio R , mantido apenas por sua auto gravidade, sendo a densidade média de ambos ρ_m e ρ_M respectivamente. Esta teoria é conhecida por limite de Roche, que determina a distância mínima do centro de um planeta até um determinado corpo. O limite mínimo determina o quanto este corpo pode se aproximar do planeta sem perder sua estabilidade, ao ponto de romper-se pelo efeito maré (neste caso supondo que o corpo seja um satélite). A distância mínima, que um satélite pode orbitar estavelmente em torno de um planeta é determinada por d . Para deduzir este limite consideram-se duas partículas iguais, separadas por uma distância infinitesimal dr e massa m . Neste caso, a força gravitacional F_G entre as duas partículas é dada por:

$$F_G = \frac{Gmm}{(dr)^2} \quad (13)$$

A força de maré F_M , de um corpo de massa M a uma distância d é:

$$F_M = \frac{2GMm}{d^3} dr \quad (14)$$

Igualando as equações:

$$\frac{Gmm}{(dr)^2} = \frac{2GMm}{d^3} dr$$

$$\frac{Gmm}{d^3} = \frac{2GMm}{d^3} (dr)^3$$

$$d^3 = \frac{2GMm}{Gmm} (dr)^3.$$

Explicitando o limite d :

$$d = \left(\frac{2M}{m}\right)^{\frac{1}{3}} dr$$

Como a densidade de uma esfera é: $\rho = \frac{m}{V} = \frac{m}{\frac{4\pi R^3}{3}}$.

Assumindo que os corpos sejam esféricos; $M = V_{\rho M}$ e m ; substituindo na expressão:

$$d = \left(\frac{2V\rho_M}{V\rho_m}\right)^{1/3} \quad (15)$$

Essa expressão é resolvida de forma numérica no artigo com o título *Roche limit of a solid body* (Limite de Roche para um corpo sólido) dos autores Aggarwal e Oberbeck, (1974), onde demonstram os passos da resolução desta equação, o mesmo está disponível na internet³⁸.

Depois de resolver a expressão, temos a seguinte constante numérica: 2,51. Se as partículas formam um fluido, o valor da constante é alterado para: 2,44. Finalizando a demonstração da expressão, o limite de Roche é:

$$d = 2,44 \left(\frac{\rho_M}{\rho_m}\right)^{1/3} R. \quad (16)$$

Em 1974, Hans R. Abbarwald e Vern R. Oberbeck estudaram a ruptura das marés em corpos esferoides sólidos, rochosos e gelados, que estavam mantidos por forças de tensões intrínsecas de seu

38

C f. http://articles.adsabs.harvard.edu/cgi-bin/nph-iarticle_query?1974ApJ...191..577A&data_type=PDF_HIGH&whole_paper=YES&type=PRINTER&filetype=.pdf

material. Considerando tais características, eles perceberam que esta distância diminuía e propôs a seguinte expressão matemática:

$$d = 1,38 \left(\frac{\rho_M}{\rho_m} \right)^{1/3} R. \quad (17)$$

O princípio físico que rege o limite de Roche é a gravidade, quando um corpo de menor densidade se aproxima, demasiadamente, de outro corpo com maior densidade, o de menor densidade cede matéria para o de maior densidade. Esse fenômeno é conhecido como força de maré, agindo no corpo de menor densidade. Quando o satélite tem a mesma densidade do planeta, a distância mínima que o satélite pode orbitar, sem ser quebrado pelo efeito maré, é de 2,4 vezes o raio (R) do planeta (Oliveira Filho; Saraiva, 2004; Limite, 2022).

CÁLCULO DA ÓRBITA DE UM SATÉLITE ARTIFICIAL

O movimento de um satélite em órbita na Terra obedece às Leis de Kepler. Elas descrevem as trajetórias circulares ou elípticas de um satélite, tendo o centro do planeta em um dos seus focos. A velocidade, a direção e a distância do satélite em relação a Terra são determinantes para planejar o tamanho e a forma desta órbita. Nas regiões onde o ar é extremamente rarefeito, o satélite fica, praticamente, sob ação só da gravidade, além de outras perturbações de menor relevância, para o assunto tratado no momento. O movimento do satélite é caracterizado por dois parâmetros: movimento orbital ou de translação e o movimento de atitude ou de orientação. O movimento de translação determina a geometria da órbita e fornece o ponto exato do satélite a cada instante. E o de atitude é o que determina a missão para o qual o satélite foi enviado ao espaço. Por exemplo, caso haja necessidade de a antena do satélite apontar para um determinado ponto da Terra, o movimento de atitude deve ser

controlado por sensores (corrigindo a órbita do mesmo) para o satélite funcionar plenamente, dentro dos critérios técnicos programados.

Para uma simples exemplificação, demonstraremos, a seguir, de maneira bem resumida, o cálculo do semieixo maior de um satélite geoestacionário por meio da Terceira Lei de Kepler. O cálculo do semieixo maior de um satélite geoestacionário, cujo período orbital é o mesmo período sideral da Terra 23 h 56 min (86.160 segundos), pode ser obtido a partir da seguinte equação, derivada da referida Lei:

$$P^2 = \frac{4\pi^2}{G(M_T + M_C)} a^3, \quad (18)$$

onde, $M_T = 5,98 \times 10^{24} \text{ kg}$ é a massa da Terra, $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$ é a constante universal; a é o semieixo maior e M_C a massa do satélite, considerando-a muito menor que a massa da Terra ($M_C \ll M_T$). O semieixo maior do satélite corresponde ao semieixo maior (a), neste caso temos:

$$a = \left[\frac{P^2 G M_T}{4\pi^2} \right]^{\frac{1}{3}}. \quad (19)$$

Substituindo os valores das constantes:

$$a = \left[\frac{(86160)^2 (5,98 \times 10^{24}) (6,67 \times 10^{-11})}{4(3,14159)^2} \right]^{\frac{1}{3}} = 42.172,220 \text{ m}$$

este é o valor de semieixo maior, ou seja,

$$a = 42.172,2 \text{ km}.$$

A altitude de um satélite é calculada tendo como referência o centro da Terra, sendo que seu raio é $R_T = 6.370 \text{ km}$. Assim, a altitude procurada é $a - R_T = 42.172,2 \text{ km} - 6.370 \text{ km} = 35.802,2 \text{ km}$.

Este valor ($a - R_T = 35.802,2 \text{ km}$) é a altitude média de um satélite artificial.

A velocidade circular de um satélite a 300 km de altitude sobre Terra é dada pela expressão:

$$v_{circ} = \sqrt{\mu \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right)}. \quad (20)$$

Na órbita circular assume-se que $a \equiv r$; ($r = 6.370 \text{ km} + 300 \text{ km} = 6.670 \text{ km}$) e $\mu = GM_T$ e a equação (20) se resume a:

$$v_{circ} = \sqrt{\frac{GM_T}{r}} = \sqrt{\frac{(6,674184 \times 10^{-11})(5,973332 \times 10^{24})}{(6.370 \text{ km} + 300 \text{ km})}}$$

$$v_{circ} = \sqrt{\frac{3,98671 \times 10^{14}}{6.670.000}} = \sqrt{59.770.789,9} = 7.731,2 \text{ m/s}$$

$v_{circ} = 7,7 \text{ km/s}$, velocidade de um satélite em órbita circular a 300 km da Terra.

Por final, o período orbital do satélite dependente da massa dele (m_c) e é obtido pela expressão do período ao quadrado dada acima (Oliveira; Saraiva, 2004).

CÁLCULO DA VELOCIDADE DE ESCAPE DA TERRA

Para um satélite artificial permanecer preso na órbita da Terra, e não escapar para o espaço, sua velocidade orbital tem que ser inferior a velocidade de escape da Terra.

A seguir, apenas com a finalidade de exemplificar, demonstraremos como calcular o valor da velocidade de escape. Sabemos que a força gravitacional é uma força conservativa. Logo, o trabalho realizado por esta força deve ter, numericamente, o mesmo valor da energia cinética, ou seja:

$$K = \frac{1}{2}mv^2 \text{ (energia cinética) e } F = G \frac{M_T m}{R_T^2} \text{ (força gravitacional)}$$

Igualando as duas expressões:

$$K = F \tag{21}$$

$$v_{escT} = \sqrt{\frac{2GM_T}{R_T}}; \tag{21}$$

substituindo as constantes, ($G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$, $M_T = 5,98 \times 10^{24} \text{ kg}$, $R_T = 6\,370\,000 \text{ m}$ e m massa do satélite)

$$v_{escT} = \sqrt{2 \left[\frac{(5,98 \times 10^{24} \text{ kg}) (6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2)}{6\,370\,000 \text{ m}} \right]}$$

$$v_{escT} = \sqrt{\frac{7,97732 \times 10^{14} \text{ N} \cdot \text{m}/\text{kg}}{6\,370\,000}} = 11.190,73961 \text{ m/s.}$$

A velocidade de escape da Terra:

$$v_{escT} \cong 11,19 \text{ km/s.}$$

O resultado dos cálculos está próximo ao valor publicado na maioria das literaturas. Um veículo espacial terá que ter uma velocidade proveniente dos métodos de propulsão, superior a velocidade

de escape da Terra, para tornar possível a missão de colocar um corpo ao espaço.

O termo “velocidade de escape” é uma simplificação de formalidade, visto que velocidade é uma grandeza vetorial e no exemplo tratado, a velocidade de escape independente da direção é uma quantidade escalar. A expressão “velocidade” rigorosamente é inadequada, o mais apropriado seria “velocidade escalar de escape” (Oliveira; Saraiva, 2004; Vilas Bôas, [2005?]).

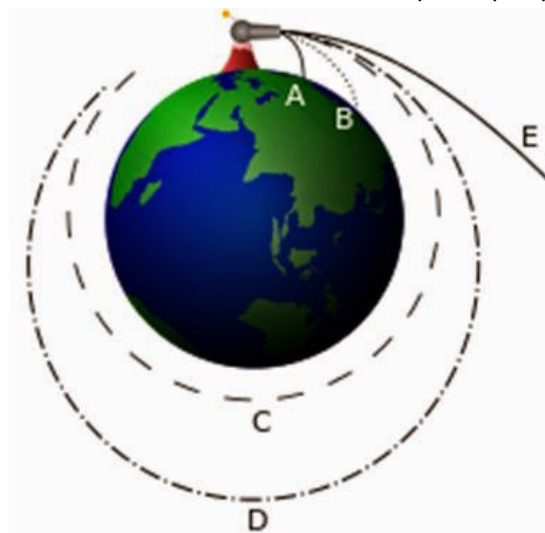
EQUAÇÃO DO FOGUETE

Como foi verificado, a ambição de voar é bem antiga, mas as ferramentas que transformaram a ficção em realidade vieram com o físico e astrônomo Isaac Newton (1642-1727) ao introduzir a lei da gravitação e fornecer as bases teóricas para a Astronáutica. Ele também afirmou que um corpo poderia se manter em órbita em torno da Terra, assim como os planetas se mantêm em órbita em torno do Sol, caso seja fornecida a velocidade suficiente para o veículo vencer a força da gravidade da Terra. Visto que para lançar um corpo para o espaço, necessita-se de energia suficiente para que este tenha velocidade superior à de escape do planeta e consiga, finalmente, deslocar-se para o “infinito”. No caso da Terra, a velocidade de escape é de aproximadamente 11,2 km/s.

Os corpos estão presos à Terra pela força gravitacional que os atrai para o seu centro, mantendo-os na superfície. Tratando do ponto de vista da energia, quanto mais elevado da superfície o corpo estiver, maior será sua energia potencial gravitacional de retorno. Dito de outra maneira, para elevar um corpo a uma certa altura h , a força gravitacional realiza um trabalho ($W = mgh$) para trazê-lo de volta. Para a força gravitacional realizar trabalho é evidente que há um limite de afastamento para a partícula, se tratando de corpos próximos à superfície da Terra, pois se for admitido que a partícula tenha energia suficiente para afastar-se inde-

finidamente, então haveria uma distância que a influência da gravidade da Terra seria nula e ela se deslocaria para o “infinito.” Este foi um exercício mental realizado por Isaac Newton, segundo ele, para um corpo escapar da Terra em direção ao infinito, ele necessitaria de uma energia cinética suficiente que superar a energia potencial resultante que o mantém preso à Terra (veja o esquema do raciocínio de Newton na Figura 89).

Figura 87 – Representação do exercício mental de Newton, referente à velocidade de escape. Um corpo nas órbitas A e B retornará para a superfície da Terra, pois sua energia é insuficiente para vencer a velocidade de escape, nas posições C e D o corpo entrará em órbita com a Terra e em E o corpo escapará para espaço



Fonte: Velocidade [...] (2015).

Descrevendo os argumentos de Newton com outras palavras, se um corpo for influenciado por algum mecanismo que forneça uma certa quantidade de energia, como por exemplo, uma autopropulsão, ele pode continuar a se afastar do planeta em qualquer direção a uma velocidade menor que a velocidade de escape. Se a velocidade do objeto for abaixo da velocidade de escape para dada altura e a propulsão for removida, o objeto irá cair ou entrar em

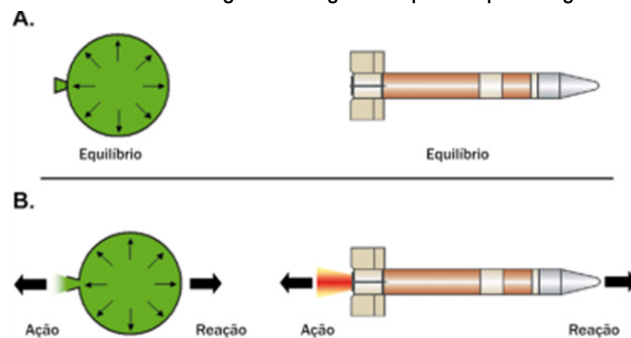
órbita. Se a velocidade for igual ou acima da velocidade de escape naquele ponto, ele terá energia suficiente para “escapar” do campo gravitacional, e não irá voltar para a superfície.

A tecnologia espacial superou este problema desenvolvendo foguetes lançadores de satélites (VLS) e ônibus espaciais. Estes veículos são utilizados para colocar astronaves no espaço nas missões tripuladas, abastecer as estações espaciais, lançar satélites artificiais, sondas, entre outras missões. Tais veículos possuem motores movidos a combustível de propulsão, que geram energia suficiente para vencer a força gravitacional.

A base teórica para desenvolver tecnologia de manter os corpos artificiais presos na órbita dos planetas, só foi possível com a contribuição de Newton (século XVIII) e a interpretação de sua teoria por cientistas que o sucederam, porém a tecnologia para fabricar foguetes visando ao transporte de objetos para o espaço foi implementada depois da Segunda Guerra Mundial, pela URSS e EUA.

O princípio básico do funcionamento de um foguete, do ponto de vista das leis da Física, pode ser descrito usando a comparação com um balão de látex cheio de ar (aqueles usados para ornamentar festa de aniversário). Supondo que um balão esteja cheio de ar com a boca lacrada, em situação de equilíbrio, se permitirmos a saída do ar pela boca do balão, este se moverá no sentido oposto. A “fuga” do ar pela boca do balão é uma ação dos gases libertando-se do confinamento (no interior do balão). O deslocamento do balão é uma reação. Como a boca do mesmo não está fixa, seu movimento é aleatório (em ziguezague). A situação descrita está demonstrada na Figura 90. Usando esta analogia, bastante simplificada, podemos extrapolar e afirmar que o funcionamento dos foguetes tem princípios similares à experiência que foi descrita, constituindo-se conforme a lei de ação e reação prevista na terceira Lei de Newton.

Figura 88 – Representação da analogia do trabalho realizado pelo ar liberado de uma bexiga com os gases expelidos pelos foguetes



Fonte: Nogueira (2009, p. 87).

As implicações de Física e Matemática para lançar um foguete são bastantes complexas, envolvendo amplos cálculos, alguns deles realizados por meio da computação aplicada. As aplicações realizadas nas aulas de Física são simplificações das situações reais, apenas com o propósito de ilustrar o envolvimento de algumas leis físicas nas situações reais. Com o propósito didático e informativo, demonstraremos os cálculos do movimento do foguete, baseado nas leis de Newton.

Os foguetes VLS são projetados em forma de estágios, cada estágio tem seu próprio tanque de combustível. Depois de queimado todo o combustível, o estágio é descartado para diminuir a massa inútil do foguete reduzindo assim, consumo de energia desnecessário. Em resumo, a massa total do sistema vai variando (diminuindo), a cada estágio descartado. É com base neste princípio que a equação será desenvolvida.

Considere um foguete de massa instantânea m e seja v a velocidade do foguete em relação a um observador. Parte da massa

m do foguete é constituída pelo combustível que é expelido para fora, através de um motor. Usando a segunda lei de Newton temos:

$$F = \frac{dP}{dt} \quad (23)$$

Substituindo pela definição de momento $P = mv$ (tomando em módulo). Lembrando que nesta situação a massa do corpo é não constante, portanto é derivável:

$$F = \frac{dmv}{dt} = \frac{d(mv)}{dt} = u \frac{dm}{dt} + m \frac{dv}{dt}$$

A equação do foguete é obtida em duas etapas, uma por derivação e outra por integração.

Derivando pela regra do produto:

$$v \frac{dm}{dt} + m \frac{dv}{dt} = u \frac{dm}{dt} + ma \quad (24)$$

Considerando as forças externas, usando a conservação do momento, temos a primeira equação do foguete:

$$-u \frac{dm}{dt} = ma \quad (25)$$

O termo da esquerda é o empuxo provocado pela queima do combustível, u é a velocidade de exaustão e a é aceleração do sistema. O sinal negativo é o sentido da massa e dos gases do propelente.

Agora, vamos integrar para obter a segunda equação:

$$\begin{aligned} \int \left(u \frac{dm}{dt} + m \frac{dv}{dt} \right) &\Rightarrow -u \int \frac{dm}{m} = \int \left(\frac{dt}{dt} \right) dv \\ -u \int_{m_i}^{m_f} \frac{dm}{m} &= \int_{v_i}^{v_f} dv \\ v_f - v_i &= -u \ln \left| \frac{m_f}{m_i} \right| \end{aligned}$$

Subtraindo a massa inicial (m_i) da massa final (m_f) temos:

$$v_f - v_i = u \ln(m_i - m_f) \quad (26)$$

Esta é a equação da velocidade do foguete (Xavier, 2012).

Devemos levar em consideração que esta demonstração é apenas uma simples discussão teórica das leis da Física, em se tratando de uma situação real envolve várias equações, com maior complexidade, pois são vários parâmetros que devem ser considerados, como por exemplo: tipo de combustível, condições atmosféricas, órbita a ser alcançada, tipo de manobra, aerodinâmica do veículo etc.

CÁLCULO DO TEMPO QUE A LUZ DO SOL LEVA PARA CHEGAR À TERRA

Apolo 11, a nave que levou os primeiros astronautas à Lua, gastou aproximadamente oito dias, numa viagem de ida e volta. A Lua está a 384.400 km da Terra. Vamos supor, hipoteticamente, que a espaçonave tenha viajado em linha reta e com a mesma velocidade da luz. Quanto tempo ela gastaria para chegar ao seu destino, posto que sabemos a distância da Lua e a velocidade da luz?

A velocidade da luz é $c = 299\,792\,458\text{ m/s}$, usando a equação do movimento uniforme da Cinemática temos:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \frac{\Delta s}{v} = \frac{d_L}{c} \quad (26)$$

$$\Delta t = \frac{384\,400\,000\text{ m}}{299\,792\,458\text{ m/s}} = 1,28\text{ s}$$

Pois em uma viagem à Lua na velocidade da luz, o tempo gasto seria de 1,28 segundos.

Como foi dito na seção anterior, o Sol é única fonte de luz da Terra, as partículas luminosas geradas no seu núcleo transmitem a luz que nos ilumina. Um foto gerado no núcleo do Sol leva, aproximadamente, 170.000 anos para chegar à superfície do mesmo. Agora, usando o método anterior, vamos calcular o tempo que um foto leva para sair da superfície do Sol e chegar à Terra. Como o Sol está a, aproximadamente, 149.600.000 km da Terra, o cálculo é realizado da seguinte forma:

$$\Delta t = \frac{149\,600\,000\,000\text{ m}}{299\,792\,458\text{ m/s}} = 499\text{ s}$$

Como $1\text{min} = 60\text{s}$, dividimos este resultado por 60 para encontrar o tempo em minutos, conforme a seguir:

$$\Delta t = \frac{499\text{s}}{60} = 8,316667\text{ min}$$

Este resultado diz que, um foto gerado pelo Sol leva, aproximadamente, 8,32 minutos para chegar até nós.

Até o momento, não foi verificada velocidade maior que a da luz, desenvolvida por qualquer corpo que contenha massa. Apesar dos fotos luminosos viajarem em alta velocidade, o brilho de algumas estrelas que observamos no céu são de estrelas que já não existem mais no universo. Devido à distância que elas estavam da Terra, os fotos que chegam até nós, percorreram longa distância (astronômica) por milhões de anos.

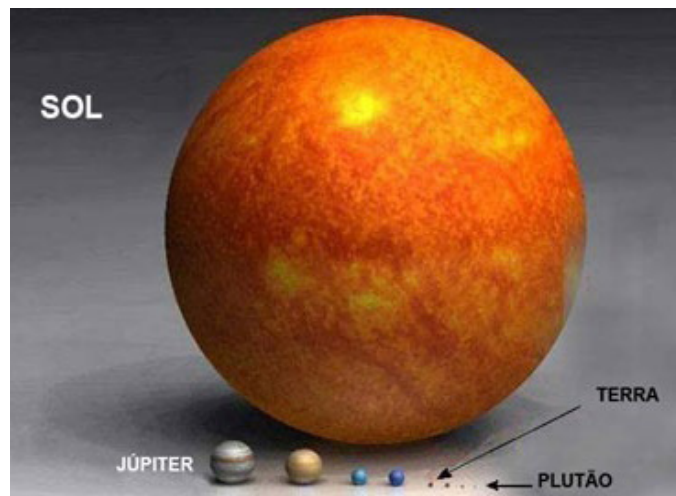
CÁLCULO DE VOLUME DOS ASTROS

Astronomia de Posição, conhecida também como Astronomia Esférica, tem se utilizado de teodolitos, cronômetros e observações noturnas para desenvolver alguns sistemas de referência, dentre estes, são: coordenadas astronômicas, azimute, zênite etc. Com a adesão à Astrofísica, outras informações dos astros também

foram obtidas, tais como: distâncias, diâmetros, massa, temperatura, volume etc. Um dos meios de sabermos o quanto um corpo celeste é maior ou menor em relação ao outro é calcular seus volumes e compará-los (Figura 91).

Os astros mais próximos da Terra são a Lua e o Sol, de maneira empírica, somos levados a aceitar que o Sol é maior que a Terra e que a Lua é o astro menor entre os três. Já estamos tão acostumados com esta ideia, que não nos damos ao trabalho e à curiosidade de perguntar: "Quanto o Sol é maior que a Terra? Ou quanto à Lua é menor que a Terra?" Alguns professores afirmam que, às vezes, as crianças associam o tamanho e a distância do Sol com base na sensação térmica.

Figura 89 - Representação da comparação do tamanho do Sol em relação aos planetas do Sistema Solar



Fonte: Compare [...] (c200-2024).

Um exemplo foi o depoimento de uma professora que ministrava aula para uma classe de crianças com deficiência visual, ela contou que numa aula de Astronomia, onde o assunto era a distância

do Sol em relação à Terra, seus alunos imaginavam a distância do Sol, tomando por base a sensação térmica. Para eles o Sol estaria mais perto da Terra porque sentiam a temperatura do Sol e não a temperatura da Lua. Conflitos epistemológicos desta natureza são comuns entre alunos das séries iniciais, cabendo ao professor esclarecê-los, assim sendo, é fundamental possuir alguns conhecimentos de Astronomia Básica.

O professor deve dominar conhecimentos mínimos de Astronomia para esclarecer as dúvidas dos seus alunos, tais como: distância, tamanho dos corpos celestes mais conhecidos, entre outras informações.

Apresentaremos a seguir os cálculos do volume do Sol, da Terra e da Lua, para termos uma ideia mensurável da diferença do tamanho entre um e outro.

Por simplificação, os tomaremos como sendo corpos esféricos. Iniciaremos pesquisando os raios dos três astros, conforme o quadro 1:

Quadro 1 – Raio dos astros: Sol, Terra e Lua

Sol	$R_{\text{sol}} = 6,960 \times 10^8 \text{ m} \Rightarrow 6,960 \times 10^5 \text{ km}$
Terra	$R_{\text{terra}} = 6.370 \text{ km}$
Lua	$R_{\text{lua}} = 1.738 \text{ km}$

Fonte: Oliveira; Saraiva, 2004.

Uma vez que assumimos que os três astros são esféricos, neste caso usaremos a equação matemática para cálculo de volume de sólidos esféricos:

$$V = \frac{4\pi r^3}{3} \quad (27)$$

- Cálculo do volume do Sol:

$$V_{sol} = \frac{4\pi(6,960 \times 10^5 \text{ km})^3}{3} = \frac{4 \times 3,141(3,372 \times 10^{17} \text{ km}^3)}{3}$$

$$V_{sol} = \frac{12,564(3,372 \times 10^{17}) \text{ km}^3}{3} = 4,188 \times 3,372 \times 10^{17} \text{ km}^3$$

$$V_{Sol} = 1,4122 \times 10^{18} (\text{km})^3, \text{ Volume do Sol.}$$

- Cálculo do volume da Terra:

$$V_{Terra} = \frac{4\pi(6.370 \text{ m})^3}{3} = \frac{4 \times 3,141(2,585)^{11} \text{ m}^3}{3}$$

$$V_{Terra} = \frac{12,564(2,585)^{11} \text{ m}^3}{3} = 4,188(2,585)^{11} \text{ m}^3$$

$$V_{Terra} = 1,0825 \times 10^{12} (\text{km})^3, \text{ Volume da Terra.}$$

- Cálculo do volume da Lua:

$$V_{Lua} = \frac{4\pi(1.730 \text{ m})^3}{3} = \frac{4 \times 3,141(5,250)^9 \text{ m}^3}{3}$$

$$V_{Lua} = \frac{12,564(5,250)^9}{3} = 4,188(5,250)^9 \text{ m}^3$$

$$V_{Lua} = 2,1987 \times 10^{10} (\text{km})^3, \text{ Volume da Lua.}$$

Dividindo o volume do Sol pelo o volume da Terra e o Volume da Terra pelo volume da Lua, teremos a quantidade aproximada de quanto o Sol é maior que a Terra e quanto a Terra é maior que a Lua, em termos de volume.

$$\frac{V_{sol}}{V_{Terra}} = \frac{1,4122 \times 10^{18} (\text{km})^3}{1,0825 \times 10^{12} (\text{km})^3} = 1.304.572,75$$

Este resultado indica quanto o Sol é maior que a Terra, cabendo, aproximadamente, 1.304.572,8 Terras dentro do Sol.

Vamos calcular agora, quanto a Terra é maior que a Lua.

$$\frac{V_{Terra}}{V_{Lua}} = \frac{1,0825 \times 10^{12} (km)^3}{2,1987 \times 10^{10} (km)^3} = 49,2336$$

Usando o mesmo raciocínio para os cálculos, a Terra é 49,23 maior que a Lua.

Quantas vezes o Sol é maior que a Lua? Este cálculo fica para exercício, basta seguir os mesmos passos que foram demonstrados no exemplo acima.

CÁLCULO DA ACELERAÇÃO DA GRAVIDADE

Segundo Galileu, se deixarmos cair vários objetos de pesos diferentes do alto de uma torre, eles cairão com a mesma velocidade, com a mesma aceleração, dito de outro modo, todos descem com mesma variação da velocidade, em relação ao tempo transcorrido.

Há uma região, relativamente próxima da superfície da Terra, no seu entorno, conhecida como campo gravitacional, cujo efeito é, atrair os corpos para o seu centro. Essa atração ocorre por influência de uma ação conhecida como força gravitacional. Segundo Newton, todos os corpos são influenciados por ela. Esta força e o seu peso estão sempre no sentido do centro da Terra. Os corpos que estão dentro dos limites deste campo gravitacional ao serem influenciados variam sua velocidade, adquirindo uma aceleração, nomeada de aceleração da gravidade.

Ratificando, todos os corpos que estão na superfície terrestre sofrem influência da força peso \vec{P} , direcionando para o centro da Terra³⁹, sendo representada pela equação:

$$\vec{P} = m\vec{g}; \quad (28)$$

39

A trajetória de um copo em queda livre (exceto nos polos) não é uma reta apontando para o centro da Terra, uma vez que, a aceleração da gravidade não é uma resultante, há também outras forças como aceleração de Coriolis, a qual tende a deslocar o corpo para o leste ou para o oeste, dependendo da posição de queda sobre a Terra.

onde m é a massa e g é a aceleração da gravidade.

Segundo a teoria de Newton, a força de atração gravitacional que existe entre a Terra e os corpos próximos a sua superfície é dada pela seguinte equação:

$$\vec{F}_g = G \frac{M_T m \vec{r}}{r^2}; \quad (29)$$

onde $M_T = 5,9722 \times 10^{24} kg$, massa da Terra;
 $G = 6,674 \times \frac{10^{-11} m^3}{kg \cdot s^{-2}}$, constante gravitacional universal

$r = 6,371 \times 10^6 m$, raio médio da terra.

Igualando a força peso à força gravitacional, em módulo:

$$P = F_g \quad (30)$$

$$mg = G \frac{M_T m}{r^2}.$$

Desprezando a massa do corpo que está sendo atraída, em detrimento da massa da Terra, pois esta é muito maior que a massa destes corpos ($M \gg m$), portando podemos simplificar as massas (m) e isolar a aceleração da gravidade (g), assim:

$$g = G \frac{M_T}{r^2} \quad (31)$$

substituindo as constantes;

$$g = 6,674 \times \frac{10^{-11} m^3 s^{-2}}{kg} \cdot \frac{5,9722 \times 10^{24} kg}{(6,371 \times 10^6 m)^2}$$

$$g = \frac{3,98584628 \times 10^{14} m^3 s^{-2}}{4,0589641 \times 10^{13} m^2} = 9,819861 \frac{m}{s^2}$$

A intensidade da aceleração da gravidade é de: $g = 9,8199 \frac{m}{s^2}$, para corpos próximos à superfície da Terra, ou seja, para a altura h tendendo a zero ($h \rightarrow 0$).

Para corpos afastados da superfície terrestre, como por exemplo os satélites artificiais, a altura h deve ser incluída na equação, somando-se ao raio da Terra, como se segue:

(32)

$$g = G \frac{M_T}{(r + h)^2}$$

A intensidade da aceleração gravitacional (g) é inversamente proporcional ao valor da altura (h), pois, à medida que o corpo for se afastando da superfície da Terra, com a altura tendendo ao infinito ($h \rightarrow \infty$), a ação da gravidade sobre o corpo diminui a tal ponto que a força gravitacional não atuará mais perdendo, consequentemente, sua influência sobre o corpo (Oliveira; Saraiva, 2004).

SUGESTÃO DE ATIVIDADE PARA A SALA DE AULA

Neste capítulo vamos sugerir algumas atividades que podem ser realizadas na sala de aula, para tornar as aulas mais divertidas, como a construção de Astrolábio, sextante, quadrante, gnômon, entre outros. As

instruções para a construção destes artefatos podem ser encontradas na internet, em artigos científicos ou demonstração em vídeo no *youtube*.

Astrolábios: o astrolábio era um disco circular graduado em sua borda em unidades angulares e uma régua linear que, vinculada ao disco, poderia pivotar em torno de um eixo passando pelo centro do disco. Alçava-se o astrolábio pela sua parte superior, geralmente no dedo do observador, e apontava-se a régua ao astro desejado, lendo-se a graduação correspondente à altura do astro. Quando se conhecia a direção do norte local, o disco podia ser usado para medir distâncias angulares na horizontal, fornecendo o azimute do astro (Figura 92).

Figura 90 – Astrolábio: instrumento náutico antigo, usado para medir a altura dos astros



Fonte: Astrolábio (c2011-2024).

A construção de um astrolábio pode envolver discussão com as disciplinas de Astronomia, Matemática, História, Física, entre outras. Uma das aplicações do astrolábio foi no período das antigas viagens marítimas pelos navegadores. A ideia básica de manuseio do instrumento é a seguinte: o observador aponta a régua central

para o astro utilizado como referência e, em seguida, observa as graduações do instrumento. A partir dessa observação, e com base nos conhecimentos de Astronomia, os navegadores poderiam precisar sua localização em alto mar e fazer o cálculo das rotas.

Há vídeos e artigos científicos relatando sobre o uso do referido instrumento. Há, por exemplo, um ótimo artigo de Heloisa Meireles Gesteira (2014), com o título *O Astrolábio, o Mar e o Império*, disponível na internet que daria uma ótima atividade sobre construção de astrolábio. Há outros instrumentos antigos, também interessantes como: sextante, quadrante, gnômon etc., que podem ser construídos pelos estudantes com a orientação do professor.

Sextante: instrumento usado para medir a distância angular na vertical entre um astro e a linha do horizonte a fim de calcular a posição e para corrigir os eventuais erros da trajetória da navegação estimada anteriormente. Pode ser usado para calcular distâncias medindo ângulos verticais desde o ponto de observação até um dado objeto (Figura 93).

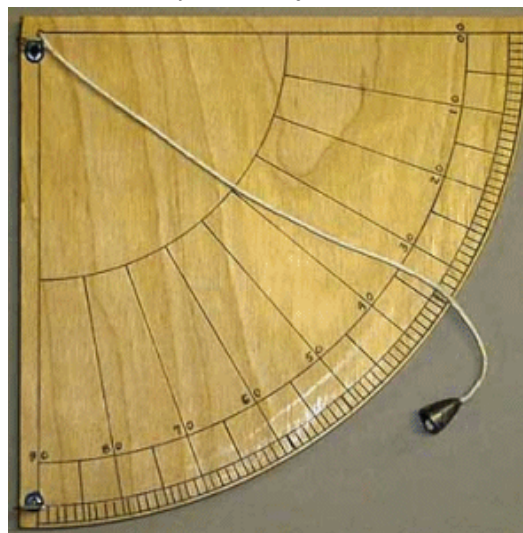
Figura 91 – Sextante: usado para medir a distância angular na vertical entre um astro e a linha horizontal



Fonte: Sextante ([2019?]).

Quadrante: consiste num instrumento que é o quarto de um círculo graduado, com um fio fixo tendo numa das extremidades uma massa, que denominamos prumo (Figura 94). Este instrumento foi usado na Astronomia Antiga e em navegações, sua função era medir a altura de um objeto em relação ao horizonte, baseado na distância angular que apresentava, em geral, uma escala que fornecia a tangente de certos ângulos e linhas horárias. Ele passou a ser usado na Astronomia, por sua vez, só a partir do século XIII, com a introdução de um cursor que se deslocava ao longo da escala de altura, era possível resolver certos problemas astronômicos. Com o tempo procurou-se fazer do quadrante náutico um instrumento com mais precisão.

Figura 92 - Quadrante: mede a altura (distância angular) de um objeto em relação ao horizonte



Fonte: *A Astronomia* (c2003-2024).

Um artigo de autoria de Ana Carolina Costa Pereira, Antônia N. de Sousa Batista e Isabelle C. da Silva, com o título *A matemática incorporada na construção do quadrante descrito na obra Libros del Saber de Astronomía* (2017), tem uma proposta didática para construir um quadrante, uma atividade multidisciplinar, envolvendo Matemática, Geometria, e outras áreas.

Gnômon: os antigos utilizavam a observação da sombra do Sol projetada no solo como meio de orientação para realizar medidas. Temos diversos exemplos de tais práticas em livros, artigos científicos etc. Utilizando a projeção da sombra do Sol, os astrônomos realizavam medidas com boa precisão, se considerarmos os instrumentos disponíveis na época. Um exemplo que podemos citar foi de Eratosthenis de Cirene (276-194 A. E. C.) que foi um dos primeiros a medir a circunferência da Terra por meio desta técnica. Sua origem é incerta, Heródoto (485-425 E. C.) atribui a invenção do Gnômon aos babilônios.

O gnômon na sua forma mais simples, consiste em uma haste fincada no solo e por meio da projeção de sua sombra são realizadas medidas, tomando por referência a variação do tamanho da sombra, ao longo do dia (Figura 95). Baseado na trajetória do Sol, que aparentemente descreve para um observador na Terra, em virtude da rotação do planeta em torno de seu eixo, a sombra da haste varia o seu tamanho. Pode ser usado como atividade para identificar os pontos cardeais locais.

Figura 93 – Gnômon: parte do relógio solar, usado para indicar a hora com a projeção da sombra



Fonte: Bergmann e Fraquelli ([2019?]).

Mediante o rico debate que a construção deste instrumento proporciona, o professor poderá desenvolver várias atividades, dentre elas: demarcar os pontos cardeais do local, estudar a posição dos astros, aplicar conceitos e resolver problemas de matemática etc.

Construção de foguete com garrafa pet: outra atividade interessante é a realização de oficinas para a construção de foguetes com garrafas pet, para serem lançados usando água pressurizada ou por reação química da mistura de vinagre e bicarbonato de sódio. É uma atividade bastante interessante, que permite ao professor poder explorar alguns temas como: estudo do centro de massa dos corpos, lançamento vertical e oblíquo, reações químicas, temas referentes a tecnologia espacial, entre outros assuntos. Há na internet vários vídeos e artigos, apresentando atividades envolvendo construção de foguete e exemplificando sua construção. O artigo de James Alves de Souza, *Um foguete de garrafas pet* (2007), é um bom exemplo, a ser explorado como material de apoio (Figura 96). O site da Olimpíada Brasileira de Astronomia também tem instruções e orientações de como fazer um foguete com garrafa pet.

Figura 94 - Foguete construído com garrafa pet



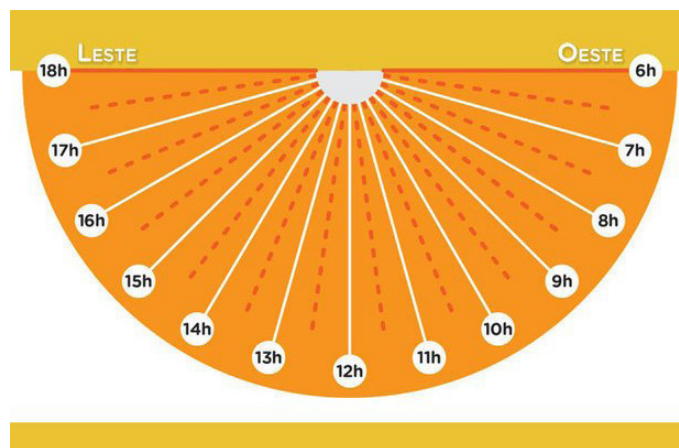
Fonte: Souza (2007).

Construção de um relógio de sol: o relógio de sol é um instrumento que indica as horas conforme a projeção da luz solar, utilizado há milhares de anos por povos antigos. Esta é uma atividade possível de ser realizada na sala de aula.

Os relógios solares são compostos, basicamente de uma “mesa”, onde fica o mostrador, e um estilete, também chamado de “gnômon”, cuja sombra é projetada sobre o mostrador, onde as horas serão marcadas com a passagem aparente do Sol. Existem diferentes montagens de relógios Solares: “horizontais”, “verticais” e “equatoriais”. Nos relógios de montagem horizontal, a mesa é paralela ao horizonte do lugar, enquanto que os de montagem vertical a mesa é perpendicular ao plano do horizonte. Nos relógios de montagem equatorial, a mesa é paralela ao equador terrestre. Em todas as montagens, o gnômon é sempre paralelo ao eixo de rotação da Terra. Os relógios verticais são, ainda, classificados em declinantes (quando seus mostradores apontam diretamente na direção de algum dos pontos cardeais – norte, leste, sul ou oeste) e não-declinantes (quando os mostradores apontam em qualquer outra direção). Para que marquem as horas durante todo o ano, os relógios de montagem equatorial e vertical necessitam terem mostradores em ambos os lados da mesa.

O livro *Conceitos de Astronomia* (1984), de Roberto Boczko, editado pela Edgard Bluecher é uma boa referência de Astronomia Fundamental e tem dicas muito boas de como construir relógio solar, no site da Revista Nova Escola também há um projeto da construção de um relógio (Teixeira; Nicolielo, 2013)⁴⁰.

Figura 95 – Semicírculo representando o mostrador de um relógio solar



Fonte: Teixeira e Nicolielo (2013).

QUESTÕES DE ASTRONOMIA RESOLVIDAS

Nesta seção apresentamos algumas questões de Astronomia respondidas, algumas elaboradas pelo autor e outras da prova da Olimpíadas Brasileira de Astronomia (OBA), para o professor treinar com os alunos. Estas questões podem ajudar a revisar aprendizagem e ainda fornece uma ideia de como são as provas da OBA. Foram realizadas algumas modificações nas questões da OBA para otimizar a compreensão e economizar espaço, sem comprometer o objetivo.

- 1.0) O nosso planeta orbita a zona habitável do espaço, nos proporcionando diferentes estações por ano. A causa de haver quatro estações por ano na Terra, está diretamente relacionada:
- Ao fato da órbita da Terra ser elíptica.
 - à aproximação (periélio) e ao afastamento (afélio) do planeta do Sol, durante o seu movimento de translação (revolução).

- c. à inclinação do eixo de rotação em relação a sua órbita.
- d. à posição do planeta no sistema solar em relação ao Sol.
- e. à distância entre a Terra e o Sol.

Resposta: C

2.0) Os principais movimentos executados pelo planeta Terra são:

- a. rotação.
- b. translação (revolução).
- c. rotação e translação (revolução).
- d. rotação, translação (revolução), precessão e outros.
- e. rotação, translação (revolução) e precessão.

Resposta: D

3.0) Um brilho fugaz que surge no céu noturno, conhecido popularmente como “estrela cadente”, ocorre quando:

- a. uma estrela aparece mudando de posição.
- b. um meteorito está adentrando a atmosfera terrestre em alta velocidade.
- c. corpos rochosos, metálicos ou rochosos-metálicos (meteoroides ou asteroides) vindos do espaço (podem ser resto de estrelas) explodiram ao adentrar atmosfera terrestre.
- d. ocorrem descargas eletromagnéticas entre nuvens eletrizadas.
- e. atmosfera fica ionizada, devido a uma descarga elétrica.

Resposta: C

4.0) O movimento de rotação da Terra provoca os fenômenos nascer e ocaso, chamado de movimento aparente dos astros. Neste caso pode-se afirmar que:

- a. o Sol nasce sempre no leste e se põe (ocaso) sempre no oeste.
- b. o Sol nasce no lado leste e se põe (ocaso) no lado oeste.
- c. o Sol nasce sempre no oeste e se põe (ocaso) sempre no leste.
- d. o Sol nasce no lado oeste e se põe (ocaso) no lado oeste.
- e. o Sol nasce leste e se põe (ocaso) sempre no horizonte.

Respostas: B

5.0) (OBA/2018) Coloque C para certo ou E para errado na frente de cada uma das afirmações abaixo:

- a. Galileu observou que a Lua tinha montanhas e crateras e o Sol tinha manchas escuras.
- b. Galileu descobriu que a Via Láctea era constituída por uma infinidade de estrelas.
- c. Galileu descobriu que Júpiter tinha quatro satélites.
- d. Galileu inventou a luneta astronômica.
- e. Galileu observou as fases de Vênus.

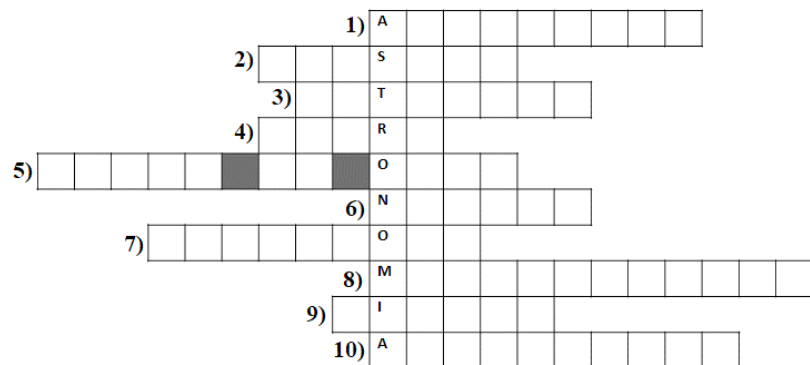
Resposta: C, C, C, E, C

6.0) Resolva a cruzadinha astronômica⁴¹.

1. Galáxia espiral do catálogo de Messier 31 (NGC 224), localizada a 2,54 milhões de anos-luz de distância da Terra.
2. Astrônomo francês que elaborou um catálogo de galáxias, quando estava procurando o cometa Halley em 1758.
3. Grande esfera de plasma, cujos maiores componentes químicos abundantes são o hidrogênio e o hélio, seu tempo de vida está relacionado a sua massa.
4. Terceiro planeta em relação ao Sol.
5. Região que contém objetos transnetunianos, localizada a 50.000 UA, considerada por alguns astrônomos como limite do sistema solar.
6. Último planeta do sistema solar.
7. Evento astronômico que ocorre durante os estágios finais da evolução estelar, caracterizado por uma explosão brilhante.
8. Campo magnético que controla os processos eletrodinâmicos da atmosfera ionizada e de plasma.
9. Estrela bastante brilhante de magnitude aparente de -1,46, localizada na constelação de Cão Maior, conhecida desde os antigos egípcios.
10. Pequenos corpos rochosos que orbitam o Sistema Solar, em algumas situações se constituem como ameaça ao planeta Terra.

41

Resposta da cruzadinha astronômica: 1) Andrômeda; 2) Messier; 3) Estrelas; 4) Terra; 5) Nuvem de Oort; 6) Netuno; 7) Supernova; 8) Magnetosfera; 9) Sirius; 10) Asteroides.



7.0) (OBA/2018) As lâmpadas das residências têm impressas nelas as suas respectivas Potências, como por exemplo, 60 Watt, 100 Watt etc., o que define a “luminosidade” delas. Watt, W, é a unidade de Potência e representa a quantidade de energia emitida por unidade de tempo, ou seja: Potência (W) = Energia (J)/tempo (s). As estrelas são grandes lâmpadas, mas chamamos a Potência delas de Luminosidade (L), ou seja: Luminosidade (W) = Energia (J)/tempo(s). A Potência de uma lâmpada é sempre a mesma, não importa se estamos perto ou longe dela. A Luminosidade também é uma propriedade da estrela. Também não depende se estamos perto ou longe dela. A Potência de uma lâmpada depende da resistência, corrente e da diferença de potencial. A Luminosidade (L) de uma estrela depende da Temperatura (T) da sua superfície (medida em Kelvin) e da área desta superfície, isto é, do Raio (R) da estrela, da seguinte forma: $L = k (4 \pi R^2) T^4$ onde k é chamada de constante de Stefan-Boltzmann e vale $k = 5,67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-4}$.

Pergunta: calcule o valor exato da Luminosidade do Sol em Watt. Dados: Raio do Sol: cerca de 700.000 km. Temperatura da superfície do Sol: cerca de 6.000 K. Para facilitar os cálculos use os valores aproximados de $\pi = 3$ e $k = 6,0 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-4}$.

RESOLUÇÃO:

$$L = k(4\pi R^2)T^4 = 6,0 \times 10^{-8} W m^{-2} K^{-4} [4 \cdot 3 \cdot (7 \times 10^8 m)^2] (6 \times 10^3 K)^4$$

$$L = 6,0 \times 10^{-8} W m^{-2} K^{-4} \cdot 12 \cdot 49 \times 10^{16} m^2 \cdot 1.296 \times 10^{12} K^4$$

$$L = 6,0 \times 10^{-8} W \cdot 12 \cdot 49 \cdot 1.296 \times 10^{16+12}$$

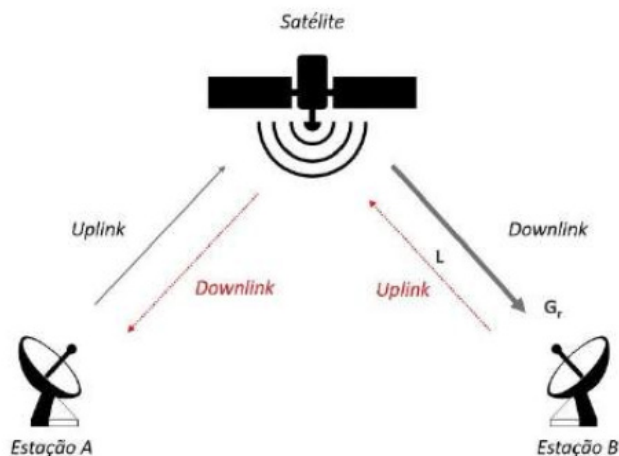
$$L = 6,0 \times 10^{-8} W \cdot 762.048 \times 10^{28}$$

$$L = 6,0 W \cdot 762.048 \times 10^{28-8}$$

$$L = 4.572.288 \times 10^{20} W.$$

A luminosidade do Sol em Watt é: $L = 4,572288 \times 10^{26} W$

- 8.0) (**OBA/2018**) Em 2017 foi lançado o Satélite Geoestacionário de Defesa e Comunicações Estratégicas (SGDC), satélite operado pelo governo brasileiro. Em função da sua órbita, o SGDC fica "parado" em relação à Terra a 35.800 km de distância. O usuário, ligado à Estação A, pode estabelecer comunicação, via SGDC, com outro usuário, conectado à Estação B (vide Figura). Nos enlaces de comunicação de *uplink* e *downlink* ocorrem dois fenômenos importantes. Um deles é a redução da intensidade do sinal, **E**, em função da distância e das interações das ondas eletromagnéticas com o meio no qual elas se propagam. Outro fenômeno é o ruído eletromagnético, **N**, que são sinais espúrios que introduzem contribuições indesejadas nas comunicações. Baseado nestes conceitos é estabelecida a relação sinal/ruído (**E/N**): $\frac{E}{N} = \frac{P \times G}{R \times L}$, onde P = Potência de transmissão do satélite, G = Ganho da antena receptora da estação B, L = Perdas na transmissão e R = Taxa de bits, isto é, bits por segundo (bps). Quanto maior essa relação, melhor a captação da informação no receptor. Neste exercício, o enlace de comunicação a ser analisado é entre o Satélite (transmissor) e a Estação B (receptor), no sentido de *downlink*. A Estação B compreende uma antena com 5 m de diâmetro.



Fonte: BA, 2018.

(Pergunta 1) Suponha uma situação na qual o SGDC esteja transmitindo dados à taxa de um milhão de bits por segundo ($R = 1$ Mbps) com $P = 50$ W. Em função de uma chuva torrencial, a perda total (L) tem seu valor dobrado. Supondo que mesmo com a chuva se queira manter a mesma taxa de transmissão de dados entre o SGDC e a Estação B, qual seria a nova potência de transmissão do satélite? Considere que a relação sinal/ruído não se altere e que a antena da Estação B é a mesma.

RESOLUÇÃO:

P: potência (50 W) $\frac{E_1}{N_1} = \frac{E_2}{N_2} \Rightarrow \frac{P_1 \times G_1}{R_1 \times L_1} = \frac{P_2 \times G_2}{R_2 \times L_2}$

G: ganho da antena Observamos que pelo anunciado: $P_1 = 50$ W; $G_1 = G_2$;

L: perdas de sinal $L_2 = 2L_1$; $R_1 = R_2$ e $P_2 = ?$

R: 1 Mbps (1×10^6 bps) Reescrevendo a expressão:

$$\frac{P_2 G_2}{R_2 2L_1} = \frac{P_1 G_2}{R_2 L_1}$$

Eliminando os termos semelhantes e substituindo as incógnitas;

$$P_2 = \frac{P_1 G_2}{R_2 L_1} \cdot \frac{R_2 2L_1}{G_2}$$

$$P_2 = P_1 \cdot 2 = 50 \text{ W} \cdot 2 = 100 \text{ W}$$

$P_2 = 100 \text{ W}$ é a nova potência de transmissão.

(Pergunta 2) Ao ser apresentado com o novo valor de potência, um engenheiro do SGDC informou que o satélite já operava no seu limite de potência, que é de 50 W. Alternativamente, ele propôs que o aumento das perdas (L) fosse resolvido aumentando-se o ganho (G) da antena da Estação B. Dentre os fatores que impactam no ganho da antena está o seu tamanho. O ganho é dado por $G = c \times A$, onde c é uma constante e A é a área circular da antena. Considerando-se que o satélite opere na sua potência máxima, qual o novo diâmetro da antena para manter a relação sinal/ruído e, assim, a mesma taxa de transmissão de dados? O diâmetro (D1) original da antena é de 5 m. Use: $\sqrt{2} = 1,4$.

RESOLUÇÃO:

$$\frac{E_1}{N_1} = \frac{E_2}{N_2} \Rightarrow \frac{P_2 G_2}{R_2 2L_1} = \frac{P_1 G_1}{R_1 L_1}$$

Nesse caso pelo enunciado: $P_1 = P_2 = 50 \text{ W}$, não deve ser alterado, porém o ganho ($G_1 \neq G_2$) deve ser diferente, onde $G = c \times A$. Os outros parâmetros não se alteram; ($L^2 = 2L_1$ e $R_1 = R_2$)

Se o diâmetro da antena é 5 m o raio é a metade, ou seja,
 $r_1 = 2,5 \text{ m}$

$$\frac{G_2}{2} = G_1$$

$$G_2 = 2 c A_1 = 2(c \pi r_1^2)$$

$$c \pi r_2^2 = 2(c \pi r_1^2)$$

$$r_2^2 = 2r_1^2$$

$$r_2 = \sqrt{2 r_1^2} = 1,4 r_1;$$

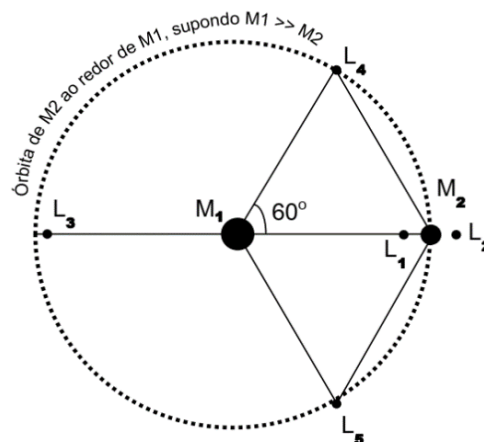
Substituindo $r_1 = 2,5 \text{ m}$:

$$r_2 = 1,4 \cdot 2,5 = 3,5.$$

Sendo $r_2 = 3,5 \text{ m}$, o novo diâmetro da antena será de $D_2 = 7,0 \text{ m}$.

9.0) **(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 precisam observar o Sol 24h/dia. Mas pela terceira Lei de Kepler $T^2 = kD^3$, ou seja, quanto menor a distância do 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 L1 fica na linha Terra-Sol, entre a Terra e o Sol e um observatório ali colocado, move-se com o mesmo período da Terra, tal como faz o SOHO (Telescópio), o qual nunca é eclipsado pela Lua e

recebe sempre a mesma irradiação do Sol. Veja a figura abaixo. O ponto **L2** fica depois do cone da sombra (umbra) da Terra, este é o local de posicionamento do Telescópio Espacial James Webb e terá período de translação igual ao da Terra. Os pontos **L4** e **L5** ficam sobre a órbita da Terra e são localizados por um triângulo equilátero com aresta igual à distância Terra-Sol.



(Pergunta 1) Considere que M1 seja a massa do Sol, M2 a massa da Terra, R a distância Terra-Sol e r a distância da Terra aos pontos Lagrangianos L1 e L2 (são simétricos em relação a M2). 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 está mais distante do que a órbita da Lua.

RESOLUÇÃO:

$$r = 1,4784 \times 10^8 \text{ km};$$

$$D_L = 384.000 \text{ km};$$

A quantidade de vezes que r é maior que D_L é obtida pela divisão da distância da Terra aos pontos L_1 e L_2 , pela distância entre a Terra a Lua, o resultado chamaremos de x :

$$x = \frac{r}{D_L} = \frac{1,4784 \times 10^8 \text{ km}}{384.000 \text{ km}} = \frac{147.840}{384} = 385$$

$x = 385$; sendo a quantidade r 385 vezes maior que a distância média da Terra à Lua.

10.0) **(OBA/2017)** Você conhece os planetas do Sistema Solar. Então, coloque os nomes deles depois de suas respectivas descrições.

- a. É gasoso, sua densidade média é $1,3 \text{ g/cm}^3$ Tem anéis, mas não é Saturno. Tem forte campo magnético. Tem faixas coloridas em sua atmosfera, inclusive uma grande mancha. Seu dia dura só 9 h 48 min. Seu diâmetro é 11,2 vezes o da Terra
- b. É rochoso, sua densidade média é $3,9 \text{ g/cm}^3$. Tem o maior vulcão inativo do Sistema Solar. É bem menor do que a Terra e tem superfície avermelhada. Tem desfiladeiros enormes. No passado até se pensou que era habitado
- c. É rochoso, sua densidade média é $5,2 \text{ g/cm}^3$. Muito brilhante. Visto sempre "perto do Sol". Seu dia é mais longo do que seu ano. Primeiro planeta a receber o pouso controlado de uma sonda. É o mais quente dos planetas. Não tem luas
- d. É gasoso e menos denso que a água. O mais achatado dos planetas. O mais distante planeta ainda visível a olho nu. Um pouco menor que Júpiter. Tem anéis, auroras e tormentas. Seu dia dura só 10 h 12 min. Estudado pela sonda Cassini

RESOLUÇÃO: (Esta fica como treinamento)

OBS: Na página do site da OBA há várias provas das olimpíadas passadas com gabarito que pode ser baixada para o professor treinar: <http://www.oba.org.br/site/>

REFERÊNCIAS

10 Hígia. **Wikipédia**, [2019?]. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/10_H%C3%ADgia Acesso em: 12 abr. 2019.

2 Palas. **Wikipédia**, [2019?]. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/2_Palas. Acesso em: 05 fev. 2019.

4 Vesta. **Wikipédia**, [2019?]. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/4_Vesta. Acesso em: 17 fev. 2019.

A ASTRONOMIA na idade média. **Astronomia – Centro Ciência Viva Algarve**, c2003-2024. Disponível em: http://www.ccvalg.pt/astronomia/historia/idade_media.htm. Acesso em: 15 mar. 2019.

A DESCOBERTA das Galáxias. **Astronomia – Centro Ciência Viva Algarve**, c2003-2024. Disponível em: http://www.ccvalg.pt/astronomia/galaxias/descoberta_galaxias.htm. Acesso em: 29 fev. 2020.

A ESA adquire a primeira missão mundial de remoção de detritos de uma start-up. **The European Space Agency**, 01 dez. 2020. Disponível em: https://www.esa.int/Safety_Security/Space_Debris. Acesso em: 20 jun. 2020.

A FORMAÇÃO do nosso sistema solar. **Prisma**, [2019?]. Disponível em: <http://cftc.cii.fc.ul.pt/PRISMA/capitulos/capitulo1/modulo5/topico2.php>. Acesso em: 09 mar. 2020.

AGGARWAL, Hans. R.; OBERBECK, Vern. R. Roche limit of a solid body. **The Astrophysical Journal**, [S. l.], v. 191, p. 577-588, 1974.

ALMEIDA, Guilherme de. Charles Messier e a sua obra. **Associação Portuguesa de Astrónomos Amadores**, 2005. Disponível em: http://www.apaa.co.pt/GA/Charles_Messier.pdf Acesso em: 25 maio 2020.

ANDREAS, San. Primeiro Satélite Comunicações do Governo do Brasil. **Outerspace**, 2019. Disponível em: <https://forum.outerspace.com.br/index.php?threads/curiosidades-da-engenharia-3-primeiro-satelite-comunica%C3%A7%C3%B5es-do-governo-do-brasil-fotos.451064/>. Acesso em: 07 ago. 2019.

APOLLO 11. **Wikipédia**, [2019?]. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Apollo_11. Acesso em: 15 mar. 2019.

ARAÚJO, Noemi dos Santos. Estudo de Transferências Orbitais Utilizando Algoritmo Genético. **Relatório Final de Projeto de Iniciação Científica (PIBIC/CNPQ/INPE)**, 2011. p. 3-10.

ARAÚJO, Tarso. Como é o lançamento de um foguete? **Super Interessante**, 14 fev. 2020. Disponível em: <https://super.abril.com.br/mundo-estranho/como-e-o-lancamento-de-um-foguete/>. Acesso em: 21 mar. 2020.

ASTEROIDES troianos de Júpiter. **Wikipédia**, 2018. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Asteroides_troianos_de_J%C3%BApiter. Acesso em: 12 nov. 2019.

ASTEROIDES, Cometas e Meio Interplanetário. **Professor Interativo**, 2007. Disponível em: https://www.professorinterativo.com.br/aval_on_line/01_TICs/TIC_02/10_corpos.htm. Acesso em: 12 mar. 2020.

ASTROLÁBIO. **Enciclopédia Significados**, c2011-2024. Disponível em: <https://www.significados.com.br/astrolabio/>. Acesso em: 23 mar. 2019.

BARBOSA, Cássio. O mistério de Chelyabinsk. **G1**, 19 fev. 2016. Disponível em: <https://g1.globo.com/ciencia-e-saude/blog/observatorio/post/o-misterio-de-chelyabinsk.html>. Acesso em: 25 mar. 2019.

BATISTA, Andreza da Costa. **Estudo de modelos e condições iniciais da geração a priori de detritos espaciais e sua propagação orbital**. 2011. 354 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia Espaciais / Mecânica Espacial e Controle) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2011.

BEAUMONT, Dan. Apollo 11 “One small step, on the Mare Tranquilitatis”, July 20, 1969, G. Ranielli artist (1970). **Flickr**, 24 ago. 2014a. Disponível em: <https://www.flickr.com/photos/mrdanbeaumont/>. Acesso em: 25 mar. 2019.

BEAUMONT, Dan. Moon landing sites MAP. **Flickr**, 05 abr. 2014b. Disponível em: <https://www.flickr.com/photos/mrdanbeaumont/> Acesso em: 01 jun. 2019.

BERGMANN, Thaisa Storchi; FRAQUELLI, Henrique Aita. Construção de um Gnomon e de um Relógio Solar. **If.ufrgs**, [2019?]. Disponível em: http://www.if.ufrgs.br/~riffel/notas_aula/ensino_astro/roteiros/Roteiro_Relogiosolar_Gnomon.htm. Acesso em: 03 jun. 2019.

BERNARDES, Luander; MENDES, Camile; TEIXEIRA, Lilian Aparecida. **Terra e Cosmo**. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A, 2017.

BORGES, Fabiane Moraes. **Na Busca da Cultura Espacial**. São Paulo: PUC, 2013. p. 30-45.

BRANCO, Pércio de Moraes. Breve História da Terra. **Serviço Geológico do Brasil - CPRM**, 03 dez. 2016. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Redes-Institucionais/Rede-de-Bibliotecas--Rede-Ametista/Canal-Escola/Breve-Historia-da-Terra-1094.html>. Acesso em: 10 fev. 2019.

BRASIL está fora do projeto da estação espacial (ISS). **G1**, 28 maio 2007. Disponível em: <http://g1.globo.com/Noticias/Brasil/0,,AA1549783-5598,00-BRASIL+ESTA+FORA+DO+PROJETO+DA+ESTACAO+ESPACIAL+ISS.html>. Acesso em: 08 jan. 2019.

CALENDÁRIO cósmico. **Wikipédia**, [2019?]. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Calend%C3%A1rio_c%C3%B3smico. Acesso em: 03 de jun. de 2019.

CANHÃO, Telo Ferreira. O Calendário Egípcio, Origem, estrutura e sobrevivência. **Cultura, Revista de História e Teoria das Ideias**, [S. /], v. 23, 2006. p. 1-7.

CARACTERÍSTICAS dos planetas. **Astronoo**, 01 jun. 2013. Disponível em: <http://www.astronoo.com/pt/artigos/caracteristicas-dos-planet.html>. Acesso em: 02 jun. 2020.

CARACTERÍSTICAS dos planetas. **Astronoo**, 01 jun. 2013. Disponível em: <https://astronoo.com/pt/artigos/caracteristicas-dos-planet.html>. Acesso em: 03 jun. 2019.

CARBONELL, Ada Ortiz. O que acontecerá quando o Sol morrer? **El País**, 02 out. 2019. Disponível em: https://brasil.elpais.com/brasil/2019/09/30/ciencia/1569831387_907062.html. Acesso em: 08 jun. 2019.

CARNEIRO, Daniel Martins. A construção mais cara da história: Como a Engenharia ajudou a erguer a Estação Espacial Internacional e o que podemos aprender com ela. **Blog Civilização engenharia**, 11 abr. 2022. Disponível em: <https://civilizacaoengenharia.wordpress.com/2022/04/11/a-construcao-mais-cara-da-historia-como-a-engenharia-ajudou-a-erguer-a-estacao-espacial-internacional-e-o-que-podemos-aprender-com-ela/> Acesso em: 03 mar. 2024.

- CARVALHO, Thamis Côrtes Freire de. **Manobras evasivas e estratégia de mitigação para detritos espaciais e asteroides em rota de colisão com a Terra**. 2019. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Física) – Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2019. p. 4-8.
- CARVALHO, Wilton Pinto de; RIOS, Débora Correia; CONCEIÇÃO, Herbet; ZUCOLOTTI, Maria Elizabeth; D'ORAZIO; Massimo. O Mistério de Bendegó: história, mineralogia e classificação química. **Revista Brasileira de Geociências**, Rio de Janeiro, v. 41, mar. 2011. p. 144.
- CAVALCANTE, Daniele. 10 cientistas negros que fizeram história e devem ser lembrados. **CanalTech**, 15 nov. 2023 (atualizado). Disponível em: <https://canaltech.com.br/ciencia/10-cientistas-negros-que-fizeram-historia-e-devem-ser-lembrados/>. Acesso em: 08 jun. 2019.
- CAVALCANTE, Daniele. Esses cientistas negros deixaram sua marca na história. **Canaltech**, 20 nov. 2019. Disponível em: <https://canaltech.com.br/ciencia/negros-que-marcaram-a-historia-da-ciencia-155655/>. Acesso em: 20 maio 2020.
- CERES (planeta anão). **Wikipédia**, 2020. Disponível em: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Ceres_\(planeta_an%C3%A3o\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/Ceres_(planeta_an%C3%A3o)). Acesso em: 01 maio 2020.
- COMETA Halley. **Wikipédia**, 2020. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Cometa_Halley. Acesso em: 12 mar. 2020.
- COMETAS. **Luso Academia**, [2019?]. Disponível em: <https://lusoacademia.org/2018/07/19/cometas/>. Acesso em: 12 jun. 2019.
- COMPARAÇÃO do tamanho das estrelas 2. [S. l.: s. n.], 2016. 1 vídeo (6 min 50 seg). Publicado pelo canal morn1415. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=GoW8Tf7hTGA>. Acesso em: 08 jun. 2019.
- COMPARE o tamanho dos planetas nesta escala do Universo. **Apollo11.com**, c2000-2024. Disponível em: https://www.apollo11.com/escala_planetas.php. Acesso em: 08 jun. 2019.
- CONSTRUÇÃO de um relógio solar. Disponível em: <https://ppgenfis.if.ufrgs.br/mef008/arquivos/relsol.html>. Acesso em: 22 jun. 2020.
- CRATERA de colônia. **Wikipédia**, 2019. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Cratera_de_Col%C3%B4nia. Acesso em: 25 mar. 2020.

CRATERAS da Lua. **Astrnoo**, 01 jun. 2013. Disponível em: <https://astronoo.com/pt/artigos/crateras-da-lua.html>. Acesso em: 12 jun. 2019.

CUNHA, Lazaro. **Contribuição dos Povos Africanos para o Conhecimento Científico e Tecnológico Universal**. 2011. p. 4-5. Disponível em: <http://smec.salvador.ba.gov.br/documentos/contribuicao-povos-africanos.pdf>. Acesso em: 29 maio 2020.

CURY, Lucilene; CAPOBIANCO, Ligia. **Princípios da História das Tecnologias da Informação e Comunicação Grandes Invenções**. VIII Encontro Nacional da História das Mídias. USP/SP, 2010. p. 1-7

DAMASIO, Filipe. O início da revolução científica: questões acerca de Copérnico e os epíclis, Kepler e as órbitas elípticas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 33, n. 3, 3602, 2011.

DESCOBERTA a galáxia mais distante e mais antiga já vista em todo o Universo. **Galeria do Meteorito**, 07 mar. 2016. Disponível em: <https://www.galeriadometeorito.com/2016/03/descoberta-galaxia-mais-distante-e-mais-antiga-do-universo.html>. Acesso em: 20 jun. 2019.

DINIZ, Thais Mothé. Estudo da composição de Asteroide do Cinturão Principal. 2002. 121 f. Tese (Doutorado em Astronomia) – Ministério da Ciência e Tecnologia: Observatório Nacional, Rio de Janeiro, 2002. Disponível em: [http://servicos.on.br/ferramenta_teses/teses/ASTRONOMIA/\[38_28-03_C\]thais_mothe_diniz.pdf](http://servicos.on.br/ferramenta_teses/teses/ASTRONOMIA/[38_28-03_C]thais_mothe_diniz.pdf) Acesso em: 05 mar 2024.

ECHER, Ezequiel. Magnetosferas Planetárias. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São José dos Campos, v. 32, n. 2 (2301), 2010.

ENTENDA porque o “meteorito” causou tanto estrago na Rússia. **Meu pequeno cantinho**, 2013. Disponível em: <http://patricia-trocadeideias.blogspot.com/2013/02/entenda-por-que-o-meteorito-causou.html> Acesso em: 11 mar. 2020.

ESA, Commissions world's first space debris removal. In: The European Space Agency, 2019. Disponível em: https://www.esa.int/Space_Safety/Clean_Space/ESA_commissions_world_s_first_space_debris_removal Acesso em: 02 mar. 2024.

ESPECTRO visível. **Wikipédia**, [2019?]. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Espectro_vis%C3%ADvel. Acesso em: 20 jun. 2019.

ESTÁGIOS (astronáutica). **Wikipédia**, 2020. Disponível em: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Est%C3%A1gio_\(astron%C3%A1utica\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/Est%C3%A1gio_(astron%C3%A1utica)). Acesso em: 21 mar. 2020.

ESTUDO diz que meteorito da Rússia se originou de choque de asteroides. **G1: Ciência e Saúde**, 22 maio 2014. Disponível em: <https://g1.globo.com/ciencia-e-saude/noticia/2014/05/estudo-diz-que-meteorito-da-russia-se-originou-de-choque-de-asteroides.html> Acesso em: 29 fev. 2024.

EVANS, Adam. M31, The Andromeda Galaxy. **Flickr**, 14 set. 2009. Disponível em: <https://www.flickr.com/photos/astroporn/3918373246/>. Acesso em: 26 fev. 2024.

EXCENRICIDADE orbital. **Wikipédia**, 2023. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Excenricidade_orbital. Acesso em: 02 mar. 2024.

EXPLORAÇÃO Espacial. **Wikipédia**, 2018. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Explora%C3%A7%C3%A3o_espacial. Acesso em: 12 dez. 2018.

EXPLORE Solar System and Beyond. **Nasa**, [2012?]. Disponível em: <https://www.nasa.gov/topics/solarsystem/index.html> Acesso em: 19 mar. 2020.

FARIA, Rachel Suchi; VOELZKE, Marcos Rincon. Análise das características da aprendizagem de astronomia no ensino médio nos municípios de Rio Grande da Serra, Ribeirão Pires e Mauá. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, SP, v. 30, n. 4, 4402, 2008.

FERREIRA, Dirceu; MEGLHIORATTI, Fernanda Aparecida. Desafios e possibilidades no ensino de astronomia. **Dia a dia da educação**, [2008?] PR, p. 1-4. Disponível em: <http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/pde/arquivos/2356-8.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2018.

FERREIRA, Victor; ROCHA, João Manuel; GARCIA, Ricardo; FREITAS, Andrea Cunha. Meteoro de milhares de toneladas fez 1200 feridos na Rússia. **Público**, 15 fev. 2013. Disponível em: <https://www.publico.pt/2013/02/15/mundo/noticia/meteorito-caiu-na-russia-1584556> Acesso em: 03 mar. 2024.

FIGUEIREDO, Fernando José Bandeira de. **A Contribuição de José Monteiro da Rocha para o cálculo da órbita de Cometas**. 2005. Dissertação (Mestrado em História e Filosofia da Ciência) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2005.

FILE: Via Láctea de perfil.jpg. **Wikimedia Commons**, 2014. Disponível em: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Via_L%C3%A1ctea_de_perfil.jpg. Acesso em: 27 fev. 2024.

FLORENZANO, Teresa Gallotti. **Os satélites e suas aplicações**. São José dos Campos: Ed. SindCT, 2008. Disponível em: <https://www.agrolink.com.br/downloads/os%20sat%C3%A9lites%20e%20suas%20aplica%C3%A7%C3%B5es.pdf> Acesso em: 03 mar. 2024.

FONTDEGLÒRIA, Xavier. Estação espacial chinesa 'Tiangong-1' cai no Pacífico sul. **El País**, 02 abr. 2018. Disponível em: https://brasil.elpais.com/brasil/2018/04/02/internacional/1522633599_636912.html. Acesso em: 07 jan. 2019.

FORTES, Elaine Cristina Ferreira Silva; AZEVEDO, Franciane; KOLLAND, Marcos. Desvendando o Endereço Físico do Telescópio James Webb. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [S. /], v. 40, n. 3, e3306, 2018, p. 1-5.

FOTO do Sputnik. **Ninfinger**, 2007. Disponível em: http://www.ninfinger.org/models/vault2007/Sputnik%201/Energia2007sslMG_1562.jpg. Acesso em: 22 jul. 2019.

FOTOS de desenhos esquemáticos do Sputnik. **Ninfinger**, 2007. Disponível em: <http://www.ninfinger.org/models/vault2007/Sputnik%201/index.html>. Acesso em: 22 jul. 2019.

FRIAÇA, Amâncio C. S.; DAL PINO, Elisabete; SODRÉ JR., Laerte; JATENCO-PEREIRA, Vera (org.). **Astronomia: uma visão geral do Universo**. São Paulo: EdUSP, 2008. p. 106-108. Disponível em: <https://encurtador.com.br/wDFQ2>. Acesso em: 27 fev. 2020.

GALANTE, Douglas; SILVA, Evandro P.; RODRIGUES, Fabio; HORVATH, Jorge E.; AVELLAR, Marcio G. B. (org.). **Astrobiologia: uma Ciência Emergente**. Tikinet Edição; IAG/USP, 2016. p. 315-335.

GALÁXIA de Andrômeda. **Wikipédia**, [2019?]. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Gal%C3%A1xia_de_Andr%C3%B4meda. Acesso em: 21 jun. 2019.

GALÁXIAS. **If.ufrgs**, [2018?]. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/~fatima/ead/galaxias.htm>. Acesso em: 12 nov. 2018.

GALLIANO, A. Guilherme. **O Método Científico: Teoria e Prática**. São Paulo: Editora Mosaico Ltda., 1979. p. 30-112.

GENIPPER Patrícia. Essas missões deixarão a NASA bem ocupada nos próximos 10 anos. **CanalTech**, 21 ago. 2019. Disponível em: <https://canaltech.com.br/espaco/essas-missoes-deixarao-a-nasa-bem-ocupada-nos-proximos-10-anos-147497/>. Acesso em 20 jun. 2020.

GEOMAGNETISMO. **IPMA**, c2024. Disponível em: <https://www.ipma.pt/pt/enciclopedia/geofisica/geomagnetismo/index.html>. Acesso em: 27 jun. 2019.

GOMES, Carla Amado (org.). **Relatório Estudo Sobre Risco Tecnológico**. Instituto de Ciências Jurídico-Políticas Centro de Investigação de Direito Público. Rio de Janeiro, 2017. p. 129, 146-151.

GREGORIO-HETEM; Jane; JATENCO-PEREIRA, Vera. Estrelas: classificação espectral. /n: GREGORIO-HETEM; Jane; JATENCO-PEREIRA, Vera. **Observatórios Virtuais – Fundamentos de Astronomia**. São Paulo: IAG/USP, 2010. (apostila). Disponível em: <http://www.astro.iag.usp.br/~jane/aga215/apostila/cap10.pdf>. Acesso em: 27 jun. 2019.

IMPACTO de meteorito na Rússia foi maior do que se calculava, diz estudo. **G1**, 06 nov. 2013. Disponível em: <http://g1.globo.com/ciencia-e-saude/noticia/2013/11/impacto-de-meteorito-na-russia-foi-o-dobro-do-que-se-calculava-diz-pesquisa.html>. Acesso em: 01 abr. 2020.

IZIDORO, André; RAYMOND, Sean N.; PIERENS, Arnaud; MORBIDELLI, Alessandro; WINTER, Othon C.; NESVORNÝ, David. O cinturão de asteróides como uma relíquia de um sistema solar antigo caótico. **The Astrophysical Journal**, [S. l.], v. 833, n. 40, 18p, 2016. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.3847/1538-4357/833/1/40/pdf> Acesso em: 29 fev. 2024.

JESUS, Antonio Delsin C. Mitigação de perigos de colisões de objetos espaciais com a terra. **Caderno de Física da UEFS**, Feira de Santana, v. 16, n. 1, 2018, p. 1402.1-18.

JUNQUEIRA, Thiago Correr. **Estrutura Espiral da Galáxia baseada no estudo de órbitas estelares**. 2013. Tese (Doutorado em Ciências) – Departamento de Astronomia, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013. p. 27-28.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Maria de Andrade. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 5 ed. São Paulo: Editora Atlas, 2003. p. 99-102.

LANGHI, Rodolfo; NARDIR, Roberto. Ensino de Astronomia: erros conceituais mais comuns presentes em livros didáticos de ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, [S. l.], v. 24, n. 1, 2007, p. 87 – 111.

LATTARI, Cleiton Joni Benetti; TREVISAN, Rute Helena. Radioastronomia: noções iniciais para o ensino médio e fundamental como ilustração de aula. **Cad.Cat.Ens.Fís.**, [S. l.], v. 18, n. 2, p. 229-239, 2001.

LEITÃO, Mario Jorge M. **Sistema de Comunicação por satélite, Sistema de Telecomunicação II**, 2019. Disponível em: https://www.academia.edu/22868157/Sistemas_de_Telecomunica%C3%A7%C3%B5es_II_SAT_1_MJL_Sistemas_de_Comunica%C3%A7%C3%A3o_por_Sat%C3%A9lite. Acesso em: 02 abr. 2020.

LEITÃO, Mário Jorge M. Sistemas de Telecomunicações II. **Academia.edu**, [2019?]. Disponível em: https://www.academia.edu/22868157/Sistemas_de_Telecomunica%C3%A7%C3%B5es_II_SAT_-1_MJL_Sistemas_de_Comunica%C3%A7%C3%A3o_por_Sat%C3%A9lite. Acesso em: 28 jun. 2019.

LIMITE de Roche. **Wikipédia**, 2022. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Limite_de_Roche. Acesso em: 02 mar. 2024.

LISTA de asteroides. **Astronoo**, 2013. Disponível em: <http://www.astronoo.com/pt/artigos/asteroides-lista.html>. Acesso em: 11 fev. 2020.

LISTA de satélites naturais do Sistema Solar. **Wikipédia**, 2023. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Lista_de_sat%C3%A9lites_naturais_do_Sistema_Solar Acesso em: 02 mar. 2019.

LUA. **Wikipédia**, [2020?]. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Lua>. Acesso em: 30 jun. 2019.

LUIZ Tarquínio. **Pioneiros & Empreendedores**, FEA/USP, c2019. Disponível em: <https://pioneiros.fea.usp.br/luiz-tarquinio/>. Acesso em: 05 ago. 2019.

LUNIK 3. **IDIS**, 07 maio 1959. Disponível em: <https://proyectoidis.org/lunik-3/>. Acesso em: 01 fev. 2014.

MADEHSKY, Rainer Karl. **Curso Básico de Astrofísica e Cosmologia**: O sistema solar, as estrelas e a Via Láctea. Feira de Santana: Editora UEFS, 2014. p. 15-17, 225-235, 260.

MANTELLATTO, Paulo Meira Bonfim. **As Influências da Lua na Terra e o Fenômeno das Marés**. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Matemática) – Universidade Federal São Carlos, Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia. Departamento de Matemática, São Carlos, SP, 2012. p. 23-27.

MARCOVITCH, Jacques. **Pioneiros & Empreendedores**: a saga do desenvolvimento do Brasil. São Paulo: Ed. Saraiva, 2007. p. 63-83. v. 3. Disponível em: <https://encurtador.com.br/rwKRZ>. Acesso em: 13 jun. 2020.

MARÉ. **Wikipédia**, [2019?]. Disponível em: <https://pt.wik Características ipedia.org/wiki/Mar%C3%A9>. Acesso em: 06 ago. 2019.

MARÉ. **Wikipédia**, 2005. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Mar%C3%A9>. Acesso em: 25 fev. 2024.

MARÉ. **Wikipédia**, 2020. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Mar%C3%A9>. Acesso em: 24 abr. 2020.

MARQUES, Ramiro. **Pedagogia de Jerome Bruner**. [2016?]. Disponível em: http://www.eses.pt/usr/ramiro/docs/etica_pedagogia/A%20Pedagogia%20de%20JeromeBruner.pdf. Acesso em: 05 maio 2020.

MARTINS, Manel Rosa. Benefícios do Programa Espacial – O impacto positivo da NASA na sociedade. **Astropt**, 2019. Disponível em: <http://www.astropt.org/2012/12/29/beneficios-do-programa-espacial-o-impacto-positivo-da-nasa-na-sociedade/>. Acesso em: 07 jan. 2019.

MARTINS, Roberto de Andrade. Kant e Laplace: a formação do sistema solar. In: MARTINS, Roberto de Andrade. **O universo: teorias sobre sua origem e evolução**. São Paulo: Editora Moderna, 1994. Disponível em: <https://www.ghtc.usp.br/Universo/cap07.html>. Acesso em: 02 maio 2024.

MARTINS, Samantha. Ficção Científica e Pseudociência: clichês e temas recorrentes. Parte 5. **Metrópole**, 24 out. 2016. Disponível em: <https://meteoropole.com.br/2016/10/ficcao-cientifica-e-pseudociencia-cliches-e-temas-recorrentes-parte-5/>. Acesso em: 19 set. 2020.

MATSUURA, Oscar T. (org.). **História da Astronomia no Brasil**. 1 ed. Recife: Cepe, 2013. p. 53-54 e 159-188.

MENDES, Luana Liberato. **Estabilidade e formação de planetas terrestres em regiões coorbitais**. 2019. 79 f. Dissertação (Mestrado em Física) – Pós-Graduação em Física, Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Guaratinguetá, 2019. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/a8a546fc-cc99-44fa-ac04-59b3c188de54/content> Acesso em: 05 mar. 2024.

METEORITO de Bendegó - o sobrevivente brasileiro. **Galeria do meteorito**, 2018. Disponível em: <https://www.galeriadometeorito.com/2018/09/meteorito-de-bendego-historia.html>. Acesso em: 12 mar. 2020.

METEORITO que atingiu a Rússia causou o maior impacto do século. **Terra**, 06 nov. 2013. Disponível em: <https://www.terra.com.br/noticias/ciencia/espaco/meteorito-que-atingiu-a-russia-causou-o-maior-impacto-do-seculo,8daad1f532922410VgnVCM10000098cceb0aRCRD.html>. Acesso em: 06 ago. 2019.

METEORO de Tcheliabinsk. **Wikipédia**, [2024]. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Meteoro_de_Tcheliabinsk. Acesso em: 20 mar. 2024.

MILTON Santos. **Wikipédia**, [2019?]. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Milton_Santos. Acesso em: 29 maio 2020.

MIR. **Wikipédia**, 2020. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Mir>. Acesso em: 25 mar. 2020.

MONTEIRO, Filipe Vieira de Melo. Yuri Gagarin. **InfoEscola**, c2006-2024. Disponível em: <https://www.infoescola.com/biografias/yuri-gagarin/>. Acesso em: 10 ago. 2019.

MOON, Peter. Somos Poeira de Estrela. **Terra Mística (Revista Época)**, 2013. Disponível em: <https://terramistica.com.br/somos-poeira-de-estrelas/>. Acesso em: 26 fev. 2024

MORAES, Carlos; ABREU, Claudia Marques. **História das Máquinas, ABIMAQ 70 Anos**. São Paulo: Magma, 2006.

MOREIRA, Marco Antônio. **Teorias de Aprendizagem**. São Paulo: Editora PU, 1999. Cap. 5.

MOTA, Renato. Astrônomos montam o melhor mapa da Via Láctea já feito. **Olhar Digital**, 18 mar. 2020. Disponível em: <https://olhardigital.com.br/2020/03/18/noticias/astronomos-montam-o-melhor-mapa-da-via-lactea-ja-feito/>. Acesso em: 09 ago. 2019.

MURCHISON meteorite. **David Darling**, c2016. Disponível em: <https://www.daviddarling.info/encyclopedia/M/Murchison.html>. Acesso em: 20 ago. 2019.

MURGIC, Ivan. Lunik 3. **Proyectoidis**, 07 maio 1959. Disponível em: <https://proyectoidis.org/lunik-3/>. Acesso em: 10 jan. 2019.

NASA. Plutão (The True Colors of Pluto). **Galleries**, 2018. Disponível em: http://pluto.jhuapl.edu/Galleries/Featured-Images/image.php?page=1&gallery_id=2&image_id=543. Acesso em: 03 mar. 2024.

NASCIMENTO, Lucas C. Cratera de Berringer: Cratera de Meteoro no Arizona. **Blog boralá**, 04 fev. 2018. Disponível em: <https://borala.blog.br/cratera-meteoro-arizona-barringer/>. Acesso em: 25 mar. 2020.

NÓBREGA, Antonio José Farias. **Caracterização das Estruturas Espirais em Galáxias Discoidais Grand Design**. 2007. Tese (Doutorado em Ciências) – Instituto de Física, UFRGS, Porto Alegre, 2007. p. 25-26.

NOGUEIRA, Salvador; PESSOA, José Bezerra Filho, SOUZA, Petrônio Noronha de. Astronáutica: ensino fundamental e médio. Brasília: MEC, SEB, 2009. v. 12.

OBA, Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica. 21a OBA – PROVA DO NÍVEL 4 - 18/05/2018. Disponível em: <https://ligadeastronomia.com/storage/arquivos/provas/oba-2018-teorica-gabarito.pdf> Acesso em: 02 mar. 2024.

OLIMPÍADA Brasileira de Astronomia (OBA) e Astronáutica Mostra Brasileira de Foguetes (MOBFOG). Realização: Sociedade Astronômica Brasileira (SEB) e Agencia Espacial Brasileira (AEB), RJ, 2019.

OLIVEIRA FILHO, Kepler de Souza; SARAIVA, Maria de Fátima Oliveira. ECLIPSES. **Astro**, 17 out. 2023 (modificado). Disponível em: <http://astro.if.ufrgs.br/eclipses/eclipse.htm> Acesso em: 03 mar. 2024.

OLIVEIRA FILHO, Kepler de Souza; SARAIVA, Maria de Fátima Oliveira. O sistema solar. **Astro**, 30 out. 2023 (modificado). Disponível em: <http://astro.if.ufrgs.br/planetas/planetas.htm>. Acesso em: 04 mar. 2020.

OLIVEIRA FILHO, Kepler de Souza; SARAIVA, Maria de Fátima Oliveira. O Sol – a nossa estrela. **Astro**, 2019. Disponível em: <http://astro.if.ufrgs.br/esol/esol.htm>. Acesso em: 22 mar. 2020.

OLIVEIRA FILHO, Kepler de Souza; SARAIVA, Maria de Fátima Oliveira. Precessão do Eixo da Terra. **Astro**, 17 set. 2016 (modificado). Disponível em: <http://astro.if.ufrgs.br/fordif/node8.htm> Acesso em: 28 fev. 2024.

OLIVEIRA FILHO, Kepler de Souza; SARAIVA, Maria de Fátima Oliveira. Morfologia. **Astro**, 12 set. 2019. Disponível em: <http://astro.if.ufrgs.br/vialac/node2.htm>. Acesso em: 16 ago. 2019.

OLIVEIRA FILHO, Kepler de Souza; SARAIVA, Maria de Fátima Oliveira. Precessão do Eixo da Terra. **Astro**, 17 set. 2016. Disponível em: <http://astro.if.ufrgs.br/fordif/node8.htm>. Acesso em: 31 ago. 2019.

OLIVEIRA, A. J.; FLORESTI, Felipe. Subutilizado, satélite brasileiro tem custo diário de R\$ 800 mil. **Revista Galileu**, 21 jul. 2018. Disponível em: <https://revistagalileu.globo.com/Ciencia/noticia/2018/07/subutilizado-satelite-brasileiro-tem-custo-diario-de-r-800-mil.html>. Acesso em: 21 mar. 2020.

OLIVEIRA, Juan Carlos Soares de. **Análise e simulação computacional de órbita de transferência de Hohmann pelo método de Euler**. 2018. Monografia (Bacharelado em Ciência e Tecnologia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Centro Multidisciplinar de Pau dos Ferros, Pau dos Ferros, 2018. p. 18-22.

OLIVEIRA, Kepler de Souza Filho; SARAIVA, Maria de Fátima Oliveira Saraiva. Classificação das letras das Galáxias. **Astronomia e Astrofísica**. Porto Alegre, 2014. p. 607-611. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/~fatima/ead/galaxias.htm>. Acesso em: 07 mar. 2024.

OPPORTUNITY (sonda espacial). **Wikipédia**, [2019?]. Disponível em: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Opportunity_\(sonda_espacial\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/Opportunity_(sonda_espacial)). Acesso em: 05 set. 2019.

OS PLANETAS em movimento. **Pinterest**, [2019?]. Disponível em: <https://br.pinterest.com/pin/71635450309516392/>. Acesso em: 05 out. 2019.

OUR Solar Sistem. **The Planets Today.com**, c2011-2024. Disponível em: https://www.theplanetstoday.com/solar_system_map.html. Acesso em: 04 fev. 2024.

PAIVA, Vitor. Conheça a história de Enedina Marques, a primeira engenheira negra do Brasil. **Hypeness**, 28 jan. 2020. Disponível em: <https://www.hypeness.com.br/2020/01/conheca-a-historia-de-enedina-marques-a-primeira-engenheira-negra-do-brasil/>. Acesso em: 12 set. 2019.

PARÂMETROS Curriculares Nacionais: Ensino Médio Ciências da Natureza. Matemática e suas Tecnologias. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/CienciasNatureza.pdf> Acesso em: 03 mar. 2024.

PENA, Fábio Luís Alves. Sobre a Presença do Projeto *Harvard* no Sistema Educacional Brasileiro. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [S. l.], v. 34 n. 1, 1701, 2012.

PEREIRA, Ana Calorina Costa; BATISTA, Antônia N. Souza; SILVA, Isabelle C. da. A matemática incorporada na construção do quadrante descrito na obra *Libros del Saber de Astronomía*. **REVEMAT**, Florianópolis, v. 12, n. 1, p. 173-191, 2017.

PINHEIRO, Eduardo Carvalho. **Euações de Clohessy-Wiltshire**: modelo linear para variação de massa nas manobras evasivas de veículos espaciais. 2018. Dissertação (Mestrado em física) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Guaratingará, 2018. p. 11-14.

PLUTÃO. **Wikipédia**, [2019?]. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Plut%C3%A3o>. Acesso em: 08 set. 2019.

POR QUE os cometas têm cauda? **Tri Curioso**, [2019?]. Disponível em: <https://www.tricurioso.com/2020/01/09/por-que-os-cometas-tem-cauda/>. Acesso em: 21 set. 2019.

PRESSE, France. Há um ano, localidade da Rússia se assustava com queda de meteorito. **G1**, 14 fev. 2014. <http://g1.globo.com/ciencia-e-saude/noticia/2014/02/ha-um-ano-localidade-da-russia-se-assustava-com-queda-de-meteorito.html>. Acesso em: 02 out. 2019.

PRODUTO Interno Bruto (PIB). **Indexmundi**, 2017. Disponível em: <https://www.indexmundi.com/g/g.aspx?c=br&v=65&l=pt>. Acesso em: 05 out. 2019.

PTOLOMEU. **Wikipédia**, 2020. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Ptolemeu>. Acesso em: 04 maio 2020.

REIS, Norma Teresinha Oliveira. **Asteroides, cometas e riscos de impacto com a terra**. 2012. Disponível em: <https://educacaoespacial.files.wordpress.com/2010/10/neo.pdf> Acesso em: 22 nov. 2019.

REIS, Norma Teresinha Oliveira. **Fundamento da Mecânica orbital II**, [2010 e 2020]. Conceitos & Atividades para Educação Básica. Rio Grande do Norte. Disponível em: <https://educacaoespacial.files.wordpress.com/2011/08/mecc3a2nica-orbital-parte-2.pdf> Acesso em: 20 dez. 2018.

REIS, Norma Teresinha Oliveira; GARCIA, Nilson Marcos Dias; SOUZA, Petrônio Noronha de; BALDESSAR, Pedro Sérgio. Análise da dinâmica de rotação de um satélite artificial: uma oficina pedagógica em educação espacial. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [S. /], v. 30, n. 1, 1401, 2008, p. 3-5.

ROSSETTO, Erika A. de Souza. **Lixo espacial e seu monitoramento**. Contribuição pela modelagem correta de imagens traço, com certificação via astrometria de satélites geoestacionários. 2013. Dissertação (Mestrado em Astronomia) – Curso de Astronomia, Universidade Federal de Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013. p. 17-24.

SALGADO, Maria Cristina Vilela; BELDERRAIN, Mischel Carmem N.; SILVA, Amanda Cecília S. da. Avaliação do voo tecnológico XVT02 do Veículo Lançador de Satélites VLS-1 por meio de decisão em grupo. **Journal of Aerospace Technology and Management**, [S. /], v.1, n. 1, jan./jun., 2009. p. 79-83.

SANTANA, Saymon H. Santos; MACAU, Elbert Einstein Nehrer; MELO, Cristiano Fiorilo de; WINTER, Othon Cabo. Transferências Orbitais para Asteroides Próximos à Terra.

Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics, [S. l.], v. 5, n. 1, 2017.

SANTOS, Irineu. **Uma Abordagem Educacional no Colégio Estadual Democrático Bertholdo Cirilo dos Reis sobre Conceitos de Astronomia Básica e Tecnologia Espacial**. 2020. Dissertação (Mestrado profissional em Astrofísica) – Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2020.

SARAIVA, Maria de Fátima O. Movimento anual do Sol e Estações do ano. **If.ufrgs**, 2010. Disponível em: http://www.if.ufrgs.br/fis02001/aulas/aula_movsol.htm. Acesso em: 08 set. 2019.

SARAIVA, Maria de Fátima O. Movimento, anual do Sol e Estações do ano. **Instituto de Física UFRGS**, 2010. Disponível em: http://www.if.ufrgs.br/fis02001/aulas/aula_movsol.htm. Acesso em: 05 mar. 2024.

SARAIVA, Maria de Fátima Oliveira; OLIVEIRA FILHO, Kepler de; MÜLLER, Alexei Machado. Forças gravitacionais diferenciais - Marés e precessão. **If.ufrgs**, [2019?]. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/fis02001/aulas/aulafordif.htm>. Acesso em: 08 set. 2019.

SATÉLITE, brasileiro para comunicações e defesa será lançado hoje. **GP1: Ciência e Tecnologia**, 04 maio 2017. Disponível em: <https://www.gp1.com.br/ciencia-e-tecnologia/noticia/2017/5/4/satelite-brasileiro-para-comunicacoes-e-defesa-sera-lancado-hoje-413559.html> Acesso em: 02 mar. 2024.

SELHORST, Caius Lucius. **Modelo de Regiões Ativas em Rádio Frequências**. 2007. 102 f. Tese (Doutorado em Astrofísica) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2007. Disponível em: http://www.inpe.br/posgraduacao/ast/arquivos/teses/tese_caius.pdf Acesso em: 27 fev. 2024.

SÉRVULO, Felipe. Telescópio Hubble completa 25 anos. **Mistérios do Universo**, 2015. Disponível em: <https://www.misteriosdouniverso.net/2015/04/telescopio-hubble-completa-25-anos.html?m=0>. Acesso em: 18 set. 2019.

SETTER, Paul M. China começará a construir sua estação espacial em 2021. **Phys.org**, 08 jun. 2020. Disponível em: <https://phys.org/news/2020-06-china-space-station.html>. Acesso em: 20 jun. 2020.

SEVERINO, Antônio Joaquim. Docência Universitária: a pesquisa como princípio pedagógico. **Revista @ambienteeducação**, São Paulo, v. 2, n.1, p. 120-128, jan./jul. 2009. Disponível em: https://arquivos.cruzeirosuleducacional.edu.br/principal/old/revista_educacao/pdf/volume_2_1/13-Rev_v2n1_Antonio.pdf Acesso em: 03 mar. 2024.

SEXTANTE. **Wikipédia**, [2019?]. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Sextante>. Acesso em: 18 set. 2019.

SIEMSEN, Giselle Henequim; LORENZETTI, Leonir. A pesquisa em Ensino de Astronomia para o Ensino Médio. **ACTIO**, Curitiba, v. 2, n. 3, 2017. p. 185-207.

SILVA NETO, José Batista da. Estudo da Passagem de uma Nuvem de Partícula por um Corpo Celeste. **Relatório Final de Projeto de Iniciação Científica; PIBITI/CNPQ/INPE**. Instituto Nacional de Pesquisa Espacial, São José dos Campos São Paulo, jun. 2012. p. 12 -14.

SILVA, Maria Nilza da; PANTA, Mariana. **O Doutor Preto, Justiniano Clímaco da Silva, a presença negra pioneira em Londrina**. Londrina: UEL, 2010. p. 12-13. Disponível em: https://www.geledes.org.br/wp-content/uploads/2014/04/O_Doutor_Preto_Justiniano_Climaco_da_Silva_-_a_Presenca_Negra_Pioneira_em_Londrina.pdf. Acesso em: 25 fev. 2022.

SILVA, Wellington Guilherme da. **Qualificação de materiais utilizados em sistemas de proteção térmica para veículos espaciais**. 2009. 112 f. Dissertação (Mestrado Ciências Física de Plasma) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos-SP, 2009. p. 20-31.

SILVEIRA, Evanildo da. A enorme cratera causada por um corpo celeste que virou bairro na zona sul de SP. **BBC Brasil**, 12 nov. 2017. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/geral-41772254>. Acesso em: 04 fev. 2024.

SILVEIRA, Evanildo. A enorme cratera causada por um corpo celeste que virou bairro na zona sul de SP. **BBC Brasil**, 12 nov. 2017. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/geral-41772254>. Acesso em: 29 fev. 2024.

SISTEMA Solar. **Observatório Astronômico**, 2018. Universidade Federal de Alfenas. Disponível em: <https://www.unifal-mg.edu.br/observatorio/sistema-solar/>. Acesso em: 19 mar. 2020.

SISTEMA Solar. **Wikipédia**, 2019? Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Sistema_Solar Acesso em: 21 mar. 2020.

SOARES, Domingos. Astronomia: o que é e para que serve? **Lilith Física**, 01 nov. 2016. Disponível em: <http://lilith.fisica.ufmg.br/~dsoares/extn/astrn/astrn.htm>. Acesso em: 29 set. 2020.

SOARES, Lucas. Um asteroide destruidor pode atingir a Terra de surpresa? Astrônomo indiano diz que sim. **Olhar Digital**, 19 jan. 2023. Disponível em: <https://olhardigital.com.br/2023/01/19/ciencia-e-espaco/um-asteroide-destruidor-pode-atingir-a-terra-de-surpresa-astronomo-indiano-diz-que-sim/> Acesso em: 03 mar. 2024.

SOLSTÍCIO e equinócio. **Brasil Escola**, c2024. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/solsticios-equinocios.htm>. Acesso em: 25 de set. de 2019

SOUSA, Rafael Ribeiro de. **Estudo de Manobras Evasivas com Perturbações Orbitais**. 2015. 88 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2015. p. 23-25.

SOUZA, James Alves de. Um foguete de garrafa pet. **Física na Escola**, São Carlos, v. 8, n. 2, 2007. Disponível em: https://www.academia.edu/40309556/Um_foguete_de_garrafa_PET. Acesso em: 12 mar. 2019.

SOUZA, Kellcia Rezende; KERBAUY, Maria Teresa Miceli. Abordagem quanti-qualitativa: superação da dicotomia quantitativa-qualitativa na pesquisa em educação. **Educação e Filosofia**, [S. l.], v. 31, n. 61, 2017. p. 21- 34.

TEIXEIRA, Larissa; NICOLIELO, Bruna. Como construir um relógio de Sol com os alunos. **Nova Escola**, 01 jun. 2013. Disponível em: <https://novaescola.org.br/conteudo/3510/como-construir-um-relogio-de-sol-com-os-alunos>. Acesso em: 25 set. 2019.

TESTONI, Marcelo. O que significa o “retorno de Saturno”, na astrologia? **Super interessante**, 18 jan. 2018. Disponível em: <https://super.abril.com.br/mundo-estranho/o-que-significa-o-retorno-de-saturno-na-astrologia/>. Acesso em: 24 out. 2018.

TESTONI, Marcelo. O que significa o “retorno de Saturno”, na astrologia? **Superinteressante**, 18 jan. 2018. Disponível em: <https://super.abril.com.br/mundo-estranho/o-que-significa-o-retorno-de-saturno-na-astrologia/>. Acesso em: 04 fev. 2024.

THE CLEAN space blog (O blog espaço limpo). **ESA**, 2019. Disponível em: <http://blogs.esa.int/cleanspace/> . Acesso em: 07 jun. 2020.

TYCHO (cratera). **Wikipédia**, 2018. Disponível em: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Tycho_\(cratera\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/Tycho_(cratera)). Acesso em: 25 mar. 2020.

VALENTINA Tereshkova: a primeira mulher no espaço. **Aventuras na História**, 30 maio 2020. Disponível em: <https://aventurasnahistoria.uol.com.br/noticias/reportagem/valentina-tereshkova.phtml>. Acesso em: 04 fev. 2024.

VEIGA, Carlos Henrique; LOPES, Dalto de Farias, (Rev.). **Asteroide, Observatório Nacional**. 2 ed. RJ, nº 8, 2011.

VEISSID, Nelson; PEREIRA, Enio Bueno. Estimativa do albedo planetário empregando dados do experimento célula solar do satélite brasileiro SCD2. **Brazilian Journal of Geophysics**, v. 18, n. 1, 2000.

VELOCIDADE de escape. **RevistaCosmosOnline**, 24 abr. 2015. Disponível em: <https://revistacosmosonline.blogspot.com/2015/04/velocidade-de-escape.html>. Acesso em: 08 set. 2019.

VIA Láctea. **Wikipédia**, [2019?]. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Via_L%C3%A1ctea. Acesso em: 26 de set. de 2019.

VILAS BÔAS, Danton José Fortes. **O veículo lançador de satélites - VLS-1**. São José dos Campos, [2005?]. Disponível em: https://educacaoespacial.files.wordpress.com/2010/10/ijespacial_06_veiculo_lancador_de_satelites.pdf Acesso em: 03 mar. 2024.

WFIRST da NASA vai ajudar a descobrir o destino do Universo. **Zap.aeiou**, 23 set. 2019. Disponível em: <https://zap.aeiou.pt/wfirst-da-nasa-vai-ajudar-descobrir-destino-do-universo-281802>. Acesso em: 05 out. 2019.

WILLIAMS, Matt. Como produzir a comida e a água que os astronautas que vão a Marte precisarão para sua missão. **Universe Today**, [2019?]. Disponível em: <https://www.universetoday.com/146241/how-to-make-the-food-and-water-mars-bound-astronauts-will-need-for-their-mission/>. Acesso em: 20 jun. 2020.

WINTER, Othon Cabo; MELO, Cristiano Fiorilo de e PRADO Antonio Fernando Bertichini de Almeida (Orgs.). **A Conquista do Espaço**: do Sputnik à Missão Centenária: Editora Livraria da Física, SP 2007. Cap. 01-03, 08-09.

WINTER, Othon Cabo; PRADO Antonio Fernando Bertichini de Almeida (org.). **A Conquista do Espaço**: do Sputnik à Missão Centenária. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2007. Cap. 01-03, 08-09.

XAVIER, Agamenon Pereira. **Uso do foguete de água no ensino de hidrodinâmica em física geral**. 2012. Dissertação (Mestrado em ensino de Física) – Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

3

*José Augusto Reis Campos dos Santos
Nazareno Getter Ferreira de Medeiros
Vera Aparecida Fernandes Martin*

NOVAS TECNOLOGIAS APLICADAS AO ENSINO:

**UMA PROPOSTA DE INTRODUÇÃO
À ASTRONOMIA**

A quem interessar este material, dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradecer é reconhecer...

Apenas dizer obrigado é muito pouco. Às vezes uma simples palavra ou um pequeno gesto representam uma grande força. As palavras, a dedicação e o carinho recebidos durante o percurso deste trabalho foram de fundamental importância para essa empreitada. Gostaria de agradecer a muitas pessoas, em especial:

Aos meus familiares por existirem e incentivar meus estudos.

Aos colegas da sexta turma do MPAstro, por momentos inesquecíveis de reflexão, diversão e aprendizado, em especial aos hospedeiros.

Aos professores, Nazareno Getter Ferreira de Medeiros e Vera Aparecida Fernandes Martin, orientador e coorientadora deste trabalho, por suas críticas, sugestões e por acreditar em nosso potencial.

A todos os professores do MPAstro pelas lições de sabedoria e conhecimento, contribuindo para o meu crescimento pessoal e profissional.

Por fim, a todos aqueles que contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização desta dissertação, o meu sincero agradecimento.

Sonho que se sonha só, é só um SONHO,

Sonho que se sonha junto, é REALIDADE.

Prelúdio, Raul Seixas

INTRODUÇÃO

O objetivo central deste capítulo é apresentar uma proposta inovadora para o Ensino de Astronomia mediada por tecnologia digital com o recurso da plataforma Moodle para estudantes de Ensino Médio. Esta proposta atende as orientações da Secretaria da Educação do Estado da Bahia no que se refere a ampliação da carga horária com o advento do Novo Ensino Médio (Lei nº 13.415/2017), tendo uma carga horária de 40 horas, está enquadrada nas possibilidades dos componentes curriculares da parte diversificada do currículo, mais especificamente no item Eletiva III (EaD).

A Astronomia desperta muito interesse em estudantes de Ensino Médio, é uma Ciência interdisciplinar, que nos permite muitas interlocuções com a Química, Física, História, Biologia, Matemática, Geografia, entre outras áreas do conhecimento. Aqui faremos uma abordagem introdutória aos conceitos desta Ciência, o que nos possibilitará diversas conexões com as disciplinas presenciais da parte obrigatória ou diversificada desta nova formatação do ensino Médio.

A nossa proposta está dividida em quatro temas que serão abordados por meio das mais diversificadas ferramentas da plataforma Moodle. No intuito de atingir nosso objetivo principal e fornecer os subsídios necessários para a construção do conhecimento de nossos educandos sobre a temática.

Em cada módulo procuramos fazer uma breve apresentação do tema, um quadro informativo com textos curtos *Você sabia?* e vídeos disponibilizados pela TV Escola *ABC da Astronomia*, e sugestões de leitura com *hiperlinks* para textos acadêmicos sobre o tema, além de uma aba com o título *Animações e Simulações de Astronomia* disponibilizados de forma on-line pelo grupo de Astronomia Sputnik da Universidade de São Paulo (USP), com o objetivo de manipular animações e simulações sobre os conteúdos abordados

em cada bloco. No primeiro tema, abordaremos um pouco sobre a História da Astronomia, objetos celestes, instrumentação astronômica, além de apresentar as noções sobre a esfera celeste e seus elementos. Aqui, faremos duas atividades avaliativas: uma cruzadinha e um questionário.

No segundo tema, intitulado *O Universo em movimento*, abordaremos o movimento anual do Sol, movimentos da Lua e movimentos dos planetas, teremos três atividades avaliativas que serão compostas por um Glossário de verbetes da Astronomia, um questionário e um desafio astronômico (seleção de questões da Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica, OBA) com o objetivo claro de divulgar a Olimpíada entre os nossos alunos.

Já no terceiro tema, focaremos nosso estudo no Sistema Solar com três propostas de atividades: um questionário (Verdadeiro ou Falso), um jogo da forca abordando informações sobre os conteúdos trabalhados e outro desafio astronômico.

Por fim, abordaremos a Astrobiologia com o tema *À procura de vida fora da Terra* concluindo com duas atividades avaliativas, um desafio astronômico e um fórum, no qual o tema central do debate será a pergunta: Somos nós as únicas criaturas no Universo que pensam sobre sua origem e evolução, ou existiriam outras formas de vida inteligente entre as estrelas?

Esperamos que este material seja proveitoso para educadores e que possa contribuir de forma significativa para a aprendizagem de nossos educandos na divulgação do conhecimento científico.

AMBIENTAÇÃO: O MEU UNIVERSO

“Diante da vastidão do tempo e da imensidão do universo, é um imenso prazer para mim dividir um planeta e uma época com você”

Carl Sagan

Figura 1 - APOD' 30/09/2019. *Orion Rising over Brazil*



Fonte: Fairbairn (2019).

APRESENTAÇÃO DO CURSO

Prezados navegantes espaciais,



Este espaço é destinado à apresentação do nosso curso, leiam atentamente e quaisquer dúvidas, comentem no fórum para esclarecimentos.

Bom curso a todos!

Apresentação

O *Observando o céu: uma introdução à Astronomia* tem por objetivo apresentar uma proposta inovadora para o Ensino de Astronomia mediada por tecnologia digital com o recurso da plataforma Moodle para estudantes de Ensino Médio. Esta proposta atende as orientações da Secretaria da Educação do Estado da Bahia no que se refere a ampliação da carga horária com o advento do Novo Ensino Médio (Lei nº 13.415/2017), tendo uma carga horária de 40 horas, está enquadrada nas possibilidades dos componentes curriculares da parte diversificada do currículo, mais especificamente no item Eletiva III (EaD).

Trata-se de uma formação dentro do quadro das disciplinas eletivas da Instituição, a ser desenvolvida em cinco semanas.

Público alvo:

Estudante do Ensino Médio do Educandário Oliveira Brito.

Estrutura do Curso:

Trata-se de um curso EaD, mediado pela plataforma Moodle, carga horária de 40 horas, a ser desenvolvida em cinco semanas.

O curso abordará os seguintes temas:

- *Astronomia: a Ciência da Observação;*
- *O Universo em Movimento;*
- *O sistema solar;*
- *Astrobiologia.*

Cronograma:

Semana 1:

TEMA 1 - A Ciência da Observação

Atividades propostas para o tema 1	Valor	Carga Horária
Lição: Astronomia a Ciência da Observação	-	06:00
Atividade 1: Cruzadinha	10,0	02:00
Atividade 2: Questionário	10,0	02:00
Total de horas: 10 horas		

Semana 2:

TEMA 2 - O Universo em movimento

Atividades propostas para o tema 2	Valor	Carga Horária
Lição: O Universo em movimento	-	05:00
Atividade 3: Glossário Da Astronomia	10,0	01:00
Atividade 4: Questionário	10,0	02:00
Atividade 5: Desafio Astronômico	10,0	02:00
Total de horas: 10 horas		

Semana 3:

TEMA 3 - O Sistema Solar

Atividades propostas para o tema 3	Valor	Carga Horária
Lição: O Sistema Solar	-	06:00
Atividade 6: Verdadeiro ou falso?	10,0	01:30
Atividade 7: Desafio Astronômico	10,0	01:30
Atividade 8: Descubra de quem estamos falando	10,0	01:00
Total de horas: 10 horas		

Semana 4:

TEMA 4 - À procura de vida fora da Terra

Atividades propostas para o tema 03	Valor	Carga Horária
Lição: À procura de vida fora da Terra	-	06:00
Atividade 9: Desafio Astronômico	10,0	02:00
Atividade 10: Existe Vida fora da Terra?	10,0	02:00
Total de horas: 10 horas		

Avaliação e certificação

Os discentes serão avaliados com base na qualidade e na frequência de participação nas atividades propostas na plataforma *Moodle*. O envio das atividades solicitadas deverá ser feito exclusivamente pelo sistema *Moodle*. Não serão recebidas atividades por quaisquer outros meios.

Serão realizadas avaliações em cada componente curricular. Para aprovação, é obrigatória a leitura de todos os módulos, além da média aritmética simples. Os cursistas que terminarem o curso atendendo a esses requisitos receberão certificados de conclusão.

Fórum de Dúvidas

Prezados navegantes espaciais,



O Fórum de Dúvidas é destinado ao esclarecimento de dúvidas relacionadas ao conteúdo da disciplina. As perguntas serão esclarecidas pelo professor. As dúvidas respondidas ficarão disponibilizadas aqui neste fórum, servindo assim, como uma “sala de aula virtual”.

Não hesite em postar suas dúvidas e questionamentos!

Notícias e Avisos

Prezados navegantes espaciais,



Este espaço em nosso ambiente de aprendizagem é destinado à divulgação de avisos e informes do curso, comunicados gerais e notícias importantes.

Fique atento!

Chat

Prezados navegantes espaciais,



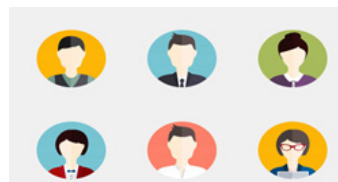
Este espaço em nosso ambiente de aprendizagem, tem como objetivo promover a interação, a integração e a formação de laços por meio de trocas: de opiniões, de saberes, de dúvidas, de reflexões, de experiências relacionadas com a Astronomia.

Enfim, um espaço de convivência e socialização.

Portanto, você deve usá-lo sempre que desejar!

Quem sou eu? Quem é você? Quem somos nós?

Caro navegante espacial,



Agora que tem acesso ao nosso curso, precisamos nos conhecer, adicione algumas informações sobre você, tais como:

Nome, série, alguns gostos...

Qual motivo que lhe levou a fazer o curso?

O que espera desse curso de formação?

Vamos lá?

Bom Curso a todes!

“Em algum lugar, alguma coisa incrível está esperando para ser conhecida”

Carl Sagan

Figura 2 – APOD, 05/08/2019. *A Total Solar Eclipse Reflected*



Fonte: Legaul (2019).

TEMA 1: A CIÊNCIA DA OBSERVAÇÃO Atividades propostas para o tema 1	Valor	Carga Horária
Lição: Astronomia a Ciência da Observação.	-	06:00
Atividade 1: Cruzadinha	10,0	02:00
Atividade 2: Questionário	10,0	02:00
Total de horas: 10 horas		

Lição: Astronomia, a Ciência da Observação

Vamos iniciar nossa jornada

Caro navegante espacial,

Seja bem-vindo ao curso *Observando o céu: uma introdução à Astronomia*.

Figura 3 – APOD, 22/10/2019. *Night Sky Reflections from the World's Largest Mirror*



Fonte: Huerta (2019).

Neste tópico, vamos abordar um pouco sobre a história da Astronomia, objetos celestes, instrumentação astronômica, além de apresentar as noções sobre a esfera celeste e seus elementos. Você vai compreender a natureza da observação astronômica, perpassar sobre uma gama de conhecimentos acumulados por povos antepassados e reconhecer os movimentos dos objetos no espaço.

INFORMAÇÕES DO ABC DA ASTRONOMIA: ASTRONOMIA (TV ESCOLA)



Observar o céu é um hábito praticado por todos os povos, em todos os tempos. A análise do que acontece fora do planeta Terra é uma das ciências mais antigas da humanidade: a astronomia, palavra originada do grego que significa Lei

das Estrelas. Com o tempo, a ciência que estuda a posição e o movimento dos astros no universo ganhou mais vertentes e desafios. No episódio de abertura da série ABC da Astronomia, o professor e astrônomo Walmir Cardoso te convida a viajar por essa evolução: desde os primeiros olhares do homem até a astronomia extragaláctica.

Figura 3 - ABC da Astronomia: Astronomia, TV Escola



*Fonte: ABC da Astronomia, TV Escola. Disponível em:
<https://plataformaintegrada.mec.gov.br/colecao-do-usuario/1533>*

INFORMAÇÕES DO ABC DA ASTRONOMIA: HELIOCENTRISMO (TV ESCOLA)



No início, a Terra era o centro de tudo. Depois de muita polêmica foi o Sol, *Helios*, que passou para o centro do universo. Os estudos avançaram, e com a ajuda da tecnologia, atualmente, a nossa

compreensão ampliou o tamanho do universo: o centro de tudo passa a ser indeterminado, com a expansão acelerada das galáxias. Neste programa do ABC da Astronomia, você pode viajar no tempo e compreender o pensamento em relação ao que está ao nosso redor, desde os filósofos da antiguidade até os grandes observatórios que temos hoje.

Figura 4 – ABC da Astronomia: Heliocentrismo



Fonte: ABC da Astronomia, TV Escola. Disponível em:
<https://plataformaintegrada.mec.gov.br/colecao-do-usuario/1533>.

Parada para leitura obrigatória

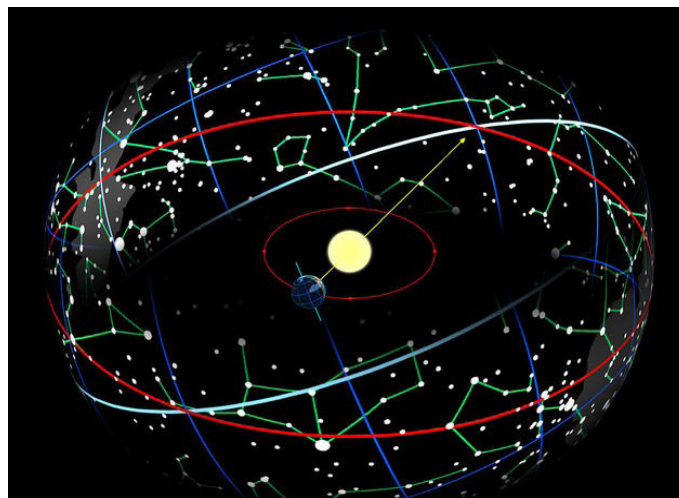


Para realizar a leitura obrigatória é só clicar no link abaixo:

<http://astro.if.ufrgs.br/antiga/antiga.htm>

OBSERVANDO O CÉU E A ESFERA CELESTE

Figura 5 - Constelações do Zodíaco



Fonte: Constelações [...], (c2017-2024).

INFORMAÇÕES DO ABC DA ASTRONOMIA: CONSTELAÇÕES (TV ESCOLA)



As constelações são representações culturais imaginadas a partir do alinhamento de estrelas, de regiões escuras ou claras ou qualquer forma de associação de estrelas que resultam em imagens significativas no céu. Neste programa do ABC da Astronomia, é sugerido um roteiro para aproveitar o prazer que é olhar as estrelas com amigos numa noite sem poluição. Vamos viajar pelo céu como o vemos com nossos olhos, reconhecendo as estrelas mais brilhantes.

Figura 6 – ABC da Astronomia: Constelações



*Fonte: ABC da Astronomia, TV Escola. Disponível em:
<https://plataformaintegrada.mec.gov.br/colecao-do-usuario/1533>*

INFORMAÇÕES DO ABC DA ASTRONOMIA: ZODÍACO (TV ESCOLA)



A faixa do Zodíaco é notável porque o Sol passa por ela ao longo do tempo. A Lua e os planetas também realizam seus movimentos dentro dessa faixa, que abriga constelações com símbolos importantes para várias culturas. Era de se esperar que as estrelas da região fossem mais observadas, gerando figuras na imaginação dos povos. Mas ao contrário do que muitos gostariam, a faixa não é estática. Ela se transforma e hoje abriga 13 constelações. Entenda como tudo isso funciona.

Figura 7 – ABC da Astronomia: Zodíaco



Fonte: ABC da Astronomia, TV Escola. Disponível em:
<https://plataformaintegrada.mec.gov.br/colecao-do-usuario/1533>

INFORMAÇÕES DO ABC DA ASTRONOMIA: CRUZEIRO DO SUL (TV ESCOLA)



Olhar para o céu e identificar figuras por meio da ligação de estrelas é um exercício de criação que atravessa séculos e está presente em todas as culturas do planeta. Neste episódio do ABC da

Astronomia, você vai entender o que são as constelações e ver que não é preciso haver necessariamente uma proximidade física entre as estrelas para formá-las. Você vai conhecer, também, as estrelas que formam o famoso Cruzeiro do Sul, além de outras constelações populares entre os indígenas brasileiros.

Figura 8 – ABC da Astronomia: Cruzeiro do Sul



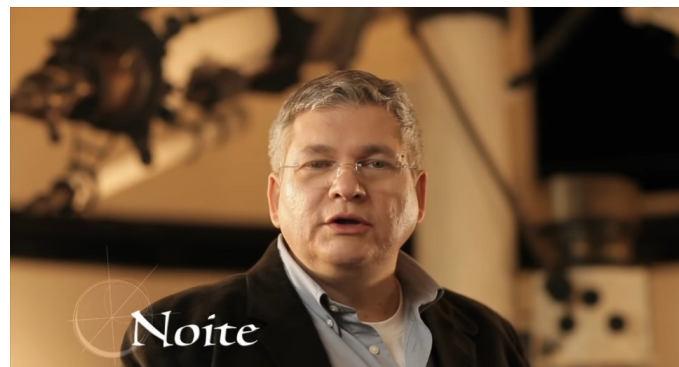
Fonte: ABC da Astronomia, TV Escola. Disponível em:
<https://plataformaintegrada.mec.gov.br/colecao-do-usuario/1533>

INFORMAÇÕES DO ABC DA ASTRONOMIA: NOITE (TV ESCOLA)



O Sol ilumina aproximadamente metade do planeta Terra o tempo inteiro. Mas por que quando ele vai embora, o céu fica escuro? As outras estrelas e todo o resto do universo não deviam brilhar no céu inteiro e, conseqüentemente, iluminar tudo por aqui? Neste programa do ABC da Astronomia, você vai entender melhor os mistérios que envolvem a noite, o intervalo de tempo entre o pôr do Sol e seu nascimento no horizonte. Vai saber também como que a resposta para estas perguntas pode estar na Teoria do *Big Bang*.

Figura 9 – ABC da Astronomia: Noite



Fonte: ABC da Astronomia, TV Escola. Disponível em:
<https://plataformaintegrada.mec.gov.br/colecao-do-usuario/1533>

INFORMAÇÕES DO ABC DA ASTRONOMIA: ESTRELAS (TV ESCOLA)



Elas são gigantescas fornalhas em constante atividade, produzindo energia e todos os elementos que compõem a natureza que conhecemos. Talvez seja por isso que nos encantem tanto quando olhamos para o céu durante a noite e admiramos seu brilho. Neste programa do ABC da Astronomia, você vai ver que as estrelas nascem, vivem e morrem. Saiba como se dá este ciclo e aprenda um pouco sobre a nossa estrela mais famosa: o Sol.

Figura 10 – ABC da Astronomia: Estrelas



Fonte: ABC da Astronomia, TV Escola. Disponível em
<https://plataformaintegrada.mec.gov.br/colecao-do-usuario/1533>

INFORMAÇÕES DO ABC DA ASTRONOMIA: DISTÂNCIA (TV ESCOLA)



Desde crianças, aprendemos a fazer julgamentos relacionados às distâncias entre objetos, como entender que um avião fica menor à medida em que se distancia no céu. Mas esses conceitos,

baseados muitas vezes na nossa intuição, podem levar a algumas conclusões equivocadas, porque os ângulos e efeitos enganam nossos olhos. Essa regra vale também no espaço: para calcular e entender as distâncias astronômicas, sendo necessário usar técnicas especiais de medida. Entenda como isso funciona.

Figura 11 - ABC da Astronomia: Anos Luz



Fonte: ABC da Astronomia, TV Escola. Disponível em:
<https://plataformaintegrada.mec.gov.br/colecao-do-usuario/1533>

Parada para leitura obrigatória



Para realizar a leitura obrigatória é só clicar nos links abaixo:

<http://astro.if.ufrgs.br/esf.htm>

<http://astro.if.ufrgs.br/const.htm>

Animações e Simulações de Astronomia

O objetivo deste tópico é aprender por meio de animações e simulações os conteúdos abordados neste bloco.

Para simular os movimentos estudados neste tópico, você pode acessar o link abaixo:

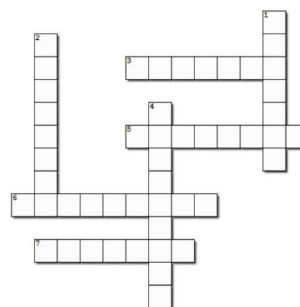
<https://astro.unl.edu/animationsLinks.html>



Atividade 1: Palavras Cruzadas

Olá! Caros navegantes espaciais,

Figura 12 - Cruzadinha



Fonte: <https://escolaeducacao.com.br>

Iniciamos nossa viagem pelo fantástico campo da *Astronomia*, a *Ciência da Observação*. Conhecemos um pouco os aspectos históricos, objetos celestes, instrumentação astronômica, além de apresentar as noções sobre a Esfera Celeste e seus elementos. Você compreendeu a natureza da observação astronômica, perpassando uma gama de conhecimentos acumulados por povos antepassados e passou a reconhecer os movimentos dos objetos no espaço.

Agora, para reforçarmos ainda mais a compreensão, vamos explorar com bastante dinamismo e perspicácia o jogo palavras cruzadas. Leia atentamente as dicas e tente informar quais são as dez palavras.

Orientações:

Clique em um número na grade para preencher a resposta. Não utilize espaços entre as palavras. Complete as palavras cruzadas e depois clique em "Verificar" para checar suas respostas.

Atividade 1: Palavras Cruzadas

Horizontal

- 1:** Plano tangente à Terra no lugar em que se encontra o observador.
- 4:** Constelação do Zodíaco.
- 6:** Os astros que nunca nascem nem se põem, permanecendo sempre acima do horizonte. Se pudéssemos observá-los durante 24 horas, os veríamos descrevendo uma circunferência completa no céu, no sentido horário. Esses astros são chamados de:
- 9:** Considerada a mais antiga das Ciências.

Vertical

- 1:** Observando o céu em uma noite estrelada, não podemos evitar a impressão de que estamos no meio de uma grande esfera incrustada de estrelas. Isso inspirou nos antigos gregos, a ideia do céu como uma **Esfera** _____.
- 3:** Qualquer círculo máximo da esfera celeste que contém os dois polos celestes.
- 5:** Qualquer círculo da esfera celeste paralelo ao Horizonte.
- 7:** Qualquer círculo da esfera celeste paralelo ao equador celeste.
- 10:** Ponto diametralmente oposto ao Zênite.
- 12:** Ponto no qual a vertical do lugar (perpendicular ao horizonte) intercepta a esfera celeste, acima da cabeça do observador. A vertical do lugar é definida por um fio a prumo.



Atividade 2: Questionário

Olá! Caros navegantes espaciais,

Figura 13 – Eratóstenes



Fonte: <http://astro.if.ufrgs.br/antiga/antiga.htm>

Esta atividade serve para que você, estudante, possa validar os conhecimentos construídos até o momento. Desse modo, é necessário fazer a leitura da Lição *Astronomia, a Ciência da Observação*. Em seguida, deverá ler atentamente as questões, analisar o que se pede e responder com base no conteúdo abordado no link <http://astro.if.ufrgs.br/antiga/antiga.htm>

Configurações

Recurso: Questionário. As questões estão dispostas abaixo, assim como o gabarito.

- I. Questões por página: 1;
- II. Tentativas permitidas: ilimitado;
- III. Valor das questões: 1,0 ponto por questão;
- IV. Ordem das perguntas: aleatória;
- V. Ordem das alternativas: aleatória.

Orientações

Após a leitura da Lição a *Astronomia, a Ciência da Observação*, o estudante deverá ler atentamente as questões, analisar o que se pede e responder com base no conteúdo abordado no link <http://astro.if.ufrgs.br/antiga/antiga.htm>

Atividade 2: Questionário

Questão 1

Observar o céu é um hábito praticado por todos os povos, em todos os tempos. A análise do que acontece fora do planeta Terra é uma das ciências mais antigas da humanidade: a _____, palavra originada do grego que significa Lei das Estrelas.

Escolha uma alternativa:

- a. Astronomia
- b. Matemática
- c. Biologia
- d. Astrologia
- e. História

Questão 2

Astrônomo grego que acreditava na esfericidade da Terra, da Lua e de outros corpos celestes. Achava que os planetas, o Sol, e a Lua eram transportados por esferas separadas da que carregava as estrelas. Foi o primeiro a chamar o céu de cosmos. Estamos nos referindo a:

Escolha uma alternativa:

- a. Hiparco de Nicéia (c.190-c.120 a.C.)
- b. Heraclides de Pontus (388-315 a.C.)
- c. Tales de Mileto (~624-546 a.C.)

- d. Pitágoras de Samos (~572-497 a.C.)
- e. Ptolomeu (85 d.C.-165 d.C.)

Questão 3

Astrônomo grego, considerado o maior da era pré-cristã, construiu um observatório na ilha de Rodas, onde fez observações durante o período de 147 a 127 a.C. Como resultado, ele compilou um catálogo com a posição no céu e a magnitude de 850 estrelas, além de inúmeras descobertas astronômicas.

Estamos nos referindo a:

Escolha uma alternativa:

- a. Ptolomeu (85 d.C.-165 d.C.)
- b. Hiparco de Nicéia (c.190-c.120 a.C.)
- c. Tales de Mileto (~624-546 a.C.)
- d. Pitágoras de Samos (~572-497 a.C.)
- e. Heraclides de Pontus (388-315 a.C.)

Questão 4

Astrônomo grego, sendo o primeiro a propor a Terra se movia em volta do Sol, antecipando Copérnico em quase 2 mil anos. Entre outras coisas, desenvolveu um método para determinar as distâncias relativas do Sol e da Lua à Terra e mediu os tamanhos relativos da Terra, do Sol e da Lua.

Escolha uma alternativa:

- a. Aristarco de Samos (310-230 a.C.)
- b. Ptolomeu (85 d.C.-165 d.C.)
- c. Pitágoras de Samos (~572-497 a.C.)
- d. Tales de Mileto (~624-546 a.C.)
- e. Heraclides de Pontus (388-315 a.C.)

Questão 5

As constelações são:

Escolha uma alternativa:

- a. Conjunto de astros na mesma distância
- b. Estrelas de outras galáxias
- c. Conjunto de astros de mesma natureza
- d. Famílias de astros
- e. Regiões do céu

Questão 6

Atualmente, quantas são as constelações do Zodíaco?

Escolha uma alternativa:

- a. Quinze
- b. Doze

- c. Nove
- d. Quatro
- e. Treze

Questão 7

A seguir destacamos uma constelação do zodíaco. Qual é a constelação que contém as estrelas destacadas?

Figura 14 - Constelação 01



Fonte: Freepik (c2010-2024).

Escolha uma:

- a. Constelação de Gêmeos
- b. Constelação de Peixes
- c. Constelação de Leão

- d. Constelação do Touro
- e. Constelação de Virgem

Questão 8

A seguir destacamos estrelas de uma constelação. Qual é a constelação que contém as estrelas destacadas?

Figura 15 – Constelação 02



Fonte: <https://realizeeducacao.com.br/blog/constelacoes/>

Escolha uma:

- a. Constelação de Virgem
- b. Constelação do Touro
- c. Constelação de Órion
- d. Constelação de Peixes
- e. Constelação de Leão

Questão 9

De qualquer ponto da superfície terrestre um observador vê:

Escolha uma alternativa:

- a. As estrelas movendo-se paralelamente ao horizonte
- b. Metade da esfera celeste
- c. As estrelas movendo-se perpendicularmente ao horizonte
- d. Um quarto da esfera celeste
- e. Toda a esfera celeste

Questão 10

O azimute (A) de um astro é medido:

Escolha uma alternativa:

- a. No sentido do Norte em direção à Leste
- b. No sentido do Sul em direção à Leste
- c. É uma grandeza constante e independe da direção tomada
- d. No sentido do Norte em direção à Oeste
- e. No sentido do Sul em direção à Oeste

“Estamos irrevogavelmente em um caminho que nos levará às estrelas. A não ser que, por uma monstruosa capitulação ao egoísmo e à estupidez, acabemos nos destruindo”

Carl Sagan

Figura 16 – APOD, 29/09/2015. Supermoon total Lunar Eclipse and Lightning Storm



Fonte: Hervas (2015).

TEMA 2: O Universo em movimento

Atividades propostas para o tema 2	Valor	Carga Horária
Lição: O Universo em movimento	-	05:00
Atividade 3: Glossário da Astronomia	10,0	01:00
Atividade 4: Questionário	10,0	02:00
Atividade 5: Desafio Astronômico	10,0	02:00
		Total de horas: 10 horas

Lição: O Universo em movimento

Vamos continuar nossa jornada?

Caro navegante espacial,

Seja bem-vindo a nossa segunda parada desta viagem rumo ao conhecimento do nosso curso *Observando o céu: uma introdução à Astronomia*.

Figura 17 – APOD, 21/10/2019. *A Mercury Transit Music Video from SDO*



Fonte: Duberstein (2019).

Neste tópico, vamos abordar um pouco sobre o universo e conhecer as consequências causadas pela movimentação dos planetas. Abordaremos ainda os principais movimentos da Terra e da Lua. E, ao final da lição, você poderá divertir-se um pouco através de animações e simulações dos conteúdos abordados neste bloco.

Bons Estudos!

INFORMAÇÕES DO ABC DA ASTRONOMIA: UNIVERSO (TV ESCOLA)



O planeta Terra está no Sistema Solar, que está dentro da Via Láctea, que por sua vez faz parte de um aglomerado de galáxias. Isso nos dá uma sensação de que a gente nunca chega lá: o universo é

absolutamente tudo que a gente conhece, vê ou detecta. E é também tudo o que ainda vai ser descoberto. Este programa do ABC da Astronomia tenta escalar as distâncias astronômicas para termos uma noção mais próxima do humano das dimensões do que ainda temos por conhecer.

Figura 18 – ABC da Astronomia: Universo, TV Escola



Fonte: ABC da Astronomia, TV Escola. Disponível em:
<https://plataformaintegrada.mec.gov.br/colecao-do-usuario/1533>

INFORMAÇÕES DO ABC DA ASTRONOMIA: ROTAÇÕES E REVOLUÇÕES (TV ESCOLA)



Rotação é o movimento periódico em torno de si mesmo, e revolução é o movimento de um objeto em torno de outro.

Quando a gente pensa nos movimentos da Terra e da maioria dos planetas, fica fácil imaginar todos girando no mesmo sentido e na mesma direção. Mas nem sempre é assim. Tem planeta que “rola”, e tem ainda planeta que gira ao contrário. Neste programa, você vai entender as consequências causadas pela movimentação dos planetas no universo, e vai descobrir que existe até planeta em que o dia é maior do que o ano.

Figura 19 – ABC da Astronomia: Rotação e Revolução



Fonte: ABC da Astronomia, TV Escola. Disponível em
<https://plataformaintegrada.mec.gov.br/colecao-do-usuario/1533>

Parada para leitura obrigatória



**Para realizar a leitura obrigatória é só
clique nos links abaixo:**

<http://astro.if.ufrgs.br/coord.htm>

<http://astro.if.ufrgs.br/tempo/tempo.htm>

<http://astro.if.ufrgs.br/trigesf/trigesf.htm>

INFORMAÇÕES DO ABC DA ASTRONOMIA: A LUA (TV ESCOLA)



A Lua é o astro mais próximo da Terra e nosso único satélite natural. A Lua é muito mais do que inspiradora de poemas. Mais de dez homens já estiveram por lá em uma série de seis missões

que levaram três anos. Neste programa do ABC da Astronomia, você descobre como se deu a colisão que deu origem à Lua e aprende como é a relação entre o satélite natural e o planeta Terra. A nossa força da gravidade faz com que a Lua permaneça em órbita, mas essa relação é recíproca, por isso a Lua também exerce influência na Terra, como no fenômeno das marés.

Figura 20 – ABC da Astronomia: Lua



Fonte: ABC da Astronomia, TV Escola. Disponível em:
<https://plataformaintegrada.mec.gov.br/colecao-do-usuario/1533>

INFORMAÇÕES DO ABC DA ASTRONOMIA: FASES DA LUA (TV ESCOLA)



Nosso único satélite natural é usado por diversas culturas para medir o tempo, ou até mesmo para seguir superstições. Ao longo de um mês, a Lua oferece belos espetáculos a nós, felizardos espectadores. Tudo isso

nada mais é do que um jogo de luz e sombra que ocorre entre ela, o Sol e a Terra. O esquema que resulta nas fases da Lua parece simples para quem observa, mas tem diversos detalhes que este programa esclarece. Saiba como esse fenômeno ocorre entendendo a relação de posicionamento e distância entre estes três corpos celestes.

Figura 21 – ABC da Astronomia: Fases da Lua



Fonte: ABC da Astronomia, TV Escola. Disponível em:
<https://plataformaintegrada.mec.gov.br/colecao-do-usuario/1533>

Parada para leitura obrigatória



Para realizar a leitura obrigatória é só clicar nos links abaixo:

<http://astro.if.ufrgs.br/lua/lua2.htm>

<http://astro.if.ufrgs.br/lua/lua.htm>

<http://astro.if.ufrgs.br/moon/lua.htm>

<http://astro.if.ufrgs.br/eclipses/eclipse.htm>

<http://astro.if.ufrgs.br/eclipses/sombra1.htm>

Animações e Simulações de Astronomia

O objetivo deste tópico é aprender por meio de animações e simulações os conteúdos abordados neste bloco.

Para simular os movimentos estudados neste tópico, você pode acessar o link abaixo:

<https://astro.unl.edu/animationsLinks.html>



Glossário

Olá! Caros navegantes espaciais,

Figura 22 - Glossário



Fonte: Amaral (2015).

Estamos na segunda etapa de nosso curso!

Durante o processo de estudo, aprendemos vários termos relacionados à Astronomia. Que tal criarmos um glossário? Faça uma lista com dez palavras, escolha dois termos que não constam no glossário e insira a descrição dos conceitos.



Atividade 4: Questionário

Olá! Caros navegantes espaciais,

Figura 23 – APOD, 28/03/2020. *Stars Trail over Ragusa*



Fonte: Tumino (2020).

Esta atividade serve para que você, estudante, possa validar os conhecimentos construídos até o momento. Desse modo, é necessário fazer a leitura da Lição *O Universo em movimento*. Em seguida, deverá ler atentamente as questões, analisar o que se pede e responder com base no conteúdo abordado no tópico *Leitura obrigatória*.

Configurações

Recurso: Questionário. As questões estão dispostas abaixo, assim como o gabarito.

- I. Questões por página: 1;
- II. Tentativas permitidas: Ilimitado;
- III. Valor das questões: 1,0 ponto por questão;
- IV. Ordem das perguntas: aleatória;
- V. Ordem das alternativas: aleatória.

Orientações

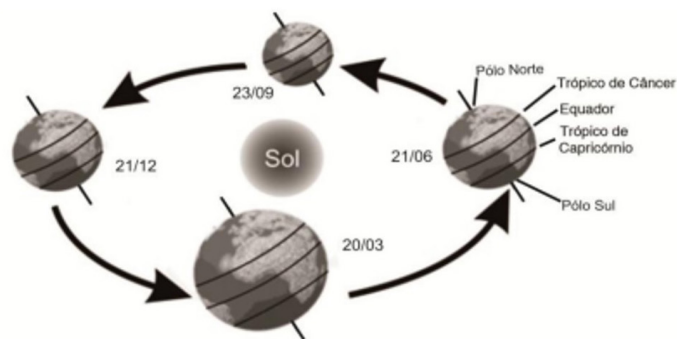
Realizar a leitura da Lição *O Universo em Movimento*. Em seguida, o estudante deverá ler atentamente as questões, analisar o que se pede e responder com base no conteúdo abordado durante o módulo.

Atividade 4: Questionário

Questão 1

Abaixo, você poderá perceber um esquema mostrando a Terra no seu movimento anual ao redor do Sol, em perspectiva, fora de escala, em quatro datas especiais para 2010. Coloque a data em que ocorre cada um dos eventos na lista abaixo.

Figura 24 - Terra em Movimento anual ao redor do Sol



Fonte: OBA (2011).

- a. Equinócio de outono no Hemisfério Sul: ____
- b. Solstício de verão no Hemisfério Norte: ____
- c. Início do verão no Hemisfério Sul: ____
- d. Início do verão no Hemisfério Norte: ____
- e. Início do outono no Hemisfério Sul: ____
- f. Início da primavera no Hemisfério Sul: ____
- g. Sol a pino no Trópico de Câncer: ____

- h. Sol sobre a intersecção da eclíptica com o Equador Celeste indo do Hemisfério Sul para o Norte: ____
- i. Início do inverno no Hemisfério Sul: ____
- j. Sol a pino no Trópico de Capricórnio: ____

Questão 2

Abaixo há uma sequência de fotos de um eclipse solar quase total, também chamado de eclipse anular.

Figura 25 – Sequência de um eclipse solar anelar



Fonte: Eclipse [...] (c2024).

Marque única afirmação correta:

- a. A Lua está passando na sombra da Terra
- b. Um buraco negro está passando na frente do Sol
- c. A sombra da Terra está passando sobre o Sol
- d. A Lua está passando na frente do Sol

- e. A Terra está passando na frente do Sol

Questão 3

Um habitante dos trópicos na Terra observou a Lua no poente ao escurecer com o formato de lâmina de uma foice iluminada. Veja a figura abaixo:

Figura 26 - Fases da lua



Fonte: Sant'Anna (2019).

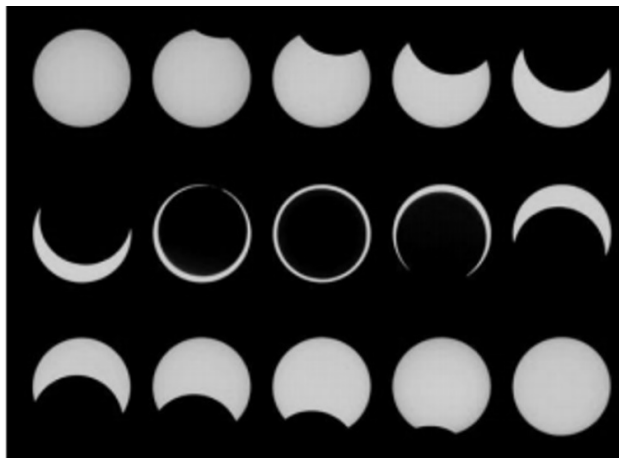
Assinale uma das alternativas abaixo que indica entre quais fases estava a Lua neste dia:

- a. Lua cheia
- b. Entre Lua Cheia e Quarto Minguante
- c. Entre Lua Nova e Quarto Crescente
- d. Entre Quarto Minguante e Lua Nova
- e. Entre Quarto Crescente e Lua Cheia

Questão 4

(OBA/2016) Em 29 de maio de 1919 houve um famoso eclipse solar total, visível em Sobral (CE). Com ele foi possível obter uma das primeiras comprovações da Teoria da Relatividade Geral. Ao lado temos uma sequência de fotos de um eclipse solar anelar, similar ao que ocorreu em fevereiro de 2017 e foi visível como parcial em parte do Brasil.

Figura 27 - Eclipse



Fonte: OBA (2016).

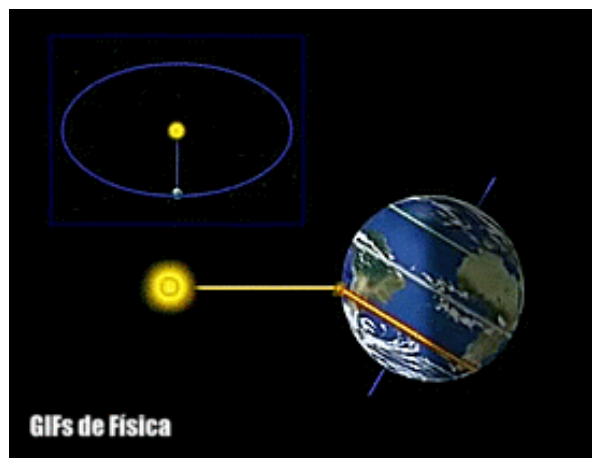
Marque a única afirmação correta sobre o que ocorre num eclipse do Sol:

- O Sol está passando entre a Terra e a Lua
- A Lua está entre o Sol e Terra
- A Terra está entre o Sol e a Lua
- A Terra está passando na frente do Sol
- Um buraco negro está passando na frente do Sol

Questão 5

Foi no período do império romano – do século I ao IV – que as estações foram batizadas como primavera, verão, outono e inverno. Durante o verão, os dias são mais quentes e longos. No inverno, acontece o contrário.

Figura 28 - Estações do ano 01



Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=mBFQr0nxz5I>

Observe bem a imagem e responda: por que o planeta Terra apresenta as estações do ano?

Figura 29 – Estações do ano 02



Fonte: <https://slideplayer.com.br/slide/1752425/>

Escolha uma alternativa:

- a. A inclinação do eixo e o movimento de translação da Terra não provocam o dia e a noite em nosso planeta e nem as estações do ano.
- b. A Terra apresenta as estações do ano por causa de seus dois movimentos, o de translação e o de rotação, e também devido ao eixo de inclinação em relação ao Sol.
- c. A Terra está em constante movimento. Orbita em torno do Sol no movimento de translação e as estações do ano acontecem por causa desse movimento e do eixo de inclinação.
- d. O movimento do nosso planeta em torno do Sol dura um ano, recebe o nome de movimento de translação e a sua principal consequência é a duração de um dia.

Questão 6

(UFRGS/2016) A coluna da esquerda apresenta os movimentos de rotação e translação, responsáveis por diversos fenômenos; a da direita, alguns desses fenômenos.

Associe adequadamente as colunas.

- | | |
|---------------|---------------------------------|
| 1. Rotação | (___) Afélio e Periélio |
| 2. Translação | (___) Desvios dos ventos |
| | (___) Movimento aparente do Sol |
| | (___) Estações do ano |

A sequência correta de preenchimento dos parênteses, de cima para baixo, é:

- a. 2 - 2 - 1 - 1
- b. 1 - 2 - 2 - 1
- c. 2 - 1 - 1 - 2
- d. 1 - 2 - 1 - 2
- e. 1 - 1 - 2 - 2

Questão 7

“O que aconteceria se a Terra parasse de girar?”

Alguém responde: tudo sairia voando!

‘É impossível que o planeta pare de girar de modo abrupto, mas, se isso acontecesse, tudo aquilo que se encontra na superfície terrestre seria arrancado violentamente: as cidades, os oceanos e até o ar da atmosfera’, afirma Rubens Machado, do departamento de astronomia da USP [...].

TANJI, T. **Revista Galileu**, 09 jun. 2015 (adaptado).

A consequência da hipótese acima apresentada deve-se pela combinação entre:

Escolha uma alternativa:

- a. A massa da Terra e o alinhamento da órbita lunar
- b. A inércia e a alta velocidade de rotação terrestre
- c. A força da gravidade e o movimento de translação
- d. A translação e a rotação planetária
- e. O eixo rotacional e o campo magnético da Terra

Questão 8

(Enem/2017) Conhecer o movimento das marés é de suma importância para a navegação, pois permite definir com segurança quando e onde um navio pode navegar em áreas, portos ou canais. Em média, as marés oscilam entre alta e baixa num período de 12 horas e 24 minutos. No conjunto de marés altas, existem algumas que são maiores do que as demais. A ocorrência dessas maiores marés tem como causa.

Escolha uma alternativa:

- a. O alinhamento entre a Terra, a Lua e o Sol, pois as forças gravitacionais agem na mesma direção.
- b. A rotação da Terra, que muda entre dia e noite a cada 12 horas.
- c. Os ventos marítimos, pois todos os corpos celestes se movimentam juntamente.
- d. A maior influência da atração gravitacional do Sol sobre a Terra, pois este tem a massa muito maior que a da Lua.
- e. e) O deslocamento da Terra pelo espaço, pois a atração gravitacional da Lua e do Sol são semelhantes.

Questão 9

O Sol, visto da Terra, se desloca, aparentemente, pelas constelações zodiacais contidas na esfera celeste, sobre uma linha imaginária chamada eclíptica. A expansão do plano do equador terrestre até a esfera celeste define o equador celeste. Eclíptica e Equador têm o mesmo centro, e estão inclinadas entre si de 23,5 graus, logo, se cruzam. Veja a ilustração abaixo.

Figura 30 - Esfera Celeste



Fonte: OBA (2013).

Quando o Sol está na intersecção da eclíptica com o Equador celeste (pontos B (20/03 em 2013) ou D (22/09 em 2013)) dizemos que está ocorrendo o Equinócio. Neste dia o Sol nasce exatamente no ponto cardeal leste para qualquer observador. De quantas horas é a duração da noite quando o Sol está nos Equinócios?

Questão 10

O Sol, visto da Terra, se desloca, aparentemente, pelas constelações zodiacais contidas na esfera celeste, sobre uma linha imaginária chamada eclíptica. A expansão do plano do equador terrestre até a esfera celeste define o equador celeste. Eclíptica e Equador têm o mesmo centro, e estão inclinadas entre si de 23,5 graus, logo, se cruzam. Veja a ilustração da questão anterior.

Quando o Sol está nos pontos A (21/12 em 2013) ou C (21/06 em 2013) dizemos que está ocorrendo o Solstício e o Sol está a pino nos Trópicos de Capricórnio e de Câncer, respectivamente. O Sol sempre passa pelos pontos A, B, C, D quase nas mesmas datas no hemisfério sul?

Dica: O Sol nasce e se põe mais ao Sul e a noite é a mais curta do ano.



Atividade 5: Desafio Astronômico

Olá! Caros navegantes espaciais,

Figura 31 – AP0D, 18/07/2019. *Shadowed Moon and Mountain*



Fonte: Span (2019).

O desafio Astronômico é uma atividade interdisciplinar interessante, que te faz refletir sobre os conhecimentos construídos aqui no curso e fazer conexões com outras disciplinas do currículo escolar. Desse modo, é necessário fazer a leitura da Lição *O Universo em movimento*. Em seguida, você deverá ler atentamente as questões, analisar o que se pede e responder com base no conteúdo abordado no tópico *Leitura obrigatória* e seus conhecimentos prévios.

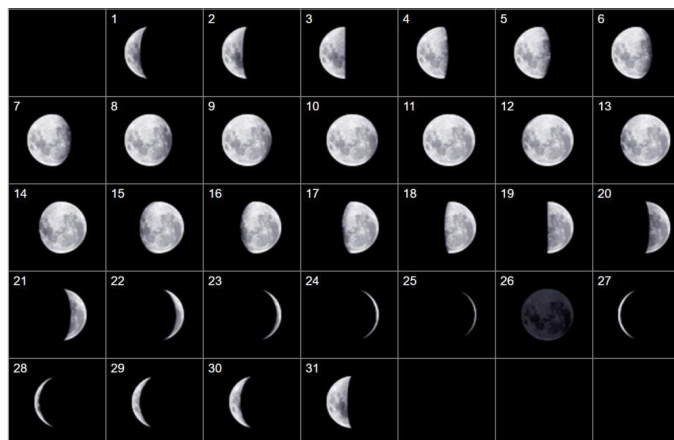
Orientações

Realizar a leitura da Lição *O Universo em Movimento*. Em seguida, o estudante deverá ler atentamente as questões, analisar o que se pede e responder com base no conteúdo abordado durante o módulo.

Atividade 5: Desafio Astronômico

Como você sabe, a cada dia a Lua tem uma aparência (fase). Abaixo temos 31 imagens sequenciais da Lua como vista do Hemisfério Sul.

Figura 32 – Fases da Lua



Fonte: OBA (2017).

Questão 1

Qual é o número da imagem acima que melhor representa a fase Quarto Crescente?

Questão 2

Qual é o número da imagem acima que melhor representa a fase Quarto Minguante?

Questão 3

Qual é o número da imagem acima que melhor representa a fase da Lua Cheia?

Questão 4

Qual é o número da imagem acima que melhor representa a fase da Lua Nova?

"Somos poeira das estrelas"

Carl Sagan

Figura 33 – APOD, 01/10/2023. *A Desert Eclipse*



Fonte: Daviron (2023).

TEMA 3: O SISTEMA SOLAR

Atividades propostas para o tema 3	Valor	Carga Horária
Lição: O Sistema Solar	-	06:00
Atividade 6: Verdadeiro ou Falso?	10,0	01:30
Atividade 7: Desafio Astronômico	10,0	01:30
Atividade 8: Descubra de quem estamos falando	10,0	01:00
		Total de horas: 10 horas

Lição: O Sistema solar

Vamos continuar nossa jornada?

Caro navegante espacial,

Seja bem-vindo a nossa segunda parada desta viagem rumo ao conhecimento do nosso curso *Observando o céu: uma introdução à Astronomia*.

Figura 34 – APOD, 21/10/2019. *A Mercury Transit Music Video from SDO*



Fonte: Duberstein (2019).

Neste tópico, vamos conhecer um pouco sobre o Universo e as consequências causadas pela movimentação dos planetas. Abordaremos ainda os principais movimentos da Terra e da Lua. E ao final da lição você poderá divertir-se um pouco através de animações e simulações os conteúdos abordados neste bloco.

Bons Estudos!

INFORMAÇÕES DO ABC DA ASTRONOMIA: VIA LÁCTEA (TV ESCOLA)



A Via Láctea tem diversos significados. No céu, quando a noite não tem nuvens e poluição, ela é uma faixa clara. No espaço, é a nossa galáxia. No imaginário da Grécia antiga era um rio de leite. Na visão dos indígenas brasileiros é o caminho da Anta pela floresta. Na visão das nossas crianças... é preciso levá-las para onde possam vê-la. Neste episódio, você conhece a origem de todos esses conceitos que chegam a ultrapassar a ciência e mexem com a cultura de muitos povos e culturas.

Figura 35 – ABC da Astronomia: Via Láctea



Fonte: ABC da Astronomia, TV Escola.

Disponível em: <https://plataformaintegrada.mec.gov.br/colecao-do-usuario/1533>

INFORMAÇÕES DO ABC DA ASTRONOMIA: SOL (TV ESCOLA)



Conhecer o Sol não é nada fácil. É possível olhar pra ele apenas com o uso de filtros especiais. E pousar nele, nem pensar! Mas uma coisa é importante lembrar: ele

não é uma bola de fogo. Com a evolução da tecnologia e das ferramentas de observação, nós estamos chegando mais perto com sondas e já conhecemos bem mais da nossa maior fonte de energia. Neste episódio, você aprende a composição e entende como é o funcionamento do astro-rei.

Figura 36 – ABC da Astronomia: Sol, TV Escola



Fonte: ABC da Astronomia, TV Escola.

Disponível em: <https://plataformaintegrada.mec.gov.br/colecao-do-usuario/1533>

INFORMAÇÕES DO ABC DA ASTRONOMIA: TERRA (TV ESCOLA)



Além de ser o terceiro planeta do Sistema Solar, a Terra tem uma definição que nos soa mais familiar: nossa casa. A vida se estrutura de forma complexa e diversa nos vários ambientes, e a Terra só é do jeito que é por causa das coisas que aconteceram na sua superfície, inclusive por causa das plantas, animais e outras espécies. Neste episódio, você vai ver como é a estrutura do planeta em que vivemos e o seu desenvolvimento ao longo do tempo. Vai também

ver que nós, seres humanos, temos parte nisso tudo – inclusive no caos que têm se transformado alguns ciclos de vida que existem por aqui.

Figura 37 – ABC da Astronomia: Terra



Fonte: ABC da Astronomia, TV Escola.

Disponível em: <https://plataformaintegrada.mec.gov.br/colecao-do-usuario/1533>

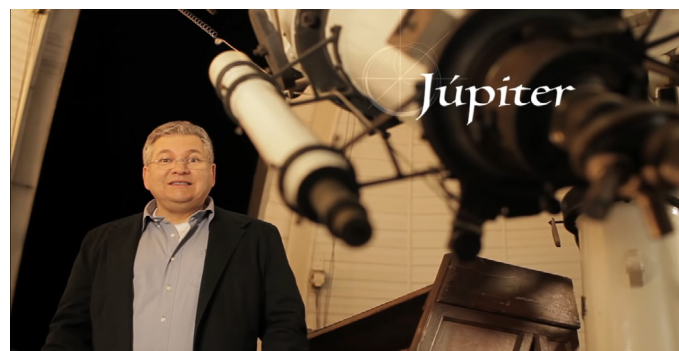
INFORMAÇÕES DO ABC DA ASTRONOMIA: JÚPITER (TV ESCOLA)



Ele é muito grande: tem massa equivalente a 2,5 vezes a massa de todos os outros planetas do Sistema Solar juntos. Mas quando temos a experiência de olhar para ele no telescópio pela primeira vez é que dá aquele

estalo de que somos mesmo muito pequenos, apenas uma bolinha girando em torno do Sol. Neste episódio do ABC da Astronomia, você conhece Júpiter, este gigante formado por gases e líquidos que tem mais de 60 luas ao redor e um sistema de anéis, além de um campo magnético.

Figura 38 – ABC da Astronomia: Júpiter



Fonte: ABC da Astronomia, TV Escola. Disponível em: <https://plataformaintegrada.mec.gov.br/colecao-do-usuario/1533>

INFORMAÇÕES DO ABC DA ASTRONOMIA: METEOROS (TV ESCOLA)



Admirados por uns e muito temidos por outros, eles são meteoroides antes de chegar à Terra e passam a ser chamados de meteoros quando riscam nossa atmosfera. Depois disso, quando são grandes e chegam até o chão, são meteoritos. Neste ABC da Astronomia você vai descobrir que o Meteoro é um acontecimento, e não um objeto. Entenda também a diferença entre eles e as estrelas cadentes. Ah! Também falamos das chuvas de meteoros nesse episódio.

Figura 39 – ABC da Astronomia: Meteoro



Fonte: ABC da Astronomia, TV Escola.

Disponível em: <https://plataformaintegrada.mec.gov.br/colecao-do-usuario/1533>

Parada para leitura obrigatória



**Para realizar a leitura obrigatória é só
clique nos links abaixo:**

<http://astro.if.ufrgs.br/ssolar.htm>

<http://astro.if.ufrgs.br/planetas/planetas.htm>

<http://astro.if.ufrgs.br/comast/comast.htm>

<http://astro.if.ufrgs.br/esol/esol.htm>

• Animações e Simulações de Astronomia

• O objetivo deste tópico é aprender por meio de animações e simulações os conteúdos abordados neste bloco.

• Para simular os movimentos estudados neste tópico, você pode acessar o link abaixo:

• <https://astro.unl.edu/animationsLinks.html>



Atividade 6: Verdadeiro ou Falso

Olá! Caros navegantes espaciais,

Figura 40 – APOD, 19/12/2019. *Apollo 17's Moonship*



Fonte: Saunders (2019).

Esta atividade serve para que você, estudante, possa validar os conhecimentos construídos até o momento. Desse modo, é necessário fazer a leitura da Lição *O Sistema Solar*. Em seguida, deverá ler atentamente as questões, analisar o que se pede e responder com base no conteúdo abordado no tópico *Leitura obrigatória*.

Orientações

Após a leitura da Lição *O Sistema Solar*. Em seguida, o estudante deverá ler atentamente as questões, analisar o que se pede e responder (Verdadeiro ou Falso) com base no conteúdo abordado durante o módulo.

Atividade 6: Verdadeiro ou Falso

Questão 1

Abaixo da superfície congelada do satélite Europa há um oceano.

() Verdadeiro

() Falso

Questão 2

Io é o corpo que apresenta a maior atividade vulcânica do Sistema Solar.

() Verdadeiro

() Falso

Questão 3

Asteroides são corpos rochosos pequenos e a maioria se concentra no cinturão de Edgeworth-Kuiper.

() Verdadeiro

() Falso

Questão 4

Ptolomeu explicou o movimento retrógrado dos planetas externos pelo sistema de epiciclos.

() Verdadeiro

() Falso

Questão 5

Na Antiguidade, Ptolomeu propôs o sistema geocêntrico, no qual a Terra orbitava o Sol, assim como os outros planetas.

() Verdadeiro

() Falso

Questão 06

Nicolau Copérnico (1473–1543) resgatou as ideias de Aristarco (270 a.C.) de que a Terra girava ao redor do Sol e em órbitas circulares.

Verdadeiro

Falso

Questão 07

Os planetas rochosos se formaram em região relativamente quente e os gasosos em regiões mais frias.

Verdadeiro

Falso

Questão 08

Fobos e Deimos cruzam o céu marciano em sentidos opostos e velocidades aparentes diferentes.

Verdadeiro

Falso

Questão 09

O satélite Titã tem ciclo sazonal. No inverno a água se condensa nas regiões frias. No verão, há chuvas e a água escorre por canais fluviais.

Verdadeiro

Falso

Questão 10

Mercúrio, Vênus, Terra e Marte são os planetas rochosos do Sistema Solar.

Verdadeiro

Falso



Atividade 7: Desafio Astronômico

Olá! Caros navegantes espaciais,

Figura 41- APOD, 17/10/2019. *Moons of Saturn*



Fonte: Cassini Imaging Team, SSI, IPL, Nasa (2019).

O desafio Astronômico é uma atividade interdisciplinar interessante, que te faz refletir sobre os conhecimentos construídos aqui no curso e fazer conexões com outras disciplinas do currículo escolar. Desse modo, é necessário fazer a leitura da Lição *O Sistema Solar*. Em seguida, deverá ler atentamente as questões, analisar o que se pede e responder com base no conteúdo abordado no tópico *Leitura obrigatória* e seus conhecimentos prévios.

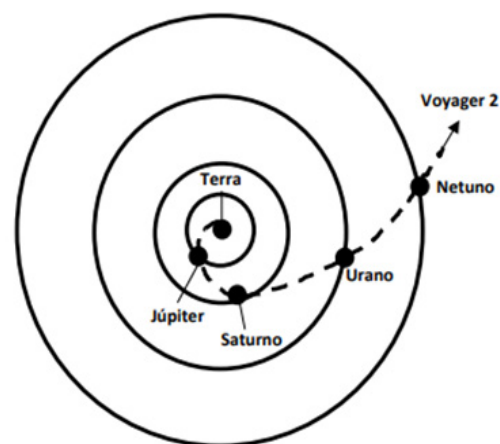
Orientações

Após a leitura da Lição *O Sistema solar* você deverá ler atentamente as questões, analisar o que se pede e responder com base no conteúdo abordado durante o módulo.

Atividade 7: Desafio Astronômico

(OBA/2018) Em 20/08/77, portanto, há mais de 40 anos, foi lançada a espaçonave não tripulada Voyager 1 e em 05/09/77 a Voyager 2, as quais ainda continuam enviando sinais aos cientistas. A Figura ilustra simplificada a passagem da Voyager 2 pelos planetas Júpiter, Saturno, Urano e Netuno.

Figura 42 - Passagem da Voyager 2



Fonte: OBA (2018)

Questão 01

As aproximações máximas da Voyager 2 aos planetas ocorreram nas datas abaixo. Escreva o nome do planeta do qual estava próximo a Voyager 2 nas datas indicadas abaixo.

- _____ 25 de agosto de 1981.
- _____ 25 de agosto de 1989.
- _____ 20 de agosto de 1977.
- _____ 09 de julho de 1979.
- _____ 24 de janeiro de 1986.

Questão 02

Quantos anos demorou a viagem da Voyager 2 entre Saturno e Netuno?

Questão 03

A Voyager 1 está a 21.000.000.000 km da Terra e ainda é possível enviar mensagens a ela, bem como dela receber sinais.

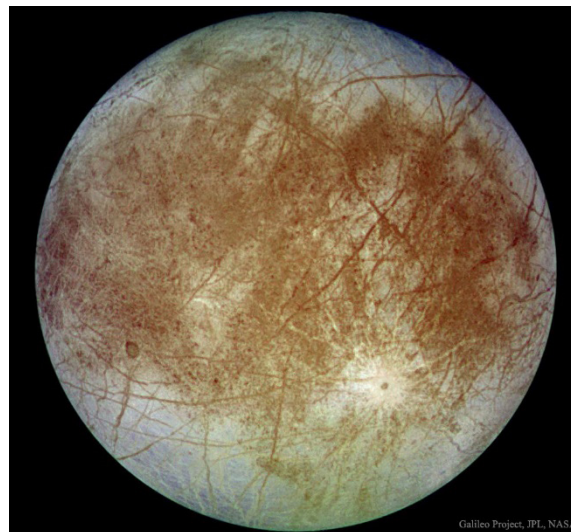
Lembrando que $\text{velocidade} = \text{distância} / \text{tempo}$ e considerando que as mensagens viajam à velocidade da luz (300.000 km/s), quantos segundos leva uma mensagem enviada da Terra para chegar à Voyager 1?



Atividade 8: Descubra de quem estamos falando

Olá! Caros navegantes espaciais,

Figura 43 – APOD, 27/09/2016. *Jupiter's Europa from Spacecraft Galileo*



Fonte: Galileo Project, JPL, Nasa (2016).

O desafio *Descubra de quem estamos falando* é uma atividade interdisciplinar interessante, que te faz refletir sobre os conhecimentos construídos aqui no curso e fazer conexões com outras disciplinas do currículo escolar. Desse modo, é necessário fazer a leitura da Lição *O Sistema solar*. Em seguida, deverá ler atentamente as questões, analisar o que se pede e responder com base no conteúdo abordado no tópico *Leitura obrigatória* e seus conhecimentos prévios.

Orientações

Realizar a leitura da Lição *O Sistema solar*. Em seguida, o estudante deverá ler atentamente as questões, analisar o que se pede e responder com base no conteúdo abordado durante o módulo.

Atividade 8: Descubra de quem estamos falando

Objeto 01

Seguem algumas pistas, descubra de quem estamos falando.

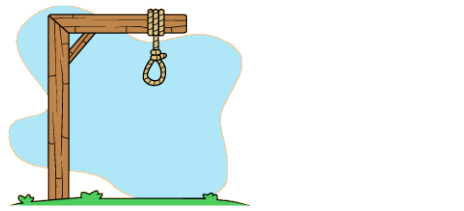
Figura 44 - Objeto 01



Fonte: <http://astro.if.ufrgs.br/planetas/planetas.htm>

1. É o objeto mais proeminente em nosso sistema solar.
2. É o maior objeto e contém aproximadamente 98% da massa total do sistema solar.
3. Cento e nove Terras seriam necessárias cobrir o disco dele.
4. Em seu interior caberiam 1,3 milhões de Terras.
5. Sua camada externa visível é chamada fotosfera.
6. Tem uma temperatura de 6.000°C.
7. A fotosfera tem uma aparência turbulenta devido às erupções energéticas que lá ocorrem.

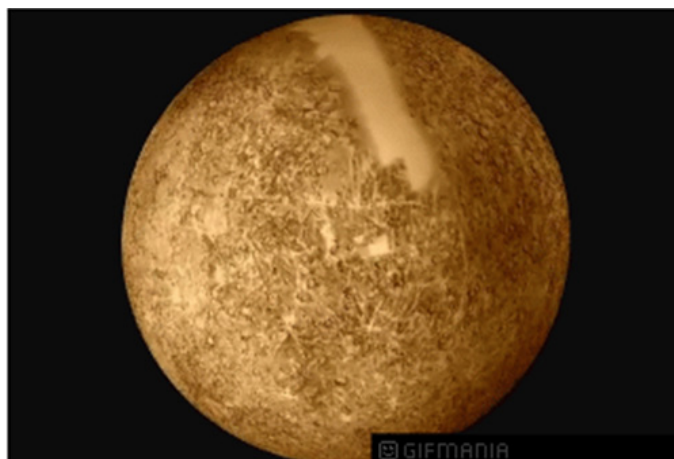
De quem estamos falando?



Objeto 02

Seguem sete pistas, descubra de quem estamos falando.

Figura 45 - Objeto 02



Fonte: http://www.ccvalg.pt/astronomia/sistema_solar/mercurio.htm

1. Recebeu, pelos romanos, o nome do mensageiro dos deuses porque se move mais rápido do que qualquer outro planeta.
2. É o planeta mais interno do nosso sistema solar e também o menor planeta.
3. Praticamente não tem atmosfera.

4. Sua temperatura se eleva acima de 400°C durante o dia. À noite, devido à falta de atmosfera para manter o calor, a temperatura cai a -180°C .
5. Sua massa é $3,303 \times 10^{23}$ (kg).
6. O período de rotação em dias terrestres é 58,6464.
7. O período orbital em dias terrestres é 87,969.

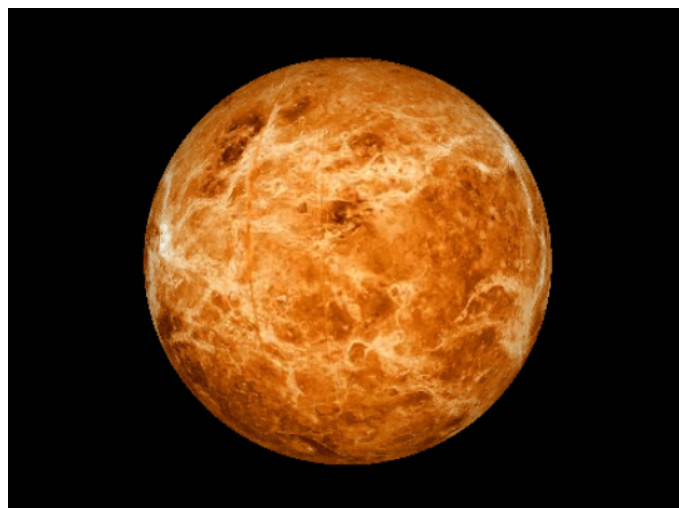
De quem estamos falando?



Objeto 03

Seguem sete pistas, descubra de quem estamos falando.

Figura 46 - Objeto 03



Fonte: http://www.ccvlg.pt/astronomia/sistema_solar/venus.htm

1. Era conhecido pelos astrônomos da antiguidade com a estrela d'álva e estrela vespertina.
2. Seu nome é homenagem a deusa Romana do amor e da beleza, é encoberto por grossa camada de nuvens em turbilhões.
3. Não tem oceanos e é envolto por uma pesada atmosfera composta principalmente de dióxido de carbono, e virtualmente sem vapor d'água.
4. Suas nuvens são compostas de gotículas de ácido sulfúrico. A pressão atmosférica na superfície é 92 vezes maior que a da Terra, ao nível do mar.
5. Sua temperatura média é de 482°C (900° F) na superfície.

6. Um dia neste planeta tem 243 dias Terrestres, e é mais longo que seu ano, de 225 dias. Estranhamente, este planeta gira do leste para o oeste.
7. É marcado por numerosas crateras de impacto distribuídas aleatoriamente sobre sua superfície.

De quem estamos falando?



Objeto 04

Seguem sete pistas, descubra de quem estamos falando.

Figura 47 – Objeto 04



Fonte: <https://media.giphy.com/media/MFRBVdwxheLKw/giphy.gif>

1. É o terceiro planeta do sistema solar, a uma distância de 150 milhões km (93,2 milhões de milhas).
2. Leva 365,256 dias para este planeta girar em torno do Sol e 23.9345 horas e efetuar uma rotação completa.
3. Tem um diâmetro de 12.756 km (7.973 milhas), apenas poucas centenas de quilômetros maior que o de Vênus.
4. Sua atmosfera é composta por 78% de nitrogênio, 21% de oxigênio, e 1% de outros componentes.
5. É o único planeta conhecido a abrigar vida no sistema solar.
6. O núcleo deste planeta, de níquel-ferro derretido girando rapidamente, provoca um extenso campo magnético que, junto com a atmosfera, o protege de praticamente toda a radiação prejudicial vinda do Sol e outras estrelas.
7. A sua atmosfera protege dos meteoros, cuja maioria queima-se antes de poder atingir a superfície.



Objeto 05

Seguem sete pistas, descubra de quem estamos falando.

Figura 48 - Objeto 05



Fonte: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/marte.htm>

1. É o quarto planeta a partir do sol e é comumente referido como o Planeta Vermelho.
2. As rochas, solo e céu tem coloração vermelha ou rosa. A característica cor vermelha tem sido observada por astrônomos por toda a história.
3. Seu nome foi dado pelos Romanos, em honra ao seu deus da guerra. Outras civilizações tem nomes similares.
4. Os antigos Egípcios chamaram o planeta de *Her Descher*, que significa o vermelho.

5. Antes da exploração espacial, era considerado como sendo o melhor candidato a abrigar vida extraterrestre.
6. O período de rotação (em dias terrestres) é de 1,025957 dias.
7. O período orbital (em dias terrestres) é de 686,98 dias.



Objeto 06

Seguem sete pistas, descubra de quem estamos falando.

Figura 49 - Objeto 06



Fonte: <https://astronomiadescomplicada.wordpress.com/>

1. É o quinto planeta a partir do Sol, e é o maior no sistema solar.
2. Se fosse oco, poderia caber mais de mil Terras dentro.
3. Tem uma massa de $1,9 \times 10^{27}$ kg e tem 142.800 quilômetros (88.736 milhas) de diâmetro no equador. Possui 16 satélites, quatro dos quais – Calisto, Europa, Ganimede e Io – foram observados por Galileu em 1610.
4. Existe um sistema de anéis, mas que é muito tênue, sendo totalmente invisível da Terra (Os anéis foram descobertos em 1979 pela Voyager 1).
5. A atmosfera é muito profunda, talvez compreendendo todo o planeta, sendo em termos, parecido como o Sol.
6. A grandes profundidades dentro deste planeta, a pressão é tão grande que os átomos de hidrogênio são quebrados e seus elétrons são liberados de forma que os átomos resultantes consistem de simples prótons.
7. Coloridas faixas latitudinais, tempestades e nuvens atmosféricas ilustram o dinâmico sistema meteorológico deste planeta.



Objeto 07

Seguem sete pistas, descubra de quem estamos falando.

Figura 50 - Objeto 07



Fonte: <https://media0.giphy.com/media/bPZdEf0gBh1de/giphy.gif>

1. É o sexto planeta a partir do Sol, e é o segundo maior do sistema solar, com um diâmetro equatorial de 119.300 quilômetros (74.130 milhas).
2. É visivelmente achatado nos polos, devido a rotação muito rápida do planeta em torno de seu próprio eixo.
3. Seus dias são de 10 horas e 39 minutos, levando 29,5 anos terrestres para dar a volta ao Sol.
4. A atmosfera é principalmente composta de hidrogênio com pequenas quantidades de hélio e metano.
5. É o único planeta menos denso que a água (cerca de 30 por cento menos). No hipotético caso de um oceano grande o suficiente ser encontrado, este planeta iria flutuar nele.
6. Lá o vento sopra em altas velocidades, próximo ao equador, ele atinge velocidades de 500 metros por segundo (1.100 milhas por hora). O vento sopra principalmente na direção leste. Os

ventos mais fortes são encontrados próximos ao equador, e a velocidade diminui uniformemente com o aumento da latitude.

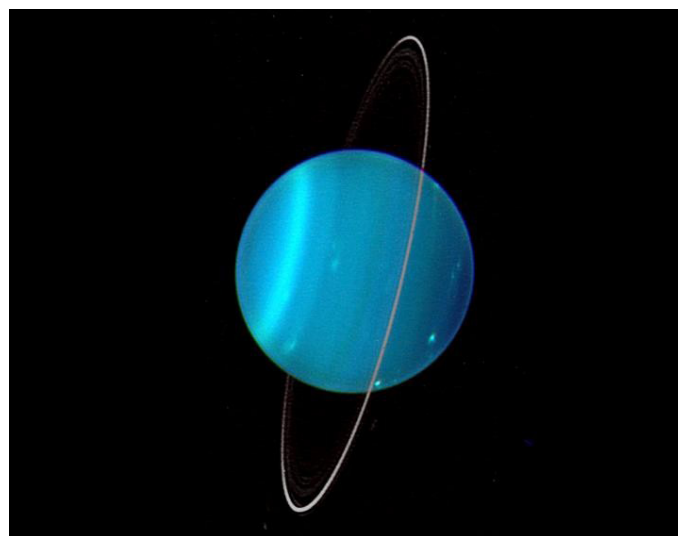
7. Seu sistema de anéis faz do planeta um dos mais belos objetos do sistema solar.



Objeto 08

Seguem sete pistas, descubra de quem estamos falando.

Figura 51 – Objeto 08



Fonte: https://s2.glbimg.com/dp39VMR8dFZC3ic1-T2R76pde_U=/e.glbimg.com/og/ed/ff/original/2020/04/06/228213_web.jpg

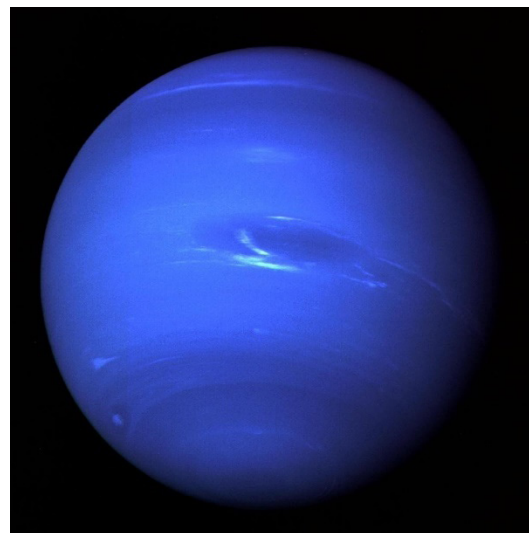
1. É o sétimo planeta do Sol e é o terceiro maior no sistema solar.
2. Foi descoberto por William Herschel em 1781.
3. Tem um diâmetro equatorial de 51.800 quilômetros (32.190 milhas) e orbita o Sol uma vez a cada 84,01 anos da terrestres.
4. Tem uma distância média do Sol de 2,87 bilhões quilômetros (1,78 bilhão de milhas).
5. A duração de um dia neste planeta é de 17 horas 14 minutos terrestres.
6. A sua atmosfera está composta de 83% hidrogênio, 15% hélio, 2% metano e quantias pequenas de acetileno e outros hidrocarbonetos.
7. Apresenta uma inclinação para o lado. Pensa-se que sua posição incomum é resultado de uma colisão com um corpo do tamanho de um planeta, no início da história do sistema solar.



Objeto 09

Seguem sete pistas, descubra de quem estamos falando.

Figura 52- Objeto 09



Fonte: <https://s2.glbimg.com/MQvAJodTp5Xi2G6buccmjgTERQ=/e.glbimg.com/og/ed/f/original/2019/03/28/neptune-thumbnail.jpg>

1. É o planeta mais externo dos gigantes de gás.
2. Tem um diâmetro equatorial de 49.500 quilômetros (30.760 milhas). Se fosse oco, poderia conter quase 60 Terras.
3. Orbita o Sol a cada 165 anos.
4. Tem oito luas, e seis das quais foram descobertas pela Voyager.
5. Neste planeta um dia tem 16 horas e 6,7 minutos.
6. Foi descoberto em 23 de setembro de 1846 por Johann Gottfried Galle, do Observatório de Berlim, e Louis d'Arrest, um

estudante de astronomia, através de predições matemáticas feitas por Urbain Jean Joseph Le Verrier.

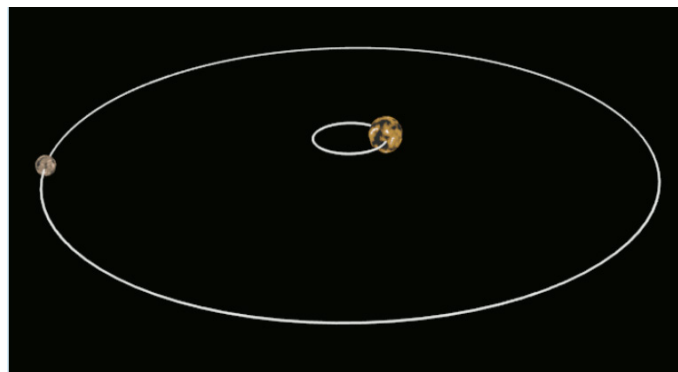
7. É um planeta dinâmico com várias manchas grandes e escuras, lembrando as tormentas, tipo furacões, de Júpiter.



Objeto 10

Seguem sete pistas, descubra de quem estamos falando.

Figura 53 – Objeto 10



Fonte: https://i0.wp.com/deviante.com.br/wp-content/uploads/2016/03/Pluto-Charon_System.gif

1. Foi descoberto em 18 de fevereiro de 1930.
2. Até o ano de 2006, a União Astronômica Internacional considerava como o nono planeta do sistema solar. Agora é classificado como um planeta anão.

3. Sua órbita é altamente inclinada -17 graus em relação ao plano orbital dos outros planetas.
4. Tem um satélite nomeado Caronte, da mitologia grega, que é o nome do barqueiro que operava a balsa pelo Rio Styx para o reino dos infernos.
5. Caronte foi descoberto em 1978. Sua composição de superfície parece ser diferente de seu planeta.
6. Caronte parece ser coberta com gelo-água, em lugar de gelo de metano. Sua órbita é gravitacionalmente presa a este planeta, de forma que ambos os corpos sempre mantêm o mesmo hemisfério em de frente ao outro.
7. Os períodos de rotação deste planeta e o período de orbital de Caronte são os mesmos.



*"A ausência da evidência não significa
evidência da ausência"*

Carl Sagan

Figura 54 - APOD, 25/05/2019. *Planet of the Tajinastes*



Fonte: Lopez (2019).

TEMA 04: À procura de vida fora da Terra

Atividades propostas para o tema 03	Valor	Carga Horária
Lição: À procura de vida fora da Terra	-	06:00
Atividade 9 - Desafio Astronômico	10,0	02:00
Atividade 10 - Existe Vida fora da Terra?	10,0	02:00
		Total de horas: 10 horas

INFORMAÇÕES DO ABC DA ASTRONOMIA: VIDA (TV ESCOLA)



A gente tem uma noção intuitiva do que é a vida. Mas como identificá-la no Universo? Será que ela só se manifesta por aqui? Será que ela pode ter características totalmente diferentes da nossa? As pesquisas por vida inteligente vão chegar a algum resultado? Neste programa do ABC da Astronomia, nós viajamos por alguns dados conhecidos sobre este assunto e refletimos sobre essas perguntas que ainda não têm respostas.

Figura 51 – ABC da Astronomia: Vida



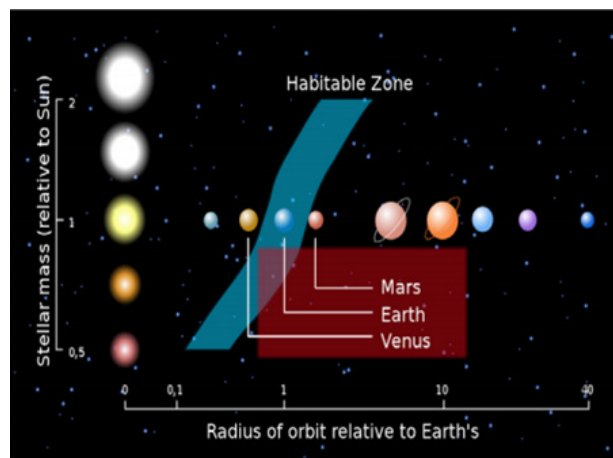
Fonte: ABC da Astronomia, TV Escola. Disponível em:
<https://plataformaintegrada.mec.gov.br/colecao-do-usuario/1533>



Atividade 9: Desafio Astronômico

Olá! Caros navegantes espaciais,

Figura 55 – Zona de Habitabilidade do Sistema Solar



Fonte: Saraiva (2010).

O desafio Astronômico é uma atividade interdisciplinar interessante, que te faz refletir sobre os conhecimentos construídos aqui no curso e fazer conexões com outras disciplinas do currículo escolar. Desse modo, é necessário fazer a leitura da lição *À procura de vida fora da Terra*. Em seguida, deverá ler atentamente as questões, analisar o que se pede e responder com base no conteúdo abordado no tópico *Leitura obrigatória* e seus conhecimentos prévios.

Orientações:

Após a leitura da Lição *À procura de vida fora da Terra*. O estudante deverá ler atentamente as questões, analisar o que se pede e responder com base no conteúdo abordado durante o módulo.

Atividade 9: Desafio Astronômico

(MPASTRO/2018) O astrônomo Frank Donald Drake (1930-) propôs em 1961 uma interessante equação que permite estimar o número (N) de civilizações existentes na nossa Galáxia:

$$N = fp.fv.fi.fc.Ft.Tt,$$

onde fp é a fração provável de estrelas que têm planetas (cujo valor máximo é igual a 0,4); fv a fração provável de planetas que abrigam a vida; fi a fração provável de planetas que abrigam a vida e desenvolveram formas de vida inteligente; fc a fração provável de planetas que abrigam vida inteligente e que desenvolveram civilizações tecnológicas com comunicação eletromagnética; Ft a taxa de formação de estrelas na Galáxia; e Tt o tempo provável de duração de uma civilização que desenvolveu tecnologia. Destas seis variáveis, podemos dizer que apenas Ft é razoavelmente bem conhecida.

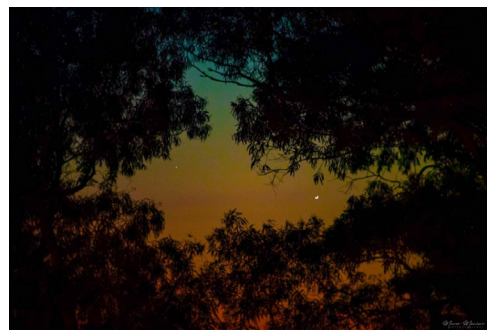
Fazendo um cálculo muito otimista, qual será o valor provável de N (nº de civilizações) admitindo na equação acima que $fv.fi.fc = 1$, $Ft = 3/\text{ano}$ e Tt igual a 100 anos (1 século)?



Atividade 10: Existe Vida fora da Terra?

Olá! Caros navegantes espaciais,

Figura 56 – APOD, 29/05/2020. *Mercury Meets Crescent Venus*



Fonte: Meniero (2020).

- Estamos chegando ao final da nossa viagem pelo universo da Astro-
- nomia, e como última atividade propomos um debate sobre a exis-
- tência de vida extraterreste. Sugerimos que antes de participar, você
- assista atentamente ao vídeo *ABC da Astronomia: Vida* e leia os textos
- do *hiperlink* da leitura obrigatória para fundamentar a sua opinião.
- No início do primeiro texto *A Origem da Vida e Vida Extraterreste*
- (2000), surge o primeiro questionamento:
- Somos nós as únicas criaturas no Universo que pensam sobre sua
- origem e evolução, ou existiriam outras formas de vida inteligente
- entre as estrelas?
- E em seguida, continua nos perguntando:
- Qual é a origem da vida? O que diferencia seres vivos de simples
- matéria orgânica?
- O que diferencia seres vivos de não vivos?
- Com base em suas leituras nos responda e comente a opinião de,
- no mínimo, dois colegas.
- E, então, vamos ao debate?
- Desejo uma excelente discussão!

“Seja qual for o rumo que tomarmos, nosso destino está indissolúvelmente ligado à ciência”

Carl Sagan

Figura 57 – APOD, 15/08/2016. *Human as Spaceship*



Fonte: Tsevis (2016).

CONCLUSÃO

Atividades propostas para conclusão do curso	Valor	Carga Horária
Avaliação do curso	-	-
Avaliação da participação no curso	-	-
Certificado	-	-



AVALIAÇÃO DA PARTICIPAÇÃO NO CURSO

Olá! Caros navegantes espaciais,

- Parabéns pela sua aprovação no curso.
- Este é o momento de avaliar o curso e seu aprendizado.
- Gostaria de contar com sua participação.
- Tenha certeza que suas respostas servirão exclusivamente para o Trabalho de Conclusão de Curso e qualquer divulgação será realizada de forma anônima.
- O questionário é bem rápido e fácil de responder.

QUESTIONÁRIO DA PARTICIPAÇÃO NO CURSO

Endereço de *e-mail*: _____

Nome: _____

1. Quais os motivos que te levaram a fazer a inscrição no curso?
2. Você conseguiu atingir os objetivos que te levaram a fazer a inscrição no curso? (Justifique)

3. Descreva os aspectos mais positivos do curso: (Justifique)

4. Descreva os aspectos mais negativos do curso: (Justifique)

5. Quais foram as maiores dificuldades durante a realização do curso?

Sugestões:



AVALIAÇÃO DO CURSO

Olá! Caros navegantes espaciais,

- Caro discente, parabéns pela sua aprovação no curso. Este é o momento de avaliar o curso e seu aprendizado.
- Gostaria de contar com sua participação.
- Tenha certeza que suas respostas servirão exclusivamente para o Trabalho de Conclusão de Curso e qualquer divulgação será realizada de forma anônima.
- O questionário é bem rápido e fácil de responder.
- 1º Passo: navegar pela página do curso (<http://jastro.com.br/>), agora com um olhar de avaliador com seu usuário e senha.
- 2º Passo: ler o documento abaixo para ter maior informações sobre os critérios avaliativos.
- Link: https://drive.google.com/open?id=1hnZ07kPOTPgnIUit4NIOb_gUmJBma_Ot
- (Quaisquer dúvidas, entrar em contato com o professor orientador).
- 3º Passo: responder ao questionário é bem rápido e fácil de responder.
- Link: <https://forms.gle/UtudeTmn7m6SfAez8>
- Desde já agradecemos sua contribuição.

QUESTIONÁRIO

1. Quanto à qualidade:

- a) Péssimo
- b) Ruim
- c) Regular
- d) Bom
- e) Ótimo

2. Quanto à coerência:

- a) Péssimo
- b) Ruim
- c) Regular
- d) Bom
- e) Ótimo

3. Quanto à motivação:

- a) Péssimo
- b) Ruim
- c) Regular
- d) Bom
- e) Ótimo

4. Quanto à interface organizacional:

- a) Péssimo
- b) Ruim
- c) Regular

- d) Bom
- e) Ótimo

5. Quanto à usabilidade:

- a) Péssimo
- b) Ruim
- c) Regular
- d) Bom
- e) Ótimo

6. Quanto à adequação epistemológica e adequação histórica:

- a) Péssimo
- b) Ruim
- c) Regular
- d) Bom
- e) Ótimo

7. Quanto à adequação didática e pedagógica:

- a) Péssimo
- b) Ruim
- c) Regular
- d) Bom
- e) Ótimo

8. Quanto à adequação semiótica (ou linguística):

- a) Péssimo
- b) Ruim
- c) Regular
- d) Bom
- e) Ótimo

9. Quanto à adequação conceitual e adequação contextual:

- a) Péssimo
- b) Ruim
- c) Regular
- d) Bom
- e) Ótimo

10. Quanto à adequação curricular:

- a) Péssimo
- b) Ruim
- c) Regular
- d) Bom
- e) Ótimo

CERTIFICADO

Figura 58 – Modelo do certificado

CÓDIGO / SEC	ATO DE CRIAÇÃO	DIÁRIO ORIGINAL	ATO DE AUTORIZAÇÃO / RECONHECIMENTO	DIÁRIO ORIGINAL
	4.468	21/06/72	Resolução C.E.E. 026/97 Parecer C.E.E. 052/97	11/07/97
ENDEREÇO		Rua Joaquim Santana Lima, 101, Centro, Euclides da Cunha, Bahia.		
ENTIDADES MANTENEDORAS		Pref. Municipal de E. da Cunha e Secretaria da Educação e Cultura do Estado da Bahia		

CERTIFICADO DE PARTICIPAÇÃO EM CURSO

Certifico, para os devidos fins que _____
 Concluiu com aprovação o curso “ Observando o Céu : Uma Introdução à Astronomia “ promovido no contexto do
 Novo Ensino Médio, com carga horária de 40 horas.

Euclides da Cunha, 10 de junho de 2020

<p>_____ Oniram Soares do Nascimento DIRETOR Port. 3971/2016 D.O.E. 21/04/2016</p>	<p>_____ José Augusto Reis Campos dos Santos Vice –Diretor Port. 8060/2012</p>
---	--

Fonte: elaborado pelo autor (2020).

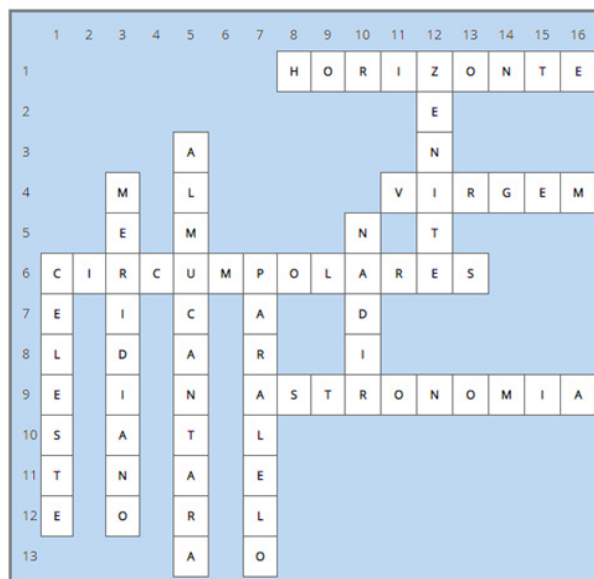
GABARITOS DAS ATIVIDADES:



Olá! Caros navegantes espaciais,

Segue o gabarito:

Atividade 1: Cruzadinha





Olá! Caros navegantes espaciais,

Segue o gabarito:

Atividade 2: Questionário

Questão	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
Resposta	A	D	B	A	E	E	E	C	B	B



Olá! Caros navegantes espaciais,

Segue o gabarito:

Atividade 3: Glossário

Para aprovação nesta atividade, o aluno deverá listar dois termos da Astronomia que não constam no glossário, bem como inserir o significado dos conceitos.



Olá! Caros navegantes espaciais,

Segue o gabarito:

Atividade 4: Desafio Astronômico

Questão 1

Equinócio de outono no Hemisfério Sul: (20/03).

Solstício de verão no Hemisfério Norte: (21/06).

Início do verão no Hemisfério Sul: (21/12).

Início do verão no Hemisfério Norte: (21/06).

Início do outono no Hemisfério Sul: (20/03).

Início da primavera no Hemisfério Sul: (23/09).

Sol a pino no Trópico de Câncer: (21/06).

Sol sobre a intersecção da eclíptica com o Equador Celeste indo do Hemisfério Sul para o Norte: (20/03).

Início do inverno no Hemisfério Sul: (21/06).

Sol a pino no Trópico de Capricórnio: (21/12).

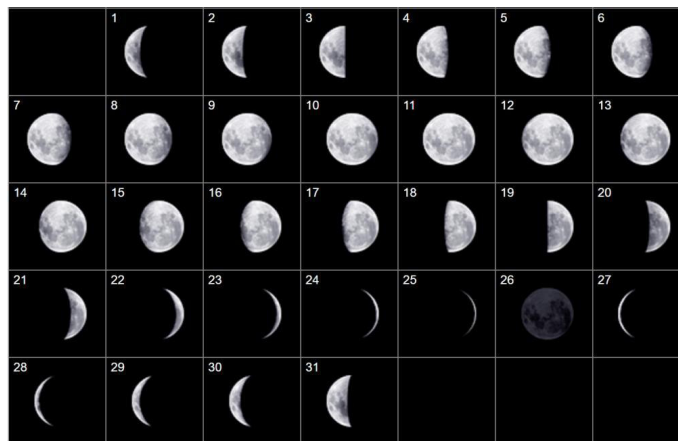
Questão	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
Resposta	X	D	C	B	C	B	B	A	12	Verão



Olá! Caros navegantes espaciais,

Segue o gabarito:

Atividade 5: Desafio Astronômico



Questão	01	02	03	04
Resposta	3	19	10	25



Olá! Caros navegantes espaciais,

Segue o gabarito:

Atividade 7: Desafio Astronômico

Questão 01

SATURNO: 25 de agosto de 1981.

NETUNO: 25 de agosto de 1989.

TERRA: 20 de agosto de 1977.

JÚPITER: 09 de julho de 1979.

URANO: 24 de janeiro de 1986.

Questão 02

8 anos.

Questão 03

70.000 segundos.



Olá! Caros navegantes espaciais,

Segue o gabarito:

Atividade 8: Descubra de quem estamos falando

Questão	01	02	03	04	05
Resposta	Sol	Mercúrio	Vênus	Terra	Marte
Questão	06	07	08	09	10
Resposta	Júpiter	Saturno	Urano	Netuno	Plutão



Olá! Caros navegantes espaciais,

Segue o gabarito:

Atividade 9: Desafio Astronômico

Resposta: 120 Civilizações.



Olá! Caros navegantes espaciais,

Segue o gabarito:

Atividade 10: Existe Vida fora da Terra?

O estudante deverá responder as questões iniciais propostas de maneira clara, concisa e fundamentada, bem como interagir com, no mínimo, dois colegas.

REFERÊNCIAS

AMARAL, Marina. Glossário de história. **A história resumida**, 01 fev. 2015. Disponível em: <https://ahistoriaresumida.wordpress.com/2015/02/01/glossario-de-historia/>. Acesso em: 20 abr. 2020.

BOCZKO, Roberto. **Conceitos de Astronomia**. Edgard Blücher, 1984.

BRASIL. **Lei nº 13.415, de 16 de fevereiro de 2017**. Altera as Leis n.º 9.394, de 20 de dezembro de 1996, que estabelece as diretrizes e bases da educação nacional, e 11.494, de 20 de junho 2007, que regulamenta o Fundo de Manutenção e Desenvolvimento da Educação Básica e de Valorização dos Profissionais da Educação, a Consolidação das Leis do Trabalho - CLT, aprovada pelo Decreto-Lei nº 5.452, de 1º de maio de 1943, e o Decreto-Lei nº 236, de 28 de fevereiro de 1967; revoga a Lei nº 11.161, de 5 de agosto de 2005; e institui a Política de Fomento à Implementação de Escolas de Ensino Médio em Tempo Integral. Brasília: Presidência da República, 2017.

BRASIL. **Parâmetros Curriculares Nacionais: 3º e 4º ciclos do Ensino Fundamental – Ciências Naturais**. Brasília: MEC/SEMTEC, 1998.

BRASIL. Ministério da Educação, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais: ensino médio**. Brasília: Ministério da Educação, Secretaria de Educação Média e Tecnológica, Ministério da Educação, 1999. 364 p.

BRASIL. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais: ciências naturais (5ª a 8ª séries)**. Brasília: MEC/SEF, 1998.

BRASIL. **PCN+:** Ensino médio: orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais: Ciências da Natureza, Matemática e suas tecnologias. Brasília: MEC, SEMTEC, 2002. 144 p.

CASSINI IMAGING TEAM; SSI; JPL; NASA. Moons of Saturn. **Astronomy Picture of the Day**, 17 out. 2019. Disponível em: <https://apod.nasa.gov/apod/ap191017.html>. Acesso em: 10 abr. 2020.

CONSTELAÇÕES do Zodíaco: astronomia, mito e astrologia. **Hipercultura**, c2017 - 2024. Disponível em: <https://www.hipercultura.com/constelacoes-do-zodiaco/>. Acesso em: 18 abr. 2020.

DAMINELI, Augusto; STEINER, João. **O Fascínio do universo**. São Paulo: Odysseus Editora, 2010.

DAVIRON, Maxime. A Desert Eclipse. **Astronomy Picture of the Day**, 01 out. 2023. Disponível em: <https://apod.nasa.gov/apod/ap231001.html>. Acesso em: 18 maio 2020.

DUBERSTEIN, Genna. A Mercury Transit Music Video from SDO. **Astronomy Picture of the Day**, 21 out. 2019. Disponível em: <https://apod.nasa.gov/apod/ap191021.html>. Acesso em: 18 maio 2020.

ECLIPSE solar. **Uol**, c2024. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/eclipse-solar.htm>. Acesso em: 18 maio 2020.

FAIRBAIRN, Carlos. Orion Rising over Brazil. **Astronomy Picture of the Day**, 30 set. 2019. Disponível em: <https://apod.nasa.gov/apod/ap190930.html>. Acesso em: 18 maio 2020.

FARIA, Romildo Póvoa. **Iniciação à Astronomia**. 1 ed. São Paulo: Ática, 2007.

FREEPIK. Constelação de virgem em uma bela noite estrelada. **Freepik**, c2014-2024. Disponível em: https://br.freepik.com/fotos-gratis/constelacao-de-virgem-em-uma-bela-noite-estrelada_5449878.htm.

GALILEO PROJECT; JPL; NASA. Jupiter's Europa from Spacecraft Galileo. **Astronomy Picture of the Day**, 27 set. 2016. Disponível em: <https://apod.nasa.gov/apod/ap160927.html>. Acesso em: 05 maio 2020.

HAMILTON, Calvin J. **Visões do Sistema Solar**. Roteiro educacional do sistema solar, 1996. Disponível em: <http://astro.if.ufrgs.br/solar/homepage.htm>. Acesso em: 15 abr. 2020.

HERVAS, Jose Antonio. Supermoon Total Lunar Eclipse and Lightning Storm. **Astronomy Picture of the Day**, 29 set. 2015. Disponível em: <https://apod.nasa.gov/apod/ap150929.html>. Acesso em: 02 maio 2020.

HUERTA, Jheison. Night Sky Reflections from the World's Largest Mirror. **Astronomy Picture of the Day**, 22 out. 2019. Disponível em: <https://apod.nasa.gov/apod/ap191022.html>. Acesso em: 08 maio 2020.

LEGAUL, Thierry. A Total Solar Eclipse Reflected. **Astronomy Picture of the Day**, 05 ago. 2019. Disponível em: <https://apod.nasa.gov/apod/ap190805.html>. Acesso em: 25 maio 2020.

LOPEZ, Daniel. Planet of the Tajinastes. **Astronomy Picture of the Day**, 25 maio 2019. Disponível em: <https://apod.nasa.gov/apod/ap190525.html>. Acesso em: 25 maio 2020.

MENIERO, Marco. Mercury Meets Crescent Venus. **Astronomy Picture of the Day**, 09 maio 2020. Disponível em: <https://apod.nasa.gov/apod/ap200529.html>. Acesso em: 25 maio 2020.

NASA; NEMIROFF, Robert; BONNELL, Jerry. **Astronomy Picture of the Day Archive - APOD**. Nasa, USA. Disponível em: <https://apod.nasa.gov/apod/archivepix.html>. Acesso em: mar, abr. e maio 2020.

NOGUEIRA, Salvador; CANALLE, João Batista Garcia. **Astronomia**: ensino fundamental e médio. Brasília: MEC, SEB; MCT; AEB, 2009. v. 11.

OLIVEIRA FILHO, Kepler de Souza; SARAIVA, Maria de Fátima Oliveira. **Astronomia e Astrofísica**. 4 ed. São Paulo: Ed. Livraria da Física, 2017.

OLIVEIRA FILHO, Kepler de Souza; SARAIVA, Maria de Fátima Oliveira. **Astronomia e Astrofísica**. Disponível em: <http://astro.if.ufrgs.br/#gsc.tab=0>. Acesso em: 25 mar. 2020.

OBA, **Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica**. UERJ, Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.oba.org.br/site/>. Acesso em: 18 mar. 2020.

PICAZZIO, Enos. **O céu que nos envolve**: introdução à astronomia para educadores e iniciantes. São Paulo: IAG USP, 2009.

SAGAN, Carl. **Cosmos**. São Paulo: Companhia das Letras, 2017.

SAGAN, Carl. **O mundo assombrado pelos demônios**: a ciência vista como uma vela no escuro. Tradução de Rosaura Eichenberg. São Paulo: Companhia das Letras, 2006.

SANTOS, Jailson Alves dos. **Objetos Educacionais Digitais**: critérios de avaliação para uso no ensino e na aprendizagem de Química. 2016. Tese (Doutorado em Ensino, Filosofia e História das Ciências) – Instituto de Física, Universidade Federal da Bahia, 2016.

SARAIVA, Maria de Fátima O. Procura de vida fora da Terra. **If.ufrgs**, 2010. Disponível em: http://www.if.ufrgs.br/fis02001/aulas/vida_ET/vet.htm. Acesso em: 25 mar. 2020.

SAUNDERS, Andy. Apollo 17's Moonship. **Astronomy Picture of the Day**, 19 dec. 2019. Disponível em: <https://apod.nasa.gov/apod/ap191219.html>. Acesso em: 30 mar. 2020.

SPAN, Norbert. Shadowed Moon and Mountain. **Astronomy Picture of the Day**, 18 jul. 2019. Disponível em: <https://apod.nasa.gov/apod/ap190718.html>. Acesso em: 29 mar. 2020.

TREVISAN, Rute Helena. Astronomia no dia-a-dia. **Ciência Hoje das crianças**, Rio de Janeiro, ano 22, nº 203, jul. 2009, p. 7-8.

TUMINO, Gianni. Stars Trail over Ragusa. **Astronomy Picture of the Day**, 28 mar. 2020. Disponível em: <https://apod.nasa.gov/apod/ap200328.html>. Acesso em: 15 maio 2020.

TV ESCOLA. **Série ABC da Astronomia**. Disponível em: <https://plataformaintegrada.mec.gov.br/colecao-do-usuario/1533>. Acesso em: 13 fev. 2020.

SOBRE OS AUTORES

Antônio Delson Conceição de Jesus

Bacharel em Física pela Universidade Federal da Bahia, Mestre em Física pela Universidade Federal de Pernambuco e Doutor em Mecânica Espacial e Controle pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Pós-doutor em Detritos Espaciais pelo *Istituto di Scienza e Tecnologie dell'Informazione A. Faedo*, de Pisa, Itália. Professor da UEFS.

E-mail: aldj@uefs.br

Carlos Alberto de Lima Ribeiro

Bacharel, Mestre e Doutor em Física pela Universidade Federal de Pernambuco. Atualmente é Professor Titular, Coordenador e Docente Permanente do Programa de Pós-graduação em Astronomia – Mestrado Profissional da UEFS.

E-mail: calr@uefs.br

Cledston Mario de Santana Lima

Licenciado em Física pela Universidade Estadual de Feira de Santana. Mestre em Ensino de Astronomia pela mesma universidade. Professor da rede estadual de ensino da Bahia, também atuou como Professor Supervisor do PIBID de Física, foi professor universitário no Centro Universitário UniFTC.

E-mail: cledinhos@gmail.com

Irineu Santos

Licenciado em Física e Mestre em Ensino de Astronomia pela Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS).

E-mail: rasirineuoduduwa@gmail.com

José Augusto Reis Campos dos Santos

Fez em Matemática pelo Centro de Ensino Superior do Vale do São Francisco. Especialista em Psicopedagogia Clínica e Institucional pela Faculdade de Ciências da Bahia. Especialista em Educação Matemática com Novas Tecnologias pela Faculdade de Ciências e Tecnologias. Especialista em Educação à Distância pela Universidade do Estado da Bahia. Atua como professor de Matemática na Faculdade do Sertão Baiano, Tutor no Curso de Licenciatura em Química na UAB/UNEB e Professor na Educação Básica na rede Estadual da Bahia.

E-mail: augustoreicampos@hotmail.com

Marildo Geraldête Pereira

Bacharel em Física pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Mestre em Astrofísica pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais e Doutor em Astrofísica pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, com Pós-Doutorado no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Professor Titular da Universidade Estadual de Feira de Santana, atua junto ao Observatório Astronômico Antares onde coordena o Projeto Itinerante de Popularização de Ciências. Docente Permanente do Programa de Pós-graduação em Astronomia da UEFS.

E-mail: mgpereira@uefs.br

Nazareno Getter Ferreira de Medeiros

Bacharel em Física pela Universidade Federal do Maranhão, mestre em Física pela Universidade Federal de Pernambuco, e doutor em Física pela Universidade de São Paulo. É Professor Adjunto e Docente Colaborador do Programa de Pós-graduação em Astronomia – Mestrado Profissional da UEFS.

E-mail: ngfm@uefs.br

Paulo César da Rocha Poppe

Graduado em Física pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Mestre em Astronomia pela Universidade de São Paulo e Doutor em Astronomia pela Universidade de São Paulo. Atualmente é Professor Titular da Universidade Estadual de Feira de Santana. Atuou como Diretor do Observatório Astronômico Antares/Museu Antares de Ciência e Tecnologia. É professor permanente e vice-coordenador no Programa de Pós-graduação em Astronomia – Mestrado Profissional da UEFS.

E-mail: paulopope@uefs.br

Vera Aparecida Fernandes Martin

Bacharel em Física pela Universidade de São Paulo, Mestre e Doutora em Astronomia pela Universidade de São Paulo. Atualmente é Professora Titular e Docente Permanente do Programa de Pós-graduação em Astronomia – Mestrado Profissional da UEFS.

E-mail: vmartin@uefs.br

ÍNDICE REMISSIVO

A

afélio 192, 320
 agências espaciais 225, 228, 243, 279
 aglomerados globulares 164, 165
 albedo 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 222, 287, 288, 347
 Albert Einstein 39, 119, 120, 121, 122, 161
 amanhecer 190
 anoitecer 190
 anos luz 165
 Apolo 254, 256, 257, 258, 305
 asteroides 11, 96, 148, 169, 177, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 218, 221, 222, 223, 224, 225, 226, 227, 228, 231, 236, 262, 287, 321, 333, 335, 338
 Astrofísica 39, 78, 101, 118, 133, 137, 148, 150, 244, 306, 338, 342, 344, 460
 Astronomia 10, 12, 13, 14, 15, 17, 19, 20, 25, 26, 30, 33, 56, 78, 96, 122, 123, 124, 127, 128, 131, 133, 135, 137, 138, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 172, 188, 208, 220, 226, 227, 229, 244, 266, 268, 273, 281, 306, 307, 308, 314, 315, 316, 318, 319, 320, 330, 334, 336, 337, 338, 339, 341, 342, 344, 345, 346, 349, 353, 354, 356, 357, 359, 361, 362, 363, 364, 366, 367, 368, 369, 370, 371, 372, 373, 374, 376, 377, 383, 384, 385, 386, 388, 389, 390, 391, 406, 407, 408, 409, 410, 411, 412, 436, 439, 449, 455, 456, 457, 458, 459, 460
 astrônomos 9, 21, 25, 26, 38, 73, 80, 94, 96, 118, 123, 125, 151, 155, 157, 158, 159, 171, 174, 186, 188, 191, 212, 214, 218, 219, 220, 221, 222, 237, 238, 244, 316, 322, 423, 426
 astros 12, 24, 28, 29, 34, 38, 39, 80, 96, 123, 151, 152, 166, 190, 191, 196, 244, 306, 307, 308, 313, 317, 321, 363, 375, 379
 atmosfera 65, 96, 103, 165, 173, 177, 199, 209, 210, 211, 226, 227, 228, 231, 234, 235, 245, 263, 264, 281, 282, 286, 287, 288, 321, 323, 329, 399, 410, 421, 422, 423, 425, 428, 429, 431
 átomos 41, 51, 70, 71, 86, 91, 107, 130, 173, 428

B

Big Bang 10, 56, 73, 82, 84, 154, 155, 156, 160, 369
 braços espirais 161, 162

C

campo magnético 99, 175, 198, 199, 200, 248, 263, 329, 400, 409, 425
 Carl Sagan 155, 156, 355, 361, 383, 405, 435, 440
 Caronte 186, 201, 434
 carvão 35, 65
 CCD 20, 126, 127
 centro de massa 186, 201, 209, 291, 318
 Cérbero 186
 Ceres 11, 185, 187, 202, 212, 218, 219, 220, 221, 284, 333
 cinturão de asteroides 212, 215
 Cinturão de Kuiper 212, 213
 Cinturão Principal de Asteroides 212, 214, 215, 221
 Cinturão Van Allen 175, 248, 263
 Classificação Espectral de Harvard 112, 113, 117
 cometas 157, 158, 166, 210, 212, 213, 224, 227, 236, 237, 238, 239, 262, 333, 343
 constante de Planck 107, 121, 122
 constelações 13, 123, 158, 366, 367, 368, 379, 401, 402
 Coroa 173
 corpo celeste 158, 186, 202, 203, 205, 216, 220, 222, 253, 254, 307, 345, 346
 cromosfera 173
 Cruzeiro do Sul 13, 251, 368, 369
D
 dia civil 191, 192
 dia lunar 204, 205
 disco protoplanetário 168, 214
 Dispositivo de Carga Acoplada 126, 127
 distância do Sol 176, 307, 308, 327

E

eclipse 23, 39, 205, 206, 267, 341, 390, 394, 396, 456
 Efeito Doppler-Fizeau 102
 efeito estufa 174, 178, 282
 eletromagnetismo 55
 elétrons 42, 43, 45, 46, 48, 53, 55, 56, 58, 70, 84, 92, 94, 104, 119, 121, 200, 428
 eclipse 54, 192, 246, 282, 283
 energia 8, 9, 19, 22, 34, 36, 37, 38, 39, 40, 48, 49, 50, 51, 57, 59, 61, 65, 66, 67, 70, 71, 72, 73, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 84, 86, 87, 91, 92, 94, 96, 100, 104, 107, 108, 118, 119, 120, 121, 130, 133, 163, 171, 174, 199, 208, 225, 228, 229, 235, 241, 242, 260, 263, 266, 273, 285, 287, 299, 300, 301, 302, 303, 323, 370, 408
 equador celeste 191, 193, 196, 375, 401, 402
 equinócio de outono 193
 equinócio de primavera 193
 espaço 46, 54, 55, 80, 91, 92, 96, 97, 142, 143, 153, 156, 160, 163, 178, 188, 200, 201, 209, 210, 212, 214, 216, 232, 242, 243, 244, 245, 246, 247, 249, 250, 251, 252, 253, 259, 260, 263, 271, 272, 273, 274, 275, 277, 278, 279, 280, 286, 287, 288, 296, 298, 299, 300, 301, 302, 320, 321, 347, 356, 359, 362, 371, 374, 400, 407
 estações do ano 192, 195, 196, 397, 398
 Estados Unidos 50, 73, 75, 111, 113, 114, 139, 142, 246, 248
 Estige 186
 estrela d'alva 179
 estrelas 8, 9, 13, 19, 21, 22, 24, 26, 27, 28, 29, 31, 34, 38, 39, 40, 51, 72, 73, 74, 75, 79, 80, 81, 86, 88, 89, 91, 94, 95, 96, 97, 101, 102, 107, 109, 110, 111, 113, 114, 116, 117, 118, 128, 133, 151, 153, 156, 157, 158, 159, 160, 162, 164, 165, 166, 167, 171, 172, 188, 189, 190, 191, 204, 220, 244, 284, 285, 286, 287, 306, 321, 322, 323, 333, 338, 340, 354, 366, 367, 368, 369, 370, 375, 377, 378, 380, 381, 382, 383, 405, 410, 425, 438, 439
 exoplanetas 188, 189, 190
 expansão 84, 85, 155, 160, 364, 401, 402
 explosão 10, 92, 111, 153, 154, 188, 210, 211, 221, 235, 249, 323
F
 física moderna 8, 16
 física nuclear 8, 40, 51

física quântica 99, 120
 fissão nuclear 67, 68, 69, 70, 116, 134
 foguetes 245, 246, 269, 272, 273, 302, 303, 317
 forças gravitacionais 206, 288, 400
 fótons 57, 104, 121
 fotosfera 82, 173, 174, 420
 fusão nuclear 8, 62, 70, 71, 74, 77, 80, 86, 96

G

Galáxia 10, 157, 158, 159, 322, 337, 438
 Galileu Galilei 31, 152, 174, 201
 gases 37, 61, 102, 167, 168, 177, 210, 220, 227, 282, 302, 303, 304, 409
 gigante vermelha 90, 175
 glúons 56
 GPS 243, 260, 265
 gravidade 12, 32, 33, 50, 55, 85, 90, 171, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 186, 216, 217, 235, 252, 264, 288, 294, 296, 300, 310, 311, 312, 388, 400
 grávitons 56
 Guerra Fria 242, 246, 260

H

Halley 239, 240, 322, 333
 hélio 44, 58, 71, 74, 78, 79, 82, 83, 84, 86, 89, 90, 91, 104, 113, 114, 117, 168, 169, 171, 174, 220, 322, 429, 431
 heliocentrismo 13, 364
 hemisfério norte 192, 193, 194, 196, 204
 hemisfério sul 191, 193, 194, 196, 204, 229, 402
 Hidra 186
 hidrogênio 35, 50, 51, 54, 61, 71, 72, 74, 78, 79, 82, 83, 85, 86, 87, 89, 90, 91, 104, 111, 113, 114, 117, 168, 169, 171, 172, 174, 175, 200, 220, 230, 322, 428, 429, 431
 hipótese nebular 167, 168, 170

I

inclinação do eixo 192, 197, 320, 398
 instrumentos espaciais 188, 244
 inverno 192, 195, 394, 397, 415, 450
 ionosfera 199, 200
 íons pesados 65
 Isaac Newton 32, 33, 34, 36, 55, 56, 97, 123, 300, 301

J

jovianos 169, 177, 287

Júpiter 31, 153, 177, 181, 182, 189, 201, 202, 212, 214, 215, 216, 218, 219, 220, 221, 222, 284, 322, 330, 331, 409, 410, 417, 433, 453

L

limite de Roche 208, 294, 295, 296

Lise Meitner 21, 67, 68, 116, 132

Lord Kelvin 36, 37, 108

Lua 13, 24, 31, 94, 124, 125, 138, 140, 153, 176, 197, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 216, 229, 242, 245, 246, 249, 250, 251, 252, 254, 255, 256, 257, 258, 259, 273, 276, 278, 279, 284, 288, 292, 293, 305, 307, 308, 309, 310, 322, 328, 329, 334, 338, 339, 354, 367, 377, 378, 384, 388, 389, 394, 395, 396, 400, 404, 406

Lunik 250, 251, 341

luz 9, 12, 19, 24, 31, 33, 34, 49, 58, 65, 71, 79, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 104, 105, 119, 120, 121, 122, 125, 126, 127, 129, 154, 159, 161, 164, 165, 171, 172, 173, 176, 188, 189, 202, 205, 206, 222, 226, 228, 238, 259, 285, 286, 287, 288, 305, 306, 318, 322, 389, 418

M

magnetobainha 199

magnetopausa 199, 200

magnetosfera 175, 198, 199, 200

manchas solares 153, 174

marés 10, 12, 206, 207, 208, 288, 295, 388, 400

Marie Curie 40, 51, 53

Marte 175, 177, 180, 181, 187, 202, 212, 218, 219, 220, 221, 222, 259, 276, 277, 278, 279, 284, 348, 415, 453

massas 53, 57, 89, 91, 171, 207, 209, 216, 217, 218, 227, 290, 293, 311

matéria escura 157, 160, 161, 163

Max Planck 107, 118

Mercúrio 12, 177, 178, 201, 202, 219, 281, 284, 415, 453

mês lunar 204

mês sideral 204

meteoritos 11, 82, 148, 210, 211, 223, 224, 226, 231, 232, 234, 258, 410

meteoroides 11, 148, 209, 211, 223, 224, 231, 321, 410

meteoros 410, 425

migração planetária 215

missão espacial 142, 243, 248, 274

modelo atômico de Bohr 104, 118

modelo heliocêntrico 27, 29

Modelo Padrão 56, 132

modelos atômicos 48, 107

N

NASA 140, 141, 142, 188, 225, 246, 257, 259, 274, 275, 277, 278, 337, 339, 341, 347, 455, 456, 457

nebulosa 87, 125, 158, 163, 167, 168, 169, 170, 220

Netuno 169, 177, 184, 185, 187, 202, 212, 220, 239, 284, 322, 417, 418, 453

nêutrons 53, 54, 55, 61, 63, 66, 67, 69, 92, 94, 95

Nicolau Copérnico 30, 152, 415

Niels Bohr 48, 50

Nix 186

nodos 197, 205

noite 13, 22, 156, 163, 196, 204, 210, 237, 366, 369, 370, 375, 398, 400, 401, 402, 407, 422, 456

núcleo atômico 40, 51, 61

nucleossíntese 83

nutação 10, 190, 191, 197

Nuvem de Oort 212, 213, 322

O

objetos celestes 25, 57, 80, 101, 138, 158, 354, 362, 374

Objetos Transnetunianos 187

obliquidade da elipse 192

ocaso 179, 191, 285, 321

oceanos 206, 288, 399, 423

ondas sísmicas 176

órbita 12, 49, 50, 51, 104, 140, 177, 186, 187, 192, 197, 203, 205, 209, 212, 216, 220, 223, 225, 236, 238, 239, 246, 247, 250, 251, 256, 260, 263, 264, 265, 266, 272, 274, 278, 284, 296, 298, 300, 301, 302, 305, 320, 324, 327, 328, 336, 342, 388, 400, 434

P

partículas 19, 40, 42, 44, 45, 46, 47, 52, 53, 55, 56, 57, 58, 59, 61, 62, 63, 65, 69, 70, 71, 77, 84, 92, 97, 120, 121, 130, 163, 170, 175, 198, 199, 200, 201, 206, 207,

- 248, 263, 282, 285, 286, 288, 289, 291, 292,
293, 294, 295, 306
- periélio 192, 320
- perturbação gravitacional 190
- planetas anões 166, 169, 177, 185, 187
- planetas gigantes 215
- planetesimais 168, 169, 170, 214, 215
- plasma 70, 71, 175, 199, 200, 322, 323
- Plutão 185, 186, 187, 201, 202, 213, 220, 275, 284, 341, 453
- polônio 51, 54
- polos 175, 196, 197, 200, 254, 264, 265, 310, 375, 429
- pontos de Lagrange 215, 216
- potássio 65, 66
- precessão 10, 190, 191, 192, 197, 198, 288, 320, 344
- Prêmio Nobel de Física 50, 52, 63, 74, 75, 84, 109, 120, 122, 126, 188
- pressão 86, 87, 90, 92, 103, 176, 282, 286, 423, 428
- pressão de radiação 87, 90
- pressão gravitacional 86, 87
- produção de energia 51, 73, 78, 80, 91, 107
- prótons 46, 53, 54, 55, 58, 61, 65, 74, 77, 78, 79, 82, 84,
92, 94, 174, 428
- protoplaneta 189
- Q**
- quantum 108, 109, 121
- R**
- radiação 38, 40, 43, 48, 51, 52, 57, 65, 73, 84, 87, 90, 103, 104, 105,
109, 118, 125, 131, 174, 175, 227, 248, 287, 425
- radiação cósmica 65, 73, 84
- radiação térmica 104, 118
- radiação ultravioleta 175
- rádio 51, 54, 65, 66, 94, 164, 226
- radioatividade 8, 38, 40, 51, 53, 65, 132
- radônio 66
- raios 24, 31, 40, 42, 44, 51, 52, 56, 59, 65, 137, 194, 195, 226, 308
- raios solares 31, 194, 195
- reações nucleares 60, 75, 86, 93
- reações termonucleares 174
- revolução 10, 19, 20, 32, 40, 107, 108, 109, 122, 123, 126, 128,
178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 190, 191, 192, 194,
241, 320, 334, 386
- rotação 10, 85, 139, 167, 168, 170, 171, 178, 179, 180, 181, 182,
183, 184, 190, 191, 192, 195, 197, 198, 205, 263,
288, 317, 319, 320, 321, 343, 398, 399, 400, 422,
425, 427, 429, 434
- Rutherford 40, 44, 45, 46, 47, 48, 50, 51, 57, 58, 61, 118, 130, 131
- S**
- satélite natural 10, 202, 203, 250, 388, 389
- satélites 11, 31, 148, 153, 186, 201, 202, 212, 216, 222, 251, 260, 261,
262, 263, 264, 265, 266, 269, 270, 272, 287, 288,
302, 312, 322, 327, 336, 338, 344, 347, 428
- satélites artificiais 11, 148, 216, 222, 260, 261, 263, 264,
287, 288, 302, 312
- Saturno 177, 182, 183, 201, 202, 214, 215, 219, 246, 284, 329,
347, 417, 418, 453
- Sistema Solar 153, 156, 166, 167, 168, 169, 171, 176, 177, 179, 180,
181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 190, 201, 203,
212, 213, 214, 218, 220, 223, 224, 237, 239, 284, 287,
307, 323, 329, 338, 354, 358, 385, 405, 408, 409,
413, 414, 415, 416, 437, 456
- Sociedade Astronômica Brasileira 115, 341
- Sociedade Brasileira de Física 115
- Sol 12, 21, 22, 23, 24, 26, 27, 28, 29, 31, 32, 34, 35, 37, 38, 39, 40,
72, 74, 77, 78, 79, 82, 88, 89, 90, 91, 94, 96, 97, 101,
102, 103, 104, 110, 112, 113, 126, 130, 137, 138, 149,
150, 152, 159, 164, 165, 166, 168, 169, 170, 171, 172,
173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 183,
184, 186, 188, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197,
198, 199, 200, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209,
212, 214, 215, 216, 217, 218, 219, 220, 222, 228, 237,
238, 239, 248, 262, 263, 267, 274, 275, 281, 284,
285, 286, 287, 288, 300, 305, 306, 307, 308, 309,
310, 316, 317, 318, 320, 321, 322, 324, 327, 328,
329, 332, 341, 344, 346, 354, 364, 367, 369, 370,
377, 378, 389, 393, 394, 395, 396, 398, 399, 400,
401, 402, 407, 408, 409, 414, 415, 425, 428, 429,
431, 432, 450, 453
- solstício 195
- solstício de inverno 195
- solstício de verão 195
- sonda 96, 139, 246, 249, 250, 251, 273, 274, 275, 276, 329, 330, 342
- Sputnik 242, 246, 247, 248, 249, 260, 336, 348, 353

supernova 91, 92, 94, 95

T

tecnologia espacial 153, 242, 243, 244, 246, 254, 259, 269, 270, 302, 318

telescópios 26, 98, 101, 137, 159, 222, 226, 237, 244, 327

telúricos 177

temperatura 19, 36, 37, 74, 76, 77, 84, 86, 88, 89, 90, 91, 92, 97, 104, 105, 106, 110, 167, 168, 170, 171, 172, 173, 174, 176, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 198, 210, 228, 234, 244, 274, 281, 282, 307, 308, 420, 422, 423

tempo sideral 191

tempo solar 191

Teoria da Gravitação Universal 33

Teoria da Relatividade Geral 114, 396

Teoria da Relatividade Restrita 120

Teoria Quântica 48, 80

Teoria Unificada 56

Termodinâmica 34, 35, 37, 109

Terra 10, 12, 19, 22, 24, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 33, 35, 36, 38, 72, 76, 78, 80, 81, 90, 91, 94, 95, 96, 104, 113, 118, 134, 140, 148, 149, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 165, 169, 171, 172, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 188, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 216, 217, 219, 223, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 236, 238, 239, 240, 245, 246, 247, 248, 249, 250, 251, 252, 254, 255, 256, 258, 259, 260, 262, 263, 264, 265, 278, 281, 282, 284, 286, 287, 288, 292, 293, 296, 297, 298, 299, 300, 301, 305, 306, 307, 308, 309, 310, 311, 312, 316, 317, 319, 320, 321, 322, 323, 324, 327, 328, 329, 332, 333, 339, 340, 341, 342, 344, 346, 354, 358, 363, 364, 369, 375, 377, 378, 384, 385, 386, 388, 389, 393, 394, 395, 396, 397, 398,

399, 400, 401, 402, 406, 408, 409, 410, 414, 415, 418, 423, 428, 435, 437, 439, 453, 454, 457

tração gravitacional 207

translação 191, 195, 204, 205, 296, 320, 328, 398, 399, 400

Trópico de Câncer 393, 450

Trópico de Capricórnio 394, 450

U

umbra 174, 206, 328

União Astronômica Internacional 185, 433

União Soviética 114, 252, 253

Universo 151, 152, 153, 154, 155, 156, 160, 166, 224, 226, 227, 244, 269, 334, 336, 339, 345, 347, 354, 357, 383, 384, 385, 392, 403, 406, 436, 439

Urano 177, 183, 184, 202, 219, 220, 284, 417, 453

URSS 246, 247, 248, 250, 252, 302

V

velocidade da luz 58, 71, 79, 98, 120, 202, 259, 305, 418

velocidade de escape 12, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 250, 298, 299, 300, 301

vento solar 82, 173, 175, 199, 200, 201, 238

Vênus 12, 170, 177, 178, 179, 200, 202, 219, 281, 282, 284, 287, 322, 415, 425, 453

verão 192, 193, 195, 393, 397, 415, 450

Very Large Telescope 189

vésper 179

Via Láctea 153, 159, 160, 163, 164, 165, 166, 171, 322, 336, 338, 340, 385, 407

VLT 189

Z

Zodiaco 366, 367, 368, 375, 379, 455

WWW.PIMENTACULTURAL.COM

**PRODUTOS
EDUCACIONAIS
DO MESTRADO
PROFISSIONAL
EM ASTRONOMIA**

PARADIDÁTICOS I