

UMA CRONOLOGIA SOBRE A EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA DE OBSERVATÓRIOS E TELESCÓPIOS ASTRONÔMICOS

A CHRONOLOGY ABOUT THE TECHNOLOGICAL EVOLUTION OF ASTRONOMICAL OBSERVATORIES AND TELESCOPES

Filipe Nunes Vasconcelos Pereira^{1,2}, Omar Ferreira dos Santos Júnior e Iranderly F. de Fernandes³

³*Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS), Departamento de Física (DFIS), Observatório Astronômico Antares, ^{1,2}Mestrado profissional em Astronomia (MPAstro), Avenida Transnordestina, s/n - Novo Horizonte, 44036-900 - Feira de Santana - Bahia.*

E-mails: fisica.filipe100@gmail.com, omarfsjunior@gmail.com, iffernandes@uefs.br

Podemos dizer que o Telescópio Espacial Hubble é o instrumento pop-star da Astronomia. Na última década, com o crescimento e acesso à comunicação, principalmente pelas redes sociais, o famoso observatório espacial contribuiu imensamente para o processo de popularização da ciência com a revelação de encantadoras e surpreendentes imagens do cosmos que mais parecem obras artísticas desenhadas com tamanha perfeição. Mais recentemente, temos a felicidade e também a sorte de testemunhar o surgimento de uma nova época para a Astronomia, com o lançamento e as contribuições introdutórias do Telescópio Espacial James Webb. Todavia, tanto o Hubble quanto o James Webb são partes de uma grande história da Astronomia que se inicia com a curiosidade do ser humano em observar o céu a milênios atrás. Portanto, neste artigo contamos um pouco sobre cada momento que consideramos importante e crucial no desenvolvimento da Astronomia Observacional. Ao longo do texto também compartilhamos uma experiência de uma atividade experimental envolvendo a construção de telescópios realizada em escolas da Educação Básica, deixando também como sugestão de atividade para professores de Física e Ciências, a fim de contribuir para a difusão e crescimento do ensino de Astronomia.

Palavras-chave: Tipos de Telescópios, Astronomia, Atividade Experimental.

We can say that the Hubble Space Telescope is Astronomy's pop-star instrument. In the last decade, with the growth and access to communication, mainly through social networks, the famous space observatory has contributed immensely to the process of popularization of science with the revelation of charming and surprising images of the cosmos that look more like artistic works drawn with such perfection. More recently, we have been happy and lucky to witness the emergence of a new era for Astronomy, with the launch and introductory contributions of the James Webb Space Telescope. However, both Hubble and James Webb are part of a great history of Astronomy that begins with the curiosity of human beings to observe the sky millennia ago. Therefore, in this article we tell a little about each moment that we consider important and crucial in the development of Observational Astronomy. Throughout the text we also share an experience of an experimental activity involving the construction of telescopes carried out in Basic Education schools, also leaving as a suggestion of activity for Physics and Science teachers, in order to contribute to the dissemination and growth of Astronomy teaching.

Keywords: Types of Telescopes, Astronomy, Experimental Activity.

INTRODUÇÃO

Nos tempos atuais, em plena era onde a informação é produzida e compartilhada com uma incrível velocidade, quando se trata de assuntos científicos relacionados à Astronomia que despertam a curiosidade como, as belas imagens de planetas como Saturno e Júpiter, as imagens fascinantes de nebulosas em regiões extragalácticas (fora da Via-Láctea), a captação de sinais oriundos de regiões fora do nosso sistema solar, buracos negros, estrelas, cometas, asteroides em rota de colisão com a Terra, entre outros assuntos, é inegável notar nos meios de comunicação que sempre haverá, em suas matérias, artigos e/ou textos algum tipo de telescópio envolvido. Na última década acompanhamos uma grande propagação dos feitos do lendário telescópio Hubble (HST, acrônimo em inglês “*Hubble Space Telescope*”) e, desde o final de 2021 (menos de um ano), temos a felicidade de acompanhar o início de uma nova fase de grandes descobertas na Astronomia que já estão acontecendo e muitas outras que estão por vir, por meio do

lançamento e início de funcionamento do telescópio espacial James Webb (JWST, acrônimo em inglês “*James Webb Space Telescope*”). Corroborando com essa ideia da rápida velocidade de propagação da informação é razoável pensar que a grande maioria das pessoas já ouviram falar ou tem uma ideia do que seja um telescópio, associando-o à Astronomia ou à visualização de objetos à longa distância. No entanto, para começar lançamos uma pergunta chave: afinal, você sabe dizer o que é um telescópio? A partir de então, podemos lançar também outras perguntas: saberias diferenciar os tipos de telescópios existentes? Se você já ouviu falar do termo “luneta”, consegue explicar a diferença entre a luneta de Galileu e um telescópio newtoniano? Saberias explicar o que é um telescópio altazimutal? Qual a diferença entre um telescópio altazimutal e um telescópio equatorial? Essas perguntas introdutórias e outras que também podem ser feitas são importantes para começarmos a entender o que são os telescópios, quais os tipos mais comuns e quais as suas utilidades. Em suma, neste trabalho iremos abordar um pouco sobre os tipos mais comuns de telescópios e suas principais características.

Os primeiros observatórios

Fomos agraciados por viver num tempo onde as tecnologias da nossa civilização são muito avançadas, comparadas às que existiam em tempos anteriores. No ramo da Astronomia, dispomos hoje de grandes observatórios, espaciais e terrestres, com custos bilionários e tecnologia de ponta. Todos esses investimentos semeados, têm aos poucos permitido boas colheitas. Porém, houve tempos onde não existiam telescópios e, para observação direta tínhamos apenas os nossos olhos, ou seja, éramos limitados a ver um pouquinho do que podemos ver com as atuais tecnologias. Em contraponto, nesses tempos antigos não existia a poluição luminosa nas cidades e o céu noturno visto a olho nu era deslumbrante na maior parte do mundo, o que despertava a curiosidade das pessoas, principalmente das pessoas que se propunham a buscar respostas para as suas observações, para a dinâmica do céu ao longo dos dias, dos meses e dos anos. Nesses tempos, não sabíamos que existiam buracos negros, mal sabíamos o que era uma galáxia, o conhecimento sobre o Sistema Solar ainda estava em amadurecimento, pensávamos que a Lua era uma esfera perfeita, que o Sol orbitava em torno da Terra e que estávamos estáticos, num universo estacionário. Resumindo, ao longo de toda a sua história, a Astronomia passou por transformações, alguns paradigmas permaneceram por muito tempo e, mediante à coragem, trabalho árduo e genialidade de algumas figuras como, Copérnico, Kepler, Galileu e Newton, e até mesmo o sacrifício de alguns como Jordano Bruno (condenado à morte por heresia), a Astronomia se estabeleceu como uma ciência. Mas, onde tudo começou? Onde e como ocorreram as primeiras observações do céu, i.e., quais foram os primeiros observatórios astronômicos?

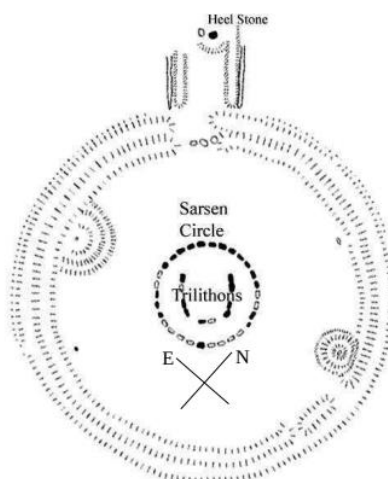
É importante destacar que a curiosidade sobre o céu, o universo e tudo o que nele há não é algo de hoje, muito pelo contrário, sempre existiu. Nos tempos da pré-história, muito longe das tecnologias, ciência avançada e consumo rápido e intenso de informações, muitas das pessoas que se aventuravam a questionar o que enxergavam no céu, obviamente tinham muito mais perguntas, do que temos nos tempos contemporâneos. Nosso primeiro grande instrumento de observação astronômico foram os nossos próprios olhos, e, à medida que o ser humano observava os céus, ele percebeu que poderia construir estruturas que pudessem registrar eventos importantes, como os solstícios de verão (dia mais longo do ano) e, assim, definir unidades temporais de tempo para criar coisas úteis como por exemplo, um calendário.

Stonehenge: o mais famoso dos observatórios astronômicos primitivos

Povos que viveram na pré-história construíram estruturas diferentes em partes diferentes do mundo, mas com tamanha precisão no registro de eventos astronômicos importantes. Localizada a cerca de 130 km a Oeste de Londres, na planície de Salisbury, podemos citar Stonehenge (figura 1), uma grande estrutura construída com pedras megalíticas (em média 5 metros de altura com até 50 toneladas) ordenadas em círculo, com posições bem definidas. Uma dessas pedras, a chamada “Pedra do Calcanhar” está perfeitamente alinhada com o nascer do Sol no solstício de verão boreal (hemisfério norte). O monumento data de aproximadamente 2.500 a.C. e, embora existam vários estudos, ainda não se sabe ao certo qual povo foi responsável pela construção de Stonehenge. Na figura 2, temos uma representação de Stonehenge vista por cima. Se uma pessoa sentar no centro do chamado de Círculo de Sarsen (Circle Sarsen) e olhar na direção nordeste em pleno Solstício, verá o Sol nascer alinhado com a Pedra do Calcanhar (Heel Stone).

Figura 1 - vista aérea das ruínas de Stonehenge

Fonte: Estrelatour, 2019.

Figura 2 - representação do monumento com destaques para a Pedra do Calcanhar (Heel Stone) e o círculo (ou anel) de Sarsen

Fonte: Art History Resources, 2008.

Além de ser considerado por cientistas como um observatório astronômico primitivo, estudos sugerem também que Stonehenge era utilizado como uma espécie de templo para a realização de rituais religiosos. A estrutura é capaz de registrar o nascer do Sol no Solstício de Verão com muita precisão (figura 3), equinócios, além das fases lunar na quadratura (cheia, minguante, nova e crescente). As observações por meio de Stonehenge podem ter sido fundamentais para a manutenção da agricultura, plantação e colheita do povo que o construiu. Estima-se que Stonehenge tenha sido utilizado até em torno de 1.100 a.C. Em 1986, Stonehenge foi incluso como um Bem cultural na lista de Patrimônio Mundial da Humanidade (UNESCO).

Figura 3 - pessoas acompanham o nascer do Sol no Solstício de Verão nas ruínas de Stonehenge



Fonte: Terra, 2020.

Nabta Plaia: o mais antigo observatório astronômico conhecido

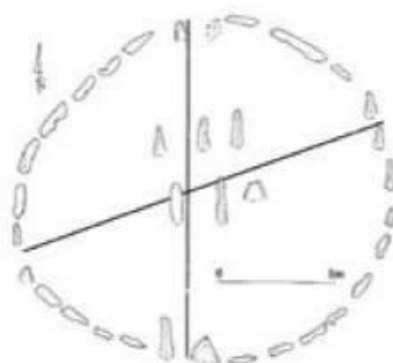
Embora, Stonehenge seja o mais famoso dos monumentos megalíticos espalhados no mundo, o mais antigo monumento utilizado com fins de registros sobre Astronomia está datado de aproximadamente 7.000 a.C. e está localizado no Egito a cerca de 800 km ao sul de Cairo, numa região conhecida como Nabta Plaia.

Figura 4 - ruínas do círculo de pedras de Nabta Plaia



Fonte: Wikimedia Commons, 2009.

O monumento de Nabta Plaia foi construído por povos nômades da região que realizavam o culto ao gado. Além do Solstício, parece que o observatório também tinha outras funções: o pesquisador John McKim Malville, professor emérito da Universidade do Colorado e especialista em Arqueoastronomia, descobriu um alinhamento do círculo de pedras com as estrelas Arcturus, Sirius e Alpha Centauri e uma possível correspondência de pedras com a constelação de Órion. A figura 5 mostra uma representação do que seria o calendário construído em torno da estrutura, marcada pela chegada coincidente do Solstício e das chuvas de verão (monções). Acredita-se que os povos da região consideravam essas chuvas como sagradas.

Figura 5 - representação do calendário com o círculo completo

Fonte: Malville e outros, 2007.

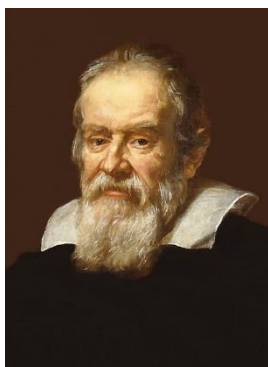
O SURGIMENTO E A EVOLUÇÃO DO TELESCÓPIO

Viajamos um pouco no tempo, desde o final da Pré-História quando os monumentos megalíticos deixaram de ser úteis, até a Idade Moderna, chegando até 1608, data da invenção do telescópio por um inventor holandês chamado Hans Lippershey. Durante esse intervalo os céus sempre foram observados somente com os olhos. Dessa forma, os nossos limitados olhos nos permitiam ver apenas o Sol, a Lua, as estrelas, parte da nossa galáxia, cometas, meteoros e cinco planetas, a saber, Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno. Hans Lippershey nasceu em 1572, na cidade de Wesel, Alemanha. Mas, após mudar-se para Middelburgo, na Holanda, e casar-se em 1594, tornou-se cidadão holandês em 1602. Em 1608, Lippershey inventa e patenteia uma tecnologia capaz de ver objetos distantes por meio de lentes: o telescópio. Nessa época, ocorria a chamada Guerra dos 80 anos (1568 a 1648), na qual a Holanda busca a sua independência da Espanha e, nesse sentido, o telescópio de Lippershey chama a atenção de autoridades holandesas pela possibilidade de ser utilizado para fins militares, como ver a movimentação de exércitos inimigos a longa distância. O telescópio então se populariza na Holanda como uma nova tecnologia inventada no país, sendo produzido no país com aumentos oculares entre 3 e 4 vezes.

Figura 6 - Hans Lippershey

Fonte: Wikimedia Commons, 1655.

Em Florença, na Itália, Galileu Galilei (figura 7) ouve falar da invenção de Lippershey e, num contexto onde ele defende o modelo heliocêntrico proposto por Copérnico, o telescópio passa a ser visto por Galileu como uma possível prova em sua defesa. Vale ressaltar que nessa época, a Igreja Católica é soberana e tem participação decisiva no Estado. As visões de mundo e o saber são tarefas permitidas aos filósofos que defendem as ideias aristotélicas e, apenas os cálculos eram atribuições dos matemáticos.

Figura 7 - Galileu Galilei (1564-1642)

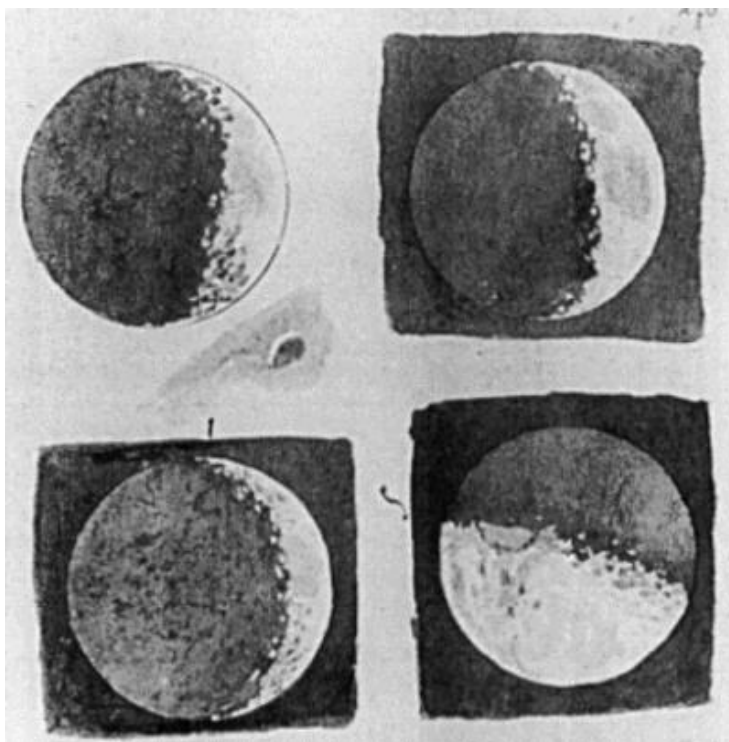
Fonte: WikiCiências, 2014.

Nesse contexto, Galileu, mesmo sendo um professor de matemática na Universidade de Pádua, não tem muito aval para ouvirem suas teorias e além disso, teorias que contradizem as milenares e estabelecidas ideias de Aristóteles sustentadas pela matemática de Ptolomeu. Mas, o ímpeto de Galileu não o impede de avançar em provar que o Sol não revoluciona em torno da Terra e sim, que a Terra revoluciona em torno do Sol. Nessa perspectiva, utilizando o seu espírito empírico, ele apela para a experimentação. Em 1609, um ano após a primeira patente registrada em outro país, ele desenvolve o seu próprio telescópio (figura 8) com incrível aumento ocular de 9 vezes, conhecido também “Luneta de Galileu”.

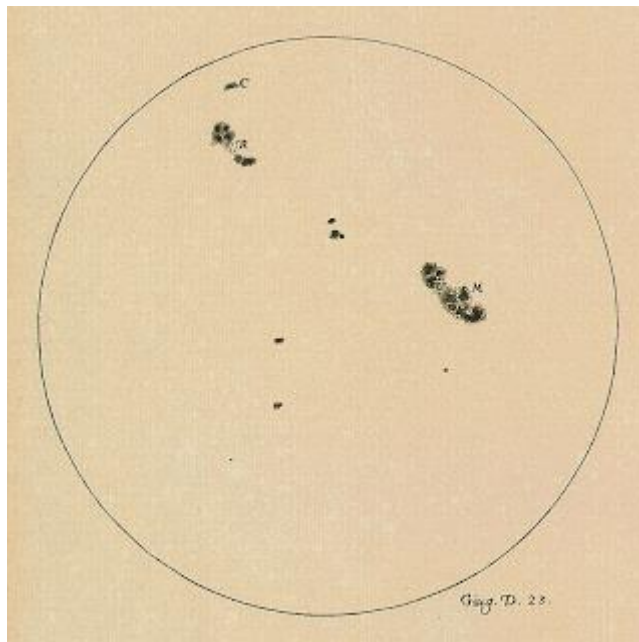
Figura 8 - Luneta de Galileu

Fonte: Sociedade Brasileira de Física, 2012.

Com uma atitude ousada, Galileu torna-se um dos primeiros a apontar o seu telescópio para o céu e ver muitos outros astros impossíveis de serem vistos a olho nu. Galileu foi o primeiro cientista a publicar ilustrações da Lua vista pelo telescópio. Ao apontar para a Lua, ele vê e registra as crateras em suas ilustrações (figura 9), ao apontar para o Sol, ele registra manchas solares (figura 10) por meio de projeções.

Figura 9 - ilustrações da Lua publicadas por Galileu em 1610

Fonte: Mensageiro das Estrelas, 1610.

Figura 10 - ilustração de manchas solares registradas por Galileu em 1613

Fonte: Sociedade Brasileira de Física, 2012.

Na época, para a Igreja Católica, todas essas observações e descobertas são como o fogo queimando a lenha criando um clima de alerta sobre as então “heresias” ensinadas por Galileu. Para o desenvolvimento da Astronomia enquanto ciência, todos esses feitos engradem Galileu promovendo-o como o “pai da astronomia observacional”. Isto é, Galileu é, de fato, o pioneiro no desenvolvimento dos métodos de observação em Astronomia.

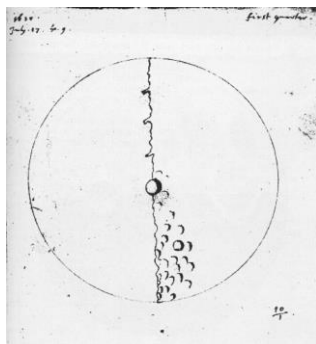
Figura 11 - imagem de Thomas Harriot (1560-1621)



Fonte: HAO, 2022.

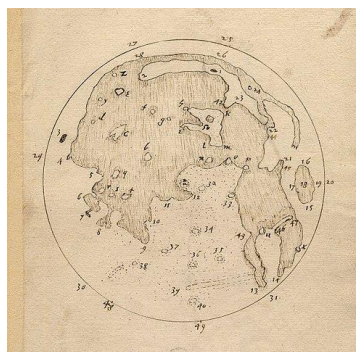
Todavia, é importante informar que, Galileu não foi o primeiro a fazer observações com o telescópio. Em julho de 1609, quatro meses antes de Galileu, o inglês Thomas Harriot (figura 11) é o primeiro que se tem registro a apontar o telescópio para a Lua e fazer desenhos das observações. Harriot também fez desenhos da Lua, porém, com uma qualidade inferior aos desenhos de Galileu (figuras 12 e 13). Harriot utiliza conceitos de cartografia nos seus registros, enquanto Galileu descreve os desenhos utilizando conceito de topografia. Harriot também registrou manchas solares observadas por ele (figura 14).

Figura 12 - ilustração da Lua, por Thomas Harriot

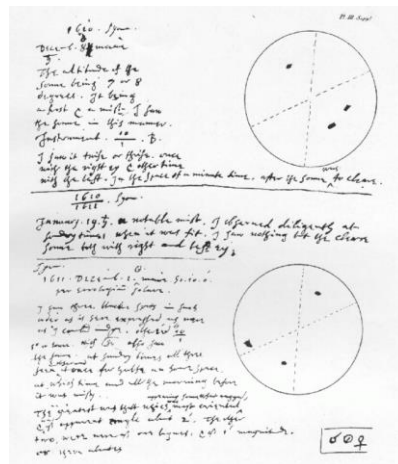


Fonte: HAO, 2022.

Figura 13 - ilustração da Lua, por Thomas Harriot



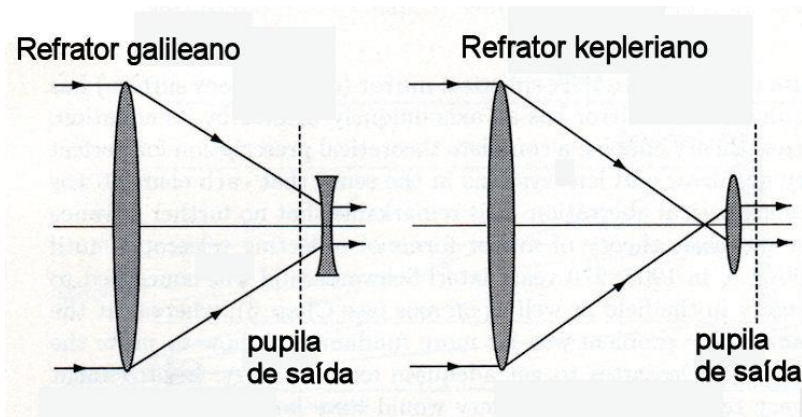
Fonte: Wikimedia Commons, 2010.

Figura 14 - registros de Harriot sobre as manchas solares

Fonte: HAO, 2022.

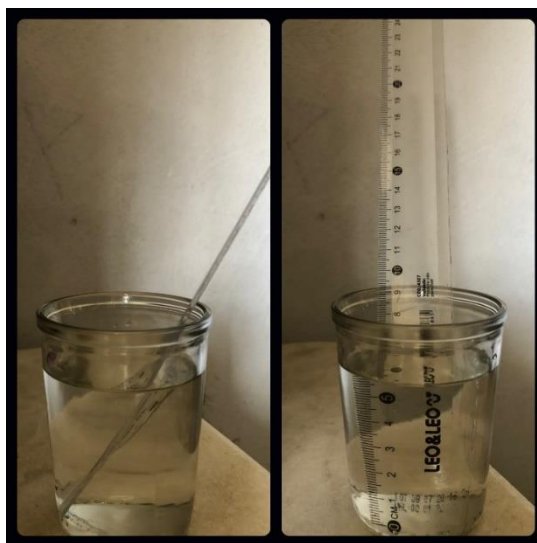
O telescópio refrator

A luneta de Galileu também conhecida como telescópio refrator é composta basicamente por dois tubos cilíndricos e duas lentes. É classificado como refrator devido a mudança de direção da luz que ocorre quando passa pelas duas lentes, primeiro pela objetiva (biconvexa) e depois pela ocular (bicôncava) colocada antes do ponto focal, até chegar ao olho. O brilhante astrônomo e matemático, Johannes Kepler (1571-1630) defendeu a utilização do telescópio com uma lente ocular do tipo convexa colocada após o ponto focal, como sendo a melhor alternativa explicando que, com essa configuração as imagens produzidas possuem um campo visual maior, além de serem maiores. No entanto, no telescópio de Kepler os raios de luz se invertem antes de chegarem à lente ocular produzindo imagens invertidas (figura 15).

Figura 15 - A propagação da luz através das lentes do telescópio

Fonte: Astronomia e Astrofísica, 2018.

A mudança de direção ocorre quando a luz passa de um meio para o outro. Esse é um fenômeno óptico conhecido como refração. Ao atravessar a lente biconvexa, os raios de luz mudam de direção, de modo a convergirem num ponto denominado ponto focal (ou foco). Seguindo o caminho, os raios de luz chegam na lente ocular, que pode ser biconvexa ou bicôncava, e a atravessam novamente, proporcionando a visão de uma imagem aumentada do objeto distante. Um exemplo simples da refração pode ser percebido num experimento demonstrativo simples: imergindo uma régua, ou um lápis, ou uma caneta num copo transparente com água é possível observar a refração da luz (figura 16).

Figura 16 - Experimento demonstrativo sobre refração da luz

Fonte: Reprodução / Filipe Nunes, 2022.

3.1.1. Sugestão de atividade: construindo um telescópio refrator de baixo custo

É possível construir um telescópio refrator de baixo e com custo relativamente baixo. Em experiência recente como docentes na educação básica, foi proposta a construção de telescópios refratores keplerianos a grupos de estudantes em projeto de Feira de Ciências, em duas instituições privadas diferentes, porém da mesma rede. Ao todo foram construídos dez telescópios, nove deles representados na figura 19, com um custo igual a 68 reais por telescópio (fora o custo da pintura sugerida de modo opcional). Cada grupo construiu o seu telescópio e os valores foram divididos entre os estudantes de cada grupo, de modo que o custo por aluno não foi caro para um projeto de Feira de Ciências. Ao final do projeto, percebemos que os resultados foram muito positivos e a apresentação dos telescópios construídos, bem como o aprendizado sobre o desenvolvimento da Astronomia, do ponto de vista histórico, com o advento do telescópio foi destacado pelos estudantes que participaram do projeto.

Figura 17 - telescópio refrator kepleriano construído por Filipe Nunes

Fonte: Reprodução / Filipe Nunes, 2022.

O telescópio da figura 17 foi construído utilizando os seguintes materiais:

1. Cano PVC de 46 cm de comprimento e 32 mm de diâmetro;
2. Cano PVC de 35 cm de comprimento e 25 mm;
3. Luva de solda de 32 mm;
4. Luva de solda com rosca de 25 mm x 1/2;
5. Duas arruelas (tamanho M8);

6. Adaptador soldável curto com bolsa e rosca de 20 mm x 1/2;
7. Feltro preto;
8. Lente convergente com potência igual a +2° (dois graus positivos) de 32 mm;
9. Lente convergente de monóculo, com 11 mm de diâmetro.

A figura 18 ilustra um esquema para a montagem do telescópio:

Figura 18 - Esquema para montagem de um telescópio refrator kepleriano



Fonte: Reprodução / Filipe Nunes, 2022.

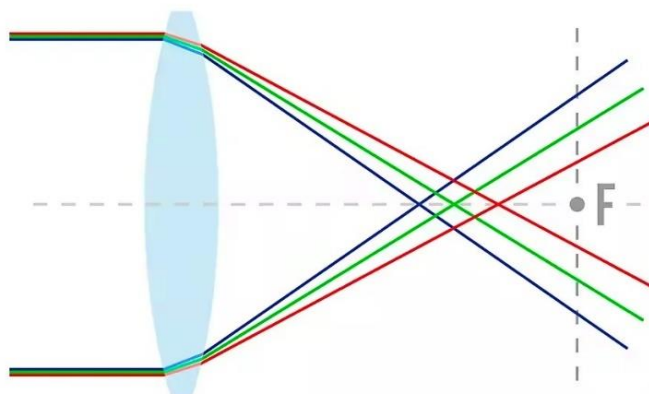
Figura 19 - Telescópios refratores construídos pelos estudantes



Fonte: Reprodução / Filipe Nunes, 2022.

Um importante problema da luneta de Galileu

À medida que a tecnologia do telescópio refrator foi se desenvolvendo, houve a necessidade de se criar telescópios maiores, isto é, com tubos e lentes maiores pois, quanto maior for a abertura, mais luz chega ao telescópio, conseqüentemente, maiores e melhores seriam as imagens produzidas, pelo menos isto era o que se pensava. No entanto, ao se construir telescópios cada vez maiores, um problema ficou evidente: a aberração cromática. Esse efeito consiste na propagação de raios de luz com comprimentos de ondas diferentes e transmissão desses raios em pontos focais diferentes após atravessar uma lente (figura 20). O resultado disso é a produção de imagens sem foco e com as cores deslocadas (figura 21). A aberração cromática torna-se suficientemente grande para lentes com diâmetro maior que 25 cm.

Figura 20 - Aberração cromática produzida por uma lente

Fonte: Adobe, 2022.

Figura 21 - Efeito da aberração cromática

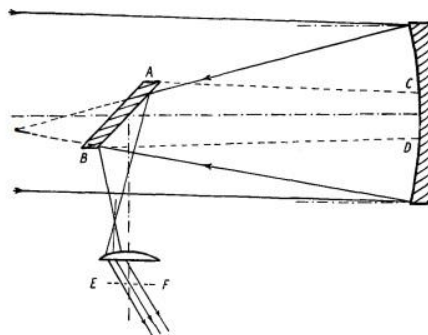
Fonte: Prepara Enem, 2022.

O telescópio refletor

Em menos um ano após a morte de Galileu, nasce em 1643 (calendário gregoriano), outro futuro gênio, Isaac Newton, em Woolstorppe, uma aldeia em Lincolnshire, Inglaterra. Newton continuou os trabalhos de Galileu e Kepler na Astronomia e na Física, e também estudou sobre o desenvolvimento do telescópio. Após tentativas anteriores de outras pessoas, o lendário cientista descobriu uma forma de resolver o problema da aberração cromática apresentada no telescópio refrator. Antes de Newton já se pensava em construir telescópios utilizando espelhos, mas ninguém conseguiu. Coube ao Sir. Newton, aos 25 anos, inventar um telescópio utilizando dois espelhos. Nesse telescópio, ao invés de luz refratar pelas

lentes, a luz reflete inicialmente num espelho primário (côncavo), depois incide e reflete num espelho secundário (plano) até chegar numa lente plano-convexa que tem a função de focalizar a imagem (figura 22).

Figura 22 - A propagação da luz no telescópio newtoniano



Fonte: The History of the telescope, 1979.

Newton construiu o seu primeiro telescópio com espelhos em 1668, mas foi discreto mantendo sua invenção desconhecida à comunidade científica, até 1671. Nesse ano, os trabalhos de Newton chegaram à Royal Society, uma instituição criada em 1660 e formada pelos mais reconhecidos cientistas da época, onde os grandes e inovadores trabalhos científicos são reconhecidos formalmente. A Royal Society solicita o envio por Newton de uma cópia do seu telescópio com espelhos, o telescópio refletor. Em 1671, Newton construiu um segundo telescópio (figura 23) com as mesmas configurações do anterior, porém com qualidade melhorada e envia à Royal Society. O novo tipo de telescópio é apresentado à comunidade científica em 11 de janeiro de 1672. No envio do seu trabalho a Henry Oldenburg, o então secretário da Royal Society na época, Newton escreve: “*Com o telescópio que fiz, tenho visto por vezes objetos remotos, e particularmente a lua, muito distintos, naquelas partes que estavam perto dos lados do ângulo visível... Um dos companheiros do Colégio está fazendo outro telescópio, com o qual ontem à noite eu olhei Júpiter, e ele parecia tão distinto e nitidamente definido como já o vi em outros telescópios*”. Apenas para termos uma ideia do grande feito de Newton, enquanto os primeiros telescópios refratores de Galileu tinham um aumento de 9 vezes, o telescópio refletor de Newton proporcionava um aumento de 30 vezes, além de corrigir o problema da aberração cromática dos telescópios refratores.

Figura 23 - Réplica do telescópio refletor construído por Newton



Fonte: Andrew Dunn, 2004.

Telescópio refletor x telescópio refrator

O telescópio newtoniano é o tipo de telescópio mais utilizado hoje nas pesquisas científicas em Astronomia, pelos seguintes motivos: a) não ocorre a aberração cromática pois o componente principal do telescópio é o espelho côncavo; b) parte da luz é absorvida quando atravessa as lentes, principalmente se o comprimento de onda incidente for ultravioleta ou infravermelho, que são mais intensamente absorvidas pelo vidro, e isto não ocorre em espelhos; c) lentes maiores tendem a ser mais pesadas e tornam mais difícil a sustentação do telescópio, obrigando os construtores a criar, além do telescópio, estruturas para suportar o telescópio (figura 24); d) a manutenção das lentes do telescópio refrator é mais difícil uma vez que nesse telescópio a lente primária possui duas faces que devem ser montadas e polidas, no espelho primário do telescópio refletor, só existe uma face importante para montar e polir; e) produz imagens com tamanhos maiores. O telescópio de Newton gerava imagens nove vezes maior do que as imagens produzidas por um telescópio refrator de comprimento quatro vezes maior.

Figura 24 – O maior telescópio refrator já construído, no Observatório Yerkes, Estados Unidos, construído em 1895, com algumas personalidades, entre elas, Albert Einstein

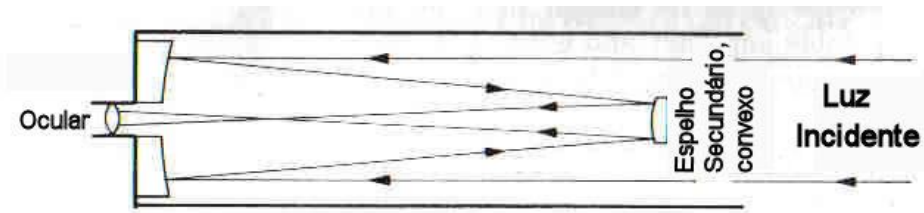


Fonte: At the lake, foto de 1921.

Aberração esférica: um problema dos telescópios refletores e refratores

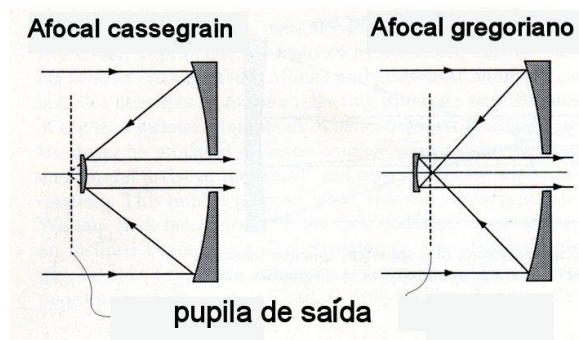
O telescópio de Newton corrigiu o problema da aberração cromática apresentado pelo telescópio de Galileu, com a utilização do espelho côncavo como elemento principal, todavia, existia outro problema que ocorre em lentes e espelhos esféricos. Os raios de luz que atravessam as lentes pelas bordas (no caso dos refratores) ou que refletem nos espelhos côncavos também pelas bordas (no caso dos refletores) possuem focos diferentes do foco proveniente dos raios de luz próximos ao eixo principal da lente ou do espelho, respectivamente. Esse fato é a causa de imagens desfocadas e imperfeitas nos telescópios, principalmente, nos maiores. Na época de Newton, os espelhos não eram tão bons, por isso, as imagens não tinham tanta nitidez quanto às dos telescópios refratores da época. No caso dos telescópios refletores, um dos modos de se cancelar o efeito da aberração esférica era combinar espelhos côncavos e convexos, já que possuem aberrações esféricas opostas: no espelho côncavo, o ponto focal dos raios de luz marginais (próximos à borda) são mais próximos do espelho, isto é, antes do foco do espelho. Já nos espelhos convexos, o ponto focal dos raios marginais ocorre mais distantes do espelho, depois do foco do espelho.

Segundo *La grande encyclopédie* (1890), Laurent Cassegrain (1629-1693) foi o primeiro cientista a propor um telescópio com espelho convexo secundário, que converge a luz para um buraco no centro do espelho primário onde a luz será focalizada pela ocular (figura 25). O problema maior da época era a impossibilidade de se construir espelhos curvos. Porém, um telescópio refletor com essas características eliminaria o problema da aberração esférica.

Figura 25 - Estrutura do telescópio de Cassegrain

Fonte: Astronomia e Astrofísica, 2018.

James Gregory (1638-1675) também propôs um telescópio refletor utilizando um espelho esférico secundário, porém, do tipo côncavo (figura 26). A configuração de Cassegrain é a mais utilizada nos telescópios atuais e, pela utilização do espelho convexo, tem como vantagem proporcionar imagens com um grande campo visual. Citamos a seguir alguns telescópios que utilizam a configuração de Cassegrain na estrutura do telescópio refletor.

Figura 26 - telescópios com foco Cassegrain e foco gregoriano

Fonte: Astronomia e Astrofísica, 2018.

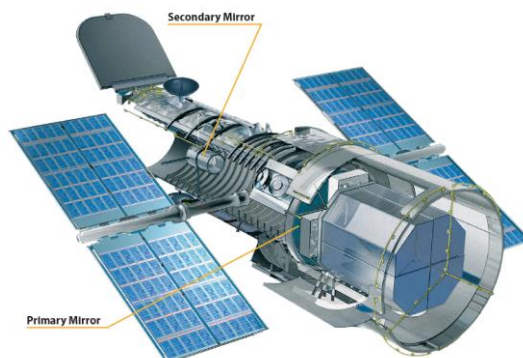
Localizado no Chile, o telescópio do observatório Soar (figura 27) um dos mais importantes da América do Sul, possui três pontos de observação do tipo Cassegrain. O Soar (Southern Astrophysical Research Telescope) tem grande importância para a pesquisa em Astronomia no Brasil, um vez que o país teve grande participação na construção do observatório (34% do custo financiado pelo CNPq) e tem participação de 31% no tempo de uso do telescópio.

Figura 27 - Telescópio Soar

Fonte: Estadão, 2018.

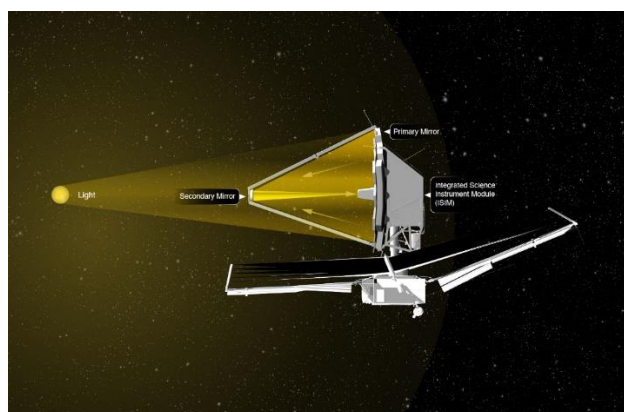
Outros telescópios muito importantes que utilizam o foco Cassegrain são os famosos telescópios espaciais Hubble (figura 28) e o recente James Webb (figura 29).

Figura 28 - Imagem gráfica do HST (Hubble Space Telescope) com destaque para os espelhos primário e secundário com foco do tipo Cassegrain



Fonte: NASA, 2022.

Figura 29 - Imagem do JWST (James Webb Space Telescope) com destaque para os espelhos primário e secundário (foco Cassegrain)



Fonte: WebbTelescope, 2021.

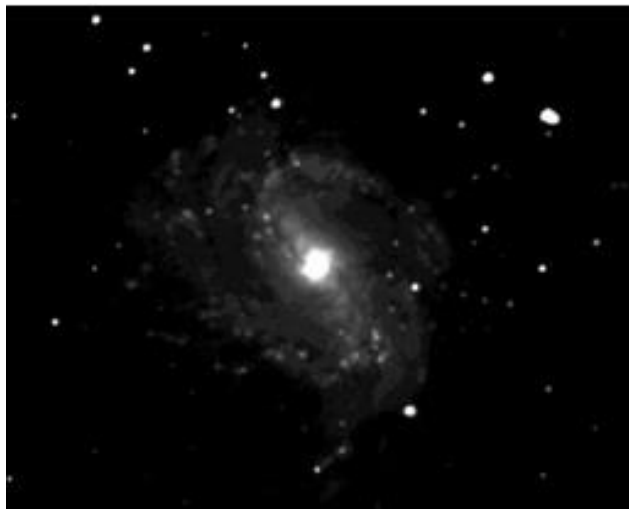
O telescópio do Observatório Antares (figura 30), mantido pela Universidade Estadual de Feira de Santana (Brasil), do tipo CDK20, possui 0,51 m de abertura e também é do tipo Cassegrain. O CDK20 foi adquirido pelo Observatório para pesquisas em fotometria e espectroscopia. A figura 31 mostra uma imagem da galáxia Messier 83, observada pelo CDK20 e tratada com processamento digital.

Figura 30 - Telescópio CDK20 com foco Cassegrain do Observatório Antares (Brasil).



Fonte: Reprodução / Filipe Nunes, 2022.

Figura 31 - Imagem da galáxia M83, observada pelo CDK 20, tratada digitalmente por pesquisadores Observatório Antares, UEFS.

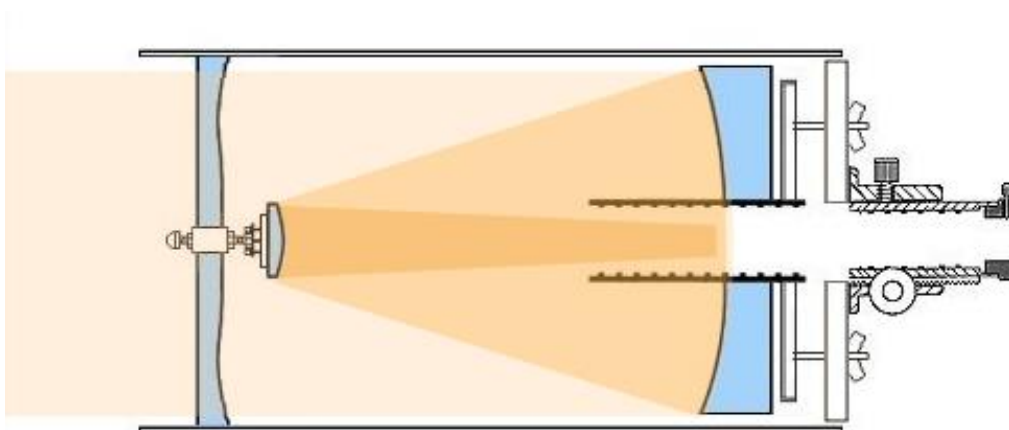


Fonte: UEFS, 2021.

O telescópio catadióptrico

Já no século XX, em 1930, o astrônomo alemão Bernhard Schmidt (1879-1935) constrói outro tipo de telescópio para corrigir o problema da aberração esférica utilizando por lentes e espelhos, ou seja, um telescópio composto funcionando com refração e reflexão na produção de imagens ampliadas. Nesse telescópio, a luz refrata inicialmente numa lente posicionada na abertura do telescópio, reflete nos espelhos primário e secundário e, por fim, chegam à lente ocular. A lente da abertura age como uma espécie de corretora dos raios de luz marginais que tendem a se propagar em focos diferentes, dessa forma, a aberração esférica é eliminada.

Figura 22 - Telescópio catadióptrico com lente Schmidt



Fonte: Telescópios, 2018.

As lentes corretoras mais comuns dos telescópios catadióptricos são: a placa Schmidt (figura 32), o menisco Maksutov e a lâmina de faces paralelas. Todos esses tipos de lentes possuem difícil construção, o que torna o telescópio mais caro do que os refratores e refletores. Porém, a grande precisão com que as lentes corretoras são construídas e a eliminação da aberração esférica, tornam os catadióptricos bons telescópios para astrofotografia. Na figura 33, uma bela imagem do cinturão de Órion capturada pelo Telescópio Samuel Oschin que possui uma lente corretora do tipo Schmidt.

Figura 33 - Imagem do cinturão de Órion obtida ente 1987 e 1991 pelo Telescópio Samuel Oschin

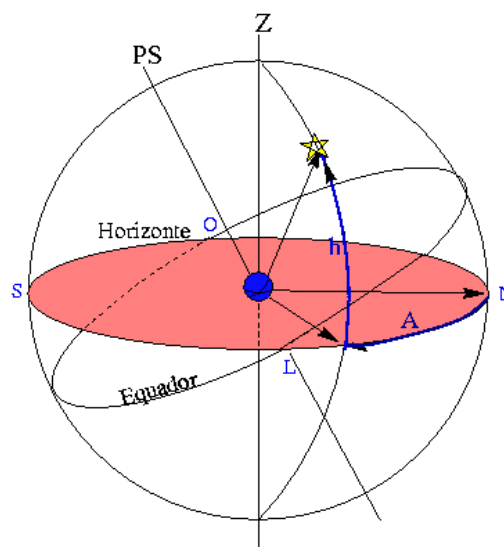


Fonte: Wikimedia Commons, 2005.

Tipos de montagens: altazimutal e equatorial

Os telescópios ópticos, tanto os refratores quanto os refletores e os catadióptricos podem ter basicamente dois tipos de montagens diferentes: altazimutal e equatorial. O que irá determinar o tipo de montagem do telescópio é o sistema de coordenadas de referência. No caso da montagem altazimutal (figura 35) utiliza-se o Sistema Horizontal (figura 34). O Sistema Horizontal utiliza o plano do horizonte do observador como plano de referência tendo como coordenadas, a altura e o azimute. No céu visível ao observador, a altura (h) varia entre 0 e 90°. O azimute (A) varia entre 0 e 360°, no sentido crescente do Norte para o Leste. Por ser um sistema de coordenadas que depende da posição do observador e do instante de observação, é considerado um sistema de coordenadas local.

Figura 34 - O Sistema Horizontal

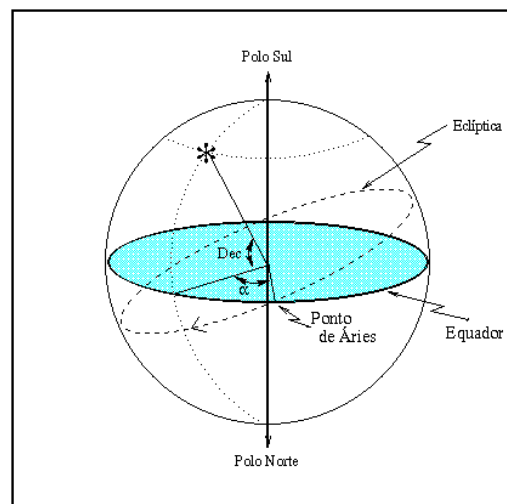


Fonte: Astronomia e Astrofísica, 2022.

Figura 35 - Telescópio refletor altazimutal

Fonte: Wikimedia Commons, 2014.

Já na montagem equatorial, o sistema de coordenador de referência é o Sistema Equatorial Celeste (figura 36). Nesse sistema, o plano de referência é o equador celeste, sendo que, no sistema equatorial celeste, as coordenadas são a declinação (δ) variando entre -90° e 90° e a ascensão reta (α) variando entre 0 hora a 24 horas. O ponto de referência para a medida da ascensão reta está localizado no meridiano do chamado ponto vernal (ou ponto de Áries, ou ponto Gama). O Sol passa por esse ponto exatamente no equinócio de outono no hemisfério sul. Portanto, como o sistema equatorial celeste é fixo e baseado na esfera celeste, este não é um sistema de coordenadas local, uma montagem com esse sistema de coordenadas (figura 37) compensa o movimento de rotação da Terra para fins de acompanhamento de uma estrela.

Figura 36 - O Sistema Equatorial Celeste

Fonte: Astronomia e Astrofísica, 2022.

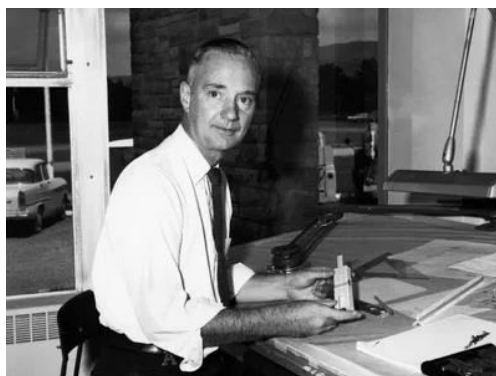
Figura 37 - Telescópio refrator equatorial, modelo de 1921

Fonte: Wikimedia Commons, 2018.

OS RADIOTELESCÓPIOS

Galileu revolucionou a Astronomia com a aplicação do telescópio para as observações do céu e, isto contribuiu imensamente para uma transição de paradigma no que diz respeito à aceitação da ciência como a principal fonte de entendimento sobre a natureza. As imagens nos telescópios puderam mostrar e provar as concepções defendidas por Hiparco, Copérnico, Kepler e o próprio Galileu, marcando uma transição sobre visões de mundo, antes geocêntrica, depois heliocêntrica. No entanto, desde 1609, quando Galileu apresentou seu primeiro telescópio até o início do século XX, pudemos observar apenas a luz visível que os céus podem nos mostrar. Os telescópios refratores, refletores e catadióptricos são invenções extraordinárias para o campo óptico do espectro eletromagnético. Após a invenção do rádio em 1899, creditada ao engenheiro italiano Guglielmo M. Marconi (1874-1937), foi então possível observar ondas eletromagnéticas na faixa rádio. Mas, as primeiras observações ocorrem por acaso: em 1932, Karl G. Jansky (1905-1950), um engenheiro de telecomunicações americano estudava a influência das tempestades causadas nas ondas de rádio utilizadas em transmissões telefônicas transoceânicas, observando a frequência de 20,5 MHz. Em meio a esses estudos, ele detectou uma emissão de rádio de fonte desconhecida. Em estudos posteriores, foi possível mostrar que a fonte que originava a emissão era proveniente do centro da Via-Láctea.

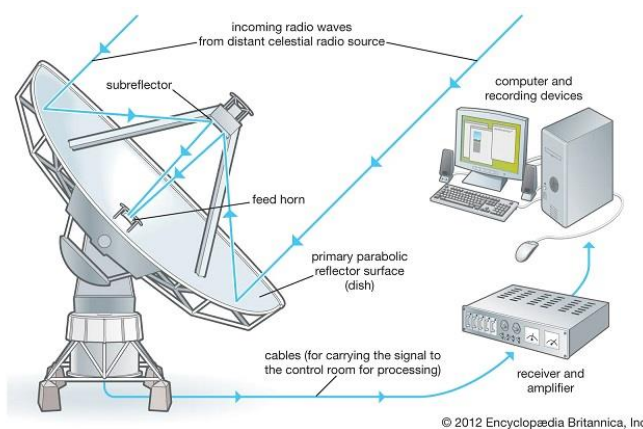
Figura 38 - Grote Reber



Fonte: Encyclopedia Britannica, 2022.

Em 1938, o astrônomo e engenheiro americano, Grote Reber (1911-2002), construiu o primeiro telescópio que capta de ondas de rádio, ao invés de luz visível. Surge então, o radiotelescópio. O novo tipo de telescópio é nada mais, nada menos do que uma grande antena receptora em forma de paraboloide bastante sensível a sinais de radiofrequência.

Figura 39 - Esquema da propagação de ondas longas (rádio) pela antena



Fonte: Encyclopedia Britannica, 2012.

A figura 39 ilustra bem o funcionamento de um radiotelescópio moderno do tipo Cassegrain: as ondas de rádio incidem na superfície paraboloide refletora conhecida como “prato” (dish), os raios refletidos incidem

num refletor secundário (subrefletor) e finalmente, a radiação chega numa trompa de alimentação (feed horn). Os sinais captados são enviados para um receptor externo que amplifica esses sinais e, após esse procedimento, o sinal amplificado é enviado para gravação e armazenamento num computador. O primeiro radiotelescópio construído por Reber consistia numa antena com 9 metros de diâmetro (figura 40). É importante ressaltar que, os sinais chegam de muito longe e, além da perda de intensidade normal, existem outros fatores que dificultam a captação desses sinais como a interferência de radiação cósmica e ruídos de fundo. Isso explica o gigantesco tamanho das antenas, pois quanto maior for a antena, mais sinal estará chegando tornando a captação melhor.

Figura 40 - O primeiro radiotelescópio de Reber



Fonte: Astronomia e Astrofísica, 2018.

Muitas descobertas foram feitas com a invenção do radiotelescópio, dentre elas, os pulsares. Em 1967, a então estudante de pós-graduação em Astrofísica, Susan Jocelyn Bell (figura 41) em observações num radiotelescópio da Universidade de Cambridge descobre um tipo diferente de emissão. A jovem cientista descobre então os pulsares, observando-os em ondas de rádio. Os pulsares são um tipo particular de estrelas de nêutrons com campo magnético muito intenso (da ordem 10^5 kT) que transforma a sua energia de rotação em energia eletromagnética. O pulsar tem como característica a emissão um pulso eletromagnético assemelhando-se à emissão de luz por um farol, por isso o nome que o denomina.

Figura 41 - Susan Bell em 1960

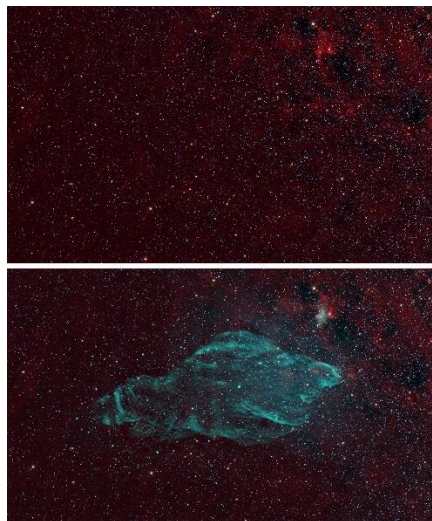


Fonte: Revista Galileu, 2018.

A invenção do radiotelescópio permitiu a criação de um novo segmento da Astronomia, conhecido como Radioastronomia. Nesse ramo é possível estudar os sinais que são ocultos aos nossos olhos, permitindo aos cientistas, por meio de técnicas, construir imagens a partir desses sinais invisíveis. Na figura 42, temos uma representação desse fato: as duas imagens representam observações de um mesmo local do

espaço, a imagem de cima é resultado de uma observação realizada com luz visível e a imagem de baixo é resultado da observação com ondas de rádio. De um modo geral, o radiotelescópio pôde comprovar a emissão de ondas de rádio provenientes de astros, como estrelas e planetas, estruturas, como galáxias e nebulosas, e eventos do cosmos como colisões de galáxias e supernovas.

Figura 42 - Nebulosa W50 (Manatee) vista no óptico (acima) e em rádio (abaixo).



Fonte: National Radio Astronomy Observatory, 2022.

Atualmente, existem vários observatórios com radiotelescópios espalhados pelo mundo. Entre estes podemos citar alguns famosos como o ALMA (figura 43), localizado no Chile, e o VLA (Very Large Array) nos Estados Unidos. No Brasil, o maior radiotelescópio pertence ao Observatório Pierre Kaufmann, localizado em Atibaia, interior de São Paulo.

Figura 43 - Vista aérea do observatório ALMA (Atacama Large Milimeter Array)



Fonte: Olhar Digital, 2022.

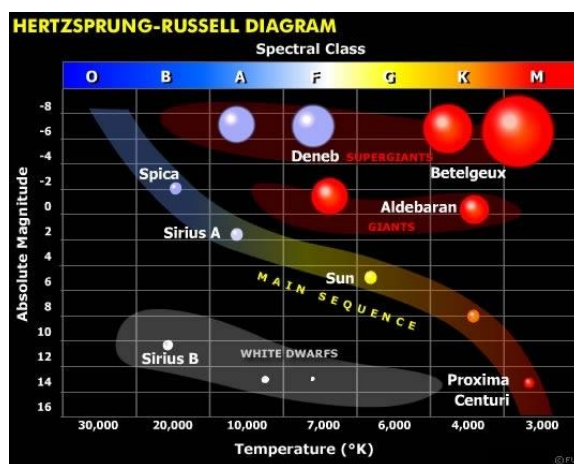
OS TELESCÓPIOS ESPACIAIS

Até aqui, descobrimos que, além do espectro visível que pode ser observado pelos telescópios refratores, refletores e catadióptricos, os céus também podem ser observados com ondas de rádio, por meio dos radiotelescópios. Porém, surge uma questão interessante: a atmosfera do nosso planeta é muito importante para a nossa sobrevivência, e não somente a nossa, mas para os seres vivos. Além de manter a temperatura do planeta num padrão que seja possível a vida, a camada protetora também age como filtro contra radiações prejudiciais à saúde emitidas pelo Sol como os raios X, raios gama, microondas e ultravioleta. No entanto, para as observações em Astronomia isso não é uma vantagem.

O Diagrama HR (figura 44), que ilustra a evolução estelar relacionando a luminosidade de uma estrela e a sua temperatura efetiva, foi publicado por Ejnar Hertzsprung (1873-1967), em 1911, e Henry N. Russel (1877-1957), em 1913. Nessa época, a lei de Wien já era conhecida. Inclusive em 1911, Wilhelm Wien foi laureado com o Prêmio Nobel pela lei que leva o seu nome. A lei de Wien relaciona o comprimento

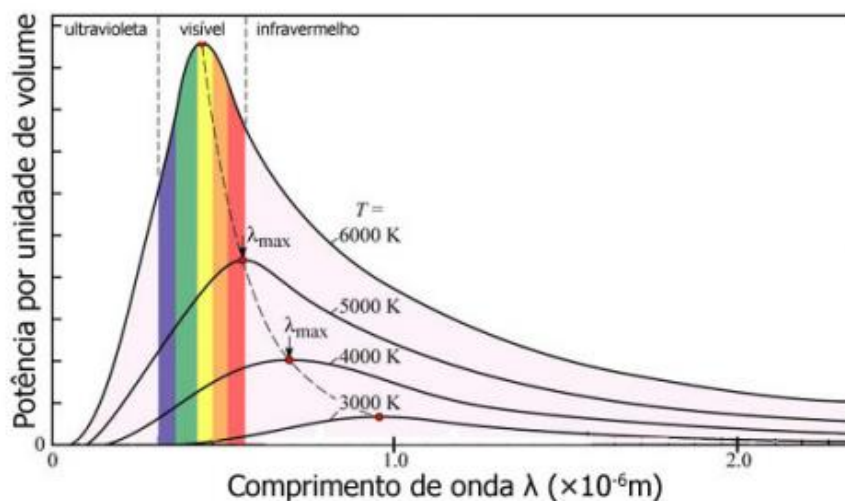
de onda máximo emitido por um corpo e a intensidade máxima emitida por um corpo (figura 45). Dessa forma, relacionando a lei de Wien com os resultados do Diagrama HR é possível concluir que as estrelas podem emitir diferentes comprimentos de onda distintos, de acordo com suas temperaturas e, além disso, existem casos de estrelas que não brilham com luz visível, mas podem ser vistas em outro comprimento de onda, como o infravermelho. O nosso Sol consegue emitir luz visível, pois para essa faixa de comprimento de onda é necessário que o corpo tenha temperaturas em torno de 6.000 K. Esse é o valor da temperatura média do Sol na fotosfera, a região comumente visível da estrela. Na coroa solar, a temperatura pode chegar até em torno de 1.000.000 K, permitindo ao Sol emitir nessa região radiação ultravioleta (UV). E, finalmente, no seu núcleo, onde a temperatura chega a aproximadamente 15.000.000 K, o Sol emite raios X e raios gama.

Figura 44 - O Diagrama HR ilustrado



Fonte: Austrinus, 2014.

Figura 45 - Curva de emissão da radiação térmica

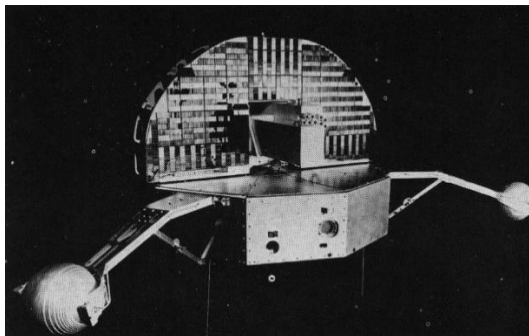


Fonte: Clube de Ciências do Bolinha, 2019.

Esses e outros estudos se desenvolveram com rápida velocidade graças aos grandes avanços da Física nos estudos da interação da luz com a matéria, entre o final do século XIX e início do século XX, e foram de grande importância para o desenvolvimento da Astronomia. Todavia, o maior problema eram as observações que estavam limitadas aos telescópios terrestres que, mesmo com as técnicas de correções de imagem sofriam com a interferência da atmosfera terrestre, dessa forma, o estudo teórico andava a passos largos à frente da observação. Após muitos ensaios, teorias e testes, a corrida pelo espaço de fato, se iniciou com lançamentos de satélites de comunicação no início da década de 1950, motivados pela Guerra Fria

(1947-1991) entre os Estados Unidos e a dissolvida União Soviética. A NASA, agência espacial estadunidense, se aproveita dos avanços conquistados na astronáutica para o planejamento e execução de missões para fins científicos. Em 1962, a instituição coloca na órbita terrestre o OSO 1, Orbiting Solar Observatory (figura 46), o primeiro telescópio espacial, com o objetivo de estudar o Sol observando suas emissões nas faixas do UV, raios X e radiação gama. O OSO 1, foi o primeiro de uma série de oito observatórios lançados pela NASA, com os mesmos objetivos, sendo o último lançado em 1975.

Figura 46 - OSO 1



Fonte: NASA, 2022.

O Telescópio Espacial Hubble

Ao final da Guerra Fria, o governo americano investiu pesado nas pesquisas em Astronomia e a NASA lançou um projeto audacioso conhecido como *Great Observatories Program* que ampliaria em escala colossal a concepção sobre o cosmos e sobre o Universo. O projeto consistiu no lançamento de quatro telescópios espaciais, cada um com a missão de observar o céu com uma radiação específica. O primeiro telescópio, o HST (figura 47) com um custo de mais de 2,5 bilhões de dólares, foi lançado em 1990 a bordo do ônibus espacial Discovery, para realizar observações de luz visível e ultravioleta.

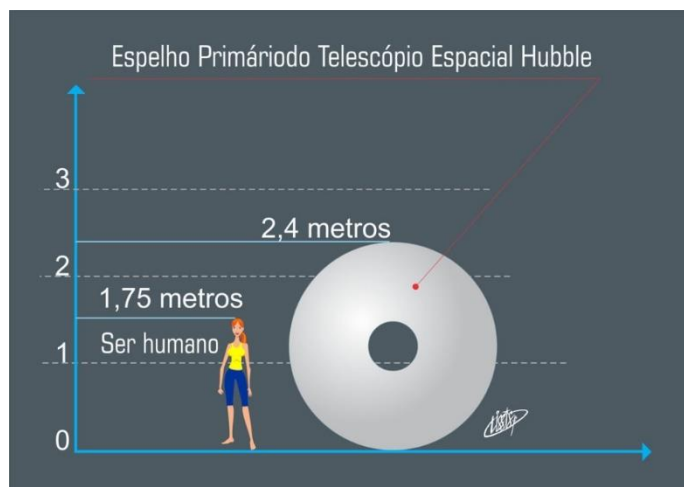
Figura 47 - Telescópio Hubble visto do ônibus espacial Atlantis durante a Missão de Serviço 4 em 2009



Fonte: Wikimedia Commons, 2009.

Como mencionamos anteriormente, o Hubble é um telescópio do tipo refletor com dois espelhos e foco Cassegrain. O espelho primário possui um diâmetro de 2,4 m e a distância entre os espelhos primário e secundário é controlado por um termostato. Embora utilize um espelho primário do tipo côncavo, esse espelho se assemelha a um CD (figura 48). O Hubble utiliza energia solar por meio dos painéis solares que possui.

Figura 48 - Comparação dos tamanhos de um ser humano comum e o espelho primário do Hubble



Fonte: Vidraria de Laboratório, 2015.

Os resultados do Hubble são impressionantes e revolucionaram a Astronomia, pode-se considerar que a missão foi um sucesso absoluto. Somente para constar, diversos trabalhos são publicados com base nos dados do telescópio. O Hubble teve grande impacto para a melhor compreensão dos planetas do sistema solar, da evolução estelar e galáctica, do espaço extragaláctico e do cosmos. Podemos dizer que ao longo dos 32 anos de missão, o HST possui o autêntico legado de reproduzir imagens do espaço profundo como nenhum outro telescópio ou tecnologia tinha feito antes. Esse legado é muito importante pois ajudou no processo de popularização da Astronomia. Basta fazermos uma pesquisa rápida na internet sobre as imagens do Hubble e então, poderemos contemplar as belezas captadas, de planetas a nebulosas.

Figura 49 - A galáxia M66 (NGC 3627) captada pelo Hubble com uma combinação de luzes UV e visível



Fonte: STScI (Space Telescope Science Institute), 2022.

Compton: o Observatório de raios Gama

O segundo telescópio do projeto, o CGRO (Compton Gamma Ray Observatory), foi lançado um ano após o Hubble para observar radiação gama, isto é, radiação de alta energia. O foco desse telescópio estaria concentrado nos pulsares, erupções solares, emissões de quasares, explosões de supernovas, dentre outros fenômenos astronômicos. O Compton (figura 50) contém quatro instrumentos detectores: em ordem crescente de energia, os instrumentos são o *Burst And Transient Source Experiment* (BATSE), *Oriented Scintillation Spectrometer Experiment* (OSSE), *Imaging Compton Telescope* (COMPTEL) e o *Energetic Gamma Ray Experiment Telescope* (EGRET). Esses instrumentos são detectores de fótons que são coletadas quando o telescópio é apontado para a fonte emissora. Como a maior parte dos fótons que chegam são de luz visível é necessário que o receptor do telescópio seja suficientemente grande e que o detector tenha um tempo de exposição considerável para receber o máximo de fótons gama possível.

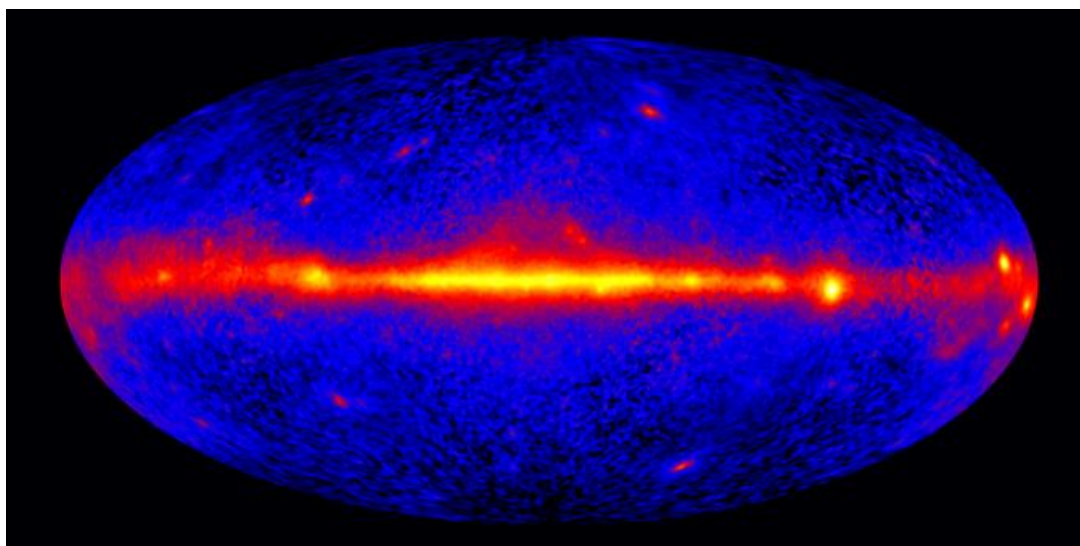
Figura 50 - O Compton e os seus instrumentos detectores de raios Gama



Fonte: NASA, 2016.

Entre os resultados do Compton, temos uma fotografia do céu em raios gama (figura 51), com o plano da nossa galáxia (Via-Láctea) na linha horizontal central emitindo a maior parte da radiação.

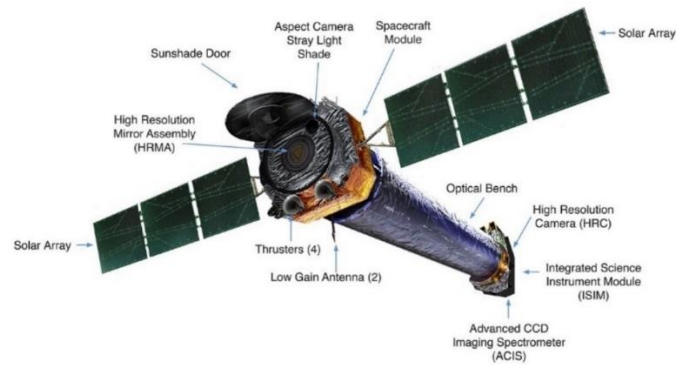
Figura 51 - O céu em raios gama fotografado pelo instrumento EGRET do Observatório Cômpton



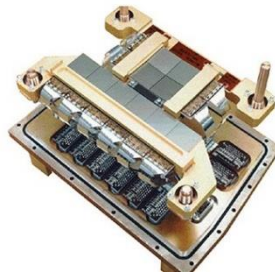
Fonte: NASA, 2016.

Chandra: o Observatório de raios X

O terceiro telescópio espacial do grande projeto da NASA foi lançado em 1999, oito anos após o lançamento do Compton. Trata-se do CXO, Chandra X-Ray Observatory (figura 52), um telescópio construído para observar o céu em raios X, com destaque para as emissões de buracos negros, quasares, pulsares, restos de supernovas, estrelas de nêutrons e aglomerados galácticos quentes. Assim como o Hubble e o Compton, o telescópio Chandra utiliza energia solar por meio de seus painéis solares. A captação de radiação ocorre por meio de quatro instrumentos detectores sensíveis aos raios X: a Câmera de Alta Resolução (HRC), o Espectrômetro de Imagem CCD (ACIS), o Espectrômetro de Grade de Transmissão de Alta Energia (HETGS) e a Grade de Transmissão de Baixa Energia (LETG).

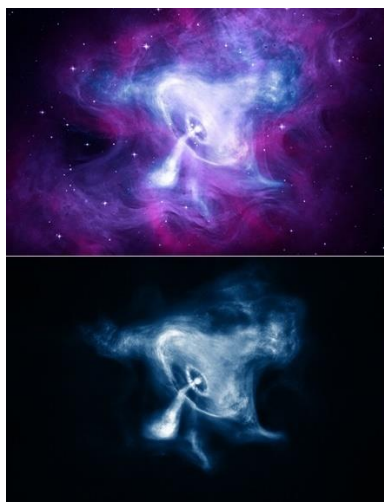
Figura 52 - Ilustração do Observatório Chandra e grande parte de seus componentes

Fonte: Chandra X-Ray Observatory, 2019.

Figura 53 - O Interferômetro de Imagem CCD Avançado (ACIS)

Fonte: Chandra X-Ray Observatory, 2019.

A figura 54 mostra duas fotografias realizadas da Nebulosa do Caranguejo pelo Chandra, a primeira é uma reprodução composta (combinação da captação de luz visível, raios X e infravermelho) e a segunda é uma foto somente com captação de raios X.

Figura 54 - Fotografias da Nebulosa do Caranguejo: uma combinando óptico, infravermelho e raio X (acima) e a outra apenas com raios X (abaixo).

Fonte: Chandra X-Ray Observatory, 2018.

O Telescópio Espacial Spitzer

O quarto e último telescópio do bilionário projeto da NASA foi o SST, Spitzer Space Telescope (figura 55), o único do projeto lançado em órbita no século XXI, no ano de 2003. Também é o único do projeto que completou sua missão e está desativado. A missão do Spitzer foi para observar o céu em infravermelho. Basicamente, o Spitzer é composto de duas partes principais, a espaçonave (figura 56) e o Conjunto do Telescópio Criogênico (figura 57). As funções da espaçonave eram: a) fornecer energia para todo o telescópio por meio dos painéis solares, b) captar e manipular os dados obtidos pelo telescópio e c) se comunicar com a Terra enviando todas as informações e todo o status do sistema.

Figura 55 - Telescópio Espacial Spitzer



Fonte: NASA, 2004.

Figura 56 - A “Spacecraft” (nave espacial) do Spitzer destacada



Fonte: NASA, 2022.

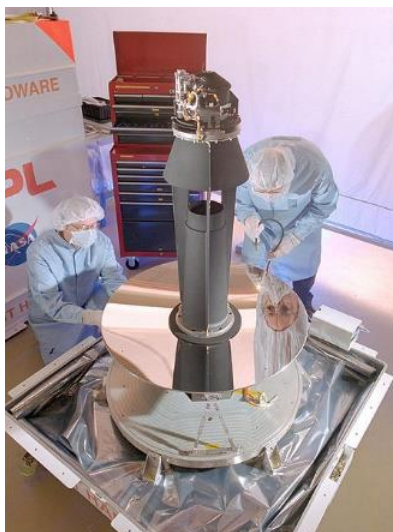
Figura 57 - O telescópio do Spitzer ao centro



Fonte: NASA, 2022.

O Conjunto do Telescópio Criogênico tinha quatro componentes: a) o telescópio, b) a câmara de instrumentos múltiplos (ou câmara infravermelha), c) o espectrógrafo infravermelho e, d) o fotômetro de imagem multibanda. O telescópio do Spitzer tinha um espelho de 85 cm (figura 58).

Figura 58 - O telescópio do Spitzer



Fonte: Wikimedia Commons, 2006.

O Spitzer trouxe diversos resultados e contribuições para a Astronomia. Como é um telescópio que capta luz na forma de calor, pôde tornar visível muitas formações invisíveis com luz no óptico, assim como o Compton e o Chandra. Dentre as muitas fotografias do Spitzer podemos destacar aqui a “Borboleta Espacial” (figura 59) revelada pelo Spitzer que nada mais é do que um berçário de estrelas recém-nascidas.

Figura 59 - A Borboleta Espacial, berçário de estrelas bebês



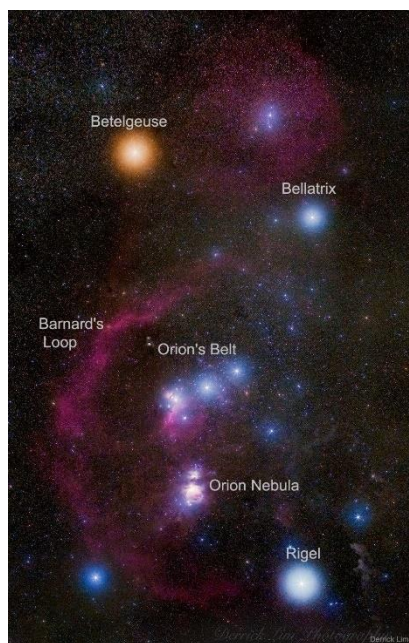
Fonte: NASA/SST, 2022.

O Telescópio James Webb

O Programa dos Grandes Observatórios Espaciais da NASA foi um sucesso muitos avanços e pesquisas científicas foram realizadas pelos astrônomos. Mesmo assim, os telescópios desenvolvidos não foram capazes de observar tão longe quanto o universo conhecido permite. Estima-se que o universo possui uma idade de aproximadamente 13 bilhões de anos. Quando olhamos para o céu e vemos os astros, como a Lua, o Sol e as demais estrelas, seja a olho nu ou por um telescópio, é importante frisar que estamos olhando para o passado desses astros. Isto porque, a luz proveniente desses astros, seja emitida pelas estrelas ou refletidas pela Lua e os planetas, leva um determinado tempo para chegar aos nossos olhos. No vácuo, a luz viaja uma velocidade de aproximadamente 300.000 km/s, isto é, 300.000 km em apenas 1 segundo. Isto é muito rápido! Para o nosso cotidiano, seria comum pensar que a luz possui velocidade infinita uma vez que as distâncias aqui na Terra são pequenas comparadas a 300.000 km. O diâmetro equatorial da Terra, mede aproximadamente 6.400 km. A luz leva apenas 0,02 s para percorrer essa distância. Porém, se sairmos

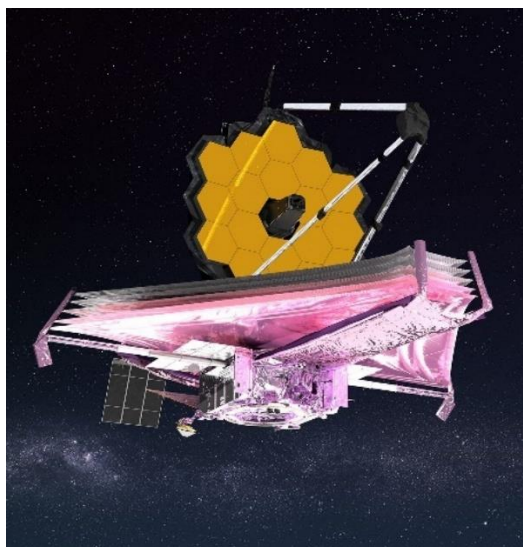
da esfera terrestre, perceberemos uma notória diferença. A distância média entre a Lua e a Terra é de aproximadamente 384.000 km. Ou seja, a luz refletida da Lua dura aproximadamente 1,3 s. A distância média da Terra-Sol é igual a 150.000.000 km e o tempo médio que a luz do Sol leva para chegar à Terra é igual a 8 minutos e 20 segundos. Quanto maior a distância de um astro ao nosso planeta, maior o tempo que a luz emitida ou refletida por esse astro leva para chegar até nós. Dessa forma é possível pensar que, quanto mais longe conseguimos ver com um telescópio, mais do passado conseguimos enxergar. Uma das constelações mais fáceis (senão a mais fácil) de identificar no céu noturno é Órion, caracterizada pelo seu cinturão central com três formando uma (quase) linha reta. A figura 60 mostra uma composição digital de mais de 20 imagens da constelação de Órion com zoom aumentado por telescópio. Nessa imagem conseguimos ver estrelas que, a olho nu não é possível ver. A estrela mais brilhante da constelação de Órion é Rigel, seguida de Betelgeuse. Rigel encontra-se a uma distância 772 anos-luz da Terra, enquanto Betelgeuse, a uma distância média de 720 anos-luz. Já a nebulosa de Órion, a única que pode ser vista a olho nu encontra-se a aproximadamente 1.500 anos-luz. Com bons telescópios conseguimos ver outras nebulosas como a famosa Nebulosa Cabeça de Cavalo e a Nebulosa da Chama na região do cinturão. Mas o que é interessante é que, enxergamos as imagens das estrelas Rigel e Betelgeuse de aproximadamente 772 e 720 anos atrás e a imagem da nebulosa de Órion a 1.500 anos atrás.

Figura 60 - Composição de imagens ampliadas da constelação de Órion vista em cores. Com destaque para a cor de Betelgeuse, a estrela mais brilhante Rigel (abaixo à direita) e a nebulosa em tom avermelhado

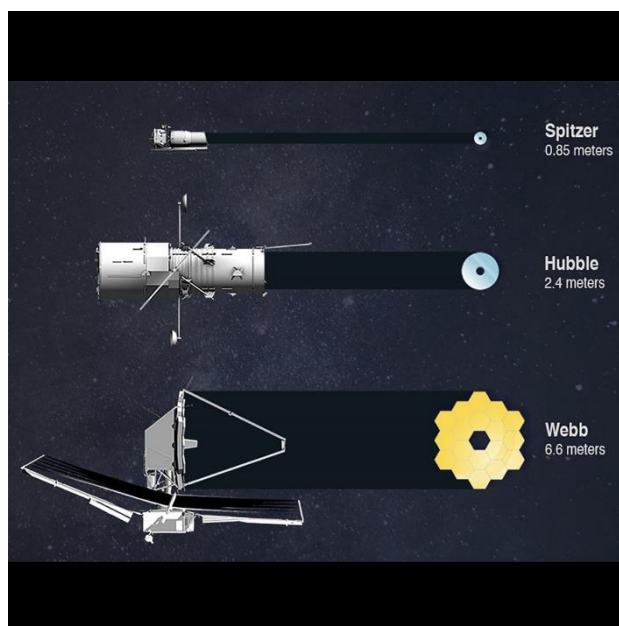


Fonte: NASA/Derrick Lim, 2022.

O Telescópio Espacial Hubble conseguiu enxergar até aproximadamente 500 milhões de anos após o Big Bang, ou seja, 500 milhões de anos após o início da expansão do universo. Mesmo com as manutenções e atualizações durante a missão, a tecnologia do Hubble é antiga comparada com as tecnologias que dispomos no século XXI. Portanto, a NASA decidiu criar telescópios espaciais “substitutos” para alguns dos telescópios do primeiro programa, de modo que se fosse possível enxergar um pouco mais longe sobre o universo em diferentes espectros, assim como no primeiro projeto. Desses mais modernos telescópios, tem se depositado maiores expectativas em mais um projeto da NASA, o JWST, James Webb Space Telescope (figura 61). Isso porque, além de ser o telescópio construído com as melhores tecnologia atuais, conta com um espelho primário de 6,6 metros de diâmetro, 2,75 vezes maior que o espelho primário do Hubble (figura 62).

Figura 61 - Imagem artística do JWST

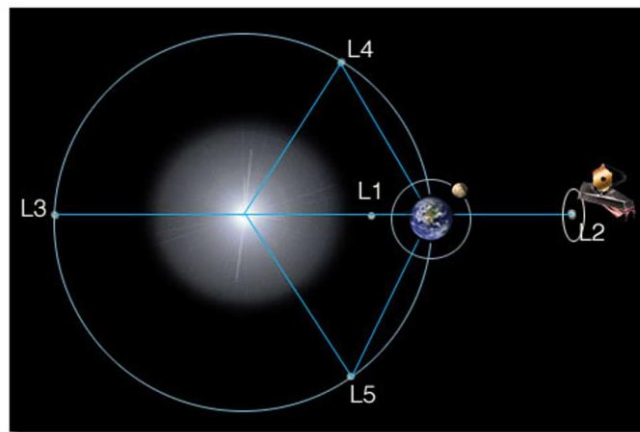
Fonte: NASA, NASA GSFC/CIL/Adriana Manrique Gutierrez, 2021.

Figura 62 - Comparação dos espelhos dos telescópios espaciais Spitzer, Hubble e James Webb

Fonte: Webb Telescope, 2018.

O JWST foi lançado pela NASA recentemente em 25 de dezembro de 2021, com uma missão mais profunda: observar a radiação infravermelha decorrente da expansão do universo ocorrida no Big Bang, isto é, espera-se que o James Webb possa observar o universo na sua infância, além dos limites do Hubble. Sendo assim, pelo tipo de missão o James Webb é o sucessor do Telescópio Espacial Spitzer. Sua órbita é diferente dos anteriores mencionados nesse artigo, o JWST foi instalado a 1.500.000 km além da órbita Terra-Sol, num ponto conhecido como L2, um dos “Pontos de Lagrange” (figura 63).

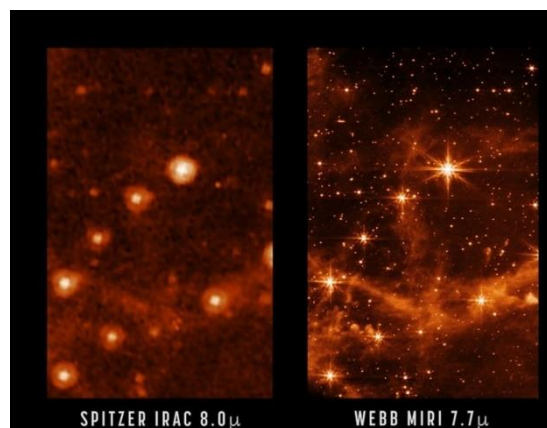
Figura 63 - Os pontos de Lagrange e a órbita do JWST em torno desse ponto.



Fonte: NASA, 2010.

Quanto à tecnologia do JWST, podemos dizer que o observatório é dividido basicamente em três partes: a) o Módulo de Instrumento Científico Integrado (ISIM), b) o Elemento de Telescópio Óptico (OTE) e c) o Módulo de Suporte Espacial (SSM). O ISIM é um sistema criogênico (funcional a baixas temperaturas) que está integrado ao OTE que serve para conceder ambiente e estrutura para os dados coletados. Esse sistema possui três módulos: uma poderosa câmera de infravermelho (NIRCam), um espectrógrafo de infravermelho (NIRSpec) e instrumentos para o infravermelho (MIRI). O OTE contém a parte principal do telescópio que capta as imagens, um grande espelho de 6,6 metros de diâmetro. Diferente dos espelhos do Hubble e do Spitzer como mostra a figura 62, a geometria do espelho do James Webb é um composto de 18 hexágonos com ajuste bem refinado e agem como mini espelhos. O apontamento do telescópio a uma região ou astro específico gera então 18 imagens que se superpõem no foco e proporcionam ao telescópio uma imagem resultante. Uma consequência notável da geometria dos mini espelhos do James Webb são as seis pontas nas estrelas das imagens captadas, como mostra a figura 64. Na mesma figura é possível perceber a diferença de resolução entre as imagens do James Webb tratadas pelo MIRI e do seu antecessor Spitzer, pela IRAC, sua câmera de infravermelho.

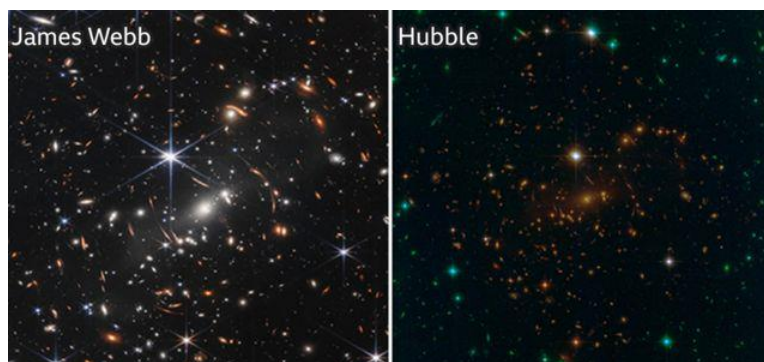
Figura 64 - Comparação das imagens de uma mesma região do espaço captadas pelo Spitzer e pelo James Webb



Fonte: NASA, 2022.

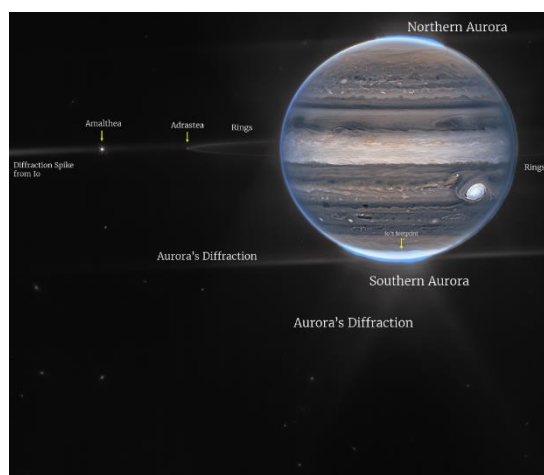
O JWST ainda está fase de testes e aguardando alcançar a temperatura ideal para mergulhar de vez nas observações científicas. No entanto, podemos dizer que as primeiras imagens captadas pelo super telescópio e reveladas pela NASA são surpreendentes. Dentre as muitas imagens em cores do James Webb já reveladas pela NASA, destacamos aqui as figuras 65 e 66.

Figura 65 - Comparação entre dois registros do aglomerado de galáxias SMACS 0723, fotografado com o JWST e o HST



Fonte: BBC News Brasil, 2022.

Figura 66 - Imagem de Júpiter vista em infravermelho com o JWST onde é possível ver os seus anéis, as auroras polares e algumas de suas luas



Fonte: NASA, 2022.

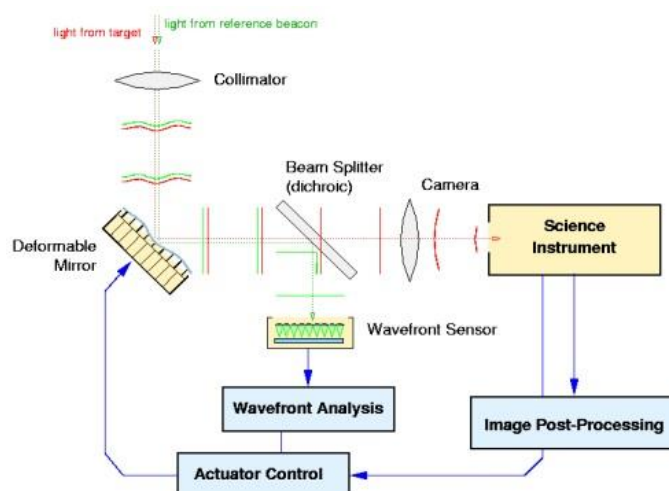
TÉCNICAS DE CORREÇÃO DE IMAGENS

Vimos anteriormente que além da exploração espacial os cientistas buscaram eliminar os efeitos causados pela atmosfera terrestre nas observações criando os observatórios espaciais. Mas, existem técnicas que ajudam a corrigir distorções causadas em imagens seja pela interferência da atmosfera terrestre ou mesmo por defeitos ou problemas do próprio telescópio. Essas correções se aplicam, aos telescópios de um modo geral, e às observações do espaço principalmente no óptico e no infravermelho, esta última como já sabemos sofre muita interferência da atmosfera terrestre. Basicamente são duas técnicas de correções, a saber, a óptica adaptativa e a óptica ativa.

Óptica adaptativa

Para defasagens nas frentes de ondas que chegam no telescópio utiliza-se a óptica adaptativa, que consiste numa tecnologia de correção contendo basicamente um espelho deformável controlado eletronicamente. A onda passa inicialmente por um detector (pode ser um colimador) que identifica a forma da onda. O detector envia as informações da onda para o sistema que, automaticamente deforma o espelho de acordo com a forma oposta da onda que passa pelo detector (figura 67). Assim, os diferentes pontos da frente de onda chegam em fase, de modo a corrigir a imagem antes desfocada ou imperfeita.

Figura 67 - Correção de imagem por óptica adaptativa



Fonte: Center for Imaging Science / Rochester Institute of Technology, 2001.

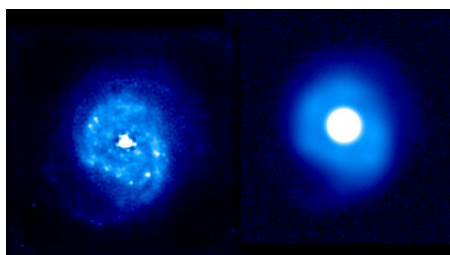
O sistema eletrônico do espelho conta com atuadores controlados por um motor, que converte energia elétrica com corrente contínua, em energia mecânica para deformar o espelho. Para a utilização da óptica adaptativa também se faz necessário escolher uma estrela de referência que seja suficientemente brilhante e que esteja próxima ao alvo que se deseja observar. Essa estrela será referência e o modo de testagem que a tecnologia avalie, meça e corrija os efeitos causados pela turbulência atmosférica local. A estrela Vega é uma boa estrela de referência, pois além de ser a quinta estrela mais brilhante do céu, possui magnitude aparente igual a 0,03, valor muito próximo de zero, valor interessante também para servir de referência para a medida da magnitude de outros dos objetos extraterrestres que se deseja observar. Em ocasiões onde as estrelas escolhidas para servir de referência não estão disponíveis no céu noturno, os astrônomos criam estrelas artificiais apontando raios lasers de altíssima intensidade para as camadas mais externas da atmosfera (figura 68).

Figura 68 - Apontamento de raios lasers para criação de estrelas de referência artificiais (óptica adaptativa)



Fonte: ESO/Y. Beletsky, 2007.

Figura 69 - Imagens do núcleo da galáxia NGC 7469 vistas sem óptica adaptativa (à esquerda) e com óptica adaptativa (à direita)

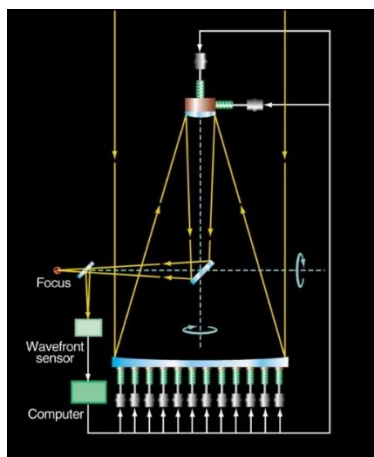


Fonte: Fonte: Center for Imaging Science / Rochester Institute of Technology, 2001.

Óptica ativa

Os telescópios estão sujeitos erros que podem interferir na qualidade e fidelidade das imagens captadas, seja pelo próprio peso do telescópio que pode acarretar deformação no tubo óptico ou desvio do eixo principal (eixo focal), seja por deformações no espelho primário. Esses problemas podem ocorrer quando um telescópio muito grande gira à procura de um alvo específico. A fim de sanar esses problemas, a ESO (European Southern Observatory) desenvolveu uma tecnologia de correção aplicada a telescópios de um modo geral. A tecnologia consiste na utilização de atuadores controlados por um computador, que ajustam os componentes do telescópio enquanto o mesmo gira de uma posição a outra a fim de buscar o alvo (figura 70). Essa correção ocorre enquanto o computador monitora a estrela de referência.

Figura 70 - Tecnologia utilizada para a correção de imagens com óptica ativa



Fonte: ESO, 1999.

CONCLUSSÕES

Como podemos perceber, embora tenha se estabelecido como uma ciência organizada e mais fidedigna quanto à correta interpretação das leis e fenômenos a partir de Galileu, a Astronomia, enquanto objeto de estudo, de análise, de reflexão sempre despertou curiosidade do ser humano e, à medida que percebia determinada relação entre os fenômenos do céu e os eventos terrestres, passou a se interessar registro, depois na medição e posteriormente, a questionar o porquê da ocorrência desses fenômenos. A observação sempre foi uma base da Astronomia e, por isso, se as tecnologias de observação evoluem, a Astronomia sempre dá um passo adiante, como foi com Galileu e com o Telescópio Espacial Hubble. Em meio a toda essa evolução descrita é possível perceber que o questionamento sobre o desconhecido sempre foi a motivação para a evolução do conhecimento, das novas ideias e das mudanças de paradigmas. Sendo assim, podemos concluir que, sempre haverá margens para novos conhecimentos, afinal de contas, o lançamento do Telescópio Espacial James Webb gera uma grande para respostas que necessitamos, de perguntas como “*O que houve antes do Big Bang?*”, “*Existem mundos iguais ou nosso?*”, “*Existe vida inteligente fora da Terra*”, “*O que há dentro de um buraco negro?*” dentre outras perguntas. Mas, e se o James Webb não responder a perguntas como essas, por instinto não desistiremos de encontrar as respostas.

REFERÊNCIAS

- Catadióptricos. **Telescópios**, 2018. Disponível em:<<https://www.telescopiosastronomicos.com.br/catadioptricos.html#:~:text=Telesc%C3%B3pios%20%2D%20Catadi%C3%B3tricos&text=Catadi%C3%B3tricos%20s%C3%A3o%20telesc%C3%B3pios%20que%20combinam,os%20espelhos%20prim%C3%A1rio%20e%20secund%C3%A1rio>>. Acesso em: 11 de dezembro de 2022.
- Chandra Spacecraft. **Chandra X-Ray Observatory**, 2019. Disponível em:<<https://chandra.harvard.edu/about/spacecraft.html>>. Acesso em: 11 de dezembro de 2022.
- Chandra X-ray Observatory. **NASA**, 2022. Disponível em:<<https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraft/display.action?id=1999-040B>>. Acesso em: 12 de dezembro de 2022.
- do Carmo Carvalho, Matheus; Aparecida Fernandes Martin, Vera; César da Rocha Poppe, Paulo. **PROCESSAMENTO DIGITAL DA GALÁXIA M83 OBSERVADA COM O TELESCÓPIO CDK20**, 2021. Disponível em:<<http://periodicos.uefs.br/index.php/semic/article/view/6635>>. Acesso em: 13 de dezembro de 2022.
- Excluída do Nobel, astrônoma ganha prêmio de física 50 anos depois de sua descoberta. **Revista Galileu**, 2018. Disponível:<<https://revistagalileu.globo.com/Ciencia/noticia/2018/09/excluida-do-nobel-astronoma-ganha-premio-de-fisica-50-anos-depois-da-incrivel-descoberta.html>>. Acesso em: 12 de dezembro de 2022.
- GALILEI, Galileu. **O mensageiro das estrelas**. Tradução, introdução e notas C. Z. Camenietzki. São Paulo: Scientific American Brasil/Duetto, 2009 [1610].
- Grote Reber. **Britannica**, 2021. Disponível em:<<https://www.britannica.com/biography/Grote-Reber>>. Acesso em: 10 de dezembro de 2022.
- King H; Jones H. **THE HISTORY OF THE TELESCOPE b**. New York. 1955.
- 'L2' Will be the James Webb Space Telescope's Home in Space. **NASA**, 2010. Disponível em:<<https://www.nasa.gov/topics/universe/features/webb-l2.html>>. Acesso em: 13 de dezembro de 2022.
- Lunetas e Telescópios. **Observatório Astronômico Phoenix**, 2002. Disponível em:<http://www.observatorio-phoenix.org/n_telesc/24_N01.htm>. Acesso em: 09 de dezembro de 2022.
- Nabta Playa: O primeiro sítio astronômico do mundo foi construído na África e é mais antigo que Stonehenge. **Gaia Ciência**, 2021. Disponível em:<<https://gaiaciencia.com.br/nabta-playa-o-primeiro-sitio-astronomico-do-mundo-foi-construido-na-africa-e-e-mais-antigo-que-stonehenge-espaco--fisica>>. Acesso em: 25 de novembro de 2022.
- Nabta Playa: The world's first astronomical site was built in Africa and is older than Stonehenge. **Astronomy**, 2020. Disponível em:<<https://astronomy.com/news/2020/06/nabta-playa-the-worlds-first-astronomical-site-was-built-in-africa-and-is-older-than-stonehenge>>. Acesso em: 25 de novembro de 2022.
- NASA's Great Observatories. **NASA**, 2004. Disponível em:<https://www.nasa.gov/audience/forstudents/postsecondary/features/F_NASA_Great_Observatories_PS.html>. Acesso em: 11 de dezembro de 2022.
- NASA Celebrates 25 Years of Breakthrough Gamma-ray Science. **NASA**, 2016. Disponível em:<<https://www.nasa.gov/feature/goddard/2016/nasa-celebrates-25-years-of-breakthrough-gamma-ray-science>>. Acesso em: 11 de dezembro de 2022.
- OBSERVATÓRIO Pierre Kaufmann é reinaugurado em Atibaia. **Prefeitura da Estância de Atibaia**, 2019. Disponível em:<<http://www.prefeituradeatibaia.com.br/noticia/observatorio-pierre-kaufmann-e-reinaugurado-em-atibaia/>>. Acesso em: 14 de setembro de 2022.

- Oliveira Filho, Kepler de Souza; Maria de Fátima Oliveira Saraiva. **Astronomia e Astrofísica**. 2004.
- Oliveira Filho, Kepler de Souza; Maria de Fátima Oliveira Saraiva. Sistemas de Coordenadas. **Astronomia e Astrofísica**, 2022. Disponível em:< <http://astro.if.ufrgs.br/coord.htm>>. Acesso em: 14 de dezembro de 2022.
- Oliveira Filho, Kepler de Souza; Maria de Fátima Oliveira Saraiva. O Diagrama Cor-Magnitude - Hertzsprung-Russel. **Astronomia e Astrofísica**, 2022. Disponível em:< <http://astro.if.ufrgs.br/estrelas/node2.htm>>. Acesso em: 12 de dezembro de 2022.
- Oliveira Filho, Kepler de Souza; Maria de Fátima Oliveira Saraiva. Refrator ou Refletor. **Astronomia e Astrofísica**, 2022. Disponível em:< <http://astro.if.ufrgs.br/telesc/node2.htm>>. Acesso em: 11 de dezembro de 2022.
- Óptica Adaptativa. **ESO**. Disponível em:<https://www.eso.org/public/brazil/teles-instr/technology/adaptive_optics/>. Acesso em: 14 de dezembro de 2022.
- Óptica Ativa. **ESO**. Disponível em:<https://www.eso.org/public/brazil/teles-instr/technology/active_optics/>. Acesso em: 14 de dezembro de 2022.
- OSO 1: Nasa Space Science Data Coordinated Archive. **NASA**, 2022. Disponível em:< <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraft/display.action?id=1962-006A>>. Acesso em: 11 de dezembro de 2022.
- Pesquisa. **Observatório Astronômico Antares**. UEFS. Disponível em: < <http://www.antares.uefs.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=9>>. Acesso em: 09 de dezembro de 2022.
- Potência de uma lente. **Instituto de Física (UFRGS)**. Disponível em:< <http://www.if.ufrgs.br/tex/fis01043/20032/Rafael/informa.htm#:~:text=Chama%2Dse%20pot%C3%Aancia%20de%20uma,Em%20s%C3%ADmbolos.&text=A%20unidade%20de%20pot%C3%Aancia%20C3%A9,focal%20C3%A9%20de%201%20metro>>. Acesso em: 08 de dezembro de 2022.
- Pumfrey S. **Harriot's maps of the moon: new interpretations**. Lancaster, UK 2009.
- Radio and radar astronomy. **Britannica**, 2018. Disponível:<<https://www.britannica.com/science/radio-astronomy>>. Acesso em: 10 de dezembro de 2022.
- Ruggles C. **Astronomy and Stonehenge**. 1997.
- Thomas Harriot (1560-1621). **High Altitude Observatory**. National Center Atmospheric Research. Disponível em:<<https://www2.hao.ucar.edu/education/scientists/thomas-harriot-1560-1621>>. Acesso em: 08 de dezembro de 2022.
- Unesco awards Lake District World Heritage site status. **BBC News**, 2017. Disponível em:<<https://www.bbc.com/news/uk-england-cumbria-40547691>>. Acesso em: 04 de dezembro de 2022.
- Vega. **Simbad**, 2022. Disponível em:<<http://simbad.cds.unistra.fr/simbad/sim-basic?Ident=Vega&submit=SIMBAD+search>>. Acesso em: 13 de dezembro de 2022.