

Evandro Luis da Cunha

**DA ASTRONOMIA BÁSICA À ASTROFÍSICA:
UM CURSO PARA ENSINO MÉDIO**

Dissertação submetida ao Programa de
Mestrado Profissional em Ensino de
Física – MNPEF, da Universidade
Federal de Santa Catarina para a
obtenção do Grau de Mestre em Ensino
de Física

Orientador: Prof. Dr. Gerson Renzetti
Ouriques.

Florianópolis
2017

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

CUNHA, Evandro Luis da.

DA ASTRONOMIA BÁSICA À ASTROFÍSICA: um curso
para Ensino Médio / Evandro Luis da Cunha;
orientador, Gerson Renzetti Ouriques, 2017.
264 p.

Dissertação (mestrado profissional) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de
Ciências Físicas e Matemáticas, Programa de Pós-
Graduação em Ensino de Física, Florianópolis,
2017.

Inclui referências.

1. Ensino de Física. 2. Astrofísica básica. 3.
Ensino de Astronomia. 4. Roteiro para construção
de um telescópio. I. Ouriques, Gerson Renzetti .
II. Universidade Federal de Santa Catarina.
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física.
III. DA ASTRONOMIA BÁSICA À ASTROFÍSICA: um curso
para Ensino Médio.

Evandro Luis da Cunha

**DA ASTRONOMIA BÁSICA À ASTROFÍSICA:
UM CURSO PARA ENSINO MÉDIO**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de “Mestre em Ensino de Física”, e aprovada em sua forma final pelo Programa MNPEF – Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Polo Florianópolis, SC.

Florianópolis, 01 de agosto de 2017.

Prof. Oswaldo Ritter, Dr.
Coordenador do Curso

Prof. Gerson Renzetti Ouriques, Dr.
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Banca Examinadora:

Prof. Gerson R. Ouriques, Dr.
Presidente
Universidade Federal de Santa
Catarina - UFSC

Prof. Celso de Camargo B. Junior,
Dr.
Membro titular
Universidade Federal de Santa
Catarina - UFSC

Prof. Alexandre Magno S. Santos, Dr.
Membro titular
Universidade Federal de Santa
Catarina – UFSC

Prof. Daniel Iunes Raimann, Dr.
Membro Externo
Universidade do Estado de Santa
Catarina - UDESC

Este trabalho é dedicado à minha família, minha esposa Karine, meu filho Bruno, bem como a meus pais e irmãos.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a minha esposa Karine Engel da Cunha e ao meu filho Bruno Luiz da Cunha pela paciência e horas a fio em que não pude estar presente. Pelas dificuldades que enfrentamos juntos, por me esperarem após percorrer mais de 1500 km semanalmente.

Agradeço também aos meus colegas de classe da primeira turma de mestrado profissional em Ensino de Física da UFSC – Florianópolis pelo companheirismo e amizade, pelo auxílio na resolução de dúvidas e pelo grande tempo despendido em conversas e debates.

Um agradecimento também a todos os professores que se dispuseram a compartilhar de seus conhecimentos, e em especial ao meu orientador prof. Dr. Gerson Ouriques Renzetti, que dispôs seu tempo, cedeu o espelho para a construção do telescópio e ajudou com sua orientação para a realização do presente projeto.

Um agradecimento especial também aos professores da banca de defesa, professor Daniel Iunes Raimann, da UDESC, professores Alexandre Magno S. Santos e Celso de Camargo Barros Junior, da UFSC – Florianópolis pelas valorosas dicas que contribuíram para que eu pudesse melhorar ainda mais o trabalho.

Não poderia deixar de agradecer à UFSC, à SBF e à CAPES por oportunizar o MNPEF a muitos professores de Física do Brasil, propiciando uma educação cada vez melhor e com mais qualidade a todos os brasileiros.

“A ciência opera na fronteira entre conhecimento e ignorância. Não temos medo de admitir o que não sabemos. Não há vergonha nisso. A única vergonha é achar que temos todas as respostas. ”

(Neil deGrasse Tyson - 2014)

RESUMO

No presente trabalho analisa-se meios de fazer o resgate da Astronomia, para que a mesma seja inserida no conhecimento básico adquirido pelos alunos de Ensino Médio. Esse resgate ocorre através de um aporte teórico direcionado aos professores de Física e Ciências, os quais podem utilizar-se dos materiais produzidos. O primeiro, um livro-texto sobre Astronomia básica e Astrofísica, o segundo, um curso de Astronomia sob a forma de apresentação de slides e o terceiro, um roteiro para a construção de um telescópio newtoniano para realizar observações práticas. O presente projeto teve sua aplicação realizada para alunos de ensino médio e para alunos já egressos, no qual, antes e após a aplicação, foram coletados dados que permitiram uma análise da evolução dos conhecimentos por parte dos alunos participantes.

Palavras-chave: Astronomia. Curso. Telescópio.

ABSTRACT

This project analyzes methods of rescuing knowledge astronomy in high school students. This is carried out through a theoretical contribution addressed to teachers of Physics and Sciences, who can use the materials produced. The materials produced are a textbook on basic astronomy and astrophysics, the second, an astronomy course in the form of slides, and the third, a roadmap for the construction of a Newtonian telescope for practical observations. The present project was applied to high school students and others already graduated, in which, after application, data were collected that allowed an analysis of the evolution of knowledge by the participating students.

keywords: Astronomy. Telescope, course.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Questões aplicadas ao curso de Astronomia.	50
Tabela 2: Divisão da massa do Sistema Solar.....	114
Tabela 3: Principais dados dos planetas que compõe o Sistema Solar.....	118
Tabela 4: Diâmetros das dez maiores luas do Sistema Solar, em ordem decrecente de tamanho.	120
Tabela 5: Comparação de distâncias entre a lei de Titius-Bode e os valores reais para planetas do Sistema Solar.	139

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Constelação de Virgem, época de plantio. A linha vermelha na figura representa a eclíptica, ou seja, a linha que representa o plano do Sistema Solar.	74
Figura 2: Constelação de Órion: época de colheitas e preparações para o frio que estava por vir.	75
Figura 3: Stonehenge, Inglaterra.....	75
Figura 4: Ideia utilizada por Eratóstenes para calcular o raio da Terra.	77
Figura 5: Aristarco e a distância Terra-Sol.....	79
Figura 6: Sistema imaginado por Hiparco para calcular a distância entre a Terra e a Lua.	79
Figura 7: Relação entre tamanho angular e distância.....	80
Figura 8: Teoria do Geocentrismo – Componentes do sistema Ptolomaico.....	81
Figura 9: Trajetória aparente de um planeta utilizando como explicação o sistema geocêntrico Ptolomaico.....	82
Figura 10: Sistema heliocêntrico explicando o movimento retrógrado de Marte.	84
Figura 11: As fases de Vênus produzidas pelo Sistema Geocêntrico e pelo Sistema Heliocêntrico.	88
Figura 12: Paralaxe percebida pela troca de posição do dedo em relação aos objetos de fundo.....	93
Figura 13: Paralaxe estelar heliocêntrica – fora de escala.....	93
Figura 14: Redshift e blueshift em galáxias.	96
Figura 15: Velocidade de recessão das galáxias em função da distância em que se encontram de nós.....	97
Figura 16: Asteroide 2014 HQ124, observado por Radar.....	99
Figura 17: Diagrama período - luminosidade descoberto por Henrietta de uma cefeida analisada.	100
Figura 18: Diagrama de Hertzsprung-Russel ou diagrama HR.	101
Figura 19: Telescópio Subaru - 1999. Espelho de 8,3 m de diâmetro. Havaí - EUA.	102
Figura 20: Constelação de Cefeus. β Cefeus, uma cefeida e ζ Cefeus, um sistema binário. Essa constelação não é visível em grandes latitudes do hemisfério Sul.	103
Figura 21: Cefeidas no diagrama HR.....	104
Figura 22: Distâncias astronômicas e método de medição	105
Figura 23: Afélio e periélio em uma órbita elíptica. O Sol está em um dos focos (f_1 ou f_2).....	107
Figura 24: Lei das áreas. 2ª lei de Kepler.	107
Figura 25: Luas dos planetas do Sistema Solar.....	120
Figura 26: Fases de Vênus, registrada no observatório ESO no período de 27/02 a 08/06/2004.	125
Figura 27: Conjunção entre a Lua, com magnitude -7,5 e Vênus, com magnitude -3,4, na data 10/07/2013	125

Figura 28: Planeta Saturno, desenhado por Galileu Galilei, em a. 1610 e b. 1616.....	135
Figura 29: Partes de um cometa.....	144
Figura 30: Cometa Hale-Bopp visto sob Stonehenge	145
Figura 31: Mapeamento da radiação cósmica de fundo pelo satélite COBE em 1989	150
Figura 32: Diagrama HR	152
Figura 33: Classificação de Harvard.....	153
Figura 34: Nebulosas planetárias.....	156
Figura 35: Evolução estelar de acordo com a massa.	158
Figura 36: Aldebaran, estrela alfa de Touro	160
Figura 37: Galáxia NGC 2997. A Via-Láctea é parecida com ela.	165
Figura 38: Classificação de Hubble para as galáxias.	166
Figura 39: Plutão pela Sonda New Horizons e pelo Telescópio espacial Hubble.	173
Figura 40: Galáxia M100 antes e depois da optica corretiva instalada no telescópio espacial Hubble	175
Figura 41: Esquema típico de uma montagem dobsoniana.....	180
Figura 42: Montagem dobsoniana com o telescópio já inserido, pronto para a observação.	181
Figura 43: Montagem equatorial	182
Figura 44: Componentes do telescópio newtoniano	189
Figura 45a: Focalizador, visto na sua parte de trás, cujo diâmetro é de 60 mm. Ele encaixa perfeitamente na figura 46a. 45b. Quadrado recortado no tubo de alumínio que constituirá o corpo do telescópio.	191
Figura 46a: Parte do tubo de PVC que serve para tampar o quadrado que fizemos no tubo de alumínio. 3b. Focalizador encaixado para teste. Os furos nos cantos são para fixar com parafusos no tubo de alumínio.	191
Figura 47: Aranha depois de construída.	192
Figura 48. Disco recortado, com furos de 3 mm (item de número 2 na figura) e 120° entre si, para instalar os parafusos de ajuste do espelho secundário e furos com defasagem de 60° em relação aos da face plana (item de número 1 na figura), onde vamos prender as “pernas da aranha”, que sustentam o espelho secundário ao tubo.	193
Figura 49: Espelho secundário colado no triângulo retângulo.....	193
Figura 50: Rebaixo no disco, para encaixar a arruela de 30 mm.	194
Figura 51: Arruela encaixada no disco.	194
Figura 52: Disco com a porca colada.....	195
Figura 53: Barra M8 e o triângulo que contém o espelho, colado no disco.	195
Figura 54: Conjunto pronto para ser acoplado ao suporte "aranha"	195
Figura 55: Antes de acoplar as peças para ajuste do espelho secundário.....	196
Figura 56: Após acoplar as peças de ajuste do espelho secundário.	197
Figura 57: Sistema aranha para ajuste do espelho secundário, já pronto.	197
Figura 58: Pernas da aranha, feitos com a barra roscada M8 com 12 cm de comprimento e com as porcas e arruelas já acopladas.	198

Figura 59: Espelho secundário no vértice cujo ângulo é 90° .	198
Figura 60: Espelho secundário no vértice do ângulo de 90° , formado entre o observador e o espelho primário.	199
Figura 61: Fixando a aranha.	199
Figura 62: Aranha já fixa ao tubo do telescópio.	200
Figura 63: Disco 1 colado no espelho. Repare que o disco 1 é maior que o disco 2 (embaixo).	200
Figura 64: Marcação do ponto central do espelho primário (indicada pela seta). Confira essas medidas com a maior precisão possível.	201
Figura 65: Sistema de ajuste fino do espelho primário.	201
Figura 66: Porcas borboletas acopladas aos parafusos que regulam a posição do espelho primário.	202
Figura 67: Dimensionamento e posicionamento dos espelhos do telescópio.	203
Figura 68a: Ocular utilizada para colimação do telescópio. 68b: ocular de alinhamento já acoplada no focalizador.	203
Figura 69: Observando pelo furo na ocular (na cor preta), podemos ver o espelho primário e a aranha.	204
Figura 70: Placa de madeira que ficará em contato com o solo, parafuso de 12 centímetros, rolamento e porca borboleta.	205
Figura 71: Rodinhas parafusadas de modo a permitir o movimento em sentido horário e anti-horário.	205
Figura 72: Portinhas de uma cozinha, que serão utilizadas para confeccionar a base dobsoniana.	206
Figura 73: Rolamento depois de embutido na placa que servirá de base.	206
Figura 74: Placas laterais da base.	207
Figura 75: Placas parafusadas e acopladas.	208
Figura 76: Abraçadeira de postes que será o suporte do telescópio.	208
Figura 77: Base dobsoniana pronta.	209
Figura 78: Abraçadeira fixando o telescópio.	209
Figura 79: Telescópio pronto, onde podemos ver a aranha detalhes frontais.	210
Figura 80: Telescópio pronto, vista lateral.	210
Figura 81: Lua vista pelo telescópio construído.	211
Figura 82: Lua, parcialmente iluminada pelo Sol, quando vista da Terra.	211
Figura 83: CD sem a película onde os dados são gravados.	314
Figura 84a: CD antes de retirar a película. 84b: Recorte realizado sem que a película fosse retirada.	314
Figura 85: Rede de difração já cortada nas dimensões aproximadas de 25 mm.	315
Figura 86: Rede de difração recortada de forma circular, com aproximadamente o mesmo diâmetro do tubo de PVC.	315
Figura 87: Corte do cap 25 mm com a serra de cortar ferro.	316
Figura 88a: Cap com as rebarbas. 88b. Após a limpeza das sobras e rebarbas.	316
Figura 89: Peça de cano 20 mm com 20 cm de comprimento, já revestido com a fita isolante para bloquear a passagem da luz.	316

Figura 90: Cano de PVC 20 mm e 25 mm, de 20 cm e 25 cm de comprimento respectivamente, <i>cap</i> com o corte da fenda, rede de difração obtida a partir do CD e uma luva de 20 mm.	317
Figura 91: Montagem do espectroscópio.	317
Figura 92a: Alinhamento correto e 92b. com um alinhamento incorreto.	318
Figura 93: espectroscópio pronto, quando estendido (acima) e quando fechado (abaixo).	318
Figura 94: Espectro da lâmpada de Sódio (não pura) visto pelo espectroscópio (acima) com o real (abaixo).	319
Figura 95: espectro de emissão de uma lâmpada fluorescente compacta.	319

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

UA – Unidade Astronômica, equivalente a 149 597 870 691 metros.

AU – Astronomical Unit – unidade astronômica (UA) – idem acima.

NGC – New General Catalogue (NGC) ou Catálogo de Objetos NGC.

AEC – anterior à Era Comum, corresponde a período antes do ano zero da era cristã.

EC – Era comum: corresponde ao período a partir do ano zero da era cristã até o momento atual.

pc – parsec, equivale a aproximadamente 3,26 anos luz.

AL – Ano-Luz. Equivale a distância percorrida pela luz no vácuo em um ano.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	25
2. REFERENCIAL TEÓRICO	27
3. DESCRIÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL DESENVOLVIDO.	31
4. METODOLOGIA	33
5. ANÁLISE DOS DADOS OBTIDOS	49
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	65
7. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	67
8. APÊNDICES E ANEXOS	73
APÊNDICE A – APORTE TEÓRICO DE ASTRONOMIA	73
INTRODUÇÃO	73
A.1. EVOLUÇÃO DA ASTRONOMIA	73
A.1.1 PRIMEIROS ASTRÔNOMOS	75
A.1.2. MODELO GEOCÊNTRICO	81
A.1.3. MODELO HELIOCÊNTRICO E NICOLAU COPÉRNICO	83
A.1.4 TYCHO BRAHE.....	84
A.1.5 JOHANNES KEPLER.....	85
A.1.5 GALILEU GALILEI	87
A.1.5 ISAAC NEWTON	89
A.2. DISTÂNCIAS ASTRONÔMICAS	91
A.2.1 UNIDADES E DISTÂNCIAS	91
A.2.3. PARALAXE ESTELAR	92
A.2.4. EFEITO DOPPLER PARA A LUZ E TEORIA DA EXPANSÃO DO UNIVERSO	94
A.2.5. MEDIÇÕES DE DISTÂNCIAS UTILIZANDO RADARES E LASER.....	98
A.2.6. MEDIÇÕES UTILIZANDO CEFÉIDAS	99
A.2.7. PARALAXE ESPECTROSCÓPICA.....	100
A.3. LEIS DE KEPLER E GRAVITAÇÃO	106
A.3.1. LEIS DE KEPLER	106
A.3.2. LEI DA GRAVITAÇÃO UNIVERSAL.....	108
A.4. SISTEMA SOLAR	113
A.4.1. FORMAÇÃO DO SISTEMA SOLAR.....	113
A.4.2. PLANETAS.....	115
A.4.2.1. Mercúrio, o mais furtivo.	121
A.4.2.2. Vênus, a terra escaldante.	122
A.4.2.3. Terra - Nossa casa, nosso Lar.	126
A.4.2.4. Marte, o planeta vermelho.....	130
A.4.2.5. Júpiter, o gigante gasoso	132

A.4.2.6.	Saturno, o senhor dos anéis.....	135
A.4.2.7.	Urano, o mais gelado	137
A.4.2.8.	Netuno, o mais distante.....	138
A.4.3.	CINTURÃO DE ASTEROIDES E CINTURÃO DE KUIPER	139
A.4.4.	PLANETAS ANÕES	142
A.4.5.	NUVEM DE OORT.....	143
A.4.6.	COMETAS.....	143
A.5.	<i>ESTRELAS E GALÁXIAS.....</i>	<i>147</i>
A.5.1.	O BIG BANG E A ORIGEM DO UNIVERSO	148
A.5.2.	NEBULOSAS E FORMAÇÃO DE ESTRELAS.....	150
A.5.3.	TIPOS DE ESTRELAS E SEUS ESTÁGIOS DE VIDA	151
A.5.3.1.	Anãs marrons.....	159
A.5.3.2.	Gigantes e supergigantes vermelhas	159
A.5.3.3.	Anãs Brancas.....	161
A.5.3.4.	Novas e supernovas	161
A.5.3.5.	Buracos negros e horizonte de eventos.....	162
A.5.4.	QUASARES	163
A.5.5.	GALÁXIAS.....	163
A.5.5.1.	Classificação morfológica.....	166
A.5.5.2.	Aglomerados de galáxias e o Superaglomerado de virgem .	167
A.6.	<i>LUZ E INSTRUMENTOS ASTRONÔMICOS</i>	<i>169</i>
A.6.1.	Observação Astronômica.....	169
A.6.1.1.	Observação a olho nu e as constelações.....	170
A.6.1.2.	Catálogo de Messier e catálogo NGC	171
A.6.1.3.	Astrofotografia.....	172
A.6.2.	Telescópios Ópticos	174
A.6.2.1.	Espaciais – Hubble e Kepler	175
A.6.2.2.	Terrestres – SALT, GTC, KECK, GEMINI.....	176
A.6.2.3.	Telescópios de captação de ondas eletromagnéticas não visíveis	177
A.6.2.4.	Principais montagens e formação das imagens.	179
A.6.3.	Espectroscopia astronômica.....	182
APÊNDICE B – CONSTRUINDO SEU TELESCÓPIO.		185
APÊNDICE C – QUESTIONÁRIO APLICADO		213
APÊNDICE D – SLIDES DO CURSO DE ASTRONOMIA		215
APÊNDICE E – CONSTRUÇÃO DE UM ESPECTROSCÓPIO		311
APÊNDICE F – PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL - DISTÂNCIAS ESPACIAIS DO SISTEMA SOLAR.....		321
APÊNDICE G – PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL - COMPARAÇÃO DE TAMANHOS DOS PLANETAS COM O SOL.....		325
APÊNDICE H – PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL – MEDINDO DISTÂNCIAS ATRAVÉS DO ÂNGULO DE PARALAXE		329
ANEXO A – COMPILAÇÃO DO CATÁLOGO MESSIER		335

1. INTRODUÇÃO

Ao buscar o porquê de estudar Astronomia foi feita uma análise abrangente de toda ciência envolvida no dia a dia, e assim a escolha desse tema ocorreu não somente pelo fato de ser um dos ramos mais antigos da ciência, mas também porque precisamos entender o mundo do qual fazemos parte e perceber que o planeta em qual passamos toda nossa vida representa uma grandeza ínfima perto do esplendor cosmológico. Aliado a isso, percebemos o problema da “desinformação científica”, ou seja, percebe-se, na população, que há uma falha grave na formação científica mínima dos egressos do Ensino Médio, em praticamente todas as regiões observadas em uma análise prévia.

Divulgar a ciência pode ser uma maneira de tentar reduzir a porcentagem da população que atribui significados alheios ou sobrenaturais a eventos desconhecidos para si, ou seja, eventos que para eles são “sem explicação”, atribuem sendo obras de algum tipo de ser divino ou extraterrestre. A divulgação científica também pode ajudar a reduzir ondas sociais que surgem devido a esse analfabetismo científico, como por exemplo conceitos absurdos como o planeta Terra ser plano ou ainda várias teorias conspiratórias despudoradas.

No mundo moderno, onde a tecnologia impera de forma absoluta, nota-se uma necessidade de o ser humano resgatar a observação da natureza, pois percebe-se que muitas pessoas gostam do tema Astronomia, porém não são muitos os professores de ciências ou de Física do Ensino Médio que se sentem capacitados em ministrar um curso dessa área. Assim, com o presente projeto, idealizo uma fonte bibliográfica para o professor, que propicie um embasamento básico, fornecendo fulcro a um projeto de Astronomia em sua escola, com roteiros necessários para construção de um telescópio newtoniano que pode ser utilizado para observações de corpos celestes.

Buscando a inserção da Astronomia básica e noções de Astrofísica, pelos professores de Ensino Médio, sob a forma de projetos extracurriculares ou ainda como um tema transversal a alunos do Ensino Médio e comunidade em geral, que tenham curiosidade e interesse na área, podemos integrar o conhecimento científico, não o deixando esvaír, como ocorre com muitos egressos que não estão direcionados à área das exatas, bem como também, de certa forma, podemos influenciar alguns a seguir na carreira científica. Uma outra possibilidade é introduzir o presente material de forma pontual, integrada aos temas da base comum. Porém esse tipo de inserção não será analisado aqui, ficando a cargo do

professor que queira fazer tais adaptações, por exemplo, ao ensinar óptica, pode-se demonstrar como funciona um telescópio; ao ensinar termodinâmica, pode-se usar como exemplo as estrelas, ao ensinar Física e/ou Física Moderna, pode-se fazer o uso do espectroscópio; ao ensinar Gravitação Universal, pode-se contextualizar os aglomerados estelares e até galáxias e assim sucessivamente.

Com base nisso, percebe-se a necessidade de produzir um material abrangente, para um curso de Astronomia, onde o professor da disciplina de Física ou Ciências, de posse da dissertação como referencial, de links com vídeos e documentários recomendados, dos slides que se encontram no apêndice D, pode fornecer meios para tornar a aprendizagem do tema uma forma prazerosa de aprender, esclarecendo dúvidas entre fenômenos astronômicos básicos, devido uma boa fundamentação teórica.

A construção de um telescópio newtoniano com excelente qualidade óptica, mediante um roteiro descritivo no apêndice B auxilia no proposto, pois permite integrar o conhecimento teórico com a prática. Já os resultados do projeto aplicado são discutidos no capítulo 5, bem como a metodologia utilizada mesclada ao relato de aplicação é discutida no capítulo 4.

Dessa forma o material direcionado ao professor, tem caráter autoexplicativo buscando corroborar a este a obtenção de subsídios necessários para poder mediar o conhecimento para com seus alunos, de forma que estes adquiram propriedade intelectual suficiente para discernir fenômenos em diferentes situações cotidianas.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Não existe apenas uma maneira de ensinar, assim como não existe apenas uma maneira de aprender. Partindo dessa premissa, buscam-se diferentes métodos de interação entre o conhecimento científico já estabelecido e o próprio o aluno. Bazin (1997) apud BATISTA, M. C defende que deve haver uma interação entre os diferentes métodos, pois isso possibilita mais aportes necessários para que o aluno assimile os novos conceitos, bem como existem autores que defendem a experimentação como fundamental para a aprendizagem, como por exemplo ROSITO (2008).

Partindo dos pressupostos contidos nos PCN+, de que a Física deve apresentar-se, como um conjunto de competências específicas que permitam perceber e lidar com os fenômenos naturais e tecnológicos, presentes tanto no cotidiano mais imediato quanto na compreensão do universo distante, a partir de princípios, leis e modelos por ela construídos (PCN+, Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias p. 59), vemos que a Astronomia é um tema relevante a ser tratado, pois faz o ser humano em formação compreender o universo no qual ele está inserido.

Observando o fato que todo aluno já carrega consigo uma bagagem anterior, muitas vezes com informações incorretas sobre a fenomenologia, cabe ao próprio professor fazer a análise da melhor maneira de modificar concepções pré-existentes que não condizem com o conhecimento científico aceito atualmente. Nem sempre é trivial fazer essa avaliação e mudança de paradigmas, porém o ponto positivo é que esse aluno já está por livre e espontânea vontade inserido em um contexto no qual ele sabe que aprenderá novas ideias e concepções, e nesse caso, estando ele com a mente mais aberta, há uma maior possibilidade de sucesso.

Dentre diversos pensadores da área da Educação Científica, é importante citar a Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel (1963), onde ideias interagem com conhecimentos já existentes na estrutura cognitiva do sujeito, conhecimentos esses que levam o nome de subsunçores ou ideia-âncora. Ou seja, devem surgir links entre os novos conhecimentos e os já presentes, de forma a buscar a integração do conhecimento teórico com o prático. Para que isso ocorra, o conhecimento a ser absorvido deve ser revelador e interessante ao aluno, e não algo maçante e tedioso.

Ainda nos PCN+ há a sugestão de evidenciar a relação do cotidiano do aluno com os eixos temáticos a serem trabalhados, e nesse caso, como conseguir evidenciar algo que aparentemente está fora de alcance da

maioria dos alunos, como por exemplo, a Astronomia? A priori pode parecer que realmente não há possibilidade de fazer essa relação, porém utilizando-se de experimentos práticos, como o realizado com o do ângulo de paralaxe em pequenas distâncias, pode-se fazer o aluno perceber que a ideia e os conceitos continuam válidos para grandes distâncias, ou seja, consegue-se contextualizar algo que, a princípio, não seria contextualizável (vide apêndice H).

A mesma ideia pode ser seguida por exemplo, em como fazer para determinar os elementos químicos presentes em uma estrela, ou seja, como fazê-los entender a relação entre a luz emitida por uma estrela e os elementos químicos presentes nela. Nesse caso, há a possibilidade de fazer a construção de um espectroscópio e analisar a luz emitida pelo aquecimento de diferentes elementos químicos, chamando a atenção para as diferenças entre o espectro de emissão e o de absorção. Dessa forma, por exemplo, esse espectroscópio pode ser utilizado para ver o espectro solar, cabendo ao professor induzir o estudante a concluir que é possível utilizar essa mesma técnica para fazer a análise da composição química de uma estrela longínqua.

A utilização de um telescópio proporciona uma visão diferente do céu, algo que não se percebe, como detalhes dos planetas tornam-se evidentes, detalhes como crateras lunares ficam visíveis, e isso força o aluno a questionar suas convicções e conceitos de onde vivemos. A atividade prática, aliada ao uso de mídias visuais, como vídeo – documentários e/ou apresentações de slides, geridas pelo professor são uma excelente ferramenta didática para que melhores resultados sejam atingidos. Porém para isso, há a necessidade de uma boa preparação por parte do professor, que deve estar convicto de seu conhecimento sobre o tema a ser tratado.

Não vamos entrar em mérito da falta de profissionais formados ou da proposta de notório saber, que certamente acarretará em inúmeras falhas metodológicas de formação, tanto do profissional quanto do egresso que passou por ele, pois é sabido que boas aulas são realizadas por bons profissionais.

A análise dos resultados fornece a possibilidade de avaliar a execução e a aplicabilidade do projeto, permitindo detectar falhas e pontos que devem ser melhor explanados pelo professor ministrante. Podendo dessa forma, o professor instigar com mais ênfase determinado tema.

Segundo o PCN+:

É indispensável que a experimentação esteja sempre presente ao longo de todo o processo de

desenvolvimento das competências em Física, privilegiando-se o fazer, manusear, operar, agir, em diferentes formas e níveis (...) As abordagens mais tradicionais precisariam, portanto, ser revistas, evitando-se “experiências” que se reduzem à execução de uma lista de procedimentos previamente fixados, cujo sentido nem sempre fica claro para o aluno. (PCN+ - Ensino Médio - Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias, p. 84).

Conforme podemos ver a construção do telescópio segue a linha de raciocínio proposta nas Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais, pois ele não é um roteiro pronto e acabado, por necessitar de diversos ajustes por parte de quem o está construindo. A citar, por exemplo, o diâmetro do espelho primário, sendo diferente do diâmetro do roteiro, faz mudar o tamanho do tubo a ser utilizado, já uma distância focal diferente nesse espelho, faz mudar as posições relativas entre os espelhos primário e secundário, promovendo a pesquisa e a busca por parte do próprio aluno, que realmente o está construindo e não simplesmente o está montando.

Nas orientações dos PCNs, há a clareza de explicitar que: “É tão possível trabalhar com materiais de baixo custo, tais como pedaços de fio, pequenas lâmpadas e pilhas, quanto com kits mais sofisticados, que incluem multímetros ou osciloscópios” (PCN+ p.84). Podemos perceber que a questão central são as competências a serem promovidas e desenvolvidas e não os recursos que foram utilizados. Assim a prática que envolve a comparação de distâncias do Sistema Solar (Apêndice G), promove a competência de “Reconhecer ordens de grandeza de medidas astronômicas para situar a vida (inclui-se a humana), temporal e espacialmente no Universo e discutir as hipóteses de vida fora da Terra (PCN+ p.79), pois leva o aluno a pensar que a estrela mais próxima, além do Sol, (a próxima Centauri), que nessa escala reduzida que sugerimos estaria localizada a mais de 80 km de distância próprio Sol, seria uma pequeníssima esfera em meio a imensidão espacial e que entre meio a eles não existe nenhuma outra estrela.

Isso provoca um certo desconforto nas concepções prévias que o aluno tem de distâncias e dimensões, desconforto esse que aumenta ainda mais se for efetuar o cálculo para as dimensões dos planetas e estrelas nessa mesma escala de distância. Nesse caso, o Sol com seus 696 342 km de raio, corresponderia a uma esfera menor que 3 mm de diâmetro e no

qual a Terra teria cerca de 25 de micrômetros (isso equivale à metade da espessura de um fio de cabelo muito fino).

Dessa forma, a aplicação do projeto pode resultar em um diferencial, uma maneira interessante de ensinar Astronomia, de modo que todos os participantes adquiram um conhecimento mínimo sobre o tema.

3. DESCRIÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL DESENVOLVIDO.

O produto educacional desenvolvido é caracterizado como uma sequência didática de Ensino de Astronomia e Astrofísica Básica, para que professores possam utilizar como base inicial para ministrar um curso de Astronomia à alunos de Ensino Médio. A sequência didática foi dívida em três produtos e apesar do nome ser “sequência” eles podem e devem ser trabalhados de forma concomitante. O primeiro produto desenvolvido consiste em um livro-texto de Astronomia básica, voltado ao professor da disciplina de Física ou ciências de Ensino Fundamental ou Médio, que pretende ministrar o curso de Astronomia ou criar um “clube de Astronomia” em sua escola, e é ele quem fornecerá o aporte teórico básico necessário.

O livro-texto é baseado principalmente no livro Astronomia e Astrofísica dos autores Kepler de Souza Oliveira Filho e Maria de Fátima Oliveira Saraiva, publicado em 2014 pela LF Editorial e distribuído a todas as escolas participantes da Olimpíada Brasileira de Astronomia - OBA, no ano de 2014. Além do livro base, foi realizada uma ampla pesquisa em vários outros livros, sítios na internet e vídeo-documentários sobre o tema.

Embora o livro-texto seja direcionado aos professores, pois são estes quem subsidiarão o conteúdo para os estudantes, em uma análise mais ampla, podemos afirmar que o principal público alvo são os próprios estudantes, sendo assim, foi priorizado uma linguagem clara e acessível, com um nível mínimo de cálculos matemáticos envolvidos. O aporte teórico de Astronomia e Astrofísica básica está no apêndice A, que foi subdividido em seis subcapítulos.

O primeiro capítulo do apêndice A faz um resumo da evolução dos conhecimentos da Astronomia, passando dos primeiros astrônomos para os modelos geocêntricos e posteriormente o heliocêntrico, seguindo para as biografias dos principais astrônomos da história até o século XIX. O segundo capítulo do referido apêndice trata de como são obtidos os dados referentes as estrelas e planetas, ou seja, como medir as distâncias astronômicas. Nele é feito um apanhado sobre as unidades de medida e posteriormente para os métodos de medição de distâncias astronômicas, através da paralaxe, do efeito Doppler, das cefeidas e da paralaxe espectroscópica. Já o capítulo 3 discute as leis de Kepler, bem como a teoria da gravitação de Newton, seguindo a recomendação dos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) que sugerem trabalhar o tema, pois segundo os PCNs: “(...) Nessa abordagem, ganha destaque a interação

gravitacional, uma vez que são analisados sistemas que envolvem massas muito maiores que aquelas que observamos” (PCN+ p.78).

O capítulo 4 do apêndice A faz o detalhamento de como surgiu o Sistema Solar e segue para dados e informações de todos os corpos pertencentes a ele. Portanto, aborda planetas, cinturão de asteroides, planetas anões, nuvem de Oort e cometas. Nessa parte também são citadas as chuvas de meteoros e crateras de impacto, que surgem devido à queda de meteoritos.

O quinto capítulo desse apêndice explana sobre o Big Bang e a origem do universo, seguindo posteriormente para a formação de estrelas a partir de nuvens de gás e poeira, de uma maneira mais abrangente do que a própria evolução do Sol, nessa etapa é descrito todas as etapas da vida de uma estrela, dependendo de sua massa inicial. Dessa forma, há informações sobre as anãs marrons, sobre gigantes e supergigantes vermelhas, novas e supernovas e os buracos negros. Em seguida, faz-se a análise da formação de enxames abertos e globulares, seguindo até as galáxias, bem como sua classificação morfológica. Enfim o último capítulo, traz a luz e os instrumentos astronômicos. Nessa parte, é tratada a espectroscopia, os telescópios refletores e refratores, radiotelescópios e um tópico sobre observação astronômica.

O segundo produto são os próprios slides que trazem esse conteúdo de forma resumida em 10 aulas de 2 horas cada, que são detalhadas no capítulo 4, cujo título é “Metodologia”, onde estão elencadas sugestões dos detalhes que são interessantes mencionar em cada aula. Nem todos os slides precisam ser utilizados, cabe ao professor adaptar e utilizar da maneira que acreditar ser a melhor.

O terceiro produto é um roteiro de construção de um telescópio newtoniano, sobre uma base dobsoniana. O roteiro explica passo a passo todo o processo de construção, calibração e observação. Para isso, há a necessidade de aquisição de materiais pelo professor que deseja construir seu próprio telescópio, como por exemplo, os espelhos primários e secundários, os tubos e as oculares.

Após o curso aplicado, foi realizada uma análise dos resultados obtidos pela aplicação da sequência didática desenvolvida.

4. METODOLOGIA

Para inserção do presente projeto, vamos utilizar uma abordagem quantitativa e qualitativa, e assim mesclar os saberes preexistentes dos nossos alunos com as novas teorias inseridas, de forma que sejam cooperativas na mediação do conhecimento.

Em um primeiro momento, houve uma análise do interesse nesse tema por parte dos alunos, seguido por um período de inscrição para o curso. Devido à alta procura, houve a necessidade de criação de duas turmas, com aproximadamente 30 alunos cada.

Posteriormente, já na primeira aula, houve a aplicação de um questionário para testar os conhecimentos iniciais, com justificativa de embasar quantitativamente a análise dos dados em virtude da aplicação do presente curso. Esse questionário, abrangendo uma ampla gama de conceitos básicos de Astronomia, de certa forma, direcionou, em partes, a sequência didática. Já em relação à análise dos dados obtidos dessa aplicação, as duas turmas foram tratadas como uma única, ou seja, não houve distinção dos dados entre elas.

No decorrer da sequência didática, houve a realização de várias atividades práticas, tais como: montagem de experimentos comparativos de tamanhos de alguns corpos presentes no sistema solar; experimentos relacionados às distâncias de separação entre os acima citados. Atividade experimental envolvendo medidas de distância de objetos próximos utilizando para isso o método da paralaxe, observação do espectro da luz solar e luz de lâmpadas por um espectroscópio e a construção e montagem de um telescópio, com observação prática de planetas, estrelas e aglomerados. Nessa aplicação, tanto mídias digitais, como projeção de slides e imagens retiradas de telescópios, foram utilizadas de forma interativa, participativa e expositiva, visando uma melhor compreensão do tema tratado em cada aula. Para tanto, em alguns slides há a sugestão de vídeos para assistir com os alunos ou deixar de tarefa para casa.

O curso foi aplicado com a divisão em 3 etapas interligadas, a primeira etapa consiste nas aulas teóricas, divididas em 10 tópicos, com duração de 1,5 horas a 2 horas cada. A segunda etapa, ocorreu ao final da primeira e em duas tardes, com duração total de aproximadamente 8 horas, onde houve a construção do telescópio.

Foram duas noites de observações ao telescópio, uma utilizando um Newtoniano de espelho primário de 150 mm de diâmetro, e distância focal de 1400 mm, da marca Greika, logo no início do curso e a outra ao final do curso, utilizando o telescópio construído com o auxílio dos alunos, um newtoniano de espelho primário cujo diâmetro é de 200 mm e

distância focal de 1160 mm. Assim, o curso completo teve carga horária total de aproximadamente 30 horas.

A seguir, relata-se a evolução do curso, ou seja, como ele ocorre em relação aos slides do apêndice D. Uma observação interessante, é que alguns dos slides foram posteriormente adicionados, ou seja, no decorrer do curso, alguns pontos foram percebidos que poderiam ser melhor explorados, e assim, posteriormente foram adicionados mais slides sobre o tema, dessa forma, quando um outro professor reaplicar o curso, podem ocorrer divergências no tempo de execução.

Inicia-se a primeira aula com a explicação do que consiste o curso e que ele está sendo utilizado para uma coleta de dados para a dissertação do autor no curso de Mestrado Profissional em Ensino de Física, pela UFSC, deixando claro que em nenhum momento serão coletados dados pessoais, bem como fotos que permitem identificação e/ou nomes. Em seguida, ocorre a aplicação do questionário contido no apêndice C, cuja análise das respostas está no capítulo 5. Após o questionário é exibida em tela projetada a programação, onde explanou-se o que ocorreria em cada aula do curso.

Inicia-se então no primeiro slide, uma breve distinção entre alguns termos comuns de se ouvir como: cosmologia, Astronomia e Astrofísica, cujo objetivo é fornecer elucidações contextuais sobre eles. Nesse slide é comum ouvir o questionamento do que é astrologia e para isso foi colocada uma pequena definição sobre esse termo como uma nota de rodapé.

O slide número 06 inicia com a história da Astronomia, passando pelos primeiros astrônomos de diferentes culturas, chegando a Grécia onde foram cunhados alguns termos ainda hoje em uso. Chegando ao primeiro cálculo que possibilitava prever que a Terra era “redonda” e não plana, por Eratóstenes de Cirene, em 300 a.C.

Segue-se, ao Slide 16 que trata sobre o modelo geocêntrico, onde buscou-se mostrar que ele previa com relativa precisão observações do movimento dos planetas no céu. Nessa etapa, pode-se fazer a ligação com o slide 12-13, que fala sobre a esfera celeste e também se enfatiza que esse sistema perdurou por mais de um milênio.

O sistema heliocêntrico então é retomado, por Nicolau Copérnico no início do século XV, explanado no slide 19. Nessa etapa mostra-se a sequência de cientistas, onde quando o primeiro chegava aos finais de sua vida, logo nascia o próximo, que dava continuidade em seu trabalho, com exceção a Galileu e Kepler, que viveram na mesma época.

O Slide 21 mostra que o sistema heliocêntrico previa uma explicação coerente, porém de forma mais simples dos mesmos

fenômenos observados e explicados pelo geocentrismo, embora ele não possuía precisão muito melhor que o antigo método (explorado isso no slide 19). Segue-se falando de Tycho Brahe, um dos melhores cientistas observacionais que se tem registro, pois possuía incrível precisão nos dados de suas observações com instrumentos rudimentares para nós, porém excelentes para a época, e que graças aos seus dados, Kepler, sucessor na cadeira de Matemático Imperial, consegue desenvolver suas leis do movimento planetário. No slide 28 é apenas colocada uma pequena biografia de Kepler, suas leis tem um lugar especial no slide 50. É sugerido ao professor aplicador do curso, ler as biografias desses cientistas, no apêndice A.1.4 em diante, de forma a complementar alguns dos dados.

Ao falar sobre Galileu Galilei foi explicado como foi construída sua primeira luneta e que ele a aperfeiçoou com o passar do tempo. Seus registros de Vênus possibilitaram comprovar que a teoria heliocêntrica estava correta, dentro das limitações do próprio Sistema Solar. O slide 26 nos mostra como deveriam ser vistas as fases de Vênus nas duas teorias, e obviamente qualquer um que o observe hoje em dia pode facilmente perceber que a teoria do heliocentrismo encaixa com a observação prática.

Ao descobrir que Júpiter era como um mini Sistema Solar, e que a lua era imperfeita, cheia de crateras e principalmente por publicar isso de forma acessível à população, ele conseguiu arranjar problemas com a Igreja, resultando em sua condenação à prisão domiciliar. Nesses slides, enfatiza-se o fato de que não foi Galileu quem inventou o telescópio, mas foi ele quem o nomeou e quem o apontou para o céu pela primeira vez. Alguns de seus registros da Lua estão no Slide 27.

Isaac Newton tem sua pequena biografia no slide 29. Nela não constam detalhes, mas é interessante que o professor complemente suas descobertas e seus períodos de vida, desde sua saída da cidade devido a peste, transmitida por uma infestação de ratos, e que de volta a sua cidade natal ele fez importantes descobertas em óptica. Citando uma breve introdução sobre o que é o cálculo diferencial e integral, relembrar suas leis dos movimentos e preparar o aluno para a introdução da gravitação universal, que é trabalhada no slide 53. E é nessa parte se encerra a primeira aula, porém isso não precisa ser seguido à risca, pois dependendo da turma, os assuntos podem fluir com mais facilidade, acelerando o ritmo, ou por vezes demorando mais, quando há necessidade de explicações mais detalhadas.

No slide 30, inicia-se a aula 2, com os conceitos de distâncias astronômicas, onde deve-se evidenciar que unidades de medida comumente utilizadas, como o metro, não são práticas para medir esse

tipo de distâncias. Então deve-se dar a definição da primeira unidade de medida estelar, a Unidade Astronômica, que corresponde a distância média entre o Sol e a Terra, equivalendo a aproximadamente 150 milhões de quilômetros. Ainda nesse slide, temos o alcance dos “métodos de medição de distâncias astronômicas”, utilizando como unidade de medida a Unidade Astronômica (UA) ou o PARSEC (pc) - paralaxe segundo, que equivale a 206265 UA ou 3,26 anos-luz. A explicação do que é o parsec está no Slide 36.

A seguir, há um histórico de como as primeiras medidas de distância foram realizadas e os métodos utilizados para isso. Hipparchus no século II A.E.C (anterior à Era Comum) obteve a distância Terra-Lua com base no raio terrestre, estimada entre 59 e 67 raios terrestres, um valor excelente para o atualmente conhecido, (variando de 57 a 64 vezes dependendo da posição relativa entre eles). Utilizando a ideia da tangente do ângulo, sabemos que se observarmos um objeto ao ângulo de 1 grau, esse objeto está 57 vezes mais afastado que sua altura (slide 32), e isso possibilitou o cálculo do diâmetro lunar. Aristarco de Samos foi quem tentou calcular pela primeira vez a distância entre a Terra e o Sol, também utilizando para tal a trigonometria (slide 33).

Com o advento do telescópio, muitas coisas foram descobertas, e com isso surge a necessidade de calcular distâncias cada vez maiores. No slide 34 é explicado o conceito de paralaxe, que é o deslocamento aparente de um objeto em relação a um fundo, devido mudança de posição do observador. Sugere-se que o professor explique que esse método tem um limite de alcance, pois objetos que se encontram muito distantes não possuem um ângulo de paralaxe facilmente mensurável, impossibilitando seu uso. Assim seu alcance está limitado na ordem de 500 pc, ou pouco mais de 1500 anos-luz de distância.

A ideia das estrelas variáveis ou pulsantes, chamadas de cefeidas é introduzida no slide 38 traz um breve histórico da descoberta dessas “velas-padrão” do universo, estrelas que pulsam em períodos que dependem de sua massa e que com isso, dependendo de seu brilho aparente pode-se determinar a que distância se encontram. O slide 40 explica o porquê de uma cefeida pulsar onde no slide 41 está a equação para calcular a distância de uma cefeida até nós, tendo por base seu período de pulsação e sua luminosidade.

Nesse momento, sugere-se fazer a atividade prática de como realizar medidas de distância utilizando a paralaxe. O desafio é o “aluno observador” encontrar a distância entre si e dois “alunos estrelas”. Essa atividade está descrita no apêndice H. Sugere-se a formação de grupos com 4 integrantes, no mínimo. Um será o observador, que fará o papel da

Terra, outro aluno será o ponto de referência lateral, para confirmar que o observador não muda o ângulo de observação, e os dois últimos são as estrelas. No qual um corresponde a estrela mais próxima e o outro às estrelas de fundo. Nessa atividade, o “aluno de referência lateral” deve utilizar uma trena para medir as distâncias “reais” e com isso ter um valor para comparar posteriormente.

É interessante trabalhar as semelhanças e diferenças entre esse método aplicado em sala para com o método real, com estrelas. Falar que os ângulos em paralaxes heliocêntricas, das estrelas observadas são muitíssimas vezes menores que o encontrado por eles, o que exige muita precisão dos instrumentos. Essa atividade demora cerca de uma hora, entre construir o compasso celeste e fazer o experimento, além do professor ficar em constante movimento entre os grupos orientando as medidas e sanando dúvidas. É conveniente entregar o roteiro antes e com isso fazer uma explicação da atividade na lousa para que se minimize as dificuldades futuras. Pode ser útil o professor realizar o experimento previamente, de forma a se familiarizar com esse procedimento experimental.

O Slide 43, iniciando a terceira aula, contempla sobre o efeito Doppler, para introduzir a paralaxe espectroscópica e a teoria da expansão do universo. Para tanto, é útil falar do efeito Doppler de algo mais palpável para o aluno, ou seja, aquele que ocorre com o som. No slide 44 há duas animações que só podem ser reproduzidas solicitando o arquivo original ou acessando-o no link especificado na fonte da imagem. No Slide 45 inicia-se o conceito do efeito Doppler da luz, em decorrência da expansão do universo. Deve-se evidenciar o que significa o deslocamento para o azul e o deslocamento para o vermelho a partir da análise espectroscópica de um elemento químico que compõe uma estrela. Já no Slide 47 há referência em relação a magnitude absoluta e a magnitude aparente, portanto deve-se fazer a diferenciação entre elas. Deve-se explicar que a magnitude de uma estrela está relacionada a seu brilho e que quanto mais brilhante, menor é o valor numérico correspondente. Assim, estrelas com valores negativos de magnitude brilham mais que valores positivos. Já a magnitude absoluta é o brilho que esse corpo teria quando observado de uma distância padrão de 10 parsec, ou aproximadamente 33 anos luz. É interessante falar nesse slide também que estrelas com magnitudes aparentes maiores que 5 são muito difíceis de serem vistas, exigindo condições excepcionais de céu noturno e de visão do observador. Mais informações podem ser obtidas no tópico 2.7 do apêndice A.

No slide 48 há a explicação da lei de Hubble. Nessa etapa é importante que seja frisada a ideia que quanto mais distante de nós estiver a galáxia, maior será sua velocidade de afastamento, portanto maior é o efeito Doppler para ela. Um fato interessante dessa teoria é que ela é equivalente não importando a posição do observador. Ou seja, não temos como definir em que posição do universo estamos, pois de qualquer ponto que estivéssemos, a observação seria idêntica, como se todos e ninguém, ao mesmo tempo, estivessem no centro do universo.

Agora, no slide 50, inicia-se as leis de Kepler, com uma breve revisão histórica, recapitulando o que já foi falado anteriormente, e descrita a primeira lei, que define orbitas elípticas com o Sol ocupando um dos focos da elipse formada, seguida posteriormente pela lei das áreas, onde é interessante frisar que o ponto da órbita, mais próximo do Sol é chamado de periélio e que o ponto mais afastado é o afélio. E que devido as áreas serem iguais, isso significa que as velocidades orbitais dos planetas (em módulo) e em posições distintas são diferentes.

A terceira lei relaciona o período de translação com a distância que ele se encontra orbitando. É importante deixar claro que o valor da constante “ k ”, aproximadamente igual a 1 é válido somente para o sistema solar, ou seja, na relação Sol-planetas. Qualquer outro sistema planetário, ou até para o sistema Júpiter-luas galileanas, essa equação continua válida, porém com um valor de k constante e diferente do valor para o Sistema Solar. É conveniente ressaltar que embora as órbitas sejam elipses, sua excentricidade (achatamento) é muito pequena, de modo que se fossemos representar em escala, a órbita de um planeta no papel ou na lousa, não conseguiríamos diferenciar uma circunferência perfeita da elipse formada pela trajetória do planeta ao redor do Sol.

A Gravitação Universal de Newton é tratada no Slide 53, com um breve resumo e com uma frase dita por ele próprio sobre a descoberta dessa lei. Pode-se fazer uma interessante comparação da equação da gravitação universal com a equação da força elétrica entre duas cargas (lei de Coulomb), porém deve-se frisar que são forças de naturezas diferentes, enquanto uma é gravitacional a outra é eletromagnética. Nesse ponto é um excelente gancho aproveitar para falar das quatro forças bases da natureza, a nuclear forte, a nuclear fraca, a eletromagnética e a gravitacional.

No slide seguinte, há a exploração da ideia de Newton, de como colocar um corpo em órbita de um planeta. É importante ressaltar que na prática teríamos a resistência do ar, que impossibilitaria tal feito, mas que em altitudes suficientemente grandes, ela inexistente, portanto, um satélite nessas condições pode orbitar a Terra facilmente. Nesse ponto é

interessante falar sobre a Estação Espacial Internacional e questionar se a gravidade lá é zero. Provavelmente perceberá respostas afirmativas, então convém explicar que a situação de imponderabilidade dá a sensação de ausência gravitacional, mas que na realidade seu valor é somente um pouco menor que aqui no solo. Nessa parte do curso há dois slides com questões, o slide 57, que usa a aplicação da lei da gravitação, e o slide 60 com mais duas aplicações, uma inclusive pede para calcular o valor da aceleração gravitacional a 400 km de altitude.

É interessante ressaltar nesse slide que a aceleração gravitacional terrestre não é constante, ela varia levemente de acordo com a latitude. Isso ocorre em função da diferente distribuição de massa do planeta Terra.

Resolução dos problemas propostos: Slide 57, questão 01.

$$F_{12} = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{70 \cdot 50}{2,5^2}$$

$$F_{12} = 3,7 \cdot 10^{-8} N \quad (\text{Resposta})$$

Já a questão 02:

$$F_1 = G \frac{m_1 m_2}{r_1^2} \therefore r_2 = \frac{r_1}{2}$$

$$F_2 = G \frac{m_1 m_2}{r_2^2}$$

$$F_2 = G \frac{m_1 m_2}{\left(\frac{r}{2}\right)^2}$$

$$F_2 = G \frac{m_1 m_2}{\frac{r^2}{4}}$$

$$F_2 = 4G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

$$F_2 = 4F_1$$

Portanto, quando a distância cai pela metade, a força gravitacional fica 4 vezes mais forte.

Já a questão 03, questiona o porquê de a lua não cair sobre a Terra. Nesse caso pode ser utilizada a explicação do Slide 56, que explica sobre o que deve ocorrer para que um corpo fique em órbita de outro. Pode-se utilizar a ideia que a Terra e a Lua orbitam em torno de um ponto comum, chamado de Ponto Abáxico, que corresponde ao centro de massa do sistema. Esse ponto localiza-se a aproximadamente 4670 km a partir do centro terrestre, em direção a reta que cruza os dois corpos. Como o raio terrestre é de aproximadamente 6378 km, esse baricentro fica abaixo da superfície, a aproximadamente 0,7 raios terrestres.

Já para as questões do Slide 60, temos as seguintes respostas. Questão número 01: Sendo o raio da terra aproximadamente 6378 km, e a massa $5,9742 \times 10^{24}$ determine o valor da aceleração gravitacional.

$$g = G \frac{M}{R^2}$$

$$g = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{5,9742 \cdot 10^{24}}{6378000^2}$$

$$g \approx 9,8 \text{ m} / \text{s}^2 \quad (\text{Resposta})$$

Já a questão 02, solicita para efetuar o cálculo da aceleração gravitacional a uma altitude de 400 km. Nesse caso, aplicamos a equação definida no slide 58.

$$g = G \frac{M}{(R+h)^2}$$

$$g = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{5,9742 \cdot 10^{24}}{(6378000 + 400000)^2}$$

$$g = 8,7 \text{ m} / \text{s}^2 \quad (\text{Resposta})$$

Ao resolver esse problema com os alunos, devemos realçar que como podemos ver, o valor diminui pouco nessa altitude, portanto dentro de uma estação espacial, a aceleração gravitacional não é zero, o que ocorre é apenas a situação de imponderabilidade, com gravidade aparente próxima de zero, situação análoga a percebida durante alguns instantes,

por alguém que despenca em queda livre de um brinquedo específico em parques de diversões.

Outro ponto a salientar é que podemos encontrar o valor da aceleração gravitacional a partir de um valor de referência, ou seja, a partir de seu valor médio ao nível do mar, de acordo com a equação 12, no apêndice A, capítulo 3.2.

No slide 61, temos um método para determinar qual deve ser a velocidade orbital de um corpo que deseja permanecer em órbita a uma altitude h . Nessa etapa é importante fazer o aluno observar que a velocidade orbital diminui conforme a altitude.

A velocidade de escape de um planeta é tratada no Slide 62. Nessa etapa é importante que o professor ressalte que o valor obtido para uma situação ideal, sem resistência do ar. Podem surgir questionamentos sobre a velocidade dos foguetes ser inferior ao valor da velocidade de escape, e nesse caso, convém explicar que um foguete tem propulsão própria, diferentemente de uma rocha que seria arremessada devido, por exemplo, a colisão de um grande asteroide. Sugere-se que os alunos assistam ao episódio 01 da série Cosmos, apresentada pelo astrofísico Neil deGrasse Tyson, lançada em 2014.

A sequência agora, que englobará a quarta, quinta, sexta e sétima aulas, inicia-se no Slide 64, com uma introdução ao Sistema Solar, que contempla sobre a divisão das massas e de tudo que o compõe. Passando pelas teorias aceitas para sua origem, bem como dados sobre a composição química dos planetas. Nesse início é interessante ressaltar que o Sol é uma estrela de segunda geração, ou seja, não surgiu no universo primordial, pois os elementos mais pesados só se formaram no interior das primeiras estrelas, sendo assim, podemos dizer que nós somos poeira de uma estrela que estava pela região e se desintegrou, isso há vários bilhões de anos.

No Slide 69 há informações de como são obtidos alguns dos dados dos planetas que serão expostos em slides subsequentes. No Slide 77 é interessante falar sobre o porquê do planeta Terra ter grande porcentagem de nitrogênio ou oxigênio e praticamente nenhum hidrogênio na atmosfera, relacionando isso à velocidade de escape e a energia cinética do próprio gás, em virtude de sua temperatura. O aumento da taxa de gás carbônico dissolvido no ar também pode ser abordado, conforme slide 78, citando como exemplo o planeta Vênus, cuja temperatura superficial ultrapassa os 400 °C em virtude do efeito estufa.

No slide 80, inicia-se falando sobre o Sol. A classificação dos planetas em planetas rochosos e planetas gasosos está localizada no slide 82, onde convém falar dessas características em função dos pontos em

comum entre eles. A inclinação dos planetas, no slide 83 nos permite compreender como o planeta gira em sua órbita. Nesse ponto, pode-se falar que a inclinação do planeta Terra é quem propicia as estações do ano e não a posição relativa ao Sol, no afélio e no periélio.

Nos slides seguintes, há dados sobre os planetas, e convém falar sobre a zona habitável, descrita no slide 97 e 98. O aporte teórico para esse conteúdo se encontra no Apêndice A4.1, que fala sobre o Sistema Solar. A Lua tem sua origem ainda envolta em mistério, porém uma das possibilidades está descrita no Slide 99. Missões tripuladas já foram realizadas para ela, porém já fazem alguns anos que não mais ocorrem. Os próximos planetas são explanados nos slides seguintes, bem como a beleza de se observar Júpiter e Saturno por um telescópio ou por imagens de sondas. Convém falar também sobre a possibilidade de colonização da Lua e de Marte, bem como descrever os desafios existentes, tanto na questão tecnológica como na questão social.

A partir do Slide 122 temos os corpos menores do sistema solar e os planetas anões. No slide 125, coloca-se as regras que um corpo deve atender para que este seja considerado um planeta. Pode-se chamar a atenção sobre a massa e o diâmetro, ou seja, quando sua massa for suficientemente grande ou que seu diâmetro esteja próximo dos 800 km, ele já adquire aceleração gravitacional suficiente para assumir a forma esférica e com isso ser considerado um planeta anão, mas para que se torne um planeta ele precisa limpar sua órbita e obviamente, orbitar o Sol, não sendo um satélite de outro planeta.

No slide 127, fala-se sobre Ceres e no 129 sobre Plutão, além de uma fotografia recente de Plutão, tirada pela sonda New Horizons em 2015. Convém relacionar a imagem que possuíamos antes (slide 130), vista pelos melhores telescópios, com a imagem recente, fotografada de perto pela sonda New Horizons. É interessante notar que alguns planetas anões podem ser menores que a Lua, como é o caso de Plutão.

No slide 133, temos Éris, com a foto real, no canto superior direito, e com a concepção artística abaixo. Deve-se ressaltar que a imagem inferior não é uma foto, mas sim um desenho que um astrônomo fez com base nos dados colhidos de observações de diversas equipes de astrônomos. Nos Slides seguintes, temos mais informações sobre outros planetas anões.

Quando chegamos na figura do Slide 140, sobre o Sistema Solar, é importante chamar atenção que ela está fora de escala e que existem dois locais no qual estão presentes um grande número de asteroides. O primeiro, que é conhecido como Cinturão de Asteroides, que fica entre Marte e Júpiter, no qual encontramos Ceres e o segundo cinturão,

chamado de Cinturão de Kuiper, no qual estão presentes o restante dos planetas anões conhecidos. Caso surgir a pergunta sobre a nuvem de Oort, deve-se deixar claro que esta fica muito além do cinturão de Kuiper.

No slide 141 diferencia-se asteroides, de meteoros e meteoritos. Percebe-se que existe uma grande confusão por parte dos alunos sobre esses termos e, em virtude disso, é pertinente que o professor atue como mediador, fornecendo subsídios necessários para que eles os saibam diferenciar. Assim, é importante que o professor explique que o nome asteroide é dado a uma rocha quando ela está no espaço sideral, já o nome meteoro ocorre quando este, ou um cometa, entra em contato com a atmosfera de um planeta e com isso emite luz por incandescência, ou seja, é um nome dado ao efeito luminoso, já os restos desse corpo, recuperados posteriormente no solo recebem o nome de meteoritos.

O slide 145 tem um vídeo incorporado, que pode ser acessado pelo link da fonte que retrata o meteoro que caiu na Rússia em 2013, conhecido como Meteoro de Cheliabinsk. No slide 146 há uma referência ao meteoro que pode ter extinto os dinossauros, que deixou uma cratera de mais de 200 km e liberou energia suficiente para escurecer os céus com a poeira durante vários anos. No slide 148 tem-se informações do que pode ter ocorrido nessa época em diferentes distâncias do ponto de impacto desse asteroide.

As crateras de impacto nos mostram a energia dessas colisões, e temos um bem perto de nós (ou longe, dependendo de onde o leitor estiver), a cratera de Vargeão (slide 149), em Santa Catarina com aproximadamente 12 km de diâmetro, sendo a segunda maior do Brasil. Há um mirante para ela que fica em um restaurante ao lado da BR 282, que corta o estado. Já nos slides 150 e 151 temos mais algumas crateras de impactos conhecidas no solo brasileiro.

Os maiores satélites naturais dos planetas do Sistema Solar são explanados no Slide 152, com informações gerais e com uma tabela comparativa, em escala de tamanho com a Terra. Alguns planetas apresentam cinturões de anéis, e isso é tratado no Slide 154. Alguns são facilmente visíveis outros não. É interessante citar aos alunos que todos os planetas gasosos possuem anéis, mas daqui da Terra vemos somente os de Saturno ainda só com o auxílio de telescópios.

Os cometas são tratados no slide 156 e um fator importante de ser citado é que nem sempre as duas caudas de um cometa se coincidem, conforme observamos na imagem do Slide 157. O cometa Halley é sem dúvida o mais famoso e dessa forma não poderia deixar de ser citado. A imagem do Slide 160 é interessante pois faz o aluno perceber que o tempo passa para nós, mas o cometa continuará sua jornada ainda por milhares

e milhares de anos. Já no Slide 163, temos a imagem da colisão de um cometa (Shoemaker-Levy-9) com o planeta Júpiter, em 1994.

O Slide 164 trata de uma escala de distâncias para o sistema solar, em relação ao cinturão de asteroides, de Kuiper e nuvem de Oort, para mostrar de onde vem os cometas. Convém explicar que a linha colocada representa um ponto médio da localização dos corpos, nesse slide pode-se fazer a retomada e falar sobre a nuvem do Oort, citada acima.

O slide 165 nos mostra como surgem as chuvas de meteoros que ocorrem regularmente. Nesse caso é importante que o aluno compreenda que os meteoros dessas “chuvas” são na verdade restos de algum cometa que teve sua antiga órbita interceptada pela órbita da Terra. Vários cometas podem ameaçar a vida na Terra, e um deles é o Swift-Tuttle, que tem tamanho maior do que aquele que extinguiu os dinossauros, porém mesmo assim a probabilidade de colisão com a Terra é ínfima e, quem sabe, até isso ocorrer teremos tecnologia suficiente para nos defender.

Há a sugestão de, nessa etapa, assistir dois documentários, o primeiro sobre cometas, disponível no link do Slide 167 e o segundo é o episódio 03 da série Cosmos, que já foi citada anteriormente.

Já no Slide 169, temos um infograma das jornadas cósmicas, onde mostram-se todas as missões já realizadas para os planetas do Sistema Solar, contemplando a nave e a data da visita. Essa imagem é interessante abrir no site específico em qual foi postada, que se encontra no link descrito nas informações da imagem, no próprio slide, pelo motivo de poder ser ampliada, conservando os detalhes.

Em sequência, sugere-se realizar as atividades práticas sobre distâncias e tamanhos dos objetos do Sistema Solar, descritos nos apêndices F e G.

Com essa etapa concluída, na aula 08 e 09, vamos “sair” do nosso Sistema Solar, ou seja, falar sobre o Big Bang e a origem do Universo, nebulosas e formação de estrelas e consequentemente de galáxias. Muitos cientistas acreditavam e alguns ainda acreditam, em diversas teorias concorrentes ao Big Bang, porém convém ao professor, nessa parte, definir que não existe teoria errada, mas sim teoria que menos se adapta aos fatos observados.

A teoria do Big Bang, contém vários elementos a seu favor, como citados no slide 174 e algumas de suas consequências são explicitadas no slide 180. O paradoxo de Olbers, no slide 181 nos fornece uma pista interessante sobre o tamanho do universo, pois segundo ela, o universo deve ter tamanho suficiente para que as luzes de estrelas mais longínquas ainda não tenham tido tempo de chegar até nós. Um detalhe, porém,

importante de se citar, que a idade do universo nada nos diz sobre seu real tamanho e isso deve ser deixado claro para os alunos.

O Slide 184 nos mostra algumas outras teorias concorrentes da teoria do Big Bang, porém não é entrado em detalhes em pontos favoráveis e desfavoráveis a elas. Se houver necessidade é interessante realizar uma pesquisa extra sobre isso, visto que essas teorias não estão contempladas no apêndice A. A partir do Slide 185, inserimos o conceito de nebulosas, para logo chegar no conceito de galáxias e sua classificação morfológica (slide 189). No slide 205-206 temos uma simulação da colisão futura que ocorrerá com Andrômeda e a nossa galáxia, a Via-Láctea. O link para o vídeo está no próprio Slide. Em sequência temos várias imagens reais de galáxias se fundindo, originando uma nova em um futuro distante.

Uma breve introdução às lentes gravitacionais é feita no slide 210, que mostra o efeito na imagem do slide 211 e um belo resultado na imagem do Slide 212. Convém ao professor ressaltar nessa parte que a curvatura que a luz descreve, não tendo ela massa, não ocorre devido a velocidade de escape dessas estrelas, mas sim deve-se ao fato que o próprio tecido espaço-tempo é que está curvado, seguindo os preceitos da teoria da relatividade geral. A Via-Láctea é tratada a partir do slide 213, com informações sobre as principais características e informações de onde nos localizamos no cosmos visível (slides 219 - 220). Nesse slide convém verificar se o aluno consegue compreender a dimensão do espaço a sua volta, onde a Via-Láctea nada mais é do que uma galáxia em meio a milhões de outras. No Slide 224 há a sugestão de vídeo, o episódio 04 da série Cosmos, já citada.

A origem dos elementos químicos é tratada a partir do Slide 225. Nessa parte, o aluno deve compreender que, com exceção do hidrogênio e do hélio primordial, todos os outros elementos químicos conhecidos são originados por fusões nucleares dentro de estrelas. A vida e evolução estelar é abordada a partir do Slide 229, que engloba as diferentes fases da vida de uma estrela, de acordo com sua massa inicial. Segue-se com a classificação espectral de Harvard e com o estudo do diagrama HR, nessa etapa, se já não surgiu, é interessante questionar aos alunos como se sabe sobre os elementos químicos que estão presentes em estrelas. Após as respostas dos alunos, inicia-se com o slide 238, sobre espectroscopia. Nesse ponto é interessante que o professor tenha um espectroscópio já construído e o passe para que os alunos observem o espectro solar (tomando cuidado de deixar claro para eles, que não façam a observação direta ao Sol), e que depois de olhar o espectro solar, analisem o espectro de uma lâmpada da sala (geralmente fluorescente). Para encerrar essa

atividade, recomenda-se aplicar o apêndice E, que trata da construção de um espectroscópio com um pedaço de CD e assistir ao documentário Cosmos, episódio 05. Uma observação que pode ser feita, é em decorrência das imagens vistas pelo espectroscópio. Nem todas aquelas linhas de emissão são do elemento principal da lâmpada (do mercúrio por exemplo), mas também de impurezas que existem nessas lâmpadas comerciais.

O slide 242, inicia-se a última aula do curso, onde abordamos instrumentos astronômicos pós 1600, ou seja, a partir da “invenção” do telescópio por Galileu Galilei. Repare que invenção está entre aspas, pois quem provavelmente o inventou foi o fabricante de lentes Hans Lippershey, na Holanda. A partir daí, temos as informações sobre os maiores telescópios ópticos terrestres, bem como algumas de suas características.

A seguir, a partir do Slide 251, temos a informação de como ocorre a formação das imagens em telescópios ópticos. Nesse ponto, é importante que o aluno compreenda que a única diferença entre os diferentes tipos de telescópios ópticos se refere na maneira de como eles refletem a luz, ou seja, na quantidade e tipos de espelhos e lentes envolvidos no processo, obviamente cada um tem seus pontos positivos e pontos negativos, que não entraremos em detalhes. As montagens de sustentação, também chamadas de bases, são tratadas a partir do Slide 259, embora sejam citadas somente as duas mais utilizadas por astrônomos amadores, as equatoriais e as alta-azimutais do tipo dobsoniana. O funcionamento delas é descrito no apêndice A6.2.4. Outros tipos de telescópios são tratados nos próximos slides, como os infravermelhos, raios X, radiotelescópios, etc.

O catálogo Messier merece um zelo especial por ele conter a maioria dos objetos que podem ser vistos por pequenos telescópios amadores, dessa forma, há necessidade de fazer uma análise dele, no slide de página 273, bem como imagens de alguns desses objetos. Já o catálogo completo se encontra no anexo A.

No slide 280, temos informações sobre as constelações, bem como informações sobre para que servem e o porquê de terem surgido. É importante falar para os alunos que são diferentes constelações para diferentes culturas antigas, mas que hoje em dia, somente são válidas as que foram oficializadas pela União Astronômica Internacional em 1930.

Em relação às observações noturnas, com o telescópio foram observados vários corpos celestes. A Lua crescente foi bem visível com suas crateras bem definidas, utilizando-se para tanto a ocular de 25 mm, que proporcionou um fator de ampliação de 46 vezes. Posteriormente foi

acoplada a lente multiplicadora “Barlow” cujo fator é de 3 vezes sendo assim a ampliação foi para em torno de 140 vezes em relação a olho nu. Sugere-se demonstrar o uso do software livre Stellarium ao final desse curso, para que os alunos consigam, por si próprios, encontrar os corpos que desejam. Dessa forma, foram observados nessas atividades os planetas Saturno e Júpiter. Houveram também visualizações de céu profundo, com a observação da Nebulosa de Órion, Ômega de Centauro, identificação do Cruzeiro do Sul, Caixinha de Joias e o Aglomerado das Plêiades, porém nesse caso a ampliação foi a mínima possível, ou seja, foi utilizada uma ocular de 40 mm, que proporcionava ampliação de menos de 30 vezes, facilitando a observação desse tipo de objeto.

A maior dificuldade encontrada nessa atividade está relacionada ao movimento de rotação da Terra, pois os objetos rapidamente “escapam” do campo visual do telescópio, sendo necessário novo ajuste a aproximadamente cada 3 pessoas que observam. Uma dica interessante para as noites de observação é o uso de um apontador laser, preferencialmente da cor verde e de alta potência, pois risca o céu facilmente, facilitando a todos que observam perceberem qual é o objeto de estudo em questão.

5. ANÁLISE DOS DADOS OBTIDOS

O presente trabalho, teve como objeto de pesquisa analisar a evolução do índice de acertos, antes da aplicação do curso de Astronomia básica e depois à aplicação do projeto. Para tanto, foi aplicado o mesmo questionário, nas duas etapas, porém sem que os alunos tivessem o conhecimento que isso iria ocorrer. Isso proporciona certa confiabilidade nos dados, por não forçar alunos a memorizar respostas prontas, o que provavelmente aconteceria se fosse avisado que o questionário seria aplicado novamente ao final do curso. Outro ponto a ser considerado atribui-se ao fato que em nenhum momento é registrado o nome do aluno participante, pois isso poderia pressionar alguns a não responder às questões quando tivessem dúvida, colocando em xeque a eficácia do questionário. Dessa forma, optamos por um questionário anônimo, com perguntas básicas de Astronomia, diretas e objetivas, que tinham por objetivo dar um parecer geral do conhecimento prévio que o público alvo tinha sobre o tema tratado.

O curso foi realizado em parceria com o Instituto Federal de Santa Catarina, IFSC, Campus Criciúma, sob forma de um projeto de extensão, onde os alunos participantes tinham idades entre 14 e 30 anos. Quanto à escolaridade, haviam estudantes do primeiro ano do ensino médio a até curso superior já completo. Porém em sua maioria, eram os próprios alunos do IFSC, cursando em uma das três séries do ensino médio técnico, tanto dos cursos de Ensino Médio Técnico em Edificações, como do Ensino Médio Técnico em Mecatrônica ou do Ensino Médio Técnico em Química. Inicialmente haviam 65 inscritos, onde efetivamente vieram para o curso 54. Destes, 32 alunos receberam o certificado de participação por cumprirem a carga horária mínima, porém como na última aula, onde foi aplicado o questionário, estavam presentes apenas 24 alunos, estes foram considerados concluintes para a tomada dos dados. Dos desistentes, temos alunos com os mais variados conhecimentos sobre o tema, ou seja, entre os desistentes estavam alunos com bons conhecimentos anteriores ao curso, bem como alunos com pouquíssimos conhecimentos, o que não prejudicou a amostra da qual foram obtidos os dados da aplicação do projeto.

O questionário foi aplicado aos alunos, de maneira que eles não tivessem quaisquer tipos de consulta a materiais, anotações, internet ou outras fontes de informação, tanto no início, como ao término do curso. O questionário aplicado pode ser acessado no apêndice C, porém parte de suas questões podem ser encontradas na tabela 01. Esse questionário, na análise dos dados, foi dividido em duas partes; a primeira, corresponde às

questões 1 a 15, e contém perguntas mais diretas, com resposta certa ou errada. Já as questões 16 a 20, poderiam comportar respostas mais variadas, portanto coube uma avaliação mais centrada em cada questão. Para plotar o gráfico 01 (abaixo), foram consideradas das questões 1 a 18, onde, nas questões 16, 17 e 18, foram considerados apenas os índices de acertos e não as respostas incorretas.

Outro fator a mencionar, é que os dados iniciais não influenciaram na escolha dos temas trabalhados, ou seja, não foi abordado apenas questões onde os alunos tinham menor índice de acertos. A tabela 01 nos fornece, além das questões, os dados de acertos destas no início e no final do curso.

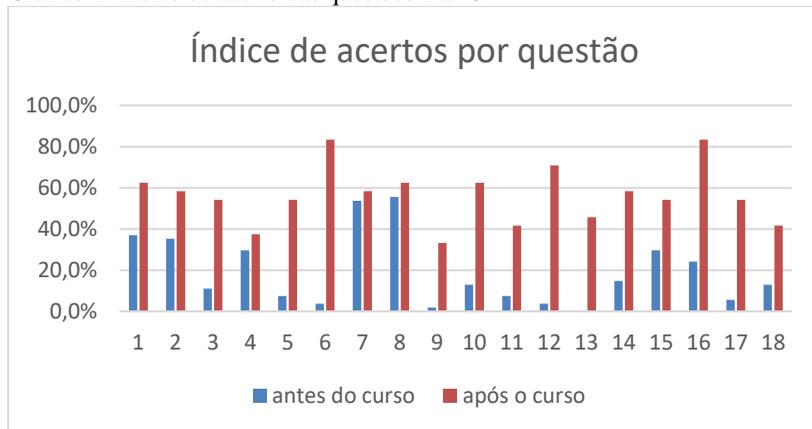
Tabela 1: Questões aplicadas ao curso de Astronomia.

Questão	% de acertos inicialmente	% de acertos ao término
1. O que são estrelas cadentes?	37,0%	62,5%
2. O que são meteoros?	35,2%	58,3%
3. O que são cometas?	11,1%	54,2%
4. Na linha do horizonte, o Sol nasce sempre no mesmo ponto ao longo do ano? Explique sua resposta.	29,6%	37,5%
5. O que são manchas solares?	7,4%	54,2%
6. O que significa 1 UA (unidade astronômica).	3,7%	83,3%
7. Ano-Luz é medida de tempo ou de distância? Justifique	53,7%	58,3%
8. O que significam as constelações?	55,6%	62,5%
9. O que significa o redshift da maioria das galáxias?	1,9%	33,3%
10 Qual a origem dos elementos químicos?	13,0%	62,5%
11. Como podemos saber quais os componentes químicos que constituem uma estrela?	7,4%	41,7%
12. O que é a magnitude de uma estrela?	3,7%	70,8%
13. O que significa magnitude absoluta?	0,0%	45,8%
14 Se a luz do sol demora 8 minutos e 20 segundos para vir até nós, qual a distância entre a Terra e o Sol (em km)?	14,8%	58,3%
15 Qual a nossa localização no cosmos?	29,6%	54,2%

16. O valor aceito para a idade do universo é?	24,1%	83,3%
17. Qual a idade do sol?	5,6%	54,2%
18. Quanto tempo de vida o Sol ainda tem?	13,0%	41,7%

Ao fazer a análise do índice de acertos pode-se perceber, através dos gráficos os resultados obtidos do projeto. O gráfico 01, nos mostra em AZUL os resultados iniciais, ou seja, o índice de acertos antes da aplicação do curso, já os resultados em VERMELHO correspondem às respostas das mesmas questões, porém após a conclusão do curso básico de Astronomia. O curso teve aulas de aproximadamente 2 horas diárias, todas as sextas-feiras, durante 3 meses e não houve qualquer tipo de pressão aos alunos para estudar sobre o assunto, bem como foi avisado que não haveriam provas de conhecimento que impactasse em notas. Assim, acredito eu que a eficácia do questionário e do próprio curso sejam mais confiáveis, pois não obriga alunos a estudar, apenas os motiva pelo interesse no tema trabalhado.

Gráfico 1: Índice de acerto das questões 1 a 18.



Em análise geral, antes do curso, houve cerca de 19,2% de acertos das questões, com um desvio padrão de 17,3%. Já o valor após o curso, passou para 56,5%, com desvio padrão de 13,8%. Nossa amostra consistia em 54 respostas inicialmente e devido a taxa de evasão 24 respostas posteriormente. Essa taxa de evasão de mais de 50% é justificável, pois em uma pesquisa indireta com os desistentes, a maioria alegou que estavam cansados demais para uma sexta-feira à noite além de ser final

de ano letivo, onde eles tinham vários projetos para terminar, que seriam necessários para serem aprovados de ano letivo.

Os resultados de cada questão, discutidos a seguir fornecem mais dados, sobre cada questão, de forma individual.

Observando no gráfico 01 a questão número 1, cujo tema era de “o que são estrelas cadentes?” obteve 37% de acertos inicialmente e 62,5% após o curso. Isso deve-se, provavelmente ao interesse e curiosidade do ser humano em descobrir o que são as luzes que se locomovem rapidamente pelo céu. Alguns alunos viram durante uma das noites de observação prática, esse fenômeno. Houveram respostas do tipo “são cometas”, as quais foram consideradas incorretas pois estrelas cadentes, em sua maioria, são restos de cometas e não o cometa propriamente em si. Já respostas do tipo são pequenos asteroides que entram na atmosfera entrando em incandescência, foram consideradas corretas, não necessitando o aluno explicar o porquê da incandescência, quem utilizou a terminologia correta, chamando-os de meteoros obviamente também tiveram suas respostas computadas de forma correta.

A questão número 2, tinha por objetivo conhecer a realidade do aluno acerca do que são meteoros. Esperava-se que ele soubesse distingui-los de cometas ou principalmente não os confundisse com os meteoritos ou que pensasse ser “somente um asteroide”. Percebe-se que houve grande semelhança com a resposta da questão número 1, como esperado, pois um meteoro é na realidade o que popularmente chamamos de estrela cadente. O índice de acertos para essa questão estava em 35,2 % antes, passando para 58,3% depois da aplicação.

A terceira questão, indagava o que são os cometas e novamente tinha interesse de analisar se o aluno sabia distinguir entre um asteroide e um cometa. Este tema foi trabalhado durante a aplicação do curso, mostrando imagens e dados sobre os cometas. Foi dado ênfase no cometa Halley que tem período orbital de 76 anos, e também para o Hale-Bopp, que ficou visível praticamente no mundo todo no ano de 1997. Observando o índice de acertos, pode-se observar que houve um avanço significativo nos resultados, ou seja passou de 11,1 % para 54,2%.

Na questão de número 4, buscava verificar se o aluno tinha conhecimento dos solstícios e equinócios, concomitante se soubesse o objetivo principal dos trópicos de câncer e de capricórnio. Esse tema foi brevemente tratado no curso, quando foi falado do planeta Terra, porém sem ter sido dado ênfase, e talvez por isso que o resultado não tenha tido um aumento expressivo, pois anteriormente houve 29,6% de acertos, passando para 37,5% após o curso. Outro fator que pode ter sido responsável pelo baixo índice foi o fato de que havia necessidade de o

aluno explicar sua resposta, portanto respostas compostas somente por “não”, não foram consideradas corretas.

Manchas solares são assuntos difundidos na internet, principalmente em sites de divulgação de ciência básica, onde de vez em quando aparecem notícias com o tema foco. Relacionadas às atividades solares, buscava-se uma resposta no qual os alunos dissessem que eram regiões de temperatura menor, ou regiões de concentração de campos magnéticos, ou algo do gênero. Houve grande diferença entre antes e depois do curso. Os índices saltaram de 7,4% de acertos para 54,2%. Provavelmente isso deve-se à curiosidade atizada durante as aulas do curso, pois foi comentado que poderiam ser vistas através do telescópio, mas nunca diretamente sem um filtro para o sol, e mesmo assim, a recomendação seria fazer isso por projeção da imagem em uma parede, pois danos irreversíveis podem ser causados à visão caso medidas de segurança não sejam tomadas. Ao analisar a possibilidade de ficar cego ao olhar para o Sol em um telescópio, muitos alunos ficaram surpresos e queriam saber mais sobre o assunto.

Outra questão importante foi a relação de conhecimento sobre distâncias astronômicas. Por isso, a questão 6 indagava sobre o que seria uma unidade astronômica. Inicialmente houve apenas 3,7% das respostas, respondidas corretamente, já esse índice passou para 83,3% ao término. Esperava-se que esse erro fosse extinguido ao final do curso, pois compreender distâncias astronômicas é um ponto fundamental para nossa localização ou a grandiosidade do cosmos perante nós. Porém é inegável que houve um grande aumento na taxa de acertos.

A questão 7 foi baseada na questão do ENEM do ano de 2001, onde ela pedia justamente se Ano-Luz era uma medida de distância ou de tempo. O diferencial é que havia a necessidade de justificar a resposta e, portanto, respostas sem justificativas foram consideradas incorretas. A quantidade de acertos foi grande, porém poucos justificaram, assim praticamente não houve diferenças entre respostas iniciais e finais. Inicialmente houve 53,7% de acertos, passando para 58,3% de acertos, um valor insignificante perante a nossa amostra, que era pequena.

Outra pergunta bastante controversa, foi uma que indagava o significado das constelações. A resposta esperada é que elas são apenas uma maneira de localizar estrelas e/ou eventos no céu noturno, porém apenas cerca de 60% dos alunos acertaram essa resposta. Novamente, não houve diferença significativa entre os períodos da aplicação do curso, ou seja, de 55,6% de acertos, passou para 62,5%.

Ao tratar do efeito Doppler, foi explicado o redshift e o blue-shift das galáxias, isso posteriormente relacionado à expansão do universo.

Essa questão estava presente sob número 9, e inicialmente apenas um aluno soube responder corretamente o que é o redshift ou o que ele significa, ou seja, um índice de acertos de 1,9%. Posteriormente, 8 alunos assimilaram corretamente o conceito, correspondendo a 33,3% do total. Um valor bem longe do ideal, porém com um bom aumento do índice de acertos.

A questão número 10 tinha por objetivo verificar se os alunos sabiam de onde os elementos químicos surgem, ou seja, se eles tinham conhecimento que, com exceção ao hidrogênio, todos eram originados por estrelas ou em explosões destas. 7 alunos responderam corretamente a essa questão no início do curso, ou seja, 13% de acertos e após a aplicação 62,5% dos participantes demonstraram ter o conhecimento sobre a questão, respondendo de forma satisfatória. Isso revela que conseguiram abstrair a famosa frase de Carl Sagan “somos todos feitos de poeira das estrelas”. Os que tinham esse conhecimento, inicialmente, relataram que assistiram na série Cosmos de 2014, apresentada pelo astrofísico Neil Degrasse Tyson.

Um espectroscópio foi construído durante o curso e utilizado para fazer observações do espectro de lâmpadas fluorescentes, incandescentes, lâmpadas de LED e também do espectro solar. Isso possibilitou aos alunos compreenderem que podemos saber quais são os elementos químicos presentes em uma estrela sem precisar ir até ela, apenas analisando seu espectro de emissão. Isso resultou na diferença entre acertos iniciais e finais que podemos observar. A pergunta número 11 é: “como podemos saber quais os componentes químicos que constituem uma estrela?”. Dos alunos participantes na etapa inicial, apenas 7,4 % souberam a resposta. Porém na etapa final, houve uma leve melhora, onde 41,7% souberam corretamente especificar que podemos determinar os elementos químicos em uma estrela pela análise espectrográfica da luz proveniente dela.

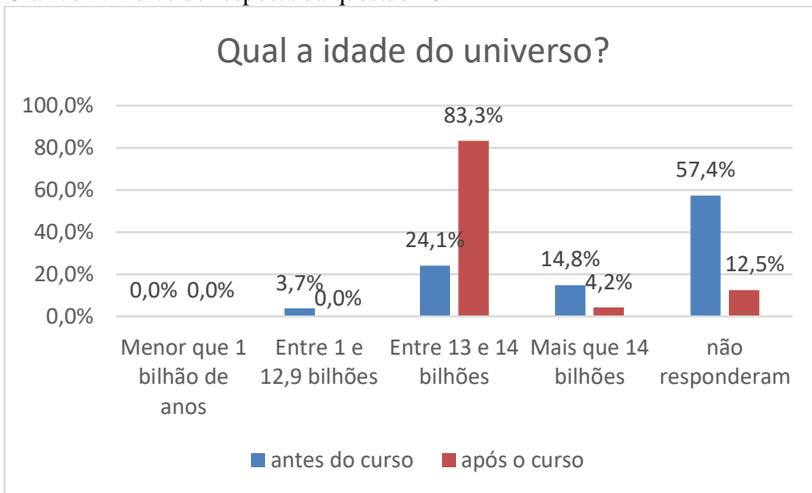
As questões número 12 e 13, tinham por objetivo saber se os alunos conheciam um padrão para mensurar o brilho aparente e o brilho real de uma estrela no céu. Esperava-se que os alunos soubessem que a escala de magnitude é uma escala inversa, ou seja, quanto maior o brilho menor é o valor numérico correspondente. E nesse quesito, houve um salto de 3,7% de acertos para 70,8%, provavelmente devido ser frisado sobre as magnitudes em observações noturnas. Já a magnitude absoluta de uma estrela é o brilho que ela aparenta ter quando colocada a 10 pc de distância, ou aproximadamente 33 anos luz e portanto, por ser uma resposta mais específica, houve uma menor taxa de acertos, mesmo assim, partindo de nenhum acerto inicialmente (0%), passou-se para 45,8% após o curso.

Na décima quarta questão, buscava-se verificar se os alunos sabiam aplicar a matemática básica que envolve a cinemática, e calcular a distância entre a Terra e o Sol, quando fornecidas a velocidade da luz e o tempo médio para ela vir do Sol até nós. O índice de acertos foi de aproximadamente 15% inicialmente para 58% posteriormente. Levando em conta que todos os alunos que realizaram o curso já estavam, em teoria, a um nível posterior ao da cinemática, esperava-se um resultado muito melhor com essa questão. Essa questão nos revela um problema sério de concepção, interpretação e aplicação de equações da Física em situações simples.

A questão número 15 pedia para o aluno nos localizar no cosmos. Esperava-se que ele tivesse a percepção que nosso planeta é o terceiro planeta a partir do Sol, este que se encontra aproximadamente no centro do Sistema Solar, que por sua vez se encontra a 30 mil anos luz do centro da nossa galáxia, a Via-Láctea, e que essa faz parte do grupo local e que esse está inserido no Superaglomerado de Virgem, que é uma pequena parte do nosso Universo Visível. Respostas que seguiram esse raciocínio, mesmo que deixando de lado alguns dos itens foram consideradas. Com isso, de 29,6% de acertos inicialmente, passou-se a 54,2% ao final do curso, o que revelou um aumento substancial.

As questões 16, 17 e 18 tinham como resposta valores numéricos. Como esses valores variavam bastante, foi estabelecido uma faixa para respostas aceitáveis, como na questão 16, a qual questionava sobre a idade do universo. O valor atualmente aceito é 13,7 bilhões de anos, sendo assim, valores entre 13 e 14 bilhões de anos foram considerados corretos. Houve, na primeira aplicação, quase 60% de respostas ausentes, ou seja, alunos que deixaram de responder, já no final essa taxa de abstenção diminuiu para cerca de 12%. Dos que responderam, inicialmente, 24,1% acertaram a resposta e após o curso esse valor passou para 83,3%, um salto significativo, pois em termos numéricos absolutos, no último questionário tivemos apenas 3 alunos que não responderam e apenas um que respondeu um valor maior que o esperado. Sua resposta foi de 14,7 bilhões, provavelmente por uma confusão numérica, sofrida pelo próprio aluno, visto que eles não poderiam utilizar-se de qualquer tipo de material de pesquisa durante o teste. O gráfico 02 mostra como os alunos responderam essa questão antes e depois do curso.

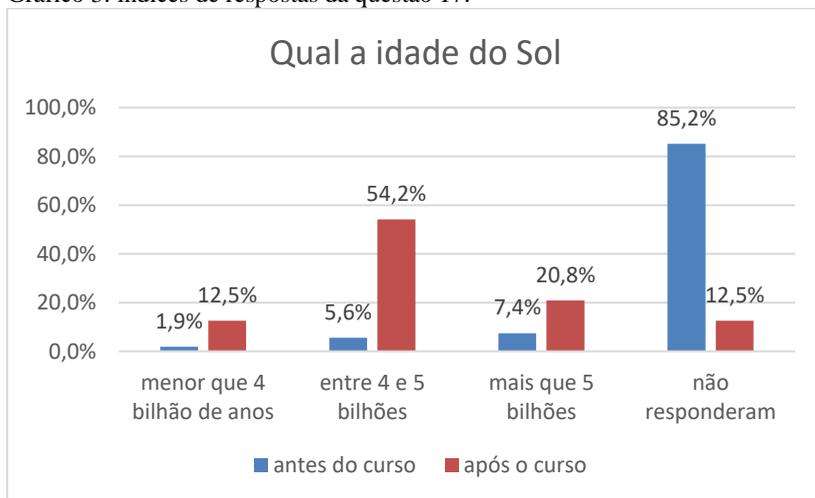
Gráfico 2: índice de resposta da questão 16.



A questão 17 também envolvia tempo de existência, porém ela questionava qual era a idade do Sol. Sabe-se que o Sol é uma estrela cujo tamanho e massa a fazem brilhar por cerca de 9 bilhões de anos. Com isso, fazendo a estimativa a partir da taxa de conversão de hidrogênio em hélio e a partir das proporções das massas existentes ainda, sabe-se que ele já existe a 4,5 bilhões de anos, que era a resposta esperada dos alunos. Porém houve a necessidade de separar as datas em faixas de períodos citados, pois houve, pelo menos na segunda etapa do curso, três alunos que confundiram bilhões com milhões, respondendo um valor de 4,5 milhões de anos.

Com isso, no gráfico 03 podemos observar que, inicialmente, 85,2% dos alunos não responderam essa questão, valor esse que diminuiu para 12,5% após a conclusão do curso. Bem como apenas 5,6% responderam corretamente na primeira etapa, contra 54,2% que responderam de forma correta posteriormente.

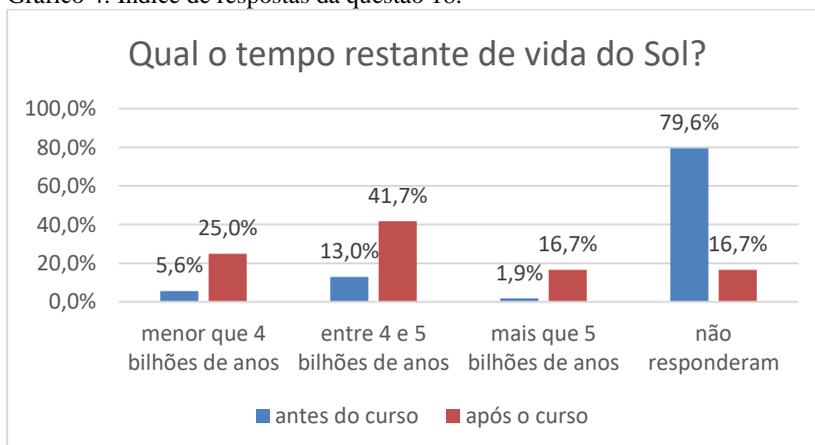
Gráfico 3: índices de respostas da questão 17.



Pode-se perceber que houve alguns que confundiram a idade do sol com sua duração total possível, pois quatro dos cinco alunos que responderam um valor maior que 5 bilhões, depois do curso aplicado colocaram como idade do Sol um valor de 9 bilhões de anos.

Da mesma maneira, a décima oitava questão questionava quanto tempo o Sol ainda duraria, ou seja, o “tempo de vida” que o sol ainda possui, cujos dados das respostas estão no gráfico 04

Gráfico 4: Índice de respostas da questão 18.



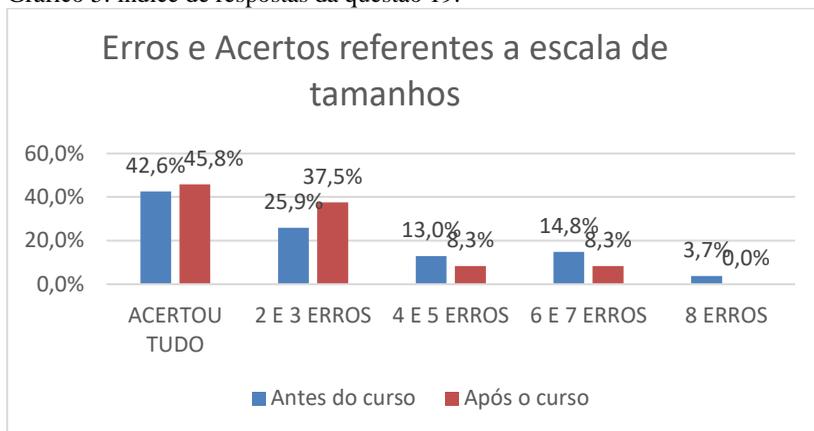
Podemos observar que a taxa de pessoas que não responderam diminuiu significativamente, provavelmente por se sentirem mais confiantes em colocar algum valor. A resposta esperada, que era entre 4 e 5 bilhões de anos, teve um aumento de acertos, passando de 13% para 41,7%, porém como no caso anterior, houve alguns que confundiram bilhões com milhões de anos, errando a resposta fazendo aumentar a quantidade de respostas com valores menores que o esperado.

Uma questão importante em termos de dimensões e grandezas é o ser humano estar ciente de quão vasto é o universo, bem como o quão pequeno pode ser um átomo. Dessa forma, a questão 19 buscava verificar se o aluno tinha conhecimento das “dimensões de comprimento/tamanho” dos corpos e partículas analisadas. Para tanto, foi solicitado que o aluno classificasse em ordem decrescente de tamanho os itens Via-Láctea, galáxia Andrômeda, Lua, Sol, Terra, Estrela Sirius, Universo Visível, um átomo e um elétron.

Houve diversos erros comuns, tanto antes como depois da aplicação do curso. Alguns erros são totalmente toleráveis, como por exemplo citar que a Via-Láctea seria maior que Andrômeda, ou que o Sol é maior que Sirius, porém outros são extremamente desconfortantes, como por exemplo citar que uma galáxia é maior que o próprio universo visível, ou que um corpo qualquer dos elencados na questão, seria menor que o elétron.

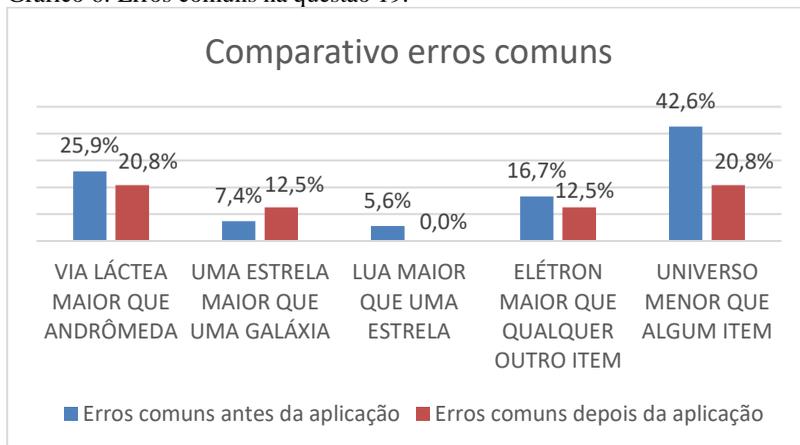
Pode-se perceber que essa ênfase foi falha no curso, pois praticamente não houve melhoras no percentual de acertos, pois antes do curso 42,6% ordenaram todos os itens corretamente, e posteriormente o índice foi de 46%, o que resulta em uma variação que é desprezível perante o tamanho da amostra. Erros desse tipo revelam uma grave falha no ensino, não pelo fato do professor talvez não citar, mas sim pelo fato que o aluno realmente não compreendeu a grandeza e as dimensões de tais corpos ou partículas. Embora, nessa questão, percebe-se que houve uma melhora na quantidade de alunos que erraram menos, ou seja, alunos que erraram 5 ou mais questões, possivelmente passaram a cometer apenas 2 ou três erros, conforme podemos observar no gráfico 05. Isso pode ser até reconfortante, pois como já foi citado, há erros que são passíveis de ocorrer sem que sejam condenáveis.

Gráfico 5: índice de respostas da questão 19.



Já analisando os erros mais comuns antes e depois do curso aplicado, plotados no gráfico 06, podemos observar que praticamente todos os erros diminuíram, com exceção ao erro de mencionar que uma galáxia não é maior que uma estrela. Em valores absolutos, esse erro diminuiu, pois inicialmente 4 alunos cometeram essa gafe e posteriormente ao curso apenas 3 alunos, mas como a quantidade de alunos concluintes era menor que a quantidade de alunos ingressantes, o valor em porcentagem aumentou.

Gráfico 6: Erros comuns na questão 19.

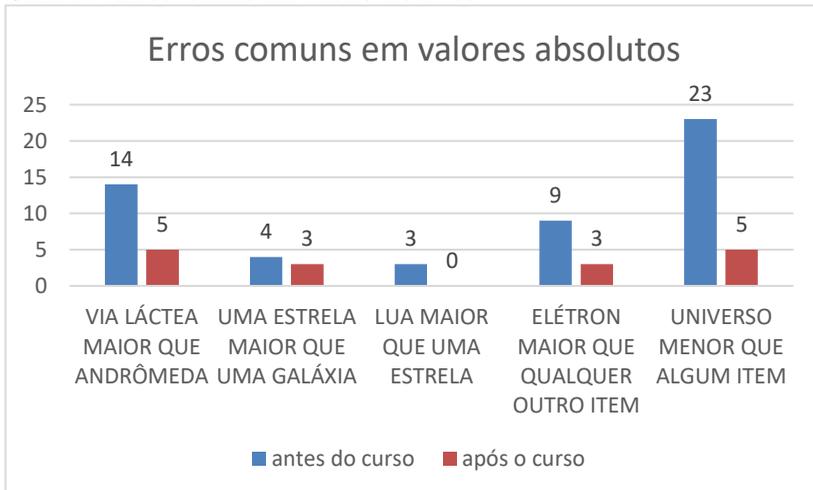


Um fator que chama a atenção é que os 12,5% dos alunos que cometeram o erro de colocar um elétron sendo maior que qualquer outro item, erraram da mesma forma, por acreditarem que um elétron é maior que um átomo. Como esse tema não foi tratado no curso, ele é tolerável, mostrando que eles não buscaram informações extras sobre isso fora do curso. Já uma melhora significativa ocorre na porcentagem de alunos que afirmava que o universo era menor que algum dos outros itens. Essa queda de 42,6% para 20,8% fornece um bom resultado, pois nota-se que, dos que restaram, grande parte conseguiu melhorar seu conhecimento acerca do tema.

Os itens que afirmavam que a Via-Láctea era maior que Andrômeda e que colocavam uma lua maior que uma estrela, tiveram pouco impacto pois a porcentagem, que felizmente diminuiu, ainda não foi bastante significativa. Já o segundo erro não ocorreu mais posteriormente ao curso, sendo que no início foram 3 alunos que o cometeram.

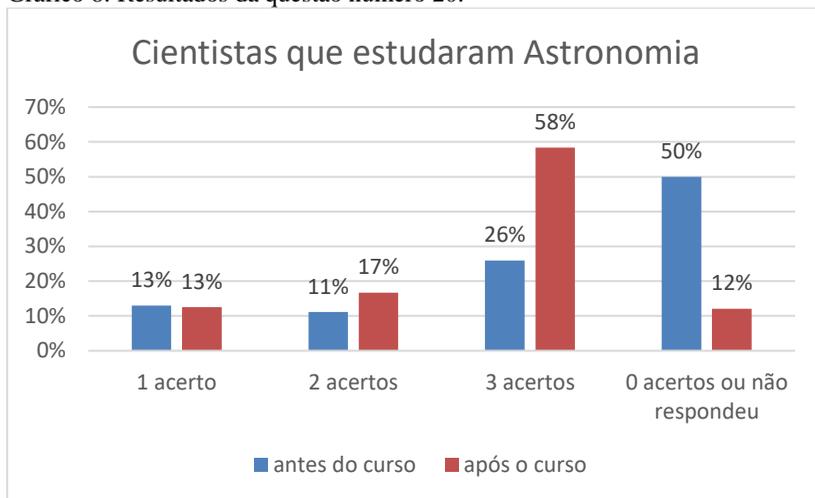
O gráfico 07 mostra o mesmo dado, porém com valores absolutos de pessoas que cometeram os erros citados. Percebe-se que em todos os casos, a quantidade de alunos errando diminuiu, embora isso não revele exatamente que os alunos aprenderam, pois existe a possibilidade de que alguns deles estejam entre os desistentes do curso.

Gráfico 7: Erros comuns em valores absolutos.



Já na vigésima questão, havia a necessidade de citar 3 cientistas que estudaram ou foram importantes para a Astronomia. O gráfico 08 nos fornece os dados obtidos.

Gráfico 8: Resultados da questão número 20.

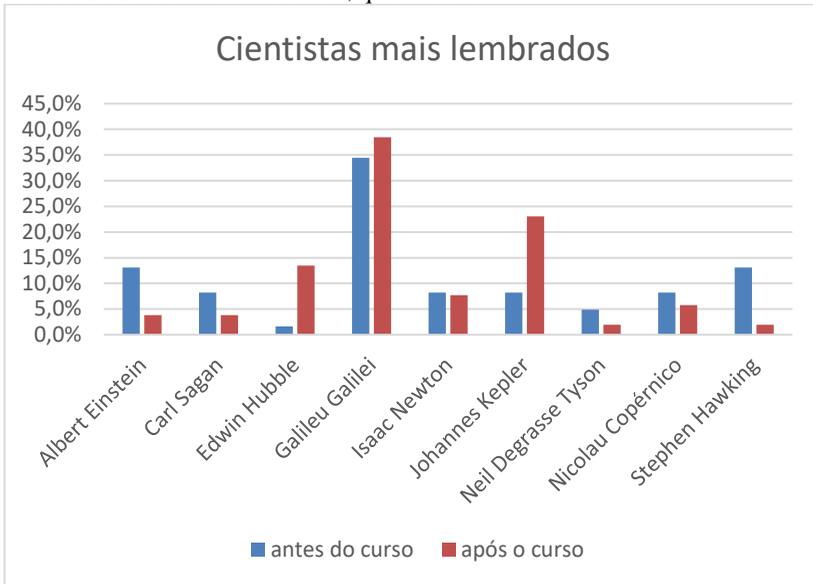


Como podemos observar, e que interessa para nós aqui é que a quantidade de pessoas que erraram tudo ou não responderam diminuiu de 50% para apenas 12%, o que revela uma grande melhora. E também a quantidade de alunos que citaram corretamente os três cientistas também melhorou, pois saltou de 26% para 58%.

Dentre os mais citados, estão Galileu Galilei e Johannes Kepler, o que revela que talvez são os que mais chamam a atenção dos alunos, o primeiro talvez por ter sido o primeiro a apontar uma luneta para o céu noturno, que foi citado, no curso, durante a História da Astronomia e posteriormente na construção e observação com o telescópio e Kepler, talvez por ter sido o cientista que mostrou que as órbitas não eram circulares e sim elípticas.

O gráfico 09 nos fornece os cientistas mais citados, na etapa inicial e na etapa final do curso.

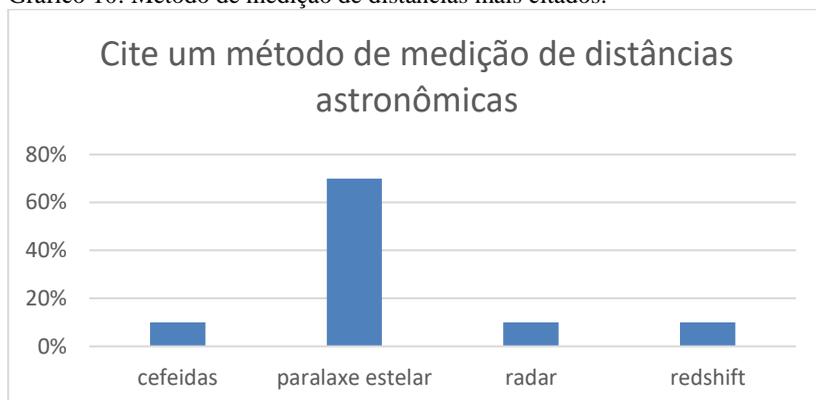
Gráfico 9: Cientistas mais citados, questão 20.



Podemos também perceber que nomes atuais, ou mais modernos, diminuíram em citações após o curso, talvez devido a proposta ter sido um curso com foco em Astronomia básica, onde ideias e concepções com matemática mais avançada sequer foram mencionadas.

Não obstante, houve a realização de uma pergunta posteriormente a aplicação do primeiro questionário, para tal, foram selecionados aleatoriamente 10 alunos que fizeram o curso e deles foi solicitado que dissessem um método de medição de distâncias astronômicas. Surpreendentemente, ou não, o método que teve uma atividade prática, ou seja, a paralaxe estelar, foi o método mais citado, onde 70% dos alunos entrevistados o mencionaram. O gráfico 10 mostra esse dado.

Gráfico 10: Método de medição de distâncias mais citados.



Os métodos como cefeidas, radar e redshift receberam apenas uma citação cada. Isso nos revela, o quão importante são, as atividades práticas para um curso ou um tema de Física a ser tratado. Nos mostra também que por mais interessantes que os outros métodos possam ser, o que os alunos fazem na prática fica registrado de uma maneira diferente do cérebro, o que corrobora para que atividades práticas sejam inseridas no ensino das ciências.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação do presente curso possibilitou uma análise interessante sobre a eficácia de um curso de Astronomia. Mostrou que a prática é fundamental para conseguir bons resultados, Confúcio, filósofo chinês já dizia: “O que eu ouço, esqueço; O que eu vejo, eu me lembro; O que eu faço, compreendo”. Ou seja, parte da premissa que compreendemos melhor o que aprendemos quando o processo integra um método que propicie ao aluno interagir com o elemento fornecedor do aprendizado que se deseja obter. Obviamente isso nem sempre é possível, pois há necessidade que o indivíduo tenha o mínimo de conhecimento ou esteja apto a complexidade exigida. Como exemplo disso, não adianta tentar ensinar cálculo para quem não domina a matemática básica. Ele pode ver, reproduzir, mas não compreenderá o que está fazendo.

De acordo com Ausubel, se um conteúdo ficar solto, ou não tem onde se ancorar ele fica sem muito sentido na prática, pois o aluno conhece algo, mas não o compreende realmente. É o que podemos observar, por exemplo na questão que envolvia um cálculo de distância (questão 14), o cálculo é trivial, porém, sem os subsunçores necessários eles não se apropriaram do conhecimento em si, apenas repetiam algo para uma avaliação quando estudaram Física no primeiro ano.

A prática é importante, mas não consegue sozinha proporcionar um bom nível de aprendizado, pois ao observarmos os resultados obtidos, expostos no capítulo anterior, pudemos perceber que temas trabalhados somente de forma teórica, proporcionaram um nível de abstração levemente menor por parte dos alunos, como nas questões 7, 8 ou 11. Já quando multimídias foram inseridas, através da série COSMOS de Neil deGrasse Tyson, ou vídeos demonstrativos como a queda de um meteoro na Rússia, notamos que elas transformam algo teórico em algo visual, e assim, como uma ferramenta, auxiliam na abstração das ideias e de novas concepções.

Bazin apud (1987) BATISTA, M. C discute a relação entre experimentos e a simples memorização de informações, apostando que há uma maior significância de resultados quando não somente um método é aplicado. Já para Rosito (2008), a prática experimental é essencial para a aprendizagem científica, o que concorda com os resultados obtidos na aplicação do presente curso.

O desenvolvimento científico é uma discussão inerente dos pressupostos básicos do ensino das ciências exatas no currículo pedagógico. Não podemos apenas ensinar ciências, temos que fazer ciência com os alunos, fazê-los perceber que a teoria geralmente vem da

observação de fenômenos na prática e não o contrário. Fazê-los compreender que dentre várias teorias, todas podem apresentar problemas, mas que isso não a torna incorreta ou passível de desprezo. Uma análise de uma série de fatores é quem faz uma se sobressair perante a outra, geralmente prezando pela coerência e simplicidade.

Outro fator importante a ser mencionado, remete-se ao prazer da descoberta, ou seja, porque construir um telescópio se podemos pegar imagens prontas de planetas com resoluções e ampliações e qualidade visivelmente superiores? Para responder a esse questionamento, devemos buscar a recompensa que o aluno recebe ao observar por algo construído por si. Percebe-se grande diferença quando analisamos uma primeira observação de um aluno, que nunca havia olhado por um telescópio, para outro que nunca olhou por um telescópio, mas o faz pela primeira vez por um telescópio construído por si.

Enquanto o primeiro, geralmente se sente frustrado, por ver algo que não contemple uma imagem mental que possui do observado, devido experiências visuais em mídias ou livros, como por exemplo, uma observação do planeta Júpiter, imponente e esplendoroso, na ideia do observador 1, o frustra quando ele vê uma simples bolinha com estrelinhas alinhadas em seu entorno. Já o observador 2, vendo a mesma imagem tem uma concepção totalmente diferente, talvez por saber que um instrumento construído por ele próprio proporciona observação de algo indistinguível a olho nu.

Pode-se perceber que, os alunos gostam mais de ver as crateras lunares que os planetas ou aglomerados estelares, provavelmente por essas imagens ter um grau de proximidade maior com o que observam nos livros didáticos ou imagens em mídias eletrônicas.

A prática de construção do telescópio seguiu a sugestão proposta pelos PCN+, que foi citado no referencial teórico, sugestão esta que diz ser indispensável que a experimentação esteja sempre presente ao longo de todo o processo de desenvolvimento das competências em Física, no qual deve-se privilegiar o fazer, o manusear, o operar, o agir, em diferentes formas e níveis.

7. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

Referência em mídia física:

ABDALLA, E; SAA, A. **Cosmologia: dos mitos ao centenário da relatividade**. São Paulo: Blucher, 2010.

BATISTA, M. C; et al. **Reflexões sobre a importância da experimentação no ensino de Física**. Acta Scientiarum. Human and Social Sciences, v.31. Maringá: UEM, 2009.

BOCZKO, R. **Conceitos de Astronomia**. São Paulo: Blucher, 1984.

CARDOSO, W. T; PIMENTA, A. P; ALARSA, F; MARINO, L. A. A; OLIVEIRA, R. S; FARIA, R. P. **Fundamentos de Astronomia**. Campinas: Papirus, 1982.

CLARK, David H. CLARK, Matthew D.H. **Measuring the Cosmos, How Scientists Discovered the Dimensions of The Universe**. Rutgers University Press. New Brunswick, New Jersey, 2004

GREENE, B. **The Elegant Universe**. New York: W.W. Norton & Company, 1999.

HALLIDAY, D; RESNICK, R; Walker J. **Fundamentos de Física – Gravitação, Ondas e Termodinâmica**. Volume 2. 9ª edição, Rio de Janeiro: LTC, 2012.

HALLIDAY, D; RESNICK, R; Walker J. **Fundamentos de Física – Óptica e Física moderna**. Volume 4. 9ª edição, Rio de Janeiro: LTC, 2012.

HORVATH, J.E. **O ABCD da Astronomia**. São Paulo: Livraria da Física, 2008.

JEWETT, J. W; SERWAY, R. A. **Física para Cientistas e Engenheiros. Mecânica**. Vol 1. 8ª edição. São Paulo: CENGAGE, 2012.

JEWETT, J. W; SERWAY, R. A. **Física para Cientistas e Engenheiros. Luz, Óptica e Física Moderna**. Vol 4. 8ª edição. São Paulo: CENGAGE, 2012.

KUHN, T.S. **The Copernican Revolution**. Massachusetts: Harvard University Press, 1957.

OLIVEIRA, K; SARAIVA, M.F. **Astronomia e Astrofísica**. 3ª edição. São Paulo: Livraria da Física, 2013.

MACIEL, W. **Astronomia e Astrofísica**. São Paulo: IAG USP, 1991

MOURÃO, R. R. F. **Dicionário enciclopédico de Astronomia e Astronáutica**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1997.

NOGUEIRA, S; CANNALLE, J.B. **Astronomia: Ensino Fundamental e Médio**. Coleção explorando o ensino. Volume 11. Brasília: MEC, SEB, MCT, AEB, 2009.

RESNICK, R; HALLIDAY, D; KRANE, K. **Física 2**. 5ª edição. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

ROSITO, B. A. **O Ensino de Ciências e a Experimentação**. In: MORAES, R. (org.). **Construtivismo e Ensino de Ciências: Reflexões Epistemológicas e Metodológicas**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2008.

WALKER, J. **O Circo Voador da Física**. 2ª edição. Rio de Janeiro LTC, 2012.

YOUNG, H; FREEDMAN, R. **Física II, Termodinâmica e Ondas**. Capítulo 12 – Gravitação. 12ª edição. São Paulo: Addison Wesley, 2008.

YOUNG, H; FREEDMAN, R. **Física IV, Óptica e Física Moderna**. 12ª edição. São Paulo: Addison Wesley, 2008.

Referências em mídia digital:

ABREU F; SILVA L. F. **Visitamos as obras do European Extremely Large Telescope - o maior telescópio já projetado** disponível em: <<http://revistagalileu.globo.com/Revista/noticia/2015/02/visitamos-obras-do-european-extremely-large-telescope-o-maior-telescopio-ja-projetado.html>>. Acesso em: 11 de novembro de 2016.

ALVES, M. B. M; BEM, R. M; GARCIA, T. **Minicurso formatação trabalho acadêmico (novo formato)**. Florianópolis, 2010. 35 slides, color. Acompanha texto. Disponível em: <<http://www.bu.ufsc.br/design/ModuloIVnovoformato.pdf>>. Acesso em: 10 de julho de 2016.

AMÔRES, E. B; SHIDA, R. Y. **Estrelas Variáveis Cefeidas Como Indicadores de Distâncias**. Disponível em: <<http://www.telescopiosnaescola.pro.br/cefeidas.pdf>>. Acesso em: 10 de novembro de 2016.

ARAÚJO, F. **Monte Olimpo (Marte)**. Disponível em: <<http://www.infoescola.com/astronomia/monte-olimp-marte/>>. Acesso em: 20 de março de 2017.

BRASIL. Ministério da Educação - MEC. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares para o Ensino Médio (PCNEM) Parte III - Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**. Brasília, 1999. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/_ciencian.pdf>. Acesso em: 20 de maio de 2017.

BRASIL. Ministério da Educação - MEC. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **PCN+ Ensino Médio: Orientações Educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**. Brasília: MEC/SEMTEC, 2002., disponível em <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/CienciasNatureza.pdf>>. Acesso em: 20 de maio de 2017.

BROWN, D; CANTILLO, L.; WEBSTER, G. **NASA Confirms Evidence That Liquid Water Flows on Today's Mars**. NASA. Disponível em <<https://www.nasa.gov/press-release/nasa-confirms-evidence-that-liquid-water-flows-on-today-s-mars>>. Acesso em: 02 de janeiro de 2017.

BROWN, M. **How many dwarf planets are there in the outer solar system?** Disponível em: <<http://web.gps.caltech.edu/~mbrown/dps.html#table>>. Acesso em: 26 de novembro de 2016.

BUTRICA A. J. **To See the Unseen. A History of Planetary Radar Astronomy**. NASA. Arquivo digital disponível em <<https://history.nasa.gov/SP-4218/contents.htm>>. Acesso em: 17 de fevereiro de 2017.

CANNALLE, J.B. **O Sistema Solar em Escala**. Instituto de Física UERJ, disponível em: <<http://www.oba.org.br/cursos/astrologia/osistemasolar/emescala.htm>>. Acesso em: 11 de outubro de 2016.

CARNEIRO, J. T. **A Astronomia Maia** in: Expedição Odisseia no mundo maia. Disponível em <<http://www.mundomaia.com.br/artigos/a-astrologia-maia.html>>. Acesso em: 09 de agosto de 2016

DENGLE, J. em surveyor.in-berlin.de **John Goodricke - A descoberta da estrela binária eclipsando** disponível em <<http://www.surveyor.in-berlin.de/himmel/Bios/Goodricke.html>>. Acesso em: 20 de maio de 2017.

DORNELES, C. F., **Astronomia fundamental - a Astronomia nas culturas da América Pré-Colombiana**. 2011. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/~dpavani/FIS02008/AULAS/2011_1_ciclo_1/Astronomia_pre_colombiana-Caroline.pdf>. Acesso em: 10 outubro de 2016.

EUROPEAN Southern Observatory - Very Large Telescope - **O observatório astronómico óptico mais avançado do mundo**. Disponível em: <<http://www.eso.org/public/brazil/teles-instr/paranal-observatory/vlt/>> acesso em: 11 de novembro de 2016.

FRANCISCO, W. C. **Equinócio**. Brasil Escola. Disponível em <<http://brasilecola.uol.com.br/geografia/equinocio.htm>>. Acesso em: 19 de março de 2017.

GRANTECAN, S.A. **Introducing the gran telescopio canarias**. Disponível em: <<http://www.gtc.iac.es/gtc/gtc.php>> acesso em: 12 de novembro de 2016.

GREGORIO-HETEM, J; PEREIRA, V. J. **Fundamentos de Astronomia – capítulo 8. Estrelas, Distâncias e Magnitudes**. Disponível em <<http://astroweb.iag.usp.br/~dalpino/AGA215/APOSTILA/cap08cor.pdf>> acesso em: 15 de maio de 2017.

KERBER, L.O. **Medindo Distâncias Através da Paralaxe**. Disponível em <http://www.if.ufrgs.br/oei/exp/paralaxe.htm>. Acesso em 12 de julho de 2016.

LABORATÓRIO Nacional de Astrofísica - Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. **Sobre o Observatório Gemini**. Disponível em: <http://www.lna.br/gemini/gem_hist.html> acesso em: 12 de novembro de 2016.

LOCK, S. J; STEWART, S. T. **The structure of terrestrial bodies: Impact heating, corotation limits, and synestias**. Disponível em <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/2016JE005239/full>> acesso em: 12 de junho de 2017.

MILONE, A. C. **Introdução a Astronomia e Astrofísica**. INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em <http://www.das.inpe.br/ciaa/cd/HTML/dia_a_dia/dia_a_dia.html>. Acesso em: 12 de janeiro de 2017.

MORBIDELLI A. **Origin And Dynamical Evolution Of Comets And Their Reservoirs**, CNRS, Observatoire de la Cpte d'Azur, Nice, France, 2008 artigo disponível em: <<https://arxiv.org/pdf/astro-ph/0512256.pdf>>. Acesso em 12 de julho de 2016.

NASA, National Aeronautics and Space Administration. **The CGRO Mission (1991 - 2000)** disponível em: <<https://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/cgro/index.html>>, acesso em: 14 de novembro de 2016.

NÚCLEO de Astronomia Centro de ciência viva do Algarve. **Astronomia Online – Marte**, disponível em: <http://www.ccvalg.pt/astronomia/sistema_solar/marte.htm>. Acesso em: 23 de julho de 2016.

OLIVEIRA, K; SARAIVA, M.F. **Astronomia Antiga**. Disponível em: <<http://astro.if.ufrgs.br/antiga/>> acesso em: 12 de agosto de 2016.

OLIVEIRA, K; SARAIVA, M.F. **Espectroscopia**. Disponível em: <<http://astro.if.ufrgs.br/rad/espec/espec.htm>>. Acesso em: 26 de novembro de 2016.

OLIVEIRA, K; SARAIVA, M.F. **Movimento Anual do Sol e as Estações do Ano**. Disponível em <<http://astro.if.ufrgs.br/tempo/mas.htm>>. Acesso em: 23 de setembro de 2016.

OLIVEIRA, K; SARAIVA, M.F. **Movimento dos Planetas**. Disponível em <<http://astro.if.ufrgs.br/p1/>>. Acesso em: 25 de setembro de 2016.

PENA, R. F. A. **Camadas da Atmosfera**. Disponível em <<http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/geografia/camadas-atmosfera.htm>> acesso em: 05 de março de 2017.

REGINALDO, C.C; SHEID, N. J; GÜLLICH, R.I.C. **O Ensino de Ciências e a Experimentação**. IX ANPED Sul, 2012. Artigo disponível em <<http://www.ucs.br/etc/conferencias/index.php/anpedsul/9anpedsul/paper/viewFile/2782/286>>. Acesso em: 10 abril de 2017.

ROTTNER, R. M. **Making the Invisible Visible: A History of the Spitzer Infrared Telescope Facility (1971–2003)**. NASA, National Aeronautics and Space Administration. Disponível em: <https://www.nasa.gov/connect/ebooks/making_the_invisible_visible_detail.html> acesso em: 18 de junho de 2017.

SALT Foundation - **The Southern African Large Telescope – SALT** disponível em <<https://www.salt.ac.za/>>. Acesso em: 11 de novembro de 2016.

SAMOS, Aristarco de. **Sobre os tamanhos e as distâncias do Sol e da Lua**, traduzido e editado por Rubens E. G. Machado, Santiago, 2016, disponível em <<https://archive.org/details/AristarcoDeSamosTamanhosDistanciasSolLua>>. Acesso em: 12 de novembro de 2016.

SILVEIRA, F. L. **Como Eratóstenes mediu 7° entre Assuã e Alexandria para achar a circunferência da Terra?** CREF - Centro de Referência para o Ensino de Física, UFRGS, 2015. Disponível em: <<https://www.if.ufrgs.br/cref/?area=questions&id=1016>>. Acesso em: 11 de outubro de 2016.

W. M. KECK OBSERVATORY. **About Keck Observatory** – disponível em <<http://www.keckobservatory.org/about>>. Acesso em: 12 de novembro de 2016.

YODER. C. F; KONOPLIV. A. S; YUAN D. N; STANDISH. E. M; FOLKNER. W. M. **Fluid Core Size of Mars from Detection of the Solar Tide**, publicado na revista Science de 11 abril de 2003: Vol. 300, pp. 299-303 disponível em: <<http://science.sciencemag.org/content/300/5617/299.full>>. Acesso em: 12 de março de 2017.

8. APÊNDICES E ANEXOS

APÊNDICE A – APORTE TEÓRICO DE ASTRONOMIA

Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Física – MNPEF – Polo UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina.

Apêndice integrante da dissertação de mestrado cujo título é: “Da Astronomia básica à Astrofísica: um curso para Ensino Médio”, desenvolvida pelo mestrando Evandro Luis da Cunha sob Orientação do professor Dr. Gerson Renzetti Ouriques.

INTRODUÇÃO

O livro-texto a seguir é baseado principalmente no livro *Astronomia e Astrofísica* dos autores Kepler de Souza Oliveira Filho e Maria de Fátima Oliveira Saraiva, publicado em 2014 pela LF Editorial e distribuído a todas as escolas participantes da Olimpíada Brasileira de Astronomia - OBA, no ano de 2014. Buscando trazer esses conteúdos de forma mais acessível, de forma resumida e sem a presença de cálculos complexos. Além do livro base, foi realizada uma ampla pesquisa em vários outros livros, citados na bibliografia, sítios na internet e vídeo-documentários sobre o tema.

O presente material é de livre acesso ao público, desde que não tenha fins comerciais, pois busca uma maneira de divulgar Astronomia de forma prazerosa e elucidativa. Em tempo, o material será atualizado periodicamente, portanto podem haver pequenas discrepâncias entre o que foi descrito nesse trabalho e a última versão disponível. A versão original estará disponível em PDF na biblioteca central da UFSC – Florianópolis, bem como a versão impressa.

A.1. EVOLUÇÃO DA ASTRONOMIA

Muitos são os pesquisadores que acreditam que a Astronomia é a precursora de todas as ciências, pois especulações sobre o céu já faziam parte dos humanos pré-históricos. Os registros mais antigos datam de cerca de 3000 AEC¹ em escritos de chineses, egípcios, babilônios e assírios. Eles estudavam os céus para prever, ou tentar prever como ocorria a passagem do tempo, assim podendo determinar a melhor época

¹ AEC: Antes da Era Comum: Período que antecede o início do calendário gregoriano.

para plantar e colher, pois um plantio em uma época errada poderia arruinar toda a produção e até mesmo dificultar sua sobrevivência.

Nessa época, perceberam também que havia um ciclo repetitivo dos períodos de frio, períodos de chuvas, períodos de calor, períodos de secas, períodos de frutas, períodos de flores e relacionaram isso com as estrelas que estavam dispostas no céu, nessa época.

Como por exemplo, na primavera do hemisfério norte, quando aparecia a constelação Virgem (figura 1) era época de preparar a terra, semear e ficar atento às inundações;

Havia também muito misticismo sobre os fenômenos naturais que ocorriam na época, então de certa forma, pode-se dizer que a Astronomia também fora usada para prever o futuro, além de catástrofes e maus aouros.

Figura 1: Constelação de Virgem, época de plantio. A linha vermelha na figura representa a eclíptica, ou seja, a linha que representa o plano do Sistema Solar.



Fonte: Software *Stellarium*®

Já quando aparecia a constelação de Órion (figura 2) era a época de colheitas e preparações para o frio que estava por vir.

Figura 2: Constelação de Órion: época de colheitas e preparações para o frio que estava por vir.



Fonte: Software *Stellarium*®

A.1.1 PRIMEIROS ASTRÔNOMOS

Os Chineses, muitos séculos antes da Era Comum (cerca de 700 AEC), já utilizavam o calendário de 365 dias, tinham anotações precisas sobre cometas, meteoros e meteoritos, assim como estrelas. Há cerca de mil anos atrás fizeram a observação de um tipo de estrela, que chamamos hoje de “supernova”, a qual falaremos no apêndice A5.3.

Uma maneira de contar o tempo está registrada em Stonehenge (figura 3), na Inglaterra, que foi construído por volta de 3000 AEC a 1500 AEC, tem pedras alinhadas com os solstícios.

Figura 3: Stonehenge, Inglaterra



Fonte: http://cdn.history.com/sites/2/2015/04/hith-stonehenge-superhenge-iStock_000012937253Large-E.jpeg, acesso em 13/12/2015.

Os maias, na América Central, também já conheciam o céu e tinham conhecimento sobre vários fenômenos celestes como os eclipses. Eles também fizeram vários registros sobre as posições de vênus. Também existem sugestões das orientações das Plêiades na antiga cidade de Teotihuacan, que hoje fica a 48 km da Cidade do México. Em outras regiões próximas, como Cabalito Blanco há evidências que sugerem o conhecimento dos solstícios e também há referências à estrela Sirius. Já em Uaxactun existe até um observatório solar

Outros povos, como os babilônios e Egípcios deixaram muitos registros históricos que possibilitaram uma boa compreensão do conhecimento astronômico possuído por eles. Como era de se esperar, a maioria dos fenômenos eram atribuídos a deuses e a mitologia, ou seja, a suas crenças religiosas.

Foi na Grécia, o ápice da ciência antiga, por volta de 600 AEC a 400 EC² e deles veio o conceito de esfera celeste, uma esfera na qual a Terra está no centro, e ao seu redor estão as estrelas incrustadas. Como eles não conheciam a rotação da Terra, eles atribuíam o dia e a noite ao movimento rotacional dessa esfera. Muitos outros conceitos importantes são dessa época, tais como os conceitos de linha do horizonte, como sendo a distância máxima da Terra que podemos ver de onde estamos. O conceito de zênite, que é o ponto onde uma linha vertical intercepta a esfera celeste, ou seja, é o ponto sobre a cabeça do observador; o conceito de nadir, que é o local oposto ao zênite, ou seja, diretamente para o centro da terra a partir do ponto onde o observador se encontra; o conceito de equador celeste, que nada mais do que o prolongamento da linha do equador até a esfera celeste; e os polos norte e sul celestes, que são pontos onde o eixo de rotação da Terra interceptam a esfera celeste.

Nessa época, muitas pessoas acreditavam que o planeta Terra era plano, embora muitos também duvidassem disso, principalmente pessoas com um nível de abstração maior, pois um simples observar de embarcações no horizonte já confirmava que a terra era arredondada.

Atribui-se a Eratóstenes de Cirene (276 AEC., 194 AEC.) a realização de um experimento que permitiu calcular o raio e o diâmetro da Terra. Eratóstenes foi um brilhante matemático, geógrafo, poeta, gramático e astrônomo da Grécia antiga e seu trabalho de calcular o raio da Terra consistiu no seguinte: Como ele era o responsável pela biblioteca de Alexandria, certa feita, ele encontrou um documento onde havia a menção que em determinado dia do ano, na cidade de Syene, no antigo

² EC: Era Comum. Período que mede o tempo a partir do ano primeiro no calendário gregoriano.

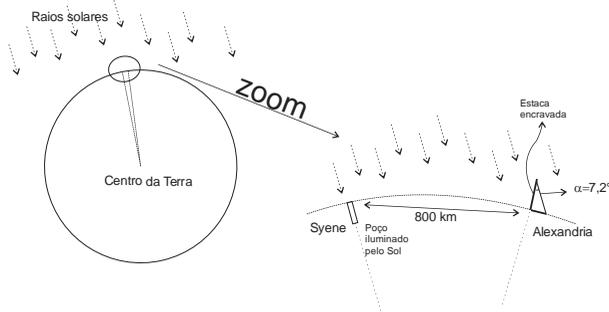
Egito, um poço não produzia sombra em seu fundo, ou seja, se uma estaca fosse encravada no solo, ela não teria sombra alguma, pois o Sol estaria no zênite. Isso ocorre por Syene estar localizada praticamente sobre o trópico de Câncer, portanto somente no solstício de verão, o Sol conseguiria iluminar o fundo do poço.

Seguindo o raciocínio, caso a Terra fosse plana, nesse mesmo dia e horário, em Alexandria, uma vareta verticalmente em pé não deveria produzir sombra alguma também. Realizando experimento, ele percebeu que havia uma inclinação de $7,2^\circ$ da sombra para a vareta vertical. Concluiu com isso que a Terra deveria ser esférica, e mais ainda, quanto menor fosse o raio de curvatura da Terra, maior seria o ângulo formado.

O cálculo percebido por ele não relacionava o valor em graus, mas sim em proporções de tamanhos, ou seja, ao meio dia do dia de um Solstício de verão em Alexandria uma estaca encravada no solo produz uma sombra 8 vezes menor que o tamanho da própria estaca, o que equivale a um ângulo 50 vezes menor que o ângulo de uma circunferência completa, ou seja, aproximadamente $7,2^\circ$.

Alexandre, o grande, rei da época, já havia ordenado que seu império fosse medido. Assim, um povo agrimensor da época, que mediam distâncias contando seus passos, já haviam medido que a distância entre Syene e Alexandria era de 5000 estádios, equivalente a cerca de 800 km atuais. Usando matemática básica, Eratóstenes calculou que a Terra era esférica com perímetro que equivale a aproximadamente 40 000 km. O feito pode ser observado na figura 4.

Figura 4: Ideia utilizada por Eratóstenes para calcular o raio da Terra.



Fonte: Desenho próprio

O cálculo atualizado com conversões conhecidas por nós, pode ser observado a seguir. Uma volta completa, equivale a 360° , assim como $7,2^\circ$ equivalem a 800 km. Usando uma regra de proporção, podemos

facilmente calcular o perímetro (P) da Terra, conforme podemos ver na equação 01.

Equação 1: Regra de três usada para calcular o perímetro da circunferência da Terra.

$$\frac{P}{360^\circ} = \frac{800 \text{ km}}{7,2^\circ} \quad (01)$$

Resolvendo a equação acima, encontramos o perímetro de aproximadamente 40 000 km. Sendo o perímetro dado pela equação 02, calculamos o raio (R) em aproximadamente 6369 km.

Equação 2: Equação que relaciona o perímetro de uma circunferência com seu raio.

$$P = 2\pi R \quad (02)$$

Com base nessa equação podemos perceber que o valor encontrado por Eratóstenes foi muito próximo do valor real médio, à linha do equador, que hoje conhecemos como sendo aproximadamente 6378 km.

Nessa época, muitos estudiosos da época dedicaram-se também a outros cálculos relevantes para nós aqui, tais como a distância entre a Terra e a Lua, e a distância entre a Terra e o Sol.

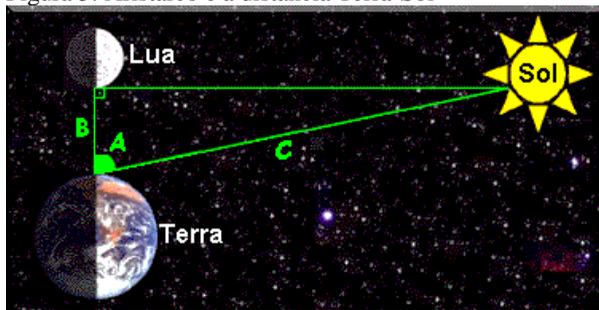
Aristarco de Samos (310-230 AEC) foi um astrônomo e matemático que viveu na mesma época de Eratóstenes e foi um dos primeiros sábios a calcular o valor da distância entre a Terra e a lua e entre a Terra e o Sol. Seu trabalho foi publicado em sua obra: *Sobre os tamanhos e distâncias entre o Sol e a Lua*.

Aristarco teve o pensamento lógico correto, porém utilizando-se de dados imprecisos, não chegou a resultados que consideramos corretos atualmente. Ele foi o primeiro a defender uma teoria diferente para a época, a teoria heliocêntrica, colocava o Sol no centro de tudo e os planetas girando ao redor. A coerência em seu pensamento ainda hoje é admirável. Baseando-se na sombra projetada durante um eclipse, Aristarco deduziu que o Sol estaria 20 vezes mais distante da Terra do que a Lua e que ela era 3 vezes menor que a Terra. Hoje sabemos que o Sol se encontra de nós 400 vezes mais distante que a Lua e que ela é aproximadamente 3,67 vezes menor que a Terra.

Ele sabia que quando a Lua exibia um quarto iluminada (crescente ou minguante) havia a possibilidade de desenhar um triângulo retângulo.

Já sendo conhecida a distância Terra-Lua (linha B – figura 5), ele pode determinar a distância Terra-Sol (linha C – figura 5).

Figura 5: Aristarco e a distância Terra-Sol

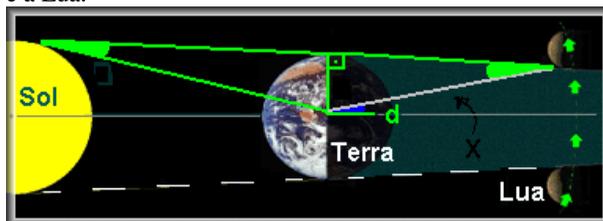


Fonte: Costa, J. R. V. Aristarco de Samos e a distância Terra-Sol. *Astronomia no Zênite*, jul. 2000. Disponível em: <http://www.zenite.nu/aristarco-de-samos-e-a-distancia-terra-sol/>

Hoje, o valor aceito para essa distância é de aproximadamente 150 000 000 km, distância essa, conhecida como uma Unidade Astronômica (UA).

Um dos valores precisos que foi obtido na Grécia antiga, é creditado a Hiparco (Hipparchus 190-120 AEC). Ele usando trigonometria, estimou essa distância entre a Terra e a Lua com um erro percentual de aproximadamente 7%. Ele imaginou 2 triângulos retângulos, em um eclipse Lunar, um entre o sol e a Terra e o outro entre a Lua e a Terra, vide figura 06.

Figura 6: Sistema imaginado por Hiparco para calcular a distância entre a Terra e a Lua.



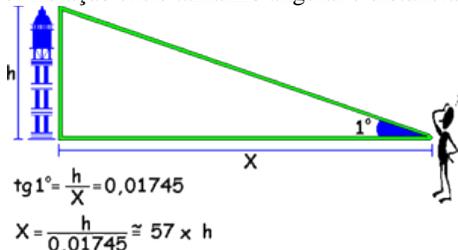
Fonte: Costa, J. R. V. Aristarco de Samos e a distância Terra-Sol. *Astronomia no Zênite*, jul. 2000. Disponível em <http://www.zenite.nu/hiparco-e-a-distancia-da-lua/>

Com isso ele estabeleceu uma relação entre os ângulos e a velocidade de translação da lua em torno da Terra e pode determinar a distância entre a Terra e a Lua como sendo algo entre 59 e 67 vezes o raio terrestre. Hoje sabemos que o valor mais preciso fica entre 57 e 64 vezes, cujo valor médio de 384 400 km. Essa distância depende da posição relativa entre os dois corpos.

Já para efetuar o cálculo do tamanho da Lua, provavelmente foi utilizado o conceito da tangente, da trigonometria básica, que já havia sido desenvolvido no século V a VI AEC pelos egípcios e babilônios.

Nas observações lunares, quando ela está completamente visível (cheia), ela é vista sob ângulo de 31 minutos de arco, ou seja, aproximadamente meio grau. Sabemos que qualquer objeto que se encontra sob tamanho angular de 1 grau, está afastado cerca de 57 vezes seu tamanho de nós conforme podemos perceber na figura 07, dessa forma, podemos deduzir facilmente que ela está afastada 114,5 vezes seu diâmetro.

Figura 7: Relação entre tamanho angular e distância



Fonte: Costa, J. R. V. Aristarco de Samos e a distância Terra-Sol. *Astronomia no Zênite*, jul. 2000. Disponível em <http://www.zenite.nu/aristarco-de-samos-e-a-distancia-terra-sol/>

Como já fora determinado o valor da distância entre a Terra e a Lua, facilmente pode-se calcular seu diâmetro, seu volume, etc.

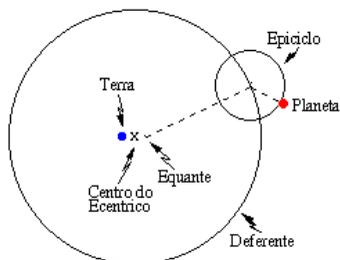
Em meio a inúmeras discussões de como o céu era formado e regido, foram duas teorias que surgiram aproximadamente no mesmo período, que competiram entre si. A teoria do geocentrismo e a teoria do heliocentrismo.

A.1.2. MODELO GEOCÊNTRICO

O modelo geocêntrico é o mais antigo modelo cosmológico. Muitos filósofos gregos famosos como Aristóteles (384-322 a.C.) e Ptolomeu (90 d.C., 168 d.C.), defendiam esse modelo. Como nessa época não havia distinção em Astronomia e astrologia, a ciência mesclava-se com o misticismo. Na visão de Aristóteles o universo era finito e limitado por uma esfera celeste sobre a qual estavam dispostas as estrelas fixas (essas estrelas eram chamadas de fixas pois ele não observava movimento algum de umas em relação às outras). O Sol, a Lua, os planetas Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno, por terem um movimento observável, estariam dispostos em outras esferas concêntricas. A Terra estaria em repouso absoluto nesse centro comum. Essa ideia básica não veio diretamente de Aristóteles, mas sim de Platão e provavelmente devido Aristóteles ter sido aluno na Academia de Platão ele incorporou a ideia. Os detalhes geométricos das organizações das esferas, foram desenvolvidos por Eudoxo que, como Aristóteles, frequentara a mesma academia.

Foi Ptolomeu quem construiu o modelo geocêntrico mais completo e eficiente, em relação aos dados observados e registrados na época. Ele construiu e explicou o movimento planetário através de combinações de vários círculos. Nesses círculos, temos o que ele chamou de “epiciclos”, que são os círculos descritos pelo planeta em torno de um círculo maior que é chamado de “deferente”. A Terra não fica exatamente no centro do deferente. Esse leve deslocamento consegue explicar o retrocesso observável dos planetas. Ptolomeu introduziu ainda o equante, que é um ponto ao lado do centro do deferente oposto à posição da Terra, em relação ao qual o centro do epiciclo se move a uma taxa uniforme, conforme podemos analisar na figura 08.

Figura 8: Teoria do Geocentrismo – Componentes do sistema Ptolomaico.

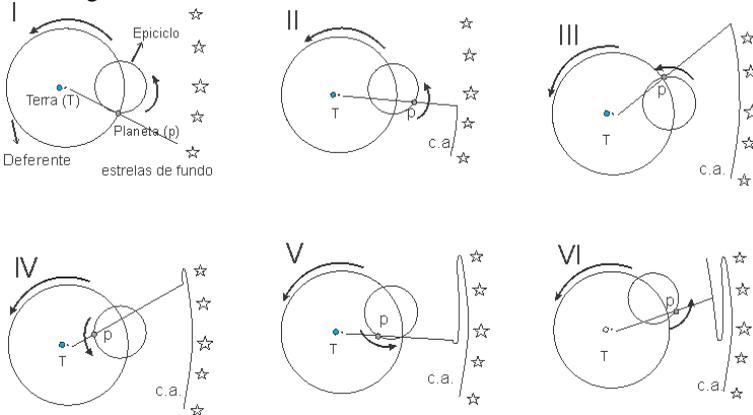


Fonte: <http://astro.if.ufrgs.br/p1/eq.gif>

Dessa forma, eles conseguiam explicar o movimento retrógrado sofrido por um planeta que estava sendo observado no decorrer dos meses, em relação às estrelas de fundo. A figura 8, explica o movimento aparente do planeta, baseado na teoria dos epiciclos de Ptolomeu.

Na figura 9I, percebemos a Terra no quase-centro, um planeta P com uma estrela de fundo. Conforme passam os dias, o planeta parece “caminhar” por entre as estrelas (9II, 9III, 9IV, 9V, 9VI) realizando uma trajetória que chamamos de “caminho aparente (c.a.)”. Ao mesmo tempo que o planeta vai girando pelo epiciclo, adotado aleatoriamente no sentido anti-horário, enquanto o próprio epiciclo percorre seu caminho no deferente. Isso faz com que o plano de fundo estelar mude, tanto que devido a isso, o que nós chamamos de planetas, ficaram conhecidos como estrelas errantes na época. Como podemos observar, a linha reta traçada entre a Terra e o plano de fundo estelar, passando pelo planeta, consegue explicar razoavelmente bem o complexo sistema de movimento retrógrado que ocorria de tempos em tempos na trajetória aparente de um planeta no céu.

Figura 9: Trajetória aparente de um planeta utilizando como explicação o sistema geocêntrico Ptolomaico



Fonte: Desenho próprio, aperfeiçoado de <http://astro.if.ufrgs.br/p1/epicycle-move.gif>

Após essa época, devido a um aumento da influência da igreja e por esse sistema ser uma ideia que privilegia a criação por algum ser divino, devido a perfeição de um sistema esférico, a ciência, como um

todo, estagnou por um período conhecido como Idade Média ou ainda Idade das Trevas³, que perdurou até o século XVI.

A.1.3. MODELO HELIOCÊNTRICO E NICOLAU COPÉRNICO

O sistema heliocêntrico, foi um sistema criado pelo filósofo Aristarco de Samos (310 AEC a 230 AEC.), na mesma época do sistema geocêntrico. Nesse modelo, o que ocorre é que a Terra deixa de ser o centro do universo e ele passa a utilizar o Sol como o centro de tudo. Como na época acreditava-se em um cosmos perfeito, criado por alguma divindade, portanto prevaleceu o sistema na qual a Terra era o centro de tudo.

O sistema heliocêntrico ficou esquecido até ser resgatado pelo astrônomo polonês Nicolau Copérnico (1473 – 1543) um astrônomo e matemático polonês que aperfeiçoou a teoria heliocêntrica, no final da Idade Média.

Nesse período, ocorria na história o chamado Renascimento, e na área da Astronomia, o principal nome do dessa fase é Nicolau Copérnico. Ele estudou Direito, Medicina, Astronomia e Matemática, e tinha grande apreço por suas ferramentas de observação, que inclusive eram construídas por ele próprio.

Suas ideias foram publicadas em um livro chamado *De Revolutionibus* cuja tradução seria “As Revoluções”, publicação essa ocorrida em 1540. Copérnico só viu sua obra em 1543, já no leito de morte.

Sua contribuição mais importante para a Astronomia foi a ideia que a Terra é apenas um dos seis planetas conhecidos na época, ou seja, Mercúrio, Vênus, Terra, Marte, Júpiter e Saturno. Copérnico defendeu que a Terra realizava uma revolução em torno do Sol como qualquer outro planeta, baseando-se nas ideias de Pitágoras e Aristarco de Samos. Ele utilizou para tanto, a matemática sem epiciclos e deferentes, e seu sistema funcionava tão bem quanto o sistema geocêntrico para prever as posições dos planetas no céu, porém era muito mais simples que o sistema antigo.

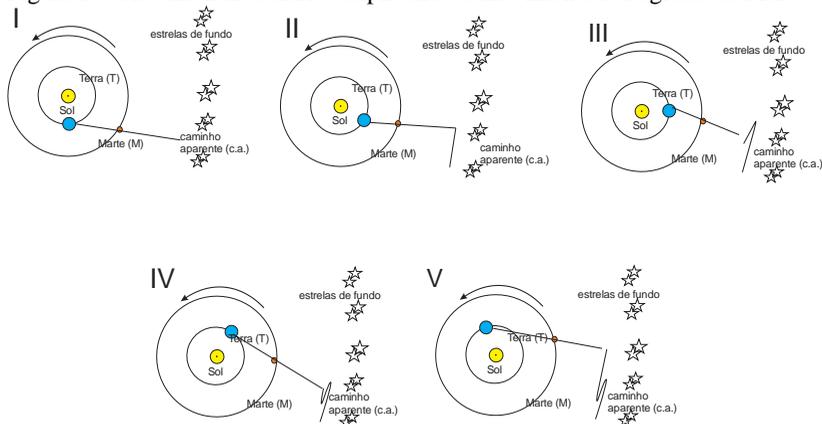
Com observações ele calculou razões de distâncias entre os planetas e o Sol, obtendo com isso, uma das primeiras medições de distância entre a Terra e o Sol.

No sistema heliocêntrico, o movimento retrógrado observado nos planetas, quando os olhamos daqui da Terra, pode ser facilmente

³ Termo em desuso, por desqualificar avanços na arquitetura e na cultura desse período no qual houveram poucos avanços científicos.

explicado. Com órbitas circulares e colocando o Sol no centro, o sistema se encaixava com a prática observacional, conforme podemos ver na figura 10.

Figura 10: Sistema heliocêntrico explicando o movimento retrógrado de Marte.



Fonte: Fonte: Desenho próprio, aperfeiçoado de <http://astro.if.ufrgs.br/p1/epicycle-move.gif>

Pode-se observar que quando o planeta Terra ultrapassa Marte, esse parece retornar em relação as estrelas de fundo, para posteriormente avançar, em relação as mesmas estrelas.

A.1.4 TYCHO BRAHE

Apenas 3 anos após a morte de Nicolau Copérnico, nascia Tycho Brahe em 14 de dezembro de 1546, um astrônomo dinamarquês, filho de uma família nobre da Dinamarca. Tycho Brahe foi estudar direito e filosofia aos 13 anos de idade na Universidade de Copenhague e nessa época havia a previsão de ocorrer um eclipse parcial do Sol, que foi aguardado e aconteceu com exatidão em relação a previsão. O jovem Brahe ficou fascinado com isso, tanto que aos 16 anos, quando foi enviado a Alemanha para continuar seus estudos, ele usava parte do dinheiro para comprar livros e instrumentos de Astronomia e em virtude disso passava horas e horas observando o céu noturno.

Ele conseguiu ter acesso às publicações do rei Afonso X de 1256, que havia convocado 50 astrônomos para revisar as tabelas astronômicas de Ptolomeu. Essas tabelas prediziam que iria ocorrer uma aproximação angular entre Júpiter e Saturno, porém os dados estavam errados em mais

de um mês. O sistema de Copérnico também errou, mas por alguns dias. Então ele decidiu observar e anotar os dados com maior precisão para melhorar o sistema de previsão. Brahe em 1572 fez uma observação interessante. Ele percebeu que uma estrela muito brilhante surgiu na constelação de Cassiopeia e durou por 18 meses antes de sumir, o que ele não sabia é que ele foi um dos primeiros a registrar uma supernova.

Com seus cálculos ele determinou que essa estrela deveria estar na “esfera estelar” e não na “esfera dos planetas”. Isso se tornou desconfortante, pois, lembrando que, ele acreditando no geocentrismo, concordava que havia uma esfera celeste encrustada de estrelas e esferas mais centrais onde estavam os planetas, tudo regido por algum tipo de perfeição divina, que não abria espaços para “falhas do sistema”. Em 1575 ele já estava famoso em toda a Europa, então o rei Frederick II, da Dinamarca, que havia sido salvo por seu tio, ofereceu-lhe uma ilha inteira além de súditos um observatório particular nesta ilha.

Dessa forma, foi construído para ele um castelo, com vários instrumentos de medição em Astronomia. Com suas observações, a precisão dos dados aumentou de 10 minutos de arco (Ptolomeu) para 1 minuto de arco. Em 1588 ele publicou um livro no qual demonstrou que um cometa se movia entre as esferas celestes, portanto quebrando a concepção que o céu era imutável e que as esferas cristalinas eram entes físicos reais.

Ele chegou a propor um modelo celeste, no qual todos os planetas giravam ao redor do Sol, com exceção à Terra. O Sol e a Lua, em seu modelo giravam em torno da Terra. Isso contentava a igreja católica na época, evitando problemas.

Devido ao falecimento do rei, em 1588 assume seu sucessor Christian IV, do qual não existia afeto a Brahe. Com cortes de orçamento, e restrições, em 1597 Tycho deixou a Dinamarca com todos seus equipamentos dirigindo-se para Praga, onde o imperador Rudolph II o nomeou matemático imperial. Em 1600, Brahe contratou um jovem auxiliar, chamado de Johannes Kepler e em 1601 Tycho Brahe veio a falecer, deixando todos seus manuscritos para Kepler.

A.1.5 JOHANNES KEPLER

Johannes Kepler nasceu em 27 de dezembro de 1571, no sul da Alemanha. Sua família não tinha muito dinheiro e, portanto, Kepler foi enviado ao seminário para estudar. Em 1588 ele passou para a Universidade de Tübingen e em 1591 foi aprovado para o mestrado em

Artes, que na época envolvia teologia, grego, hebreu, Astronomia e Física.

Em 1597 Kepler publica seu primeiro livro, cujo título resumido é “Mistérios do Universo”, no qual ele defende a ideia do heliocentrismo copernicano. Nele ele propunha que poliedros eram circunscritos nas órbitas anteriores. Ele enviou um exemplar para Tycho Brahe, que respondeu dizendo que esse modelo não correspondia as medidas observacionais que ele havia feito. Kepler enviou também um exemplar de seu livro a Galileu Galilei, que respondeu agradecendo e que ainda não o havia lido, porém era apoiador da teoria de Copérnico.

Nessa época ocorria a reforma protestante na Europa e o arquiduque da Áustria mandou fechar todas as escolas e igrejas protestantes, uma delas era a qual Kepler trabalhava. Em janeiro de 1600, Kepler visitou o castelo onde Brahe estava morando, em Praga, com intenção de obter seus dados para tentar ajustar sua teoria. Após conhecer Kepler pessoalmente, Brahe o apresenta ao imperador Rudolph II e este o contrata como assistente pessoal de Brahe, e assim, portanto, agora Kepler trabalhando com Brahe poderia obter os dados que precisava. Porém após somente um ano dele no novo cargo, seu mestre, Tycho veio a falecer deixando a ele todos seus manuscritos, e por determinação do rei, assume também o cargo de matemático imperial.

Kepler começou a estudar a órbita de Marte, porém havia problemas em tentar ajustar a curva da circunferência aos dados observacionais de Brahe. Como os dados tinham precisão de 1 minuto de arco e o erro da curva era de 8 minutos, Kepler sabia que Tycho jamais cometeria um erro tão grande (pois foi o melhor astrônomo observacional que já existiu), assim ele fez várias tentativas até que percebeu que deveria abandonar a ideia de círculos e para sua surpresa, as elipses encaixavam perfeitamente com todos os dados obtidos.

Kepler publicou esses resultados no livro “Astronomia Nova”, em 1609. Pouco antes, em 1604 ele também publicara outro livro, que tratava de óptica, explicando a câmara escura, o funcionamento do olho, aproximações para a lei da refração, eclipses, entre outras ideias. Nessa época, em 1610, Kepler leu o livro de Galileu, o qual ele relatava o uso do telescópio. Então, após ter o seu, ele o usou pela primeira vez para observação de Júpiter e com isso pode realizar uma publicação na qual citava a observação das suas quatro luas. Esse trabalho deu um grande suporte a Galileu que estava com dificuldades devido suas descobertas que eram negadas pela igreja. Kepler faleceu em 15 de novembro de 1630.

A.1.5 GALILEU GALILEI

Galileu nasceu em 15 de fevereiro de 1554, na Itália, foi físico, matemático, astrônomo e filósofo. Ele, além de cientista era um grande inventor. Entre suas descobertas, inventou um termoscópio, uma espécie de termômetro, inventou um equipamento para medir a densidade dos corpos, inventou um tipo de compasso geométrico militar, uma bomba de água movida a cavalos, entre muitas outras invenções.

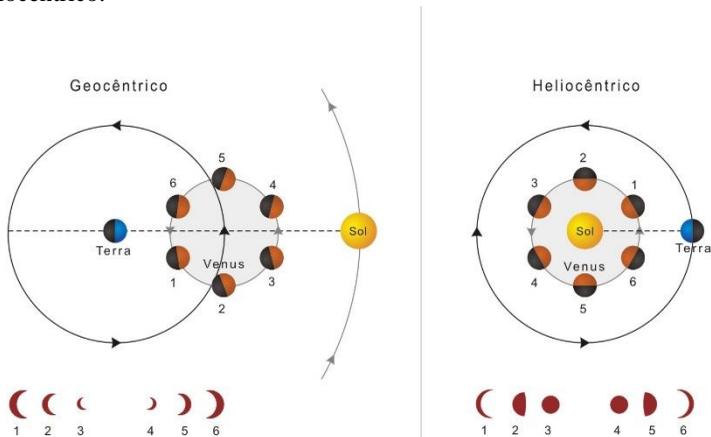
Em 1609 ele ficou sabendo que um holandês havia construído um aparelho para olhar a distância usando lentes, e ele prontamente construiu a sua, sem nunca ter visto como era. Sua primeira luneta tinha um fator de ampliação de 3 vezes. Construiu diversas depois da primeira, conseguindo ampliações de até 30 vezes e com elas observou a lua e os planetas.

Ele foi um dos principais nomes da revolução científica, um período no qual a ciência desatrela-se da teologia e com isso proporciona um avanço incontestável na humanidade. Em 1610 ele descobre os satélites de Júpiter, e logo publica sua obra *Siderius Nuncius*, que significa Mensagem Celeste, em tradução. Essa descoberta contrariava as ideias de Aristóteles pois existiam corpos que circundavam outros, que não a Terra. Mais tarde esse livro entrou para a lista de livros proibidos pela igreja, por contradizer o que está na bíblia sagrada aos cristãos.

Em 1610 Galileu envia uma cópia de seu livro a Kepler com um pedido de uma opinião sua sobre o proposto nele. Logo Kepler responde, através de uma carta, dando suporte às descobertas de Galileu. Na época, grandes autoridades científicas duvidavam de suas observações, e a mensagem de Kepler, juntamente com sua publicação foram um excelente auxílio para Galileu.

Ainda em 1610 Galileu observa que o planeta Vênus possui fases (figura 11). O formato das fases dependeria da teoria aceita, ou seja, se a teoria geocêntrica fosse coerente, as imagens do planeta Vênus deveriam ser iguais a observada em 1, 2, 3, 4, 5 e 6 do lado esquerdo, já se a teoria heliocêntrica fosse coerente, as imagens de vênus deveriam ser as vistas em 1, 2, 3, 4, 5 e 6 do lado direito. Obviamente ele viu exatamente as fases indicadas na figura a direita e isso comprovava a teoria heliocêntrica, e possibilitou argumentar para que a teoria geocêntrica fosse derrubada, ou pelo menos deveria ter sido. Galileu, em 1613 publica um livro no qual argumentava que existia rotação do Sol, concluindo isso através de observações de manchas solares.

Figura 11: As fases de Vênus produzidas pelo Sistema Geocêntrico e pelo Sistema Heliocêntrico.



Fonte: <http://astro.if.ufrgs.br/movplan2/movplan2.htm>

Como Galileu escrevia em italiano, suas publicações se tornavam acessíveis à população e com isso a Inquisição começou a se desagradar do fato. Dessa forma, após uma análise de seu livro, a Inquisição, organizada pela igreja Católica, lhe chama a atenção com a advertência de parar de difundir as ideias do heliocentrismo e com isso coloca também o livro de Copérnico na lista dos livros proibidos.

Em 1623 houve a troca do Papa e quem assumiu foi um cardeal que era amigo pessoal de Galileu. Depois de diversas reuniões, eles conseguiram retirar a proibição de estudar o heliocentrismo, mas com obrigatoriedade de ser tratado apenas como uma hipótese matemática e não um modelo cosmológico.

Um ano após isso, Galileu inventou o microscópio, e em 1630 ele publica o livro “Diálogo dos dois Mundos” com autorização do Vaticano, no qual tratava do movimento de rotação e translação da Terra, mostrando que o sistema de Copérnico explica os fenômenos celestes, como as fases de Vênus. O livro é publicado em italiano e não traz desenvolvimento dos cálculos matemáticos, quebrando a ordem recebida de publicar “apenas hipóteses matemáticas”. O livro vira sucesso logo e com isso Galileu é chamado a depor perante a Inquisição.

Em Roma, Galileu é julgado e condenado por heresia e sentenciado a prisão perpétua. Para escapar, Galileu, aos 70 anos nega suas conclusões e tem sua pena revertida para prisão domiciliar, onde permaneceu até sua

morte em 1642. No ano de 1992 a igreja católica se retratou e reconheceu o erro cometido.

A.1.5 ISAAC NEWTON

Isaac Newton nasceu em Woolsthorpe, Inglaterra, em 4 de janeiro de 1643. Teve uma infância difícil, e foi estudar no Trinity College, em Cambridge. Seu objetivo era estudar direito, porém estudou filosofia, álgebra e geometria, mecânica da Astronomia em livros de Galileu, Kepler e Copérnico.

Em 1665, devido uma epidemia na cidade, onde milhares de pessoas morreram, ele retorna a sua cidade natal e é aí que alguns de seus maiores trabalhos são realizados. Ele estuda óptica e desenvolve o cálculo integral e diferencial muitos anos antes de Leibniz (Gottfried Leibniz, 1646 – 1716).

Newton retorna à universidade e logo assume a cadeira de professor Lucasiano, por indicação do professor antigo e seu amigo Isaac Barrow (1630 – 1677). Observando a luz ele percebe que a luz branca é formada por diversas cores, analisando o espectro da luz ao passar por um prisma de vidro. Newton sugere a construção de um telescópio refletor. Os espelhos produzidos na época produziam imagens imperfeitas e com muita aberração esférica, mas mesmo assim, seu telescópio fornecia imagem 9 vezes maior em um tubo 4 vezes menor em comparação com os refratores.

Após doar um telescópio refletor a Sociedade Real, ele foi eleito membro, em 1672. Newton publica também um trabalho em mecânica celeste, que foi precursora da Teoria da Gravitação Universal, vista em um próximo capítulo. Estudou força centrípeta, leis dos movimentos e muitas outras descobertas.

Em 1684, Edmond Halley visita Newton e um questionamento feito foi sobre o porquê das órbitas planetárias, que ninguém conseguia decifrar como ocorriam. Newton disse que já havia resolvido esse problema, porém nessa mesma época Robert Hooke (da lei de Hooke) também afirmou que já os havia feito, o detalhe é que Hooke nunca conseguiu provar isso. Quando Halley pediu os cálculos de Newton este não encontrou onde os havia guardado, porém afirmou que os faria novamente. Halley, relutante, a princípio não acreditou, mas deu um crédito afirmando que aguardaria a resposta de Newton. Este então os refez e enviou a Halley que impressionado, imediatamente começou a persuadi-lo em publicar.

Newton tinha um temperamento controverso, pois não admitia ser questionado sobre suas ideias, e para que isso não ocorresse ele preferia não publicar, mas finalmente, em 1687 uma das principais obras de todos os tempos, na área da Física foi publicada, (obviamente por insistência de seu amigo Halley). O livro, *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, mais conhecido como *Principia*, retratava a análise do movimento dos corpos sob a ação de forças, lei da gravitação, marés, perturbações gravitacionais entre muitos outros fenômenos que ali estavam explicados.

Em 1693, após um lapso nervoso ele resolve abandonar toda a carreira científica, e torna-se guardião da casa da moeda real. Em 1703 foi eleito presidente da Sociedade Real e foi sempre reeleito até sua morte em 1727.

A.2. DISTÂNCIAS ASTRONÔMICAS

Em Astronomia, devido à enorme distância que separam os astros, a unidade padrão do Sistema Internacional, o metro, se torna ineficiente para ser utilizada. Mesmo o quilômetro, múltiplo que é mil vezes maior que o metro também não é suficientemente prático. Com isso surge a necessidade de novas unidades para medir o céu.

A.2.1 UNIDADES E DISTÂNCIAS

Devido a falta de praticidade em medir distâncias astronômicas, surge a necessidade de uma unidade de medida que consegue dar uma melhor compreensão às imensas distâncias envolvidas. Assim surgiram as unidades astronômicas mais usuais, que são a Unidade Astronômica, ou simplesmente UA, o parsec (pc) e o Ano-Luz (AL).

A distância equivalente a uma unidade astronômica é o valor médio desde o planeta Terra até o Sol, que convertida ao Sistema Internacional de Unidades (SI), equivale a 149 597 870 691 m, que geralmente é arredondado para 150 milhões de quilômetros. Portanto podemos dizer que $1 \text{ UA} = 150\,000\,000 \text{ km}$. Segundo o Escritório Internacional de Pesos e Medidas e o *International Standard ISO 80000*, o símbolo da Unidade Astronômica é UA, porém segundo a União Astronômica Internacional (IAU – International Astronomical Union), o símbolo é AU. Assim, qualquer uma das duas unidades é formalmente aceita e reconhecida.

De acordo com o manual do Inmetro, 1ª Edição Brasileira da 8ª Edição do BIPM, de 2012, página 39, temos que:

“A unidade astronômica é aproximadamente igual à distância média entre a Terra e o Sol. É o raio de uma órbita newtoniana circular não perturbada em redor do Sol de uma partícula de massa infinitesimal, se deslocando a uma velocidade média de 0,017 202 098 95 radianos por dia”.

Portanto podemos dizer que uma UA equivale a 1,495 978 706 91 (6) $\times 10^{11}$ m. Outra unidade comum de ser utilizada em Astronomia é o parsec (pc) que equivale a 206 265 UA ou 3,26 anos-luz, que vamos falar sobre sua origem e dedução posteriormente, no item que se refere a paralaxe estelar.

O Ano-Luz, como a própria nomenclatura sugere, equivale a distância percorrida pela luz, no vácuo, durante 1 ano. Sua relação de conversão é $1 \text{ Ano-Luz} = 9,461 \cdot 10^{15} \text{ m} = 63\,240 \text{ UA}$.

Devido essas distâncias serem muito grandes, fica impossível fazer medições precisas com os instrumentos básicos utilizados em medições terrestres cotidianas, como réguas, trenas, equipamentos laser, entre outros. Assim, a maioria das medições espaciais devem se utilizar de outra forma para obter os valores que necessitamos. Essas medições são todas indiretas, pois não há um objeto físico que as possa aferir, mas sim, ondas eletromagnéticas sendo captadas e analisadas, em seus fenômenos, para que possamos extrair informações que necessitamos.

Por exemplo, para distâncias de até 1 unidade astronômica, podemos utilizar ondas de radar para determinar informações de distância que desejamos, através do fenômeno da reflexão. Para distâncias de até 100 pc devemos utilizar a paralaxe heliocêntrica. Distâncias de até 10 000 pc, usamos a paralaxe espectroscópica e para distâncias superiores utilizamos as estrelas variáveis, também chamadas de cefeidas ou velas-padrão.

A.2.3. PARALAXE ESTELAR

Um artifício interessante para medir distâncias sem precisar se deslocar entre os pontos que precisamos medir, é usar a matemática. Já vimos acima que a trigonometria foi de fundamental importância para cálculos da curvatura da Terra, distância entre a Lua e a Terra e entre o Sol e a Terra.

A paralaxe vem do grego *paralaxis* e significa “mudança” e ela pode ser utilizada para mensurar e atender nossos objetivos. Para entender a paralaxe vamos fazer um pequeno experimento. Devemos escolher um dos dedos da mão e esticar o braço que o contém. Então devemos olhar com apenas um dos olhos e posteriormente trocar, olhando apenas com o outro. Ao fazer isso, percebemos que o fundo logo atrás do dedo escolhido é trocado, ou seja, devido a distância entre nossos olhos, a linha reta formada entre ele e nosso dedo intercepta objetos diferentes, conforme podemos perceber na figura 12.

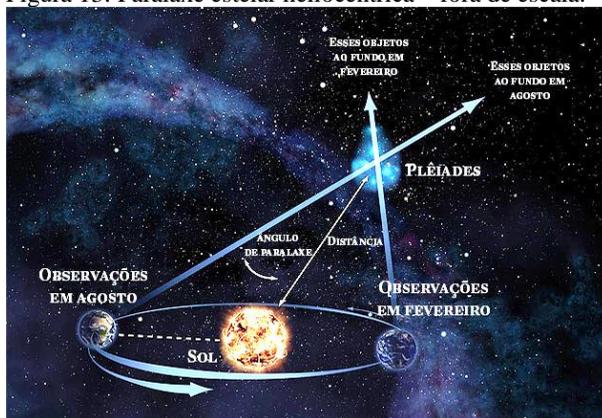
Figura 12: Paralaxe percebida pela troca de posição do dedo em relação aos objetos de fundo.



Fonte: <http://chc.org.br/wp-content/uploads/2014/02/paralaxe.jpg>

Levando a ideia para a Astronomia, se olharmos para duas estrelas que estão a diferentes distâncias, a posição da mais próxima em relação a mais distante, irá mudar no decorrer de um ano. Isso ocorre devido ao movimento de translação da Terra ao redor do Sol, que age como se fosse a separação entre “nossos olhos” no experimento acima mencionado. Esse método é denominado de paralaxe heliocêntrica. Podemos ver isso na figura 13.

Figura 13: Paralaxe estelar heliocêntrica – fora de escala.



Fonte: <http://mensageirosideral.blogfolha.uol.com.br/files/2014/10/pleiades-paralaxe.jpg>

Friedrich Wilhelm Bessel (1784-1846) em 1838, foi a primeira pessoa a realizar a medida de uma paralaxe estelar. Ele analisou a estrela binária 61 Cygni de magnitude 6,0, estimando a paralaxe em $p=0,31\pm 0,1''$, que corresponde a uma distância de aproximadamente 600 mil UA que equivale a 10,4 anos-luz, hoje o valor aceito é cerca de 11,41 anos-luz.

A equação 03 nos fornece a distância “ d ”, em unidades astronômicas (UA), para qualquer objeto com ângulo de paralaxe “ p ”, em radianos, quando essa paralaxe for heliocêntrica.

Equação 3: distância em relação ao ângulo de paralaxe heliocêntrica p

$$d(ua) = \frac{1}{p(rad)} \quad (03)$$

Quando a paralaxe heliocêntrica for exatamente igual a 1 segundo de arco, temos a distância de exatamente 1 parsec (paralaxe second). Ou seja, 1 parsec (pc) vale exatamente 206 265 UA ou 3,26 anos-luz.

No curso, há uma atividade prática para que os alunos compreendam melhor o conceito de paralaxe, cujo roteiro se encontra no apêndice H.

A.2.4. EFEITO DOPPLER PARA A LUZ E TEORIA DA EXPANSÃO DO UNIVERSO

Todos estamos familiarizados com o efeito Doppler do som, pois o percebemos facilmente quando assistimos uma corrida fórmula 1, ou quando uma ambulância se aproxima ou se afasta de nós, um com carro de som de rua, entre outras possibilidades, ou seja, o efeito Doppler é o fenômeno no qual percebemos a frequência com valor diferente àquele que foi emitido pela fonte.

O efeito Doppler foi descrito primeiramente por Johann Christian Andreas Doppler, em 1842. Ele percebeu que o som ficava mais grave quando havia afastamento entre a fonte e o observador e que o som ficava mais agudo quando havia aproximação entre a fonte e o observador.

Então para que ocorra efeito Doppler em ondas sonoras, a fonte ou o observador devem estar em movimento, ou ainda ambos, desde que suas velocidades (vetorial) sejam diferentes.

A equação 04 nos fornece o valor da frequência percebida quando a onda analisada for uma onda sonora. Onde, na equação, f' é a frequência percebida, f é a frequência real emitida pela fonte, v é a velocidade do som no meio, v_o é a velocidade do observador e v_f é a velocidade da fonte. Os sinais + e – devem ser utilizados de acordo com a aproximação ou afastamento entre eles.

Equação 4: Equação do efeito Doppler.

$$f' = f \frac{v \pm v_0}{v \mp v_f} \quad (04)$$

Assim, podemos perceber que a frequência percebida (f') é maior quando houver aproximação entre a fonte e o observador, e f' é menor quando houver afastamento entre os dois.

Como a velocidade da luz (300 000 km/s) é muito maior que a velocidade do som (~0,34 km/s), podemos concluir que para percebermos o efeito Doppler com ela há a necessidade de que o observador ou a fonte estejam com grandes velocidades relativas entre si.

Edwin Hubble teve a brilhante ideia de analisar o espectro da luz de estrelas distantes, inclusive de outras galáxias e ele percebeu que os mesmos elementos que estavam presentes aqui na Terra podiam ser encontrados nessas estrelas, porém com um diferencial. Em quase todas elas, o espectro estava deslocado em direção aos maiores comprimentos de onda. Isso significava que a frequência percebida era menor que a frequência real emitida pelo elemento químico que estava na estrela analisada e com isso, pode-se concluir que essas galáxias estavam todas se afastando de nós.

Ao analisar estrelas da galáxia de Andrômeda, Hubble percebeu que o deslocamento era para o lado oposto, ou seja, para uma frequência maior que a frequência real emitida pelos átomos desse material nessa estrela, ou seja isso significa que a galáxia de Andrômeda estaria vindo em direção a Via-Láctea, a nossa galáxia.

Esse é um dos principais pilares que sustenta a teoria do Big Bang, pois é fácil perceber que, se hoje, todas as galáxias se afastam umas das outras, em milhões de anos atrás elas deveriam estar muito mais próximas, e se tentarmos extrapolar para um início, tudo deveria estar em um único ponto infinitesimal, e com isso tempo e espaço, como conhecemos, não existiam ainda.

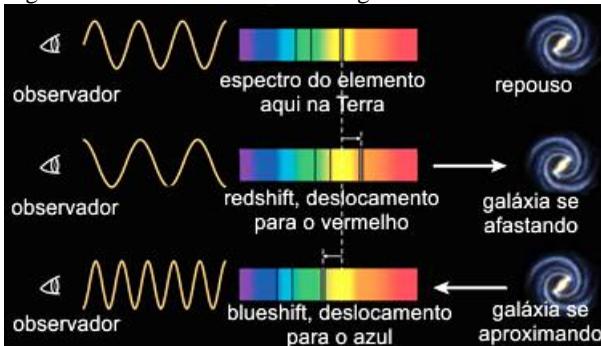
Esses deslocamentos da frequência/comprimento de onda percebidos são conhecidos como *blue-shift* para a aproximação relativa entre os corpos analisados, pois o deslocamento é para o lado de maior frequência, ou seja, para onde se encontra o azul (blue). E como *redshift* para o deslocamento para o vermelho, pois a frequência é menor. Podemos verificar essas condições na figura 14, que demonstra o efeito Doppler da Luz.

Nessa figura, podemos perceber que na primeira parte da imagem, está sendo apresentado o espectro de um certo elemento químico como é visto aqui da Terra ou como ele seria visto caso a galáxia distante

estivesse em repouso em relação a nós. Na parte embaixo, está representado o mesmo elemento químico, como é visto ao fazer a análise espectroscópica de uma estrela. Pode-se perceber que como há um afastamento relativo entre a galáxia observada e a galáxia onde se encontra o observador, a frequência percebida é menor que a frequência real emitida, portanto há um deslocamento para o vermelho, que é conhecido como *redshift*. Já na última parte da figura, caso a galáxia esteja se aproximando, percebe-se que ocorre o *blue-shift*, ou seja, um deslocamento para o azul.

Em virtude das posições e distâncias entre as bandas de absorção ou emissão desse elemento nos permitem concluir que o elemento químico é o mesmo em todos os casos da figura representada.

Figura 14: Redshift e blueshift em galáxias.

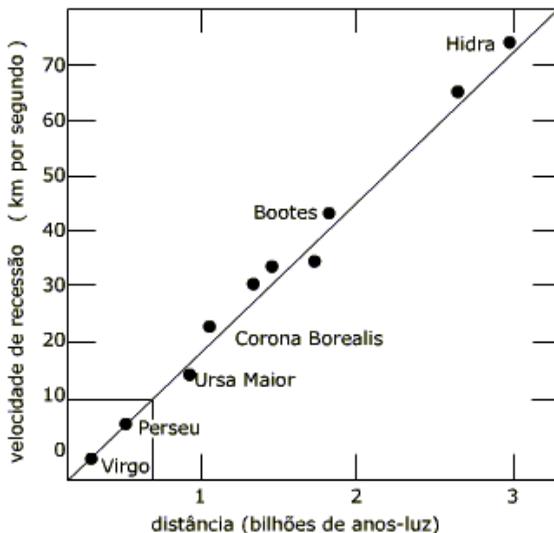


Fonte: <http://study.zumst.com/upload/00-T33-00-11-03/%EC%9D%B4%EB%AF%B8%EC%A7%80%20009.png>, adaptado pelo autor.

A lei de Hubble afirma que quanto mais distante a galáxia, maior sua velocidade de afastamento. Assim a expansão do universo não é uma expansão das galáxias no espaço, mas uma expansão do próprio espaço que contém as galáxias. O tamanho desse espaço não é conhecido, pois podemos ver nele apenas as luzes que foram emitidas a menos de 14 bilhões de anos. Isso nos fornece um tamanho mínimo para o universo de $6,6 \cdot 10^{15}$ anos-luz, pois se fosse menor o céu noturno deveria ser totalmente claro, devido ao paradoxo de Olbers. Para mais informações sobre isso, ir para o capítulo A.5.1; o Big Bang e a Origem do Universo.

A lei de Hubble nos permite construir um gráfico da velocidade de recessão das galáxias em função da distância que se encontram de nós. A figura 15 nos mostra esse gráfico.

Figura 15: Velocidade de recessão das galáxias em função da distância em que se encontram de nós.



Fonte: <http://www.uranometrianova.pro.br/astrofotografia/AA005/leidehubble.gif>.

Esse gráfico acima (figura 15) é plotado através da equação 05.

Equação 5: Lei de Hubble

$$v = H_0 d \quad (05)$$

Onde v é velocidade de recessão da galáxia, medida pelo seu redshift, d é distância que se encontra a galáxia, H_0 é a chamada constante de Hubble que não é bem estabelecida, mas cujo valor mais preciso é cerca de 67 (km/s)/Mpc. Em outras palavras, uma bolha de tamanho 1 Mpc (mega-parsec), infla de 67 km por segundo, uma bolha de 10 Mpc infla 670 km a cada segundo, uma bolha de 100 Mpc infla de 6700 km a cada segundo.

A.2.5. MEDIÇÕES DE DISTÂNCIAS UTILIZANDO RADARES E LASER

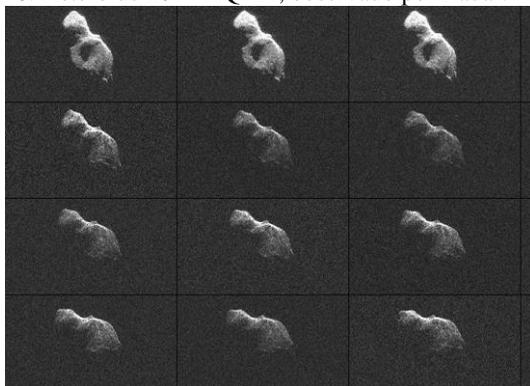
Um radar envia uma onda eletromagnética na frequência das micro-ondas, em direção ao corpo celeste que se deseja obter detalhes. Decorrido um tempo, a onda atinge o corpo com uma pequena parte dela acaba sendo refletida de volta. Sistemas altamente eficientes captam parte desse reflexo e traduzem isso em uma forma compreensível para nós. Sabendo que a velocidade das ondas eletromagnéticas no vácuo tem valor c (aproximadamente $3 \cdot 10^8$ m/s), e que demorou um tempo para que a onda chegasse de volta, pode-se calcular com precisão sua distância.

A observação por radar é um tipo de análise ativa, pois ela envia um sinal e aguarda seu retorno. Essa é diferente da Radioastronomia, que apenas capta os sinais de rádio emitidos dos corpos celestes mais diversos do nosso cosmos. Distâncias de até 1 ua, ou seja, 150 000 000 km, podem ser medidas com maior precisão através de radares.

Um ponto positivo das imagens fornecidas por radares é que elas podem revelar detalhes dos corpos, como dimensões, rotação, relevo. O efeito Doppler também é facilmente perceptível, o que permitem aferir qual a velocidade angular do corpo analisado. Radares foram utilizados para mapear toda a superfície terrestre e de planetas próximos, pois eles conseguem penetrar nas densas camadas de nuvens. O planeta Vênus, por exemplo, foi mapeado inicialmente na década de 1960, onde foram obtidos dados sobre sua rotação. Mais tarde, na missão da sonda Magalhães, na década de 1990, ele foi mapeado por completo. Essa sonda, que era um satélite artificial, o orbitou durante um período de 5 anos e enviou muitos dados para nós.

Marte teve sua rugosidade mapeada por um radar, o radiotelescópio de Arecibo, com uma antena de 305 m de diâmetro, construído em 1963, na cratera de um vulcão, em Porto Rico. Além desses três planetas citados, também foram mapeados/observados por radar Mercúrio, a Lua, Júpiter e seus satélites galileanos, Saturno e Titã, alguns cometas e asteroides, como podemos ver na imagem de radar do asteroide 2014 HQ124 (figura 16), com 366 m de comprimento e a mais de 1 milhão de km de nós.

Figura 16: Asteroide 2014 HQ124, observado por Radar.



Fonte: Site na NASA, disponível em: https://www.nasa.gov/sites/default/files/pia18412-full_3.jpg acesso em 12/02/2017

Um dos problemas do uso desse equipamento para Astronomia é que a intensidade do sinal diminui muito rapidamente com a distância. Por isso, um potente sinal de rádio deve ser enviado da Terra, e uma gigantesca antena deve captar a pequena fração que retorna. Em alguns casos, como citado acima, os sinais são enviados e captados por sondas que ficam em órbita do corpo, principalmente em planetas.

A.2.6. MEDIÇÕES UTILIZANDO CEFEIDAS

No ano de 1784, John Goodricke, um astrônomo amador britânico, (1764 – 1786), fez uma importante descoberta ao observar uma estrela na constelação de Cefeus. Ele percebeu que ela sofria flutuações em seu brilho e essas flutuações se repetiam de cinco em cinco dias.

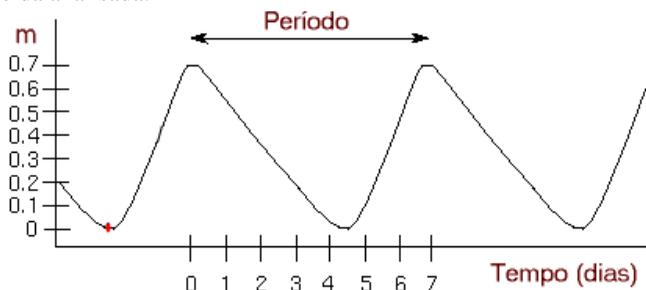
Em 1908, no observatório de Harvard, nos Estados Unidos da América, Henrietta Leavitt (1868 - 1921) analisou placas fotográficas de duas galáxias satélites à nossa, as Nuvens de Magalhaes e percebeu que a intensidade do brilho das cefeidas estava relacionado ao período da flutuação da luminosidade.

Com suas observações ela criou um diagrama de período-luminosidade, que relaciona o período de suas pulsações com a intensidade luminosa emitida pela estrela, conforme podemos ver na figura 17.

Ela catalogou quase duas mil estrelas variáveis nas Nuvens de Magalhaes, e em 1908 publicou seus resultados, no qual relacionava que estrelas mais brilhantes pulsavam com períodos maiores, assim como

estrelas cujo brilho era menor, tinham período menor. É importante lembrar que todas essas estrelas estavam nas Nuvens de Magalhaes, portanto “próximas” de si, em termos astronômicos, o que eliminaria a possibilidade que o brilho mais fraco ocorria em virtude da estrela estar muito mais longe.

Figura 17: Diagrama período - luminosidade descoberto por Henriquetta de uma cefeida analisada.



Fonte: <http://www.if.ufrgs.br/fis02001/aulas/pulsate.gif>

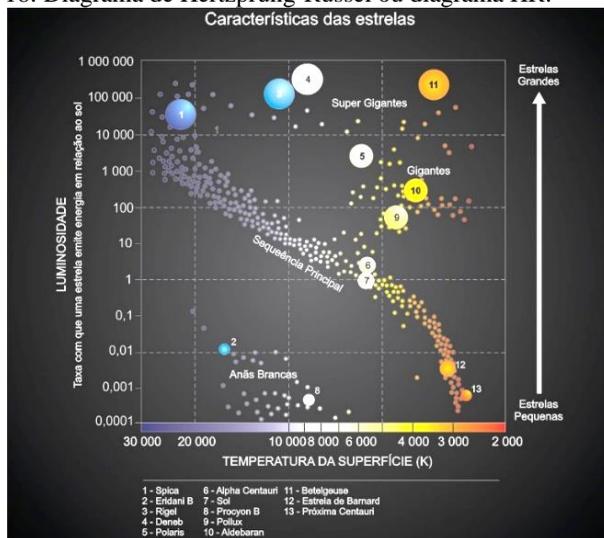
Leavitt entrou para o observatório citado como voluntária, em 1893 e tinha a missão de catalogar o brilho das estrelas das chapas fotográficas do acervo do observatório. Devido sua persistência e grande interesse na área, Edward Charles Pickering, diretor do observatório, e após vários anos de trabalho a admitiu no quadro de funcionários, a nomeando como chefe do departamento de fotometria fotográfica incumbindo-a de analisar estrelas variáveis comparando magnitudes de estrelas fotografadas em épocas diferentes. Foi graças a isso, que ela pode fazer sua importante descoberta, sendo, inclusive, cotada para o prêmio Nobel, porém quando isso foi cogitado, ela já havia falecido, a impossibilitando de ganhar esse grande reconhecimento, já que o prêmio Nobel só é dado para pessoas vivas.

A.2.7. PARALAXE ESPECTROSCÓPICA

Ejnar Hertzsprung (1873 – 1967), um químico e astrônomo dinamarquês, em 1910, juntamente com o astrônomo estadunidense Henry Norris Russell, determinaram a distância de várias cefeidas da Via Láctea, e com isso, criaram um método de calibração, que permitiria, no futuro, calcular as distâncias entre nós e outras galáxias, conhecido hoje como diagrama de Hertzsprung-Russell, ou simplesmente diagrama HR.

O diagrama HR é um gráfico de distribuição que relaciona a magnitude absoluta em função do tipo espectral da estrela, ou seja, seu tamanho e sua temperatura, conforme podemos ver no diagrama da figura 18.

Figura 18: Diagrama de Hertzsprung-Russel ou diagrama HR.



Fonte: <http://astro.if.ufrgs.br/estrelas/diagramaHR.jpg>

Hoje o diagrama HR é utilizado tanto por observadores como por físicos astrônomos teóricos para descrever a evolução estelar. Obviamente há diferenças entre os dois modelos de diagrama. O primeiro relaciona somente a cor com a magnitude da estrela, já o segundo, relaciona a luminosidade com a temperatura superficial.

A maioria das estrelas se encontra na chamada sequência principal, que corresponde a linha central do diagrama e são aquelas que geram sua energia a partir da fusão nuclear do hidrogênio em Hélio. A magnitude de uma estrela está relacionada ao seu brilho, e é uma escala inversa, ou seja, quanto maior o valor da magnitude, menos brilhante é a estrela. A escala original foi criada por Hipparchus e posteriormente complementada por Ptolomeu. Na época, foi dado o valor 1 para estrelas mais brilhantes e 6 para as que mal eram perceptíveis. O brilho de uma estrela de magnitude 1 é 100 vezes maior que o brilho perceptível de uma estrela de magnitude 6, sendo, portanto, uma escala logarítmica. A diferença de uma magnitude para outra é $100^{1/5}$, que equivale a 2,512.

A magnitude absoluta, é por definição, o brilho de uma estrela, quando ela estiver localizada a 10 pc de distância. Por exemplo o Sol, tem magnitude (aparente) de aproximadamente -27 , já sua magnitude absoluta é de $4,83$. Ou seja, se ele estivesse a 10 pc (aproximadamente 32,6 anos-luz), ele teria um brilho aproximadamente igual ao visto daqui, da estrela mais fraca da estrela dupla que forma a α crux, (a estrela mais brilhante do Cruzeiro do Sul é uma estrela dupla, uma com magnitude $1,55$, na mais brilhante e $4,8$ na mais fraca), portanto o Sol dificilmente seria visível a olho nu, somente em condições atmosféricas excepcionais.

Já se analisarmos a estrela Rigel (β Órion), ela tem magnitude aparente de $0,15$, sendo, portanto, umas das mais brilhantes que aparecem a noite. Como ela se encontra a 863 anos-luz de nós, se a trouxéssemos para 33 anos-luz (10 pc), ela teria magnitude absoluta de aproximadamente -7 , que equivale ao brilho intermediário entre o planeta vênus ($-4,5$) e a lua crescente (-12). Alguns telescópios modernos, em grandes observatórios, nos permitem ver estrelas de magnitudes superiores a 20 ou 30, como o telescópio Subaru, de 1999, que fica no Havaí e tem um espelho único de 8,3 m de diâmetro (figura 19).

Figura 19: Telescópio Subaru - 1999. Espelho de 8,3 m de diâmetro. Havaí - EUA.



Fonte: <http://www.cdcc.usp.br/cda/sessao-astronomia/seculoxx/textos/os-grandes-instrumentos-fig-17.jpg>

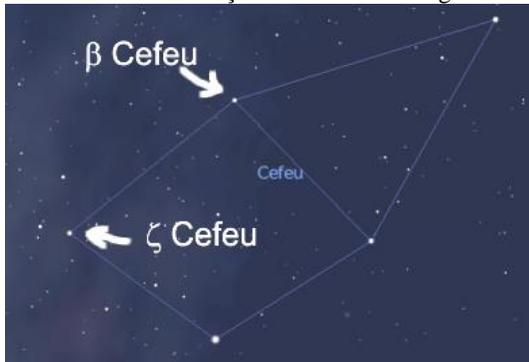
Podemos utilizar a paralaxe espectroscópica para calcular a que distância uma estrela se encontra de nós. A paralaxe espectroscópica não é uma paralaxe trigonométrica, como aquela vista anteriormente, pois esta utiliza as propriedades espectrais das estrelas para determinar sua magnitude absoluta a partir de sua posição no diagrama HR. Em outras

palavras, a diferença entre a magnitude aparente e a magnitude absoluta, em uma análise espectroscópica, nos permite calcular a que distância essa estrela se encontra de nós.

Segundo David H. Clark e Matthew D.H. Clark no livro *Measuring the Cosmos, How Scientists Discovered the Dimensions of The Universe*, p.98, foi Leavitt quem produziu a chave para o cosmos e Hubble foi quem a colocou a fechadura e girou. Isso remete a uma analogia que Hubble utilizou-se das descobertas das cefeidas para perceber que Andrômeda era outra galáxia, muito distante de nós.

É importante observar que muitas estrelas parecem piscar no céu noturno, porém em todas as que observamos a olho nu, essa pulsação decorre de efeitos da distorção da luz proveniente dessas estrelas, quando ela atravessa a atmosfera terrestre, portanto, não podendo ser classificadas como cefeidas, sem um detalhamento e um estudo mais aprofundado sobre seu comportamento. Mesmo observando a um telescópio, há a possibilidade de se estar observando duas estrelas orbitando entre si, um sistema binário, no qual variações no brilho surgem devido esse movimento orbital e a estrela tem sua magnitude aparente alterada no decorrer de dias até mesmo anos. Uma das estrelas que em 1784, John Goodricke observou, e que pulsava, não era uma cefeida, mas sim um sistema binário orbitando entre si, o sistema de ζ Cephei (*zeta cefeú*). Vide figura 20.

Figura 20: Constelação de Cefeú. β Cefeú, uma cefeida e ζ Cefeú, um sistema binário. Essa constelação não é visível em grandes latitudes do hemisfério Sul.



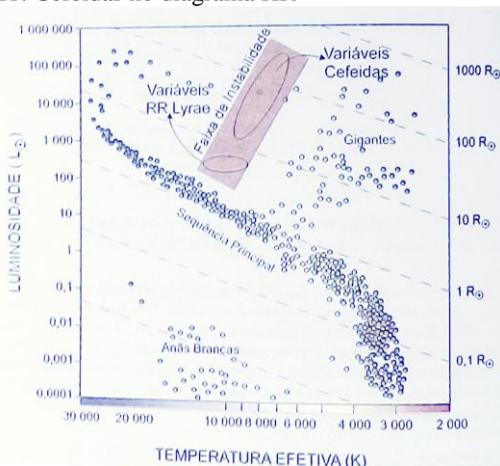
Fonte: Software Stellarium, editado pelo autor.

Também existem as estrelas RR Lyrae, que são utilizadas para calcular distâncias cosmológicas. A diferença principal entre elas é que enquanto as RR Lyrae são estrelas pequenas pois possuem de 0,5 a 0,7

massas solares, com períodos de pulsação de 0,5 a 1 dia e são utilizadas como indicadores de distâncias para aglomerados globulares, as cefeidas são supergigantes com massas de 3 a 18 massas solares, com períodos de pulsação entre 1 e 100 dias.

As cefeidas são estrelas que estão em uma zona de instabilidade, pois começam a converter o hélio em outros elementos, em seu núcleo. Dessa forma, ocupam uma posição específica no diagrama HR, que pode ser vista na figura 21.

Figura 21: Cefeidas no diagrama HR



Fonte: OLIVEIRA, K; SARAIVA, M.F. **Astronomia e Astrofísica**. 3ª edição. São Paulo: Livraria da Física, 2013, página 582.

A intensidade de brilho de uma estrela, chamada magnitude, tem uma relação com o fluxo de energia total emitido pela estrela, que chamamos de magnitude bolométrica. A relação entre a magnitude bolométrica, ou seja, a magnitude real emitida pela estrela, considerando toda energia emitida, desde ondas de rádio até raios gama, e seu período de pulsação P , em dias, é dado pela equação 06.

Equação 6: Magnitude bolométrica em função do período de pulsação.

$$M_{bol} = -3,125 \log P - 1,525 \quad (06)$$

Já a distância (d) em pc pode ser obtida através do chamado módulo de distância, que é uma relação entre a magnitude absoluta (M) e a magnitude aparente (m) ou seja ($m-M$), e é expresso pela equação 07,

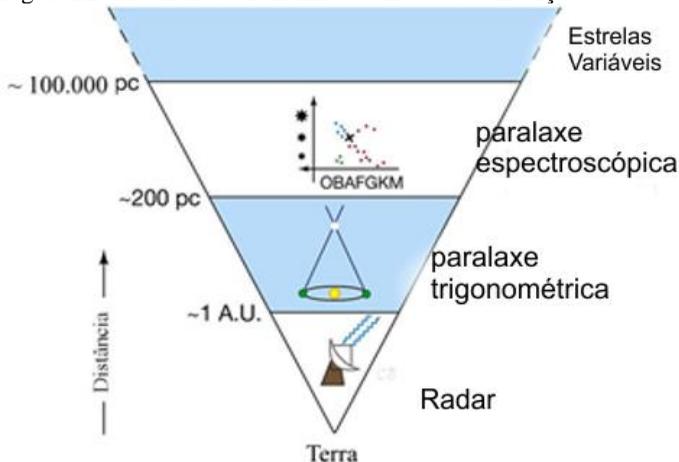
para o caso de uma estrela de 1 Luminosidade do Sol e do tipo espectral G2, a equação fica:

Equação 7: distância utilizando cefeidas para uma estrela G2 de 1 luminosidade do Sol

$$d = 10^{(m-M+5)/5} \quad (07)$$

De maneira geral, podemos resumir que para distâncias próximas, equivalentes às dos planetas à Terra, podemos usar radares para determinar seus valores com precisão, ou seja, distâncias de até uma unidade astronômica como os planetas rochosos. Para distâncias entre 1 ua e 100 pc, podemos usar a paralaxe estelar, isso abrange as estrelas mais próximas de nós, que se encontram até aproximadamente 300 anos-luz. Para calcular as distâncias entre as estrelas de nossa galáxia, que tem cerca de 100 000 anos-luz de extensão, usa-se o diagrama HR e a paralaxe espectroscópica, que tem abrangência de 100 pc a 10 000 pc. E para valores de 10 000 a 15 milhões de parsecs, usamos as cefeidas, portanto úteis para calcular distâncias entre nós e estrelas mais longínquas da nossa galáxia e ainda entre nós e outras galáxias. Podemos observar na figura 22 um diagrama que organiza essa abrangência.

Figura 22: Distâncias astronômicas e método de medição



Fonte:

<http://slideplayer.com.br/slide/369769/2/images/42/Escalas+de+dist%C3%A2ncia+~+100.000+Paralaxe+espectrosc%C3%B3pica.jpg> adaptado pelo autor.

A.3. LEIS DE KEPLER E GRAVITAÇÃO

As leis de Kepler e a gravitação universal de Newton merecem um capítulo à parte devido sua importância na história da Física.

Johannes Kepler (1571 – 1630) abandonou de vez, após muita resistência de sua parte, a ideia dos círculos e epiciclos, adotando um sistema mais simples, as elipses. Kepler percebeu, após analisar os dados de Tycho Brahe, que trocando a órbita circular por órbitas elípticas, havia a possibilidade de explicar coerentemente o comportamento observado dos planetas no céu.

Já Isaac Newton (1643 – 1727), foi um dos cientistas que mais contribuiu com o desenvolvimento da Física. Em sua obra “Filosofia Natural” consta uma das maiores descobertas de todas, como a gravidade age entre os corpos. Essa ideia é conhecida hoje com lei da gravitação universal.

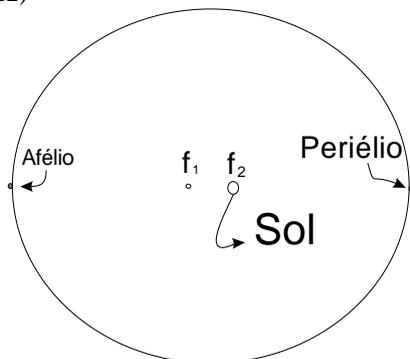
A.3.1. LEIS DE KEPLER

Johannes Kepler publicou em sua obra *Astronomia Nova - De Motibus Stellae Martis*, as três leis que hoje levam seu nome. Ele partiu dos dados observacionais de Tycho Brahe, que viveu entre 1546-1601, dados estes que possuíam precisão incrível para a época. Brahe foi o último grande astrônomo observacional antes da invenção do telescópio. Kepler foi contratado por Tycho para fazer a análise de seus dados e posteriormente, com sua morte, Kepler herdou os manuscritos e devido a eles pode aprimorar e publicar suas descobertas.

A primeira lei, afirma que os planetas realizam órbitas elípticas ao redor do Sol, e este está em um dos focos da elipse. Essa lei modifica toda a ideia vigente por séculos, no qual as órbitas deveriam ser circulares. Porém essa excentricidade da órbita é tão pequena (em comparação com a própria órbita) que se fossemos reduzir o tamanho da órbita para caber nessa folha, não conseguiríamos distinguir a elipse orbital de uma circunferência perfeita.

Assim, em uma elipse orbital existem dois focos, o Sol ocupa um desses focos. Quando o planeta está no ponto mais próximo de seu astro rei, dizemos que ele se encontra no periélio, já quando ele está no ponto mais afastado, ele se encontra no afélio, conforme podemos observar na figura 23.

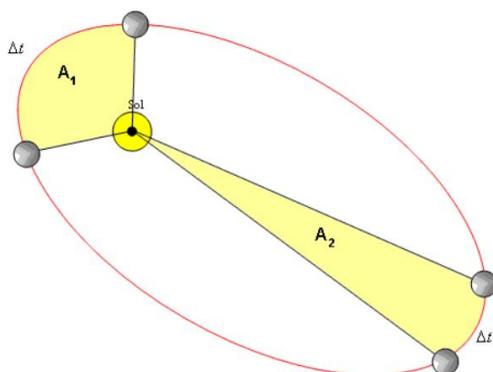
Figura 23: Afélio e periélio em uma órbita elíptica. O Sol está em um dos focos (f_1 ou f_2)



Fonte: o autor.

A segunda lei é conhecida como lei das áreas, e afirma que em tempos iguais um astro vane no céu áreas iguais. Uma decorrência dessa lei é que o planeta tem velocidades diferentes em diferentes posições de sua órbita. Por exemplo quando, ele está no periélio, a distância de separação entre o planeta e o Sol é menor, então ele deve viajar mais rápido para varrer uma mesma área do que quando está no afélio, Já no afélio a distância de separação é maior, portanto ele pode viajar mais devagar para varrer essa mesma área nesse mesmo intervalo de tempo. A figura 24 exemplifica a segunda lei de Kepler.

Figura 24: Lei das áreas. 2ª lei de Kepler.



Fonte: <http://www.sofisica.com.br/conteudos/Mecanica/GravitacaoUniversal/figuras/lk2.GIF>

Já a terceira lei, é uma relação matemática entre o período de revolução e a distância desse corpo ao Sol. Ela afirma que a razão entre o quadrado do período de revolução e o cubo da distância de separação resulta sempre em uma mesma constante, não importando qual for o planeta. Podemos ver isso na equação 08.

Equação 8: Terceira lei de Kepler, que relaciona o período com o raio de separação.

$$\frac{T^2}{R^3} = k \quad (08)$$

Onde o período é dado por T, a distância por R e k é a constante de proporção.

É importante ressaltar que essa equação não só é válida para o Sistema Solar, como também é válida para outros sistemas planetários. A única observação é que o valor da constante k não é a mesma. Por exemplo, o planeta Júpiter e suas luas. Se aplicarmos a terceira lei para todas suas luas, vamos perceber que para todas elas sempre teremos o mesmo k, mas que é diferente do k que corresponde à relação entre o Sol e os Planetas.

A teoria de Kepler não foi muito bem aceita na época. Como o Sol não ocupava o centro, mas sim um dos focos da elipse formada, seu sistema foi duramente criticado, pois a ideia de órbitas circulares já perdurava por muito tempo.

Um fator importante de ressaltar novamente é que embora as órbitas sejam elipses, sua excentricidade (achatamento de uma elipse) é muito pequena, de modo que se fossemos representar em escala, a órbita de um planeta no papel, não conseguiríamos diferenciar uma circunferência perfeita da elipse formada pela trajetória do planeta ao redor do Sol, como o exemplo citado no início dessa seção.

A.3.2. LEI DA GRAVITAÇÃO UNIVERSAL

A lei da gravitação universal deve-se a Isaac Newton cuja biografia já foi retratada no capítulo A.1.5. Em sua publicação chamada de *Princípios Matemáticos da Filosofia Natural*, em 1687, Newton descreveu novas teorias, essencialmente de Física, Astronomia, Mecânica e Matemática. Publicação essa que só ocorreu por insistência, persistência e auxílio financeiro de Edmond Halley, um grande amigo de Newton.

A lei da Gravitação Universal é uma equação matemática que descreve a força que existe entre corpos que interagem entre si. Ela diz que a força de interação entre dois corpos é igual ao produto das massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância de separação entre eles. (Equação 09)

Equação 9: Lei da gravitação universal de Newton.

$$\vec{F}_{12} = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \hat{r} \quad (09)$$

Nessa equação, F é a força de interação entre os corpos 1 e 2, medida em Newtons. Corpos esses cujas massas m_1 e m_2 são dadas em quilogramas. Eles estão separados pela distância r, em metros. O vetor unitário \hat{r} representa a direção do vetor força de interação entre eles. G é a chamada constante gravitacional, cujo valor mais preciso aceito é cerca de $G = 6,67428 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$.

Newton explicou seus resultados a partir de suas equações da dinâmica, mais precisamente, o que hoje chamamos de terceira lei de Newton, na qual quando um objeto atrai um segundo objeto, este também atrai o primeiro com a mesma força, porém com sentido contrário. Com isso, facilmente podemos deduzir uma expressão para a aceleração gravitacional de um planeta. Para tanto, basta partir da ideia que o peso de um objeto é, na verdade, a força com que esse objeto é atraído em direção ao centro da Terra ($P=F$), e sabendo que o peso de um objeto (P), na superfície de um planeta, é igual ao produto de sua massa pela aceleração gravitacional ($P=m \cdot g$), podemos fazer essa substituição na equação da gravitação.

$$\vec{F}_{12} = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \hat{r}$$

$$P = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

$$mg = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

$$mg = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

Com isso chegamos na expressão para a aceleração gravitacional de um planeta qualquer, cuja massa é M , com r sendo seu raio (equação 10).

Equação 10: aceleração gravitacional de um planeta de massa M e raio R

$$g = G \frac{M}{R^2} \quad (10)$$

Caso desejarmos saber o valor da aceleração gravitacional a uma altura h , basta adicionarmos nessa equação esse comprimento ao próprio raio do planeta, como podemos ver na equação 11.

Equação 11: Aceleração gravitacional a uma altura h de um planeta de massa M e raio R .

$$g = G \frac{M}{(R+h)^2} \quad (11)$$

Essa equação, pode ser substituída por outra que nos fornece o valor da aceleração gravitacional a partir de seu valor médio à nível do mar (g_0).

Como:

$$g = G \frac{M}{R^2}$$

E

$$g' = G \frac{M}{(R+h)^2}$$

Multiplicando tudo por $1/R^2$, temos:

$$g' \cdot \frac{1}{R^2} = G \frac{M}{(R+h)^2} \cdot \frac{1}{R^2}$$

Reordenando;

$$\frac{g'}{R^2} = \frac{GM}{R^2} \cdot \frac{1}{(R+h)^2}$$

Retirando os termos e substituindo por g , de acordo com a equação 10, obtemos:

$$\frac{g'}{R^2} = g \cdot \frac{1}{(R+h)^2} \text{ Onde } g \text{ chamaremos de } g_0.$$

$$\frac{g'}{R^2} = g_0 \cdot \frac{1}{(R+h)^2}$$

$$g' = g_0 \cdot \frac{R^2}{(R+h)^2}$$

Equação 12: Aceleração gravitacional a uma altura h a partir da superfície terrestre.

$$g' = g_0 \cdot \left(\frac{R}{R+h} \right)^2 \quad (12)$$

Já no interior do planeta, a gravidade diminui conforme diminui a massa da parte envolvida por um raio imaginário decrescente, de forma que seu valor varia proporcionalmente de acordo a variação do raio analisado r , demonstrada pela equação 13. Porém essa equação não é de todo válida, pois ela simplifica a situação colocando uma densidade constante em todo o interior, o que sabemos não ser verdade, mas para termos de aproximação ela tem certo grau de validade.

Equação 13: Aceleração gravitacional no interior do planeta Terra

$$g_i = \frac{GM}{R^3} r \quad (13)$$

Hoje sabemos que a equação da Gravitação Universal nos permite explicar, nos limites da Física clássica, como, não só o Sistema Solar, mas sim todas galáxias se comportam gravitacionalmente.

Existe uma equação que nos permite calcular o valor teórico da gravidade a partir da latitude, levando em conta a elipsoide do formato do planeta e os valores da aceleração gravitacional nos polos e no equador, respectivamente. Ela é conhecida como formula de Somigliana e é apresentada como:

Equação 14: Formula de Somigliana, para o cálculo da gravidade em função da latitude.

$$g_{(\phi)} = \frac{a \cdot g_e \cos^2 \phi + b \cdot g_p \sin^2 \phi}{\sqrt{a^2 \cos^2 \phi + b^2 \sin^2 \phi}} \quad (14)$$

Onde a e b são os semieixos (equatorial e polar) da elipse, g_p e g_e são os valores teóricos da gravidade nos polos e no equador, respectivamente e ϕ corresponde ao valor da latitude geodésica.

Essa equação, de acordo com o WGS 84 (World Geodetic System 1984), geralmente é apresentada como:

Equação 15: Equação de Somigliana na forma reduzida.

$$g_{(\phi)} = \frac{g_e (1 + k \sin^2 \phi)}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \phi}} \quad (15)$$

No qual e^2 é a excentricidade da elipsoide elevada ao quadrado, obtida por:

$$e^2 = 1 - \left(\frac{b}{a}\right)^2$$

E o valor de k é uma constante, resultado da equação:

$$k = \frac{b \cdot g_p - a \cdot g_e}{g_e}$$

A equação 15 geralmente é estudada por futuros pilotos de aviões, sendo apresentada geralmente em livros e publicações técnicas de navegação. Ela envolve um valor mais preciso de g para localizações em diferentes latitudes, portanto resultando em maior confiabilidade e segurança de voos ou sistemas destes.

A.4. SISTEMA SOLAR

Muito se evoluiu desde o período que a crença no geocentrismo, onde a Terra estava no centro, predominava. Mas essa evolução do pensamento foi gradual e demorada. Em meados de 1500, gradativamente foi passando para o Heliocentrismo, onde era o Sol que ficava no centro e posteriormente para a Via-Láctea como o centro, e hoje, para uma configuração na qual não se sabe onde é o centro ou mesmo se há um.

O fato é que, a partir das observações de vários astrônomos da antiguidade, surgiram explicações para a origem do Sistema Solar que condizem bem com o observado e apresentam grande precisão de detalhes lógicos.

De acordo com suas características, os corpos que compõe o Sistema Solar foram classificados e organizados. Atualmente, sua composição é feita pelos planetas Mercúrio, Vênus, Terra, Marte, Júpiter, Saturno, Urano e Netuno, seus satélites e ainda asteroides, cometas, meteoroides, planetas anões, gás e poeira interplanetária.

A.4.1. FORMAÇÃO DO SISTEMA SOLAR

A mais de 5 bilhões de anos atrás, uma nuvem de gás e poeira, resultado da explosão de uma grande estrela, ou seja, algo conhecido hoje como uma nebulosa planetária, abrangia uma imensa região onde, provavelmente se localiza hoje o Sistema Solar. Essa hipótese foi sugerida pelo filósofo alemão Immanuel Kant (1724 – 1804), em 1755 e ganhou força pelos cálculos do matemático francês Pierre Simon de Laplace, em 1796. Laplace observou e calculou que devido todos os planetas estarem no mesmo plano e praticamente todos girarem no mesmo sentido (somente Vênus gira ao contrário), eles devem ter se originado na mesma nuvem de gás original.

Uma nuvem que rotacionou devido forças de atração gravitacional, e que, quanto mais girava, mais achatada ficava e devido à gravidade, mais concentrada no centro sua massa ficava. Dessa forma, a nuvem assumiria o formato de um disco e devido a conservação de momento angular, quanto mais próximo do núcleo a massa ficava, mais depressa ela girava, mais achatada ficando.

A contribuição moderna para essa hipótese veio em 1945, dada pelo físico alemão Karl Friedrich Freiherr Von Weizsäcker, no qual ele afirma que após o colapso, a nuvem começa a esfriar, ficando somente com altas temperaturas nos pontos de concentração de massa.

Nas regiões externas ao núcleo da nuvem, surgiram vários pontos de aglomeração de matéria. Esses pontos dariam origem mais tarde aos planetas. A composição desses planetesimais ou protoplanetas dependeria da posição em que se encontrassem. Em posições mais externas desse disco, até os gases mais voláteis acabaram se condensando. Assim os planetesimais mais externos e com núcleos mais densos puderam crescer mais, e por terem gravidade maior, conseguiram agregar muito mais gás em sua atmosfera, atingindo tamanhos gigantescos.

Já os protoplanetas mais próximos ao proto-Sol estavam com temperaturas maiores, o que fez com que a maior parte dos gases leves fossem perdidos, atraídos em direção a maior concentração de matéria, ou seja, ao proto-Sol, ou ainda, o que restou após as reações nucleares terem início e em decorrência do surgimento do vento solar, pode ter sido expulso para longe. Dessa forma restou no centro, o Sol com um raio de 696 342 quilômetros e massa de $1,989 \cdot 10^{30}$ kg.

Praticamente toda massa do nosso Sistema Solar se encontra no Sol, ou seja, ele representa 99,85% da massa do Sistema Solar, o 1% restante está quase todo em Júpiter, o qual tem sua massa maior que a soma da massa de todos os planetas do Sistema Solar. A divisão ocorre de acordo com a tabela 02.

Tabela 2: Divisão da massa do Sistema Solar.

Corpo/ objeto	% do total da massa
Sol	99,85%
Júpiter	0,1%
Demais planetas juntos	0,04%
Cometas	0,01(?)
Satélites e Anéis	0,000 05%
Asteroides	0,000 000 2%
Poeira e meteoroides	0,000 000 1%

Fonte: OLIVEIRA, K e SARAIVA, M. Astronomia & Astronáutica, 2013.

Toda estrela tem uma região de distância que é conhecida como Zona Habitável. Ela leva em conta a vida como nós conhecemos, ou seja, dependente de água líquida e baseada em carbono. No caso do Sistema Solar, o planeta Terra se encontra no centro e Vênus e Marte se encontram nos limites.

Essa distância é única para cada estrela, pois leva em conta o valor de sua emissão de energia, com isso, se um planeta estiver muito próximo, ele recebe muita energia, portanto sua temperatura deve ser maior. Já se

ele estiver demasiadamente longe, recebe pouca energia, portanto é considerado “frio” demais.

A distância da estrela na qual se localiza a Zona Habitável é calculada pela equação 16.

Equação 16: Zona habitável de uma estrela.

$$R = \sqrt{\frac{L}{8\pi\sigma T^4}} \quad (16)$$

Nessa equação, L é a luminosidade (potência de emissão de energia) do Sol, que tem valor de $3,846 \cdot 10^{26}$ W. Já a constante de Stefan-Boltzmann (σ) tem valor de $5,67 \cdot 10^{-8}$ $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$. A temperatura T que se deseja na Zona Habitável, é a temperatura na qual a água se encontra no estado líquido, ou seja, de 273 K a 373 K.

Efetuada os cálculos para o Sol, obtemos valores de 118 079 825 km e 220 428 665 km, respectivamente. Levando em conta que a Terra está aproximadamente 150 000 000 km, concluímos que ela se encontra aproximadamente no centro da zona habitável.

A.4.2. PLANETAS

Os planetas do Sistema Solar são divididos em Rochosos e Gasosos, ou também conhecidos como telúricos, para os rochosos e Jovianos para os gasosos.

Os planetas rochosos são aqueles que tem sua superfície rochosa e sólida, e correspondem aos quatro primeiros planetas do Sistema Solar, Mercúrio, Vênus, Terra e Marte.

Já os planetas gasosos, ou Jovianos, são planetas que provavelmente não possuem uma superfície sólida, ou sequer possuem uma superfície. São gigantes quando comparados aos rochosos e possuem baixa densidade média. Seu tamanho gigantesco ocorre em virtude da espessa camada de gás que os englobam. Esse gás, provavelmente é resquício do sistema solar primordial, ou seja, da nuvem de gás que originou nosso Sistema Solar todo.

Características como massa, podem ser obtidas através da interação gravitacional desse planeta com os outros ou com suas luas. O tamanho angular visto da Terra juntamente com a distância de separação, nos fornece seu diâmetro e com isso facilmente temos o volume e que nos permite calcular sua densidade média. Densidades próximas a 1000 kg/m^3 indicam materiais congelados; Densidades próximas a $3000 \sim 3500 \text{ kg/m}^3$

indicam rochas vulcânicas e meteoritos rochosos; Densidades de 5000 a 6000 kg/m³ indicam materiais ricos em ferro; Densidades próximas a 8000 kg/m³ indicam materiais ferrosos.

A observação direta nos permite obter também a rotação do planeta. Aliado a essa observação, temos também o efeito Doppler, que nos fornece valores de velocidade. A temperatura de um planeta está relacionada basicamente com a distância e com o albedo. Quanto mais longe do Sol, menos energia recebe, portanto, menor deve ser sua temperatura. O albedo é uma relação entre a energia refletida e a energia incidente em um planeta, sendo 1 para 100% e 0 para 0%. Dessa forma, os valores do albedo oscilam, de acordo com o planeta, entre 0 e 1, conforme vemos na equação 17.

Equação 17: Equação para cálculo do albedo.

$$\textit{Albedo} = \frac{\textit{Energia refletida em todas as direções}}{\textit{Energia solar incidente}} \quad (17)$$

Um dos maiores desafios é saber qual é a estrutura interna de um planeta, sendo que não conseguimos acessar esses dados de forma direta. Portanto, devemos buscar esses dados de forma indireta, ou seja, a partir de observações de fenômenos e de equações matemáticas. Em geral, há a possibilidade de mapear a aceleração gravitacional através de sondas em órbita e com isso estimar qual a composição interna que gere esse campo.

A observação da propagação de grandes ondas sísmicas nos revela alguns detalhes da composição interna dos planetas. Como por exemplo, revelou um núcleo metálico sólido na Terra e nenhum núcleo metálico na Lua. Já em planetas Jovianos há a possibilidade de utilizar o formalismo matemático da hidrodinâmica (equação 18) para calcular a densidade a partir de raio e massa, em função da pressão exercida pelas camadas externas.

Equação 18: Relação entre pressão, raio, massa e densidade de um planeta.

$$\frac{dP}{dr} = - \frac{GM_r \rho}{r^2} \quad (18)$$

Podemos deduzir, a partir dessa equação (18), à equação 19, que nos permite calcular qual a pressão no interior de um planeta, de densidade ρ , raio R , a um raio interno r .

Equação 19: Pressão interna em um planeta Joviano.

$$P_r = 1,4 \cdot 10^{-10} \rho^2 (R^2 - r^2) \quad (19)$$

As características da superfície de um planeta podem ser deduzidas a partir do albedo, ou seja, medindo a refletividade do planeta. Obviamente, essa técnica não funciona quando o planeta tem uma atmosfera. A partir dessa técnica, sabe-se que a superfície lunar e de Mercúrio são parecidas, com regiões planas e baixas e com grande número de crateras.

Todos os planetas e satélites já sofreram com a colisão de asteroides, porém nem todos ainda possuem registrados esses eventos. Nossa lua, assim como o planeta mercúrio, está encrustada de crateras resultados dessas colisões. Porém na Terra são muito poucas as que ainda restam. Elas tendem a desaparecer principalmente devido às atividades geológicas. Nos planetas Jovianos, elas não se formam, devido sua composição ser gasosa.

Em relação a atmosfera planetária, existe uma relação de energia e massa molecular, que torna favorável um gás ser aprisionado por um planeta ou não. A energia cinética de um gás é diretamente influenciada por sua temperatura, dessa forma, quanto maior a temperatura, maior a energia cinética, e conseqüentemente maior a probabilidade que ele deixe o planeta em direção ao espaço sideral. Podemos usar a equação 20, que nos fornece a velocidade média de um gás para determinar se um determinado elemento será aprisionado ou não pelo planeta, assim compondo ou não sua atmosfera. Empiricamente e através de extrapolações, sabemos que um gás permanece preso por milhões de anos em um planeta se sua velocidade média for menor que 17 % da velocidade de escape de um planeta.

A velocidade de escape de um planeta é a velocidade mínima que um objeto lançado de sua superfície deve ter para que ultrapasse a zona de imponderabilidade, ou seja, escape da atração gravitacional do planeta. Para o planeta Terra, a velocidade de escape é cerca de 11,2 km/s.

Equação 20: Velocidade média de um gás a temperatura T.

$$v = \sqrt{\frac{3k_B T}{m}} \quad (20)$$

Nessa equação, k_B é a constante de Boltzmann, cujo valor é, $k_B=1,38.10^{23}$ J/kg; m é a massa molar do gás e T é a temperatura em kelvin do gás analisado. No planeta Terra, utilizando os dados do gás oxigênio encontramos o valor de aproximadamente 0,5 km/s, que é menor que 17% da velocidade de escape, ou seja, ele permanece preso da atmosfera da Terra. Já o gás hidrogênio, por ter massa menor que o oxigênio, tem sua velocidade média maior, seu valor é cerca de 2 km/s; esse valor é maior que 17% de 11,2 km/s e assim ele não fica retido da atmosfera terrestre, sendo aos poucos perdido para o espaço.

Mesmo assim, gases mais pesados podem escapar da atração gravitacional, pois algumas moléculas deles, porventura podem adquirir velocidade suficiente para vencer a atração gravitacional. A velocidade de escape dos planetas do Sistema Solar está elencada na penúltima linha da tabela 03.

Tabela 3: Principais dados dos planetas que compõe o Sistema Solar.

	 Mercúrio	 Vênus	 Terra	 Marte	 Júpiter	 Saturno	 Urano	 Netuno
Distância ao Sol (UA)	0,387	0,723	1	1,524	5,203	9,539	19,18	30,06
Distância ao Sol ($\cdot 10^6$ km)	57,9	108,2	149,6	227,94	778,4	1423,6	2867	4488,4
Massa (kg)	3,3 $\cdot 10^{23}$	4,9 $\cdot 10^{24}$	6,0 $\cdot 10^{24}$	6,4 $\cdot 10^{23}$	1,9 $\cdot 10^{27}$	5,7 $\cdot 10^{26}$	8,7 $\cdot 10^{25}$	1,0 $\cdot 10^{26}$

Densidade (kg/m ³)	5410	5250	5520	3900	1300	700	1300	1700
Gravidade Superficial	0,37 .gTerra	0,88 .gTerra	1 .gTerra	0,38 .gTerra	2,64 .gTerra	1,15 .gTerra	1,17 .gTerra	1,18 .gTerra
Satélites conhecidos	0	0	1	2	65	62	27	14
Velocidade de escape (km/s)	4,3	10,4	11,2	5	60	35,4	21	24
Composição atmosférica	Traços de: He O Na	96% CO ₂ 3,5% N	78% N 21% O ₂	95% CO ₂ 3% N	90% H 10% He	97% H 3% He	83% H 15% He	74% H 25% He

Fonte: dados compilados pelo autor.

De acordo com essa tabela, podemos ver que os planetas gasosos possuem um valor de velocidade de escape relativamente alto, de forma que os gases presentes neles não conseguem deixá-los facilmente. Essa tabela nos fornece um quadro comparativo sobre a composição atmosférica, a velocidade de escape, a quantidade de luas, o valor da aceleração gravitacional, a densidade média, a massa e a distância ao Sol.

Cada planeta do Sistema Solar já foi visitado por uma ou mais sondas espaciais. Elas coletaram inúmeros dados, fotos e com isso pudemos conhecer um pouco mais de cada um. A tabela 03 será utilizada para realizar um experimento prático sobre a comparação de distâncias e escala de dimensões entre os planetas e o Sol, descritos nos apêndices F e G.

Praticamente todos os planetas possuem satélites naturais, com exceção de Mercúrio e Vênus. Na figura 25 as principais luas de cada planeta, estão comparadas em escala de diâmetro, com o planeta Terra.

Figura 25: Luas dos planetas do Sistema Solar



Fonte: <http://astropt.org/blog/wp-content/uploads/2011/08/moons-solar-system.jpg>, editada pelo autor.

Como podemos observar na tabela 04, temos o diâmetro das 10 maiores luas do sistema solar.

Tabela 4: Diâmetros das dez maiores luas do Sistema Solar, em ordem decrescente de tamanho.

Posição	Satélite	Diâmetro aproximado (km)	Planeta pertencente
1	Ganímedes	5270	Júpiter
2	Titã	5150	Saturno
3	Calisto	4820	Júpiter
4	Io	3640	Júpiter
5	Lua	3470	Terra
6	Europa	3120	Júpiter
7	Tritão	2710	Netuno

8	Titânia	1580	Urano
9	Reia	1530	Saturno
10	Oberon	1520	Urano

Fonte: dados compilados pelo autor.

A seguir, vamos ver um pouco mais de informações sobre cada planeta do nosso sistema planetário.

A.4.2.1. Mercúrio, o mais furtivo.

O nome do planeta é em homenagem ao Deus romano Hermes – o mensageiro, que devido a miscigenação cultural dos gregos e romanos, mesclaram o antigo Deus grego Mercúrio com o Deus romano Hermes.

Sendo Hermes o mensageiro dos Deuses, esse devia ser muito rápido e o planeta mercúrio é o que tem movimento mais rápido nos céus, facilitando sua analogia.

O planeta Mercúrio, com diâmetro de 4 879,4 km, é o menor planeta do Sistema Solar e é também o que possui órbita mais interna. Seu tamanho chega a ser menor que algumas luas dos planetas Júpiter e Saturno.

Sua atmosfera é extremamente rarefeita, possuindo apenas traços dos elementos químicos Hélio (42%), Sódio (42%) e Oxigênio (15%) conforme podemos ver na tabela 2. O 1% restante corresponde a outros elementos extremamente escassos. O planeta tem sua temperatura média de 442 K.

Através de análises gravitacionais, pode-se estimar o que existe escondido sob sua superfície, ou seja, acredita-se que em seu interior existe um núcleo metálico, composto por ferro e níquel, que ocupa cerca de 65% da massa do planeta. Dessa forma, sua estrutura é dividida em 1800 km de núcleo metálico, um manto de 600 km e uma crosta superficial de 100 a 300 km de espessura.

A sonda Mariner 10, em 1974 mapeou cerca de 45% da superfície desse planeta. Hoje essa sonda está desativada e orbita o Sol, mas em sua aproximação máxima, a sonda ficou apenas a 48 000 km da superfície de Mercúrio, facilitando muitos registros. Posteriormente, em 2008, a sonda Messenger realizou um sobrevoo sobre ele, retornando em 2009 e finalmente em 2011 entrou em órbita, o que também possibilitou milhares de fotos.

O planeta mercúrio é visível no céu antes do amanhecer ou logo após o pôr-do-sol, dependendo de sua posição relativa em relação a nós e ao Sol. Dessa forma, seu pequeno afastamento angular do Sol, cerca de

28° no máximo, dificulta sua observação, tanto a olho nu como por telescópios. Daqui da Terra, podemos vê-lo, no máximo duas horas antes do nascer do Sol, ou duas horas depois do Sol se por, dependendo da época de observação.

Existem referências que ele já era conhecido antes do século VI AEC, porém como ele aparecia, hora ao anoitecer e hora ao amanhecer, acreditava-se que fossem dois corpos distintos. O primeiro, recebeu o nome de Hermes, e o segundo, que aparecia somente antes do amanhecer de Apollo.

A.4.2.2. Vênus, a terra escaldante.

O nome Vênus, vem em homenagem a deusa grega Afrodite, ou deusa romana Vénus. Afrodite era considerada a deusa do amor e da beleza, devido seu enorme brilho quando comparado às “outras estrelas” que aparecem concomitante a ele no céu noturno.

Se encontrando no início da Zona Habitável da nossa estrela, ele ocupa a segunda posição na órbita solar, estando a distância média de 108,2 milhões de quilômetros do Sol. Sua órbita possui baixa excentricidade, ou seja, não há gigantesca diferença entre o afélio e o periélio. Seu tamanho é comparável ao da Terra, onde ele possui diâmetro de 12 104 km e a Terra 12 742 km.

Um fato interessante sobre ele é que sua rotação ocorre em sentido inverso aos demais planetas, ou seja, sua inclinação é de 177°. Há várias teorias para esse fato e uma delas é que nos primórdios uma colisão gigantesca desse planeta com outro corpo inverteu seu sentido de rotação. Esse outro corpo pode ter sido até mesmo um satélite natural, que hoje fundiu-se a ele. Outra teoria diz que, na formação dos planetas a partir da nuvem de gás e poeira que originaram o Sistema Solar, algumas condições e efeitos de maré, ocasionaram esse efeito de “girar para o outro lado”. De qualquer forma, o fato que observamos hoje é que ele tem período de rotação extremamente longo, quando comparado aos outros planetas. Em decorrência disso, um observador que estivesse lá observaria o Sol nascer no Oeste e ter seu ocaso no Leste, ou seja, um sentido inverso ao que estamos acostumados.

Hoje sabe-se que o planeta tem a maior temperatura superficial de todos. Sua temperatura atinge 487 °C (760 K) e isso ocorre não devido a maior proximidade com o Sol, mas sim ao gigantesco efeito estufa que envolve o planeta, com isso sua atmosfera é muito mais densa que a terrestre, constituída por 96,5% de dióxido de carbono e 3,5% de

nitrogênio. Outros elementos aparecem extremamente rarefeitos, não sendo, portanto, considerados em grande escala.

Alguns cientistas são adeptos de que nos primórdios, Vênus tinha condições de abrigar vida, com temperaturas mais amenas e atmosfera menos densa. Acredita-se que houveram reações em cadeia, na qual eventos de vulcanismo aumentaram a quantidade de gás na atmosfera, retendo o calor do Sol, esse por sua vez aumentou a temperatura do planeta, que fez aumentar o vulcanismo e jogando mais gases na atmosfera, acentuando ainda mais o efeito em uma reação em cadeia.

Em Vênus chove, porém não é água, mas sim ácido sulfúrico e essa chuva não chega a atingir sua superfície. Superfície essa constituída basicamente por rochas vulcânicas, resquícios das erupções. Devido sua densa atmosfera, objetos com menos de 50 m de diâmetro não chegam na superfície do solo, pois incendeiam-se na entrada. Já objetos maiores conseguem chegar ao solo e deixar suas marcas em forma de crateras. Dessa forma, no planeta não existem crateras com menos de 2 a 3 km de diâmetro.

Na superfície, sua atmosfera exerce pressão 92 vezes maior que a terrestre, dessa forma, seria o equivalente a estar a mais de 900 m de profundidade no mar. As sondas soviéticas Venera, e as americanas Mariner, na década de 1960, foram as primeiras a terem como missão o planeta Vênus. A sonda Venera 1 perdeu contato com a Terra depois de uma semana de missão. Já a Mariner 1 teve problemas em seu lançamento. Mariner 2, lançada posteriormente, passou a distância menor que 35 000 km do planeta, registrando através de seus radiômetros de infravermelho e micro-ondas que enquanto a superfície das nuvens era fria, sua parte mais interna tinha temperatura extremamente alta, ou seja, aproximadamente 425 °C.

Já a sonda soviética Venera 3 foi o primeiro artefato humano a entrar em outro planeta. Ela chocou-se com Vênus em 1 de março de 1966, porém devido a falhas de comunicação ela não retornou nenhum dado à Terra. A sonda Venera 4, em 1967, se saiu um pouco melhor, sua descida de 93 minutos registrou dados de pressão e temperatura até uma altitude de aproximadamente 25 km, quando suas baterias se esgotaram. Posteriormente, em 1969 foram lançadas as sondas Venera 5 e Venera 6, ambas foram destruídas a 20 km da superfície devido a pressão esmagadora. Elas retornaram, à Terra, detalhes atmosféricos de Vênus.

A primeira Telemetria recebida da superfície de outro planeta deve-se a Venera 7, que teve um pouso abrupto devido problemas com o paraquedas. Ela não foi destruída pela pressão pois foi construída envolta

em um módulo de descida que suportava pressões de até 180 bar. Ela forneceu dados por 23 minutos antes de se apagar para sempre.

A Venera 9 conseguiu enviar dados por 50 minutos sobre a superfície, porém foi com a Venera 10 e Venera 11 que tivemos as primeiras fotografias da superfície do planeta. A Venera 10 era uma sonda com 5 toneladas que chegou em Vênus em 1975 e por pouco mais de 1 hora fotografou o planeta. Já a Venera 11 funcionou por 95 minutos antes de perder o contato com o planeta Terra.

Acredita-se que a estrutura do planeta Vênus é parecida com a estrutura do planeta Terra. Porém um fato interessante é que ele não possui um campo magnético em seu entorno. Isso ocorre, provavelmente, pelo fato que sua velocidade de rotação é extremamente baixa, pois demora cerca de 243 dias terrestres para efetuar uma volta em torno de si. Enquanto o movimento de translação ocorre em apenas 224,65 dias. Portanto, podemos dizer que “um dia” de Vênus dura mais do que seu próprio “ano”.

Podemos efetuar um cálculo básico para verificar a velocidade linear de rotação do planeta, em sua linha do equador, com isso percebemos que seu valor é de apenas 6,52 km/h, bem distante do valor de 1 670 km/h da rotação terrestre na linha do equador. Para realizar esse cálculo, basta dividir o perímetro da circunferência da linha do equador, pelo tempo necessário para que a rotação ocorra. Para a Terra, cujo diâmetro é cerca de 12 756,2 km, temos um perímetro de 40 074,8 km. Utilizando um tempo de rotação de 23 horas 56 minutos e 4 segundos, temos a velocidade de 1674,4 km/h.

Algo que fascina é a observação de Vênus a olho nu, pois ele é o terceiro corpo celeste mais brilhante no céu, perdendo apenas para o Sol e para a Lua. Ele pode ser visto com uma angulação em relação ao Sol, que na Astronomia é chamada de alongação, de até pouco mais de 45°.

Visto da Terra, o planeta Vênus apresenta fases, como a lua, porém somente conseguimos distingui-las com o uso de um telescópio. Podemos ver as fases de Vênus na figura 26, registrado pelo Observatório Sul Europeu – ESO, no ano de 2004.

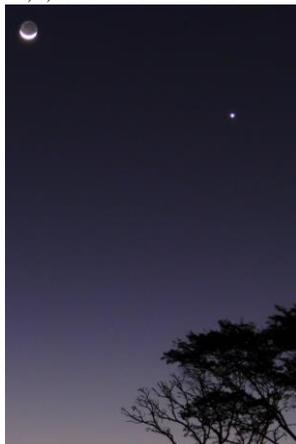
Figura 26: Fases de Vênus, registrada no observatório ESO no período de 27/02 a 08/06/2004.



Fonte: Stasis Kalyva - ESO.

Já na figura 27, registrada pelo autor no dia 10/07/2013, em uma conjunção com a Lua e o planeta Vênus, no município de Serra Alta – SC. Podemos observar que a lua se encontra em uma de suas fases, porém com essa pequena ampliação não conseguimos distinguir a fase na qual Vênus se encontra.

Figura 27: Conjunção entre a Lua, com magnitude -7,5 e Vênus, com magnitude -3,4, na data 10/07/2013



Fonte: O autor

A.4.2.3. Terra - *Nossa casa, nosso Lar.*

Nossa casa dispensa apresentações, pois toda história de vida que conhecemos surgiu nela. O terceiro planeta a partir do Sol, localiza-se no centro da Zona Habitável, possui temperatura que proporciona água no estado líquido e até onde sabemos é a única que possui vida.

Sua órbita ao redor do Sol tem duração de 1 ano, que equivale a aproximadamente 365 dias. Isso significa que ela faz aproximadamente 365 voltas em torno de si enquanto faz uma volta ao redor do Sol. Na realidade essa é a definição comum de dia e de ano, já o dia sideral é levemente mais curto, pois leva em conta a real velocidade de rotação, assim ele tem duração de 23 horas 56 minutos e 4 segundos, bem como o ano sideral tem duração de 365 dias 06 horas 09 minutos e 13 segundos. Disso, podemos ver que, na realidade, um ano não correspondem a exatamente 365 dias, mas sim um pouco a mais.

Os anos bissextos, que possuem algumas regras para ocorrer, como a mais conhecida, de que a cada 4 anos acrescentam um dia mais ao mês de fevereiro, não são baseados no ano sideral, mas sim no ano tropical. Enquanto o ano sideral leva em conta a posição da Terra em relação às estrelas, o ano tropical analisa o período de revolução ao redor do Sol, mas com relação ao equinócio vernal, ou seja, o equinócio que ocorre na primavera no hemisfério Norte. Assim, o valor de um ano tropical é levemente menor que o valor de um ano sideral, sendo utilizado pelo calendário gregoriano, o qual já fazemos uso por dezenas de séculos.

O planeta Terra viaja a velocidade média de 29,78 km/s em sua órbita ao redor do Sol, porém, devido ela ser elíptica, seus valores aproximados variam de 29,3 km/s no afélio a 30,2 km/s no periélio. Nessa órbita, nosso planeta tem inclinação de aproximadamente 23,4°, em relação ao plano planetário (eclíptica). É essa inclinação que proporciona as estações do ano, por nós conhecidas.

As estações do ano, solstícios e equinócios são posições relativas da inclinação do eixo terrestre em relação ao Sol. Eles não têm nada a ver com o afélio e com o periélio, mas sim, estão diretamente relacionados com a intensidade da radiação solar nos hemisférios Norte e Sul do planeta. Dessa forma, o planeta foi dividido em dois trópicos e mais a linha do equador. Em algumas situações o Sol pode “estar a pino”, que na Astronomia chamamos de Zênite. Utilizando como base a linha do equador, em um período de exatamente um ano o Sol ficará no Zênite de alguém sobre a linha do equador duas vezes por ano, ou seja, que chamamos de equinócios. Já em alguém sobre algum dos trópicos, o Sol estará no Zênite somente uma vez por ano, que é chamado de solstício de

verão. Nesse mesmo dia, uma pessoa sobre o outro trópico estará no solstício de inverno. Resumidamente, podemos concluir que em regiões de latitude entre os trópicos, o Sol estará no zênite duas vezes por ano, já quem está sobre um dos trópicos, verá o sol no zênite apenas uma vez por ano e quem estiver em latitudes maiores que a dos trópicos nunca observará o Sol diretamente sobre sua cabeça. Outra característica dos equinócios é que nesse dia, o dia e a noite tem exatamente a mesma duração, ou seja, 12 horas. Devido a inclinação do eixo terrestre, enquanto alguém próximo ao Trópico de Capricórnio está na estação de calor, conhecida como verão, uma pessoa próxima ao Trópico de Câncer está na estação oposta, ou seja, no inverno. Dessa forma, enquanto em janeiro, alguém no Brasil está no clima de verão, na Europa, a estação é inverno, já em julho estamos aqui no inverno e quem estiver na Europa curte o verão.

Nosso planeta possui tamanho e temperaturas adequadas para que os gases como o nitrogênio e o oxigênio não sejam perdidos para o espaço. Eles formam nossa atmosfera, cuja espessura é de aproximadamente 500 km, porém em altitudes elevadas, ela é extremamente rarefeita. Sua divisão é feita em 5 camadas, de acordo com altitude e temperaturas.

A primeira e mais próxima à superfície, é chamada de troposfera e é onde os seres vivos sobrevivem naturalmente. Ela se estende da altitude zero, até um valor médio de 12 km. Esse é o valor médio, pois os valores reais variam, devido ao efeito ocasionado pela rotação do planeta. Por exemplo, nos polos, sua espessura é menor que na linha do equador. Os fenômenos meteorológicos comuns como chuvas e relâmpagos ocorrem nessa área.

A próxima divisão é a estratosfera, entre 7 e 17 km até os 50 km, onde os balões estratosféricos chegam. Alguns aviões voam no limite entre troposfera e da estratosfera (região chamada de tropopausa), pois a baixa resistência ao deslocamento oferece uma grande economia de combustível além da estabilidade de voo. É na estratosfera que está a camada de ozônio que nos protege de radiações nocivas que vem do espaço, e dessa forma, também é nesse ponto que começa a dispersão da luz azul proveniente do Sol, o que resulta em um “céu azul” para nós.

A mesosfera é a camada que se estende de 50 km até 80 km, e é nessa região que os meteoros surgem (meteoro é o nome dado ao fenômeno luminoso, quando ele está fora da atmosfera ele é chamado de asteroide, já quando ele chega ao solo e é encontrado, ele recebe a nomenclatura de meteorito).

A camada seguinte é a termosfera, onde ocorrem as auroras. Sua temperatura é muito alta, passando de 1000 °C, porém devido ser extremamente rarefeita, um astronauta nessa região nem perceberia essa energia térmica. Ela pode se estender por até 800 km, dependendo da atividade solar, porém geralmente fica em torno de 500 km.

Não existe uma faixa limite/demarcatória entre o espaço exterior e a atmosfera, porém essa região recebe um nome, é conhecida como exosfera. A exosfera é composta por hidrogênio e hélio, extremamente rarefeitos, que interagem com o vento solar e com a magnetosfera, região de influência do campo magnético da Terra.

Existe uma região, na termosfera, chamada de linha Karman, que tem valor de 100 km acima do nível do mar. Ela é geralmente designada como o limite da atmosfera terrestre e o espaço sideral. Essa região é o que diferencia a aeronáutica da astronáutica. Qualquer tipo de voo, esporte ou atividade aérea abaixo dos 100 km pertence à aeronáutica, já para os acima disso, à astronáutica.

A atmosfera terrestre faz uma pressão média de 101 325 Pa, ao nível do mar, esse valor é conhecido como 1 atm ou 1 atmosfera. Como cerca de 80% da massa da atmosfera está localizada na troposfera, a temperatura, nessa região, oscila entre -93,2 °C a 57,8 °C, tendo um valor médio de aproximadamente 14 °C.

A maior parte da população de seres vivos vive em altitudes inferiores a 1 km, onde a temperatura é mais constante e tem valores mais propícios à vida. Devido a rarefação atmosférica que vai ocorrendo com a altitude na troposfera, quando maior ela for, menor será a temperatura. É devido a isso que regiões altas, como o Everest são extremamente geladas. De maneira geral, podemos dizer que nossa atmosfera corresponde a 1/127 avos do diâmetro terrestre, devido um diâmetro de pouco mais de 12 700 km comparados a 100 km de atmosfera.

O planeta Terra tem diâmetro equatorial de 12 756,2 km, portanto seu raio é de 6 378,1 km. Em sua área superficial, a Terra é coberta por água em mais de 70% de sua extensão. Abaixo da água temos rocha firme, porém não por muitos quilômetros. A espessura média da crosta terrestre sob os oceanos é de 7 a 10 km, já na crosta continental, o valor é varia de 20 a 70 km, tendo um valor médio de 35 km. O material que a crosta é feita tem densidade menor que o material do manto que se encontra logo abaixo, dessa forma, a plataforma continental flutua sobre o manto derretido.

Análises de ondas sísmicas revelam como o interior da Terra é, e com isso podemos determinar além de sua composição, suas características.

Na estrutura interna, temos um núcleo metálico sólido, com temperatura acima de 6000 K e pressões gigantescas, que não permitem a fusão (a fusão, aqui, se refere a passagem do estado sólido para o líquido e não a fusão atômica) desse material. Por fora desse núcleo, há um material metálico, condutor, no estado líquido que se desloca rapidamente, e segundo a chamada teoria do dínamo, ele é o responsável pelo campo magnético terrestre. Esse núcleo se estende de aproximadamente 5100 km aos 6378 km de profundidade. A densidade média desse núcleo é de 13 000 kg/m³. Já o núcleo externo, líquido, acima citado, tem densidade média de 11 000 kg/m³, e se estende de 2900 km à 5100 km. O manto, de onde vem a lava dos vulcões, se estende de 35 km à aproximadamente 2900 km, feito de materiais menos densos que as camadas internas, porém mesmo assim, mais densos que as camadas externas.

A Terra é o primeiro planeta do Sistema Solar, a partir do Sol, que tem um satélite natural, que chamamos de Lua. Esse sistema Terra-Lua está ligado gravitacionalmente e percebemos isso da Terra devido às marés e um fato muito curioso sobre esse sistema é que o período de rotação da lua coincide com seu período de translação ao redor da Terra, dessa forma, sempre vemos a mesma face dela voltada para nós.

A origem da Lua ainda é controversa, porém uma das teorias aceitas é que nos primórdios, um protoplaneta chamado Theia, cujo tamanho era equivalente ao planeta Marte, tenha colidido com a prototerra que ainda estava em formação. Dessa colisão, parte dele ficou em órbita e parte ficou junto com a Terra, o que explicaria o movimento sincronizado que os dois corpos possuem, pois, a Lua sempre mostra a mesma face para a Terra. Isso ocorre devido seu período orbital ser idêntico ao seu período rotacional, ou seja, ela faz uma volta em torno de si enquanto faz uma volta em torno da Terra. A Lua se afasta cerca de dois centímetros por ano, e em um passado distante estava a menos de 20 000 km de nós. Isso deveria provocar marés gigantescas naquele passado remoto. Hoje ela está a distância média de 384 400 km da Terra, variando de 363 104 km no perigeu à 405 696 km no apogeu.

Outra teoria que recentemente ganhou as revistas de divulgação científica é que no início, após a colisão da prototerra, a colisão de Theia originou um novo tipo de corpo, denominado de sinestia, cujas simulações mostram ter o formato de um globo esférico com um anel grosso, ou toroide de rochas vaporizadas. De acordo com Simon Lock da Universidade de Harvard e Sarah Stewart da Universidade da Califórnia em Davis, essa teoria explicaria a formação da lua, quando tem por ideia chave, que para a formação de uma sinestia parte do material estilhaçado

pela colisão entre dois grandes corpos, deve entrar em órbita. Assim, o próximo passo, é localizar no céu algum desses corpos, para poder comprovar essa teoria.

Estando a lua a aproximadamente 370 000 km de nós, algumas pessoas já foram até lá. No total, foram 6 missões tripuladas onde 12 astronautas tiveram esse privilégio, dos quais o primeiro ser humano a pisar nela foi Neil Armstrong, em 1969. Nessas missões, foram recolhidas e trazidas para a Terra, cerca de 380 kg de rochas lunares com o objetivo de possibilitar estudos científicos.

A.4.2.4. Marte, o planeta vermelho

Marte já é conhecido desde a antiguidade. Seu nome é uma homenagem ao deus da Guerra, provavelmente devido a coloração avermelhada que ele apresenta, ao olharmos daqui da Terra. Essa coloração, provavelmente lembra o sangue derramado em batalhas. Porém sabemos que na verdade, seu reflexo vermelho se deve a grande presença de óxido de ferro na sua composição superficial.

Marte viaja a um valor médio de 24 km/s em sua órbita ao redor do Sol e para completar uma volta demora aproximadamente 687 dias. Com duração de 24 horas e 39 minutos, aproximadamente, um dia marciano tem duração um pouco maior que um dia terrestre. Marte se encontra a cerca de 230 milhões de quilômetros do Sol, ou aproximadamente 1,5 UA, com isso ainda permanece na zona habitável do Sol.

Marte perdeu seu campo magnético a aproximadamente 4 bilhões de anos, talvez por uma colisão com um asteroide de mais de 2000 km de diâmetro, segundo James Roberts, da Universidade Johns Hopkins, EUA. E sem esse campo magnético, o vento solar interage mais diretamente com a atmosfera do planeta, fazendo com que parte de si seja perdida para o espaço.

Devido a isso, sua atmosfera é bem menor que a atmosfera terrestre e composta em 96% por dióxido de carbono e com uma pressão atmosférica média de 600 Pa (lembrando que a pressão atmosférica terrestre média pouco mais de 101 000 Pa). Assim a temperatura média da superfície do planeta oscila de -140 °C a 20 °C, tendo uma média de -63 °C.

Marte é sem dúvidas, o planeta mais cogitado para a colonização humana, porém ainda esbarra em uma tecnologia necessária que ainda não existe. Várias sondas e robôs já foram enviadas para lá, de modo a fazer análises e testes químicos tentando desvendar se já houve, ou se ainda há,

possibilidade de vida no planeta. Uma das possibilidades é que ela possa existir no gelo de água, que são encontrados nas calotas polares, ou ainda no gelo que existe no fundo de crateras.

Diversos leitos de rios secos demonstram que em Marte, num passado antigo, existia água corrente no planeta, quando possivelmente sua temperatura média era maior. Descobertas recentes, mostraram que há água em estado líquido e possivelmente corrente, na superfície, porém ela só aparece em períodos específicos, quando a temperatura é mais alta, ou seja, com valores acima de $-23\text{ }^{\circ}\text{C}$. Esses dados foram obtidos através da análise espectral, por uma pesquisa de quatro anos realizada pela sonda *Mars Reconnaissance Orbiter*⁴. A descoberta foi anunciada pela NASA em 2015. Já em 2017, um anúncio da NASA revelou que talvez esses “caminhos” nas encostas montanhosas não são água, mas sim rochas que deslizaram devido aumento da temperatura pela incidência da radiação solar no verão marciano.

A maior montanha conhecida, em um planeta do Sistema Solar, fica em Marte, seu nome é Monte Olimpo, em homenagem a mitologia grega. Com 25 km acima do valor médio da superfície marciana, ele recebe o título de maior vulcão já conhecido. Seu tamanho é cerca de três vezes, em altura, o próprio monte Everest, o mais alto existente na Terra. No século XIX, astrônomos já tinham conhecimento da sua existência. Porém só foi confirmado pela NASA em 1971, devido a sonda Mariner 9.

Estrutura interna de Marte não é conhecida, mas o pesquisador e cientista planetário do JPL (*Jet Propulsion Laboratory*), Charles Yoder, publicou um artigo⁵ onde efetua a análise e conclui que ele tenha um núcleo de ferro fundido (líquido).

Possível de observar a olho nu, com aparência avermelhada e com um movimento que é retrógrado de tempos em tempos, Marte sem dúvidas intrigou muitos astrônomos antigos. Explicar seu movimento foi um tanto difícil, que envolveu epiciclos dentro de epiciclos, na teoria do geocentrismo, porém envolveu apenas a aceitação de uma órbita elíptica na teoria heliocêntrica, de Kepler. Seguindo a linha da eclíptica, em algumas épocas do ano ele é visível, horas pela manhã, horas à noite. Só não podemos vê-lo quando estiver na direção que seja ocultado pela luz solar.

4 Anúncio disponível em: <https://www.nasa.gov/press-release/nasa-confirms-evidence-that-liquid-water-flows-on-today-s-mars/>; acessado em 20/03/17.

5 Pesquisador do Laboratório de Propulsão a Jato da NASA. Artigo publicado em 11 de abril de 2003 na revista Science, disponível em <http://science.sciencemag.org/content/300/5617/299.full>.

Visto por telescópios terrestres, quanto esses têm abertura suficiente, pode-se perceber as calotas polares, porém na maioria dos telescópios ele se apresenta como uma pequena esfera avermelhada.

Marte possui duas luas de pequenas dimensões, Phobos e Deimos que podem ser asteroides capturados pela força gravitacional, pois devido sua pequena massa e tamanho, são irregulares e não esféricos como as grandes luas do Sistema Solar. Foram descobertos em 1877 por Asaph Hall, astrônomo norte americano, utilizando um telescópio refrator de 26".

O semieixo maior de Phobos é de 8 377 km, ele tem dimensões de aproximadamente $27 \text{ km} \times 21.6 \text{ km} \times 18.8 \text{ km}$. Já Deimos é um pouco menor, suas dimensões são $10 \text{ km} \times 12 \text{ km} \times 16 \text{ km}$ e tem semieixo maior de 23 460 km. Vistos de Marte, Phobos tem tamanho angular três vezes menor que nós vemos a lua cheia, já Deimos seria visto um pouco mais brilhante do que vemos Vênus daqui da Terra.

A.4.2.5. Júpiter, o gigante gasoso

Saindo do planeta Marte, em direção de afastamento do Sol, encontramos à frente um local onde possivelmente existiu um planeta que foi destruído, ou talvez, segundo alguns astrônomos, nunca existiu um planeta, devido a influência gravitacional de Júpiter. Essa região é conhecida como cinturão de asteroides, que será explicitado no capítulo 5.3.

O planeta Júpiter, em homenagem ao deus da mitologia romana Júpiter, é o mais imponente dos planetas. Seu diâmetro de 142 984 km é cerca de 11 vezes o diâmetro da Terra (aproximadamente 12 750 km), porém cerca de 10% do diâmetro do Sol (com 1 391 400 km).

Sua órbita localiza-se a distância média de 778 547 200 km, ou cerca de 5,2 UA. Com velocidade orbital média de 13,07 km/s, demora cerca de 11,86 anos terrestres para realizar uma volta completa ao redor do Sol. Enquanto isso, sua rotação é extremamente rápida, para seu tamanho, pois demora apenas cerca de 10 horas para realizar uma volta em torno de si. Isso faz com que ocorra um grande achatamento nos polos, que pode ser percebido por observações em telescópios terrestres. Seu diâmetro equatorial é cerca de 9 000 km maior que seu diâmetro polar.

Observando em um telescópio, podemos ter a impressão que o planeta, com suas luas formam um sistema solar em miniatura, pois suas mais de 67 luas, orbitam a sua volta como os planetas ao redor de uma estrela.

Visível a olho nu, é o quarto objeto mais brilhante do céu regular, perdendo apenas para o Sol, para a Lua e para Vênus. Sua magnitude máxima pode chegar quase a -3. Quando observado por um telescópio amador, pode-se notar suas faixas e com uma noite propícia, talvez até seja visível sua Grande Mancha Vermelha desde que ela esteja virada em direção a Terra. Suas principais luas também são visíveis por um telescópio, luas essas conhecidas como galileanas, em homenagem à Galileu Galilei, o primeiro que se tem registro em observá-las.

Segundo Jorge Ernesto Horvath, no livro o ABCD da Astronomia, página 71, sua massa é muito pequena para que ele pudesse realizar a fusão nuclear e ter se tornado uma estrela. Porém mesmo assim, sua massa é cerca de 320 massas terrestres. Com massa tão grande, o centro de massa do sistema Júpiter-Sol está localizado acima da superfície do Sol, ou seja, eles orbitam em torno de um ponto comum que está localizado cerca de 50 000 km acima da superfície solar. Além disso, devido sua temperatura interna ser muito alta e provavelmente por ele fazer movimentos de contração, ele emana para o espaço, sob forma de radiação infravermelha, mais energia do que recebe do Sol.

Possui um intenso campo magnético, cerca de 14 vezes mais intenso que o terrestre. Isso faz com que parte dos gases ejetados pelos vulcões de Io (um satélite natural) sejam atraídos para seus polos, e com essa interação há a produção de ondas eletromagnética, com frequências de 600 kHz a 30 MHz.

Sua força gravitacional é intensa o suficiente para provocar a compressão de suas luas, especialmente de Io, pois é a mais próxima, formando assim inúmeros vulcões em sua superfície. Essa atividade vulcânica é proveniente, provavelmente da energia dissipada na fricção que ocorre internamente no satélite.

Sua estrutura interna não é muito conhecida, porém estima-se que ele possua um núcleo denso, com materiais pesados como os encontrados nos outros planetas, em temperatura de cerca de 30 000 a 40 000 K. Em 1997 em uma publicação de Bagenal, Dowling e McKinnon, houve a interpretação que exista um núcleo sólido com cerca de 12 a 45 massas terrestres, porém não há um consenso sobre isso. Logo após esse núcleo, há o hidrogênio metálico em alta temperatura e extremamente denso, ocupando um diâmetro de até 78% do planeta. Uma alta velocidade de rotação entre eles é, provavelmente, a responsável por criar o intenso campo magnético observado.

Após essa camada, temos o hidrogênio em um estado conhecido como estado de um fluido supercrítico, pois a pressão e a temperatura são maiores que os valores da temperatura e pressão críticas para o

hidrogênio. Mais adiante, conforme a pressão e a temperatura diminuem, o hidrogênio se torna gasoso misturando-se com hélio, seguindo até o limite determinado para o próprio planeta.

Em Júpiter há os ventos mais fortes conhecidos do sistema solar, e a tempestade mais antiga. Um ciclone que dura pelo menos 500 anos. A Grande Mancha Vermelha pode ter sido descoberta, segundo Kyrala, A. (1982), na obra “An explanation of the persistence of the Great Red Spot of Jupiter. Moon and the Planets”, na década de 1660 por Giovanni Domenico Cassini, e também por Robert Hooke nessa mesma década.

Como não há comprovação disso, o primeiro registro que se tem notícia é do farmacêutico Samuel Schwabe, que em 1831 desenhou detalhes da mancha. Modelos matemáticos realizados por Sommeria, Jöel; Steven D. Meyers & Harry L., sugerem que ela é estável e provavelmente já dura vários milhares de anos.

A sonda Galileu, em 2003, foi colocada em rota de colisão com o planeta, para evitar que ela fosse para o satélite Europa, e possivelmente o contaminasse. Com isso, ela entrou na atmosfera planetária registrando ventos de mais de 600 km/h e temperaturas superiores a 300 K. Então ela foi destruída pela pressão e alta temperatura.

As primeiras sondas a Júpiter foram as missões Pioneer, nas décadas de 1970, seguidas pelas missões Voyager no final dessa mesma década. A sonda Cassini, que seguia para Saturno, fotografou Júpiter em sua passagem. A sonda New Horizons, em 2007, rumo a Plutão, analisou vários dados do planeta em sua aproximação para obter o efeito de estilingue gravitacional. A última sonda a se aproximar do planeta foi a missão Juno em 4 de julho de 2016, realizando várias voltas em torno do planeta. Há a previsão de uma sonda a ser enviada pela Agência Espacial Europeia, em 2022 e uma pela NASA em 2025.

Das luas de Júpiter, Ganímedes chama atenção por ser a maior lua do sistema solar, maior inclusive que o planeta Mercúrio. Ela com Calisto, Io e Europa compõe os satélites galileanos, no qual, essa última em especial, acredita-se ser composta por um oceano líquido, embaixo de uma superfície de gelo, podendo dessa forma, ser um possível local onde a vida pode existir.

Io, com diâmetro de 3643 km, é a que está mais próxima de Júpiter, tem semieixo maior de 421 800 km, um pouco mais distante que nossa lua se encontra da Terra. Europa, com diâmetro de 3 122 km tem semieixo maior de 671 000 km. Ganímedes, com diâmetro de 5 262 km, distancia-se de Júpiter pouco mais de 1 milhão de quilômetros. Por último, Calisto, de 4821 km de diâmetro estando a pouco menos de 1 900 000 km.

A.4.2.6. Saturno, o senhor dos anéis

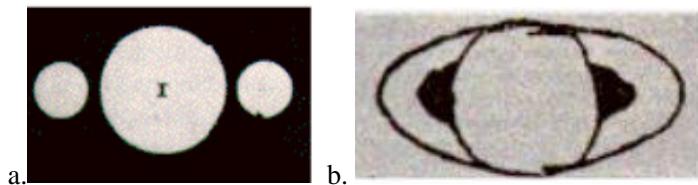
Olhando da Terra, parece apenas uma estrelinha como qualquer outra, mas na realidade, se o observar por vários meses, perceberá que ele se desloca perante as estrelas de fundo, pois ele é um planeta do Sistema Solar. Mesmo assim, somente foi descoberta a beleza de seus anéis com o invento do telescópio. Um dos objetos mais bonitos de se olhar em um telescópio, é sem dúvida o planeta Saturno, que impressiona pelo formato peculiar.

A origem de seu nome, remonta a mitologia romana, em homenagem ao deus do tempo Saturnus, cujo equivalente na mitologia grega é Chronos, que foi expulso dos céus por seu filho Zeus (Júpiter).

O sexto planeta, a partir do Sol, Saturno possui órbita com excentricidade 0,056 estando em média a 9,5 UA do Sol, se deslocando a velocidade média de 9,7 km/s, com um período de rotação de aproximadamente 10,3 horas. Seu diâmetro é de 120 356 km, ou seja, cerca de 9,5 vezes o diâmetro terrestre. Saturno tem massa de $5,6846 \cdot 10^{26}$ kg e aceleração gravitacional média de $10,5 \text{ m/s}^2$, na linha equatorial.

Com o advento da primeira luneta por Hans Lippershey no início do século XVII, e posteriormente apontada para o céu por Galileu, este observou e registrou saturno como sendo um conjunto de três corpos interagindo entre si, conforme podemos ver na figura 28a. Ele o observou durante vários anos, e em 1616 modificou sua observação para um conjunto de alças no entorno do planeta (figura 28b.).

Figura 28: Planeta Saturno, desenhado por Galileu Galilei, em a. 1610 e b. 1616.



Fonte: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b4/Galileosaturnus.jpg>

Somente cerca de cinquenta anos após os desenhos de Galileu, o astrônomo Christian Hyugens, com um telescópio de maior poder de magnificação, percebeu que na verdade existiam anéis em torno de Saturno. A ele também é creditada a descoberta de Titã, a maior lua de Saturno e a segunda maior do Sistema Solar.

Conforme a óptica evoluía, equipamentos melhores eram fabricados, e com isso, na segunda metade do século XVII, Giovanni Cassini fez diversas descobertas, como por exemplo, outras luas em Saturno, posteriormente nomeadas de Japeto, Reia, Tétis e Dione, que a partir da lei da Gravitação de Newton possibilitaram o cálculo da massa de Saturno. Em 1789, William Herschel encontrou as luas Encélado e Mimas, mas hoje sabemos que existem pelo menos 62 luas com diâmetro considerável em Saturno.

No século XX, Saturno foi analisado por diversos comprimentos de onda, e através de espectroscopia, foi analisado a composição do planeta, revelando metano e amônia e hélio, além do predominante hidrogênio (cerca de 96%). Com isso, um fato interessante é que sua densidade média é a menor de todos os planetas, com um valor menor que $0,7 \text{ g/cm}^3$ ou pouco menos que 700 kg/m^3 . Isso indica que sua densidade média é menor que a da água.

Provavelmente não existe um núcleo sólido ou uma superfície, mas, através de estudos gravitacionais, acredita-se que como é constituído basicamente de hidrogênio, ele é encontrado no estado gasoso apenas nas camadas externas, onde há tempestades com ventos cujas velocidades são maiores que 2000 km/h.

Conforme mergulhamos rumo ao interior do planeta, a pressão e a temperatura aumentam consideravelmente, até, cerca de 1000 km de “profundidade”, o hidrogênio ficar no estado líquido com temperaturas na faixa dos 1000 K. A cerca de 30 000 km de profundidade, a pressão se torna extremamente alta a ponto de fazer o hidrogênio passar do estado líquido para um estado eletrônico degenerado de prótons e elétrons ionizados, tornando-se o hidrogênio metálico, a uma temperatura de mais de 6000 K, segundo Erik Gregersen (2010).

Sondas já foram enviadas para coletarem dados dos planetas externos. Entre elas, Pioneer 11, Voyager 1 e Voyager 2, bem como a sonda Cassini e a mais recente New Horizons. Todas coletaram dados que foram enviados para a Terra para estudos posteriores.

O sistema de anéis é composto por diversas bandas. Visto da Terra, facilmente distinguimos a separação mais notável, conhecida como divisão de Cassini. Os anéis são compostos por poeira, gelo e rochas, cujo tamanho variam de minúsculos grãos até vários metros. Eles se estendem por até 483 000 km do centro de Saturno, porém com espessura de apenas algumas centenas de metros. Acredita-se que existia nessa posição um satélite que foi destruído pela força gravitacional de Saturno, pois o anel se encontra no chamado “limite de Roche”, que indica uma região onde

um objeto de grandes dimensões seria destruído pelas forças gravitacionais.

A.4.2.7. Urano, o mais gelado

Desconhecido como sendo um planeta pela humanidade até o ano de 1781, Urano foi “descoberto” pelo astrônomo William Herschel através de um telescópio em sua casa. Quando tornou pública sua descoberta, ele classificou primeiramente como um cometa, porém devido a várias observações e cálculos, de outros astrônomos logo após a descoberta, eliminaram as dúvidas e o classificaram como um planeta com órbita além de Saturno.

Sua magnitude máxima é de 5,32, sendo em condições específicas de clima e poluição luminosa, possível de ser visto a olho nu. Porém como seu movimento é muito lento no fundo estelar, ele não foi percebido facilmente. Ele já havia sido observado por John Flamsteed que o catalogou como sendo uma estrela, cujo nome foi 34-Tauri em 1690 e por Pierre Lemonnier que o registrou por 12 vezes entre 1750 e 1769, passando posteriormente à classificação de um cometa, por Herschel e como planeta após análise mais criteriosa. Herschel o nomeou primeiramente de “estrela de Jorge” em homenagem ao rei George III do Reino Unido. Porém o nome não pegou, e foi então cogitado ser chamado de Herschel, em homenagem a seu descobridor, que também não foi aceito, propuseram Netuno, sem sucesso, até que o nomearam de Urano, que foi oficialmente aceito em 1850, quando trocaram o nome de “Georgium Sidus” para “Urano”.

Por estar localizado a distância média de 19 UA do Sol, ele demora cerca 84 anos terrestres para realizar uma volta completa, sua velocidade orbital média é de 6,8 km/s. Urano tem diâmetro de 51 118 km, ou seja, aproximadamente 4 vezes o diâmetro terrestre e densidade média e de 1,27 g/cm³.

O modelo padrão da estrutura de Urano divide o planeta em três camadas. A mais interna é um núcleo rochoso de ferro-níquel com silicatos, seguido por um manto água e amônia, formando verdadeiros oceanos dessa mistura. Após essa camada, uma espessa atmosfera de hidrogênio e hélio. Todos os modelos apontam que não deve existir uma superfície sólida, mas sim uma atmosfera gasosa transitando para o estado líquido. Essa atmosfera é composta é composta por 83% de hidrogênio, 15% de hélio, 2% de metano além de pequenas porcentagens de acetileno e hidrocarbonetos. A menor temperatura dos planetas do Sistema Solar

foi registrada em Urano, cujo valor é de apenas 49 K, ou seja, $-224\text{ }^{\circ}\text{C}$, o que lhe garantiu o título de “mais frio” de todos os planetas.

Urano tem um sistema de anéis, menores e mais escuros que os de Saturno, tanto que foram descritos por Herschel porém não vistos por mais ninguém, até a data de 1977, quando ao observar uma ocultação de uma estrela pelo planeta puderam finalmente comprová-los. Esse sistema de anéis foi fotografado posteriormente pela sonda Voyager 2. Além disso, ele possui 27 satélites conhecidos, cujos principais são Miranda, Ariel, Umbriel, Titânia e Oberon.

Voyager 2 se aproximou a 81 500 km de Urano estudando a estrutura, a composição química e o campo magnético. Uma curiosidade interessante sobre ele é que sua inclinação é de aproximadamente 98° em relação ao plano planetário, isso faz ele parecer girar sobre sua “linha do equador”, quando comparado à Terra, por exemplo.

A.4.2.8. Netuno, o mais distante.

Ao analisar a órbita de Urano, percebeu-se que existia uma influência gravitacional não explicada. Portanto, diversos astrônomos na época resolveram estudar esse mistério o que resultou em 1846, a John Couch Adams e Urbain Le Verrier, de forma independente, obterem a posição aproximada desse planeta. Então em setembro de 1846, após intensa busca em telescópios, finalmente encontraram o novo planeta, cujo nome foi dado em homenagem ao deus romano dos Mares.

Localizado a aproximadamente 30 UA do Sol, sua órbita tem excentricidade de apenas 0,01, com um período orbital de 165 anos. Sua velocidade média nessa órbita é de 5,43 km/s. Seu diâmetro é de 49 528 km, ou seja, cerca de 4 vezes maior que a Terra.

Embora Netuno seja menor que Urano, sua massa é maior. Sua atmosfera superior é composta por 79% de hidrogênio, e cerca de 18% de hélio e o restante é basicamente metano. Como a porcentagem de metano nos dois planetas é a mesma, e um é mais azulado que o outro, deve haver alguma substância que interfere na coloração.

Internamente, acredita-se existir um núcleo de rochoso, com um manto de água, amônia e metano congelados, seguido pela atmosfera de hidrogênio, hélio e metano. Esses dados são provenientes de observações por grandes telescópios e pela sonda Voyager 2 que passou por ele em 1989.

Após a descoberta de Netuno, William Herschel pediu para o astrônomo inglês William Lassell, o observar melhor e com isso, 17 dias depois da descoberta do planeta, foi encontrada sua principal lua, Tritão.

Posteriormente, foram descobertas mais duas luas, Nereida em 1949, e Larissa em 1981. Hoje sabe-se que existem pelo menos 14 satélites naturais em órbita de Netuno.

A.4.3. CINTURÃO DE ASTEROIDES E CINTURÃO DE KUIPER

Asteroides são corpos menores que planetas ou planetas anões que orbitam o Sol e grande parte dos que chegam em direção aos planetas internos, vem de uma zona chamada de cinturão de asteroides, que fica entre os planetas Marte e Júpiter, a aproximadamente 2,8 UA do Sol. Essa faixa também é conhecida como cinturão principal e é nela que se encontra o planeta anão Ceres. Além de Ceres, nesse cinturão há asteroides de tamanho considerável, como por exemplo Vesta, com 530 km de diâmetro médio, Palas também com 530 km e Hígia, com 407 km. Hoje, tem-se catalogado mais de 500 000 objetos nessa região, alguns com algumas centenas de metros à Ceres, com 974 km.

Existe uma lei empírica, chamada de lei de Titius-Bode, a qual prediz a existência de planetas em distâncias do Sol, em UA, porém essa lei não é aceita atualmente, pois não contempla órbitas além Netuno com precisão suficiente (equação 21)

Equação 21: Lei empírica de Titius-Bode

$$D = \frac{4 + 3 \left(2^n\right)}{10} \quad (21)$$

Nessa equação, D é a distância predita pela equação e n é o indicador do planeta, variando de $-\infty$ a 8. Dessa forma, podemos usar a equação para analisar os dados reais dos planetas com os valores preditos por essa equação (tabela 05).

Tabela 5: Comparação de distâncias entre a lei de Titius-Bode e os valores reais para planetas do Sistema Solar.

Planeta	Sequência (n)	Distância predita (UA)	Distância real (UA)	Diferença em %
Mercúrio	$-\infty$	0,4	0,39	2,56 %
Vênus	0	0,7	0,72	2,78 %
Terra	1	1	1,00	0,00 %
Marte	2	1,6	1,52	5,26 %

Ceres	3	2,8	2,77	1,08 %
Júpiter	4	5,2	5,20	0,00 %
Saturno	5	10,0	9,54	4,82 %
Urano	6	19,6	19,2	2,08 %
Netuno	7	38,8	30,06	29,08 %
Plutão	8	77,2	39,44	95,75 %

Fonte: tabela plotada pelo autor ao aplicar os dados na equação 21.

Como podemos observar na tabela, a equação se comporta razoavelmente bem até Urano, porém aumentando o erro de netuno em diante, tornando-a incorreta, ou pelo menos não coerente com a realidade.

A existência do cinturão de asteroides é aceita como sendo resultado de um conjunto de fatores, ocasionados pelas forças gravitacionais de Júpiter, nessa região, impedindo que se formasse um planeta a partir da acreção de matéria presente no local. Isso impediu que o planeta se formasse, deixando no local milhares de corpos em órbita do Sol, outra hipótese é uma gigantesca colisão que destruiu o planeta que aí estava, restando apenas Ceres como maior “pedaço”.

Além desse grupo de asteroides, existem outros, os NEAs do inglês do inglês Near-Earth Asteroids, ou seja, asteroides próximos à Terra, e os Asteroides Troianos, que se encontram nos pontos de Lagrange, que são regiões no espaço onde há o cancelamento das forças centrípetas pelas forças gravitacionais opostas, criando certa estabilidade para algo que se encontre nessa posição. A Terra tem o asteroide 2010 TK7 com cerca de 300 metros, nesse ponto, porém podem haver mais. Júpiter também possui vários nesses pontos.

Mais além, externamente à órbita de Netuno, existe a região onde se encontra o Cinturão de Kuiper. Ele se estende de 30 UA, onde está a órbita de Netuno, até 150 UA. Nessa região foram encontrados diversos planetas anões, entre eles está Plutão, Éris, Makemake, e alguns mais. Acredita-se que nessa região, não houve a acreção de matéria devido a presença de Netuno, então esses corpos são remanescentes da nebulosa solar, devido a forma achatada do disco no qual se encontram.

O cinturão de Kuiper foi predito através de cálculos por dois astrônomos: Kenneth Edgeworth (1880 – 1972) em 1949 e por Gerard Kuiper (1905 – 1973) em 1951, porém somente em 1992 que foi descoberto o primeiro objeto transnetuniano (além de Netuno).

Eventualmente, devido a forças gravitacionais, alguns desses asteroides podem ser lançados em direção a algum planeta ou satélite natural. Se porventura algum desses vier em direção à Terra, nós

contamos com um eficiente sistema de defesa. Rochas com tamanhos de até 20 metros, dependendo da composição, são destruídas na entrada da atmosfera, gerando uma bola de fogo que é conhecida como meteoro. A palavra meteoro, vem do grego Meteoron que significa fenômeno no céu. Portanto, é chamado de meteoro o fenômeno luminoso no qual um pequeno asteroide é visível no céu devido ao aquecimento provocado pelo atrito com a atmosfera quando ele chega em alta velocidade. Dependendo da composição química, ele pode chegar ao solo, e quando recuperado recebe a nomenclatura de meteorito. Esses podem ser rochosos, metálico-rochoso ou metálico.

Cerca de 10 000 toneladas de matéria proveniente do espaço, são atraídas para o planeta Terra todos os dias, porém a grande maioria possui massa de apenas alguns microgramas. Há um fator no mínimo intrigante, para não dizer assustador, historicamente, a cada 30 milhões de anos cai um meteoro de grandes dimensões no planeta Terra e o último foi a 65 milhões de anos, que supostamente extinguiu os dinossauros. Era um asteroide com tamanho mínimo de 10 km que provocou uma cratera com mais de 200 km de diâmetro. Sua energia liberada foi maior que 3 bilhões de bombas atômicas explodindo simultaneamente.

Alguns meteoritos encontrados no planeta Terra são provenientes de outros planetas. Isso pode acontecer devido a impactos de grandes dimensões nesses planetas, que fazem o material ser ejetado para fora com velocidades superiores à velocidade de escape, ocasionando sua saída da atmosfera. Por exemplo, um meteorito chamado de ALH84001, descoberto na Antártida em 1984, que veio de Marte e caiu na Terra a mais de 13 mil anos.

No século XX, por duas vezes houve colisões significativas de asteroides ou cometas com o planeta Terra. Em 30 de junho de 1908 acredita-se que um cometa com aproximadamente 100 000 toneladas explodiu na atmosfera. A onda de choque derrubou milhares de quilômetros quadrados de florestas na Sibéria; Como não foi encontrada nenhuma cratera de impacto, acredita-se que ele era composto por água, que vaporizou na explosão.

Em 12 de Fevereiro de 1947 nas montanhas de Sikhote-Alin, também na Sibéria, um asteroide de Ferro-níquel de aproximadamente 100 toneladas explodiu no ar e deixou mais de 106 crateras com tamanhos de até 28 m, desde asteroide foram recuperados mais de 9 mil meteoritos, onde o maior tem massa de 1745 kg.

No século XXI, no ano de 2013 caiu um meteoro na Rússia, durante o dia. Conhecido como Meteoro de Cheliabinsk, tinha 10 000 toneladas e cerca de 17 metros e entrou na atmosfera a aproximadamente

30 km/s, e em virtude disso, ele explodiu a cerca de 10 km de altitude. Sua onda de choque quebrou vidros de prédios e feriu várias pessoas.

No estado de Santa Catarina, mais precisamente no município de Vargeão, encontra-se a segunda maior cratera de impacto do Brasil, com diâmetro de aproximadamente 12 quilômetros e 225 metros de profundidade. Devido a energia do impacto, rochas que deveriam estar a mais de 700 metros de profundidade afloram na superfície. Pesquisas indicaram que ela data de 50 a 60 milhões de anos atrás.

A.4.4. PLANETAS ANÕES

Segundo a definição adotada em 2006 pela IAU (União Astronômica Internacional), para ser um planeta o corpo deve obedecer alguns critérios: ele deve estar em órbita em redor do Sol; Ele deve ter massa suficiente para que a sua própria gravidade supere as forças de corpo rígido, de maneira que esteja em equilíbrio hidrostático e tenha uma forma esférica ou quase; Deve ter as vizinhanças da sua órbita desimpedidas, ou seja, deve ter “limpado” sua órbita e por último, não deve ser um satélite de outro planeta.

Todos os corpos que obedecem a maioria dos requisitos, porém falham em alguns, são classificados como planetas anões. Assim, não existe um tamanho mínimo para que um corpo seja considerado um planeta anão, exceto o fato que ele deve ter formato esférico ou quase esférico. Dessa forma, dependendo da composição química, o tamanho varia, mas geralmente fica na faixa acima dos 800 km de diâmetro, porém a União Astronômica Internacional não estabelece limites mínimos ou máximos para tal, pois asteroides com menos de 500 km, se compostos basicamente por gelo, também podem ser esféricos.

Segundo professor do Planetário de Astronomia do Instituto de Tecnologia da Califórnia, Mike Brown, a classificação em planetas anões está ligada em probabilidades e não em certezas. Ele define em uma tabela, onde, na data de 21 de maio de 2017, existem as seguintes classificações de planetas anões. 10 objetos que são quase certamente planetas anões, 30 objetos que são altamente prováveis de serem planetas anões, 70 objetos que são propensos a serem planetas anões, 146 objetos que provavelmente são planetas anões e 708 objetos que talvez sejam planetas anões.

A maior parte dos planetas anões estão no cinturão de Kuiper e recebem o nome de objeto cubewano (do inglês *classical Kuiper belt object* (CKBO)). Os cinco primeiros planetas anões reconhecidos foram: Ceres, Plutão, Haumea, Makemake e Éris.

A.4.5. NUVEM DE OORT

Externamente ao cinturão de Kuiper, está a chamada Nuvem de Oort, que se estende de para mais de 50 000 UA. Alguns acreditam que ela se estende até 100 000 UA a 200 000 UA, onde a gravidade do Sol perde a influência para a maré galáctica, que é um ponto de truncamento entre a força gravitacional do Sol e da própria Via-Láctea.

No ano de 1932, o astrônomo Ernst Öpik postulou que os cometas de período longo vinham de um local nos confins do Sistema Solar, essa ideia foi adotada de modo independente, em 1950 pelo astrônomo Jan Oort, onde a utilizou para explicar um problema relativo a vaporização dos cometas, dizendo que eles deveriam vir de uma região mais externa do Sistema Solar

Segundo, Alessandro Morbidelli (2008) no artigo *Origin and Dynamical Evolution of Comets and their Reservoirs*, nessa região podem existir trilhões de cometas com mais de 1 km de diâmetro, porém devido as dimensões envolvidas, provavelmente as distâncias entre cada um deles seja maior que uma unidade astronômica. Cometas provenientes dessa região possuem períodos de centenas a vários milhares de anos pois o cinturão de Kuiper corresponde a menos de um milésimo da distância envolvida em relação a nuvem do Oort.

A.4.6. COMETAS

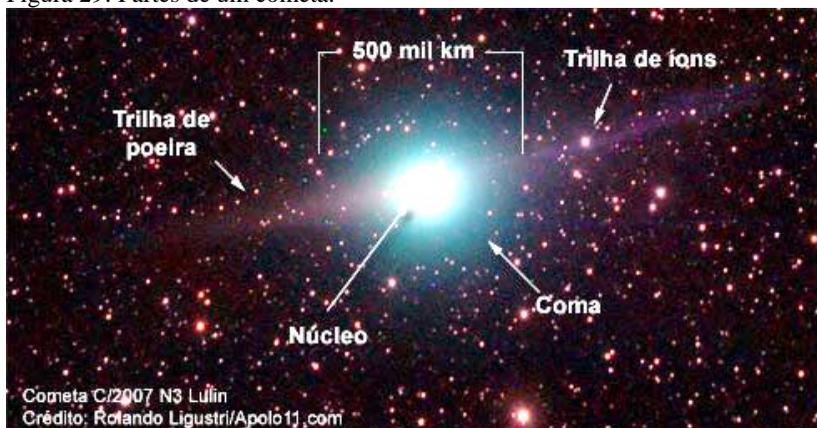
Os cometas são asteroídes compostos por gelo e poeira que quando se aproximam do Sol tem sua temperatura elevada, devido a energia que recebem e com isso sofrem a ejeção de sua massa. Isso faz com que eles adquiram caudas que podem ter tamanho de até 1 UA.

Todos os cometas têm órbitas muito alongadas, com excentricidade muito alta. Algumas se estendem de 1 UA no periélio para milhares no afélio. Sua cauda só é visível quando ele se aproxima do Sol, pois ele a vai perdendo enquanto se afasta do Sol, ficando indistinguível de um asteroide típico, quando estiver extremamente distante.

Um cometa típico é formado pelo núcleo, onde está a parte sólida, pelo “coma”, que é uma região de gelo sublimado ao redor do núcleo. Seguido por duas caudas, uma de gás ionizado empurrado pela pressão da radiação solar e outra de poeira, deixada para trás pelo caminho.

A figura 29 mostra a formação típica de um cometa.

Figura 29: Partes de um cometa.



Fonte: Rolando Ligustri. Disponível em:

http://www.apolo11.com/imagens/etc/cometa_c2007_n3_lulin_foto_parte_fev_2009.jpg

Cometas são registrados desde a antiguidade, e naquela época, acreditava-se que eram responsáveis por desgraças na vida da população. Edmund Halley foi o primeiro a prever a volta de um cometa, que hoje leva seu nome. O cometa Halley tem um período de 76 anos, tendo vindo para perto do Sol pela última vez em 1986. Nessa época, foi enviada uma sonda, de nome Giotto, que passou a menos de 1000 km de seu núcleo, fotografando e coletando dados. Em sua passagem, ele perdia mais de 60 toneladas de matéria por segundo devido a vaporização, o que é pouco comparado a sua massa total, que é cerca de $6 \cdot 10^{14}$ kg, com um núcleo de aproximadamente 13 km x 8 km ele ainda voltará por milhares de vezes. Sua próxima visita será no ano de 2062.

No ano de 1997 o cometa Hale-Bopp esteve visível a olho nu praticamente no mundo todo. Ele ficou conhecido como o grande cometa, porém não será visto novamente tão cedo, seu próximo periélio será no ano de 4385 (figura 30). Nessa imagem, podemos ver bem distintos a trilha de poeira e a trilha de íons desse cometa.

Figura 30: Cometa Hale-Bopp visto sob Stonehenge



Fonte: Philip Perkins, 1997. Disponível em: http://www.astrocruise.com/solar_system/hb_stonehenge.jpg

No ano de 1994 o cometa Shoemaker-Levy-9 se aproximou de Júpiter e com isso se fragmentou em mais de 20 pedaços devido as forças de maré. Os pedaços maiores tinham cerca de 2 km e explodiram nas nuvens de amônia da atmosfera Jupteriana, causando manchas de explosão cujo tamanho eram equivalentes ao diâmetro da Terra. Com isso, por análises espectroscópicas, os astrônomos puderam detectar a composição das nuvens que antes eram escondidas pela camada superior.

Quando um cometa passa, ele deixa atrás de si um caminho de poeira e gás. Essa poeira é ejetada devido a pressão exercida pelo vapor. Quando esse caminho é interceptado pela Terra, temos o fenômeno da chuva de meteoros, pois pequenas partículas que estão à deriva no espaço são atraídas e coletadas pelo planeta Terra e devido sua velocidade entram em incandescência, possibilitando visualizar vários meteoros por hora.

O cometa que representa mais perigo para a vida no planeta Terra é o cometa Swift-Tuttle, que tem sua órbita coincidente com a do nosso planeta. As chuvas de meteoros das Perseidas são restos desse cometa. Com seu núcleo de aproximadamente 27 km, ele é maior e viaja mais rápido que o asteroide que extinguiu com os dinossauros. Cálculos

mostram que no ano de 2126 ele se aproximará da Terra, porém não representa perigo de colisão. Já no ano de 4479 há uma pequena probabilidade de colisão, cujo valor é de 1.10^{-6} %.

A.5. ESTRELAS E GALÁXIAS

Toda estrela que vemos no céu tem uma origem, um nascimento. Tudo inicia em nuvens de gás e poeira que existem no universo na região entre estrelas denominada meio interestelar. O hidrogênio sendo o elemento mais leve, simples e abundante do universo, é o principal elemento químico da composição das estrelas.

Nuvens interestelares são extremamente rarefeitas, possuindo densidades típicas de 30 átomos por centímetros cúbicos e temperaturas baixíssimas da ordem de 70 K. Flutuações de densidade ocorrem frequentemente nessas nuvens formando pequenos glóbulos que se unem devido a força gravitacional. Esses pequenos pontos de maiores densidades conseguem atrair outros glóbulos, aumentando sua massa agregada e conseqüentemente seu poder de alcance, ocasionando uma reação em cadeia, até um limite específico que depende da massa inicial dessa nuvem de gás e poeira que ali existia.

Em um certo ponto, a pressão dentro desse objeto que se formou se torna tão grande, com temperaturas tão intensas que ocorre a chamada fusão nuclear, onde 4 átomos de hidrogênio se fundem formando o átomo de hélio, pelo chamado ciclo Próton-Próton, e com isso liberando energia. Dessa forma, estrelas são grandes esferas de gás incandescente, cuja pressão no centro faz ocorrer reações termonucleares, que liberam energia radiante.

A estrela que mais possuímos dados é o astro rei do Sistema Solar, o Sol. Com uma margem de erro de apenas 65 km, para mais ou para menos, o diâmetro do Sol é de 1 392 684 km. Esse valor foi obtido através de medidas devido ao trânsito do planeta Vênus, ou seja, quando planeta passa entre a Terra e o Sol, essa medida foi realizada através de imagens de satélites em órbita para diminuir o erro devido distorções atmosféricas.

Estrelas geralmente se reúnem em aglomerados, que por sua vez formam os braços de suas galáxias. Dessa forma, em uma galáxia típica, podem haver bilhões de estrelas; já as galáxias se reúnem em grupos, nós pertencemos ao chamado Grupo Local, do qual além da Via Láctea, temos Andrômeda e algumas galáxias satélites. O nosso grupo local pertence a um “pequeno” aglomerado de galáxias, denominado de Aglomerado de Virgem, que contém pelo menos 1300 galáxias. Porém esse aglomerado é ínfimo perante os incontáveis aglomerados de galáxias existentes e que compõe o próprio universo visível.

A.5.1. O BIG BANG E A ORIGEM DO UNIVERSO

Ao observarmos as ondas, de formato circular, na superfície de um lago, não precisamos ver a pedra que as causou, porém sabemos que em um ponto, em algum instante de tempo passado, isso ocorreu. A expansão do universo que observamos atualmente é um forte indício que houve um tempo, que segundo cálculos datam de 13,7 bilhões de anos, em que todo universo estava em um único ponto. Esse ponto que inflou muito rapidamente, sobre si próprio é chamado de Big Bang. O próprio tempo e espaço estão contidos dentro do produto dessa explosão, onde inicialmente, essa massa inimaginável estava contida num ponto de singularidade. Esse ponto de singularidade, talvez por uma instabilidade se desfez, liberando energia enorme em frações ínfimas de um segundo.

Além do efeito Doppler da luz, que nos permite perceber que todas as galáxias se afastam umas das outras, o que também reforça a teoria da expansão do universo é o chamado paradoxo de Olbers. No século XVIII, o médico e astrônomo Heinrich Olbers raciocinou, corretamente o seguinte problema. Supondo uma distribuição uniforme de estrelas em um espaço infinito, se o universo existiu desde sempre, em qualquer direção do céu que olhássemos, deveríamos observar uma luminosidade equivalente ao brilho de uma estrela de tamanho médio, pois não haveria qualquer “orifício” no céu, sobre o qual por trás não existisse uma estrela emitindo luz.

Esse pensamento é totalmente coerente, pois imaginamos olhar uma única bolha de ar subindo de dentro de um aquário, vemos muito bem ela e a distinguimos do fundo do aquário. Agora imagine uma cortina de bolhas: ainda conseguimos ver espaço sem bolhas, ou seja, a parte atrás delas. Agora imagine essas bolhas, em posições aleatórias, porém em um aquário enorme em dimensão de profundidade, onde atrás de cada bolha, haveriam inúmeras outras bolhas. Observando isso de frente, não veríamos o fundo do aquário, apenas bolhas de ar.

Trazendo isso para a realidade do céu noturno, percebemos claramente que isso não ocorre, pois se ocorresse, não deveria existir a noite. Então onde está o problema? Olbers sugeriu que haveria poeira cósmica que absorveria essa energia de estrelas mais distantes, tornando o universo um tanto que opaco, porém, se essa poeira absorvesse parte da energia, chegaria um ponto que ela entraria em equilíbrio térmico e passaria a brilhar, o que não ocorre. Outra hipótese foi que a expansão do universo faz com que a energia degrade, quando ocorre o desvio para o infravermelho, portanto não visível. Isso funciona, porém, cálculos indicam que somente isso não é o suficiente.

Então a única observação e hipótese que resta é que o universo não existiu por todo o sempre, ou seja, ele teve um início. Assim sendo, seu tamanho é muito maior que realmente podemos ver, pois seu tempo de existência não permitiu ainda que as luzes de estrelas mais longínquas chegassem até nós. Isso explica o paradoxo e conseqüentemente reforça a teoria do Big Bang. Segundo Kepler de Oliveira, no livro *Astronomia e Astrofísica*, página 637, como o universo tem cerca de 13,7 bilhões de anos, se usarmos uma distância média de 1 parsec entre cada estrela. Isso significa que o universo, em tamanho deve ser maior que $6,6 \cdot 10^{15}$ anos-luz, pois se fosse menor, veríamos o céu como uma única estrela brilhante.

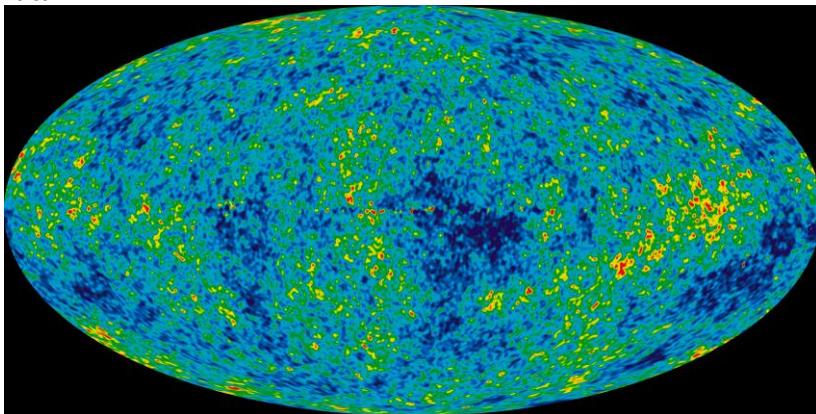
Outra evidência a favor do Big Bang é a radiação cósmica de fundo. Essa ideia proposta e predita teoricamente em 1948, por Alpher, Herman e Gamow e descoberta em 1963 por Arno Penzias e Robert Wilson, consiste em resquícios das temperaturas iniciais do Big Bang, de um período conhecido como recombinação, onde a radiação começou a dar lugar à matéria e cujo resfriamento deixou certa radiação de fundo em todo local do espaço, na frequência de micro-ondas. Essa radiação de fundo vem de maneira praticamente igual de qualquer lugar do universo que se deseja medir. E isso só seria possível se ela tivesse sido irradiada no mesmo momento e do mesmo local.

No Bell Telephone Laboratories perto de Holmdel, New Jersey, Wilson e Penzias construíram um radiômetro que pretendiam utilizar para experiências de Radioastronomia e comunicação via satélite. O instrumento deles tinha um ruído térmico excessivo de 2,5 kelvin que eles não sabiam explicar e nem conseguiam eliminar, e após diversos testes Penzias se deu finalmente conta que aquele ruído nada mais era do que a radiação cósmica de fundo predita por Gamow, Alpher e Herman e mais tarde por Dicke.

Os dados obtidos pelo satélite COBE, de 1989, ajustam essa emissão perfeitamente à emissão de um corpo negro de temperatura 2,726 K, com um erro menor que 0,01 K, que corresponde ao valor predito teoricamente. A temperatura de fundo corresponde a 2,726 K, com frequência de pico de 160,4 GHz, o que corresponde a um comprimento de onda de 1,9 mm.

A figura 31 faz um mapeamento das temperaturas de fundo do universo, mostrando pequenas flutuações de temperatura, em amarelo ou vermelho, na faixa de milésimos de Kelvin, foi obtida pelo satélite COBE em 1989.

Figura 31: Mapeamento da radiação cósmica de fundo pelo satélite COBE em 1989



Fonte: COBE Satellite - NASA

A.5.2. NEBULOSAS E FORMAÇÃO DE ESTRELAS

No início dessa seção, pudemos ver que uma pequena flutuação na densidade de uma nuvem de gás primordial, faz com que sejam acrescidos mais massa nesse ponto, com mais massa, há um aumento no valor da força gravitacional, que conseqüentemente atrai mais gás de distâncias cada vez maiores, até chegar um ponto específico onde surge o que chamamos de protoestrela. Uma protoestrela é um corpo astronômico no qual está iniciando a reação termonuclear que originará uma estrela.

A massa inicial da protoestrela é o principal determinante do tipo de estrela que irá surgir, dos processos de evolução por quais a estrela passará e também do tipo de morte que ela terá. A massa mínima para que se forme uma protoestrela é de 0,08 massa solar. Para aglomerações com massas menores que 0,08 massa solar, podem formar-se anãs marrons, planetas, planetas anões, asteroides, cometas, ou outros tipos de pequenos corpos astronômicos.

Com valores de 0,08 massas solares até 0,45 massas solares, surgem as anãs vermelhas, que são as estrelas mais comuns do universo. No céu noturno, não nos é permitido ver essas estrelas a olho nu, pois sua luminosidade é demasiadamente pequena para possibilitar sua visualização.

Com a massa de 0,45 a 8 massas solares, temos estrelas do tipo-Sol, ou seja, estrelas semelhantes à nossa estrela principal, o Sol. Já se sua

massa inicial for entre 8 a 25 massas solares, temos as gigantes azuis, e de 25 a 100 as supergigantes azuis (essas estrelas quando terminam sua vida podem originar buracos negros). Uma estrela que se origina com massa maior que 100 massas solares é também uma supergigante azul, porém, através de violentas reações, ela ejeta uma parte de sua massa e depois evolui como uma supergigante azul de massa entre 25 e 100 massas solares.

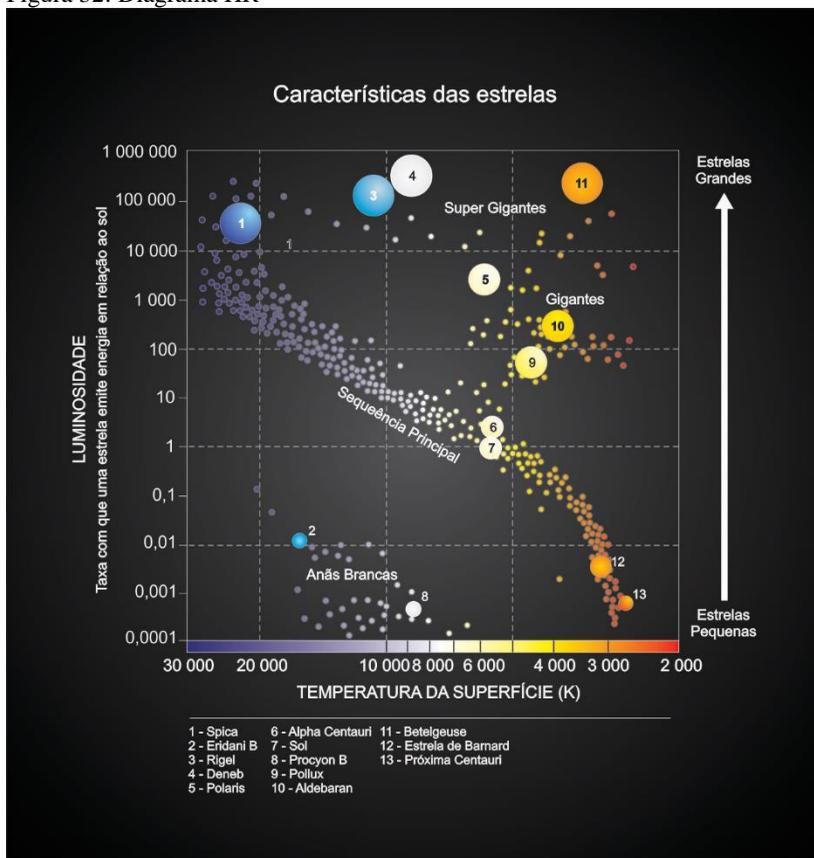
A.5.3. TIPOS DE ESTRELAS E SEUS ESTÁGIOS DE VIDA

Uma estrela, após nascer de uma protoestrela, terá sua evolução dita a partir da massa inicial dessa protoestrela formada. Ou seja, a classificação da evolução depende da quantidade de matéria agregada no disco protoestelar inicial. De maneira geral, as estrelas que surgem podem ter massa inicial de 0,08 Massas solares até 100 massas solares, com temperaturas superficiais de 2500 K até 30 000 K, lembrando que uma massa solar equivale a $1,989 \cdot 10^{30}$ kg. Com essas classificações, as estrelas passam de anãs vermelhas, estrelas tipo Sol, gigantes azuis e supergigantes azuis. Outros tipos de estrelas, são estrelas que não estão em sua fase inicial, como por exemplo as gigantes vermelhas e as anãs brancas.

O dinamarquês Ejnar Hertzsprung descobriu em 1911 que estrelas de mesma cor podem ter tamanhos diferentes. A cor de uma estrela é baseada em sua temperatura superficial, e portanto, cores que tendem ao azul são de estrelas cujas superfícies são de temperatura maior, bem como superfícies de menores temperaturas tendem ao vermelho. Essas conclusões também foram obtidas pelo americano Henry Russel, de maneira independente, em 1913.

Suas descobertas permitiram classificar várias estrelas conhecidas e o resultado é publicado em um diagrama conhecido como diagrama de Hertzsprung Russel, ou simplesmente diagrama HR, que já foi citado no capítulo 3, seção 6, cujo diagrama reproduzimos novamente na figura 32.

Figura 32: Diagrama HR



Fonte: <http://astro.if.ufrgs.br/estrelas/diagramaHR.jpg>

Nesse diagrama, temos no eixo X a temperatura superficial, em escala inversa, ou seja, quanto mais para a esquerda maior a temperatura, e no eixo Y a luminosidade, em comparação ao nosso Sol. Bem como, conforme aumenta a coordenada do eixo Y aumenta o diâmetro da estrela.

A maioria das estrelas conhecidas está na chamada sequência principal, que é uma linha diagonal, de cima para baixo e da esquerda para a direita. O Sol está praticamente no centro dessa sequência principal, mas isso não tem nada a ver com a idade dele, mas sim com seu tipo espectral. No canto inferior esquerdo, temos as anãs brancas, resquícios de uma gigante vermelha (que são a evolução natural de uma estrela do tipo do Sol) depois que emana para longe suas camadas externas.

No canto superior direito, temos as gigantes vermelhas e supergigantes vermelhas, que são evolução de estrelas do tipo Sol ou pouco maiores. Já no canto superior esquerdo, temos estrelas que já nascem grandes, as gigantes e supergigantes azuis.

O diagrama HR é útil para medir a distância que uma estrela se encontra de nós, através da chamada paralaxe espectroscópica, que foi citada no capítulo A2.7. Existe uma classificação para as estrelas, que as nomeia de acordo com suas características. Ela é chamada de classificação espectral de Harvard, explicitada pela figura 33. A massa e o raio nessa figura, são em comparação com a massa e o raio do Sol, respectivamente. A massa do Sol é de $1,989 \cdot 10^{30}$ kg e seu raio de é de 696 342 quilômetros.

Figura 33: Classificação de Harvard

Classe	Temperatura	Cor convencional	Cor aparente Visível da Terra.	Massa (massas solares)	Raio (raio solar)	Luminosidade	% das estrelas da sequência principal
O	30000–60000 K	azul	azul	64 M_{\odot}	16 R_{\odot}	1400000 L_{\odot}	~0.00003%
B	10000–30000 K	azul a azul-branco	azul-branco	18 M_{\odot}	7 R_{\odot}	20000 L_{\odot}	0.13%
A	7500–10000 K	branco	branco	3.1 M_{\odot}	2.1 R_{\odot}	40 L_{\odot}	0.6%
F	6000–7500 K	amarelo-branco	branco	1.7 M_{\odot}	1.4 R_{\odot}	6 L_{\odot}	3%
G	5000–6000 K	Amarelo (Sol)	amarelo-branco	1.1 M_{\odot}	1.1 R_{\odot}	1.2 L_{\odot}	7.6%
K	3500–5000 K	laranja	amarelo-laranja	0.8 M_{\odot}	0.9 R_{\odot}	0.4 L_{\odot}	12.1%
M	2000–3500 K	vermelho	laranja-vermelho	0.4 M_{\odot}	0.5 R_{\odot}	0.04 L_{\odot}	76.45%

Fonte:

<http://slideplayer.com.br/slide/359739/2/images/5/Classifica%C3%A7%C3%A3o+Espectral+de+Harvard.jpg>

Nessa classificação podemos ver que estrelas da classe O, são azuis, com massas maiores que 64 Massas Solares (M_{\odot}), e raios maiores que 16 raios solares e com luminosidades maior que um milhão de vezes a luminosidade do Sol, e com temperatura superficial superior a 30 kK (quilo-Kelvin), porém esse tipo de estrela é de grande raridade, correspondendo a apenas 0,00003% das estrelas conhecidas.

O Sol é uma estrela da classe espectral G, cuja temperatura superficial fica entre 5000 K e 6000 K, com uma cor branca para nós. Já estrelas da classe M, são estrelas frias, com temperaturas superficiais entre 2000 K e 3500 K, apresentando-se vermelhas para nós aqui da Terra,

essas são as estrelas com a vida mais longa que se conhecem. Elas correspondem a 76,5% das estrelas conhecidas.

A massa da protoestrela é quem define a vida que a futura estrela terá. Ela pode ter uma vida curta, como as supergigantes azuis ou durar por tempos maiores que a própria idade do universo, como as anãs vermelhas. Assim as anãs vermelhas permanecem por centenas de bilhões de anos queimando hidrogênio, de tal maneira que a idade do universo não é suficiente para que elas tenham evoluído além da sequência principal. Por exemplo, uma estrela que inicia sua vida com massa de 10% da massa do Sol, brilhará por 3 trilhões de anos antes de sair da sequência principal. Depois que o hidrogênio no núcleo de uma anã vermelha se esgotar, a temperatura e a pressão central não serão suficientes para iniciar a fusão do hélio. As anãs vermelhas de menores massas deverão aumentar a temperatura e luminosidade devido à contração gravitacional tornando-se anãs brancas (com núcleo de hélio), enquanto as de massas maiores devem aumentar de tamanho, passando pela fase de gigante vermelha antes de se tornarem anãs brancas. As anãs brancas irradiam sua energia térmica por bilhões de anos até tornarem-se anãs negras.

As estrelas com massas entre 0,45 e 8 massas solares são estrelas amareladas do tipo do Sol, sendo consideradas, portanto, de tamanho médio. Elas têm uma vida média que dura cerca de 10 bilhões de anos e funcionam convertendo hidrogênio em hélio em sua sequência principal.

Se elas tiverem até 1,75 massas solares, elas convertem o hidrogênio em hélio pelo chamado Ciclo Próton-Próton, porém se ela possuir massa maior que isso, ela converte o hidrogênio pelo processo chamado de Ciclo CNO, ou seja além do hélio nas camadas mais externas, no núcleo há a conversão em carbono, nitrogênio e oxigênio.

Quando o hidrogênio do núcleo se esgota, uma estrela do tipo do Sol inicia a fusão do hidrogênio que está fora do núcleo, ou seja, em uma camada logo acima do núcleo de hélio, enquanto no núcleo, há uma pequena conversão de hélio em carbono. Isso faz aumentar a temperatura do núcleo e gera uma pressão interna que faz com que as camadas mais externas se expandam, fazendo a estrela resfriar e, portanto, essa estrela se torna uma gigante vermelha.

O Sol nessa etapa terá um diâmetro que englobará os planetas Mercúrio e Vênus, possivelmente o diâmetro do Sol será maior que a da órbita atual da Terra, porém como ela se afastará um pouco, provavelmente ela não será engolida por ele. A temperatura na superfície da Terra, nessa época, que será daqui a 6,5 bilhões de anos, será de aproximadamente 1000 K, isso fará qualquer gás na atmosfera ser ejetado devido a sua energia cinética.

A temperatura do núcleo do Sol, que agora é cerca de 15 milhões de Kelvin, passara dos 100 MK. Porém como a temperatura necessária para sustentar a conversão de hélio em carbono é cerca de um bilhão de Kelvin, o Sol não conseguirá manter tal feito e terminará sua vida ejetando sua camada externa restando apenas o núcleo composto de hélio com uma pequena parte central de carbono.

Já para estrelas com massa maior que 1,7 massa solar, na etapa da gigante vermelha, o núcleo de hélio dessa gigante vermelha não gera pressão suficiente para conter a gravidade, e essa o esmaga. A energia proveniente da contração faz aumentar a temperatura para um valor suficiente para iniciar a fusão do hélio em carbono no núcleo e arredores, liberando uma grande energia para conter o colapso gravitacional.

Em um certo ponto desse colapso, a temperatura e a pressão não são mais suficientes para que ocorra a fusão do carbono em outro elemento mais denso, a fusão nuclear cessa novamente. Nesse ponto, o que ocorre é que o carbono no núcleo é apenas comprimido pelas camadas externas até que os elétrons desses átomos fiquem próximos o suficiente fazendo de surgir entre eles uma força repulsiva, gerando uma pressão denominada pressão de degenerescência que se opõe à pressão gravitacional, impedindo que ocorra a fusão do núcleo de carbono em elementos de maiores números atômicos. Dessa forma, resumidamente, o que permite uma estrela dessas de existir é o equilíbrio entre a pressão de degenerescência, oriunda do princípio da incerteza de Heisenberg e do princípio da exclusão de Pauli, onde dois elétrons de mesmo spin não podem ocupar o mesmo nível de energia, contrabalanceando a força gravitacional que tende a implodir a estrela sob si própria.

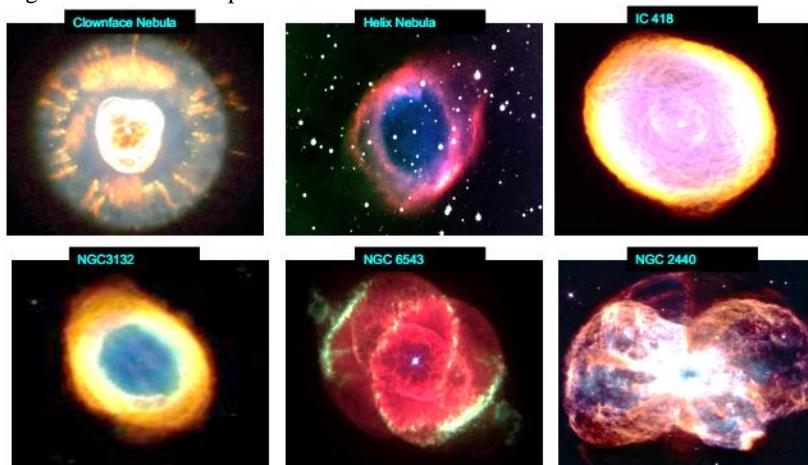
As camadas acima no núcleo continuam a processar hélio em carbono e hidrogênio em hélio liberando energia suficiente para expulsar as camadas mais externas da estrela. A estrela então se divide em um núcleo central superaquecido, composto principalmente de carbono e, uma região de gás mais frio nos entornos do núcleo. O gás ejetado é ionizado pela radiação emitida do núcleo que restou e com isso emitirá luz.

Quando observadas, essas camadas de gás expandido com um núcleo central apresentam o aspecto de explosão em todas as direções e ficam parecidas com nuvens de gás e poeira que geram os planetas e por isso são conhecidas como nebulosas planetárias. Quando observadas por pequenos telescópios, as nebulosas planetárias se parecem muito com o planeta Urano e seus anéis, daí vem seu nome. O núcleo de carbono remanescente no centro da nebulosa planetária é muito denso e possui altíssimas temperaturas, no entanto é pouco luminoso por ser

relativamente muito pequeno. Seu tamanho é comparável ao diâmetro do planeta Terra ou levemente maior e devido a isso e por emitir luz na cor branca, ele é chamado de anã branca.

A figura 34 é um compilado de diversas nebulosas planetárias com anãs brancas em seu centro.

Figura 34: Nebulosas planetárias



Fonte: VALE. T. Fundamentos de Astronomia e Astrofísica: Evolução Estelar, Pós sequência principal. Nota de aula.

Uma anã branca não realiza fusão nuclear e, portanto, não é a rigor uma estrela, mas emitirá energia térmica por bilhões de anos até se tornar um objeto frio, denso e escuro chamado de anã negra.

Já se a estrela inicial tiver massa entre 8 e 25 massas solares, ela é uma gigante azul, que são muito raras e tem uma vida mais curta, pois duram em média de dezenas a centenas de milhões de anos. Depois que saem da sequência principal e se tornam supergigantes vermelhas, estrelas com massas maiores 8 massas solares atingem temperaturas suficientes para realizar não só a fusão do hélio em carbono, mas também a fusão do carbono em oxigênio e assim sucessivamente até produzir ferro no núcleo. A fusão do ferro não é energeticamente favorável, pois requer mais energia para acontecer do que a energia que libera. Sem produzir energia, a pressão no núcleo de ferro diminui tornando-se insuficiente para conter o colapso gravitacional, finalmente a gravidade vence.

Em reação à extrema compressão, o núcleo estelar se expande violentamente liberando uma enorme quantidade de energia, fazendo a estrela brilhar (por um curto período de tempo) o equivalente ao brilho de

uma galáxia inteira. Este evento é conhecido como explosão de uma supernova.

Na explosão, a maior parte da massa da estrela é ejetada no meio interestelar formando um remanescente com um aspecto similar a uma nebulosa planetária. Todos os elementos químicos que conhecemos e nos formam, são gerados dentro de estrelas, e os com números atômicos maiores que o do ferro são geradas nessas explosões de supernovas.

Para estrelas com massas entre 8 e 25 massas solares, ou seja, para supergigantes azuis, resta após a explosão de uma supernova um núcleo central extremamente compacto, composto basicamente de nêutrons. Os nêutrons ficam tão próximos que surge entre eles, assim como entre os elétrons de uma anã branca, uma pressão de degenerescência que se opõe ao colapso gravitacional, mantendo o equilíbrio do caroço remanescente que recebe o nome de estrela de nêutrons.

Estrelas de nêutrons possuem altíssimas velocidades de rotação e campos magnéticos imensos. Algumas delas emitem radiação periodicamente, sendo conhecidas como pulsares. Assim como as anãs brancas, estrelas de nêutrons não são efetivamente estrelas, pois não realizam fusão nuclear. As estrelas de nêutrons possuem raio de cerca de 20 km, com massas de 1,5 massas solares e temperaturas maiores de 1 MK (mega-kelvin).

Agora para estrelas que iniciam sua vida com massas maiores que 25 massas solares, em sua sequência principal são supergigantes azuis, e têm uma vida parecida com as gigantes azuis, porém ainda mais curta. A diferença ocorre na hora do colapso final, pois antes desse estágio elas se transformam nas chamadas estrelas de Wolf-Rayet que produzem o ferro em seu núcleo central. Essas, após essa fase entram em um ponto de instabilidade que as fazem explodir em uma supernova, que devido à sua enorme energia e pressão envolvidos formarão, no seu centro, um buraco negro, com massa na ordem de 6 massas solares com raio, minúsculo em comparação com a estrela original, raio esse que agora é chamado de “raio de horizonte de eventos” que pode ter menos de 20 km.

O raio do horizonte de eventos é calculado pela equação de Schwarzschild (equação 22). Essa equação relaciona o quão densa a massa deve estar para que a aceleração gravitacional seja tão intensa que nem a luz escape e, portanto, nos permite calcular qual o raio mínimo para que surja um buraco negro.

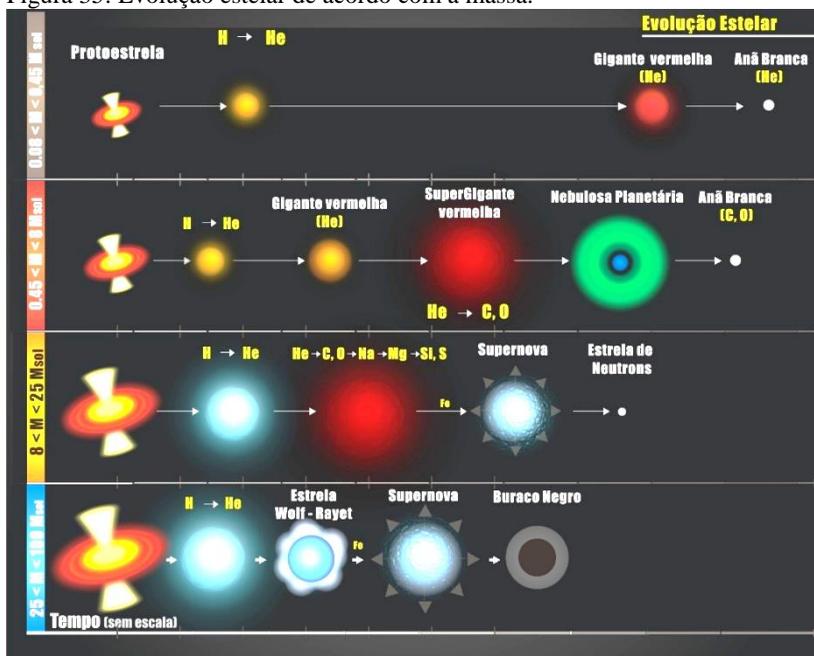
Equação 22: raio de Schwarzschild.

$$R_{Sch} = \frac{2GM}{c^2} \quad (22)$$

Aplicando essa equação para o Sol, para que ele se tornasse um buraco negro, seu raio teria que diminuir do valor atual, que é cerca de 696 342 km para um valor de menos que 3 quilômetros, mantendo toda sua massa. Para que isso ocorresse com o planeta Terra, ele deveria virar uma bolinha com menos de 1 centímetro de diâmetro.

A figura 35 resume o que ocorre, de acordo com a massa, ou seja, como uma estrela evolui de acordo com sua massa.

Figura 35: Evolução estelar de acordo com a massa.



Fonte: http://astro.if.ufrgs.br/estrelas/evolucao_estrelas.jpg

As seções a seguir, falam um pouco mais sobre os corpos formados nesses estágios.

Não foi citado, mas na maioria das vezes, as estrelas se encontram em um sistema chamado de binárias, ou seja, duas estrelas que orbitam entre si. Nesse caso, a evolução delas depende de vários fatores, entre os

quais suas massas e principalmente a distância que uma se encontra da outra, pois na maioria das situações ocorre troca de massa entre elas modificando proporcionando uma evolução que pode ser ligeiramente diferente pois elas podem se combinar no meio do processo.

A.5.3.1. Anãs marrons

Anãs marrons possuem massa superior à de um planeta e inferior a necessária para realizar a fusão do hidrogênio como uma estrela regular. Devido à baixa massa, as anãs marrons são pouco luminosas em comparação com as estrelas, por isso são difíceis de serem detectadas, sendo, portanto, consideradas estrelas fracassadas. A maior parte da radiação que emitem se situa na faixa do infravermelho, próximo do espectro visível. Especula-se que o número de anãs marrons no universo seja comparável ao número de estrelas. Seu tamanho fica entre o de um planeta gigante, como Júpiter e o de uma pequena estrela. A classificação mais aceita pelos astrônomos é que objetos com massas entre 15 e 75 vezes a massa de Júpiter, são classificados como anãs marrons. Estando nessa faixa de massa, o objeto não é capaz de sustentar a fusão do hidrogênio como uma estrela regular, (daí que vem o termo “estrelas fracassadas”).

A ideia de anãs marrons foi proposta inicialmente na década de 1960, porém permaneceu apenas como hipótese, até que em 1995 evidências fortíssimas definitivamente comprovaram sua existência. As anãs marrons apresentam uma luminosidade muito fraca e levemente rubro, como de um objeto metálico posto ao fogo. Seu pico de emissão situa-se no infravermelho próximo do espectro visível. Alcançam temperaturas de aproximadamente 1000 a 3400 K e geralmente são encontradas em sistemas binários, orbitando estrelas de massa baixa. Em alguns casos o sistema binário em si pode ser composto por duas anãs marrons que orbitam uma com a outra ou ainda, em outros casos podem ser encontradas como objetos solitários. Na nebulosa de Órion, já foram descobertas mais de 50 anãs marrons.

A.5.3.2. Gigantes e supergigantes vermelhas

Estrelas do tipo Sol ou com massa de até 8 massas solares, em sua fase de expansão, tem seu raio aumentado e com isso esfriam e se tornam gigantes vermelhas ou supergigantes vermelhas, pertencentes a classe espectral K e M e S. O Sol em sua fase de expansão, se tornará uma gigante vermelha.

Conhecemos várias estrelas que estão nessa fase, como por exemplo a Aldebarã, a estrela mais brilhante da constelação de Touro, conhecida como alfa de touro (figura 36), Arcturus e gama do cruzeiro do Sul também estão nessa fase.

Aldebarã se encontra a 66,6 anos luz da Terra e tem luminosidade 150 vezes a luminosidade do Sol, sua magnitude aparente, daqui da Terra é de 0,85, porém se ela estivesse a 10 pc de distância, teríamos sua magnitude absoluta, que no caso é de $-0,70$ (convém lembrar que quanto mais negativo for o número, maior é o brilho de um corpo celeste).

Figura 36: Aldebaran, estrela alfa de Touro



Fonte: software Stellarium

Arcturus é classificada, dependendo de que agência o faz, entre estrela média alaranjada e gigante vermelha. Ela faz parte da constelação do Boieiro, com magnitude aparente de 0,15 e absoluta de $-0,11$ é a quarta estrela mais brilhante no céu noturno, pois se encontra a apenas 36,7 anos luz da Terra.

A estrela que está na ponta superior do Cruzeiro do Sul é sua estrela gama, ou seja, a terceira na hierarquia de brilho aparente, ou magnitude aparente. Gama do Cruzeiro do Sul também é conhecida por Gacrux ou

gcrux, está a 88,56 anos luz da Terra. Sua massa é cerca de 1,3 massas solares e é cerca de 84 vezes maior que o Sol.

Já as supergigantes, como por exemplo Antares (alfa de escorpião) e Betelgeuse (alfa de Órion) tem tamanhos muito maiores que o nosso astro principal. Antares, se estivesse no lugar do Sol, teria seu raio maior que a órbita de Júpiter e Betelgeuse nessa condição teria seu raio maior que a órbita de Saturno.

Alguns astrônomos estimam que nos próximos mil anos, Betelgeuse explodirá em uma supernova, e por alguns meses ela teria o brilho comparável ao brilho da lua, durante as noites. Após isso, ela lentamente sumiria do céu noturno fazendo a constelação de Órion perder uma de suas estrelas.

A.5.3.3. Anãs Brancas

Atualmente tem-se catalogadas cerca de 25 000 Anãs Brancas, que são o produto restante das estrelas do tipo do Sol será um caroço denso e quente que aos poucos irá esfriar até perder seu brilho.

A Anã Branca mais próxima conhecida é a estrela companheira da estrela Sirius, na constelação Cão Maior. Sirius é a estrela mais brilhante do céu noturno, se encontra apenas pouco mais de 8 anos luz de nós. Sua companheira, Sirius B, tem raio de 5800 km (menor que a Terra) mas tem massa equivalente a massa do Sol, o que resulta em uma densidade média de aproximadamente $2 \cdot 10^6 \text{ kg/m}^3$. Uma colher de chá dessa estrela teria mais de 50 toneladas.

Um fenômeno interessante ocorre quando, no caso uma estrela anã-branca faz parte de um sistema binário. Nesse caso, ela pode sugar matéria da estrela companheira e com isso, ela tem sua massa aumentada. Quando chegar em um limite, conhecido com massa de Chandrasekhar, ela explode em uma supernova restando menos de 0,6 massas solares em seu núcleo, e emitindo ferro no espaço interestelar. Essa é a maior fonte conhecida desse elemento químico.

A.5.3.4. Novas e supernovas

Estrelas com massas superiores a 10 massas solares evoluem rapidamente, saindo logo da sequência principal. Ao passo que uma estrela com 5 massas solares dura em média 70 milhões de anos, uma estrela com 30 massas solares não chega 5 milhões. Em sua vida, elas efetuam a conversão de H em He, posteriormente em C, O, Mg, Si, S, Cl, e por aí vai até chegar no Fe^{56} . E com isso encerra o estágio evolutivo de

conversão de elementos químicos e a estrela explode em uma supernova. Essa explosão libera tanta energia quanto uma galáxia inteira com 200 bilhões de estrelas, deixando em seu núcleo, extremamente compacto, a chamada estrela de nêutrons.

A proposição da existência de estrelas de nêutrons foi feita pela primeira vez em 1932 pelo físico russo Lev Davidovich Landau, porém a primeira estrela de nêutrons só foi detectada em 1967, através de um pulsar, que é uma estrela de nêutrons em rotação.

A.5.3.5. Buracos negros e horizonte de eventos

Quando ocorre a explosão de uma supernova, porém a estrela de nêutrons que se formaria tem massa maior que 4,3 massas solares (limite para uma estrela de nêutrons) e raio menor que o raio de Schwarzschild, essa estrela terá força gravitacional tão intensa que nem a luz consegue escapar e se torna um buraco negro. Um ponto importante de ser mencionado, é que a luz não tem massa de repouso, por ser uma onda eletromagnética, dessa forma, não é a força gravitacional que a impede de sair, mas sim a própria curvatura do espaço-tempo ocasionada pela presença do Buraco Negro, ou seja, um fenômeno ligado a Relatividade Geral, invés da Mecânica Clássica.

Esse buraco negro pode crescer e atingir massas milhares de vezes maior que a massa solar, como se fosse um aspirador cósmico. Recentemente, foi detectada a colisão de dois buracos negros, e isso gerou as chamadas ondas gravitacionais, detectadas em 2015 pelo LIGO – (Observatório de Ondas Gravitacionais por Interferometria Laser, em tradução do inglês).

Como não conseguimos captar informações que saem de buracos negros, nós os detectamos através da ação que exercem sobre seus arredores. Sua aceleração gravitacional tem intensidade a ponto de fazer outras estrelas orbitarem uma região invisível, um buraco negro no cosmos.

A linha chamada de horizonte de eventos é a distância mínima que algo pode chegar de um buraco negro antes de ser atraído por ele e desaparecer para todo sempre, pelo menos é o que se acreditava até pouco tempo atrás, pois recentemente, em 2015, telescópios avistaram um buraco negro ejetando gás e radiações eletromagnéticas, porém a explicação desse fenômeno foge ao objetivo do presente trabalho.

A.5.4. QUASARES

Existem no cosmos alguns objetos que não conhecemos muito bem e um desses tipos de objetos são os quasares. Os quasares, cuja nomenclatura vem de “fontes de rádio quase estelar”, são objetos que emitem muita energia, o equivalente a centenas ou milhares de vezes a energia emitida por uma galáxia inteira com mais de 100 bilhões de estrelas, ou seja, trilhões de vezes a energia emitida pelo Sol, porém vistos por telescópios se parecem com estrelas.

A definição atual do que seja um quasar vem do consenso que ele é um objeto com tamanho de 10 a 10 000 vezes o raio de Schwarzschild (definido pela equação 22), cujo entornos desse buraco negro supermassivo existe matéria que forma o disco de acreção, e este emite gigantescas intensidades de ondas de rádio.

Os quasares foram descobertos em 1961 e apresentam forte desvio para o vermelho, o que significa que elas estão se afastando em altíssimas velocidades, que impacta em que todos os quasares identificados estão, no mínimo, a distância de alguns bilhões de anos-luz de nós. Segundo estimativas, podem viajar a décimos da velocidade da luz (o mesmo ocorreria se algum ser naquela galáxia observasse a Via-Láctea, para ele nós nos afastaríamos a essa velocidade). O primeiro quasar que teve seu espectro identificado foi 3C 273. Ele apresenta magnitude aparente de 12,85, portanto pode ser visto por telescópios com abertura suficientemente grande, mas o que chama atenção é que se ele estivesse a aproximadamente 33 anos luz, sua magnitude seria equivalente à do Sol, pois sua magnitude absoluta é de aproximadamente -26,9.

Uma observação importante é que para eles, não se pode aplicar a equação do efeito Doppler sem considerar os efeitos relativísticos, pois eles se deslocam a grandes velocidades. Usando essas técnicas, pôde-se registrar galáxias à distância de 13,2 bilhões de anos-luz de nós.

A.5.5. GALÁXIAS

Nebulosas estelares são berçários de estrelas, e, portanto, nelas podem surgir de algumas a milhares de estrelas, dependendo de qual o valor da massa dessa nuvem de hidrogênio. A nebulosa de Órion é um exemplo de um berçário de estrelas, onde centenas de estrelas estão surgindo.

As estrelas, dentro de uma própria galáxia, podem se aglomerar em regiões de interação gravitacional mútua, e com isso assumir formas globulares, que são os enxames fechados ou mais distantes umas das

outras, chamadas de enxames abertos. Portanto, um aglomerado estelar consiste em diversas estrelas, com praticamente a mesma idade e que se encontram praticamente a mesma distância de nós. Isso permite teorizar que elas se formaram de uma mesma nuvem de hidrogênio do meio interestelar, que já estava presente nessa área primariamente.

O aglomerado das plêiades, na constelação de Touro é um aglomerado recente, que obedece essa configuração. Praticamente todas as estrelas dele estão de 380 a 405 anos luz de distância. Esse aglomerado estelar é composto por estrelas jovens e quentes, portanto azuis.

Os aglomerados estelares são divididos em enxames abertos e globulares, diferenciados apenas pela distância e quantidade de estrelas que os compõe. As plêiades são um exemplo de aglomerado aberto, e estes que possuem de dezenas a centenas de estrelas. Ômega de centauro e 47 tucanae são aglomerados globulares (fechados). Os aglomerados fechados ou globulares possuem dezenas de milhares de estrelas e são pelo menos 160 deles somente na nossa galáxia.

Todas as estrelas e aglomerados que vemos no céu noturno pertencem a nossa galáxia, a Via-Láctea. Ela possui galáxias satélites, que são pequenas galáxias que orbitam a maior. As duas maiores são conhecidas como pequena nuvem de Magalhães e grande nuvem de Magalhães. Em uma noite sem nuvens e sem o brilho da lua ou poluição luminosa para interferir, podemos ver claramente a faixa esbranquiçada no céu noturno. Essa faixa corresponde ao “caminho leitoso” ou Via-Láctea. Podemos contar, caso quiséssemos, cerca de 5 mil estrelas a olho nu, e obviamente isso não seria uma tarefa fácil, por isso houve a necessidade de esquadrinhar o céu. Para isso surgiram as constelações, que são formações imaginárias de alinhamentos que representariam algo que pudesse ser facilmente memorizado.

Quando Galileu apontou seu telescópio no início do século XVII, ele ficou admirado e relatou uma “multidão” de estrelas nessa faixa esbranquiçada. Posteriormente, William Herschel no final do século XVIII, mapeou toda a Via-Láctea e descobriu que se tratava de um sistema achatado, porém erroneamente concluiu que o Sol estava no centro dela.

Nossa galáxia tem aproximadamente 100 000 anos luz de diâmetro (30 000 pc) por 1000 anos luz de espessura, e, portanto, os métodos de medição de distância como a paralaxe não têm alcance suficiente. Na realidade, nem a paralaxe espectroscopia alcança essa escala de distância. A única que consegue cumprir essa tarefa é a pulsação das cefeidas, que já foram discutidas no capítulo A.2.6.

Nossa galáxia então, após muitos anos de estudos, foi percebida como sendo uma galáxia em espiral, parecida com a galáxia NGC 2997 (figura 37).

Figura 37: Galáxia NGC 2997. A Via-Láctea é parecida com ela.



Fonte:<http://www.capella-observatory.com/images/Galaxies/NGC2997.jpg>

Por volta de 1700, vários astrônomos já haviam percebido corpos difusos, que eles chamaram de nebulosas, e alguns desses corpos eram na verdade galáxias como a nossa, porém não se sabia disso na época. Em 1750, o astrônomo amador Thomas Wright, publicou um livro no qual especulava que pudessem existir outras “Vias-Lácteas” Inspirado nessa ideia, o filósofo alemão Immanuel Kant, em 1755 publicou que algumas nebulosas que vemos no céu são sistemas comparáveis a nossa galáxia.

Até os anos de 1900, cerca de 15 mil nebulosas já haviam sido catalogadas e descritas e havia discussões calorosas sobre esses objetos, se eles realmente pertenciam à Via-Láctea ou se eles estavam fora dela. Dois astrônomos, em 1920, conhecidos na época, Harlow Shapley e Heber Curtis discutiram sobre o tema, onde Curtis defendia que esses objetos estavam fora da nossa Galáxia e Shapley defendia o oposto.

Obviamente, na época ninguém saiu vencedor do debate, porém três anos depois, em 1923 Edwin Hubble usando um telescópio de 100 polegadas no Monte Wilson, EUA, percebeu variáveis cefeidas na “nebulosa” de Andrômeda. Efetuando os cálculos ele percebeu que ela se encontrava muito além dos limites da Via-Láctea, sendo, portanto, uma nova galáxia e não uma nebulosa.

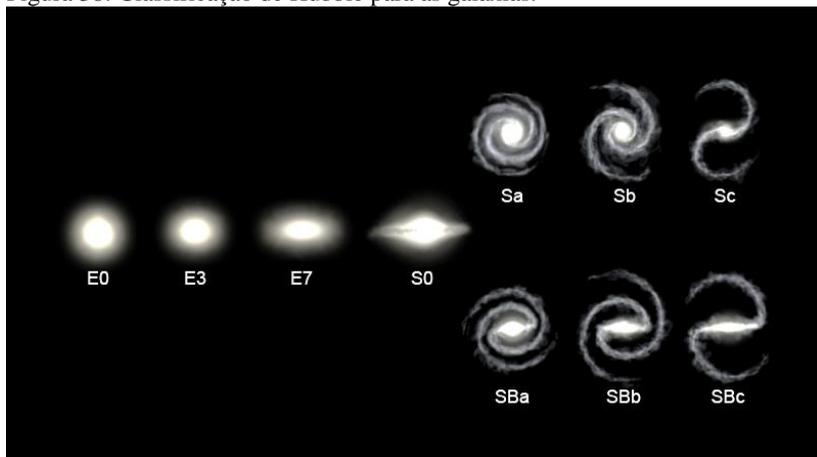
A partir dessa descoberta, começou a caça as novas galáxias, sempre procurando cefeidas nessas nebulosas para calcular a distância em

que se encontravam e com isso fazer uma identificação mais precisa, o que obviamente resultou em várias galáxias descobertas.

A.5.5.1. Classificação morfológica

A partir do momento que foram descobertas mais galáxias, começaram a perceber que não existia um único formato para elas, de forma que surge a necessidade de estabelecer um sistema de classificação. É creditado a Hubble essa classificação, publicada em seu livro “The Realm of Nebulae” de 1936. Basicamente, as galáxias são classificadas de acordo com sua excentricidade, ou seja, a quão elíptica ela é, e se apresentam braços barrados ou não. Dessa forma, o “diagrama em forquilha”, representado na figura 38 é utilizado para caracterizar e classificar uma galáxia.

Figura 38: Classificação de Hubble para as galáxias.



Fonte: <http://www.astrofiscayfisica.com/2010/06/clasificacion-de-las-galaxias-segun-la.html>

As galáxias com formato de elipse variam de E0 para as mais esféricas até E7 para as de maior excentricidade. Uma observação importante, é que quando Hubble as classificou, ele o fez com base em sua aparência e não em seu real formato, portanto uma galáxia E0 pode ser uma galáxia “esférica” ou uma galáxia discoidal vista de frente (como por exemplo ao observarmos um prato de frente, não distinguimos se ele é esférico ou tem formato de disco). Mesmo as classificações

intermediárias podem sofrer com esse efeito de aparência, dependendo do ângulo de visualização.

Após a classificação E7, vem a divisão entre galáxias espirais lenticulares e espirais barradas, cujo formato se apresenta como um disco podendo ter braços e/ou barras. Hubble percebeu que algumas galáxias têm o núcleo, o disco e o halo, (não apresentando os braços espirais ou barras), e com isso as chamou de lenticulares, cuja nomenclatura é representada por S0. Já outras, que apresentam os braços distintos ou barras recebem nomenclatura diferente.

As galáxias espirais são caracterizadas por serem discos achatados que apresentam braços em formato de espirais. Acredita-se que podem ser originadas a partir de galáxias espirais lenticulares que foram perdendo matéria interestelar a partir das interações gravitacionais existentes e com isso adquirindo seu padrão característico de apresentar braços. Sua classificação vai de Sa até Sc, onde o índice “a” representa braços mais “enrolados” com um núcleo central maior e “c” braços mais desenrolados com um núcleo central menor.

Aproximadamente a metade das galáxias que tem formato de disco são espirais barradas, ou seja, apresentam uma barra que atravessa o núcleo, onde os braços espirais se originam a partir dessa barra. Sua nomenclatura vai de SBa a SBc, dependendo da quantidade e enrolamento dos braços espirais.

Hubble observou que algumas galáxias não tinham um padrão regular ou simetria, portanto estariam fora da nomenclatura acima. Essas receberam o nome de galáxias Irregulares, sendo representadas pela letra I maiúscula. Essas galáxias têm origem através da colisão de galáxias ou ainda galáxias menores ou mais jovens que não tiveram tempo de assumir um padrão em sua estrutura. Como exemplos de galáxias irregulares facilmente observáveis, mesmo a olho nu, temos a Grande Nuvem de Magalhães e a Pequena Nuvem de Magalhães.

A.5.5.2. Aglomerados de galáxias e o Superaglomerado de virgem

O astrônomo Jan Hendrik Oort (1900 – 1992) demonstrou que as galáxias se concentram em grupos ou regiões além de cúmulos. Nossa galáxia está em um grupo denominado de Grupo Local, que é composto por 54 galáxias e abrange um “tamanho” de 3 milhões de anos-luz em seu maior “comprimento”. Desse grupo, fazem parte as três maiores, a Via-Láctea, a galáxia de Andrômeda, e a galáxia M3. As outras galáxias são menores e são galáxias satélites dessas.

Esse grupo se junta a outros e forma o Superaglomerado de Virgem ou também chamado de Superaglomerado Local, que tem diâmetro de aproximadamente 200 milhões de anos-luz. Análises dessas interações mostram que a interação gravitacional não deveria ser estável, porém como é, há a necessidade de explicar isso com a utilização de uma matéria que não podemos perceber, a denominada matéria escura.

A necessidade da matéria escura surge para explicar como ocorre o comportamento das galáxias e aglomerados. A matéria presente e as interações como conhecemos, não poderiam proporcionar o comportamento do universo como o detectamos. Os cálculos indicam que a velocidade e o comportamento de rotação das galáxias deveriam ser dezenas de vezes menores que o valor observado, em relação a sua massa perceptível, assim, como os dados indicam velocidades maiores, há necessidade de haver mais massa, e como não a detectamos, a denominamos de matéria escura. Há outros fatores que possibilitam a existência da matéria escura, mas não entraremos em detalhes.

Depois da descoberta do Superaglomerado de Virgem, os astrônomos se perguntavam se não existiam mais desses superaglomerados, e com isso, pesquisadores da Universidade de Harward, juntamente com os cientistas brasileiros do Observatório Nacional, Luiz Alberto da Costa (1950 -) e Paulo Sérgio Pellegrini (1949 -) após estudos da distribuição das galáxias demonstraram que elas se aglomeram em filamentos, como por exemplo a estrutura chamada de “A grande Parede”, com 500 milhões de anos-luz de comprimento, por 200 milhões de anos-luz de altura, mas com apenas 15 milhões de anos-luz de espessura. As estruturas filamentosas lembram as estruturas de esponjas.

A.6. LUZ E INSTRUMENTOS ASTRONÔMICOS

Desde 1609, quando Galileu Galilei apontou pela primeira vez um telescópio para o céu noturno, muito a ciência evoluiu e em decorrência disso, novos métodos foram utilizados para construção dos telescópios.

Com a descoberta que a luz era uma onda eletromagnética, cogitou-se a possibilidade de que estrelas podiam emitir outros diversos tipos de ondas eletromagnéticas e não somente as visíveis. Assim, surgiram novos telescópios, que não observavam somente o visível para nós, mas também o que não víamos.

A.6.1. Observação Astronômica

Até início do século XVII as observações eram exclusivamente a olho nu, onde através de equipamentos antigos. Porém mesmo assim, grandes astrônomos como Tycho Brahe conseguiram obter grande precisão em suas observações.

Mais detalhes e novos horizontes surgiram quando, cada vez maiores e melhores telescópios foram sendo construídos. Posteriormente, com a possibilidade de registrar as imagens de telescópios em placas fotográficas, podiam ser comparadas imagens realizadas em diferentes datas, possibilitando perceber pequenos movimentos entre corpos celestes, aumentando o número de descobertas.

A observação astronômica é hoje, ainda realizada por astrônomos profissionais bem como por astrônomos amadores. Com diferenciais que hoje, profissionais não passam horas e horas a fio observando por um telescópio como antigamente, mas sim ficam mais restritos a cálculos e análises de pontos específicos do cosmos, que podem ser confirmadas ou refutadas por imagens obtidas a partir de grandes telescópios.

Outro ponto a ser considerado é que quando se observa pela primeira vez em um telescópio, a imagem visual obtida geralmente não é a esperada, ou seja, não é como as impressas em livros. Isso decore que àquelas imagens são realizadas por telescópios com espelhos muito maiores ou por telescópios no espaço sideral, portanto possuindo qualidade notadamente superior.

Percebe-se claramente a diferença entre planetas e estrelas ao se fazer uma observação por um pequeno telescópio, pois eles apresentam características peculiares, como o formato esférico, disco de anéis, luas, calotas polares, fases ou entre outras características, que podem ser peculiares para cada um. Já as estrelas, por maior que seja a ampliação da imagem, continuará sendo vista como uma estrela.

A.6.1.1. Observação a olho nu e as constelações

Sem sombra de dúvidas, observar estrelas a olho nu ainda é algo que fascina milhares de pessoas pelo mundo todo. Para que se possa observar com qualidade maior há necessidade de que alguns requisitos sejam preenchidos. Primeiramente, deve-se aprender a localizar uma estrela ou um planeta no céu, para isso é interessante reconhecer as principais constelações.

Um fato que pode dificultar o reconhecimento inicial de uma constelação por alguém que se encontra no hemisfério Sul decorre que as ideias das constelações foram criadas no hemisfério norte, e sendo assim eles as colocaram “de pé” para seu referencial de observação, portanto quando observamos a mesma imagem da constelação do hemisfério ela pode parecer para nós estar virada de “cabeça para baixo”. Porém isso é apenas uma percepção do que é “em cima” e o que é “embaixo” pois na prática isso não influencia em nada na Astronomia.

Para se localizar, deve-se utilizar um sistema de coordenadas, como por exemplo o “Sistema Horizontal”. Nesse sistema, o ponto fundamental é o horizonte celeste e temos para isso duas coordenadas, o Azimute e a Altura. O Azimute varia de 0° a 360° e corresponde ao ângulo medido, no sentido horário, sobre o horizonte, com sua origem no Norte geográfico e extremidade no círculo vertical do astro. Ou seja, na prática, supondo que você se encontre sobre a linha do equador, encontre o norte geográfico, ele corresponde ao azimute 0° , rotacione seu corpo no sentido horário, observando sempre o horizonte, quando chegar no Leste você terá rotacionando exatamente 90° continue girando, ao Sul você rotacionou 180° , já quando chegar nos 270° estará de frente para o Oeste e assim completando a volta de novo para o norte, aos 360° .

Já a altura, corresponde ao ângulo no qual observamos um astro no céu em relação a linha do horizonte. Seu valor vai de 0° quando ele está na linha do horizonte, até 90° quando ele está no zênite, ou seja, elevado verticalmente sobre a cabeça do observador. Caso o objeto esteja abaixo da linha do horizonte, a altura pode ser negativa (usamos a palavra “pode ser” pois há casos no qual o objeto está ocultado por uma montanha ao longo do horizonte, por exemplo, nesse caso, o horizonte não está iniciando a 0° , mas sim a um valor levemente maior, portanto supondo que uma montanha não permita ver um objeto que esteja a menos de 10° , isso significa que não necessariamente esse objeto tem uma altura negativa. Na prática, deve-se dividir em dois quadrantes o ângulo correspondente ao zênite e ao nadir, ou seja, o ponto sobre a cabeça e o

ponto diametralmente oposto e entre eles fazer a divisão de 180 graus, variando de -90° do nadir a 0° no horizonte e de 0° a 90° deste ao zênite.

Isso nos fornece que uma determinada estrela está a altura e azimutes diferentes em um mesmo instante, dependendo de onde localiza-se o observador. Ou seja, se observarmos o Cruzeiro do Sul em Porto Alegre, ele estará a uma altura diferente do que ao ser observado de São Paulo nesta mesma data e horário. A estrela “polaris” por exemplo está sempre a altura de 90° no polo norte, mas aparece a outro valor em algum lugar da Europa.

Agora que já conhecemos pelo menos uma maneira de localizar uma estrela no céu, podemos usar isso para localizar as constelações. As constelações surgiram da necessidade de esquadrihar o céu para prever períodos de plantios, períodos de chuvas, colheitas, secas, etc., porém com a evolução do conhecimento e o passar dos tempos, elas passaram a ser utilizadas para localização de eventos e astros no céu. Em 1929, a União Astronômica Internacional oficializou 88 constelações, onde cada estrela visível no céu pertence a uma.

Hoje, as constelações influenciam, por exemplo, nos nomes de fenômenos que podem ocorrer, como chuvas de meteoros. A chuva das Perseidas, que ocorre tendo como estrelas de fundo as da constelação de Perseu, ou a chuva das Líridas, na constelação de Lira, e assim por diante são exemplos onde a nomenclatura do fenômeno leva em conta a constelação.

A.6.1.2. Catálogo de Messier e catálogo NGC

O astrônomo francês Charles Joseph Messier (1730-1817), resolveu catalogar todas as nebulosas que via, para não as confundir com seu principal objetivo, encontrar cometas. Dessa forma, com o catálogo, os astrônomos evitariam confundir os cometas com os objetos fixos do céu noturno, o que ele não sabia é que esse catálogo se tornaria muito importante para astrônomos amadores até nos dias atuais.

Os objetos por ele catalogados, recebem na frente de seu número, a letra M, em sua homenagem, assim por exemplo, a galáxia M33 que é a galáxia do triângulo, é o objeto de número 33 desse catálogo. Ao todo, o catálogo Messier possuía, na sua primeira versão, 45 objetos, mas com o passar do tempo, novas descobertas aumentaram esse número. Assim, na versão moderna, o catálogo possui 110 objetos.

Desses 110 objetos, 65 foram descobertos de forma independente pelo próprio Messier, que destes, 44 são descobertas originais, já os restantes foram resultados das descobertas de outros astrônomos ou já

eram conhecidas a mais tempo. Os objetos do catalogo Messier podem ser acessados no Anexo A.

Outro catálogo que é muito importante é o catálogo NGC, ou *New General Catalogue*, ele foi elaborado no final do século XIX, pelo astrônomo irlandês John Dreyer (1852 – 11926), baseado em observações de Willian Herschel (1738 – 1822) e seu filho John Herschel (1792 – 1871). Este catálogo cobre 7840 objetos astronômicos, entre aglomerados, nebulosas, galáxias, clusters, etc. Assim, praticamente todos os objetos visíveis por telescópios amadores tem um número neste catálogo.

Existem outros catálogos, como o Hipparcus (HIP), um catálogo com quase de 120 000 estrelas das quais foram medidas a paralaxe pelo satélite que leva esse nome, durante o final do século XX.

Uma maneira de encontrar mais informações sobre esses objetos é utilizando algum software de simulação dos céus noturnos, que dentre os mais conhecidos e utilizados, destaca-se o software *Stellarium*, seguido pelo *Gigante Google Earth*, e pelo *World Wide Telescope*.

A.6.1.3. Astrofotografia

Quando observamos belas fotografias do espaço ficamos admirados e gostaríamos de repeti-las por nós mesmos, e baseando se nisso, milhares de pessoas compram equipamentos de astrofotografia para que possam fazer seus próprios registros.

Para registros da lua e planetas, astrônomos amadores podem usar até *webcams* adaptadas, ou seja, nas quais foram retiradas as lentes na frente do sensor, acopladas aos telescópios. Já para astrofotografias que captem nebulosas e imagens pouco luminosas, há a necessidade de sensores melhores e maiores, com tempo de exposição ajustável, obtidos em câmeras fotográficas profissionais ou ainda melhores em sensores CCD (*charge-coupled device*) específicos para astrofotografia.

Outro importante equipamento é um tripé que seja firme e que seja motorizado, ou seja, não sofra vibrações durante a tomada da luz proveniente das estrelas. Tripés bons permitem um tempo maior de exposição do CCD, com isso mais luz é captada, e a motorização de acompanhamento deixa o objeto sempre no mesmo ponto. Caso contrário, a foto sairá “riscada”, pois os equipamentos registrariam o movimento aparente do céu noturno.

Além disso, depois de registrada as fotografias pela câmera, há a necessidade de tratamento e empilhamento das mesmas, ou seja, é feito um tratamento digital e posteriormente utilizado programas que “somam”

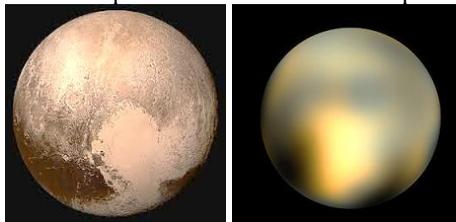
a luz proveniente dos diferentes arquivos registrados, com isso, há uma melhor qualidade na imagem final.

Câmeras compactas não servem para astrofotografia, nem planetária, principalmente pelo sensor delas ser pequeno, portanto não consegue captar luz suficiente para registros. Outro fator impeditivo é que devido suas lentes serem fixas, não as conseguimos retirar e se o fizemos geralmente a câmera inteira para de funcionar, o que não ocorre com as câmeras *webcams*. Outro fator que deve ser levado em conta é a relação entre a distância focal do telescópio e o tamanho do sensor. Quando o sensor é muito pequeno, comparado a distância focal do telescópio, haverá uma ampliação excessiva da imagem, exigindo equipamentos com ajustes micrométricos que nem sempre são viáveis de se obter.

Há também a possibilidade de usar uma câmera como por exemplo, a de um aparelho celular *smartphone* apontada diretamente na ocular, na posição em que observaríamos com o olho, porém esse método não produz boas imagens. Esse método é chamado de “método afocal”, e não requer nenhuma modificação nos instrumentos, bem como sua ampliação é determinada pela ocular que está sendo utilizada. Para esse tipo de captura, é necessário um adaptador, pois não podemos segurar a câmera com as mãos, devido aos mínimos movimentos que realizamos, mesmo sem intenção, borrarem a imagem registrada.

Já profissionalmente, as astrofotografias são feitas com equipamentos milionários, construídos especificamente para determinado telescópio. Podem ser captadas imagens por telescópios terrestres ou por telescópios espaciais. Algumas das melhores fotografias de planetas foram feitas por naves que tiveram suas missões em visitá-los, e com isso as imagens foram registradas de “perto”, propiciando qualidade incomparável. Portanto, telescópios daqui da Terra não conseguem registrar uma fotografia de Saturno, por exemplo, iguais as registradas pela missão Cassini, ou mais recentemente, as imagens que tínhamos de Plutão antes e depois da sonda New Horizons passar por ele, conforme observamos na figura 39.

Figura 39: Plutão pela Sonda New Horizons e pelo Telescópio espacial Hubble.



Fonte: Nasa

Nessa fotografia obtida pelo telescópio Hubble, à direita, podemos perceber nuances do planeta anão Plutão, porém não há nitidez e definição suficiente para que detalhes sejam percebidos. Já a imagem à esquerda, registrada pela sonda New Horizons, em sua passagem pelo planeta, podemos ver a riqueza de detalhes.

A.6.2. Telescópios Ópticos

Os telescópios ópticos são telescópios que tem por base a visualização de astros que emitem ou refletem no espectro visível das ondas eletromagnéticas e podemos dividi-los em amadores e profissionais, porém essa divisão é relativa, devido ao tipo de uso funcional dado a ele. Por exemplo, nada impede que um telescópio mais modesto seja utilizado de forma profissional, efetuando medições, cálculos, registro de dados, bem como um grande telescópio pode ser utilizado de forma amadora. Os telescópios amadores e profissionais que operam na faixa da luz visível são divididas em dois tipos, os refletores e os refratores.

Os telescópios refletores tem por base a reflexão da luz em um espelho que se localiza no fundo do telescópio, denominado de espelho primário, esses feixes luminosos são convergidos e direcionados ao espelho secundário, que os direciona para a ocular, onde observamos, um exemplo desse tipo é o telescópio newtoniano. Já os refratores utilizam-se da refração da luz em uma lente biconvexa (com correções cromáticas através da junção de outras lentes), essa lente converge os raios de luz para a ocular, que fica no fundo do telescópio, por onde observamos. Geralmente nessas há um prisma para direcionar os raios de luz para o lado e com isso facilitar a observação. Essa é a montagem mais comum em lunetas astronômicas.

Tanto os telescópios refratores como refletores produzem excelentes imagens quando sua óptica for de qualidade, porém imperfeições nos espelhos de um refletor podem reduzir a qualidade da imagem observada, bem como ausência de lentes corretoras produzem muita aberração cromática em refratores. O custo benefício é melhor para telescópios refletores newtonianos, o qual descrevemos a construção e montagem no apêndice B. Essa configuração foi escolhida, pois para dois telescópios de mesma abertura, o que for refletor terá tamanho, peso e custo financeiro menor do que o refrator.

Já os telescópios profissionais que operam no espectro visível são divididos em terrestres e espaciais. Enquanto os primeiros têm sua construção realizada em picos e montanhas com condições atmosféricas

específicas, os segundos são colocados em órbita para eliminarem distorções atmosféricas e outras possíveis intempéries.

A.6.2.1. Espaciais – Hubble e Kepler

São vários telescópios espaciais, que captam desde raios gama, como o telescópio Compton, até ondas de frequência infravermelha, como o Spitzer. Porém na faixa da radiação visível, sem sobra de dúvidas, os maiores conhecidos, que se situam no espaço são o telescópio Hubble e o telescópio Kepler.

O telescópio Hubble foi projetado para captar luz na frequência visível e infravermelha, foi lançado dia 24 de abril de 1990 e está orbitando a pouco menos de 600 km de altitude. Seu espelho principal de 2,4 metros de diâmetro e foi polido com precisão de 10 nanômetros. Montado sob projeto de um telescópio Cassegrain - Ritchey-Chrétien, que utiliza espelhos hiperbólicos, para ter um bom campo de visão em dimensões reduzidas. Porém um erro na curvatura desse espelho, fez com que ele produzisse imagens borradas no início seu trabalho de fotografar o cosmos. Uma missão tripulada foi enviada anos depois para corrigir esse alinhamento dos espelhos, e com isso as imagens ficaram melhores que qualquer telescópio na superfície terrestre até então.

A figura 40 mostra a galáxia M100 fotografada pelo telescópio Hubble no início de sua atividade e alguns anos depois, ao ser instalada o conjunto óptico para correção da curvatura do espelho primário.

Figura 40: Galáxia M100 antes e depois da optica corretiva instalada no telescópio espacial Hubble



Fonte: Hubble - NASA

A ideia é que o telescópio Hubble sobreviva até o ano de 2020, porém talvez haja a possibilidade de fazer mais algumas missões para dar uma sobrevida a ele.

Já o telescópio espacial Kepler foi lançado em 2009 e é o responsável pela maioria dos exoplanetas descobertos, pois já encontrou mais de 2300 deles, além de validar e encontrar outros tantos possíveis. Projetado para durar até meados de 2012, ele teve uma falha crítica em seus giroscópios em 2013, porém mesmo assim ele ainda consegue realizar algumas observações. Com seus 0,95 m de espelho primário, ele propiciou a descoberta de que a cada 5 estrelas parecidas com o Sol uma possui um planeta na zona habitável, o que permite prever que existam bilhões de planetas na zona habitável só na Via-Láctea.

Isso não significa que há vida nesses planetas, mas sim que existe a possibilidade de haver água em estado líquido e possivelmente elementos que encontramos aqui na Terra. Existe um telescópio que está em projeto para substituir o Hubble, ele é o telescópio James Webb previsto para finais do ano de 2018, com um diâmetro de 6,5 m em seu espelho primário

A.6.2.2. Terrestres – SALT, GTC, KECK, GEMINI

Os grandes telescópios terrestres estão localizados em posições estratégicas. Geralmente eles ficam em grandes altitudes, para evitar a humidade do ar e ter céus mais limpos em mais noites por ano. Um dos melhores locais no planeta Terra para instalá-los é no Chile, pois em algumas de suas regiões, encontramos a altitude ideal, baixo índice pluviométrico anual entre outras medidas a favor.

Os maiores telescópios começaram a ser utilizados em meados do século XX. Em 1948 foi inaugurado o telescópio Hale no Monte Palomar – Califórnia – EUA, com um espelho primário de 5 metros de diâmetro. Em 1993 o telescópio Keck, no Havaí foi construído com espelhos segmentados, que proporcionam um único de 10 metros de diâmetro. São dois telescópios de mesmo tamanho nessa localidade, o Keck 1 e o Keck 2, com resoluções de 0,04 segundos de arco.

Na África do Sul localiza-se o SALT – Grande Telescópio Sul Africano, inaugurado em 2005 possui espelho primário segmentado com 11 metros, estando a 1500 metros acima do nível do mar. Ele localiza-se numa posição estratégica pois se localiza numa das áreas mais escuras do mundo, devido não haver nenhuma cidade próxima por centenas de quilômetros.

Nas Ilhas Canárias, na Espanha, está o *Gran Telescopio Canarias* (GTC), com um espelho segmentado de 10,4 metros de diâmetro. Inaugurado em 2009, é considerado um dos melhores telescópios para a pesquisa astronômica devido a engenharia tecnológica envolvida.

O telescópio Gemini, corresponde a dois telescópios idênticos de 8,1 metros de diâmetro, mas com apenas 10 cm de espessura. Um está localizado no Chile, em Cerro Pachón, uma montanha nos Andes chilenos, a 2 720 m de altitude, que recebe o nome de Gemini Sul e o outro no Havaí, no vulcão adormecido Mauna Kea, a 4 220 m de altitude, chamado de Gemini Norte.

No Chile também temos o VLT ou Very Large Telescope, com 8,2 metros de diâmetro, porém como são quatro telescópios eles podem ser interligados para observar o mesmo objeto, de forma a se comportar como um gigantesco telescópio. Nesse caso, sua resolução consegue resolver distâncias de milissegundos de arco, isso significa que ele seria capaz de distinguir individualmente os dois faróis de um carro que estivesse na Lua. Utilizando longas exposições, pode-se obter imagens de objetos de magnitude 30, que corresponde ver objetos que são quatro bilhões de vezes mais tênues do que aqueles que conseguimos ver a olho nu.

Também no Chile está em construção o que será o maior telescópio do mundo, com um espelho de 39 metros de diâmetro, ele é o European Extremely Large Telescope. A construção dele ocorre no cerro Armazones, a 3 060 metros de altitude e custará mais de 1 bilhão de dólares. Inicialmente ele foi projetado para ter um espelho primário de 100 metros de diâmetro, porém não foi possível a aprovação do projeto com essa configuração.

Todos os telescópios modernos e profissionais possuem a chamada óptica adaptativa. Nesse sistema, é disparado um pulso de laser a partir da superfície terrestre, onde então um computador analisa como a atmosfera os distorce. Isso permite servo-motores ajustem a curvatura do espelho para compensar essas distorções atmosféricas que ocorrem nos raios de luz provenientes das estrelas, produzindo assim imagens com melhor resolução.

A.6.2.3 Telescópios de captação de ondas eletromagnéticas não visíveis

Além dos telescópios que atuam no espectro visível e infravermelho, temos os que são específicos para tipos restritos de radiação não visível como os raios X, radiação Gama, ultravioleta, infravermelho e ondas de rádio.

A NASA criou uma missão chamada de Grandes Observatórios Espaciais, e lançou quatro grandes telescópios espaciais, cada um em uma faixa de espectro. O primeiro foi o Hubble, na faixa visível, o segundo foi o GRO na faixa dos raios gama, o terceiro é o de raios-X, chamado Chandra e o último em infravermelho chamado de Spitzer.

Como a maioria dos raios X e raios gama são absorvidos pela atmosfera, para que possamos captá-los os telescópios devem estar a bordo de balões ou no espaço. São vários os telescópios espaciais para essa gama de frequências, como por exemplo o GRO – Gamma Ray Observatory, também conhecido por Observatório de raios Gama Compton, que como o próprio nome afirma, tinha por objetivo captar raios gama. Ele tinha 9,1 metros de comprimento por 4,6 metros, pesava cerca de 17 toneladas e foi a carga mais pesada lançada ao espaço pela NASA. Ele foi lançado em 1991 e ficou em funcionamento até 2000, quando reentrou na atmosfera de forma controlada. Ele detectou mais de 2 600 explosões de raios gama além de centenas de fontes de raios gama ainda desconhecidas como por exemplo emissões de mais de 30 objetos celestes exóticos.

O telescópio Chandra teve custo de 1,65 bilhões de dólares e foi responsável por observar vários fenômenos de emissão de raios-X de diversos buracos negros, inclusive flagrou fusão de dois buracos negros. As emissões de buracos negros ocorrem em altíssima energia, portanto como a energia de uma onda eletromagnética está atrelada a sua frequência, isso indica que ela possui frequências altas, sendo assim, essas emissões ocorrem em raios-X e raios gama. Outro fator é que em muitas vezes, a luz visível é bloqueada ou saturada em galáxias, porém quando a observamos frequências de maiores energias podemos ver essas emissões que ocorrem devido a presença de buracos negros.

Ainda dessa missão da NASA, o Telescópio Espacial Spitzer que opera no infravermelho foi lançado em 2003 foi projetado para captar ondas cujo comprimento de onda varia 3 a 180 micrometros. Com ele, os astrônomos puderam observar vários corpos celestes que antes não eram observados devido parte dessa energia ser absorvida pela atmosfera terrestre.

Outros telescópios que enxergam o que para nós é invisível, são os radiotelescópios. Eles têm o formato de grandes antenas parabólicas e servem para captar frequências que se encontram abaixo da chamada infravermelha, ou seja, são ondas de baixa energia denominadas de ondas de rádio.

O maior radiotelescópio atual é o RATAN-600, com diâmetro de 576 metros. Ele foi construído em 1968 e começou a operar em 1974, e

pode fazer observações de radiofrequência na faixa que varia de 610 MHz a 30 GHz. Porém este não tem o formato de antena parabólica como os outros, invés disso ele é feito de 895 placas, cada uma com dimensões de $2\text{ m} \times 7,4\text{ m}$ que se ajustam de forma a direcionar os raios sempre para um mesmo ponto onde ficam os sensores.

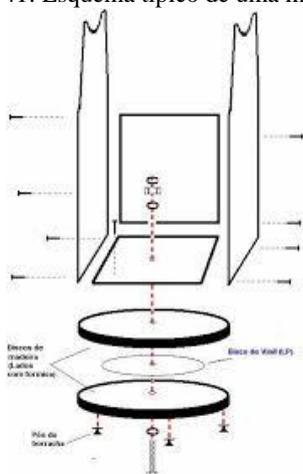
Já o maior telescópio com formato de parabólica que existe fica na China e foi inaugurado em 2016. Ele é composto por 4 450 painéis e tem 500 metros de diâmetro. Ele será utilizado para analisar ondas de rádio provenientes do espaço, de forma a auxiliar na compreensão do universo além de busca por possíveis formas de vida extraterrestre.

A.6.2.4. Principais montagens e formação das imagens.

Em telescópios amadores, um fator que influencia bastante na qualidade da observação é a montagem utilizada pois é ela que garante a estabilidade necessária para a observação. As duas montagens mais utilizadas em telescópios amadores são as montagens equatoriais e as montagens dobsonianas.

As montagens altazimutal do tipo dobsonianas são as mais fáceis de utilizar, pois basta apontar manualmente o telescópio para onde quer se observar. Elas são construídas colocando uma plataforma móvel sobre uma rígida, que permite o movimento azimutal, e essa por sua vez sustentará o telescópio e permite o movimento de ajuste da altura do apontamento. Existem diversos padrões para as montagens dobsonianas, mas todas têm a mesma sequência lógica de funcionamento. A figura 41 mostra o esboço de uma montagem dobsoniana típica.

Figura 41: Esquema típico de uma montagem dobsoniana



Fonte: <http://turminha.com/images/montagemdoconjunto.jpg>

A praticidade dessa montagem está em não precisar ter muito conhecimento da teoria de apontamento e localização, portanto é indicada para observadores iniciantes, além de ser uma base de fácil construção e grande rigidez, o que auxilia em diminuir trepidações devido aos ventos que porventura estiverem soprando na hora da observação. Por falar em ventos, o ideal é que não existam quando se deseja observar por um telescópio, pois eles o fazem vibrar, e com isso o objeto que está sendo observado salta de um lado para outro na ocular.

Assim, uma montagem dobsoniana, depois de pronta terá o formato típico e estará pronta para receber o telescópio. Essa montagem está descrita passo a passo no apêndice B, a qual depois de pronta, obteve o resultado observado na figura 42.

Figura 42: Montagem dobsoniana com o telescópio já inserido, pronto para a observação.



Fonte: o Autor

As montagens equatoriais diferem da dobsoniana por facilitarem a motorização, ou seja, permitem que seja facilmente acoplado um motor de passo ou similar para que o telescópio acompanhe o astro no céu noturno. Outro fator que torna as bases equatoriais melhores para o uso em telescópios amadores é o fato que o ajuste pode ser feito com precisão e após o astrônomo aprender a apontar ela corretamente para o eixo polar basta apenas fazer os ajustes em um único eixo de movimento.

A figura 43 nos informa como uma montagem equatorial é. Ela é composta por um tripé, ao qual está preso um eixo primário, que deve ser alinhado ao eixo terrestre. O eixo secundário, mais acima, é responsável por fazer o ajuste da declinação.

Existem diversos modelos de tamanho para montagens equatoriais e eles diferem principalmente no peso do telescópio que eles podem suportar, obviamente montagens maiores e mais robustas podem suportar telescópios maiores e mais pesados.

Figura 43: Montagem equatorial



Fonte:

<http://www.telescopiosastronomicos.com.br/imagens/equatorial5a.jpg>

A.6.3. Espectroscopia astronômica

A luz tem comportamento dual, pode ser considerada como onda ou como partícula, dependendo da interação analisada. Observando o caráter ondulatório, quando ela passa por um prisma, e quando ela não for monocromática, temos sua decomposição, pois para frequências diferentes o material transparente tem valores de índice de refração diferentes. Quem descobriu isso foi Isaac Newton, enquanto estudava óptica. Porém o que ele não percebeu é que a luz do Sol decomposta apresentava raias escuras, que hoje chamamos de linhas de absorção.

Essa descoberta coube a Joseph von Fraunhofer (1787 – 1826), um vidreiro óptico alemão. Ele registrou 574 linhas no espectro solar, e com isso inventou o espectroscópio e a rede de difração. Com seus estudos, ele descobriu que as linhas espectrais de algumas estrelas eram um pouco diferentes das linhas do Sol, assim ele acabou fundando a espectroscopia astronômica e graças a isso pudemos descobrir do que estrelas são feitas.

Cada elemento químico emite um conjunto específico de raias e isso pode ser utilizado para identificá-lo a partir de um espectroscópio. Essa ideia foi utilizada (e descoberta) por Gustav Kirchhoff (1824 – 1887) e por Robert Bunsen (1811 – 1899), que deduziram que essas raias escuras ocorriam em virtude da absorção de algumas frequências pelos elementos químicos presentes nas camadas externas do Sol e da atmosfera terrestre. Isso proporcionou mais tarde, por exemplo, a descoberta do elemento químico hélio (He) no Sol por Joseph Norman Lockyer (1836 – 1920) em

1868, antes mesmo dele ser encontrado aqui na Terra (que ocorreu 17 anos depois).

Um elemento químico pode emitir raias características ou absorver, dependendo de sua temperatura, e com isso, Kirchhoff enunciou leis que hoje são conhecidas como leis de Kirchhoff:

1ª lei: Um corpo opaco e quente produz um espectro contínuo, independentemente de seu estado físico.

2ª Lei: Um gás transparente produz um espectro de linhas brilhantes, chamadas de linhas de emissão. Cada elemento químico produz uma configuração de linhas específica.

3ª Lei: Quando a luz de espectro contínuo, que é emitida por um sólido, passa por um gás com temperatura mais baixa, surgem linhas escuras, chamadas de linhas de absorção, que na prática estão localizadas na mesma posição das linhas de emissão desse mesmo elemento químico.

Uma observação importante é que nas linhas escuras não significam necessariamente que não há luz nessa frequência, pois um átomo quando absorve determinada energia, a reemite posteriormente, porém em todas as direções e isso causa um decréscimo na luz percebida, que percebemos como sendo as raias específicas de cada elemento químico.

Em decorrência do surgimento da mecânica quântica, surge a explicação de como ocorre a absorção dos fótons pelos elétrons e sua posterior emissão, a qual explica que a energia do fóton deve ser quantizada em valores específicos. Assim, para átomos com vários elétrons e levando em conta o princípio de exclusão de Pauli - Wolfgang Pauli (1900-1958), que diz que dois elétrons não podem ocupar o mesmo estado quântico, com o mesmo spin, podemos perceber que cada átomo emite algumas raias específicas.

Usando a ideia da espectroscopia, Edwin Hubble analisou o espectro da luz de estrelas distantes, inclusive de outras galáxias percebeu que os mesmos elementos que estavam presentes aqui na Terra podiam ser encontrados nessas estrelas, porém com o diferencial de que em quase todas elas, o espectro estava deslocado em direção aos maiores comprimentos de onda, que significava que a frequência percebida era menor que a frequência real emitida pelo elemento químico que estava na estrela analisada (efeito chamado de *redshift*, já discutido anteriormente no capítulo A2.4), ou seja um efeito Doppler da luz, que significava que essas galáxias estavam todas se afastando de nós, mais uma vez corroborando para a teoria do Big Bang.

APÊNDICE B – CONSTRUINDO SEU TELESCÓPIO.

Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Física – MNPEF – Polo UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina.

Apêndice integrante da dissertação de mestrado cujo título é: “Da Astronomia Básica à Astrofísica: um curso para Ensino Médio”, desenvolvida pelo mestrando Evandro Luis da Cunha sob Orientação do professor Dr. Gerson Renzetti Ouriques.

O presente roteiro de construção foi baseado em telescópios produzidos por Marcos Antonio Bereza da Andrômeda Telescópios, seguindo a ideia dos telescópios Newtonianos, construídos por Isaac Newton em meados do século XVII. Já a montagem da base, segue a ideia do astrônomo amador John Lowry Dobson (1915 – 2014), um tipo de base altazimutal chamada de base dobsoniana.

Manual de construção do telescópio newtoniano.

Um telescópio não é simplesmente um aparelho com lentes e espelhos que amplia uma imagem. Ele é uma porta para observar objetos que não emitem/refletem luz suficiente para se ver a olho nu, ou ainda discernir objetos que tem tamanho angular tão pequeno que não conseguimos separar visualmente. Isso nos revela um mundo diferente, que foi deslumbrado pela primeira vez em 1608/1609 por Galileu Galilei, o qual teve a brilhante ideia de apontar uma luneta para o céu noturno. Na época surgiu um mundo novo, que quebrou muitas concepções intrínsecas do conhecimento consolidado.

Antes de construir um telescópio, temos que observar as dimensões que queremos e dispomos para operá-lo, assim, algumas características são de grande importância. Para tanto, precisamos conhecer um pouco sobre os telescópios. Eles possuem uma razão entre sua distância focal e o diâmetro de sua objetiva, valor esse que é expresso com a letra F acompanhada de um número, por exemplo $F5$, $F7$, $F10$, e é denominada de razão focal. Quanto maior for o valor da relação F , para um mesmo diâmetro do espelho primário, maior será a ampliação que ele proporcionará, porém com um empecilho, a luminosidade/brilho será mais baixa. Portanto, um telescópio com valores mais altos de F será mais apropriado para observação de planetas, já um telescópio com valores baixos de F é melhor recomendado para observação de aglomerados e nebulosas.

A magnificação de uma imagem, ou seja, a ampliação proporcionada por um telescópio, é dada pela razão entre a distância focal do espelho primário e a distância focal da ocular que está sendo utilizada. Portanto, um telescópio cuja distância focal primária é de 800 mm, quando utilizado com uma ocular de 25 mm, proporcionará uma magnificação de 32 vezes.

Se esse telescópio tiver um espelho primário de 150 mm de diâmetro, ele é um F5,3, pois essa é a razão entre 800/150; porém já se o diâmetro for de apenas 80 mm, ele é um F10. Apesar de termos em ambos os telescópios a mesma ampliação, ao utilizarmos uma mesma ocular, teremos diferentes visões nas oculares. No primeiro, uma imagem mais clara, pois capta mais luz devido ao espelho maior, assim sendo melhor para observação de corpos menos luminosos, como os aglomerados, e no segundo, uma imagem mais escura, ideal para objetos cujo brilho é intenso, como a lua ou planetas.

De maneira geral, a ampliação recomendada é equivalente em vezes, ao valor do espelho primário em milímetros. Ou seja, um telescópio de 200 mm, proporciona uma ampliação de 200 vezes com pouquíssimas perdas de qualidade visual, mas se excedermos essa regra, cada vez mais a imagem escurece e a qualidade visual diminui. Isso não é uma regra fixa, pois é possível, dependendo da qualidade óptica do aparelho, uma ampliação de 2 ou 3 vezes o valor do diâmetro do espelho primário. Mas, é praticamente impossível um telescópio de 60 mm de espelho primário ou lente objetiva (quando for um refrator), conseguir uma ampliação de 500 vezes ou mais. Teoricamente a ampliação pode ser realizada, mas provavelmente não será vista imagem alguma. Por exemplo, ao supor que um telescópio de 60 mm de abertura e que tenha distância focal de 1000 mm seja utilizado com uma ocular de 5 mm, temos $1000/5=200$ vezes de magnificação. Se acoplarmos uma lente Barlow de 2,5 vezes, temos as 500 vezes de ampliação, porém a imagem será demasiadamente escura, a ponto de não se conseguir distinguir o que se vê, além de ser muito difícil de ajustar o foco.

Então, a regra seria comprar o telescópio com maior diâmetro possível? Sim, porém o custo aumenta significativamente com o diâmetro do espelho primário, a ponto de um telescópio com espelho acima de 500 mm ser mais caro que um automóvel, como o *Planeawave Instruments CDK20* de 20 polegadas (508 mm) que tem um custo de US\$ 32500,00 sem contar as taxas de importação. Outro fator é que a distância focal aumenta conforme o tamanho do espelho, portanto não se consegue carregar por aí um telescópio de 3 metros de comprimento ou mais. Outro fator trucidante é o peso, pois quanto maior for, mais pesado ele é, a ponto de ficar extremamente desconfortável transportá-lo.

Portanto na hora de construir seu telescópio, ou de comprar um pronto, tenha em mente onde ele ficará. Se tiver disponível um local fixo, como um observatório, vá em frente e compre ou construa um grande, mas se tiver que transportá-lo, há uma enorme chance de se frustrar e acabar o abandonando em um canto, então, nesse caso, opte pela praticidade.

Uma sugestão interessante é que ele caiba em um porta-malas de um automóvel ou em seus bancos traseiros. Assim, um valor adequado gira em torno dos 150 mm a 254 mm (6" a 10"), com distâncias focais na ordem de 0,8 a 1,5 metros (800 mm a 1500 mm).

Após decidir o tamanho do telescópio, e como objetivo deste roteiro, decidir construir ele por si, o leitor deve adquirir um kit que é composto por um espelho primário e um secundário. Esses kits podem ser adquiridos sob encomenda dos ATMs (ATM é o acrônimo de Amateur Telescope Makers, ou fabricantes de telescópios amadores em tradução) ou ainda comprando em sites de venda pela internet.

Nesse projeto, optamos por efetuar o polimento de um espelho de borossilicato de espessura 40 mm, cujo polimento inicial era esférico em um disco de 200 mm de diâmetro com distância focal de aproximadamente 4000 mm doado pelo professor Gerson Renzetti Ouriques da Universidade Federal de Santa Catarina. Como esse espelho possuía distância focal muito grande, ele não era ideal para um telescópio. Dessa forma, ele foi deixado a cargo de Marcos Antônio Bereza, da Andrômeda Telescópios de Palhoça – SC, que em seu trabalho o deixou parabólico com 1160 mm de distância focal, transformando-o, portanto, um F5.8. Ele também forneceu o espelho secundário, que é responsável pela mudança na direção dos raios de luz convergentes que chegam do espelho primário.

O polimento e desbaste de um vidro plano para que este adquira a superfície curva desejada é feito à base de materiais duros. Dessa forma, a partir de um vidro plano, é feito um desbaste utilizando uma ferramenta feita de piche e bréu, e embaixo dela (sobre o vidro) é adicionado um pó, feito de Carbetto de Silício. Esse pó de desbaste é utilizado em várias granulometrias (80, 220, 500, 1000, 1500 e 2000), sequencialmente e como lubrificante utiliza-se o detergente de cozinha. Esse desbaste é feito inicialmente por uma máquina construída pelo próprio ATM, que demora cerca de 3 horas de trabalho para cada granulometria. Posteriormente, é utilizada outra ferramenta feita de piche e bréu porém com um material de polimento, o Óxido de Cério. Esse polimento utiliza a água como lubrificante e é manual com duração de aproximadamente 20 h até finalizar o vidro.

Durante o desbaste, a cada intervalo de tempo deve-se verificar se a curvatura do espelho está seguindo conforme desejado. Para isso, utilizam-se testes, como o de Ronchi e o teste de Foucault. Após o vidro ter a curvatura desejada e sem falhas, o vidro está pronto para receber uma camada de Alumínio e assim se tornar um espelho de telescópio. Nesse processo, o vidro pronto é colocado em uma câmara de vácuo, onde um pequeno filete de alumínio é adicionado sobre uma resistência elétrica que o faz vaporizar. O vapor de Alumínio se solidifica sobre as superfícies nessa câmara de vácuo, inclusive na superfície do vidro, transformando-o em um espelho. Uma camada de Dióxido de Silício (Silica) é adicionada sobre a camada de Alumínio para protegê-lo, a fim de evitar sua oxidação.

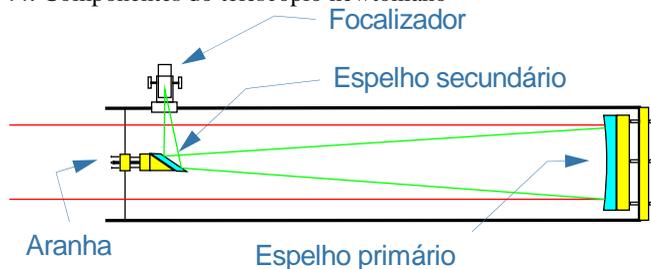
Um kit de espelhos pronto, como esse, tem custo aproximado estimado em R\$ 800,00, o tubo de alumínio com pintura epóxi – R\$ 150,00; luneta buscadora (5 x 20) + focalizador padrão – R\$ 250,00; ferragens, parafusos e MDF – 300,00. Totalizando assim o valor aproximado de R\$ 1500,00 no ano de 2017.

Partes de um telescópio

Em um telescópio newtoniano, os raios de luz provenientes do objeto a ser observado, chegam em paralelo e incidem sobre o espelho primário, que fica no fundo do telescópio, que pode ser um espelho côncavo ou parabólico. Essa imagem refletida, sob forma de um feixe de luz convergente, retorna e incide no espelho secundário, que o direciona para o focalizador, onde fica a ocular, que é responsável por paralelizar novamente os raios incidentes, possibilitando uma imagem nítida. Para que esses raios incidam exatamente onde devem, os espelhos precisam estar perfeitamente alinhados. A técnica de alinhar os espelhos de um telescópio é chamada de colimação.

Já para alinhar o objeto a ser observado com o telescópio, utiliza-se a luneta buscadora, que tem a função de mirar na estrela ou planeta. A figura 44, nos mostra a trajetória dos raios de luz, em vermelho os incidentes e em verde os refletidos. Além de nomear os principais componentes de um telescópio newtoniano.

Figura 44: Componentes do telescópio newtoniano



Fonte: Autor.

Montando o telescópio

Ferramentas necessárias para a construção do telescópio e da base:

- Ferramentas de corte de madeira e alumínio (serra tico-tico e afins);
- Ferramentas para parafusar e furar (parafusadeira ou chaves de fenda ou Philips);
- Brocas serra-copos;
- Serra de cortar ferro;
- Trena.

Materiais para o telescópio:

- Kit de espelhos para telescópio, composto por um espelho esférico ou parabólico, denominado primário e um espelho plano, secundário.
- Kit de oculares (recomenda-se valores entre 15 e 30 mm)
- Lente Barlow 2x e/ou 3x
- Tubo de alumínio pintado de preto fosco internamente com espessura de 1 mm, com diâmetro ligeiramente superior ao espelho primário. Em nosso caso, um tubo de 220 mm para espelho de 200 mm.
- Focalizador para telescópios, com saída padrão de 1,25" ou 2"
- Luneta buscadora
- Barra rosqueada M8, para fazer a aranha (As barras têm por padrão 1 metro de comprimento, porém necessitamos pouco

menos que a metade disso). Veja a imagem 3 para ver como deve ficar.

- 3 Parafusos Philips para madeira, com 5 cm de comprimento.
- 15 porcas e arruelas para a barra rosqueada M8
- Cola de silicone
- Cola adesivo instantâneo.
- Placas de madeira ou MDF para o suporte da aranha e do espelho secundário. (Ver figura 10).
- Diversos parafusos de diversos formatos e tamanhos (não há um tipo específico, podem ser adaptados conforme a necessidade)

Para o suporte do espelho primário:

- Placa de MDF ou madeira, circular, do mesmo diâmetro do espelho (ver figura 20).
- Placa de MDF ou madeira, circular, do mesmo diâmetro do tubo do telescópio. (Ver figura 20).
- 3 parafusos grandes (diâmetro de 8 mm com comprimento de 8 cm) com arruelas e porcas borboletas, para fazer o alinhamento do espelho primário.
- 4 molas de 5 cm de comprimento e diâmetro no qual os parafusos entrem com folga, com grande coeficiente de elasticidade (bem rígidas)
- Peça de um tubo de PVC de 200 mm para unir o focalizador com o tubo de alumínio.

Materiais necessários para a base dobsoniana:

- Parafusos de diversos tamanhos para madeira (pode adaptar conforme necessário).
- Placas de madeira ou MDF de grandes dimensões (na minha montagem utilizei as portas de uma cozinha).
- 2 rolamentos de aço, com diâmetro interno de 10 mm.
- 3 rodinhas com base rígida.
- Um parafuso de 12 cm x 8 mm com rosca, porca borboleta e arruelas.
- Abraçadeira de poste de madeira, para unir o telescópio à base dobsoniana (o tamanho vai depender do diâmetro do telescópio).

Construção:

Primeiramente vamos iniciar com a construção do tubo do telescópio. De posse do valor da distância focal do espelho primário, meça o tamanho do tubo. Em nosso caso, a distância focal é de 1160 mm, portanto cortamos o tubo e o deixamos com 1,30 m. (Uma dica interessante é sempre deixar o tubo um pouco maior que o necessário, pois é sempre mais fácil cortar um pedaço do que emendar). Após isso, meça aproximadamente 8 a 10 cm da borda do tubo e recorte um quadrado de aproximadamente uns 7 cm x 7 cm, ou seja, o centro desse quadrado fica a 10 cm da borda do tubo. Esse valor pode variar, de acordo com o diâmetro da parte de trás do focalizador. Podemos observar na figura 45a. o focalizador, em sua parte de trás, e na figura 45b. o quadrado recortado no tubo de alumínio.

Figura 45a: Focalizador, visto na sua parte de trás, cujo diâmetro é de 60 mm. Ele encaixa perfeitamente na figura 46a. 45b. Quadrado recortado no tubo de alumínio que constituirá o corpo do telescópio.



a.

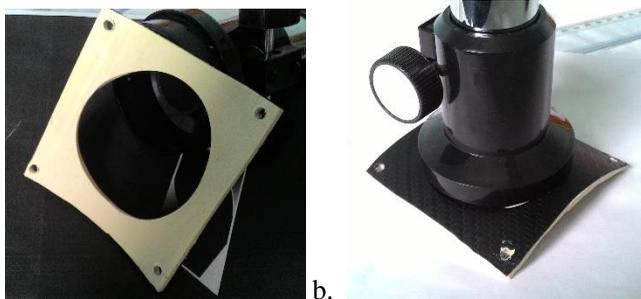


b.

Fonte: autor

Com um cano de PVC de 200 mm (em nosso caso), recortamos, com a serra tico-tico, uma parte dele com lado cerca de 1 a 2 cm maior do que o lado da borda do quadrado no tubo de alumínio. Agora com uma serra-copos cujo diâmetro seja idêntico ao do focalizador, devemos fazer um furo que o encaixe de forma justa. Conforme podemos ver na figura 46a e 46b.

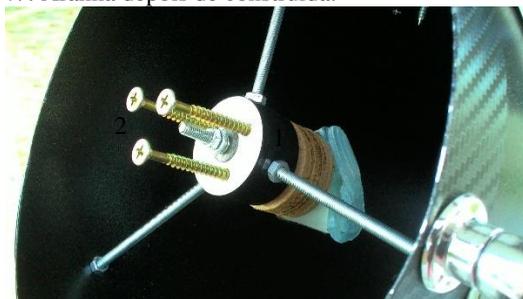
Figura 46a: Parte do tubo de PVC que serve para tampar o quadrado que fizemos no tubo de alumínio. 3b. Focalizador encaixado para teste. Os furos nos cantos são para fixar com parafusos no tubo de alumínio.



Fonte: autor

Com essa parte pronta, passamos para a construção da aranha. A aranha é responsável por ajustar o espelho secundário e deixá-lo posicionado exatamente no centro do tubo e depois de pronta, ficará conforme a figura 47.

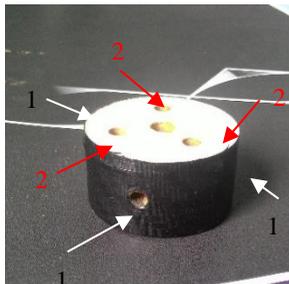
Figura 47: Aranha depois de construída.



Fonte: autor

Para construção da aranha, devemos cortar dois discos de madeira ou MDF com diâmetro de 4 cm, utilizando para isso, uma broca serra-copos de 40 mm. Reserve um deles e no outro efetue as seguintes furações: Na parte plana, faça 3 furos com ângulos de 120° entre si e que atravessem o disco, com a broca de 3 mm. O furo central com uma broca de 5 mm já vai estar em decorrência da serra-copos, que possui uma broca guia no centro. Após isso, devemos realizar os furos que partem da borda externa até o centro do disco, porém com uma defasagem de 60° em relação aos primeiros furos. A figura 48 demonstra os furos no disco de MDF.

Figura 48. Disco recortado, com furos de 3 mm (item de número 2 na figura) e 120° entre si, para instalar os parafusos de ajuste do espelho secundário e furos com defasagem de 60° em relação aos da face plana (item de número 1 na figura), onde vamos prender as “pernas da aranha”, que sustentam o espelho secundário ao tubo.



Fonte: autor

Os furos da face plana são aqueles por onde passarão os parafusos para ajuste da inclinação do espelho secundário (item 2 da figura 4). Após essa parte estar pronta, passamos para o suporte do espelho.

Para o suporte do espelho secundário, recortamos um triângulo com base aproximadamente igual ao diâmetro do disco recortado na etapa inicial e cole com a cola de silicone, na hipotenusa do triângulo, o espelho secundário. A figura 49 exemplifica como deve ficar.

Figura 49: Espelho secundário colado no triângulo retângulo



Fonte: autor

Em hipótese alguma, toque com os dedos no espelho primário ou secundário. Se precisar remover alguma partícula que caiu sobre o espelho, utilize um pano macio ou um cotonete para remover as impurezas depositadas.

Enquanto aguarda a secagem da cola, preparamos a outra parte, que será colada posteriormente à esta. Com o disco que restou (foram cortados dois, o primeiro, que fizemos os sete furos e esse, que possui apenas um único furo central, na face plana, devido à broca guia da serra

copos de 40 mm). Em uma das faces do disco, vamos colar o espelho o triângulo que segura o espelho secundário, na outra face, os parafusos de ajuste vão pressionar para empurrar e modificar a inclinação do espelho. Assim, devemos reforçar toda a superfície com metal. Para tanto, devemos encontrar uma arruela de metal que cubra totalmente o disco, ou no caso do projeto, como não encontramos, improvisamos e adaptamos uma menor, de 30 mm. Para isso, com uma broca chata foi realizado um rebaixo cuja profundidade é igual à arruela, de modo ela encaixe perfeitamente. Vide figura 50 para melhor compreensão.

Figura 50: Rebaixo no disco, para encaixar a arruela de 30 mm.



Fonte: autor

Após isso, insira a arruela nesse rebaixo, conforme observamos na figura 51.

Figura 51: Arruela encaixada no disco.



Fonte: autor

Em sequência, gire a peça e no lado oposto à arruela, no furo central, cole uma porca que encaixe na barra roscada M8, conforme podemos observar na figura 52.

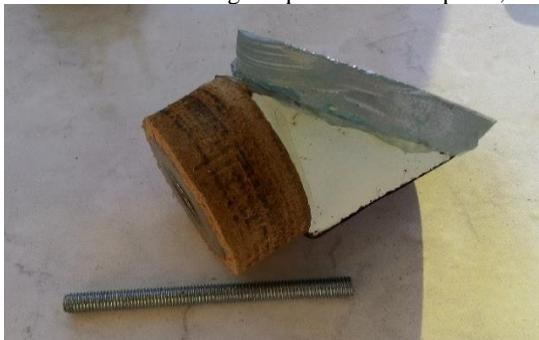
Figura 52: Disco com a porca colada.



Fonte: autor

A próxima etapa é colar o triângulo no disco e inserir uma barra de aproximadamente 10 cm no disco, figura 53.

Figura 53: Barra M8 e o triângulo que contém o espelho, colado no disco.



Fonte: autor

Deixe ela presa utilizando outra porca na parte externa, que auxiliará para que a arruela grande não se solte, conforme a figura 54.

Figura 54: Conjunto pronto para ser acoplado ao suporte "aranha"



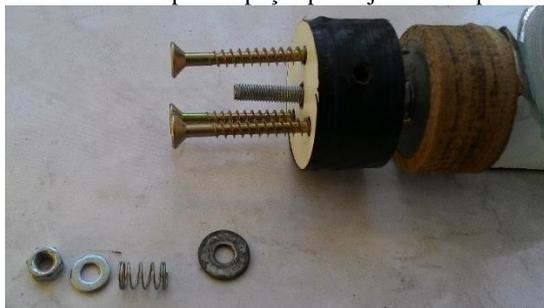
Fonte: autor

Como pode-se observar na figura 54, a arruela de metal fica perfeitamente encaixada e evita o desgaste da madeira na hora do ajuste fino que será realizado posteriormente. Conforme já dito, seria ideal que essa arruela tenha o diâmetro exato do disco, porém por problemas técnicos (não foi encontrado para compra) houve a necessidade de fazer adaptações que talvez não sejam necessárias em outras construções.

O próximo passo é unir essa peça à outra, que fizemos em primeira instância. Para isso, deve encaixar as duas peças, passando a barra pelo furo central do primeiro disco. Na parte que saiu, coloque uma mola bem forte, com diâmetro ligeiramente superior a barra rosqueada e a prenda com uma porca.

A figura 55 mostra as peças antes montar e a figura 56 as peças já acopladas. Nessa foto, já colocamos os três parafusos de ajustes fino, que são parafusos para madeira que encaixam nos furos de 3 mm.

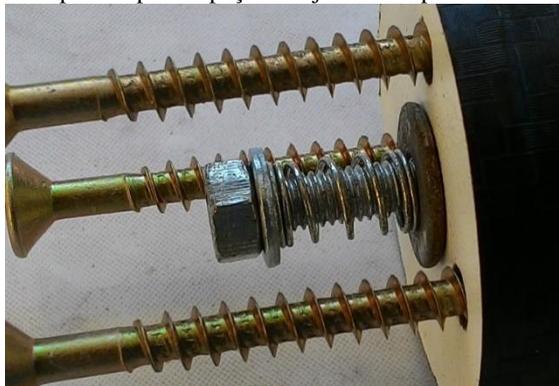
Figura 55: Antes de acoplar as peças para ajuste do espelho secundário.



Fonte: autor.

A mola com a porca, força os discos a permanecerem unidos, enquanto os três parafusos os tentam separar, fazendo o ajuste da inclinação.

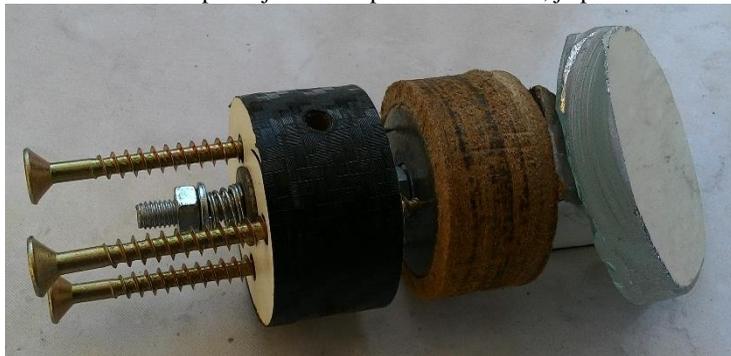
Figura 56: Após acoplar as peças de ajuste do espelho secundário.



Fonte: autor

A figura 57 mostra o sistema pronto. Agora é só cortar e encaixar as pernas da aranha.

Figura 57: Sistema aranha para ajuste do espelho secundário, já pronto.



Fonte: autor

A próxima etapa é cortar três pedaços da barra roscada M8, com comprimento aproximado de 12 cm, para servir como as “pernas” da aranha, ou seja, a parte que acopla a aranha ao tubo, conforme podemos ver na figura 58.

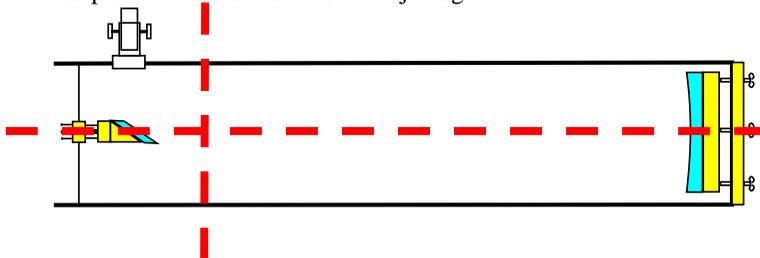
Figura 58: Pernas da aranha, feitos com a barra roscada M8 com 12 cm de comprimento e com as porcas e arruelas já acopladas.



Fonte: autor.

O passo seguinte é muito importante, pois ele permitirá o alinhamento do secundário com as oculares que ficarão no focalizador. Devemos prender essas “3 pernas” que cortamos na figura 58 no disco respectivo, e com isso devemos aproximar ele do tubo de forma que o espelho secundário forme um ângulo reto (90°) com o espelho primário e o focalizador, conforme figura 59.

Figura 59: Espelho secundário no vértice cujo ângulo é 90° .



Fonte: autor.

Então, na figura 60, do local onde o focalizador deve ser acoplado, vemos o espelho secundário. Nessa etapa já podemos ver a placa de PVC recortada do tubo que encaixa no furo no tubo de alumínio, onde o focalizador vai ser encaixado, já acoplada ao tubo.

Figura 60: Espelho secundário no vértice do ângulo de 90°, formado entre o observador e o espelho primário.

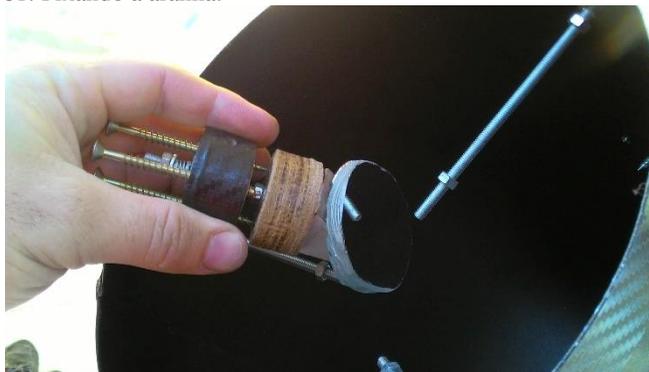


Fonte: autor.

Depois de ver a profundidade que o espelho secundário deve estar, devemos observar onde furar o tubo de alumínio para que as pernas da aranha encaixem de modo a manter o espelho nessa posição (profundidade). Se não ficar exatamente no local, lembre-se que podemos fazer um ajuste fino com a utilização dos parafusos, com isso podemos deslocar o espelho um pouco mais para dentro ou para fora do tubo. Porém tenha em mente que esse ajuste é pequeno, ou seja, na ordem de 2 cm para frente ou para trás.

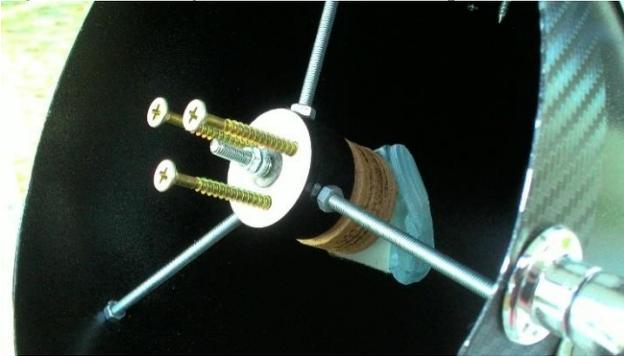
Feito isso, fixe a aranha no ponto certo (figura 61 e figura 62) e partimos para a próxima etapa, que é construir o suporte para o espelho primário.

Figura 61: Fixando a aranha.



Fonte: autor.

Figura 62: Aranha já fixa ao tubo do telescópio.

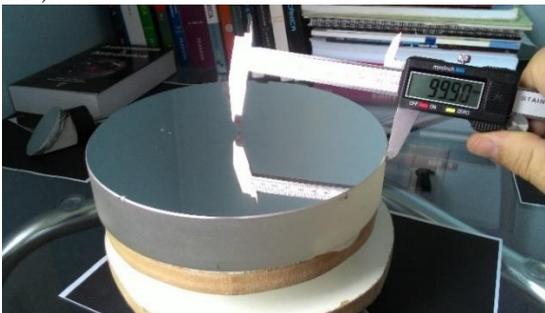


Fonte: autor.

Para o suporte do espelho primário, devemos recortar dois discos de madeira ou MDF. O primeiro deve ter exatamente o mesmo diâmetro do espelho primário. O segundo deve ter o diâmetro do tubo de alumínio, ou seja, em nosso caso, o primeiro tem 200 mm e o segundo 220 mm.

Agora, devemos fazer 3 furos nos dois discos, a 120° um do outro. Esses furos devem ser feitos para que possamos ajustar a inclinação do espelho primário e devem ser feitos exatamente no mesmo ponto nos dois discos. Como sugestão, marque o ponto a ser furado no primeiro disco e fure de forma concomitante os dois discos. Inserimos o parafuso no disco menor, tendo cuidado para que a “cabeça” dele fique rente ao disco de MDF. Isso deve ocorrer pois devemos colar o espelho nesse lado, e esses parafusos não podem atrapalhar a colagem. Cole o disco contra o espelho, de modo que os parafusos sejam colados juntos. Na figura 63 podemos ver o disco já colado e um paquímetro indicando o centro do espelho.

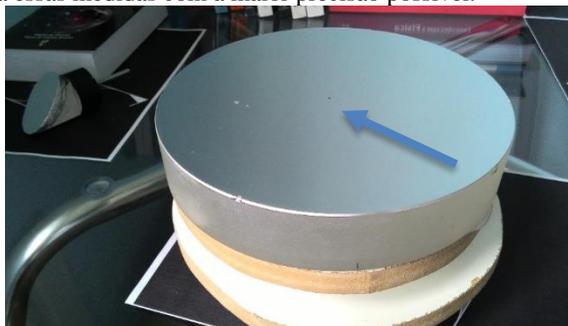
Figura 63: Disco 1 colado no espelho. Repare que o disco 1 é maior que o disco 2 (embaixo).



Fonte: autor

Marque o ponto central do espelho com uma caneta para escrever em CDs (figura 64). Essa marcação será útil para fazer a colimação dos espelhos posteriormente.

Figura 64: Marcação do ponto central do espelho primário (indicada pela seta). Confira essas medidas com a maior precisão possível.



Fonte: autor.

O próximo passo é construir o sistema de ajuste, da mesma forma que fizemos no espelho secundário. Ou seja, o parafuso que sai do disco que está colado ao espelho deve conter arruelas e uma mola. Essa mola é responsável por manter os discos afastados um do outro (veja figura 65).

Figura 65: Sistema de ajuste fino do espelho primário.



Fonte: autor.

Na figura 65, a mola mantém os discos de MDF afastados. A porca superior foi colocada para manter o parafuso firmemente preso ao disco que contém o espelho e na parte inferior, o parafuso deve correr livremente pelos buracos. Se enroscar, deve aumentar o diâmetro do furo até que ele passe livremente. Esse parafuso deve ser grande o suficiente para que ele atravesse o segundo disco e sobre ainda uns 2 cm, onde

fixaremos as porcas borboletas, que facilitam o ajuste fino manual. Podemos observar isso na figura 66.

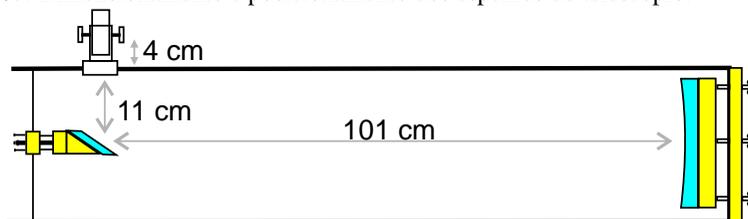
Figura 66: Porcas borboletas acopladas aos parafusos que regulam a posição do espelho primário.



Fonte: autor.

A seguir, devemos fixar o espelho primário no tubo. Essa parte é crucial para conseguirmos o foco posteriormente. Se fixarmos o espelho primário muito próximo ou afastado do secundário, não conseguiremos foco, portanto não funcionará o telescópio. Para saber de qual posição partir, partindo da premissa que conhecemos qual a distância focal exata do espelho primário, devemos somar as distâncias entre o espelho primário e o secundário, com a distância entre o secundário e o menor valor possível para o focalizador. Por exemplo, em nosso caso, o espelho tem distância focal de 1160 mm. A distância entre o centro do tubo de alumínio até sua borda, é de 11 cm (veja imagem 67), a distância da base do focalizador que fica junto ao tubo até o ponto onde a ocular vai presa é de 7 cm. Ao usarmos uma ocular de 30 mm, ela tem seu foco em 7-3, ou seja 4 cm (veja imagem 67). Assim, sendo a distância focal do espelho primário com valor 1160 mm e subtraindo as medidas que temos, encontramos a posição aproximada de onde deve ficar o espelho primário a partir do secundário. Portanto, em nosso caso, $1160 \text{ mm} - 40 \text{ mm}$ é 1120 mm. Subtraindo desse valor os 11 cm, ou seja, 110 mm vamos encontrar 1010 mm, que corresponde a 101 cm. Portanto, devemos colocar espelho primário a 101 cm, aproximadamente do espelho secundário. Na figura 67 podemos ver essas distâncias representadas.

Figura 67: Dimensionamento e posicionamento dos espelhos do telescópio.



Fonte: autor.

Obviamente, essas distâncias são específicas desse espelho primário. Para valores diferentes de distância focal, esses valores devem ser ajustados. Depois de encontrar a posição correta, fure e fixe o suporte do espelho primário no tubo. Seu telescópio está pronto, mas antes de tentar observar algo, vamos precisar fazer o alinhamento dos espelhos.

Para fazer tal alinhamento, precisamos construir uma “ocular” com um furo de 1 a 2 mm de diâmetro em seu exato centro. Essa ocular pode ser uma tampinha de garrafa ou algo que encaixe no focalizador, ou seja que tenha diâmetro idêntico a uma ocular de verdade. Em nosso caso, foi utilizada uma tampa de proteção que veio com um telescópio antigo. A figura 68 exemplifica a “ocular de alinhamento”.

Figura 68a: Ocular utilizada para colimação do telescópio. 68b: ocular de alinhamento já acoplada no focalizador.



a.



b.

Fonte: autor.

Agora a próxima etapa é observar por esse pequeno buraco, se o espelho secundário está na posição correta. Ajuste pelos parafusos da aranha, apertando ou afrouxando, até que ele propicie a reflexão da imagem do fundo do telescópio, ou seja, ele deve refletir a imagem do espelho primário. Veja a figura 69, do espelho secundário refletindo a imagem do primário, que por sua vez permite a visualização da aranha.

Figura 69: Observando pelo furo na ocular (na cor preta), podemos ver o espelho primário e a aranha.



Fonte: autor.

O próximo passo é fazer o alinhamento do espelho primário. Para isso, observamos o ponto que está exatamente no centro do espelho, que foi feito com a utilização da caneta de escrever em CDs. O outro ponto importante é o ponto que está no centro da aranha, que na verdade é o buraco por qual estamos olhando.

O alinhamento ocorre quando esses dois pontos estão no mesmo local, ou seja, devemos apertar ou afrouxar as porcas borboletas para que consigamos alinhar os dois espelhos. Uma maneira fácil é observar a distância entre os dois pontos e dar meia volta de aperto em uma das porcas borboleta. Então efetuar uma nova observação e verificar se os pontos se aproximaram ou afastaram. Caso eles se aproximaram, continue “apertando” a porca até que eles se coincidam. Caso se afastaram, deve afrouxar invés de apertar. Se ele ir para o lado, deve-se ajustar outra porca borboleta, até conseguir um perfeito alinhamento.

A última etapa é instalar a luneta buscadora, porém para isso, é interessante já ter a base dobsoniana construída, devido precisarmos movimentar o telescópio, o que não é fácil sem uma base.

Construindo a base

Para a construção da base dobsoniana, vamos precisar de placas de MDF planas, que em nosso caso, são provenientes das portinhas de uma cozinha desmontada.

A base primária é constituída por uma placa de 30 cm x 30 cm de madeira, pois ficará em contato com o solo, dessa forma optamos por usar a madeira invés do MDF, que é mais susceptível a humidade.

Em sequência, devemos parafusar realizar um furo central na placa de madeira, de modo que o parafuso de 12 cm passe sem que ocorram travamentos.

Na parte de baixo da base, devemos fazer um rebaixo com tamanho suficiente para que caiba o rolamento e a cabeça do parafuso, ou seja, que eles não fiquem salientes sob a madeira, da mesma maneira que fizemos com a arruela na construção da aranha, vide figura 70.

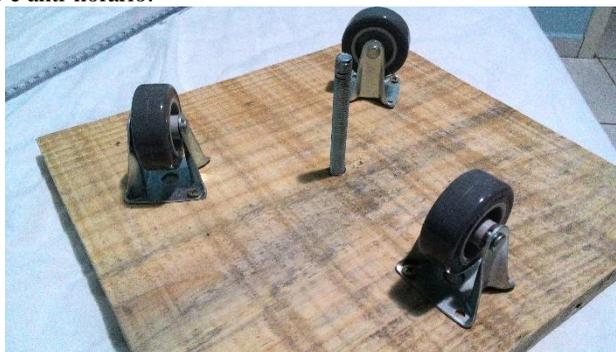
Figura 70: Placa de madeira que ficará em contato com o solo, parafuso de 12 centímetros, rolamento e porca borboleta.



Fonte: autor.

O próximo passo é parafusar as rodinhas que permitem que haja um movimento entre as duas bases (figura 71). Fixe-as em ângulos de 120° , porém de modo que permita o giro das mesmas, quando movimentarmos as duas placas.

Figura 71: Rodinhas parafusadas de modo a permitir o movimento em sentido horário e anti-horário.



Fonte: autor.

A construção do restante da base é feita em sequência, com as placas de MDF. A figura 72 mostra as placas antes da confecção.

Figura 72: Portinhas de uma cozinha, que serão utilizadas para confeccionar a base dobsoniana.



Fonte: autor.

Devemos escolher uma base de fundo, que ficará sobre as rodinhas já acopladas a base de madeira. Para isso, escolhemos uma portinha cujas dimensões são 32 cm x 43 cm. Em seu centro, deve-se fazer um furo que seja de diâmetro que possibilite a passagem do parafuso da figura 70. Com uma broca chata, deve-se fazer um rebaixo para que caiba o segundo rolamento, vide figura 73.

Figura 73: Rolamento depois de embutido na placa que servirá de base.



Fonte: autor.

Sobre ela, cortamos duas placas de 32 cm x 83 cm, utilizadas como placas laterais da base, que proporcionam o suporte do telescópio. A figura 74 mostra os cortes feitos. Um corte superior, com profundidade de 6 cm foi realizado para acoplar o telescópio.

Figura 74: Placas laterais da base.



Fonte: autor.

A próxima etapa é parafusar essa placa sobre a placa base. A distância que elas devem estar separadas é igual ao diâmetro do tubo do telescópio, adicionado em 1 cm devido a “abraçadeira de postes” que serve para acoplar o telescópio à base. No nosso caso, como o diâmetro do tubo é de 22 cm, colocamos as placas a 23 cm uma da outra, conforme figura 31. Devemos também colocar uma “trava”, que no caso foi uma placa de MDF com tamanho 23 cm x 42 cm. Podemos ver essa acoplagem na figura 75.

Figura 75: Placas parafusadas e acopladas.



Fonte: autor.

Posteriormente, deve-se forrar a abraçadeira de poste com a borracha de Etil Vinil Acetato, conhecida como borracha E.V.A. para que o metal não arranhe o tubo de alumínio. Acople dois parafusos sem cabeça aparente, para que eles não fiquem salientes e risquem o tubo do telescópio e os cubra de E.V.A. A figura 76 mostra o sistema montado.

Figura 76: Abraçadeira de postes que será o suporte do telescópio.



Fonte: Autor

Agora, finalizando é só acoplar essa parte na primeira parte que montamos, ou seja, a que possui as rodinhas, figura 77.

Figura 77: Base dobsoniana pronta.



Fonte: autor.

Posteriormente é só inserir o telescópio na base, fixando a abraçadeira, vide figura 78.

Figura 78: Abraçadeira fixando o telescópio



Fonte: autor.

A última etapa é fazer a instalação e o alinhamento da luneta buscadora. A luneta buscadora tem a função de “mirar” na estrela ou planeta a ser observado. O procedimento padrão para proporcionar o alinhamento é o seguinte: primeiro deve-se escolher um objeto longe do observador. Pode ser uma árvore distante (mais de 1 km) ou se for a noite,

pode ser uma fonte de luz puntiforme, como as lâmpadas que ficam no topo de antenas.

Ao escolher o “alvo”, pela ocular, centralize esse objeto. Em seguida, olhe pela luneta buscadora e veja onde ela aponta. Faça os ajustes para que ela aponte exatamente onde se vê pela ocular. Dessa forma, terminamos a montagem do telescópio e basta somente o tempo colaborar para observarmos o céu.

A seguir algumas fotos do telescópio pronto e algumas fotos tiradas pelo celular diretamente na ocular.

Figura 79: Telescópio pronto, onde podemos ver a aranha detalhes frontais.



Fonte: autor.

Figura 80: Telescópio pronto, vista lateral.



Fonte: autor

Acoplado o celular na ocular, conseguimos fotografar somente a lua, planetas e aglomerados requerem câmeras especiais.

Figura 81: Lua vista pelo telescópio construído.



Fonte: autor.

Figura 82: Lua, parcialmente iluminada pelo Sol, quando vista da Terra.



Fonte: autor.

APÊNDICE C – QUESTIONÁRIO APLICADO

Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Física – MNPEF – Polo UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina.

Apêndice integrante da dissertação de mestrado cujo título é: “Da Astronomia Básica à Astrofísica: um curso para Ensino Médio”, desenvolvida pelo mestrando Evandro Luis da Cunha sob Orientação do professor Dr. Gerson Renzetti Ouriques.

QUESTIONÁRIO BÁSICO DE ASTRONOMIA

1. O que são estrelas cadentes?
2. O que são meteoros?
3. O que são cometas?
4. Na linha do horizonte, o Sol nasce sempre no mesmo ponto ao longo do ano? Explique sua resposta.
5. O que são manchas solares?
6. O que significa 1 UA (unidade astronômica)?
7. Ano-Luz é medida de tempo ou de distância? Justifique.
8. O que significam as constelações?
9. O que significa o redshift da maioria das galáxias?
10. Qual a origem dos elementos químicos?
11. Como podemos saber quais os componentes químicos que constituem uma estrela?
12. O que é a magnitude de uma estrela?
13. O que significa magnitude absoluta?
14. Se a luz do sol demora 8 minutos e 20 segundos para vir até nós, qual a distância entre a Terra e o Sol (em km)?
15. Qual a nossa localização no cosmos?
16. O valor aceito para a idade do universo é de?
17. Qual a idade do sol?
18. Quanto tempo de vida o Sol ainda tem?

19. Classifique os itens abaixo em ordem decrescente de tamanho. Coloque 1 para o maior, 2 para o segundo maior, 3 para o terceiro maior e assim sucessivamente.

- () Via láctea
- () Galáxia Andrômeda
- () Lua
- () Sol
- () Terra
- () Estrela Sirius
- () Universo Visível
- () Um átomo
- () O elétron

20. Cite 3 cientistas que estudaram ou foram importantes para a Astronomia.

21. Cite um método de medição de distâncias astronômicas⁶.

⁶ Questão aplicada somente ao final do curso.

APÊNDICE D – SLIDES DO CURSO DE ASTRONOMIA

Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Física – MNPEF – Polo UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina.

Apêndice integrante da dissertação de mestrado cujo título é: “Da Astronomia básica à Astrofísica: um curso para Ensino Médio”, desenvolvida pelo mestrando Evandro Luis da Cunha sob Orientação do professor Dr. Gerson Renzetti Ouriques.

Todos os slides estão referenciados por um número, que se localiza no canto superior esquerdo, de forma a facilitar sua localização, conforme descrito no capítulo 4 – Metodologia.

Alguns slides têm imagens GIF e vídeos. Para executá-los, recomenda-se seguir o link da fonte original, ou caso não estiverem mais disponíveis, podem ser solicitados pelo e-mail na última página.

Abaixo, estão todos os slides que demonstram o conteúdo trabalhado, de maneira que facilmente podem ser seguidos.



2

Programação

Cada aula tem duração de aproximadamente 1,5 horas, exceto quando houver atividades observacionais.

- Aula 01 – Questionário e História da astronomia.
- Aula 02 – Slide 30 - Distâncias astronômicas e métodos de medição. Atividade prática sobre paralaxe, breve explicação de como funciona um telescópio newtoniano.
- Aula de observação prática (noturna).
- Aula 03 – Slide 43 - Efeito Doppler da luz e teoria da expansão do universo Leis de Kepler e gravitação Universal.
- Aula 04 e 05 e 06 – 07 – Slide 64 - Sistema Solar, Formação do sistema Solar, Planetas, Cinturão de Kuiper, Nuvem de Oort, Asteroides e Cometas, Principais naves de exploração espacial. Atividade prática sobre distâncias em escala do sistema solar, atividade prática sobre escalas de tamanhos dos corpos do sistema solar.
- Aula 08, 09 – Slide 172 - O Big Bang e a origem do Universo, Nebulosas e formação de estrelas. Origem dos elementos químicos (fusão nuclear), Estrelas, Estágios de estrelas.

3

Programação

- Aula 10 – Slide 242 - Instrumentos astronômicos, Telescópios astronômicos (amadores e profissionais), Observação a olho nu, Constelações no céu, Catálogo de Messier, O software Stellarium e Astrofotografia
- Construção do telescópio.
- Aula de Observação prática.

4

Astronomia, astrofísica, cosmologia.

- Muitas dúvidas surgem quando falamos dessas três nomenclaturas. A maioria da população as vê como sinônimos, porém, não o são.
- Segundo uma consulta ao dicionário, a cosmologia é definida como "Ciência que trata das leis gerais que regem o universo". Dessa forma, podemos dizer que a cosmologia é a parte mais abrangente das três definições, pois COSMO (tudo que existe, universo) LOGIA (estudo), de certa forma, é mais um ramo filosófico do que científico.
- Astronomia "é a ciência que estuda o universo, espaço sideral, e os corpos celestes, buscando analisar e explicar sua origem, seu movimento, sua constituição, seu tamanho etc". Portanto está ligada ao estudo específico de movimentos de astros, maneiras de comportamento, estudo de galáxias, sistemas planetários, corpos celestes, entre outras situações possíveis.

5

- A astrofísica "é a parte da astronomia que estuda os astros graças à aplicação de diversos métodos da física". Portanto, a astrofísica é a física aplicada a astronomia, ou seja, estuda basicamente os mesmos tópicos que um astrônomo, porém com uma análise mais específica dos fenômenos físicos envolvidos, como por exemplo a emissão de radiação de uma determinada estrela.

* Astrologia é um estudo não científico que tenta relacionar a posição dos corpos celestes com supostas influências no cotidiano das pessoas. É considerada como pseudociência, ou seja, algo que usa de pretextos científicos para induzir veracidade sobre conclusões.

Breve histórico da astronomia

6

Primeiros astrônomos

7

- Acredita-se que olhar o céu faz parte da curiosidade humana desde os primórdios.
- Historiadores encontraram evidências que o ser humano já observava o céu desde a "idade da pedra".
- Após esse período, quando a espécie humana passou a viver em comunidades e a produzir seu alimento (período Neolítico), eles começaram a perceber que certos fenômenos se repetiam de tempos em tempos, como as fases da lua, épocas de frio, épocas de frutas, épocas de calor.
- Essas comunidades agrárias perceberam que o plantio deveria estar ligado ao clima, pois plantar na hora errada poderia arnuar sua sobrevivência.

8

- Por exemplo, na primavera do hemisfério norte, quando aparecia a constelação Virgem era época de preparar a terra, semear e ficar atento às inundações; quando aparecia a constelação de Órion era a época de colheitas e preparações para o frio que estava por vir.




Imagens: software Stellarium

9

- Cerca de 700 a.C. os chineses já utilizavam um calendário de 365 dias e tinham anotações precisas sobre cometas, meteoros e meteoritos. Observavam também estrelas.
- Os maias, na América Central, também já conheciam o céu e tinham conhecimento sobre vários fenômenos celestes
 - como os eclipses.
 - vários registros sobre as posições de Vênus.
 - Também existem sugestões das orientações das Plêiades
 - evidências que sugerem o conhecimento dos solstícios e também há referências à estrela Sírius.



Plêiades - Arquivo pessoal

10

- Os Egípcios não tinham grande conhecimento matemático, necessário ao estudo mais aprofundado da astronomia, e por utilizarem papiros (que são vulneráveis ao tempo), há poucas referências sobre eles nos estudos nesse ramo.
- As pirâmides apresentam suas faces voltadas, com precisão, para os pontos cardiais.
- No calendário egípcio o ano civil tinha 360 dias e era dividido em 12 meses de 30 dias cada um
- Determinaram a duração do ano através dos nascimentos heliacos (nascer simultâneo com o Sol) da estrela Sírius, que chamavam de "Sóthis".



Fonte: Google maps

11

- Stonehenge, na Inglaterra, que foi construída por volta de 3000 a.C. a 1500 a.C., tem pedras alinhadas com os solstícios. Provavelmente elas representam uma maneira de contar o tempo.



Fonte: disponível em http://cdn.history.com/sites/2/2015/04/with-stonehenge-superhenge-istock_000129372531large-E.jpg, acessado em 13/12/2015.

12

- Grécia - ápice da ciência antiga, por volta de 600 a.C. a 400 d.C.
 - Conceito de esfera celeste, uma esfera na qual a Terra está no centro, e ao seu redor estão as estrelas incrustadas.
 - Como eles não conheciam a rotação da Terra, eles atribuíam o dia e a noite ao movimento rotacional da esfera.



Fonte: <http://files.triplex.voi.br/nadoe.pt/200004671-6berfb6ce40/1150.png>, acessado em 09/09/2016

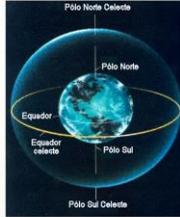
13

Esfera celeste

- Muitos planos e pontos da esfera celeste foram definidos pelos gregos e ainda hoje continuam sendo utilizados.
- **Horizonte:** plano tangente à Terra no lugar em que se encontra o observador, ou seja, é um alcance máximo do planeta Terra que podemos ver do lugar em que estamos.
- **Zênite:** 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
- **Nadir:** ponto diametralmente oposto ao Zênite
- **Equador Celeste:** círculo máximo em que o prolongamento do equador da Terra intercepta a esfera celeste

14

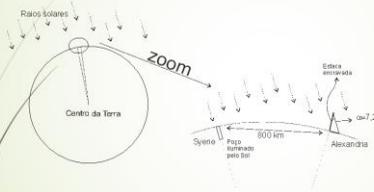
- **Polo Celeste Norte:** ponto em que o prolongamento do eixo de rotação da Terra intercepta a esfera celeste, no hemisfério norte.
- **Polo Celeste Sul:** ponto em que o prolongamento do eixo de rotação da Terra intercepta a esfera celeste, no hemisfério sul.



Disponível em: <http://astro.if.ufrgs.br/sphere.gif>

15

- Eratóstenes de Cirene, 300 a.C. realizou um experimento que permitiu o cálculo do diâmetro da Terra.



Fonte: o autor

$$1 \text{ volta} : 2\pi R = 360^\circ$$

$$d = 7^\circ$$

$$14\pi R = 360.800$$

$$R \cong 6500 \text{ km}$$

O raio correto da Terra é 6371 km. Valor excelente, dado que os 800 km foram encontrados por pessoas que contaram seus passos.

16

Modelo Geocêntrico

- O modelo geocêntrico é o mais antigo modelo cosmológico.
- Muitos filósofos gregos famosos como Aristóteles (384-322 a.C.) e Ptolomeu (90 d.C., 168 d.C.), defendiam esse modelo. Como nessa época não havia distinção em astronomia e astrologia, a ciência mesclava-se com o misticismo
- Ideia inicialmente de Platão, posteriormente adotada por Aristóteles e Eudoxo. Aperfeiçoada por Claudio Ptolomeu, 200 d.C. Almagesto "Terra se apresenta imóvel e rodeada de esferas transparentes de cristal que giram a sua volta e a que se subordinam o Sol e os planetas..."
- Acreditavam que a Terra era o centro do universo e que as constelações e demais corpos celestes é que giravam em torno da Terra.

17

- Introduziu os conceitos dos epiciclos, para explicar o movimento retrógrado observado em planetas no céu.

Fonte: imagem disponível em <http://astro.ifes.br/11/100.gif> acessado em 05/08/2016

Fonte: desenho próprio

18

- Essa concepção perdurou até os anos de 1500, aproximadamente, por um período conhecido como Idade Média.
- Ela foi substituída pelo Modelo Heliocêntrico, criado por Aristarco de Samos (310 a.C a 230 a.C.)
- Nesse modelo a Terra deixa de ser o centro do universo e ele passa a utilizar o Sol como o centro de tudo.
- Como na época acreditava-se em um cosmos perfeito, criado por alguma divindade, prevaleceu o sistema na qual a Terra era o centro de tudo.
- O sistema heliocêntrico ficou esquecido até ser resgatado pelo astrônomo polonês Nicolau Copérnico (1473-1543).

19

Sistema Heliocêntrico

- Resgatado por Nicolau Copérnico;
- Coloca o Sol como centro de tudo;
- Era mais simples e levemente mais consistente que o sistema geocêntrico; ou seja, não era, inicialmente, muito melhor em prever posições dos planetas.
- Afirmava que o dia e a noite eram originados pelo movimento de rotação da Terra.
- após a morte de Copérnico, nasce Tycho Brahe, cujas observações e anotações precisas do movimento planetário levaram Johannes Kepler a deduzir as órbitas elípticas e nesse mesmo período Galileu observa as fases de Vênus com sua luneta e comprova a teoria heliocêntrica.

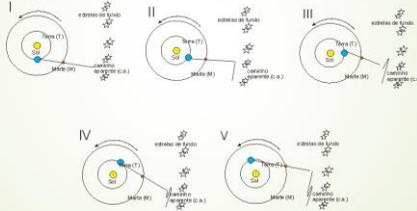
20

Nicolau Copérnico (1473- 1543)

- astrônomo e matemático polonês que aperfeiçoou a teoria heliocêntrica, no final da Idade Média.
- Estudou direito, medicina, astronomia e matemática, e tinha grande apreço por suas próprias ferramentas de observação, inclusive feitas por ele próprio
- Suas ideias foram publicadas em um livro chamado *De Revolutionibus* cuja tradução seria "as revoluções", publicação essa ocorrida em 1540. Copérnico só viu sua obra em 1543, já no leito de morte.
- Para ele, a Terra é apenas um dos seis planetas conhecidos na época, ou seja, Mercúrio, Vênus, Terra, Marte, Júpiter e Saturno.
- Defendeu que a Terra realizava uma revolução em torno do Sol como qualquer outro planeta, baseando-se nas ideias de Pitágoras e Aristarco de Samos.

21

- Com observações ele calculou razões de distâncias entre os planetas e o Sol, obtendo com isso, uma das primeiras medições de distância entre a Terra e o Sol.
- No sistema heliocêntrico, o movimento retrógrado observado nos planetas, quando os olhamos daqui da Terra, pode ser facilmente explicado.



22

Tycho Brahe (1546-1601)

- Nasceu 3 anos após a morte de Nicolau Copérnico.
- Nasceu em 14 de dezembro de 1546, filho de uma família nobre da Dinamarca.
- Estudou direito e filosofia aos 13 anos de idade na Universidade de Copenhague
- Ficou fascinado com a previsão de ocorrer um eclipse parcial do Sol, e que aconteceu com exatidão em relação a previsão.
- Aos 16 anos, quando foi enviado a Alemanha para continuar seus estudos
- Mas passava horas e horas observando o céu com instrumentos de astronomia.

23

- Analisando as tabelas astronômicas da época ele achou o erro muito grande.
- Ele decidiu observar e anotar os dados com maior precisão para melhorar o sistema de previsão de fenômenos que existia na época.
- Ganhou uma ilha com súditos para montar seu observatório, dada pelo rei Frederick II, da Dinamarca
- Em 1600, Brahe contratou um jovem auxiliar, chamado de Johannes Kepler e em 1601 Tycho Brahe faleceu, deixando todos seus manuscritos para Kepler.

24

Galileu Galilei (1564-1642)

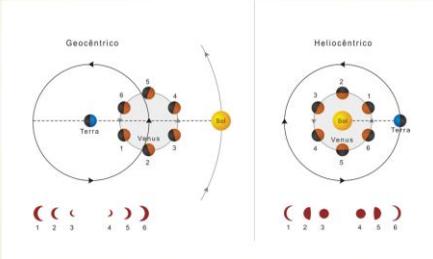
- Galileu nasceu em 15 de fevereiro de 1554, na Itália.
- Foi um físico, matemático, astrônomo e filósofo.
- Foi quem primeiro percebeu a lei da queda dos corpos, no qual todos os corpos caem com aceleração constante (desprezando a resistência do ar)
- Desenvolveu os primeiros estudos referente ao movimento uniformemente variado e ao estudo do movimento de pêndulos.
- Enunciou o princípio da inércia e o conceito de referencial inercial, ideias mais tarde utilizadas e melhor explicadas por Newton

25

- Em 1609, ficou sabendo de um instrumento que possibilitava ver a distância utilizando lentes com isso resolveu construir o seu.
- Seu primeiro telescópio tinha ampliação de 3 vezes porém seus últimos passavam de 30 vezes de ampliação.
- foi a primeira pessoa que se tem registro, a apontar um telescópio para o céu, em 1609, construído por si mesmo após ouvir falar de um.
- Ele descobriu que a Via Láctea era constituída por incontáveis estrelas.
- Descobriu que Júpiter tinha quatro satélites, ou luas, orbitando em torno dele, com períodos entre 2 e 17 dias. Esses satélites são chamados "galileanos", e são: Io, Europa, Ganimedes e Calisto. Hoje, sabe-se que existem mais de 60.
- Descobriu que Vênus passa por um ciclo de fases, assim como a Lua.

26

- As descobertas das fases de Vênus deram fim a ideia geocêntrica, pois se assim fosse, ele nunca deveria ter sua face iluminada totalmente voltada à nós (fase cheia). Assim, ele concluiu que Vênus viaja ao redor do Sol e não em torno da Terra.

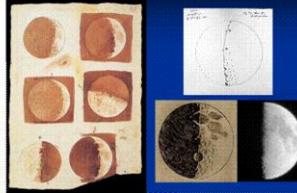


Fonte: <http://astro.ifl.ufrgs.br/movplan2/movplan2.htm>

27

- Galleu também percebeu que a Lua não era uma esfera lisa, mas sim cheia de crateras.
- Suas descobertas e publicações lhe causaram problemas, ele foi chamado a depor ante a Inquisição Romana, sob acusação de heresia, e obrigado a se retratar.
- Ele se retrata aos 70 anos de idade e com isso escapa da morte e é sentenciado a prisão domiciliar, na qual fica até o fim de sua vida, em 1642.
- Apenas em 1992 a Igreja Católica aceitou as ideias de Galleu, pedindo desculpas publicamente.

Observações da Lua (1609-1610)



Fonte: http://www.ifl.ufrgs.br/mpel/me1008/aulas_11/Galleu_observacoes_tel_v3_arqui_voz/?page=008.gif

28

Johannes Kepler 1571- 1630

- Johannes Kepler nasceu em 27 de dezembro de 1571, no sul da Alemanha.
- Em 1597 Kepler publica seu primeiro livro, "Mistérios do Universo", no qual ele defende a ideia do heliocentrismo copernicano.
- Em 1600 ele começa a trabalhar como assistente de Tycho Brahe.
- Com os dados observacionais de Tycho Brahe, ele consegue descobrir que as orbitas dos planetas não são circunferências mas sim elipses ao redor do Sol.
- Ideias essas que seriam posteriormente publicadas no livro "Astronomia Nova" em 1609.
- Mais tarde estudaremos as leis de Kepler.

29

Isaac Newton (1643 – 1727)

- Nasceu em Woolsthorpe, Inglaterra, em 4 de janeiro de 1643;
- Um dos mais importantes físicos da história.
- Estudou óptica, forças, leis dos movimentos e desenvolve o cálculo integral e diferencial muitos anos antes de Leibniz (Gottfried Leibniz, 1646 – 1716).
- Aperfeiçoou o telescópio de Galileu, utilizando um espelho esférico invés de uma lente (conhecido hoje como telescópio Newtoniano, que iremos fazer posteriormente).
- Desenvolveu a teoria da gravitação universal, que iremos ver logo a frente.

30

Distâncias astronômicas

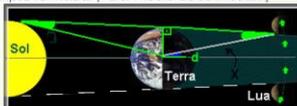
- UA= Unidade Astronômica = distância Terra – Sol – 149,6 milhões de quilômetros.
- As distâncias astronômicas não são medidas da mesma maneira que medimos o tamanho de um lápis, o comprimento de uma casa, etc
- Devido elas terem valores muito grandes, precisamos de outras técnicas para obter distâncias.
- Como por exemplo, utilizando radares, ângulo de paralaxe, ou utilizando cefeidas.

Distância de alcance	Método
1 UA	radar
500 pc	paralaxe heliocêntrica
10 000 pc	paralaxe espectroscópica
4 Mpc	estrelas variáveis

31

Hiparco e a distância Terra-lua

- No século II AEC (Anterior a Era Comum), Hiparco (Hipparchus 190-120 AEC), usando trigonometria, estimou essa distância com um erro de aproximadamente 7%.
- A ideia utilizada por ele foi a seguinte: Em um eclipse Lunar, ele imaginou 2 triângulos retângulos, um entre o sol e a Terra e o outro entre a Lua e a Terra.
- Com isso ele estabeleceu uma relação entre os ângulos e a velocidade de translação da lua em torno da Terra e pode determinar a distância entre a Terra e a Lua como sendo algo entre 59 e 67 vezes o raio terrestre. Hoje o valor mais preciso fica entre 57 e 64 vezes, dependendo da posição relativa da elipse formada. (valor médio de 384.400 km)

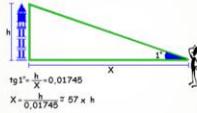


Fonte:
<http://www.zerita.ru/hipar-co-a-distancia-da-lua/>

32

Diâmetro da Lua

- Pode-se usar ideia parecida para calcular o valor do diâmetro da Lua. Sabe-se que qualquer objeto visto sob ângulo de 1 grau significa que ele está afastado cerca de 57 vezes o seu tamanho.



Fonte: <http://www.zenite.nu/aristarco-de-samos-e-a-distancia-terra-sol/>

- Então se observarmos a Lua cheia sob o ângulo de cerca de 31 minutos de arco (cerca de meio grau), significa que ela está afastada 114,59 vezes o seu tamanho.
- Então conhecendo a distância entre a Terra e a Lua, é possível calcular seu diâmetro, volume, área superficial, etc.

33

Aristarco de Samos e a distância Terra-Sol

- A distância entre o Sol e a Terra foi calculada pela primeira vez por Aristarco de Samos. Ele utilizou-se da trigonometria para tal feito.



Fonte: Costa, J. R. V. Aristarco de Samos e a distância Terra-Sol. *Astronomia no Zenite*, jul 2000. Disponível em: <http://www.zenite.nu/aristarco-de-samos-e-a-distancia-terra-sol/>

- Ele sabia que quando a Lua exibia um quarto iluminada (crescente ou minguante) havia a possibilidade de desenhar um triângulo retângulo.
- Já sendo conhecida a distância Terra-Lua (B), ele pode determinar a distância Terra-Sol (C).
- Hoje, o valor aceito para essa distância é de aproximadamente 149.600.000 km, distância essa, conhecida como uma UNIDADE ASTRONÔMICA (ua)

34

Método da Paralaxe

- Paralaxe, do grego paralaxis, que significa mudança.
- A paralaxe permite calcular distâncias através do deslocamento aparente do objeto em relação ao fundo.
- podemos perceber a paralaxe com um experimento bem simples. Com o dedo indicador da mão em pé, e com o braço totalmente esticado, alterne a visão com seus olhos. Repare como ele muda de posição em relação ao fundo, dependendo do olho utilizado.



Fonte: <http://cnc.org.br/wp-content/uploads/2014/02/paralaxe.jpg>

35

- Na astronomia, essa distância entre os olhos, é substituída pela distância entre dois pontos diferentes, ou pela distância entre posições do planeta em diferentes épocas do ano, ao longo da órbita terrestre.

<http://mensagemesideral.blogspot.com.br/files/2014/10/pleiades-paralaxe.jpg>

36

- A primeira medida de uma paralaxe estelar foi feita por Friedrich Wilhelm Bessel (1784-1846) em 1838.
- A estrela analisada foi a binária 61 Cygni, estimando $p=0,31 \pm 0,1''$, que corresponde a uma distância de 600 mil UA = 10,4 anos-luz.
- A distância em ua para qualquer objeto com paralaxe helicêntrica é dada por:

$$d(ua) = \frac{1}{p(rad)}$$

d = distância até o objeto em Unidades Astronômicas
 p = ângulo de paralaxe helicêntrica

Quando a paralaxe helicêntrica for igual a 1 segundo de arco, temos a distância de exatamente 1 parsec (paralaxe second); 1 parsec (pc) vale 206265 UA ou 3,26 anos-luz. (lembrando que 1 ano luz = $9,461 \cdot 10^{15}$ m = 63240 UA)

Fonte: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/6/62/Paralaxe.gif/220px-Paralaxe.gif>

37

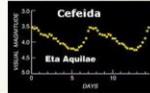
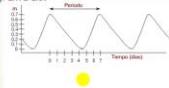
Aula prática sobre paralaxe

Atividade experimental - Apêndice H.

38

Cefeidas

- Outra maneira de medir distância entre nós e estrelas distantes é com a utilização de cefeidas
- Em 1784 uma estrela na constelação de Cepheus foi observada em várias noites por John Goodricke, que notou que a estrela tornava-se brilhante e depois diminuía seu brilho. As flutuações no brilho repetiam-se novamente a cada cinco dias. Essa foi a primeira estrela cefeida descoberta.
- Hoje, é utilizado um diagrama período-luminosidade e ele permite aos astrônomos medir a luminosidade de uma cefeida simplesmente através da medida do período das flutuações do brilho.
- Esse diagrama foi descoberto por Henrietta Leavitt em 1908, analisando placas fotográficas.



Fonte: <http://www.if.usf.br/ifs02001/aulas/pulsate.gif>

Fonte: http://m.ggpht.com/_3hOY8WGBE7QR6x0YX_I/AAAAAABe0KZ_N0TqR0/1800/cefeida-eta-aquilae.jpg

39

- A técnica para determinar a distância de uma cefeida requer os três passos descritos a seguir:
- Medir o período das flutuações e deduzir a luminosidade da cefeida.
- Usar uma estrela-padrão para calibrar a imagem e determinar o brilho aparente da cefeida.
- Usar a equação do brilho aparente para calcular a distância da estrela, ou seja:

$$\text{brilho aparente} = \text{luminosidade} / 4 \pi d^2$$



Fonte: <http://odl.u.br/observatorio/vol12/n4/imagens/noticia1.png>

40

Porque uma cefeida pulsa

- Em 1917 Sir Arthur Stanley Eddington (1882-1944) desenvolveu a teoria de oscilações radiais.
- Ele propôs que a mudança de transparência na atmosfera causa as pulsações: a atmosfera opaca retém o calor e causa a expansão, que por sua vez causa a redução da opacidade permitindo que a luz escape, esfriando a atmosfera e causando o colapso.
- Em 1960 o astrônomo americano John Paul Cox (1926-1984) descobriu que a ionização parcial do hélio era a fonte de opacidade
- Assim podemos dizer que a Cefeida quando está com o raio menor, tem sua temperatura maior, aumentando a pressão.
- O aumento de pressão aumenta o raio, o raio aumentando diminui a temperatura, e a pressão diminui novamente e a estrela se contrai, aumentando a temperatura e recomecendo o ciclo.

41

- A relação período-luminosidade mostra que quanto maior o período mais brilhante é a estrela, mesmo que da Terra ela pareça fraca.
- Isso quer dizer que conhecendo o período da estrela, sabemos o seu brilho real e comparando com o brilho aparente visto da Terra descobrimos a que distância está a estrela.

T → Período;

m → Magnitude aparente;

M → Magnitude Real;

D → Distância da Terra

$$M = -2,76 \log(T) - 1,4$$

$$m = M / D^2$$

Portanto:

$$m \cdot D^2 = -2,76 \log(T) - 1,4$$

$$D = \sqrt{\frac{-2,76 \log(T) - 1,4}{m}}$$

42

- Na década de 1920 o astrônomo Edwin Hubble fez uma importante descoberta.
- Através de imagens adquiridas com um telescópio de 2,5 metros na Califórnia (E.U.A.), ele descobriu estrelas cefeidas numa nebulosa localizada na constelação de Andrômeda.
- Calculando a distância dessas estrelas, ele percebeu que a nebulosa estava muito além das fronteiras da nossa galáxia, e essa nebulosa era na realidade, uma outra galáxia.
- Hoje ela é conhecida simplesmente como galáxia de Andrômeda.

43

Efeito Doppler

- Para compreendermos o efeito Doppler da Luz, vamos lembrar o que é o efeito Doppler.
- Em 1842, Johann Christian Andreas Doppler descreveu o fenômeno.
- Nesse efeito, ocorre a percepção de uma frequência diferente da frequência emitida pela fonte.
- Isso ocorre por haver uma velocidade relativa diferente de zero entre eles.
- Dessa forma, ou a fonte, ou o observador, ou ambos devem estar em um movimento.

44

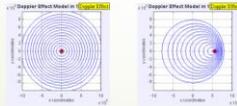


<http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/o-efeito-doppler.htm>

- No efeito Doppler do som, percebemos um som mais grave quando há afastamento entre nós e a ambulância e um som mais agudo quando há aproximação entre nós e a ambulância.
- Para o som, a frequência percebida, devido ao efeito Doppler é calculada por:

$$f' = f \frac{v \pm v_0}{v \mp v_f}$$

- Onde os sinais de cima são usados quando existe aproximação entre a fonte e o observador, e os sinais inferiores quando há afastamento.



Fonte: Fukuhwa Hwang disponível em: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/6/e/63/Dopplereffectstationary.gif/220px-Dopplereffectstationary.gif>
 Fonte 2: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c9/Dopplereffectsourcemovingright-atmach.7.gif>

45

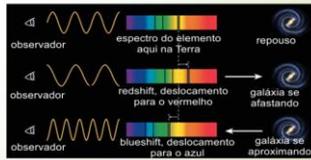
- Como a velocidade da luz é extremamente alta (cerca de 300 000 km/s), o efeito Doppler só é perceptível se o corpo se mover a uma velocidade relativamente grande.
- Dessa forma, ao analisarmos o espectro de uma fonte luminosa, se houver uma velocidade relativa de afastamento entre elas, o espectro estará deslocado para o vermelho, já se houver aproximação entre elas, o espectro estará deslocado para o azul.
- Se a frequência percebida (f_p) for MAIOR que a frequência real (f_r), podemos concluir que há aproximação entre os corpos. Se a frequência percebida for MENOR, significa que há afastamento entre eles. Como o comprimento de onda é inversamente proporcional à frequência, temos:

$$f_p > f_r = \text{Aproximação}$$

$$f_p < f_r = \text{Afastamento}$$

$$\lambda_p < \lambda_r = \text{Afastamento}$$

$$\lambda_p > \lambda_r = \text{Aproximação}$$



<http://study.zumt.com/upload/00/133/00-11-03/92C9D9D492B3CA/F38F92C9A780F00009.png>, adaptado pelo autor.

46

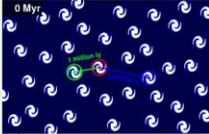
Hubble e a expansão do universo

- Edwin Hubble teve a brilhante ideia de analisar o espectro da luz de estrelas distantes, inclusive de outras galáxias.
- Ele encontrou as raízes deslocadas em relação ao mesmo elemento químico aqui da terra.
- Com isso, pode-se perceber que a galáxia de Andrômeda está se aproximando de nós. A essa aproximação relativa damos o nome de BLUESHIFT.
- Porém ao analisar a luz de outras galáxias, percebe-se que o deslocamento é para o vermelho (REDSHIFT).
- Dessa forma, os dados obtidos foram fundamentais para entender que o universo está em expansão.
- Esse é um dos alicerces principais que sustenta a teoria do Big Bang.

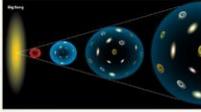
47

- O redshift pode ser utilizado para determinar a velocidade e a distância que se encontra determinado corpo. Utilizado por exemplo, em quasares, indica (para os conhecidos) que eles se encontram de 600 milhões a alguns bilhões de anos-luz. Alguns quasares emitem energia maior do que toda a Via-Láctea junta.
- O quasar mais brilhante no céu é 3C 273, e está a cerca de 3 bilhões de anos-luz de nós. Sua magnitude aparente é de 12,9. Se ele fosse colocado a 10 pc (aproximadamente 32,6 anos luz), ele brilharia mais que o sol. O sol tem uma magnitude absoluta de 4,83 (e aparente de -26,74), que o tornaria quase invisível a olho nu a essa distância.

48



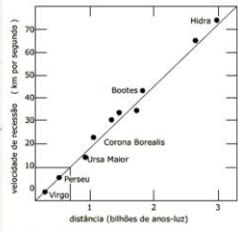
Essa animação representa a expansão do universo em 100 milhões de anos, como vista a partir de nossa galáxia. Como ela é nosso ponto de referência, convencionou-se ela permanecer parada no centro enquanto todas as demais galáxias visíveis se afastam. Não importa em qual galáxia estivéssemos, a animação seria idêntica.



Já nessa imagem, temos a representação da expansão do universo sobre si próprio, onde as distâncias entre todos os corpos aumentam proporcionalmente.

<http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/elepas/contedo/expansaouniverso.jpg>

49



$$v = H_0 d$$

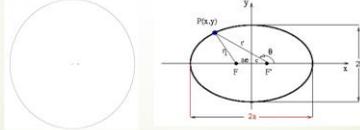
v = velocidade de recessão da galáxia; medida pelo seu redshift
 d = distância da galáxia.
 H_0 = constante de Hubble não é bem estabelecida. O valor mais preciso, é cerca de 67 km/s/Mpc. Em outras palavras, uma bolha de 1 Mpc, ou seja, 3,26 anos-luz, infla de 67 km por segundo, uma bolha de 10 Mpc infla de 670 km a cada segundo, uma bolha de 100 Mpc infla de 6700 km a cada segundo ...

a expansão do universo não é uma expansão das galáxias no espaço, mas uma expansão do próprio espaço.

50

Leis de Kepler - primeira lei.

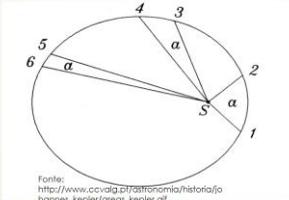
- Ao utilizar os dados de Tycho Brahe, Kepler ficou anos tentando ajustar a órbita de Marte aos dados obtidos. O problema é que ele tentava ajustar isso a uma órbita circular. Quando ele percebeu que uma órbita elíptica se adaptava perfeitamente aos dados observacionais, ele concluiu que as órbitas não eram circulares.
- 1ª lei de Kepler. Lei das órbitas elípticas. As órbitas dos planetas ao redor do Sol não são círculos, mas sim elipses. O sol ocupa um dos focos da elipse.



Fonte:
<http://astro.if.usp.br/movplan2/movplan2.htm>

51

- 2ª lei de Kepler: Lei da áreas: Uma reta que une o planeta ao Sol varre áreas iguais em tempos iguais, isso significa que a velocidade orbital não é uniforme, mas varia de forma regular, de forma que quanto mais distante o planeta está do Sol (afélio), mais devagar ele se move. Assim como quanto mais perto (periélio) mais rápido ele se move.
- A velocidade da Terra é cerca de 30,2 km/s no periélio e 29,3 km/s no afélio.



Fonte:
http://www.ccvatg.pir.gov.br/astro/historia/ho_hannes_kepler/areas_kepler.gif

52

- A 3ª Lei de Kepler é conhecida como lei dos Períodos: "O quadrado do período de qualquer planeta em torno do Sol é proporcional ao cubo da distância média entre o planeta e o Sol..." HALLIDAY, 2004.

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

- Ou seja, a razão entre essas duas grandezas resulta em uma constante k que é aproximadamente igual para todos os planetas.
- Em sistemas planetários diferentes, a razão continua válida, porém o valor da constante k é diferente.

53

Gravitação Universal de Newton



- Em 1687 Sir Isaac Newton, em sua obra "*Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*" publicou estudos sobre o movimento dos corpos, inclusive o que hoje conhecemos como gravitação universal.
- Ao estudar o movimento da Lua, Newton concluiu que a força que faz com que ela esteja constantemente em órbita é do mesmo tipo que a força que a Terra exerce sobre um corpo em suas proximidades. A partir daí criou a Lei da Gravitação.
- Em suas palavras:

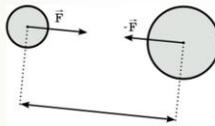
54



- "Durante esse ano [1665], comecei a estender a ideia de gravidade à órbita da Lua e fiz uma comparação entre a força que era necessária para manter esse astro na órbita e as forças de gravidade que agiam na superfície da Terra. [...] Deduzi que as forças que mantêm os planetas em suas órbitas estão na razão recíproca dos quadrados das distâncias aos centros do qual orbitam; e assim, comparei a força necessária para manter a Lua na sua órbita com a força da gravidade na superfície da Terra; e verifiquei que as duas respostas são quase iguais". Isaac Newton - 1665.

55

- A lei da Gravitação Universal afirma que:
Dois corpos atraem-se com força proporcional às suas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância que separa seus centros de gravidade

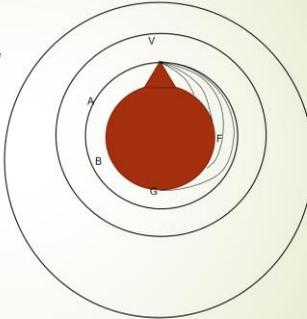


$$\vec{F}_{12} = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \hat{r}$$

$$G = 6,67428 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$$

56

- Newton também supôs que se um objeto fosse arremessado com força suficiente, ele poderia entrar em órbita terrestre, conforme raciocínio abaixo.
- Se do Alto de uma montanha, um objeto fosse arremessado com velocidade cada vez maior, chegaria um ponto que ele não cairia no solo, mas acompanharia o raio de curvatura do planeta.
- Um corpo que fica em órbita está numa situação de imponderabilidade, ou seja, quando a força gravitacional é igual a força centrípeta.



Fonte: <http://www.fisica.ufmg.br/~disocores/UAI/luo-cai.htm>

57

Aplicações:

1. Calcule a força de atração gravitacional entre duas pessoas de 50 kg e 70 kg de massa, separadas pela distância de 2,5 m.
2. O que acontece com a força de atração gravitacional entre dois corpos quando a distância entre eles é diminuída pela metade?
3. Se a Terra atrai a Lua, porque essa não cai contra nós?

58

A aceleração gravitacional de um planeta

- Conhecendo a lei de interação gravitacional, fica fácil calcular o valor da aceleração gravitacional de um planeta.
- Dois corpos interagem com uma força dada por $F = G \frac{mM}{d^2}$
- O peso desse objeto, devido a aceleração gravitacional é dado por: $P = mg$
Como o peso é uma força, podemos igualar as duas equações.

$$m \cdot g = G \frac{mM}{d^2}$$

$$\cancel{m} \cdot g = G \frac{\cancel{m}M}{d^2}$$

$$g = G \frac{M}{R^2}$$

Caso o corpo estiver a uma altura h

$$g = G \frac{M}{(R+h)^2}$$

59

- No interior do planeta, a gravidade cresce uniformemente, de acordo com a equação.

$$g_i = \frac{GM}{R^3} r$$

Fonte: o Autor

60

Aplicações

- 01- Sendo o raio da terra aproximadamente 6378 km, e a massa $5,9742 \times 10^{24}$ determine o valor da aceleração gravitacional.
- 02- Se um satélite está a 400 km acima da superfície terrestre, calcule o valor aproximado da aceleração gravitacional nesse ponto.

61

Velocidade orbital de um satélite em uma órbita circular.

Força Gravitacional = Força Centripeta

$$F_G = F_c$$

$$G \cdot \frac{M \cdot m}{(R+h)^2} = m \cdot \frac{v^2}{(R+h)}$$

$$v_{orb} = \sqrt{\frac{G \cdot M}{R+h}}$$

62

Velocidade de escape

Corresponde a velocidade mínima, sem considerar os efeitos da atmosfera, para que um objeto arremessado para cima, saia "para fora" do planeta ou corpo celeste.

Dada pela equação:

$$v = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$$

Planeta	Velocidade de escape (km/s)
Mercúrio	4,2
Vênus	10,3
Terra	11,2
Lua	2,4
Marte	5
Júpiter	61
Saturno	37
Urano	22
netuno	25

63

Sugestão de vídeo – documentário

- Sugestão: Para encerrar essa aula é recomendável assistir ao episódio 01 da Série COSMOS de Neil deGrasse Tyson.

64

Sistema Solar

Sugestão: Ver vídeo - 01 - Discovery na escola; O Sistema Solar
Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=KgE-Glw7qhM>

65

O sistema solar

- O sistema solar é composto pelo Sol, oito planetas (Mercúrio, Vênus, Terra, Marte, Júpiter, Saturno, Urano e Netuno), suas luas e anéis, asteroides, planetas anões e cometas.
- Todos esses corpos giram praticamente no mesmo plano entorno do Sol.
- Praticamente toda a massa do sistema solar fica no Sol.

Corpo/ objeto	% do total da massa
Sol	99,85%
Júpiter	0,1%
Demais planetas juntos	0,04%
Cometas	0,01 (%)
Satélites e Anéis	0,000 05%
Asteroides	0,000 000 2%
Poeira e meteoroides	0,000 000 1%

Fonte: OLIVEIRA, K e SARAIVA, M. Astronomia & Astronáutica

66

Havia uma nebulosa onde estamos?

- O sol é uma estrela, então como todas as estrelas ele teve um início;
- A hipótese mais aceita é que o Sol teve início em uma nebulosa planetária, como milhares de estrelas conhecidas;
- Essa hipótese foi sugerida primeiramente pelo filósofo alemão Immanuel Kant (1724 – 1804) em 1755;
- Em 1796 o matemático francês Pierre Simon de Laplace calculou que como todos os planetas estão no mesmo plano e praticamente todos giram no mesmo sentido (somente Vênus gira ao contrário), eles devem ter se originado na mesma nuvem de gás original.
- Essa nuvem rotacionando assumiria a forma de disco.
- A concentração de gás no centro originou o sol e em diferentes regiões do disco originou os planetas.
- Isso condiz com as observações modernas e com os cálculos físicos envolvidos;

67

- A contribuição moderna para essa hipótese veio em 1945 pelo físico alemão Karl Friedrich Freiherr Von Weizsäcker
- Segundo ele, após o colapso da nuvem ela começou a esfriar, com apenas o proto-sol tendo temperatura alta.
- Com o resfriamento, houve a condensação dos materiais que deram origem aos planetesimais, que eram agregados de material mais denso com tamanho de alguns km.
- A composição básica desses planetesimais dependeram da posição em que eles se encontravam.
- Como a temperatura na parte mais externa ficou extremamente baixa, até os gases mais voláteis condensaram.
- Assim os planetesimais com núcleos mais densos puderam crescer mais, e com isso, por terem gravidade maior, conseguiram agregar muito mais gás em sua atmosfera, atingindo tamanhos gigantesco.
- Já os planetesimais mais próximos do proto-sol tinham temperaturas mais altas, que fez com que a maioria do gás fosse perdido, provavelmente tendo sido atraído em direção ao Sol ou empurrado pelo vento solar em direção as partes externas e sendo capturado pelos planetas Jovianos (gasosos).

68

Resumindo:

- Houve um colapso de uma nuvem rotante de gás interestelar mediante uma perturbação.
- Uma vez iniciado o colapso, a força gravitacional da nuvem atuando em si mesma acelerou o processo.
- À medida que a nuvem colapsava, sua rotação aumentava por conservação de momento angular e com isso assumia uma forma discoidal.
- A concentração central de matéria que deu origem ao Sol. Os planetas se formaram a partir da matéria presente no disco.

69

Como obtemos as características dos planetas?

- **Massa:** Através da interação gravitacional do planeta com suas luas ou com planetas vizinhos.
- **Diâmetro:** Através da medida do tamanho angular, quando conhecida a distância.
- **Composição química:** Pode ser estimada a partir da densidade média do planeta
 - Densidades próximas a 1000 kg/m^3 indicam materiais congelados;
 - Densidades próximas a $3000 \sim 3500 \text{ kg/m}^3$ indicam rochas vulcânicas e meteoritos rochosos;
 - Densidades de 5000 a 6000 kg/m^3 indicam materiais ricos em ferro;
 - Densidades próximas a 8000 kg/m^3 indicam materiais ferrosos.

70

- **Rotação dos planetas:** Podem ser obtidas por visualização direta; por medição do efeito Doppler das ondas de radar enviadas a eles ou pela taxa de rotação do campo magnético do planeta.
- As ondas de radar são bastante utilizadas nos planetas Jovianos, pois o retorno delas nos fornece dados a respeito da velocidade dos ventos na atmosfera.
- O efeito Doppler aparece porque quando o planeta gira, as duas bordas tem velocidade radial com sentidos opostos (em um lado vem do plano e no outro entra no plano).
- **Temperatura:** Os planetas obtêm maior parte da sua energia a partir do Sol, assim sua temperatura depende basicamente da distância que ele se encontra do Sol. Porém alguns emitem mais energia do que recebem. A análise pode ser feita via infravermelho.

71

- Refletividade: Parte da energia solar incidente sobre o planeta é refletida e parte absorvida. A razão entre a energia refletida e a energia total chama-se ALBEDO.

$$A = \frac{\text{Energia refletida em todas as direções}}{\text{Energia solar incidente}}$$

- Um planeta que reflete toda energia recebida tem albedo 1, um que absorve toda tem albedo 0

72

Estrutura interna dos Planetas

- Saber a estrutura interna dos planetas não é tarefa simples, porém podemos estimar.
- Em planetas rochosos, a propagação de ondas sísmicas podem ser usadas. Essa técnica foi utilizada na Terra e na Lua. Com isso sabemos que há um núcleo metálico sólido no centro da Terra e que a lua não o tem.
- Sabe-se que a temperatura aumenta em função da profundidade, devido ao aumento da pressão.
- Em planetas Jovianos há a possibilidade de identificar a estrutura interna mapeando o campo gravitacional através de uma sonda que passa por sua órbita.

73

- Outra maneira, como os planetas Jovianos são gasosos, é utilizar o formalismo matemático da hidrostática/hidrodinâmica.
- Por exemplo, a pressão central no planeta pode ser obtida a partir do equilíbrio hidrostático. A equação leva em conta se o planeta não se expande nem contrai, sua densidade, seu raio e sua massa.

$$\frac{dP}{dr} = -\frac{GM_r \rho}{r^2}$$

Que após um formalismo matemático chega em:

$$P_r = 1,4 \cdot 10^{-10} \rho^2 (R^2 - r^2)$$

Onde P_r é a pressão no centro do planeta.

A espaçonave Galileo que observou Júpiter e Saturno, impôs limites para os núcleos deles como sendo entre 0 e 10 massas terrestres e 6 e 17 massas terrestres, respectivamente.

74

Superfícies dos Planetas

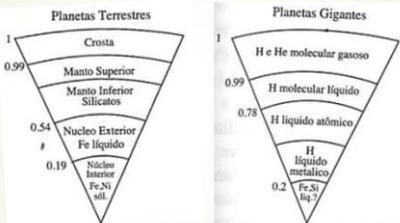
- As superfícies dos planetas podem ser deduzidas a partir do Albedo, quando esses não tem atmosfera. Assim sabemos que a superfície lunar é parecida com a superfície de Mercúrio, com regiões planas e baixas e com grande numero de crateras.
- Marte apresenta uma superfície com montanhas, vales e canais.
- A superfície de vênus não é visível devido as espessas nuvens de ácido sulfúrico que envolvem o planeta. Estudos de rádio revelam que a superfície é relativamente plana, mas com algumas montanhas e vulcões.

75

- Praticamente todos os planetas rochosos apresentam crateras, que são resultado de colisões de asteroides com o planeta ou de atividade vulcânica
- Não temos evidencias que os planetas gasosos tem crateras de impacto, porém suas luas o possuem, logo devem ter sofrido impactos. Se esse impacto ficou registrado em uma possível superfície, é outra historia.
- Com isso, sabemos que os planetas rochosos e Jovianos tem a seguinte composição:

76

- Isso nos permite então estipular a composição dos planetas como sendo:



OLIVEIRA, K.; SARAIVA, M.F. *Astronomia e Astrofísica*. 3ª edição. São Paulo: Livraria da Física, 2013. P.139

77

Atmosfera dos planetas

- Sabemos a composição da atmosfera dos planetas através da análise da absorção do espectro da luz solar refletida pelas nuvens internas.
- Com isso também podemos determinar a pressão e temperatura da atmosfera.
- Com isso, sabemos que a atmosfera dos planetas rochosos não é primitiva, mas sim originada ao longo do tempo geológico e através de impactos de cometas e asteroides.
- Já os planetas Jovianos tem sua atmosfera composta basicamente por hélio e hidrogênio que provavelmente, devido seu tamanho conseguiram retê-los desde sua formação.

78

- A atmosfera de um planeta tem uma relação direta com a temperatura e com a velocidade de escape, ou seja, com a energia cinética dos gases e com a massa do planeta.
- Cálculos estatísticos mostram que um gás só fica preso por milhões de anos em um planeta se sua velocidade média for cerca de 1/6 da velocidade de escape do planeta.

- A velocidade média das moléculas/átomos de um gás pode ser calculada por

$$v = \sqrt{\frac{3k_B T}{m}} \quad \text{onde } k \text{ é a constante de Boltzmann}$$

$$k_B = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/Kg}$$

- Como isso, sabemos que a velocidade do oxigênio é cerca de 0,5 km/s e que o hidrogênio é 2 km/s. Com isso, sabemos que o oxigênio fica preso a nossa atmosfera, mas o hidrogênio não.

79

- A maioria dos planetas que tem atmosfera, experimenta uma elevação da temperatura superficial devido ao efeito estufa.
- Um dos principais causadores do efeito estufa é o gás carbônico.
- NA TERRA - Dados mostram que ele manteve-se constante pelos últimos 200 000 anos, a uma taxa abaixo de 300 partes por milhão (ppm).
- Porém nos últimos 20 anos ele vem aumentando muito, de forma que já ultrapassa os 350 ppm.
- Está aumentando a uma taxa de 1,5 ppm ao ano.
- Com isso, há a elevação da temperatura Terrestre, que pode causar inúmeros fenômenos climáticos adversos.

80

O SOL

- Dados: Diâmetro: 1 392 684 km;
- Diâmetro de 109 vezes o diâmetro terrestre
- Caberiam mais de 1 milhão e 300 mil planetas Terra dentro do Sol.
- Temperatura de 5500 °C na superfície
- Temperatura no núcleo maior que 15 milhões de graus Celsius.
- Emana energia em todos os comprimentos de onda, porém com maior quantidade na faixa da luz visível.

81

Planetas

- Relembrando que para um corpo ser um planeta do Sistema Solar, ele deve ter as seguintes características:
- Não ser um satélite
- Orbitar o Sol
- Ter massa suficiente para assumir um formato esférico
- Ter limpado sua órbita.

82

- Os Planetas são classificados em:
 - Planetas Rochosos: também são chamados de Telúricos, e são aqueles que tem superfície rochosa e sólida. Correspondem aos primeiros quatro planetas do S.S. (Sistema Solar), ou seja, Mercúrio, Vênus, Terra e Marte.
 - Planetas gasosos: Também chamados de Jovianos: São planetas que provavelmente não possuem superfície sólida e rochosa, são gigantes, comparados aos rochosos por possuírem uma grande camada de gás em seu entorno. Possuem grande massa e baixa densidade, sendo compostos por principalmente hidrogênio e hélio.
- Os gases em torno dos planetas gasosos provavelmente são resquícios do gás da nuvem primordial, que deu origem ao S.S.

83

Inclinação dos Planetas

- Os planetas possuem uma inclinação em seu eixo de rotação. Essa inclinação é medida a partir de um plano imaginário onde se encontram os planetas.
- A maior inclinação é do planeta Vênus que corresponde a 177°, ou seja, gira em direção oposta aos outros planetas.
- Essa inclinação deve-se provavelmente a colisões que ocorreram no início da formação desses planetas.

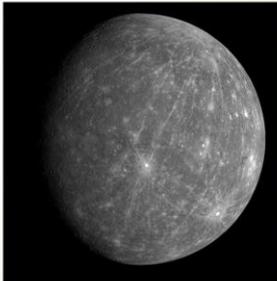


Inclinação do eixo de rotação

Fonte: <http://astro.if.usg.br/planetas/obliquity.jpg>

84

Mercúrio



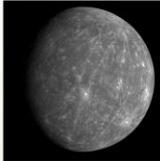
http://www.nasa.gov/sites/default/files/mercury_1.jpg

85

- É o planeta mais próximo do Sol. Ele demora cerca de 87,969 dias para completar uma volta e localiza a distância média de 57 910 000 km do Sol (varia de 46 a 70 milhões de quilômetros – excentricidade de 0,21 (Terra=0,0167)).
- Ele gira com inclinação de 0,1° e muito devagar. Seu "dia" dura aproximadamente 58 dias, 15 horas e 30 minutos.
- Sua massa é de $3,285 \cdot 10^{23}$ kg, ou seja, 0,055 M_E ; Seu raio é de 2 440 km (diâmetro de 4.879,4 km), então com isso, sua aceleração gravitacional é de 2,78 m/s².
- Ele foi visitado por duas missões. A primeira, com a sonda Mariner 10 em 1974, que mapeou 45% da superfície do planeta e descobriu que ele tem um campo magnético (1,1% comparado ao da Terra).
- E a sonda Messenger que mapeou 30% da superfície em 2008 e o restante em 2008, após ela passar a orbitá-lo.

86

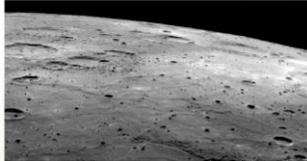
- Os dados obtidos revelam que sua temperatura superficial varia de -173 °C a 427 °C.
- Sua superfície é cheia de crateras, semelhante a superfície lunar.
- Sua composição atmosférica é tênue e composta por basicamente Hélio (42%), Sódio (42%) e Oxigênio (15%). Por sua atmosfera ser muito escassa, ele não apresenta efeito estufa, indicando o motivo da grande variação de sua temperatura.
- Em 2011 a sonda Messenger enviou dados sobre vulcanismo em mercúrio, que indicam a existência de um núcleo líquido.



http://www.nasa.gov/sites/default/files/mercury_1.jpg

87

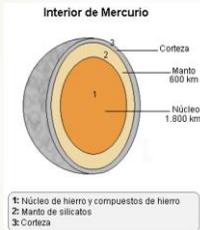
- É possível a observação a olho nu no máximo duas horas antes do nascer do Sol, ou duas horas depois do Sol se por, dependendo da época do ano. Isso ocorre devido ao seu afastamento angular (visto da Terra) não ultrapassa 28 graus do Sol.
- Mercúrio já era conhecido antes do Século IV a.C. Porém acreditava-se que fossem dois objetos distintos. O que aparecia logo após o sol se por recebeu o nome de Hermes e o que aparecia antes do nascer do Sol, de Apolo.
- O nome mercúrio vem do nome para o romano Mercúrio, que equivale ao deus Hermes da mitologia grega.



https://solarsystem.nasa.gov/images/slideshow/mercury_craters.jpg

88

- Análises gravitacionais indicam que mercúrio tem um núcleo metálico (ferro e níquel) que ocupa cerca 65% da massa do planeta.



<http://html.incondelivago.com/000683960.png>

- 3. Crosta—100–300 km de espessura
- 2. Manto—600 km de espessura
- 1. Núcleo—1 800 km de raio.

89

Vênus

Rotação: 243 dias
 Translação: 224 dias
 Diâmetro: 12 102 km
 Temperatura Máxima: 487 °C
 Luas: nenhuma
 Distância do sol: 108,2 milhões de km.
 Inclinação: 177° (ele tem rotação em sentido oposto aos outros planetas).
 Diâmetro praticamente igual ao da Terra:
 Vênus=12 104 km e Terra=12 742 km.

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/92/Venus_Earth_size_comparison.jpg

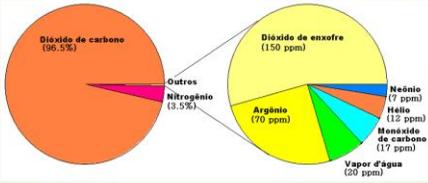


Comparação de tamanho em escala. Vênus e Terra.

90

Atmosfera de Vênus:

A atmosfera de Vênus é basicamente dióxido de carbono (96,5%) e uma pequena parte de nitrogênio (3,4999%).
 A pressão atmosférica é 92 vezes mais forte que a da superfície da Terra (equivalente a cerca de 1 km de profundidade no mar)



Componente	Porcentagem / Concentração
Dióxido de carbono	96,5%
Nitrogênio	3,5%
Outros	0,0001%

Componente	Concentração (ppm)
Dióxido de enxofre	150
Argônio	70
Neônio	7
Hélio	12
Monóxido de carbono	17
Vapor d'água	200

https://pt.wikipedia.org/wiki/Atmosfera_de_V%C3%AAnus#/media/File:Atmosfera de Vênus pt.png

91

- É o objeto celeste mais brilhante depois do Sol e a Lua, pode atingir magnitude aparente de -4,6
- É possível de ser visto a olho nu, no máximo quatro horas antes do Sol nascer ou quatro horas depois do Sol de por, dependendo de sua posição em relação ao Sol e a Terra.
- Foto ao lado, Lua e Vênus, tirada em 10/07/2013. Lua com magnitude de -7,5 e Vênus -3,4



Fonte: o autor.

92

- Atmosfera muito densa e corrosiva. Há formação de ácidos, como o HCl e o H_2SO_4 .
- As nuvens densas refêem o calor, criando um efeito estufa, fazendo com que o planeta seja o mais quente do Sistema Solar. Sua temperatura média é de 487°C (760 K).
- Devido a presença de ácido sulfúrico na atmosfera, missões tripuladas para lá estão fora de questão. A não ser que haja uma tecnologia capaz de manter os astronautas "flutuando" a 55 km do solo, onde a temperatura é cerca de 27°C e pressão $0,5\text{ atm}$.
- Várias sondas foram enviadas para Vênus, que falaremos mais tarde, mas elas "sobrevivem" pouco tempo nas condições a que são submetidas.

93

- Acredita-se que Vênus teve um início tranquilo, parecido com a Terra atualmente. Porém o efeito estufa o transformou no forno que é hoje.
- Vênus também é conhecido como estrela Dalva, pela população.
- Devido ao seu alto brilho, há relatos de pessoas que acreditam terem visto uma "nave alienígena", e o descrevem como um Ovni.

94

Possui fases, visto da Terra



VENUS 2002
Photographed at the TROIS Observatoire
by Orest Proctor

Fonte: Chris Proctor: [dipon.nl/eng/wpengine.net/dna.tsl.com/wp-content/uploads/venus-phases1.jpg](http://www.dipon.nl/eng/wpengine.net/dna.tsl.com/wp-content/uploads/venus-phases1.jpg)

95

Terra

Nossa casa –
Nosso lar



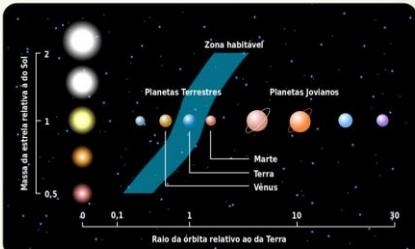
<https://pedagogiadaju.files.wordpress.com/2012/04/planeta-terra.jpg>

96

- O planeta Terra dispensa apresentações, mas alguns dados são:
- Distância do Sol: 149 598 261 km (1 UA)
- Excentricidade: 0,01671123
- Inclinação: 23°26'
- Massa: $5,9736 \times 10^{24}$ kg
- Diâmetro equatorial: 12 756,2 km
- Densidade média: 5,515 g/cm³
- Velocidade de escape: 11,186 km/s
- Composição atmosférica:
- Nitrogênio: 78,08%
- Oxigênio: 20,95%
- Argônio: 0,93%
- Dióxido de carbono: 0,038%
- Vapor de água (variável com o clima) ~1%

97

• Até hoje o planeta Terra é o único conhecido a abrigar vida. Ela está em uma região conhecida como "zona habitável". A temperatura média é cerca de 20°C, com extremos de -89,2 °C (estação vostok, Antártida) a 70 °C (deserto Dash-e-Luf, no Irã).



https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/d/d4/Zona_habitavelpt.svg/400px:Zona_habitavel-pt.svg.png

98

- O distância de uma estrela em que se encontra a zona habitável e dada pela equação:

$$R = \sqrt{\frac{0,5L}{4\pi\sigma T^4}}$$

R=distância da estrela (metros)
 L=luminosidade da estrela (Watts)
 σ =constante de Stefan-Boltzmann
 ($5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$)
 T= temperatura (K)

- Os cálculos para o Sol indicam que a zona habitável se encontra entre 120 a 220 milhões de km. Estamos a aproximadamente 150 milhões de km.

99

Lua

http://www.ccvaiq.pt/astroomia/sistema_solar/lua/lua_cheia_lick.jpg



- É o único satélite natural da Terra.
- É o 5º maior do sistema solar.
- Possui cerca de 1/4 do tamanho da Terra
- Está a uma distância média de 384 400 km da Terra, variando de 363 104 km à 405 696 km, no perigeu e no apogeu, respectivamente.
- Sua origem mais aceita é que houve uma colisão de planetesimais de grandes proporções, equivalente ao tamanho de uma quase Terra com algo do tamanho de Marte (chamada de Theia). Os detritos aglomerados originaram a lua. Essa ideia é conhecida como hipótese do grande impacto.

100



Theia
 colidindo
 com a
 proto-Terra,
 a 5 bilhões
 de anos.

http://sistema.templedeapolo.net/imagens/imagens/theia_giant_impact_hypothesis.png

101

- Ao todo, foram 6 missões que levaram pessoas a pisarem na Lua, totalizando 12 pessoas, sendo o primeiro deles Neil Armstrong da missão Apollo 11. Foram recolhidos mais de 380 kg de rochas lunares para estudos.
- Apollo 11
- Data de lançamento: 16 de Julho 1969
- Pousou na lua: 20 de Julho 1969
- Neil A. Armstrong, Comandante
Michael Collins, Piloto do módulo de comando
Edwin E. Aldrin, Jr., Piloto do módulo Lunar
- Apollo 12
- Data de lançamento: 14 de Novembro 1969
- Pousou na Lua: 19 de Novembro 1969
- Charles Conrad, Jr., Comandante
Richard F. Gordon, Piloto do módulo de comando
Alan L. Bean, Piloto do módulo Lunar

102

- Apollo 14
- Data de Lançamento: 31 de Janeiro, 1971
- Pousou na Lua: 5 de Fevereiro
- Alan B. Shepard, Jr. Comandante
- Stuart A. Roosa, Piloto do módulo de comando
- Edgar D. Mitchell, Piloto do módulo Lunar

Apollo 15

- Data de lançamento: 26 de Julho, 1971.
- Pousou na Lua: 30 de Julho
- David R. Scott, Comandante
- Alfred M. Worden, Piloto do módulo de comando
- James B. Irwin, Piloto do módulo Lunar

103

- Apollo 16
- Data de lançamento: 16 de Abril, 1972
- Pousou na Lua: 21 de Abril, 1972
- John W. Young, Comandante
- Thomas K. Mattingly, Piloto do módulo de Comando
- Charles M. Duke, Jr. Piloto do módulo Lunar

- Apollo 17
- Data de lançamento: 7 de Dezembro 1972
- Pousou na Lua: 11 Dezembro
- Eugene A. Cernan, Comandante
- Ronald E. Evans, Piloto do módulo de comando
- Harrison H. Schmitt, Piloto do módulo lunar

104

Marte

- Conhecido como planeta vermelho
- Menor que a Terra.



http://duppl-multisite-s3-us-west-2.amazonaws.com/files/mars_earth_comparison.png

105

- Marte viaja a um valor médio de 24 km/s em sua órbita ao redor do Sol e para completar uma volta demora aproximadamente 687 dias.
- 1 dia marciano dura de 24 horas e 39 minutos, aproximadamente
- Marte se encontra a cerca de 230 milhões de quilômetros do Sol, ou aproximadamente 1,5 UA, com isso ainda permanece na zona habitável do Sol.
- É um possível ponto de colonização humana em um futuro não tão distante.
- Diversas sondas e robôs já foram enviados para aquisição de dados científicos.

106

Atmosfera

- Dióxido de Carbono (CO₂): 95.32%
- Nitrogênio (N₂): 2.7%
- Argônio (Ar): 1.6%
- Oxigênio (O₂): 0.13%
- Água (H₂O): 0.03%
- Neônio (Ne): 0.00025 %
- Temperaturas oscilam entre -140 °C a 20 °C, tendo uma média de -63 °C.
- Sua pressão atmosférica é de apenas 600 Pa. A Terra é 100 000 Pa.

107

Água em marte

Há água em grande quantidade nas calotas polares. Elas são formadas por gelo de água e gelo de gás carbônico (gelo seco) e sais.

1: Marte em um passado distante, representado em uma concepção artística

2: Calotas polares em Marte

Fonte: 1: https://iastrop.org/blog/wp-content/uploads/2011/09/Mars_Ocean.jpg
2: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/7/74/Mars_Hubble.jpg/440px-Mars_Hubble.jpg

108

- A maior montanha conhecida - Monte Olimpo - 25 km acima do valor médio da superfície marciana, ele recebe o título de maior vulcão já conhecido.

Le rapport de la hauteur sur la longueur est de un sur dix

Olympus Mons

Everest

Île de Hawaii

Base de Hawaii : 251 km

Base d'Olympus Mons : 600 km

Fonte: <http://solarsystem.nasa.gov/images/galleries/OlyMons.jpg>

109

Júpiter

- Um dos mais belos planetas de se observar ao telescópio
- É o maior planeta do Sistema Solar
- É o quinto planeta a partir do Sol
- Seu diâmetro é 11 vezes o diâmetro da Terra
- É composto principalmente por gases, tanto que recebe a denominação de planeta gasosos.
- Emite mais energia para o espaço do que recebe do Sol
- Possui várias faixas ao ser observado da Terra
- Sua massa é maior que somando todos os outros planetas juntos.

Fonte da imagem: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/2b/Jupiter_and_Its_shrunken_Great_Red_Spot.jpg

110

- Possui mais de 60 Luas, mas as mais conhecidas são 4, que são chamados de satélites galileanos.
- Em ordem de distância do planeta são eles:
- Io, com diâmetro de 3643 km, cujo semieixo maior é 421 800 km (um pouco mais distante que nossa lua se encontra da Terra).
- Europa, com diâmetro de 3 122 km tem semieixo maior de 671 000 km.
- Ganimedes, com diâmetro de 5 262 km, distancia-se de Júpiter pouco mais de 1 milhão de quilômetros.
- Por último, Calisto, de 4821 km de diâmetro estando a distância máxima de pouco menos de 1 900 000 km.

Aurora em Júpiter



<https://www.nasa.gov/files/default/files/thumbnails/image/hs2016-24-a-print-new.jpg>

111

- Júpiter e Io, fotografada pela Sonda Cassini - NASA



112

Saturno

- Impressionante ao ser observado por um telescópio.
- 6º planeta a partir do Sol;
- órbita com excentricidade 0,056;
- estando em média a 9,5 UA do Sol
- se deslocando a velocidade média de 9,7 km/s
- período de rotação de aproximadamente 10,3 horas.
- Seu diâmetro é de 120 356 km, ou seja, cerca de 9,5 vezes o diâmetro terrestre.
- Massa de $5,6846 \cdot 10^{26}$ kg e aceleração gravitacional média de $10,5 \text{ m/s}^2$, na linha equatorial.

113

- Possui um conjunto de anéis, com origem ainda em mistério, mas uma hipótese é que surgiram devido uma possível Lua que se esfacelou devido forças gravitacionais ou uma imensa colisão.
- Primeira visualização foi por Galileu, que desenhou dessa forma em 1610, acreditando que fossem 3 corpos interagindo.



- Com mais visualizações e melhores lunetas, ele modificou para alças ao redor do planeta, em 1616.



<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b4/Galileosaturnus.jpg>

114

- Christian Huygens, 50 anos depois, disse que se tratavam de anéis, devido a utilização de melhores telescópios.
- Hoje temos essas imagens:



Cassini - NASA

Alan Friedman

115

- através de espectroscopia da composição do planeta, revelou metano e amônia e hélio, além do predominante hidrogênio (cerca de 96%).
- Com isso, um fato interessante é que sua densidade média é a menor de todos os planetas, com um valor menor que $0,7 \text{ g/cm}^3$ ou pouco menos que 700 kg/m^3 . Isso indica que sua densidade média é menor que a da água (1000 kg/m^3).
- Sua atmosfera possui ventos com velocidades maiores que 2000 km/h .
- Sondas que já o visitaram: Pioneer 11, Voyager 1 e Voyager 2, bem como a sonda Cassini e a mais recente New Horizons.

116

Urano

- Desconhecido como sendo um planeta pela humanidade até o ano de 1781, Urano foi descoberto pelo astrônomo William Herschel através de um telescópio em sua casa.
- Inicialmente, ele o classificou como um cometa, mas posteriormente, mais astrônomos o analisaram e confirmaram que era um planeta com órbita além de Saturno.
- Sua magnitude máxima é de 5,32, sendo em condições específicas de clima e poluição luminosa, possível de ser visto a olho nu. Porém como seu movimento é muito lento no fundo estelar, ele não foi percebido facilmente.

117

- Ele já havia sido percebido antes por John Flamsteed, que o havia catalogado como uma estrela, a 34-Tauri, em 1690.
- Localiza-se a distância média de 19 UA do Sol;
- Demora cerca 84 anos terrestres para realizar uma volta completa
- Sua velocidade orbital média é de 6,8 km/s.
- Seu diâmetro é de 51118 km, ou seja, aproximadamente 4 vezes o diâmetro terrestre.
- Sua densidade média é de 1,27 g/cm³.
- A menor temperatura dos planetas do Sistema Solar foi registrada em Urano, cujo valor é de 49 K, ou seja, -224 °C, tornando-o assim o mais frio de todos os planetas.



Urano, sonda Voyager 2 - 1986



118

- Urano possui um sistema de anéis, menores e mais escuros que os de Saturno.
- Foram descritos por William Herschel porém não vistos por mais ninguém, até a data de 1977 quando observaram a ocultação de uma estrela pelo planeta.
- O sistema de anéis foi fotografado pela Voyager 2.
- Possui 27 satélites conhecidos, cujos principais são Miranda, Ariel, Umbriel, Titânia e Oberon.
- Voyager 2 se aproximou a 81 500 km de Urano estudando a estrutura, a composição química e o campo magnético.
- Uma curiosidade interessante sobre ele é que sua inclinação é de aproximadamente 98° em relação ao plano planetário, isso faz ele parecer girar sobre sua "linha do equador", quando comparado à Terra.

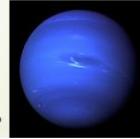
119

Netuno

- Ao analisar a órbita de Urano, percebeu-se que existia uma pequena influência gravitacional não explicada
- Em 1846, John Couch Adams e Urbain Le Verrier, de forma independente o encontraram.
- Localizado a aproximadamente 30 UA do Sol
- Sua órbita tem excentricidade de apenas 0,01
- Tem período orbital de 165 anos.
- Sua velocidade média nessa órbita é de 5,43 km/s.
- Seu diâmetro de 49 528 km, ele é cerca de 4 vezes maior que a Terra.

120

- Embora Netuno seja menor que Urano, sua massa é maior. Sua atmosfera superior é composta por 79% de hidrogênio, e cerca de 18% de hélio e o restante é basicamente metano.
- William Herschel pediu para o astrônomo inglês William Lassell, o observar melhor, depois de sua descoberta e em 17 dias depois, foi encontrada sua principal lua, Tritão.
- Posteriormente, foram descobertas mais duas luas, Nereida em 1949, e Larissa em 1981.
- Hoje sabe-se que existem pelo menos 14 satélites naturais em órbita de Netuno.



Urano, sonda Voyager 2 – NASA, 1989

121

	Mercúrio	Vênus	Terra	Marte	Júpiter	Saturno	Urano	Netuno
Distância ao sol (UA) - ($\cdot 10^8$ km)	0,387 57,9	0,723 108,2	1 149,6	1,524 227,94	5,203 778,4	9,539 1423,6	19,18 2867	30,06 4488,4
Massa	$3,3 \cdot 10^{22}$ kg	$4,9 \cdot 10^{24}$ kg	$6,0 \cdot 10^{24}$ kg	$6,4 \cdot 10^{23}$ kg	$1,9 \cdot 10^{27}$ kg	$5,7 \cdot 10^{26}$ kg	$8,7 \cdot 10^{25}$ kg	$1,0 \cdot 10^{26}$ kg
Densidade (g/cm ³)	5,41	5,25	5,52	3,9	1,3	0,7	1,3	1,7
Gravidade superficial - g _{superf}	0,37	0,88	1	0,38	2,64	1,15	1,17	1,18
Número de satélites conhecidos	0	0	1	2	65	62	27	14
Velocidade de escape	4,3 km/s	10,4 km/s	11,2 km/s	5 km/s	60 km/s	35,4 km/s	21 km/s	24 km/s
Composição atmosférica	Traços de H, He, O, Na	96% CO ₂ 3,5% N	78% N 21% O ₂	95% CO ₂ 3% N	90% H 10% He	97% H 3% He	83% H 15% He	74% H 25% He

122

Corpos Menores do Sistema Solar

- Os corpos menores são divididos em asteroides, planetas anões, cometas, satélites...



https://midia.gruposinos.com.br/_midias/jpg/2015/10/11/asteroid-1107180.jpg



https://apod.nasa.gov/apod/image/1311/comet_mcnought_960.jpg

123

Asteroides e planetas anões.

- Asteroides são os pequenos corpos que vagueiam pelo espaço.
- A maioria dos que conhecemos se encontra em uma região entre Marte e Júpiter a 2 UA do Sol em uma região conhecida como cinturão de asteroides.
- O maior objeto conhecido no cinturão de asteroides é Ceres, com cerca de 1000 km de diâmetro.
- Ceres é um dos planetas anões;
- Há outros corpos com tamanhos relativamente grandes nesse cinturão, como Palas e Juno.
- Existe um outro "cinturão de asteroides, que fica além de netuno. Esse cinturão é chamado de cinturão de Kuiper. Ele se estende desde a órbita de Netuno ~35 UA até 150 UA do Sol. (Plutão está a 40 UA)

124

- Já catalogamos mais de 12 000 asteroides.
- Mas através de cálculos probabilísticos acredita-se que existam:
 - mais de 100 000 asteroides com tamanhos maiores que 1 km;
 - mais de 70 000 com tamanhos acima de 100 km;
- O cinturão de Kuiper foi predito através de cálculos por dois astrônomos: Kenneth Edgeworth (1880 – 1972) em 1949 e por Gerard Kuiper (1905 – 1973) em 1951.
- 1992 foi descoberto o primeiro objeto transnetuniano. Hoje já existem mais de 600 asteroides descobertos, com tamanho na faixa dos 100 a 2400 km, na qual os maiores passaram a ser considerados planetas anões.
- Nessa faixa estão Plutão, Éris, Sedna, Makemake, Haumea, Quaoar.
- Para ser um planeta, o corpo deve:
 - ter massa suficiente para que atinja o equilíbrio hidrostático;
 - Ter limpado sua órbita
 - Não ser um satélite

125

Planetas Anões

- Foi introduzido em 24 de agosto de 2006 o termo planeta anão pela IAU (União Astronômica Internacional)
- De acordo com essa resolução, um planeta anão é um corpo celeste que:
 - Esteja em órbita em redor do Sol.
 - Tenha massa suficiente para que a sua própria gravidade supere as forças de corpo rígido, de maneira que esteja em equilíbrio hidrostático e tenha uma forma quase esférica.
 - Não tenha as vizinhanças da sua órbita desimpedidas.
 - Não seja um satélite.

126

- A diferença mais básica de um planeta anão para um planeta, é que um planeta precisa ter a órbita livre, ou seja, deve ter limpado toda a área onde ele passa.
- Não existe um tamanho mínimo para que um corpo seja considerado um planeta anão, exceto o fato que ele deve ter formato esférico ou quase esférico. Dessa forma, dependendo da composição química, o tamanho varia, mas geralmente fica na faixa acima dos 800 km de diâmetro.
- A maior parte dos planetas anões estão no cinturão de Kuiper, um objeto clássico desse cinturão é conhecido também como cubewano (do inglês *classical Kuiper belt object* (CKBO)).
- Os primeiros cinco planetas anões reconhecidos foram: Ceres, Plutão, Haumea, Makemake e Éris.

127

Ceres

- Localiza-se no cinturão de asteroides, entre Marte e Júpiter. Antes era classificado como um asteroide, mas foi "promovido" a planeta anão em 2006.
- Foi descoberto em 1801, pelo italiano Giuseppe Piazzi.

Fotografia registrada em maio de 2015, pela sonda Dawn.

128

- O planeta anão possui uma tênue atmosfera formada sobretudo por vapor de água que sublima e deixa a superfície.
- Tem diâmetro de cerca de 976 km +/- 4 km e gravidade de 0,03g.
- Sua magnitude aparente varia de 6,7 à 9,3;
- Nessa região tem um asteroide relativamente grande, seu nome é Vesta, com diâmetro de 530 km



https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/99/b/Eros%2C_Vesta_and_Ceres_size_comparison.jpg

Comparação de Ceres com Vesta e Eros, à esquerda e de Marte, Mercúrio, Ceres e Vesta, em escala à direita

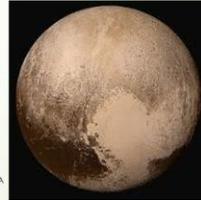


<http://e1m0s0aprendizes.com/wp-content/uploads/2012/05/Vesta-comparado-com-objetos-do-S-Solar.jpg>

129

Plutão

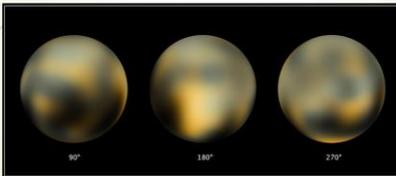
- Até 2006 era considerado um planeta.
- Tem grande excentricidade de órbita, que o faz ficar mais próximo do sol do que netuno.
- Foi descoberto em 1930 pelo astrônomo norte americano Clyde Tombaugh
- No mês de julho de 2015 a sonda New Horizons conseguiu uma aproximação máxima, que rendeu fotos com qualidades muito melhores.
- Com a sonda, foram descobertas mais duas luas em Plutão.
- Seu diâmetro foi atualizado para um valor de 2370 km



New Horizons - NASA

130

- Plutão possui uma atmosfera composta por metano, monóxido de carbono, nitrogênio e outros materiais.
- Sua temperatura é cerca de -248°C.
- Com isso, suas montanhas são feitas de rochas de gelo de nitrogênio e metano.
- Tem uma fina atmosfera de nitrogênio, metano e monóxido de carbono.



Pluto Faces
Hubble Space Telescope • ACS/HRC

Fotos feitas com o telescópio Hubble



132

Caronte – a Lua de Plutão

- Plutão tem uma lua com cerca de metade de seu tamanho.
- Caronte tem diâmetro de 1207 km +/- 3 km e dessa forma, o sistema Plutão-Caronte por vezes é considerado um binário planetário.
- Acredita-se que sua superfície é feita de gelo de água.
- Seu nome foi dado pelo descobridor (James Walter Christy em 1978) em homenagem a sua esposa (Charlene, cujo apelido era Charon);
- A distância entre Plutão e Caronte é cerca de 19,5 mil quilômetros

New Horizons - NASA

133

Éris

Michael E. Brown

- Descoberto em 2003 por Michael E. Brown, ele possui diâmetro de aproximadamente 2340 km tendo magnitude 19.
- Foi descoberto praticamente junto com outros planetas anões – Haumea e Makemake
- Está a cerca de 3 vezes mais longe do Sol do que Plutão.
- Sua temperatura é cerca de -232 °C à -248 °C. Olhando de Éris, o sol parece apenas uma pequena estrela.
- Éris possui uma Lua, Seu nome é Disnomia e foi descoberta em 2005. Supõe-se que ela seja 8 vezes menor e 60 vezes menos brilhante

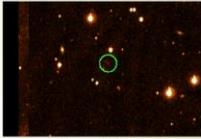
Éris, foto real (acima) e concepção artística (abaixo)

https://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Éris_and_Dysnomia_art.png

134

Sedna

- Possui diâmetro entre 1180 a 1800 km;
- Seu afélio está a 937 UA do Sol; (e o periélio a 76)
- Descoberto em 2003;
- Análises espectroscópicas revelaram que a composição da superfície de Sedna é parecida à de outros objetos transnetunianos, sendo principalmente uma mistura de gelo de água, metano e nitrogênio;
- Tem um período orbital de 11400 anos.
- Alguns astrônomos acreditam que ele faz parte da nuvem de Oort

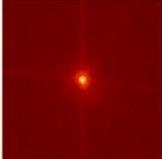


<http://web.gps.caltech.edu/~mbrown/sedna/tsednac.gif>

135

Makemake

- Também descoberto pela equipe de Michael E. Brown, mas no ano de 2005, ele possui diâmetro de aproximadamente 1320 km tendo magnitude 16,7.
- Sua órbita é de 310 anos.
- A imagem abaixo é do telescópio Espacial Hubble
- Seu nome é em homenagem ao deus criador da humanidade, o deus da fertilidade e o deus-chefe MakeMake, da mitologia rapanui da Ilha de Páscoa.
- Análises espectrais da superfície de Makemake revelaram que o metano deve estar presente na forma de grandes grãos de pelo menos um centímetro de tamanho



https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/12/Makemake_hubble.png

136

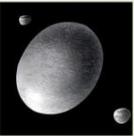
Haumea

- Possui uma forma alongada devido sua rápida rotação.
- Sua superfície possui gelo de água cristalina, identificada pelo albedo.
- O nome é em homenagem a deusa havaiana do nascimento e fertilidade
- Possui duas luas, Hi'iaka (diâmetro de 350 km) e Namaka (diâmetro de 170 km),



http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/54/Haumea_com_seus_satelites_naturais.jpg

Haumea com seus satélites naturais, Hi'iaka e Namaka como visto pelo telescópio Keck com espelhos de 10 m



Concepção artística de Haumea

<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/1e/m692003L61art.jpg>

137

Quaoar

- Descoberto em 2002 por Chad Trujillo e Michael Brown
- Está a cerca de 6,5 bilhões de km (~42 UA) da Terra;
- Diâmetro de 1250 km;
- Possui um satélite de nome Weywot, de 100 km de diâmetro.
- Nome em homenagem ao deus da criação na mitologia Tongva (um povo nativo norte americano).

<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/67/Quaoar-eps-2004-05c.jpg>

<http://www.astronoo.com/images/planetes/ceintureKuiper/quaoar-hubble.gif>

138

<https://image.shutterstock.com/image-vector/compositasolar-1240319442/ptnacasa019256-corpos-sistema-solar-8-728.jpg?cb=7333651529>

[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/9/9c/TheTransneptunians_Size_Albedo_Color.svg.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/9/9c/TheTransneptunians_Size_Albedo_Color.svg/449px-TheTransneptunians_Size_Albedo_Color.svg.png)

139

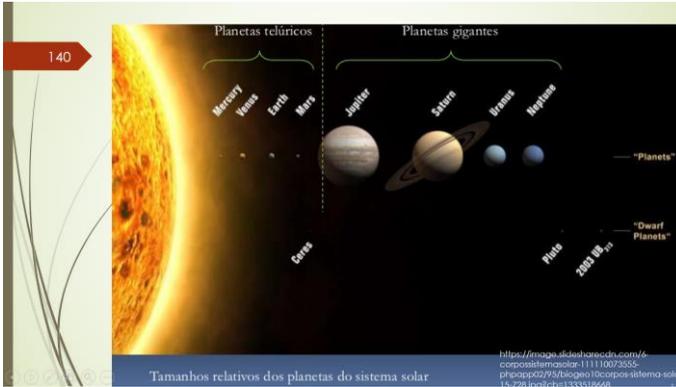
Eris (2003UB₃₁₃), 2.700 km. diâmetro

Sedna (2003VB₁₂) 1.700 km. diâmetro

Quaoar, 1.250 km. diâmetro

Plutón, 2.302 km. diâmetro

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/a/a9/Compara_planetas_e_nanos.jpg/250px-Compara_planetas_e_nanos.jpg



141

Meteoros e meteoritos

- A palavra vem do grego METEORON que significa fenômeno no céu.
- Chama-se de meteoro o fenômeno luminoso no qual um pequeno asteroide é visível no céu devido ao aquecimento provocado pelo atrito com a atmosfera quando ele chega em alta velocidade.
- Já quando esse meteoro cai no chão, seus fragmentos são chamados de meteoritos.
- Com o estudo dos meteoritos podemos aprender como se formaram os planetas rochosos, visto que eles são fragmentos do sistema solar primitivo e permaneceram inalterados por todo esse tempo.

142

- Há 3 tipos de meteoritos:
 - Metálicos
 - Rochosos
 - Metálico-rochosos
- 90% dos meteoritos conhecidos são rochosos.
- Os metálicos são compostos geralmente por ferro e níquel.
- Cerca de 25 milhões de meteoros caem por dia na Terra, mas quase todos com apenas algumas microgramas de massa, que não os tornam visíveis da superfície. Mas tudo junto chega a cerca de 10 000 toneladas por dia.
- Aproximadamente a cada 30 milhões de anos cai um grande meteoro na Terra.
- A maioria dos meteoros que chegam até nós vem do cinturão de asteroides.
- Alguns meteoritos podem vir de outros planetas, como o meteorito marciano ALH84001.
- Provavelmente uma colisão de um asteroide relativamente grande o lançou para fora do planeta Marte, caindo posteriormente na Terra.

143

- Esse meteorito foi coletado na Antártida em 1984 e caiu na Terra cerca de 13 mil anos atrás.
- Em agosto de 1996 cientistas da NASA revelaram que encontraram evidências microscópicas de fósseis (hidrocarbonetos policíclicos aromáticos e depósitos de materiais parecidos com os que são causados por algumas nanobactérias na Terra) que poderiam ter se desenvolvido em Marte.
- Isso cogita uma possível vida em Marte primordiais a milhões de anos atrás, quando provavelmente esse meteorito foi arrancado de lá.
- Também em 1996, cientistas descobriram carbono orgânico em outro meteorito marciano, o ETA 79001.
- Sabemos que esses meteoritos são marcianos devido ao robô Sojourner, da missão Mars Pathfinder de 1997.

144

- No século XX, por duas vezes asteroides relativamente grandes colidiram com a Terra.
- Em 30 de junho de 1908 um asteroide ou cometa com aproximadamente 100 000 toneladas explodiu na atmosfera. A onda de choque derrubou milhares de km² de florestas na Sibéria;
- Em 12 de Fevereiro de 1947 nas montanhas de Sikhote-Alin, também na Sibéria, um asteroide de Ferro-níquel de aproximadamente 100 toneladas explodiu no ar e deixou mais de 106 crateras com tamanhos de até 28 m;
- Cerca de 28 toneladas divididas em mais de 9 000 meteoritos foram recuperados. O maior tem massa de 1745 kg.
- Em 2013 caiu um meteoro na Rússia, durante o dia. Ele é conhecido como Meteoro de Cheliabinsk. Ele tinha 10 000 toneladas e cerca de 17 metros. Ele explodiu a 10 km de altitude e tinha velocidade de 30 km/s.

145



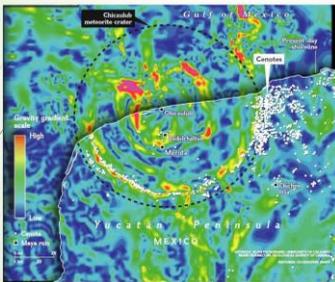
Fonte: https://www.youtube.com/watch?v=WvGb5pm_jo

146

- A energia de um asteroide que se transforma num meteoro pode ser calculada pela sua velocidade. A velocidade de queda de um deles é no mínimo igual a velocidade de escape (11 km/s na Terra, 2,4 km/s na Lua). Assim, um típico asteroide de 1 km de diâmetro com densidade baixa (1 g/cm³) libera energia de aproximadamente $6 \cdot 10^7$ kton de T.N.T. (trinitrotolueno), o que equivale a 3 milhões de bombas atômicas, que abriria uma cratera com cerca de 60 a 80 km de diâmetro. Cerca de 1 km por Mton T.N.T.
- O último grande que caiu foi aquele que supostamente extinguiu os dinossauros, há 65 milhões de anos.
- Há uma cratera de 200 km de diâmetro no México que comprova a queda, indicando que o asteroide tinha no mínimo 10 km de diâmetro.
- A energia liberada por ele equivale a cerca de 3 bilhões de bombas atômicas ou cerca de 3 trilhões de toneladas de TNT.

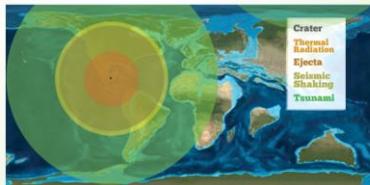
147

- A imagem gravimétrica mostra a cratera desse impacto, visto que ela está praticamente submersa sobre o oceano.



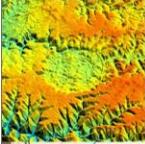
148

- Se você estivesse a uma distância de até 1000 km do centro do impacto, seria morto instantaneamente pelo calor gerado, disse Joanna Morgan (cientista do projeto de perfuração de Chicxulub). Um tsunami de cerca de 300 metros surgiu.
- O terremoto que sucedeu foi mais forte que somando todos os terremotos que ocorreram na Terra nos últimos 160 anos afirma Rick Aster, professor de sismologia na Colorado State University.
- A ejecta cairia de volta na Terra sufocando quaisquer animais que aí estivessem.
- A poeira lançada na atmosfera escureceu os céus do planeta inteiro por vários anos. Somente alguns animais puderam sobreviver.



149

- Na cidade de Vargeão – SC há uma cratera de aproximadamente 12 km de diâmetro.
- Acredita-se que ela data de 50 a 60 milhões de anos.
- Seu desnível médio é de 225 metros.
- As rochas encontradas na superfície do local deveriam estar a mais de 700 m de profundidade naquela região.
- Acredita-se ser a 2ª maior cratera no Brasil



Fonte: <http://www1.folha.uol.com.br/masao/elecao/nyf/geom2003/090-cratera.jpg>




Fonte: <http://1000das.com/fototmp/770-502-1a-domo-do-vargeao-a-segunda-maior-cratera-de-metros-no-brasil-no-oeste-de-santa-catarina-nikon%20@7038.jpg>

Fonte: <http://static.panorama.com/photos/large/51021624.jpg>

150

Araguainha
Nome: Araguainha
Idade: 244,40 ± 3,25 Ma
Diâmetro: 40 Km
Localização: Mato Grosso, Brasil (16° 47'S, 52° 59'W)
 Cratera brasileira mais bem estudada. Anel de rochas elevadas com 10 km de diâmetro.

Vargeão
Nome: Vargeão (Vargeão Dome)
Idade: <70 Ma
Diâmetro: 12 Km
Localização: Santa Catarina, Brasil (26° 50'S, 52° 7'W)
 Depressão de forma circular com elevação central

Serra da Cangalha
Nome: Serra da Cangalha
Idade: <300 Ma
Diâmetro: 12 Km
Localização: Tocantins, Brasil (8° 5'S, 46° 52'W)
 Estrutura mais aparente é um anel de vales com 5 km de diâmetro.

151

Riachão
Nome: Riachão (Riachão Ring)
Idade: <200 Ma
Diâmetro: 4,5 Km
Localização: Maranhão, Brasil (7° 43'S, 46° 39'W)
 Área circular esbranquiçada

Vista Alegre
Nome: Vista Alegre
Idade: <65 Ma
Diâmetro: 9,5 Km
Localização: Paraná, Brasil (25° 57'S, 52° 41'W)

Colônia
Nome: Colônia
Idade: 5-36 Ma
Diâmetro: 3,6 Km
Localização: São Paulo, Brasil (23° 52' 7"S, 46° 42' 22"W)

Satélites

- De maneira geral, o número de satélites de um planeta está associado a sua massa, pois massa maior aumenta a probabilidade de que mais corpos os orbitem.
- O maior satélite do sistema Solar é Ganimedes, uma lua de Júpiter. Ela tem raio de 2631 km. O segundo é Titan, uma lua de Saturno, com raio de 2575 km.
- Elas são maiores que o planeta Mercúrio, que tem raio de 2439 km.
- Titã apresenta uma atmosfera densa e rica em compostos carbônicos e metano.
- A nossa Lua tem diâmetro de 3475 km e é maior que Plutão (diâmetro de 2350 km).
- A maioria dos satélites tem órbita de Oeste para Leste em relação ao respectivo planeta.

Luas do Sistema Solar em Escala com a Terra



Anéis

- Os quatro planetas Jovianos apresentam um sistema de anéis, que são constituídos por pequenas partículas orbitando seu respectivo planeta.
- A origem dos anéis é provavelmente um satélite que se espalhou ou um material que nunca se aglomerou, devido as perturbações gravitacionais no local.
- Os anéis de Saturno são facilmente vistos a partir da Terra com o auxílio de um pequeno telescópio ou luneta.
- Eles são constituídos principalmente por pequenas partículas de gelo (não necessariamente de água), que refletem bem a luz do sol, por isso são bem visíveis.
- Os anéis de Júpiter, urano, Netuno são compostos por partículas mais escuras, assim, como não refletem bem a luz, não são visíveis da Terra.



156

Cometas

- Os cometas são asteroides compostos por gelo e poeira que quando se aproximam do Sol tem sua temperatura aumentada e com isso sofrem a ejeção de sua massa, com isso eles adquirem caudas com tamanhos de até 1 UA.
- Suas órbitas são elipses muito alongadas, podendo se estender de menos de 1 UA à milhares de UA.
- Um cometa é formado:
 - Pelo núcleo, onde está a parte sólida,
 - Ao redor dele tem o CÔMA, que é uma região de gelo sublimado.
 - Por uma cauda de gás ionizado empurrado pela pressão da radiação solar
 - Por uma cauda de poeira.

157

- A cauda de poeira geralmente é amarelada.
- A cauda de gás ionizado geralmente é azulada. Esta é composta geralmente por CO^+ , N_2^+ , CO_2^+ .
- A cauda de gás tem a mesma direção do vento solar, ou seja, radialmente para fora.
- Já a cauda de poeira tem direção da órbita do cometa.

Fonte: <http://3.bp.blogspot.com/-dV9G81FCqU/UhuQIqRUI/AAAAAAAAALyE/6GuG8y0e4V0/1600/Cometa.jpg> adaptada pelo autor.



159

- O cometa mais famoso é o cometa Halley, que recebeu seu nome em homenagem a Edmond Halley, que foi o primeiro que percebeu que os cometas vistos em 1531, 1607, 1682 eram na verdade o mesmo cometa.
- A nave Giotto chegou a cerca de 1000 km do cometa Halley e com isso pode fotografar seu núcleo, que tem cerca de 13 km x 8 km. Sua densidade é próxima de 1 g/cm³ e massa total $6 \cdot 10^{22}$ kg.
- Sua última visita para perto de nós foi em 1986.
- Sua próxima visita será em 2062, daqui aproximadamente 46 anos

HMC 68 Image Composite
Comet Halley 14th March 1986

https://www2.mpa.mpg.de/imagew/topics/topic_200603/topic_200603_xst.jpg

<http://meioambiente.culturamix.com/blog/wp-content/gallery/cometa/cometa-05.jpg>

This slide provides information about Comet Halley. It lists key facts: it is the most famous comet, named after Edmond Halley, and has been observed in 1531, 1607, and 1682. The Giotto spacecraft visited it in 1986, photographing its nucleus (13 km x 8 km) at a distance of approximately 1000 km. The next visit is expected in 2062. Two images of Comet Halley are included: a composite image from the Hubble Space Telescope (HMC 68) and a photograph of the comet with its long tail.



161

- Em 1997 o cometa Hale-Bopp esteve visível a olho nu praticamente no mundo todo. Ele ficou conhecido como o grande cometa. Seu próximo perélio será no ano de 4385.




http://apod.wiki/index.php/wiki/pedagogia/monitors/diagramas/cometa_hale_bopp_1997.html#3.jpg

<http://www.astrocantabria.org/sites/default/files/pictures/observaciones/historial/hale-bopp1997/halebopp.jpg>

162




https://conteudo.imguol.com.br/c/noticias/2014/09/10/28mar1997-cometa-hale-bopp-passa-pelas-ruínas-de-stonehenge-inglaterra-em-28-de-março-de-1997-1410361620695_1024x768.jpg

163

- No ano de 1994 o cometa Shoemaker-Levy-9 se aproximou de Júpiter e com isso se fragmentou em mais de 20 pedaços devido as forças de maré de Júpiter.
- Os pedaços maiores tinham cerca de 2 km e explodiram nas nuvens de amônia da atmosfera Jupteriana.

Comet Shoemaker-Levy 9 Impact Photos
 Photo CD Images - 14" Schmidt Cassegrain
 Texas A&M Observatory



July 20, 1994 1:29UT Impacts G/D and L

July 20, 1994 2:25UT Impacts H, G/D, and L

July 27, 1994 1:25UT Impacts G/D/S/R and L and K/W

http://www.physics.tamu.edu/astr099/images/lanu_2.jpg

164

- Então, cometas são corpos que apresentam composição volátil, porém quando estão nos confins do sistema solar, eles perdem sua cauda e com isso ficam indistinguíveis dos asteroides.
- Acredita-se que os cometas vem de uma região ao redor de todo o sistema solar conhecida como "Nuvem de Oort". Essa região pode conter mais de 100 bilhões de cometas e está a mais de 50 000 UA.



165

- Quando ocorre a passagem da Terra pela órbita de um cometa, ela encontra nessa região milhares de partículas pequenas que foram ejetadas do cometa.
- Essas partículas caem em direção à terra e são vaporizadas emitindo luz. Esse fenômeno é conhecido como chuva de meteoros.
- A chuva de meteoros das Perseidas que ocorreram em 12 de agosto são restos do cometa Swift-Tuttle



166

Swift-Tuttle – O cometa que pode ser perigoso para a vida na Terra

- Segundo cálculos, no ano de 2126 o cometa poderá passar muito próximo da Terra. Porém cálculos indicam que ele não representa perigo pelos próximos 2000 anos. Mas simulações indicam que ele pode colidir com a Terra ou com a Lua no ano de 4479. A probabilidade disso ocorrer é 0,000001%. (1.10⁻⁶%).
- Com velocidade de 60 km/s e diâmetro de 27 km, se colidir com a Terra, poderá ser a extinção da maioria das espécies conhecidas, inclusive a humana.
- Seu período de translação é de aproximadamente 130 anos.



167

- Sugestão de vídeo: documentário sobre cometas, com duração de 1h34 min, produzido pelo canal The History Channel. Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=C19ZMaeOsAE>
- Outra sugestão é assistir ao episódio 03 da Série Cosmos, apresentada pelo astrofísico Neil deGrasse Tyson, lançada em 2014.

168

Naves de exploração

- São várias as sondas já enviadas.
- Algumas permanecem até hoje rumo ao "infinito"
- A imagem a seguir mostra as jornadas já existentes para os planetas do Sistema Solar.

169

Sugere-se abrir essa imagem em seu local original:
http://visualoop.com/media/2015/08/Explore-Timeline-MM8143-B_29-SpNB.jpg
 Cujas resolução é de 7275 x 3000 pixels.

COSMIC JOURNEYS

The infographic illustrates the paths of various space probes from Earth to the planets of the Solar System. It shows the orbits of the planets and the Sun, and the trajectories of probes like Pioneer 10, Pioneer 11, Voyager 1, Voyager 2, Mariner 2, Mariner 4, Mariner 6, Mariner 7, Mariner 9, Mars Global Surveyor, Mars Reconnaissance Orbiter, Mars Science Laboratory, Mars Express, and others. The diagram includes detailed text boxes for each probe, describing their missions and achievements.

170

Atividade de distâncias

- Realizar a atividade do apêndice F e G
- Comparar distâncias em escala de tamanho e distâncias – Sendo o Sol com diâmetro 1 m.
- Sugestão de vídeo: Comparação de tamanhos de planetas e estrelas, disponível em:
- <https://www.youtube.com/watch?v=ohlWFFWtNhY>

171

Sol com diâmetro equivalente a 1 metro

Astro	Distancia do Sol (km)	Diâmetro (km)	distancia (m)	diâmetro (cm)
Sol	0	1.390.000	0,00	100,00
Mercúrio	57.910.000	4.879	41,66	0,35
Vênus	108.200.000	12.104	77,84	0,87
Terra	149.600.000	12.756	107,63	0,92
Lua	149.600.000	3.476	107,63	0,25
Marte	227.940.000	6.794	163,99	0,49
Ceres	414.000.000	914	297,84	0,07
Júpiter	778.330.000	142.984	559,95	10,29
Saturno	1.429.400.000	120.536	1028,35	8,67
Urano	2.870.990.000	51.118	2065,46	3,68
Netuno	4.504.300.000	49.538	3240,50	3,56
Plutão	5.922.000.000	2.320	4260,43	0,17
Éris	10.149.000.000	3.094	7301,44	0,22

O Big Bang e a origem do Universo,
Nebulosas e formação de estrelas,
Galáxias

172

173

O universo antes do século XX

- No início do século XX, acreditava-se que o universo era estático.
- Vários físicos famosos, inclusive Einstein acreditava nisso.
- Alexander Friedmann, (físico Russo), em 1922, partindo das equações de Einstein encontrou uma solução que afirma que:

"o universo emergiu súbita e violentamente de um estado de compressão infinita e entrou numa fase de expansão desacelerada, que se seguiu a essa explosão de força e energia iniciais", Fernando Hené, disponível em <http://biologia.net/2009/11/01/big-bang-considera-mito-da-origem-do-universo/?p=2585-34>.

- Ou seja, tudo deveria estar em um único ponto concentrado. Estava dado o pontapé inicial para a teoria do Big Bang, cujo nome foi dado "pejorativamente" pelo astrônomo britânico Fred Hoyle, que acreditava na "teoria do estado estacionário".

174

Teoria do Big Bang

- A teoria do Big Bang é uma teoria que explica como o universo evoluiu a partir de um único ponto.
- Ela não explica o que havia antes do início do universo, dessa forma, o universo não tem uma origem explicada.

Ela está baseada em basicamente 3 pilares

- 1- A existência do desvio para o vermelho nos espectros dos objetos estelares.
- 2- A radiação cósmica de fundo.
- 3- A abundância relativa dos elementos leves: hidrogênio, hélio, deutério e lítio.

Segundo essa teoria, o universo tem cerca de 13,7 +/- 0,2 bilhões de anos.

Ela é a teoria mais aceita na atualidade.

175

Desvio para o vermelho

- Já falamos sobre isso em uma das aulas passadas.
- Todos os elementos químicos emitem uma "assinatura" quando aquecidos.
- Quando a luz de uma estrela é analisada em um espectroscópio, ele nos mostra uma série de linhas espectrais que correspondem aos elementos que compõe determinada estrela.
- Analisando esses elementos na Terra e comparando aos mesmos elementos em uma estrela distante, percebemos que o comprimento de onda dessa luz está maior, ou seja, o efeito Doppler da luz. Isso significa que essa estrela está se afastando de nós.

176

- Verifica-se também que esse desvio aumenta com a distância que a galáxia se encontra de nós ou seja, as galáxias se afastam de nós com uma velocidade que é proporcional à distância a que se encontram da Terra (Lei de Hubble).
- Alguns fatos ainda não explicados dessa teoria se referem ao fato que algumas galáxias apresentam ter idade de 15 bilhões de anos, o que não condiz com a teoria de 13,7 bilhões de anos.
- Algumas formações de superestruturas de galáxias não teriam tido tempo suficiente para estarem da maneira que estão.
- Em algumas galáxias elípticas, com um desvio para o vermelho que permite calcular sua idade em 1 bilhão de anos, há estrelas lá dentro com 12 bilhões de anos.

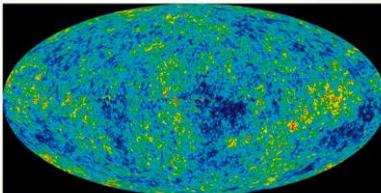
177

Segundo pilar – Radiação cósmica de fundo.

- Inicialmente, de acordo com a teoria do Big Bang, o universo deveria ser imensamente denso e quente.
- Quando expandiu violentamente ele deve ter sido resfriado.
- A radiação cósmica de fundo foi predita por George Gamov, Ralph Alpher e Robert Herman em 1948.
- Em 1965, Arno Penzias e Robert Wilson, descobrem acidentalmente a radiação de fundo. (No Bell Telephone Laboratories perto de Holmdel, New Jersey, eles construíram um radiômetro que pretendiam utilizar para experiências de radioastronomia e comunicação via satélite. O instrumento deles tinha um ruído térmico excessivo de 2,5 K que eles não podiam explicar, e após diversos testes Penzias se deu finalmente conta que aquele ruído nada mais era do que a radiação cósmica de fundo predita por Gamov, Alpher e Herman e mais tarde por Dicke.

178

- Essa radiação de fundo vem de maneira praticamente igual de qualquer lugar do universo que se deseja medir. E isso só seria possível se ela tivesse sido irradiada no mesmo momento e do mesmo local.
- Hoje, sabe-se que há pequenas flutuações (alguns micro-kelvin) na radiação cósmica de fundo.



https://www.nasa.gov/centers/goddard/images/content/76115main_full_m.jpg

- A temperatura de fundo corresponde a 2,726 K, com frequência de pico de 160,4 GHz, o que corresponde a um comprimento de onda de 1,9 mm.

179

Abundância de elementos leves

- Por serem os átomos mais simples, são o Hidrogênio e o Hélio os átomos presentes em maior quantidade no universo.
- Mesmo assim, 74% do universo é constituído de um tipo de energia que não conseguimos detectar, a energia escura.
- Outros 22% são constituídos de matéria indetectável, ou seja, matéria escura.
- Os outros 4% são basicamente Hidrogênio e Hélio. A matéria mais densa resume-se a cerca de 0,03%.
- Até hoje, não se sabe o que são a matéria e a energia escura, apenas acreditamos que elas sejam a causa da aceleração da expansão do universo e de alguns efeitos gravitacionais que podemos analisar.

180

Efeitos da teoria do Big Bang

- O principal efeito dessa teoria é que o tempo e o espaço nem sempre existiram.
- O tempo e o espaço originaram-se a partir da expansão do universo sobre si próprio.
- No período inicial, o espaço-tempo expandiu-se cerca de 10^{20} m em questão de 10^{-35} s.
- Essa inflação produziu todo o conteúdo do universo a partir do "nada" (ou de toda a matéria em um único ponto infinitesimal).

181

Paradoxo de Olbers

- Quando olhamos o céu à noite, constatamos que ele é predominantemente escuro.
- Porém, quando olhamos um bosque de perto, vemos as árvores individualmente e espaçadas entre si, mas se olharmos de muito longe, não vemos através delas, ou seja, é tudo árvores.
- Quando foi observado por um telescópio, percebeu-se que em regiões escuras haviam estrelas.
- Assim, essas estrelas deveriam compor todo o fundo escuro. Dessa forma, como o fundo poderia ser escuro se ele é todo cheio de estrelas, que são brilhantes?



Heinrich Wilhelm Matthäus Olbers (1758 - 1842)

182

- Em outras palavras, o brilho das estrelas cai com o quadrado da distância, mas a quantidade de estrelas cresce com o quadrado da distância. Dessa forma, o céu deveria ser tão brilhante, em média, quanto a superfície de uma estrela.
- Mas sabemos que não é isso que vemos...
- A solução proposta por Olbers foi a seguinte:
- Ele disse que a poeira interestelar absorve a luz das estrelas, por isso não vemos as mais longínquas.
- Porém essa resposta tem um problema: Com o tempo, a poeira absorve energia das estrelas e entra em equilíbrio térmico com elas, emitindo luz, ou seja, não resolve o paradoxo.

183

- Então a resposta mais aceita para o paradoxo é que o universo não existiu desde sempre.
- Assim, como o universo tem uma idade finita (cerca de 13,7 bilhões de anos), não houve tempo suficiente para que a luz das estrelas mais longínquas chegasse até nós.
- Assim, o universo que vemos é aquele no qual houve tempo suficiente desde sua existência, para que a luz chegou até nós.
- Como o universo tem cerca de 13,7 bilhões de anos, se usarmos uma distância média de 1 parsec entre cada estrela. Isso significa que o universo, em tamanho deve ser maior que $6,6 \cdot 10^{15}$ anos-luz, pois se fosse menor, veríamos o céu como uma única estrela brilhante

184

Outras teorias concorrentes menos famosas são:

1. Teoria de ARP – Halton Arp, é um modelo empírico onde o universo não está expandindo podendo ser infinitamente grande e desabrocha a partir de pontos dentro dele mesmo;
2. Teoria do Plasma Cosmológico - Hannes Alfvén, astrofísico sueco, propõe que o universo é infinito e eterno no espaço e no tempo, e que continuamente evolui;
3. Meta modelo de Tom Van Flinders - Tom Van Flinders propõe que o universo não só é infinito no espaço e no tempo e composto por várias dimensões;
4. Modelo Cosmológico da Cinética Sub quântica de Paul LaViolette - propõe que a matéria física emerge do éter pré-existente.
5. Modelo de Barry Setterfield. O comportamento dos átomos e a velocidade da luz estão intimamente relacionados com a Z.P.E. (Zero Point Energy) e com as propriedades do vácuo, interações entre partículas formam novas partículas.

185

NEBULOSAS E FORMAÇÃO DE ESTRELAS



Nebulosa da hélice - NGC 7293 visto por Infravermelho + visível (esquerda) e Luz visível (direita)

Nebulosa da cabeça do cavalo Ou Barnard 33

Nebulosa olho do gato NGC 6543

Fonte das imagens: Telescópio Hubble - NASA

186

Nebulosas

- Nebulosas são regiões do espaço, com dimensões gigantescas, milhares a milhões de vezes maiores que o Sistema Solar, compostas principalmente por hidrogênio, hélio, plasma e poeira.
- Elas podem ser restos de explosões de estrelas gigantescas, como nos casos das nebulosas do olho do gato e nebulosa da hélice, das fotos anteriores.
- Mas podem ser gigantescos berçários de estrelas, como a nebulosa de Órion, no próximo slide.

187



M42 ou também NGC 1976 - Nebulosa de Órion

Fonte: Telescópio Hubble - NASA

188

- Antigamente, muitas galáxias eram classificadas como nebulosas. Com a construção de telescópios melhores os cientistas da época perceberam que se tratavam de um novo tipo de aglomeração estelar que não fazia parte da nossa galáxia.



Em 1923, Hubble utilizando um telescópio de 2.5 m do Mount Wilson mostrou que Andrômeda estava muito além dos limites da Via Láctea.

Então, a partir disso, muitas outras galáxias foram descobertas.

Galáxia de Andrômeda fotografada por Cory Poole

189

O que são galáxias

- Galáxias são sistemas constituídos de estrelas velhas, intermediárias, jovens e poeira interestelar além de gás e matéria escura, tudo ligado gravitacionalmente em regiões específicas do espaço sideral.
- Podem ter tamanhos de até centenas de anos-luz.



Galáxia do Sombrero - M104

Fonte: Telescópio Hubble - NASA

190

Classificação morfológica das galáxias

- A classificação das galáxias de acordo com sua aparência foi proposta por Hubble em meados de 1920 e publicada em seu livro em 1936.
- Elas estão classificadas na chamada Classificação de Hubble ou Sequência de Hubble, que indica como ocorre a evolução das galáxias.
- Até hoje, não há um consenso de como as galáxias adquirem sua forma, mas é fato que colisões entre elas mudam seu formato.

191

- As galáxias são classificadas em Elípticas, Espirais, Lenticulares e Irregulares.
- Das conhecidas, a porcentagem de cada tipo está abaixo.
- Galáxias Elípticas (E) – 20%
- Galáxias Espirais (S) – 67%
- Galáxias Lenticulares (SO) – 10%
- Galáxias Irregulares (Irr) – 3%

CLASSIFICAÇÃO DE HUBBLE DAS GALÁXIAS

ELÍPTICAS: E0, E3, E5, E7, SO

ESPIRAIS: Sa, Sb, Sc

ESPIRAIS BARRADAS: SBa, SBb, SBc

http://www.civ.org.pl/astromonia/galaxias_o_tu_e_o_o_o_m_galaxias/classificacao_oa_galaxiasup

192

- As galáxias elípticas são classificadas de acordo com sua excentricidade. Variando de E0, a mais esférica à E7 e mais excêntrica.
- Em seguida temos as galáxias espirais (S) e espirais Barradas (SB).
- As espirais barradas diferem das espirais por possuírem uma barra em seu centro.
- As irregulares não tem forma definida.

galáxia elíptica

Galáxia espiral barrada

Galáxia Irregular

Fonte: Telescópio Hubble - NASA

193

Galáxias Elípticas

- Possuem pouco gás, pouca poeira e poucas estrelas jovens.
- Variam de E0 a E7, de acordo com seu grau de achatamento.
- As galáxias E0 apresentam forma esférica.
- É importante salientar que Hubble classificou as galáxias conforme sua aparência, não conforme seu real formato.
- Uma bola de futebol americano vista de frente pode passar por uma esfera!!

http://palombosports.com.br/novo/wp-content/uploads/bola_americano.jpg

194

Galáxia E0 - M87 ou NGC 4486 - NASA

http://apod.nasa.gov/apod/mape/0406/m87_crlt.jpg

195

Galáxia E2 - M32 ou NGC 221 é uma galáxia satélite de Andrômeda e foi a primeira galáxia elíptica descoberta, em 1749.

Fonte: Telescópio Hubble - NASA

196

Galáxia E6 - NGC 205 ou M110, galáxia satélite de Andrômeda. (ver foto anterior)

https://starcharts.com/images/Articles/aster/M110_Schedler.jpg

197

Galáxias Espirais

- As galáxias espirais são galáxias no qual os braços das espirais partem diretamente do núcleo central.
- Elas são classificadas de acordo com o grau de evolução de seus braços espirais. Onde as SA possuem braços bem agrupados e "pequenos", próximos ao seu núcleo, e um tamanho grande de seu núcleo, quando comparado ao tamanho dos braços.
- Existem algumas galáxias que tem o núcleo, o disco e o halo, mas não possuem braços. Essas receberam a classificação de E0 ou Lenticulares.
- Quanto essas galáxias tem uma barra atravessando seu núcleo, elas recebem o nome de espirais barradas (SB) que crescem de SB0, SBa, SBb, SBc sucessivamente.

198

- Nas espirais barradas, os braços partem geralmente do final da barra.



Galaxia SBc -
NGC 253 ou
Galáxia do
Escultor

NASA

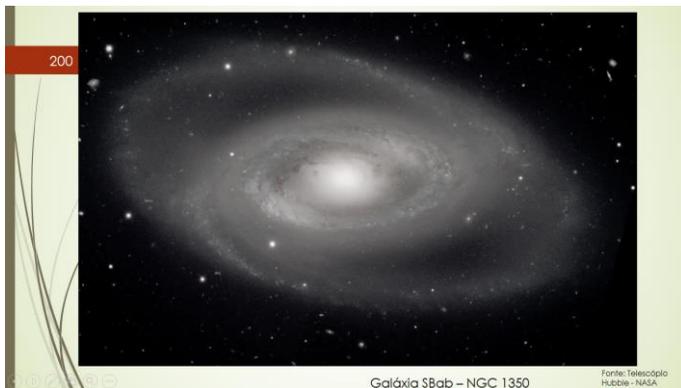
Fonte: Telescópio
Hubble - NASA

199



Galaxia NGC 1300 - Classificação SBb

Fonte: Telescópio
Hubble - NASA



203

Galáxia do tipo S0 (lenticular)
M85 (NGC 4382).

Fonte: Telescópio Hubble - NASA



204

Colisões entre galáxias

- A maioria das grandes galáxias irregulares surgem devido a colisões entre galáxias.
- As nuvens de Magalhães, galáxias satélites à Via-Láctea ou a Andrômeda, são galáxias irregulares.



Grande nuvem de Magalhães, disponível em: <http://www.observatorio.ufmg.br/LMC.jpg>

205

- No vídeo abaixo temos uma simulação da colisão entre a galáxia de Andrômeda e a nossa via láctea, que ocorrerá daqui a cerca de 4 bilhões de anos, segundo previsões de astrônomos pesquisadores da NASA
- Andrômeda se encontra atualmente a 2,5 milhões de anos-luz.
- A simulação abaixo mostra o que acontecerá.



Link para o vídeo: <https://www.youtube.com/watch?v=Shdr6ALHRcIM>

206

■ No céu noturno, a visão seria algo desse tipo

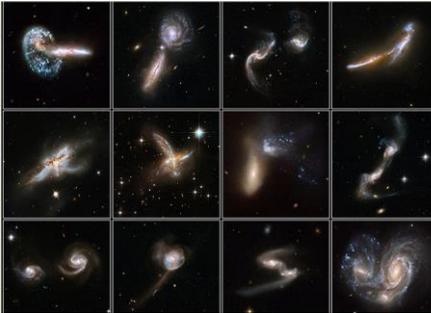


https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/b/b7/Andromeda_Collides_Milky_Way.jpg/1200px-Andromeda_Collides_Milky_Way.jpg

■ Infelizmente a espécie humana e quaisquer outras já terão deixado de existir no planeta Terra nessa época.

207

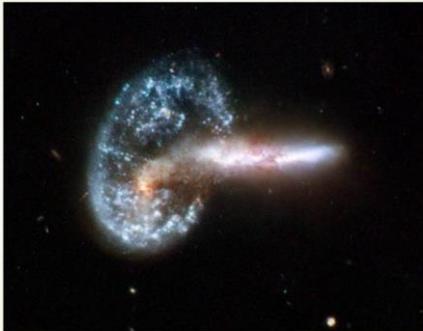
■ Outras colisões entre galáxias já estão ocorrendo nesse instante e algumas foram fotografadas.



<http://g1.globo.com/Noticias/Ciencia/foto/0,,1450499,00.jpg>

208

arp-148
Hubble



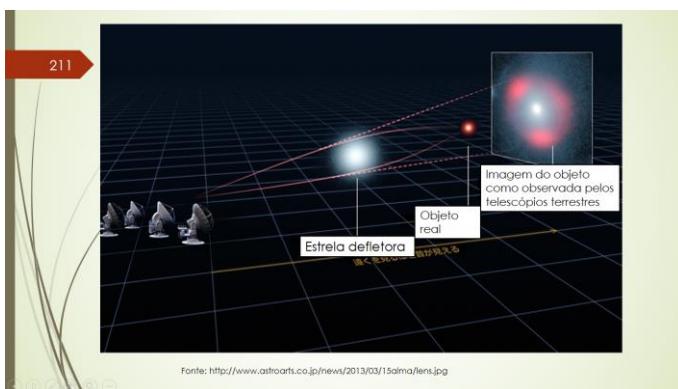
<http://cdn.spacetelescope.org/archives/images/screen/hel0810ae.jpg>



210

Lentes Gravitacionais

- Previstas pela teoria da Relatividade geral.
- Surgem em decorrência que corpos de grandes massas deformam o tecido espaço-tempo, e com isso a luz segue trajetórias curvas.
- Uma grande estrela ou um corpo com grande aceleração gravitacional pode produzir mais de uma imagem de uma mesma galáxia, e com isso, surgem os efeitos das lentes gravitacionais.
- No próximo slide temos uma imagem que ilustra como se formam.





Aglomerado de galáxias formando uma carinha sorridente – devido ao fenómeno das lentes gravitacionais. galáxias SDSS J1038 + 4849

NASA – Hubble.

213

A via láctea

"Caminho esbranquiçado" no céu noturno

Século XVII – Galileu – multidão de estrelas

Século XVIII – Hershel – sistema achatado, onde o Sol ocupava uma posição central

1917 – Shapley – aglomerados globulares (150 deles) dispostos em forma de halo ao redor do centro galáctico – o Sol está fora do centro (30.000 AL)

O centro galáctico está na direção da constelação de Sagitário, região mais brilhante deste "caminho"

Forma um disco de 100.000 AL de diâmetro e 1.000 AL de espessura.

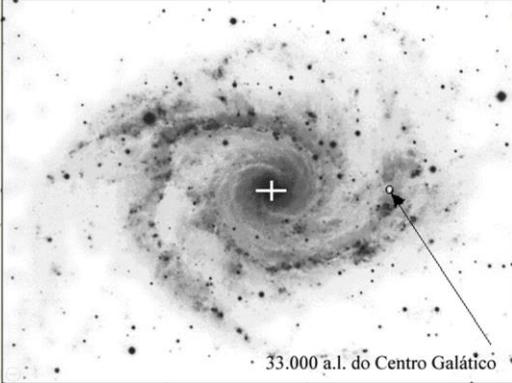
214

- Acredita-se que seja do tipo espiral, devido as seguintes evidências:
- Quando observamos a região central da nossa Galáxia, que fica entre as constelações de Escorpião e Sagitário, podemos ver um núcleo afinado e alongado.
- Podem ser detectados quatro braços espirais principais.
- Todas as estrelas que vemos a olho nu no céu pertencem a via láctea.

215

- Em uma noite muito escura, se pudéssemos contar, contaríamos cerca de 5 mil estrelas.
- Possui entre 100 milhões a 400 milhões de estrelas.
- Tem 100 000 anos-luz de comprimento, raio de 50 000 ly e nós estamos a cerca de 30 mil anos-luz do centro.
- Acredita-se existir um buraco negro em seu centro, denominado *Sagittarius A* com massa de mais de 4 milhões de massas do nosso Sol.
- Um buraco negro tem gravidade tão intensa que nem a luz consegue escapar.

216



33.000 a.l. do Centro Galáctico

217

- Possui duas galáxias satélites: Conhecidas como pequena nuvem de Magalhães e grande nuvem de Magalhães.
- A grande nuvem de Magalhães está a cerca de 160 mil anos luz da via-láctea e contém a região mais massiva de formação estelar conhecida no grupo local.
- Contém 10 vezes menos estrelas que a Via-Láctea.
- A pequena nuvem de Magalhães está a 200 000 anos luz de nós.
- As nuvens de Magalhães são visíveis apenas do hemisfério sul do planeta.



A Via Láctea e as nuvens de Magalhães - Mark Gee - Nova Zelândia disponível em: <http://www.fechenet.com/wp-content/uploads/2013/09/melhor-foto-astronomia.jpg>



219

Onde estamos no cosmos?

Grupo Local

<http://www.nova.org/vp-content/uploads/2015/08/fq13.png>

220

Superaglomerado de Virgem

Cada pontinho branco é uma galáxia

Superaglomerado de Virgem

https://4.bp.blogspot.com/-eKBP5gcCFs/WFVZg7oE0JA/AAAAAAAAANN/gB84oN6U8B0_0_BCEdQeIvYxhIECAh47zqCLcB/j1400/SUPERAGLOMERADOC28DEN2BIRGEM.png

221

As galáxias formam superaglomerados de galáxias, uma organização incrível devido interações gravitacionais

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/3/3b/Superaglomerados_pR%C3%83ximos.gif/700px-Superaglomerados_pR%C3%83ximos.gif

222

O universo visível tem esse formato... esférico? Porque não? Se vemos o mesmo tempo de existência em todas as direções que olhamos... Vemos somente 13,7 bilhões de anos em todas as direções...

Mas certamente ele é muito maior que isso, lembrem-se do paradoxo de Olbers

2MASS Redshift Survey (2MRS)
http://2.bp.blogspot.com/_eW06_3mV8o/VVY8dRtWAA/AAAAAAAAAAQ/s007Vv11600/Universe.jpg

223

Hubble Deep Field – A imagem mais distante que temos. Mostra cerca de 10 mil galáxias. 15,8 dias de exposição do sensor captando luz.

<https://imgur.com/HvVt0ID>

Hubble Deep Field
 PRC56-01a - ST ScI OPO - January 15, 1996 - R. Williams (ST ScI), NASA
HST · WFPC2

224

- Sugestão de vídeo: ver episódio 4 da Série COSMOS de Neil deGrasse Tyson.

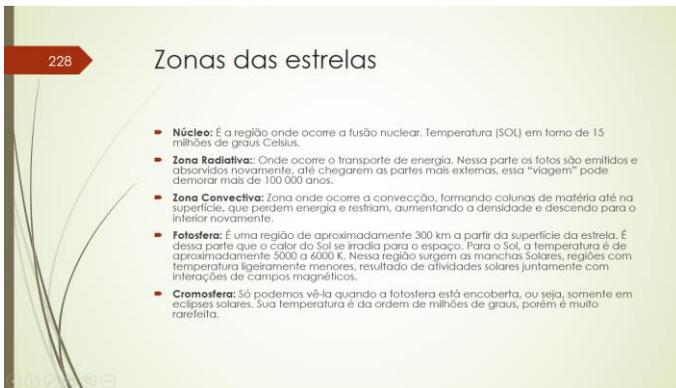
225

ORIGEM DOS ELEMENTOS QUÍMICOS - Estrelas

- São corpos esféricos constituídos por gás ionizado.
- Elas, em seu interior, tem temperaturas muito altas e pressões gigantescas. Com isso, átomos de hidrogênio são forçados uns contra os outros; Com isso, alguns deles acabam se fundindo (processo de fusão nuclear).
- Dessa forma, o hidrogênio se transforma em Hélio.
- Ao somarmos a massa dos dois átomos de hidrogênio e compararmos com a massa do átomo de Hélio, percebemos que há uma pequena diferença.
- Essa diferença corresponde à energia liberada pelo processo (parte da massa foi convertida em energia).

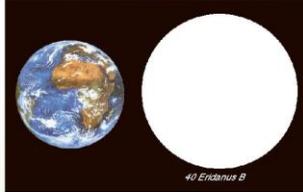
226

- Em estrelas maiores, com temperaturas maiores em seus núcleos, temos a formação de outros elementos químicos, como o Carbono.
- O processo de transformação de Hélio em Carbono é conhecido com ciclo triplo- α . Já do hidrogênio em hélio é conhecido como ciclo próton-próton.
- Essas reações ocorrem predominantemente no núcleo da estrela, visto que lá que existem as maiores temperaturas e pressões.
- A energia originada no núcleo é primeiramente transportada pela camada conhecida como envelope radioativo, depois pelo envelope convectivo, e por último na fotosfera, que é de onde a maior parte da energia de uma estrela é emitida.
- A energia demora dezenas de milhares de anos para "sair da estrela".
- Estrelas, após sua formação tem uma vida um tanto quanta turbulenta, dependendo de seu tamanho.



230

- Em um último suspiro, ela emite suas camadas externas, virando uma nebulosa planetária, com um núcleo central quente.
- Que termina como uma anã-branca.
- Como ela não tem fonte de energia, ela vai esfriando gradualmente, transformando-se em uma anã-branca pulsante.
- Por último, após centenas de bilhões de anos elas irão se transformar em anãs negras. (não são conhecidas ainda, devido o universo ter somente 13,7 bilhões de anos).



<https://www.if.ufrgs.br/oi/stars/vd/40eridanub.jpg>

40 Eridani B

231

- Para estrelas com massa inicial de 8 massas solares a 25 massas solares, as reações no núcleo convertem carbono, oxigênio, neônio, magnésio, etc, até chegar no ferro.
- Na fase de expansão ela explode em uma supernova, gerando os elementos químicos com número atômico maiores que o do ferro.
- O que resta depois da explosão da supernova é uma estrela de nêutrons, com raio de alguns quilômetros e massas de algumas massas solares.
- Se ela iniciar a vida com massa entre que 25 e 100 massas solares, ela termina sua vida, apos a fase do colapso, em um buraco negro, pois o raio se torna menor que o raio de Schwarzschild.
- O raio do horizonte de eventos de um buraco negro é calculado pela equação de Schwarzschild.

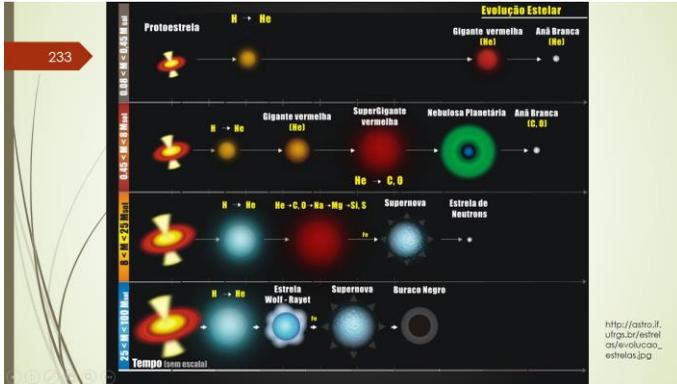
232

- Essa equação relaciona o quão densa a massa deve estar para que a aceleração gravitacional seja tão intensa que nem a luz escape e, portanto, nos permite calcular qual o raio mínimo para que surja um buraco negro.
- Se ela inicia sua vida com massa maior que 100 massas solares, ela ejeta parte dessa massa na sequência principal e evolui como uma estrela com massa de até 100 massas solares. (exemplo estrela da Pistola, descoberta em 1997).

$$R_{Sch} = \frac{2GM}{c^2}$$

raio de Schwarzschild.

- Aplicando essa equação para o Sol, para que ele se tornasse um buraco negro, seu raio teria que diminuir do valor atual, que é cerca de 696 342 km para um valor de menos que 3 quilômetros, mantendo toda sua massa. Para que isso ocorresse com o planeta Terra, ele deveria virar uma bolinha com menos de 1 centímetro de diâmetro.



234

Brilho e tamanho

- O brilho e o tamanho de uma estrela estão relacionados.
- Quanto mais ela brilha, mais energia ela está convertendo, pois sua temperatura é maior.
- Quanto maior ela for, maior será sua temperatura.
- Quanto mais energia ela emana, menos tempo de vida ela tem.
- Então o tempo de vida de uma estrela está relacionado com essas variáveis.

- Na tabela a seguir mostramos a classificação espectral de Harvard, criada no século XIX, aprimorada no séc XX.
- Classificação unidimensional obedece a escala de cores (intimamente relacionada a temperatura efetiva da estrela) – O, B, A, F, G, K, M
- Existe uma frase utilizada para decorar essa sequência. (Oh, Be A Fine Girl, Kiss Me).

235

Classificação espectral de Harvard

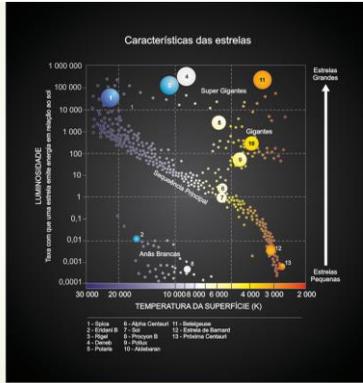
Classe	Temperatura	Cor convencional	Cor aparente Visível da Terra.	Massa (massas solares)	Raio (raio solar)	Luminosidade	% das estrelas da sequência principal
O	30000–60000 K	azul	azul	64 M_{\odot}	16 R_{\odot}	140000 L_{\odot}	~0.00003%
B	10000–30000 K	azul a azul-branco	azul-branco	18 M_{\odot}	7 R_{\odot}	20000 L_{\odot}	0.13%
A	7500–10000 K	branco	branco	3.1 M_{\odot}	2.1 R_{\odot}	40 L_{\odot}	0.6%
F	6000–7500 K	amarelo-branco	branco	1.7 M_{\odot}	1.4 R_{\odot}	6 L_{\odot}	3%
G	5000–6000 K	Amarelo (Sol)	amarelo-branco	1.1 M_{\odot}	1.1 R_{\odot}	1.2 L_{\odot}	7.6%
K	3500–5000 K	laranja	amarelo-laranja	0.8 M_{\odot}	0.9 R_{\odot}	0.4 L_{\odot}	12.1%
M	2000–3500 K	vermelha	laranja-vermelha	0.4 M_{\odot}	0.5 R_{\odot}	0.04 L_{\odot}	76.45%

236

Diagrama HR

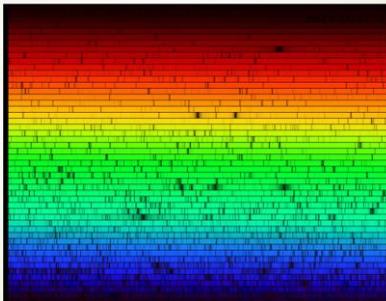
- Ele classifica as estrelas de acordo com seu brilho, tamanho e temperatura de cor.
- A maioria das estrelas está na chamada sequência principal (linha central do gráfico) são aquelas que estão gerando energia da conversão de hidrogênio em hélio através de fusão nuclear em seu núcleo.
- Ele foi criado em meados de 1910 por dois astrônomos:
Ejnar Hertzsprung: químico e astrônomo dinamarquês.
Henry Norris Russell: astrônomo estadunidense.
- O diagrama hoje é conhecido como diagrama de Hertzsprung-Russell ou simplesmente Diagrama HR.
- Pode ser utilizado para medir a distância que uma estrela se encontra de nós pelo método conhecido como paralaxe espectroscópica.
- Para utilizar o método da paralaxe espectroscópica, devemos analisar uma estrela. Ao perceber que ela está em uma determinada classe espectral e observarmos sua luminosidade no diagrama HR, e verificando sua magnitude aparente pode-se determinar a distância que ela se encontra de nós.

237



238

Espectroscopia e o espectro solar



239

- Cada elemento químico possui uma assinatura específica.
- Essa assinatura está presente na análise de seu espectro.
- O espectro de uma luz foi registrado e compreendido pela primeira vez por Isaac Newton na decomposição da luz solar por um prisma.
- Pode-se utilizar, além de prismas, redes de difração para ver o espectro.
- Espectroscópio é o nome dado ao aparelho que serve para ver o espectro de uma luz.
- No início do século XIX a Joseph von Fraunhofer descobriu falhas no espectro do Sol e com isso registrou 574 linhas escuras nele.
- Gustav Kirchhoff (1824 – 1887) e por Robert Bunsen (1811 – 1899), que deduziram que essas linhas escuras ocorriam em virtude da absorção de algumas frequências pelos elementos químicos presentes nas camadas externas do Sol e da atmosfera terrestre.

240

- Assim o elemento químico hélio foi detectado primeiramente no Sol por Joseph Norman Lockyer (1836 – 1920) em 1868, só foi encontrado na Terra 17 anos depois.
- Usando a ideia da espectroscopia, Edwin Hubble analisou o espectro da luz de estrelas distantes inclusive de outras galáxias percebeu que os mesmos elementos que estavam presentes aqui na Terra podiam ser encontrados nessas estrelas
- Porém existia um diferencial: em quase todas elas, o espectro estava deslocado em direção aos maiores comprimentos de onda
- Isso significava que a frequência percebida era menor que a frequência real emitida pelo elemento químico que estava na estrela analisada (efeito chamado de *redshift*,
- ou seja um efeito Doppler da luz, que significava que essas galáxias estavam todas se afastando de nós, dando sustentação a teoria do Big Bang.

241

Experimento e vídeo-documentário

- Realizar a atividade experimental sobre espectroscopia, descrita no apêndice E.
- Sugestão de vídeo: Cosmos, episódio 05, apresentada pelo astrofísico Neil deGrasse Tyson, lançada em 2014.

242

Instrumentos astronômicos modernos



Luneta de galileu

http://3.bp.blogspot.com/-Hz1GohNXC_U/TI1n08w2CI/AAAAAAAAA3U/WndyOGdK1ZE/s1600/luneta+galileu+telesc%2Fm.org.jpg

- Não se sabe ao certo quem inventou o telescópio. Mas sabe-se que o primeiro pedido de patente foi feito na Holanda em 1608, por Hans Lippershey, um fabricante de lentes.
- Em 1609, Galileu construiu seu primeiro telescópio, com uma magnificação de 9 vezes e foi o primeiro a utilizá-lo para estudar o céu cientificamente, a partir de 1609.
- Desde a época que Galileu construiu sua primeira luneta e resolver apontá-la para a Lua, muitos outros telescópios de diferentes tipos foram construídos.
- Hoje, além dos telescópios que captam a luz visível (telescópios ópticos), temos os que captam ultravioleta, raios X, raios gama, infravermelhos, radiotelescópios.

243

Telescópios ópticos

- São utilizados para observação na frequência da luz visível;
- Geralmente são refratores ou refletores.
- Refratores utilizam-se de lentes para direcionar os raios luminosos. (refração da luz)
- Refletores utilizam-se de espelhos e lentes para direcionar os raios luminosos. (reflexão e refração da luz).

244

- O maior telescópio refrator do mundo localiza-se no Observatório Yerkes em Williams Bay, Wisconsin. Ele foi construído em 1897 e possui objetiva com 1,02 m de diâmetro (40 polegadas) e distância focal de 19,36 m.
- Também no Chile está em construção o que será o maior telescópio do mundo, com um espelho de 39 metros de diâmetro, ele é o European Extremely Large Telescope. A construção dele ocorre no cerro Armazones, a 3 060 metros de altitude e custará mais de 1 bilhão de dólares.
- Inicialmente ele foi projetado para ter um espelho primário de 100 metros de diâmetro, porém não foi possível essa realização.



Fonte: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/01/Yerkes_40_inch_Refractor_Telescope-2008.jpg



Fonte: <http://astro.it.usf.br/telesco/yerkes.jpg>

245

Os maiores telescópios ópticos

- Grandes telescópios geralmente usam a chamada óptica adaptativa, composta por motores e atuadores que ajustam a curvatura do espelho em virtude de distorções atmosféricas.
- em 1948 foi inaugurado o telescópio Hale no Monte Palomar – Califórnia – EUA, com um espelho primário de 5 metros de diâmetro



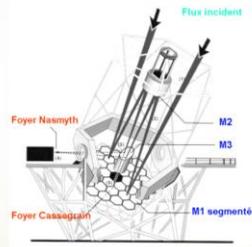
Telescópio Hale. Fonte: http://arm4.staticflickr.com/3875/14150024148_229ba65ffc.jpg

246

- Em 1993 o telescópio Keck, no Havaí foi construído com espelhos segmentados, que proporcionam um único de 10 metros de diâmetro. São dois telescópios de mesmo tamanho nessa localidade, o Keck 1 e o Keck 2, com resoluções de 0,04 segundos de arco.



Fonte: <http://www.4teastronomia.com/wp-content/uploads/2014/02/observa%C3%B3es-keck.jpg>



<https://media4.obspm.fr/public/VAU/images/collecta/keck.png>

247

- Na África do Sul localiza-se o SALT – Grande Telescópio Sul Africano, inaugurado em 2005 possui espelho primário segmentado com 11 metros, estando a 1500 metros acima do nível do mar. Ele localiza-se numa posição estratégica pois se localiza numa das áreas mais escuras do mundo, devido não haver nenhuma cidade próxima por centenas de quilômetros.



© Marty Harris, McDonald Observatory



Fonte: <http://www.astronoo.com/images/telesopes/telescope-eelt.jpg>

Fonte: http://www.caosylencia.com/img/mg251109_3.jpg

248

- Nas Ilhas Canárias, na Espanha, está o Gran Telescopio Canarias (GTC), com um espelho segmentado de 10,4 metros de diâmetro. Inaugurado em 2009, é considerado um dos melhores telescópios para a pesquisa astronômica devido a engenharia tecnológica envolvida



Fonte: http://www.iaa.es/congreso/los-cabrera-gtc-instruments/media/GTC_0307_inclinado.jpg



Fonte: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/0d/Roque_204.jpg

249

- O telescópio Gemini, corresponde a dois telescópios idênticos de 8,1 metros de diâmetro, mas com apenas 10 cm de espessura. Um está localizado no Chile, em Cerro Pachón, uma montanha nos Andes chilenos, a 2 720 m de altitude, que recebe o nome de Gemini Sul e o outro no Havai, no vulcão adormecido Mauna Kea, a 4 220 m de altitude, chamado de Gemini Norte.
- O Gemini Sul fica a apenas algumas centenas de metros do SOAR – Southern Astrophysical Research Telescope, cujo espelho principal tem 4,1 metros de diâmetro e pode captar a luz visível e os raios infravermelhos



Fonte: <http://www.ina.br/soar/site.html>

250

- No Chile também temos o VLT ou Very Large Telescope, com 8,2 metros de diâmetro, porém como são quatro telescópios eles podem ser interligados para observar o mesmo objeto, de forma a se comportar como um gigantesco telescópio. Nesse caso, sua resolução consegue resolver distâncias de milissegundos de arco, isso significa que ele seria capaz de distinguir individualmente os dois faróis de um carro que estivesse na Lua.

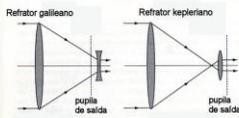


Fonte: <http://www.bulevoador.com.br/wp-content/uploads/2015/03/VLT.jpg>

251

Formação das imagens

- Telescópio refrator: Criado provavelmente por Hans Lippershey na Holanda em 1608. Utilizava-se de uma lente biconvexa na frente (objetiva) e uma lente bicôncava na parte de trás (ocular).
- Em 1611 Kepler melhorou o telescópio utilizando duas lentes biconvexas. Sistema que até hoje é utilizado, porém que deixa a imagem invertida.

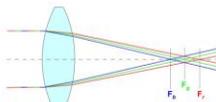


<http://astro.ufrgs.br/telesco/kepler.jpg>

252

- O índice de refração é diferente para diferentes frequências de luz, e com isso, há uma separação das cores do espectro visível.

Aberração cromática:
Cada cor tem seu próprio ponto focal.

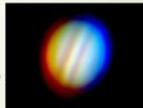


Fonte:
<https://i.pinimg.com/464x/11/00/32/74/11003274139fimage5/35/Aberra%C3%A7%C3%A3o+rom%C3%A1tica+Cada+cor+tem+seu+pr%C3%B3prio+ponto+focal.jpg>

- Isso resulta na chamada Aberração cromática, que distorce as cores dos objetos observados, além de borrar a imagem.

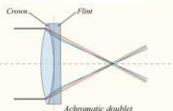
Júpiter com aberração cromática

Imagem obtida através de um refrator Meade Polaris 40-EQ (F = 900 mm, D = 60 mm), Barlow Televue 1,8, 3244 frames, Neximage CCD. Crédito: Harold Martin



253

- Uma técnica para diminuir esse efeito é utilizar lentes apocromáticas, que em algumas relações de diâmetro da objetiva versus distância focal, não é perceptível a aberração cromática.
- O "problema" desses telescópios é o peso acentuado, quando comparados aos refletores e o preço por mm de abertura, que também é maior.



<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/1/15/Lens6b-en.svg/1200px-Lens6b-en.svg.png>

Vidros Crown possuem índices de refração entre 1.5 a 1.6
Vidros tipo Flint podem atingir valores na faixa de 1.75.

254

Fator ampliação

- O fator de ampliação de um telescópio é obtido pela divisão da distância focal da objetiva pela distância focal da ocular.
- Na prática, a ampliação máxima tolerável para observação é cerca de duas vezes o valor da objetiva em mm. Ou seja, um telescópio de 200 mm forma uma imagem aceitável com ampliação de 400 vezes, no máximo.
- O ideal é que esse valor não passe de 1 vez por mm, ou seja, o exemplo anterior seria 200 vezes. Ou menos.
- Quanto maior o fator de ampliação, mais escura a imagem vai se tornando. Isso remete que um telescópio de 50 mm não terá capacidade de ampliar 400 ou 500 vezes, pois a imagem será tão escura que não poderá ser vista nitidamente.

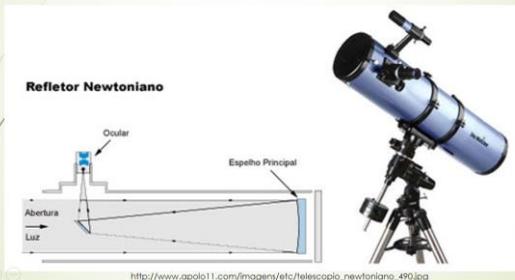
255

Telescópios refletores

- Como já foi dito, telescópios refletores utilizam um espelho principal, um espelho secundário e uma ocular.
- Há vários modelos de telescópios refletores. Os mais comuns são os Newtonianos, os Schmidt - Cassegrain, os Coudé.

256

Newtonianos



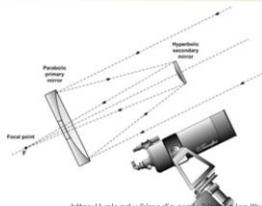
257

Casegrain

- Casegrain "Clássico" a onda eletromagnética é captada pelo espelho primário parabólico, reflete para o secundário hiperbólico que a reflete novamente e esta passa pelo buraco central do espelho primário onde é captada pelo equipamento instalado no telescópio ou radiotelescópio.



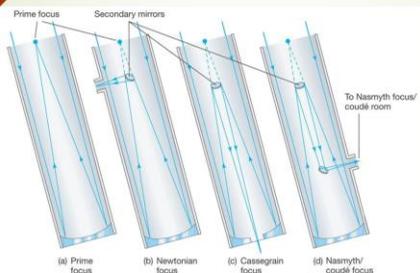
<http://astronomer.wipeng.net/astro-ich.com/wp-content/uploads/2009/08/Schmidt-Cassegrain-Telescope.jpg>



https://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/thumb/2/2c/Cassegrain_reflector_telescope_cassegrain.png

258

Coudé



<http://slideplayer.com/slide/893520/27/images/7/Optical+Telescope+types+of+reflecing+telescope.jpg>

A diferença básica entre os diferentes tipos de construção é o tipo de associação de lentes e espelhos para direcionar os raios de luz que é feito.

259

Bases - montagens

- As duas montagens mais comuns são as montagens equatoriais e as montagens altazimutais do tipo dobsonianas.
- Montagem equatorial:



http://rimax-img.de/fozoutbilder/zoom/14318_1/Canon-Astro-View-EQ-3-montagem-equatorial.jpg



http://www.apolo11.com/images/etc/montagem_equat.jpg

260

Montagem Dobsoniana



<http://www.astrosop.com.br/imagens/kywatcherg/dob12flex-d1.jpg>



http://www.astrourf.com/camera/mg/equlp/bsw20_10.jpg

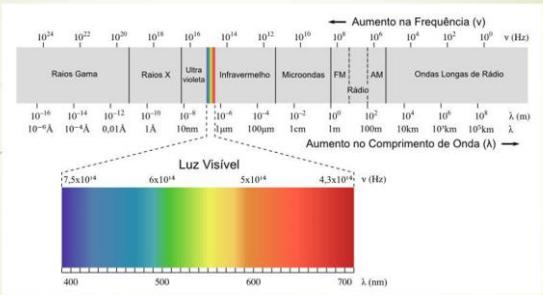
<https://hr2011.com.br/wordpress.com/2013/04/refletordob.jpg>

261

Telescópios profissionais

- Os telescópios profissionais geralmente contam com espelhos grandes, e podem captar, além da luz visível, ultravioleta, raios X, raios gama, infravermelhos, e ondas de rádio.
- A maioria dos Telescópios são feitos para trabalhar com uma faixa específica de frequências.
- Por exemplo, radiotelescópios não captam raios X, porém captam frequências próximas a que são fabricadas para trabalhar.

262



← Aumento na Frequência (ν)

10²⁴ 10²² 10²⁰ 10¹⁸ 10¹⁶ 10¹⁴ 10¹² 10¹⁰ 10⁸ 10⁶ 10⁴ 10² 10⁰ ν (Hz)

Raios Gama Raios X Ultra violeta Infravermelho Microondas FM Rádio AM Rádio Ondas Longas de Rádio

10⁻²² 10⁻¹⁶ 10⁻¹⁰ 10⁻⁴ 10⁰ 10⁴ 10⁸ 10¹² 10¹⁶ 10²⁰ 10²⁴ λ (m)

10⁻²²Å 10⁻¹⁶Å 0.01Å 1Å 10nm 1µm 100µm 1cm 1m 100m 10km 10⁵km 10⁹km λ

← Aumento no Comprimento de Onda (λ)

Luz Visível

7.5x10¹⁴ 6x10¹⁴ 5x10¹⁴ 4.3x10¹⁴ ν (Hz)

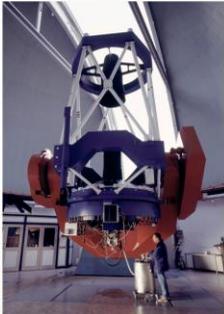
400 500 600 700 λ (nm)

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/f/fb/EM_spectrum_pt.svg/300pxEM_spectrum_pt.svg.png

263

Telescópios ultravioleta

- Telescópio MPG de 2,2 m. Observatório de La Silla, no Chile. Capta luz visível e infravermelho, além do ultravioleta.



<http://www.eso.org/sci/la-silla/realis/telescopes/2p2/images/2.2m-normal.jpg>

264

- Nebulosa da Gaviota - localizada entre as constelações do Cão Maior e do Unicórnio, em um dos braços espirais da Via Láctea, fotografado em UV pelo MPG.



<https://www.eso.org/public/brazil/news/eso1306/>

265

Telescópio de raios X

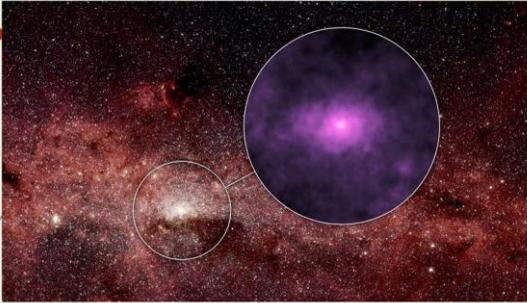
- Raios X são absorvidos pela atmosfera terrestre, dessa forma, há a necessidade do telescópio estar em órbita ou em balões estratosféricos.
- Diferente de um óptico, ele não possui um espelho primário. No lugar há placas de cerâmica ou de metal para refletir os raios X em um ponto onde se encontra o sensor.



Telescópio Chandra. <https://www.it.ufpa.br/crel/camiadebom/img/chandra.jpg>

266

<https://photojournal.jpl.nasa.gov/jpeg/PIA19384.jpg>



- Região de cerca de 40 anos-luz de extensão em torno do buraco negro supermassivo da nossa galáxia – a Via-Láctea visto por raios X

267



<http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/imagens/010175141228-sol-nulstar.jpg>

- Sol visto em raios X

268

Radiotelescópios

- Um radiotelescópio observa as ondas de rádio emitidas por fontes de rádio, normalmente através de uma ou um conjunto de antenas parabólicas de grandes dimensões.

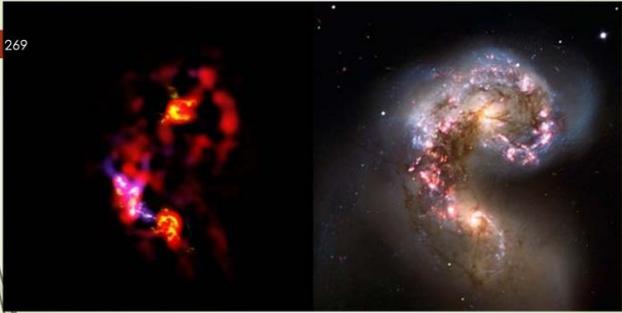


<http://a.globo.com/po/fotos/original/2012/11/12/quanto-maior-o-diametro-do-disco-maior-a-resolucao-das-imagens-produzidas-foto-reproducao-1.jpg>



<http://a.globo.com/po/fotos/original/2012/11/12/o-observatorio-de-arecibo-que-fica-em-porto-rico-e-um-dos-maiores-radiotelescopios-foto-reproducao-wikia.jpg>

269



■ Mesma imagem produzida pelo ALMA e pelo VLT. O primeiro um radiotelescópio e o segundo um telescópio óptico.

270

Infravermelho

■ Por se aproximar da luz visível, ajuda a identificar algumas regiões em nebulosas, por exemplo.



Nebulosa de orion

Esquerda luz visível
Direita luz infravermelha

Crédito: ESO/J. Emerson/VISTA & R. Gendler/Cambridge Astronomical Survey Unit

271

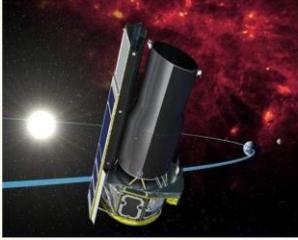


Mesma imagem de antes, vindo de antes, vindo um recorte da imagem original.

Crédito: ESO/J. Emerson/VISTA & R. Gendler/Cambridge Astronomical Survey Unit

272

Telescópio Infravermelho Spitzer



Fonte:
<http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticia/ou/magens/01/0803090512-spitzer-querite.jpg>

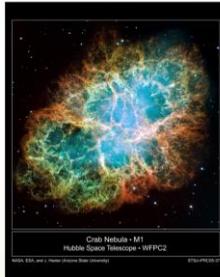
273

Catálogo de Messier

- O catálogo de Messier é um catálogo que teve o propósito de identificar nebulosas que não eram cometa, pois Messier procurava por eles no céu.
- Então ele catalogou todos os objetos que não eram cometas nem estrelas ou planetas, para que não fossem confundidos com cometas.
- Esse catálogo é foi construído por Charles Messier no chamado Catálogo de Nebulosas e Aglomerados Estelares publicado originalmente em 1771.
- A primeira edição, de 1771, incluía 45 objetos, e a terceira e última edição, de 1781, incluía 103 objetos. Outros astrônomos, baseados em notas de Messier, elevaram o número de objetos para 110.
- Os objetos desse catálogo recebem a numeração de M1 a M110.

274

M1 – Nebulosa do caranguejo – ou NGC 1952



Crab Nebula - M1
 Hubble Space Telescope - WFPC2



278

M58 - ou NGC 4579



279

M64 - NGC 4826 - Galáxia olho negro



280

Constelações

Agrupamentos aparentes de estrelas.

- Astrónomos da antiguidade imaginaram formar figuras de pessoas, objetos e animais;
- A maioria são de difícil identificação.

281

- Auxiliam na separação do céu em unidades menores.
- Em uma noite escura é possível ver muitas estrelas, sendo cada uma pertencente a uma constelação.



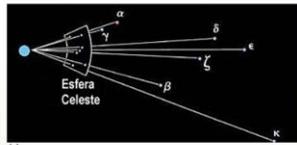
282

- A figura que a forma é feita por estrelas que estão distantes entre si.
- Portanto essa configuração só é vista daqui.



(a)

(b)



(c)

283

Zodíaco

- As constelações do zodíaco (círculo de animais), definida por Aristóteles.



284

Zodiaco o conjunto de constelações ao longo da eclíptica (o caminho aparente percorrido pelo Sol durante o ano). As 13 constelações que compõem o zodiaco, pela divisão feita pela União Astronômica Internacional em 1930, são

CONSTELAÇÃO	SIGNIFICADO	PERÍODO	PERMANÊNCIA
01 Capricornus	Capricórnio	de Jan.20 a Fev.16	28 dias
02 Aquarius	Aquário	de Fev.17 a Mar.11	23 dias
03 Pisces	Peixes	de Mar.12 a Abr.10	30 dias
04 Aries	Carneiro	de Abr.19 a Mai.13	25 dias
05 Taurus	Touro	de Mai.14 a Jun.21	39 dias
06 Gemini	Gêmeos	de Jun.22 a Jul.20	29 dias
07 Cancer	Caranguejo	de Jul.21 a Ago.10	21 dias
08 Leo	Leão	de Ago.11 a Set.16	37 dias
09 Virgo	Virgem	de Set.17 a Out.30	44 dias
10 Libra	Balança	de Out.31 a Nov.22	23 dias
11 Scorpius	Escorpião	de Nov.23 a Nov.29	07 dias
12 Ophiuchus	Serpentário	de Nov.30 a Dez.17	18 dias
13 Sagittarius	Sagitário	de Dez.18 a Jan.19	33 dias

285

Stellarium

- É um software freeware, ou seja, não tem custo de compra ou de instalação.
- Simula, através de cálculos, todas as posições das estrelas e planetas no céu, na data e horário a serem escolhidos pelo observador.
- É importante para localizar um corpo no céu



Fonte: Software Stellarium.

286

Fim

- Apresentação criada por Evandro Luis da Cunha, como produto do curso de mestrado profissional em Ensino de Física – MINPEF, pelo UFSC – Florianópolis, sob orientação do professor Dr. Gerson Renzetti Ouriques.

Florianópolis – Julho de 2017.

Última edição: outubro de 2017.

Créditos das imagens: Evandro da Cunha – Slides do curso de Astronomia.

APÊNDICE E – CONSTRUÇÃO DE UM ESPECTROSCÓPIO

Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Física – MNPEF – Polo UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina.

Apêndice integrante da dissertação de mestrado cujo título é: “Da Astronomia Básica à Astrofísica: Um Curso para Ensino Médio”, desenvolvida pelo mestrando Evandro Luis da Cunha sob Orientação do professor Dr. Gerson Renzetti Ouriques.

O presente material foi desenvolvido utilizando a ideia originalmente proposta pela Sociedade Brasileira de Física - SBF e entregue aos mestrandos dos polos em diferentes universidades, que pode ser acessado em <http://www.sbfisica.org.br/v1/arquivos_diversos/light2015/Espectroscopio_SBF.pdf>;

Um espectroscópio pode ser construído utilizando-se de prismas, conforme efeitos descritos no apêndice A.6.3, ou através de redes de difração, que diferentemente do prisma, a separação do espectro ocorre devido a interferência e não à refração da luz. Um feixe de luz, não sendo monocromático, se propaga sempre com a mesma velocidade, que é independente de sua frequência, por outro lado, o comprimento de onda associado deve mudar, para que essa característica seja mantida.

Eles estão relacionados pela equação:

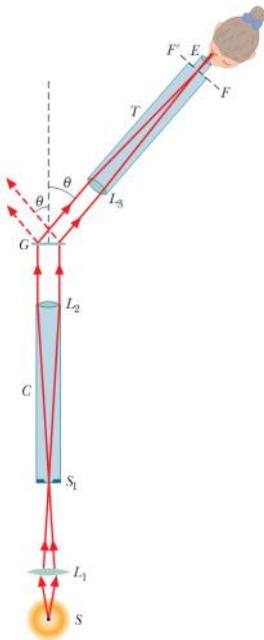
$$v = \lambda \cdot f$$

Onde: v é a velocidade da luz no material, λ é o comprimento de onda associado a uma frequência específica e f é essa frequência.

A equação da difração por fendas nos permite perceber que os pontos de máximos dependem do comprimento de onda, portanto da frequência da onda incidente.

$$d \sin \theta = m\lambda$$

Onde d é o valor da separação entre as raias da rede, e m é chamado de número de ordem (0, 1, 2, 3, ..., n). Já o ângulo é em relação a um eixo entre a reta que une a fonte e a fenda primária, e ao valor de m desejado. A figura a seguir mostra uma linha de difração que apareceria para uma pessoa que observasse um espectroscópio típico.



Fonte: HALLIDAY, D; RESNICK, R; Walker J. **Fundamentos de Física – Óptica e Física Moderna, volume 4.** 9ª edição, Rio de Janeiro, LTC, 2012, p. 124.

Nessa imagem, temos a fonte de luz S (como uma estrela) emitindo luz policromática, um feixe da luz incidente passa pela lente L_1 , que a faz passar pela fenda S_1 , sendo paralelizada novamente pela lente L_2 (como ocorre, por exemplo, em um telescópio), em seguida esse feixe de raios paralelos incide na rede de difração G , que difrata os raios de luz de acordo com seus comprimentos de onda. Essa rede de difração produz duas figuras de difração simétricas ao eixo do colimador (tubo c).

Assim, um observador, ao olhar por um espectroscópio, perceberá regiões onde, por exemplo, a luz vermelha sofrerá interferências construtivas e predominará, enquanto isso, as outras frequências sofrem interferência destrutiva nesse ponto, portanto não sendo percebidas; porém logo ao lado, a interferência construtiva se dá para outra frequência (próxima a da luz vermelha, como o verde por exemplo), mais ao lado, interferência construtiva para o amarelo, posteriormente azul e violeta e assim acaba por completar o espectro visível.

Nesse experimento, um corte em um *cap* (tampa de tubo de PVC) fará o papel da fenda que limita a intensidade dos raios luminosos e os direciona à nossa rede de difração.

A rede de difração, em nosso caso, será a superfície de um *Compact Disc (CD)* do qual foi retirada a camada reflexiva e opaca. Um CD tem tipicamente ranhuras com cerca de 1,2 micrometros de largura, se comportando, portanto como uma rede de difração com cerca de 830 ranhuras por milímetros, enquanto em um DVD, a largura é de cerca de 0,5 micrometros, tendo, portanto, cerca de 2000 ranhuras por milímetros. Uma única observação importante a ser feita é que, devido ao formato discoidal do CD, as ranhuras não são planas e sim concêntricas.

A largura da fenda no *cap* influencia na nitidez de separação do espectro, portanto, se fosse possível construir uma fenda ajustável, conseguiríamos proporcionar mais nitidez das raias de absorção ou emissão presentes no espectro visível, porém como a espessura de uma serra de metal é constante, temos sempre uma largura fixa.

Para construir o nosso espectroscópio, precisamos das seguintes ferramentas e materiais:

Ferramentas:

- Serra de cortar ferro;
- Estilete;
- Tesoura.

Materiais:

- 20 cm de cano de PVC, 20 mm;
- 1 luva soldável para emendar cano de PVC 20 mm;
- 25 cm de cano PVC 25 mm;
- 1 *cap* soldável para cano de PVC 25 mm
- 1 CD;
- Fita isolante ou papel *contact*.
- Fita adesiva *Silvertape* que seja bem adesiva à superfície.

Procedimento:

Vamos precisar recortar um disco de diâmetro 19 mm do CD para servir de rede de difração. O processo abaixo descreve como vamos proceder para retirar a película do CD. É indiferente no resultado final retirar a película antes ou depois de realizar o recorte. A utilização de CDs velhos, que já estejam descolando, facilita e muito nesse serviço, porém deve-se tomar o cuidado de verificar se ele não está riscado. Para a

remoção da película, foi utilizado fita adesiva *Silvertape*. Essa fita colada sobre a superfície do CD e posteriormente puxada traz consigo a parte brilhante (onde ficam gravados os dados).

Na figura 83, temos o CD já sem a película, pronto para ser recortado e formar nossa rede de difração.

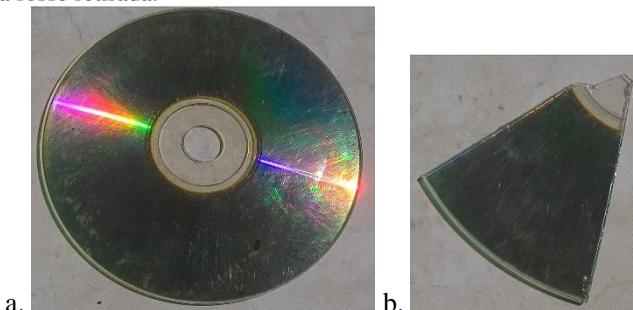
Figura 83: CD sem a película onde os dados são gravados.



Fonte: O autor.

Outra alternativa é cortar o pedaço necessário antes de retirar a película, conforme figura 84b, isso facilita em casos de difícil remoção.

Figura 84a: CD antes de retirar a película. 84b: Recorte realizado sem que a película fosse retirada.



Fonte: O autor.

Caso tenha optado por retirar a película após o corte, recorte uma fatia do CD e utilize a fita adesiva nessa etapa para sua remoção. Após removida a película, por qualquer meio, recorte o quadrado de 25 mm de lado figura 85.

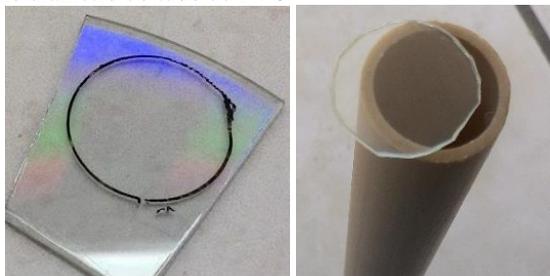
Figura 85: Rede de difração já cortada nas dimensões aproximadas de 25 mm.



Fonte: O autor.

Com a rede de difração já pronta, devemos utilizar uma tesoura ou estilete para cortar ela de forma próxima a circular, com diâmetro levemente menor que o do tubo de PVC (19 mm), conforme observável na figura 86.

Figura 86: Rede de difração recortada de forma circular, com aproximadamente o mesmo diâmetro do tubo de PVC



Fonte: O autor.

Em seguida, vamos fazer o corte da fenda para entrada de luz, no *cap*. Para isso, na parte de cima dele, faça um corte com aproximadamente 0,5 cm de profundidade, utilizando para tal a serra de cortar ferro. A figura 87 exemplifica o processo.

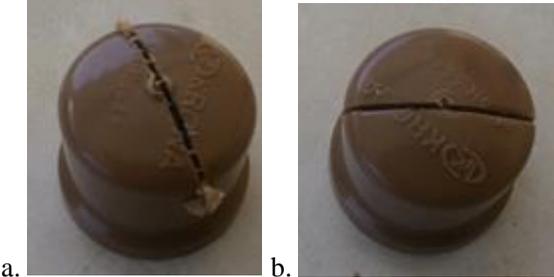
Figura 87: Corte do cap 25 mm com a serra de cortar ferro.



Fonte: O autor.

Com o *cap* cortado, utilize o estilete para retirar as sobras e rebarbas de PVC do corte feito. Veja a figura 88a. com as rebarbas e a figura 88b. sem elas.

Figura 88a: Cap com as rebarbas. 88b. Após a limpeza das sobras e rebarbas.



Fonte: O autor.

Em seguida, corte um pedaço de 20 cm do cano de PVC de 20 mm de diâmetro e revista-o com fita isolante para bloquear a passagem da luz (deixe 2 centímetros no final do cano sem fita), conforme pode-se observar na figura 89.

Figura 89: Pedaço de cano 20 mm com 20 cm de comprimento, já revestido com a fita isolante para bloquear a passagem da luz.



Fonte: O autor.

Cubra o cano de 25 mm também com a fita isolante, de modo a bloquear a passagem da luz através do cano.

Nessa etapa, temos todas as peças necessárias (figura 90), basta iniciar a montagem do nosso espectroscópio, conforme sequência a seguir.

Figura 90: Cano de PVC 20 mm e 25 mm, de 20 cm e 25 cm de comprimento respectivamente, *cap* com o corte da fenda, rede de difração obtida a partir do CD e uma luva de 20 mm.



Fonte: O autor.

Para montagem, basta inserir dentro da luva, o disco de difração que recortamos, até ele encaixar no rebaixo que existe internamente, na luva.

Em seguida colocar o tubo de 20 mm de modo a prensar o disco contra o rebaixo. Já no tubo de 25 mm, encaixe o *cap* cortado (com a fenda), de acordo com a figura 91.

Figura 91: Montagem do espectroscópio.



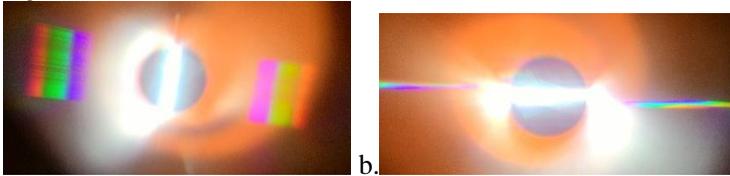
Fonte: O autor.

Para utilizá-lo, basta encaixar o cano de 20 mm dentro do cano de 25 mm. Observação: Provavelmente ficará folgado, mas podemos fazer o ajuste utilizando mais uma ou duas voltas de fita isolante na ponta do cano de 20 mm de modo a deslizar suavemente.

O próximo passo é ajustar a posição da fenda em relação à posição da rede de difração. A fenda deve estar paralela à rede de difração, para tanto, basta apontar o lado que contém a fenda para uma fonte luminosa (exceto o Sol direto) e observar no lado oposto, fazendo rotacionar o tubo de 20 mm até obter a figura mais larga o possível para o espectro. Se apontar para uma lâmpada, percebe-se os espectros de emissão do gás dessa lâmpada. O ajuste de nitidez é feito aumentando ou diminuindo o comprimento do cano. Se surgirem reflexos internos, pode-se lixar o interior dos canos acoplando uma lixa qualquer em uma haste metálica, e esta, sendo acoplada em uma furadeira ou parafusadeira.

A figura 92a mostra como o espectro fica visível com um alinhamento correto e com um alinhamento incorreto (92b).

Figura 92a: Alinhamento correto e 92b. com um alinhamento incorreto.



Fonte: O autor.

A figura 93 mostra o espectroscópio pronto para ser utilizado, em sua distensão máxima e sua distensão mínima.

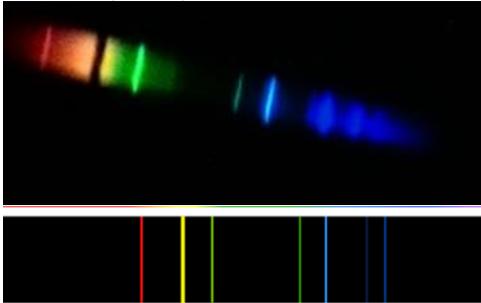
Figura 93: espectroscópio pronto, quando estendido (acima) e quando fechado (abaixo).



Fonte: O autor.

A figura 94 compara o espectro de uma lâmpada de Sódio quando observado pelo espectroscópio por nós construído.

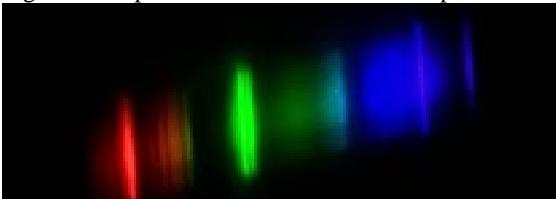
Figura 94: Espectro da lâmpada de Sódio (não pura) visto pelo espectroscópio (acima) com o real (abaixo).



Fonte: figura acima: O autor e figura abaixo: disponível em: <http://fisquiweb.es/Laboratorio/Espectroscopia/EspectroLampNa.bmp>.

Já para uma lâmpada compacta, a base de mercúrio, podemos ver os picos de emissão. Porém esse não é o espectro do Mercúrio em si, mas sim o espectro dele mesclado com o espectro do revestimento de Fósforo e de algumas impurezas da lâmpada.

Figura 95: espectro de emissão de uma lâmpada fluorescente compacta.



Fonte: figura acima: o autor.

Os créditos desse experimento pertencem à SBF, que propôs o espectroscópio, cabendo ao autor somente a adaptação de dimensões e materiais que forneceram melhores resultados.

APÊNDICE F – PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL - DISTÂNCIAS ESPACIAIS DO SISTEMA SOLAR

Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Física – MNPEF – Polo UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina.

Apêndice integrante da dissertação de mestrado cujo título é: “Da Astronomia Básica à Astrofísica: um curso para Ensino Médio”, desenvolvida pelo mestrando Evandro Luis da Cunha sob Orientação do professor Dr. Gerson Renzetti Ouriques.

Objetivo: Compreender a real dimensão espacial entre cada planeta ou corpos do sistema solar.

Duração: 1 aula de 1 hora.

Materiais utilizados:

- Tabela de distâncias entre os corpos do sistema solar
- Trena
- Fita crepe
- Fio/barbante com comprimento superior a 25 m;
- Suportes para prender o fio (pode ser amarrado a uma árvore, estaca ou mesmo colado na parede com a fita crepe.
- Caneta
- Calculadora

Procedimento Experimental:

Professor:

Reunir grupos de 5 integrantes no máximo. Entregue a fita crepe para cada grupo.

Peça para esticar o fio de 25 m no chão, e após isso, peça para fazer uma marcação na linha, com uma caneta ou pincel de quadro branco, de forma a representar as posições dos 8 planetas, sobre essa linha.

Eles não podem consultar anotações.

Após isso, entregue esse roteiro para cada integrante da equipe.

Aluno:

Com a tabela abaixo, escolha uma proporção de equivalência (escala). Por exemplo, cada 1 cm valem 5 milhões de quilômetros e calcule a proporção de distância entre o Sol e os planetas. A distância real está dada na tabela.

Com essa proporção escolhida, a equação de conversão fica:

$$p_c = \frac{d_r}{5.10^6} \text{ onde: } \quad p_c = \text{posição do corpo celeste (cm)}$$

$$d_r = \text{distância real (km)}$$

Efetue os cálculos e complete a tabela abaixo.

Planetas / Corpos celestes	Distância média ao Sol (km)	Distância até o Sol (na escala): 1 cm = 5 milhões de km
Mercúrio	57.910.000	
Vênus	108.200.000	
Terra	149.600.000	
Marte	227.940.000	
Ceres / cinturão de asteroides	414.000.000	
Júpiter	778.330.000	
Saturno	1.429.400.000	
Urano	2.870.990.000	
Netuno	4.504.300.000	
Plutão	5.922.000.000	
Éris	10.149.000.000	
* próxima Centauri	4,23 AL	

* Próxima Centauri é a estrela mais perto de nós, depois do Sol. 1 AL (Ano-Luz) = $9,461 \cdot 10^{12}$ km. Não é possível colocar na nossa atividade prática essa distância, pois nessa escala, será cerca de 80 km.

Com a tabela completa, volte para o fio que você esticou antes entre dois suportes.

Agora marque o ponto inicial colando a fita crepe no fio e escrevendo nela SOL. Assim, ela representa o nosso Sol.

Com a trena, meça a distância do primeiro planeta, Mercúrio. Com a escala de $1 \text{ cm} : 5 \cdot 10^6 \text{ km}$, essa distância será de 11,6 cm. Escreva **MERCÚRIO** na fita e cole-a no fio.

Faça isso com todos os planetas. O último de nossa tabela, nessa escala será de 20,3 m.

Compare os pontos que você marcou inicialmente com os pontos onde está colada a fita crepe.

Quais suas conclusões a partir desse experimento? Sua escala estava correta inicialmente?

APÊNDICE G – PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL - COMPARAÇÃO DE TAMANHOS DOS PLANETAS COM O SOL

Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Física – MNPEF – Polo UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina.

Apêndice integrante da dissertação de mestrado cujo título é: “Da Astronomia Básica à Astrofísica: um curso para Ensino Médio”, desenvolvida pelo mestrando Evandro Luis da Cunha sob Orientação do professor Dr. Gerson Renzetti Ouriques.

Objetivo: Compreender a real dimensão do Sol perante os outros planetas do Sistema Solar.

Duração: 1 aula de 1 hora.

Materiais utilizados:

- Tabela de diâmetros dos corpos celestes
- Régua
- Fita crepe
- Fio/barbante com comprimento de 3 metros;
- Suportes para prender o fio (pode ser amarrado a uma árvore, estaca ou mesmo colado na parede com a fita crepe.
- Caneta
- Calculadora
- Tesoura
- Cartolina

Procedimento Experimental:

Ao professor:

Reunir grupos de 5 integrantes. No primeiro momento, entregue a cada grupo duas folhas de cartolina e tesoura. Peça que eles recortem 8 discos representando os planetas e 1 disco representando o Sol. Não podem consultar anotações sobre os diâmetros dos planetas ou do Sol.

Ao aluno:

Estique a linha entre dois pontos.

Prenda-a bem firme.

Complete a tabela abaixo e recorte os planetas na cartolina.

Responda o questionário.

Efetue os cálculos para completar a tabela sobre o tamanho dos corpos em relação ao Sol. A equação utilizada nesse caso é:

$$d_e = \frac{d}{1,39} \quad \begin{array}{l} d_e = \text{diâmetro em escala (m)} \\ d_r = \text{distância real (km)} \end{array}$$

Corpo	Diâmetro equatorial médio (km)	Diâmetro do astro sendo o Sol igual a 1 m.
Sol	1.390.000	
Mercúrio	4.879,4	
Vênus	12.103,6	
Terra	12.756,2	
Lua	3.476	
Marte	6.794,4	
Ceres	914	
Júpiter	142.984	
Saturno	120.536	
Urano	51.118	
Netuno	49.538	
Plutão	2.320	
Éris	3.094	

Questionário:

1. Por que essa atividade experimental fica inviável de ser feita em escala de diâmetros e de distâncias ao mesmo tempo?
2. Complete a tabela abaixo, supondo que fizéssemos a atividade da questão número 1, utilizando como base os diâmetros do Sol

sendo igual a 1 metro. $p_e = \frac{d_r}{d_s}$

Onde: p_e = posição da escala (m)
 d_r = distância real (km)
 d_s = diâmetro do Sol ($1,39 \cdot 10^6$ km)

Corpo	Diâmetro equatorial médio (km)	Distância média ao Sol (km)	Diâmetro do astro sendo o Sol igual a 1 m.	Distância equivalente a escala 1 m : 1,39.10 ⁶ km
Sol	1.390.000	0	1	0
Mercúrio	4.879,4	57.910.000		
Vênus	12.103,6	108.200.000		
Terra	12.756,2	149.600.000		
Lua	3.476	xxxxxxx		
Marte	6.794,4	227.940.000		
Ceres	914	414.000.000		
Júpiter	142.984	778.330.000		
Saturno	120.536	1.429.400.000		
Urano	51.118	2.870.990.000		
Netuno	49.538	4.504.300.000		
Plutão	2.320	5.922.000.000		
Éris	3.094	10.149.000.000		

3. Se nessa última escala, o diâmetro do Sol for 1 metro, a que distância se encontraria o primeiro planeta, ou seja, Mercúrio?
4. Em nossa escala de 1 metro sendo igual ao diâmetro do Sol, a que distância (km) deveríamos colocar Éris? E a Terra?
5. Também nessa mesma escala, a quantos centímetros da Terra, a lua estaria localizada? Dado: distância média entre eles igual a 384 400 km.
6. Próxima Centauri estaria localizada a quantos km do Sol nessa escala?
7. O quão próxima ficou, dos valores reais, suas maquetes recortadas na cartolina ficaram?
 - a. idênticas
 - b. bem próximas
 - c. razoavelmente corretas
 - d. bem distante da realidade
 - e. Outra resposta _____
8. O que você achou dessa atividade? Cite pontos positivos e negativos.

A tabela completa do apêndice F e G ficaria dessa forma:

Astro	Distância do Sol (km)	Diâmetro (km)	distância (m)	diâmetro (cm)
Sol	0	1.390.000	0,00	100,00
Mercúrio	57.910.000	4.879	41,66	0,35
Vênus	108.200.000	12.104	77,84	0,87
Terra	149.600.000	12.756	107,63	0,92
Lua	149.600.000	3.476	107,63	0,25
Marte	227.940.000	6.794	163,99	0,49
Ceres	414.000.000	914	297,84	0,07
Júpiter	778.330.000	142.984	559,95	10,29
Saturno	1.429.400.000	120.536	1028,35	8,67
Urano	2.870.990.000	51.118	2065,46	3,68
Netuno	4.504.300.000	49.538	3240,50	3,56
Plutão	5.922.000.000	2.320	4260,43	0,17
Éris	10.149.000.000	3.094	7301,44	0,22

APÊNDICE H – PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL – MEDINDO DISTÂNCIAS ATRAVÉS DO ÂNGULO DE PARALAXE

Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Física – MNPEF – Polo UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina.

Apêndice integrante da dissertação de mestrado cujo título é: “Da Astronomia Básica à Astrofísica: um curso para Ensino Médio”, adaptada pelo mestrando Evandro Luis da Cunha sob Orientação do professor Dr. Gerson Renzetti Ouriques, do experimento realizado por Leandro de Oliveira Kerber, disponível em <http://www.if.ufrgs.br/oei/exp/paralaxe.htm>.

MATERIAL NECESSÁRIO:

Régua de 60 cm

Cabo de vassoura ou outra madeira leve e reta de aproximadamente 1 metro de comprimento

Pedaço de madeira de 50 cm

3 parafusos finos e compridos

Trena

Fio de nylon ou qualquer outro tipo de fio flexível

OBJETIVO E PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Separar em grupos com 4 integrantes cada para construir um compasso celeste para medir os ângulos entre dois corpos e posteriormente, através da paralaxe calcular a distância entre eles.

Para construir o compasso celeste, faça 3 furos nas régua. Dois nas extremidades (0 cm e 60 cm), onde serão presos os fios de nylon e um exatamente no centro (30 cm)



Com o parafuso no furo do meio da régua, prenda ela exatamente no centro de uma das extremidades do cabo de vassoura



Coloque outro parafuso na extremidade oposta a que se localiza a régua. Esse parafuso será utilizado para amarrar o fio de nylon.
 Amare as extremidades da régua, curvando-a levemente de forma a obter um arco de semicírculo e prenda o fio na extremidade oposta, de forma que não se desfaça.



Pegue o outro pedaço de madeira e prenda-o com um parafuso central perpendicularmente no cabo de vassoura, esse será nosso ESQUADRO.

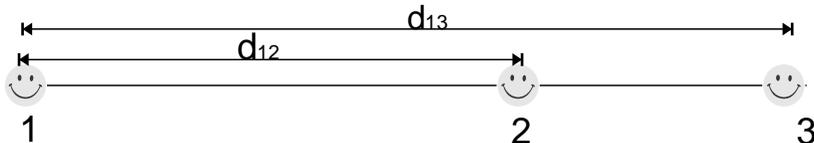


Está pronto o compasso celeste.



O compasso celeste será utilizado para medir os ângulos de paralaxe entre os corpos adotados. Com o uso dele, podemos medir distâncias entre corpos sem estarmos próximos a eles. Exatamente como fazemos com estrelas.

Para isso, precisamos alinhar 3 alunos conforme a figura a seguir:



Onde:

1 é o observador, que estará com o compasso celeste.

2 é o aluno que representa a estrela A, que está mais próxima de nós.

3 é o aluno B que representa as estrelas de fundo.

d_{12} é a distância entre o observador e a estrela A

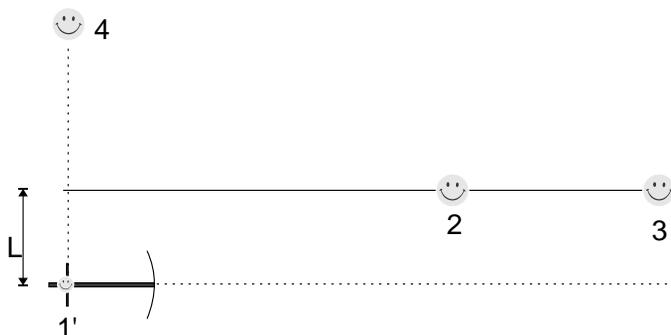
d_{13} é a distância entre o observador e a estrela B

Um aluno (4) deve se posicionar ao lado do observador, formando um T. Ele deve estar alinhado com o esquadro construído sobre o compasso, ou seja, a madeira perpendicular sobre o cabo de vassoura deve estar apontando para ele.



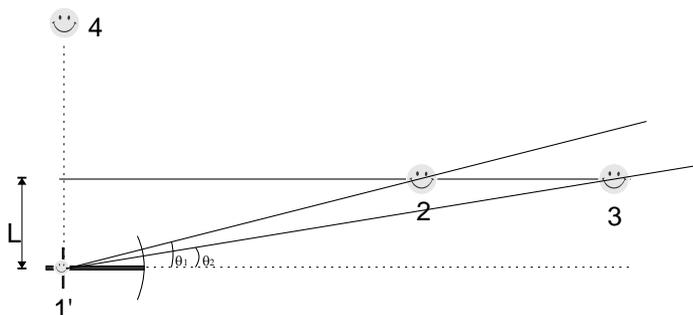
Agora, simularemos uma passagem de tempo, no qual o aluno observador estará se deslocando a uma distância lateral L do seu ponto de origem. É importante que esse deslocamento seja perpendicular aos alunos “estrelas”. Essa nova posição do observador será chamada de $1'$.

A distância L percorrida por ele deve ser anotada na tabela. Isso é equivalente a Terra em um lado do Sol em janeiro e no lado oposto em julho, ou seja, ao diâmetro da órbita terrestre.



O compasso celeste deve ser apontado não para a estrela, mas sim em paralelo com o ponto que apontava antes (linha horizontal pontilhada). Para isso, verifique se o “esquadro” continua ainda apontando para o aluno 4.

Agora é só ver qual o ângulo entre a reta pontilhada e a posição do aluno “1’,2” e a posição do aluno “1’,3”. Para isso, observe através da régua, que é transparente, qual a numeração (dos centímetros) onde se encontra a estrela 1 e a estrela 2. Use como se fosse uma mira para ter maior precisão (tomar cuidado para não desalinhar com o aluno referência (4)).



O ângulo é obtido através da equação da posição angular.

$$\theta = \frac{S}{R}$$

Onde S é o arco percorrido (observado na régua) e R é o Raio da circunferência (o tamanho do cabo da vassoura).

Supondo que o aluno 1 (vamos chamar de objeto A) está exatamente atrás do número 20. Isso significa que o deslocamento S é de 10 cm (30 cm (centro da régua de 60 cm) – 20 cm). Assim supondo que o cabo tenha 80 cm de comprimento, então o ângulo será de:

$$\theta = \frac{S}{R} \quad \theta = \frac{10}{80} \quad \theta = 0,125 \text{ rad}$$

Para converter em graus, basta lembrar que $180^\circ = \pi \text{ rad} = 3,1416 \text{ rad}$.

Portanto:

$$\theta^\circ = \frac{180^\circ \cdot \theta_{\text{rad}}}{3,1416}$$

De forma que: $\theta = 7,162^\circ$

Sabendo que a tangente de um ângulo é o cateto oposto dividido pelo cateto adjacente, e que nosso cateto oposto é a distância L e o nosso cateto adjacente é a distância dA , obtemos:

$$\tan \theta = \frac{L}{dA} \quad dA = \frac{L}{\tan \theta}$$

Ou seja, supondo que o observador “1” deslocou-se 4 metros para o lado, temos que a distância dA é:

$$dA = \frac{L}{\tan \theta} \quad dA = \frac{4}{\tan 7,162^\circ} \quad dA = 31,83 \text{ m}$$

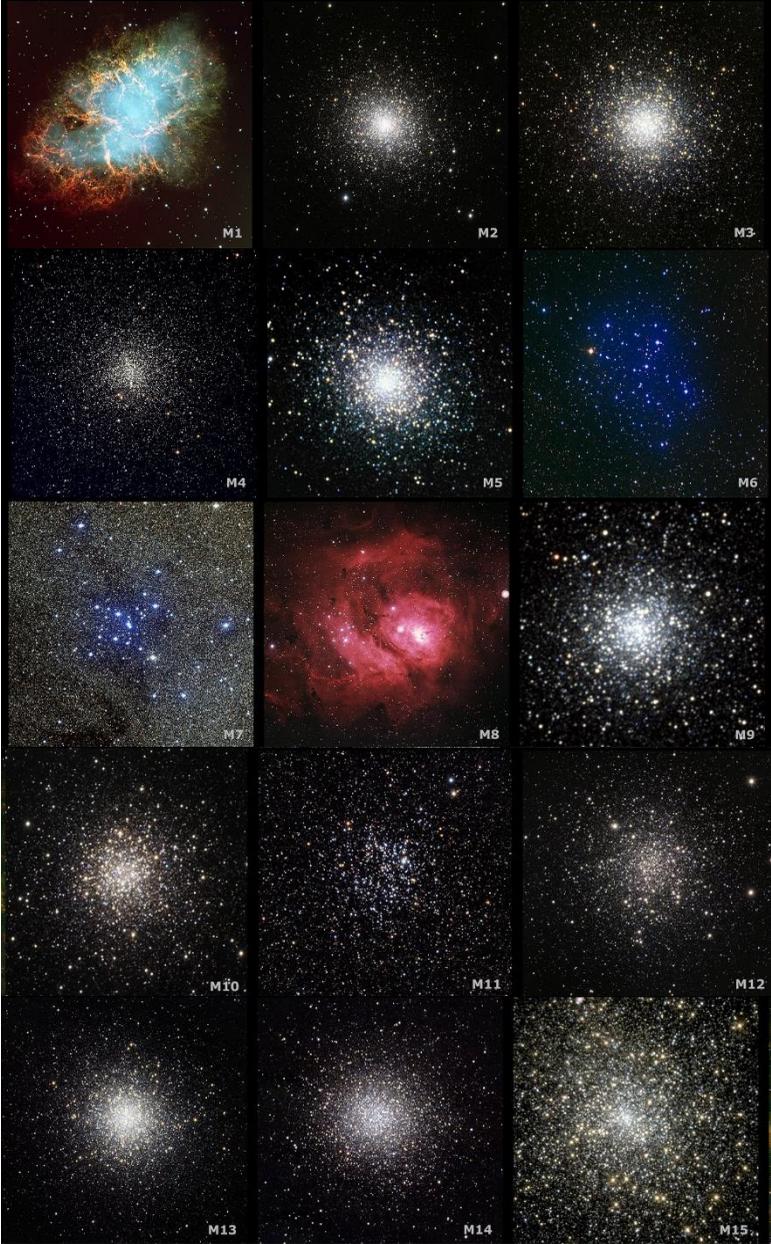
O erro percentual é obtido medindo a distância com uma trena e usando a equação:

$$\% = 100 \frac{|d(\text{paralaxe}) - d(\text{trena})|}{d(\text{trena})}$$

Complete a tabela abaixo usando os dados obtidos.

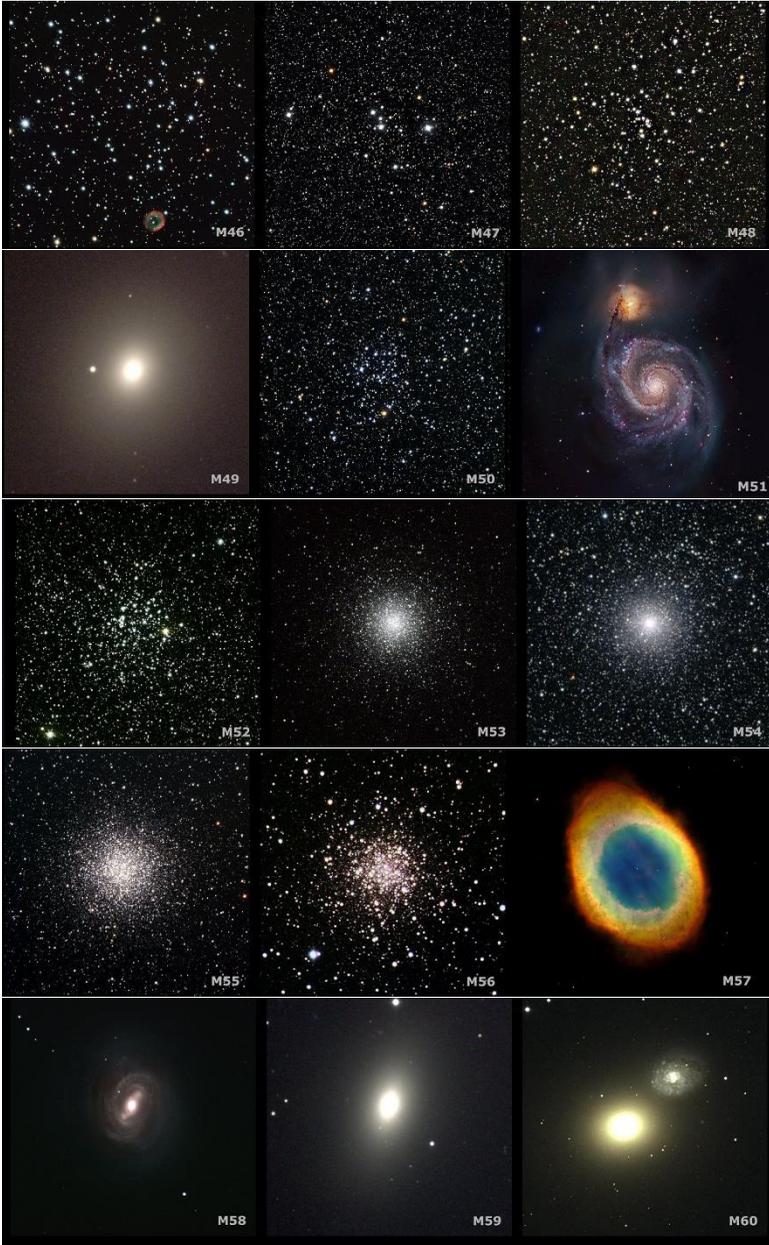
L=	Ângulo de paralaxe	Ângulo em graus	Distância calculada	Distância medida	Erro percentual
pA=		θa=	dA	dA	Erro A=
pB=		θb=	dB	dB	Erro B=

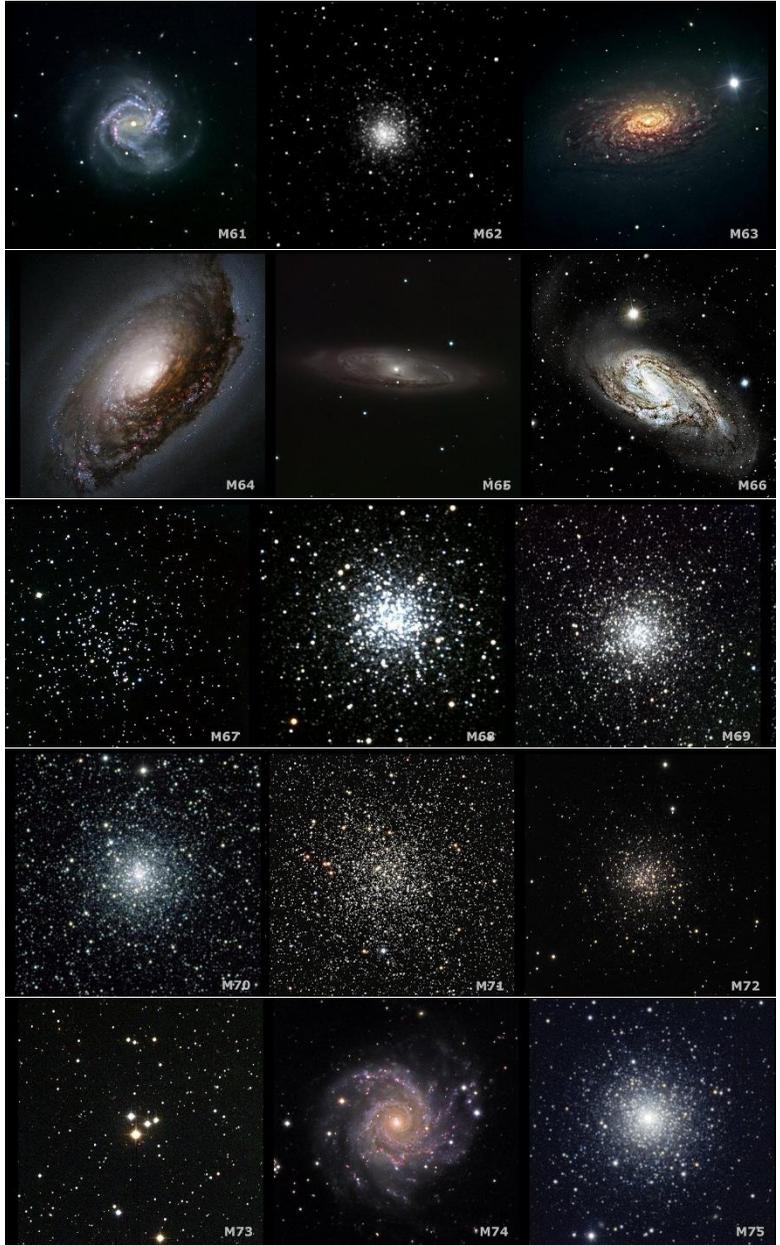
ANEXO A – COMPILAÇÃO DO CATÁLOGO MESSIER

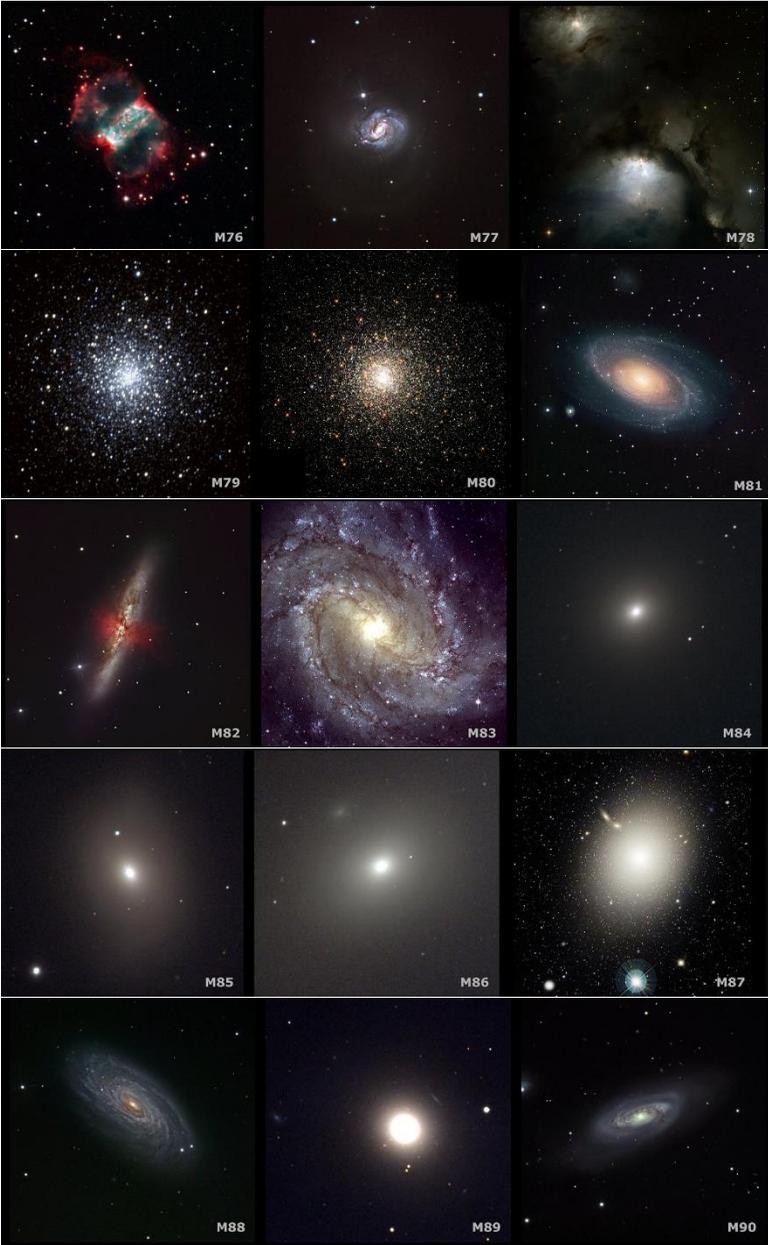


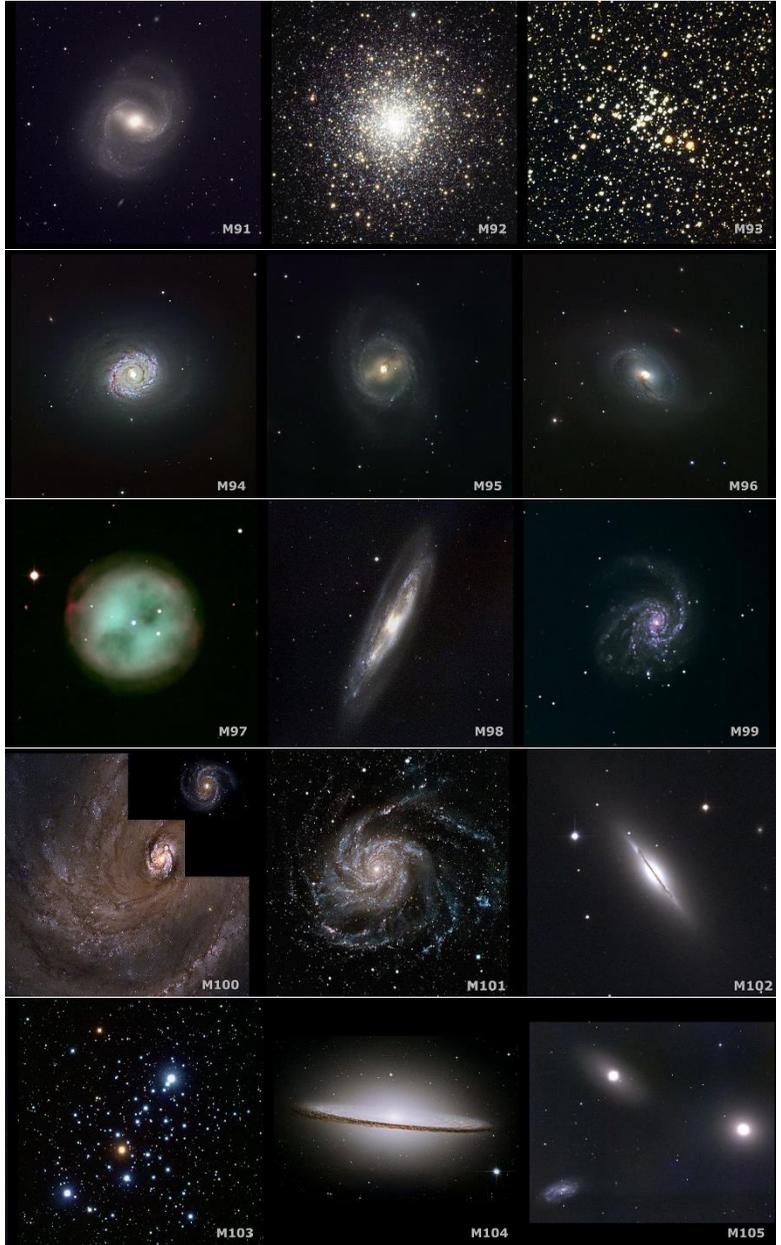


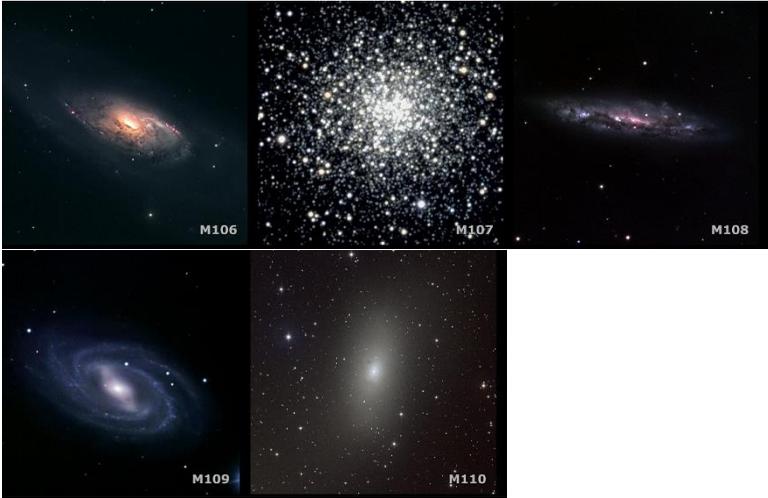












A tabela a seguir fornece nomes e principais informações básicas:

MESSIER	NGC	NOME COMUM	CLASSIFICAÇÃO	DISTÂNCIA – (anos-luz)	MAGNITUDE APARENTE
M1	NGC 1952	Nebulosa do Caranguejo	Remanescente de supernova	6 300	9,0
M2	NGC 7089	Sem nome específico	Aglomerado globular	36 000	7,5
M3	NGC 5272	Sem nome específico	Aglomerado globular	31 000	7,0
M4	NGC 6121	Sem nome específico	Aglomerado globular	7 000	7,5
M5	NGC 5904	Sem nome específico	Aglomerado globular	23 000	7,0
M6	NGC 6405	Aglomerado da Borboleta	Aglomerado aberto	2 000	4,5
M7	NGC 6475	Aglomerado de Ptolomeu	Aglomerado aberto	1 000	3,5
M8	NGC 6523	Nebulosa Laguna	Nebulosa com aglomerado estelar	6 500	6,0
M9	NGC 6333	Sem nome específico	Aglomerado globular	26 000	9,0
M10	NGC 6254	Sem nome específico	Aglomerado globular	13 000	7,5

M11	NGC 6705	Aglomerado do Pato Selvagem	Aglomerado aberto	6 000	7,0
M12	NGC 6218	Sem nome específico	Aglomerado globular	18 000	8,0
M13	NGC 6205	Grande Aglomerado Globular em Hércules	Aglomerado globular	22 000	5,8
M14	NGC 6402	Sem nome específico	Aglomerado globular	27 000	9,5
M15	NGC 7078	Sem nome específico	Aglomerado globular	33 000	7,5
M16	NGC 6611	Nebulosa da Águia	Nebulosa com aglomerado estelar	7 000	6,5
M17	NGC 6618	Nebulosa Ómega, Nebulosa do Cisne, Nebulosa da Ferradura ou Nebulosa da Lagosta	Nebulosa com aglomerado estelar	5 000	6,0
M18	NGC 6613	Sem nome específico	Aglomerado aberto	6 000	8,0
M19	NGC 6273	Sem nome específico	Aglomerado globular	27 000	8,5
M20	NGC 6514	Nebulosa Trífida	Nebulosa com aglomerado estelar	5 200	6,3
M21	NGC 6531	Sem nome específico	Aglomerado aberto	3 000	7,0
M22	NGC 6656	Aglomerado do Sagitário	Aglomerado globular	10 000	5,1
M23	NGC 6494	Sem nome específico	Aglomerado aberto	4 500	6,0
M24		Nuvem Estelar de Sagitário	Nuvem estelar da Via-Láctea	10 000	4,6
M25		Sem nome específico	Aglomerado aberto	2 000	4,9
M26	NGC 6694	Sem nome específico	Aglomerado aberto	5 000	9,5
M27	NGC 6853	Nebulosa do Haltere	Nebulosa planetária	1 250	7,5
M28	NGC 6626	Sem nome específico	Aglomerado globular	18 000	8,5
M29	NGC 6913	Sem nome específico	Aglomerado aberto	7 200	9,0
M30	NGC 7099	Sem nome específico	Aglomerado globular	25 000	8,5
M31	NGC 224	Galáxia de Andrómeda	Galáxia espiral	2 500	3,4
M32	NGC 221	Sem nome específico	Galáxia anã elíptica	2 900	10,0
M33	NGC 598	Galáxia do Triângulo	Galáxia espiral	2 810	5,7
M34	NGC 1039	Sem nome específico	Aglomerado aberto	1 400	6,0

M35	NGC 2168	Sem nome específico	Aglomerado aberto	2 800	5,5
M36	NGC 1960	Sem nome específico	Aglomerado aberto	4 100	6,5
M37	NGC 2099	Sem nome específico	Aglomerado aberto	4 600	6,0
M38	NGC 1912	Sem nome específico	Aglomerado aberto	4 200	7,0
M39	NGC 7092	Sem nome específico	Aglomerado aberto	800	5,5
M40		Winnecke 4	Estrela dupla Winnecke 4	500	9,0
M41	NGC 2287	Sem nome específico	Aglomerado aberto	2 300	4,5
M42	NGC 1976	Nebulosa de Órion	Nebulosa	1 600	4,0
M43	NGC 1982	Nebulosa de De Mairan	Nebulosa – parte da nebulosa de Órion	1 600	7,0
M44	NGC 2632	Aglomerado do Presépio	Aglomerado aberto	600	3,7
M45		Plêiades	Aglomerado aberto	400	1,6
M46	NGC 2437	Sem nome específico	Aglomerado aberto	5 400	6,5
M47	NGC 2422	Sem nome específico	Aglomerado aberto	1 600	4,5
M48	NGC 2548	Sem nome específico	Aglomerado aberto	1 500	5,5
M49	NGC 4472	Sem nome específico	Galáxia elíptica	60 000 000	10,0
M50	NGC 2323	Sem nome específico	Aglomerado aberto	3 000	7,0
M51	NGC 5195	Galáxia do redemoinho	Galáxia espiral	37 000 000	8,4
M52	NGC 7654	Sem nome específico	Aglomerado aberto	7 000	8,0
M53	NGC 5024	Sem nome específico	Aglomerado globular	56 000	8,5
M54	NGC 6715	Sem nome específico	Aglomerado globular	83 000	8,5
M55	NGC 6809	Sem nome específico	Aglomerado globular	17 000	7,0
M56	NGC 6779	Sem nome específico	Aglomerado globular	32 000	9,5
M57	NGC 6720	Nebulosa do Anel	Nebulosa planetária	2 300	8,8
M58	NGC 4579	Sem nome específico	Galáxia espiral barrada	60 000 000	11,0
M59	NGC 4621	Sem nome específico	Galáxia elíptica	60 000 000	11,5
M60	NGC 4649	Sem nome específico	Galáxia elíptica	60 000 000	10,5

M61	NGC 4303	Sem nome específico	Galáxia espiral	60 000 000	10,5
M62	NGC 6266	Sem nome específico	Aglomerado globular	22 000	8,0
M63	NGC 5055	Galáxia do girassol	Galáxia espiral	37 000 000	8,5
M64	NGC 4826	Galáxia Olho Negro	Galáxia espiral	12 000 000	9,0
M65	NGC 3623	Sem nome específico	Galáxia espiral barrada	35 000 000	10,5
M66	NGC 3627	Sem nome específico	Galáxia espiral barrada	35 000 000	10,0
M67	NGC 2682	Sem nome específico	Aglomerado aberto	2 250	7,5
M68	NGC 4590	Sem nome específico	Aglomerado globular	32 000	9,0
M69	NGC 6637	Sem nome específico	Aglomerado globular	25 000	9,0
M70	NGC 6681	Sem nome específico	Aglomerado globular	28 000	9,0
M71	NGC 6838	Sem nome específico	Aglomerado globular	12 000	8,5
M72	NGC 6981	Sem nome específico	Aglomerado globular	53 000	10
M73	NGC 6994	Sem nome específico	Asterismo* é um padrão reconhecível de estrelas no céu noturno, que estão na mesma direção porém não são fisicamente relacionadas entre si, estando a distâncias significativamente diferentes.	Sem valor para asterismos	9,0
M74	NGC 628	Sem nome específico	Galáxia espiral	35 000 000	10,5
M75	NGC 6864	Sem nome específico	Aglomerado globular	58 000	9,5
M76	NGC 650	Pequena Nebulosa do Haltere	Nebulosa planetária	3 400	10,1
M77	NGC 1068	Cetus A	Galáxia espiral	60 000 000	10,5
M78	NGC 2068	Sem nome específico	Nebulosa difusa em Órion	1600	8,0
M79	NGC 1904	Sem nome específico	Aglomerado globular	40 000	8,5
M80	NGC 6093	Sem nome específico	Aglomerado globular	27 000	8,5
M81	NGC 3031	Galáxia de Bode	Galáxia espiral	12 000	6,9
M82	NGC 3034	Galáxia do Charuto	Galáxia starbust	11 000 000	9,5
M83	NGC 5236	Galáxia do Cata-vento do Sul	Galáxia espiral barrada	10 000 000	8,5
M84	NGC 4374	Sem nome específico	Galáxia lenticular	60 000 000	11,0

M85	NGC 4382	Sem nome específico	Galáxia lenticular	60 000 000	10,5
M86	NGC 4406	Sem nome específico	Galáxia lenticular	60 000 000	11,0
M87	NGC 4486	Virgo A	Galáxia elíptica	60 000 000	11,0
M88	NGC 4501	Sem nome específico	Galáxia espiral	60 000 000	11,0
M89	NGC 4552	Sem nome específico	Galáxia elíptica	60 000 000	11,5
M90	NGC 4569	Sem nome específico	Galáxia espiral	60 000 000	11,5
M91	NGC 4548	Sem nome específico	Galáxia espiral barrada	60 000 000	11,0
M92	NGC 6341	Sem nome específico	Aglomerado globular	26 000	7,5
M93	NGC 2447	Sem nome específico	Aglomerado aberto	4 500	6,5
M94	NGC 4736	Sem nome específico	Galáxia espiral	14 500	9,5
M95	NGC 3351	Sem nome específico	Galáxia espiral barrada	38 000 000	11,0
M96	NGC 3368	Sem nome específico	Galáxia espiral	38 000 000	10,5
M97	NGC 3587	Nebulosa da Coruja	Nebulosa planetária	2 600	9,9
M98	NGC 4192	Sem nome específico	Galáxia espiral	60 000 000	11,0
M99	NGC 4254	Sem nome específico	Galáxia espiral	60 000 000	10,5
M100	NGC 4321	Sem nome específico	Galáxia espiral	60 000 000	10,5
M101	NGC 5457	Galáxia do Cata- vento	Galáxia espiral	27 000 000	7,9
M102	NGC 5866	Sem nome específico	Galáxia lenticular	50 000 000	10,7
M103	NGC 581	Sem nome específico	Aglomerado aberto	8 000	7,0
M104	NGC 4594	Galáxia do Sombreiro	Galáxia espiral	50 000 000	9,5
M105	NGC 3379	Sem nome específico	Galáxia elíptica	38 000 000	11,0
M106	NGC 4258	Sem nome específico	Galáxia espiral	25 000 000	9,5
M107	NGC 6171	Sem nome específico	Aglomerado globular	20 000	10,0
M108	NGC 3556	Sem nome específico	Galáxia espiral	45 000 000	11,0
M109	NGC 3992	Sem nome específico	Galáxia espiral barrada	55 000	11,0
M110	NGC 205	Sem nome específico	Galáxia anã elíptica	2 200 000	10,0

Caso alguém desejar a versão editável dos slides, informações de aplicação ou tiver alguma correção a sugerir, pode entrar em contato pelo e-mail:

profevandrodacunha@gmail.com

Evandro Luis da Cunha.

Professor de Física do Instituto Federal de Santa Catarina.