



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CAMPUS AGRESTE
NÚCLEO DE FORMAÇÃO DOCENTE
FÍSICA-LICENCIATURA

RENATO XAVIER ALVES DA SILVA

**AS CONTRIBUIÇÕES DO TELESCÓPIO HUBBLE PARA OBSERVAÇÕES EM
COSMOLOGIA E SEU FUTURO PERANTE O TELESCÓPIO JAMES WEBB**

Caruaru
2023

RENATO XAVIER ALVES DA SILVA

**AS CONTRIBUIÇÕES DO TELESCÓPIO HUBBLE PARA OBSERVAÇÕES EM
COSMOLOGIA E SEU FUTURO PERANTE O TELESCÓPIO JAMES WEBB**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de física-Licenciatura do Campus Agreste da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, na modalidade de monografia, como requisito parcial para a obtenção do grau de licenciado em Física.

Área de concentração: Física

Orientador (a) Prof. Dr. Heydson Henrique Brito da Silva

Caruaru

2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Silva, Renato Xavier Alves da.

As contribuições do telescópio Hubble para observações em cosmologia e seu futuro perante o telescópio James Webb / Renato Xavier Alves da Silva. - Caruaru, 2023.

74 p. : il.

Orientador(a): Heydson Henrique Brito da Silva

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico do Agreste, Física - Licenciatura, 2023.

Inclui referências, anexos.

1. cosmologia.. 2. Telescópios.. 3. Expansão do Universo.. 4. Telescópio Hubble.. 5. Telescópio James Webb.. I. Silva, Heydson Henrique Brito da. (Orientação). II. Título.

530 CDD (22.ed.)

RENATO XAVIER ALVES DA SILVA

**AS CONTRIBUIÇÕES DO TELESCÓPIO HUBBLE PARA OBSERVAÇÕES EM
COSMOLOGIA E SEU FUTURO PERANTE O TELESCÓPIO JAMES WEBB**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Coordenação do Curso de
Física-Licenciatura do Campus Agreste da
Universidade Federal de Pernambuco –
UFPE, na modalidade de monografia,
como requisito parcial para a obtenção do
grau de licenciado em Física.

Aprovado em: 23/02/2023

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Heydson Henrique Brito da Silva (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Ernesto Arcenio Valdés Rodriguez (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^a. Tassiana Fernanda Genzini de Carvalho (Examinadora Interna)
Universidade Federal de Pernambuco

Por tanto lutar, apoiar e oferecer toda ajuda possível. Dedico a minha avó, Detinha.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus que me deu energia e disposição para que este trabalho fosse concluído. Sem ele nada seria possível.

Aos familiares pelo apoio, compreensão e carinho. Principalmente, a minha avó, meus dois irmãos, Matheus e Rafael, meus tios e tias, Flávio, Fábio e Vera.

Aos meus professores pelo aprendizado durante o curso. Especialmente, agradeço ao professor João Eduardo, com a orientação na Residência pedagógica.

Ao meu orientador, Heydson Henrique, pela paciência e oportunidades nos grupos de pesquisa, extensão, monitoria e agora como orientador deste trabalho.

Aos integrantes da banca, professora Tassiana Carvalho, tenha uma admiração grande por ela. Ao professor Ernesto Valdes pelas suas contribuições na minha jornada acadêmica. Os seus comentários indubitavelmente enriqueceram o trabalho.

Aos meus amigos, Ana, Vanessa, Eloá, Samuel, Millena, Thaianne, Zé, Pedro Macedo, Jonathan, Beatriz, Isaque... tornaram a jornada especial. São pessoas que contribuíram durante o caminho na UFPE, possibilitando enriquecer com momentos de estudos, viagens, diversões, conselhos, apoios e conversas que permitiram finalizar o ciclo na graduação com instantes que jamais vou esquecer.

As assistentes sociais do CAA, a CAPES e PROAES, por meio do auxílio e bolsas permitiram me dedicar aos estudos.

Enfim, agradeço a todos que ajudaram na caminhada até o momento.

“Um passo à frente e você já não está mais no mesmo lugar” (Chico Science)

RESUMO

A cosmologia se desenvolveu rapidamente a partir do século XX, modelos cosmológicos, observatórios mais sofisticados, descoberta da expansão do universo, a teoria do Big Bang, etc. Com o avanço da tecnologia, a humanidade conseguiu colocar um telescópio no espaço, o Hubble. Sendo assim, o objetivo deste trabalho é descrever as contribuições do telescópio espacial Hubble para as observações em cosmologia e seu futuro perante ao telescópio espacial James Webb. Também apresentamos um breve histórico da cosmologia e dos telescópios, possibilitando identificar os principais nomes nesses dois segmentos, Edwin Hubble, Alexander Friedmann, Henrietta Swan Leavitt, etc. Além de levantar dados a respeito do telescópio Hubble, desde antes do seu lançamento, seguindo para o principal defeito nele, chegando na contribuição para a descoberta da expansão acelerada do universo e finalizando com informações do telescópio James Webb. A metodologia desenvolvida sucedeu de análises de referenciais em busca de descrever o avanço na cosmologia com o telescópio Hubble, caracterizando esta pesquisa como uma abordagem qualitativa que respondeu acerca da hipótese levantada, a posição do HST, aproximadamente 547 quilômetros de altitude da atmosfera da Terra, possibilita observações mais nítidas e o telescópio James Webb pode conquistar os melhores resultados de coletas de dados por estar localizado em uma distância de 1,5 milhão de quilômetros desse planeta, lugar que possibilita uma menor influência da radiação do Sol, Terra e Lua, além de não ser atraído pela força gravitacional do Sol. Diante das investigações, a conclusão obtida sucedeu em confirmar que o telescópio Hubble tem resultados mais significativos diante da sua posição, que lhe garante melhores observações, além de continuar seu poder de protagonista com o telescópio James Webb, em que este investiga no espectro do infravermelho e o outro na luz visível.

Palavras-chave: Cosmologia; telescópios; expansão do Universo; telescópio Hubble; telescópio James Webb.

ABSTRACT

Cosmology has developed rapidly since the 20th century, cosmological models, more sophisticated observatories, discovery of the expansion of the universe, the Big Bang theory, etc. Therefore, the objective of this work is to describe the contributions of the Hubble treated space for observations in cosmology and its future seen to the James Webb treated space. We also show a brief history of cosmology and acceptances, identifying the main names in these two segments. In addition to collecting data about the accepted Hubble, since before its launch, moving on to the main defect in it, arriving at the entrance to the discovery of the exploration of the universe and ending with information from the sought-after James Webb. The developed methodology followed from analyzes of references in search of describing the advance in cosmology with the acceptable Hubble, characterizing as a qualitative approach that answered about the hypothesis raised, the position of the HST in space allows more distant observations and the insurance James Webb can conquer the best data collection results for being located at a distance almost three times farther away. In view of these considerations, the conclusion succeeded in confirming that the compatible Hubble has more observed results in view of its position, in addition to continuing its power as a protagonist with the compatible James Webb, in which the latter investigates in the infrared spectrum and the other in visible light.

Keywords: Cosmology; expansion of the Universe; Hubble telescope; James Webb telescope.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Disco de Nebra Sky	16
Figura 2 –	Stonehenge	17
Figura 3 –	O universo estacionário definido por W. De Sitter	21
Figura 4 –	Alexander Friedmann	22
Figura 5 –	Georges Lemaître	24
Figura 6 –	Hubble e o telescópio Hooker	25
Figura 7 –	Proporção distância-velocidade das nebulosas	27
Figura 8 –	Retrato de Hans Lippershey	32
Figura 9 –	A Luneta	33
Figura 10 –	Galileu Galilei	33
Figura 11 –	A luneta de Galileu Galilei	35
Figura 12 –	Dois tipos de telescópios refratores	36
Figura 13 –	Desenho do telescópio de Newton	38
Figura 14 –	Desenho dos telescópios de Cassegrain e Gregory	39
Figura 15 –	O ônibus Discovery transporta o HST	40
Figura 16 –	O caminho da luz no HST	44
Figura 17 –	O astronauta e o HST	45
Figura 18 –	O lançamento do foguete Ariane 5	48
Figura 19 –	O espelho principal do JWST	49
Figura 20 –	As distâncias do HST e JWST em relação à terra	50
Figura 21 –	Comparação de tamanho do protetor solar do JWST	51
Figura 22 –	Registrado pelo HST	72
Figura 23 –	Imagem do JWST	72
Figura 24 –	Campo profundo do Hubble	72
Figura 25 –	Campo profundo do JWST	72
Figura 26 –	Registro pelo HST	73
Figura 27 –	Registro pelo JWST	73
Figura 28 –	Registro pelo HST	73
Figura 29 –	Registro pelo JWST	73

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BBC	British Broadcasting Corporation
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
COSTAR	Corrective Optics Space telescope
CSA	Canadian Space Telescope
ESA	Agência Espacial Europeia
FGS/NIRISS	Fine Guidance Sensors/Near Infrared Imager and Slitless Spectrograph
FOC	Faint Object Camera
FOS	Faint Object Spectrograph
HSP	High Speed Photometer
HRS	High Resolution Spectrograph
HST	Hubble Space Telescope
JWST	James Webb Space Telescope
MIRI	Mid Infrared Instrument
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NGST	Next Generation Space Telescope
NIRCam	Near Infrared Camera
NIRSpec	Near Infrared Spectrograph
OTE	Optical Telescope Element
SCP	Supernova Cosmology Project
SSM	Space Support Module
WFC	Wide Field Camera
WF/CP	Wide Field and Planetary Camera

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	UNIVERSO E COSMOLOGIA.....	15
2.1	O UNIVERSO.....	15
2.2	A COSMOLOGIA.....	19
3	TELESCÓPIOS.....	31
3.1	UMA BREVE HISTÓRIA DOS TELESCÓPIOS.....	31
4	O TELESCÓPIO ESPACIAL HUBBLE.....	40
4.1	UMA BREVE HISTÓRIA DO HST.....	41
4.2	O ERRO.....	44
4.3	HST E A EXPANSÃO DO UNIVERSO.....	46
4.4	HST X JWST.....	48
5	METODOLOGIA.....	53
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	56
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	64
	REFERÊNCIAS.....	66
	ANEXO A – IMAGENS DO HST E JWST.....	72

1 INTRODUÇÃO

O funcionamento do telescópio espacial Hubble (*Hubble Space Telescope-HST*) mostra o seu poder nas observações com as imagens de astros durante mais de 30 anos. O ser humano conseguiu avançar ao ponto de registrar objetos que estão muito distantes em relação à Terra, tornando uma motivação para entender como o universo originou e o que sucedeu a partir desse momento (ABDALLA; SAA, 2010), encaixando gradualmente as peças no quebra cabeça do conhecimento sobre o Cosmos.

A importância pessoal no estudo das observações em Cosmologia sucedeu mediante a minha participação no Grupo de Pesquisa e Ensino em Cosmologia, Astronomia e Astrofísica (GPECAA) da UFPE/CAA. Com isso, a inquietação por temas relacionados a essas áreas transcorreu com o tempo de participação nas pesquisas e nas apresentações. As leituras iniciais instigaram a curiosidade em questionar sobre o afastamento das galáxias mais distantes. Com isso, veio a questão: o telescópio espacial Hubble é precioso em investigar a expansão do universo?

Muitos dados foram entregues pelo HST, este realizou por mais de trinta anos visões espetaculares, contribuindo para o avanço da Cosmologia (TEIXEIRA *et al.*, 2022). Quando se trata da taxa de expansão do universo, esse telescópio ajudou no refinamento da constante de Hubble, em 1990 até 2019, a sua incerteza da precisão saiu de 10% para 2%¹.

A cosmologia contemporânea debate sobre a energia escura e matéria escura que estão relacionadas ao movimento do distanciamento acelerado das galáxias. Para entender os detalhes vivenciados na descrição do espaço, as observações obtêm relevância para esclarecimento desses pontos e torna-se interessante existir um telescópio fora da terra (FOSBURY; CHRISTENSEN, 2006).

Portanto, a investigação tem como objetivo geral de descrever as contribuições do telescópio Hubble para observações em cosmologia e seu futuro perante ao telescópio James Webb. No intuito de responder ao propósito do trabalho, seguindo a finalidade de descrever a partir de uma revisão de literatura os avanços da cosmologia

¹ <https://hubblesite.org/hubble-30th-anniversary/hubbles-exciting-universe/measuring-the-universes-expansion-rate>.

a partir do século passado, seguimos em identificar o desenvolvimento na cosmologia com o aprimoramento do telescópio e analisar o futuro do telescópio Hubble, com o promissor telescópio James Webb.

Partindo de uma dedução, a partir do conhecimento próprio, levantei a hipótese do telescópio espacial Hubble, localizado numa região fora da Terra, consegue observar as áreas do universo mais distantes do que qualquer telescópio, seja ele mais antigo ou recente, isto é, em relação aos telescópios terrestres. Porém, o James Webb está na posição conhecida como ponto L2 de Lagrange, mais distante do que o HST e além de ser maior e mais moderno, pode se tornar o protagonista em observações de locais mais distantes, em razão dos seus equipamentos científicos que trabalham no espectro do infravermelho.

Este trabalho se apresenta, após a introdução, em seis capítulos, começando no capítulo dois, com a busca dos detalhes que envolveram o conhecimento sobre o universo e o avanço da Cosmologia a partir das observações. Apresentamos também neste capítulo, tipos de modelos cosmológicos, sendo um deles a teoria do Big Bang.

Já no capítulo três, introduzimos a história dos telescópios. Procuramos saber quem foi o seu criador, logo em seguida falamos brevemente sobre Galileu Galilei e suas observações com a luneta, como ela funcionava e a diferença para a luneta desenvolvida por Kepler. Em seguida, avançamos com a invenção de outro tipo de telescópio, o refletor. Para isso, adicionamos a existência de variância dos telescópios refletores, abordando mais dois criadores destes e quais são as distinções.

No capítulo quatro, contamos uma breve história do telescópio espacial Hubble, os instrumentos que existem nele e outras características. Também é explicado o erro no seu espelho primário, o que motivou uma missão com foco na resolução desse problema. Mais dois assuntos são abordados: a expansão do universo a partir das suas observações e a comparação dele com o telescópio espacial James Webb.

Na sequência, apresentamos os procedimentos metodológicos aplicados na busca de materiais necessários para referenciar as informações escritas neste trabalho de conclusão de curso. Este é descrito como uma análise bibliográfica, partindo de revisões de materiais que abordem a Cosmologia, telescópios Hubble e James Webb, e a expansão do universo.

Em seguida, após a análise do referencial teórico, estas informações colhidas permitiram a formulação de um resultado ao problema da preciosidade do telescópio Hubble para a cosmologia, concluindo com os objetivos sendo atendidos. Por fim, o

último capítulo ocorreu das considerações finais, um momento de reflexão a partir dos resultados obtidos, oferecendo direcionamento nas futuras pesquisas a respeito dos dois telescópios.

2 O UNIVERSO E A COSMOLOGIA

A curiosidade da humanidade em conhecer tudo que está ao redor, tornou-se um dos vários fatores que proporcionou o desenvolvimento da própria raça. Atualmente, sabe-se que o universo está em expansão de forma acelerada, mas demorou muito tempo para se chegar a essa conclusão, até mesmo em entender o que se tem no próprio espaço.

O telescópio é o meio que ajuda a enxergar o mais longe possível, responsável por identificar objetos celestes que não conseguimos ver ou ir até lá sem viajar centenas, milhares ou milhões de anos. Então, esse aparelho é vital, desde os primeiros telescópios que observaram os astros do Sistema Solar até os mais modernos, contribui para a área da Cosmologia que pretende identificar o que aconteceu no passado do universo e qual é o destino do mesmo.

2.1 O UNIVERSO

O movimento de olhar ao céu com a necessidade de entender aqueles pontos brilhantes, a Lua e o Sol introduziram o pensamento reflexivo nos antigos povos. Comins e Kaufmann (2010) falam dos nossos antepassados, conjecturando acerca da origem do Universo, todos os detalhes que nos cercam se realizaram devido às divindades.

Assim, tudo seguia a explicação de preceitos em divindades, então era mais lógico para eles acreditar que existiam deuses que podiam ajudar ou punir, dependendo das ações humanas. Segundo Stuart (2018, p. 1):

Muito antes de o céu ser um lugar cheio de planetas, galáxias e buracos negros, ele era o reino de deuses e maus agouros. O barulho de um trovão podia ser sinal de irritação do Todo-Poderoso; a passagem de um cometa era prenúncio de desgraça. Pelo menos, muitos de nossos ancestrais assim o viam.

A visão dos povos antigos estava relacionada às crenças, ainda não conseguiam enxergar o céu como uma fonte de conhecer os corpos celestes que nos rodeiam. Esta visão só foi alcançada com o decorrer do tempo, contudo, até aquele momento ainda considerava a divindade como o precursor do destino da humanidade.

A ciência avança conforme os questionamentos vão sendo levantados, além da evolução tecnológica e científica. As dúvidas surgidas tentavam entender o Cosmos, ajudavam na reflexão da compreensão do movimento dos corpos celestes em torno do homem, já que ele percebia a variação de posição do Sol e da Lua. Na pré-história e logo após, as marcas deixadas nas paredes das cavernas, as construções e objetos encontrados em vários lugares da Terra, são evidências das observações realizadas por alguns povos ligados à astronomia.

Um desses instrumentos astronômicos é o Disco de Nebra Sky, Figura 1, que mostra na superfície, com um círculo, como fosse o Sol, a forma da Lua crescente e 32 pontos, originalmente, distribuídos por toda a área do disco. Roslund (2007) informa que a data deste objeto aponta para o ano de 1600 a.C. encontrado em um morro de 252 metros, em Mittelberg, Alemanha.

Figura 1- Disco Nebra Sky



Fonte: teknomers (2022)

O Stonehenge, Figura 2, localizado no condado de Wiltshire, Inglaterra, é mais um ponto conhecido que existe a possibilidade da construção possuir o intuito astronômico. Essa estrutura concêntrica possui pedras que pesam mais de 15 toneladas, encontram-se alinhadas com o Sol e a Lua. Não tem uma data exata, mas uma aproximação da datação dessa obra que está em torno de 3100 a.C.

O pensamento continua em relacionar as divindades e esses monumentos com os acontecimentos na vida desses povos antigos. As mudanças das estações do ano, principalmente aos solstícios de verão e inverno, incluindo o alinhamento com as

estrelas na datação de eventos, como os eclipses solares (OWENS, 2015), é um tipo de astrologia.

Figura 2- Stonehenge



Fonte: History (2020).

A história da astronomia está ligada ao desenvolvimento da humanidade, ou seja, com o tempo avançamos na compreensão dos fenômenos celestes. Lentamente, aprendeu-se sobre o Sistema Solar, gerando perguntas específicas e conseqüentemente as hipóteses que buscavam solucionar as dúvidas. Como resultado, dentro da astronomia, surgem as suas extensões.

As áreas como Astrofísica, Astrobiologia, Cosmologia e outras vão surgindo lentamente, a partir da criação do telescópio aconteceram os avanços na Astronomia, muitas informações vão se especificando até que as áreas foram sendo construídas. Essas estudam partes diferentes, mas que complementam na explicação do todo, o Universo. As suas definições foram atualizadas com a passagem do tempo, atualmente tem um maior acúmulo de conhecimento que iniciou desde antigamente. Para Colin (2012, p. 22):

O Universo é tudo que existe- todo espaço e tempo e toda a matéria e energia no seu interior. O Universo é inimaginavelmente vasto, e, desde sua formação, tem-se expandido, deslocando e separando regiões, até a velocidade da luz, e, em alguns casos, superando-a.

Cada detalhe que observamos e o que não identificamos, mas que sabemos está presente em algum lugar do espaço faz parte de uma mesma estrutura presente

no Cosmos. O tempo estimado para sua idade é de 13,8 bilhões de anos (BERTOLAMI, 2018). Então, modelos cosmológicos para entender o universo começou a surgir desde antigamente, mas a partir do século XX, ganharam mais versões.

O Universo continua sendo um lugar misterioso com lugares que até o presente momento não foram observados, seja porque estão muito distantes e a tecnologia atual limita o alcance dos telescópios podem chegar. Segundo Ridpath (2014, p. 14), “Todos os objetos remotos vistos no céu são partes do mesmo Universo e só podemos esperar compreendê-los se obedecerem às mesmas leis e forem similares em geral aos objetos próximos”. Cada objeto faz parte do todo, analisado por nosso conhecimento e definimos os fenômenos que conseguimos explicar pelas leis da física.

O que foge do porquê funciona dessa maneira é aquilo que ainda não se tem conhecimento em que as hipóteses possam sustentar. No caso da Cosmologia, seria a física teórica e a física observacional trabalhando juntas para responder às grandes estruturas do Universo, bem como o seu passado e seu futuro, mesmo que ainda haja questões abertas que não sabemos explicar.

A energia escura é uma das perguntas que continua com a incerteza da natureza física, sabe-se que tem influencia no comportamento do Cosmos atualmente. Assim, ela faz parte da composição do Universo, segundo Rosenfeld (2005, p. 37),

A composição do universo: 5% de átomos, 25% de uma partícula elementar ainda não descoberta e... 70% de um meio difuso com propriedades exóticas (pressão negativa), cuja origem não conhecemos ainda.

A energia escura, seria o meio difuso que compõe a grande parte do Universo, além da matéria escura com 25%. A energia e matéria que lidamos e conhecemos é uma parcela minoritária, então é natural que as informações do funcionamento do universo sejam atualizadas com o passar do tempo, a física continua limitada, mas lentamente consegue desvendar os mistérios cosmológicos.

A questão dos povos antigos olharem o céu e imaginar quem se encontra por trás da criação e os movimentos dos corpos celestes mais visíveis até a atualidade com telescópios sofisticados que ajudam a desvendar e confirmar as suposições adquiridas com o tempo, o conhecimento vem sendo construindo de geração em geração.

2.2 A COSMOLOGIA

A origem do Universo começa de um ponto infinitamente pequeno e altíssima energia, considerando a teoria do Big Bang. Esta configura como uma de outras teorias que tenta conhecer o mistério do começo de tudo, o que provocou a expansão e a formação da matéria que transformou dos menores até os maiores corpos dentro desse espaço. A Cosmologia é uma dessas que tem o interesse nesses estudos, ciência que busca entender sobre o macro do Cosmos.

A realização do pensamento crítico para saber aonde estamos indo, vem de entender o princípio. O alcance dos lugares mais distantes realizados pelos atuais telescópios, mostra o quanto estamos avançando no conhecimento. (BERTOLAMI; GOMES, 2018) fala que os estágios da compreensão estão ligados às noções da origem do Universo.

Esta visão de retroceder no tempo até chegar numa explicação plausível, ou em outros modelos que expliquem sobre o Cosmos, aconteceu recentemente. Nos anos iniciais do século passado ainda não se distinguia o que estava dentro ou fora da Via-Láctea, muito menos se relacionava os objetos celestes com ideias de uma possível origem do Universo.

Gradualmente, usando a física teórica e logo em seguida as observações com os telescópios mais sofisticados daquela época, os seus dados contribuíam para criação ou fortalecimentos dos modelos cosmológicos, sendo alguns descartados e outros que ganhavam relevância com novas observações. A humanidade mais do que nunca estava avançando e empolgada em conhecer lugares mais longes do que sua casa, a Via-Láctea, quando percebem que existem corpos celestes fora dessa galáxia.

Posto isso, é capaz de definir atualmente o conceito mais conciso do que estuda a Cosmologia, Neto (2018, p. 1) aborda que “a cosmologia pode ser definida como sendo a ciência que estuda a origem, estrutura e a evolução do universo”. São esses três pontos com um amplo conhecimento e que ainda podem revelar informações cruciais do espaço.

A teoria do Big Bang é o modelo mais aceito quando se trata da origem do universo. Esse tem a base na expansão do Cosmos, o seu desenvolvimento ocorreu na década de 30 do século XX e aprimorado nos anos posteriores. A teoria da relatividade geral de Albert Einstein, que impulsionou o avanço na Cosmologia,

defendia um modelo do universo como eterno sem a possibilidade de expansão ou colapso.

Outro objetivo dos cosmólogos é compreender as estruturas que compõem o sistema galáctico, sendo recente se comparado a idade das descobertas de outros objetos celestes. A primeira descoberta das nebulosas que não pertenciam à Via-Láctea aconteceu pelo astrônomo americano, Edwin Powell Hubble (1889-1953), sendo a galáxia de Andrômeda (Messier 31, NGC 224).

Esse cientista ficou famoso por suas observações que ajudaram a descobrir que o universo estava em expansão. Para Carvalho (2016, p. 72), “Hubble hesitava em formular conclusões, porque desconhecia a teoria da relatividade, e não tinha nenhuma teoria para explicar o fenômeno”, de início não era uma ideia fácil de aceitar, até mesmo visualizando os dados obtidos, hesitante das informações, tanto que não fala que o Universo está se expandindo.

A linha do tempo na Cosmologia é considerada recente se comparada à Astronomia, com uma gama de estudos que envolve tudo que existe no espaço, até mesmo essa área. Esta, como mencionado anteriormente, existia antes, mas começou a despontar com a relatividade geral, o que ficou conhecido como a Cosmologia Moderna (LIMA; SANTOS, 2018), principiando os cálculos sofisticados por pessoas interessadas em compreender o mistério do Universo.

No início do século XX começavam aparecer os modelos que tentavam explicar a estrutura do Universo, por exemplo, Einstein, em 1917, desenvolveu um modelo que usava as equações relativísticas para modificá-la e assim criou a constante cosmológica (Λ), fundamental para descrever o Cosmos um lugar finito, homogêneo e isotrópico.

Ele utilizava as ideias que foram estabelecidas com Newton, de um Universo estático. Este é uma característica de um espaço fechado, limitado, não cresce ou diminui, sempre mantém o tamanho. Sobre a homogeneidade e a isotropia, Saraiva (2010, p.1) explica:

A homogeneidade implica que, em larga escala, a densidade média do universo é igual em todo o universo. A isotropia implica que a aparência do universo é a mesma em qualquer direção. Os dois princípios juntos implicam que o universo é uniforme, e, portanto, não há direção especial no universo nem lugar especial no universo.

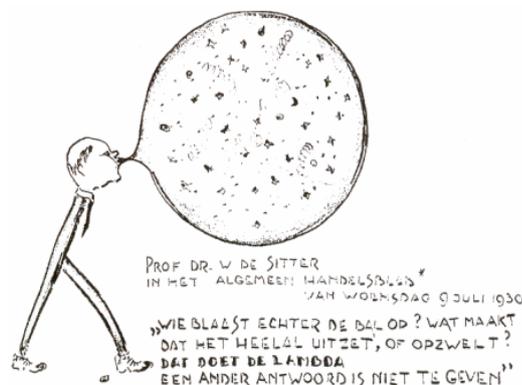
Não acontece mudança na estrutura do espaço-tempo, não dispondo de uma localidade mais especial do que outra, quando se trata das grandes escalas, todos detêm a mesma densidade. Acerca da isotropia, em qualquer direção que olhamos, terá a forma aproximadamente igual, o que implica dizer que não encontra um local já observado que difira de qualquer outra região quando olha o macro. Portanto, o que se pode fazer é criar um referencial que possa basear a localização, já que não tem uma área excepcional no Universo.

Esse conceito defendido por Einstein era aceito desde Newton, e pensar dessa forma, usando argumentos numéricos levava a acreditar que ele estava correto. Com as futuras observações de Edwin Hubble a visão mudaria, mas nessa época os dados obtidos pelos instrumentos observacionais eram poucos. Contudo, outros cientistas trabalhavam no intuito de verificar se realmente o Cosmos era estático.

O holandês, Willem De Sitter, físico, astrônomo e matemático propôs um modelo que também usava a constante cosmológica, a diferença era a falta das massas dos corpos celestes, estes convertem-se em objetos de prova, como os pontos uniformes quando estão longe dos seus referenciais. O modelo dele aborda o afastamento dos pontos uniformes com a mesma taxa de variação.

A figura 3, aborda a questão da expansão, mas questiona o que faz crescer. O dia que o jornal entrou em circulação, indagou do que provocava a expansão do Universo, quem estava soprando, em alusão a bexiga da Figura 3 (SOARES, 2007). Portanto, começou a aceitação da ideia de um espaço sem ser estático. A partir daí, surgiram outros trabalhos que ajudaram a cosmologia.

Figura 3- O universo estacionário por W. De Sitter



FONTE: SOARES (2007)

Um dos astrônomos que buscou entender o funcionamento do Universo, foi o russo, chamado Alexander Alexandrovich Friedmann, Figura 4. Ele conseguiu resultados importantes quando se tratam de modelos expansionistas. Segundo Waga (2005, p.259), “nesse artigo em que considerou espaços com curvatura constante e positiva, Friedmann obteve pela primeira vez soluções expansionistas (com e sem constante cosmológica) das equações de Einstein”. O artigo referido de 1922, publicado na revista alemã *Zeitschrift für Physik*.

Figura 4- Alexander Friedmann



Fonte: Darling (2016)

A representação do Universo concerne a definição de um espaço que inicia e expande, dependendo da quantidade de energia criada nesse instante, e a partir disso, existem três possibilidades. O primeiro envolve um espaço fechado que se expande até um certo momento, cria um colapso em si próprio, reiniciando a um estado que provoque a expansão ciclicamente. Verifica a criação de um loop de acontecimentos nesse espaço, sendo sua estrutura uma hiper esfera com curvatura intrinsecamente curva.

O segundo espaço é chamado de universo aberto, caracterizado pela curvatura de uma sela de cavalo, em quatro dimensões, tendo a expansão ocorrendo em tamanhos que aproxima do infinito. Isto é, continua crescendo mesmo em grandes distâncias. Este diferencia dos outros dois porque sempre expande, contudo, desacelera em algum momento. Portanto, tem um espaço infinito e aberto.

O terceiro, descrito por Friedmann, chama-se de crítico, mediante uma mistura de acontecimentos dos dois últimos abordados. Acompanha a criação de energia no início para expandir até certo instante, quando tem tamanho próximo estendendo ao infinito. Neste caso, acontece que praticamente não existe a expansão. Sendo a simetria plana para o Universo. Aqui se tem um equilíbrio das forças dominantes entre os corpos.

As partes mais importantes do trabalho de 1922, desenvolve com os cálculos usando a constante de Einstein e até sem ela para definir a possibilidade de expansão do Universo. O próprio Einstein questionou as equações escritas por Friedmann, mas percebeu estar errado e admitiu que as informações no artigo estavam corretas e logo em seguida, o russo, começou a ganhar reconhecimento na comunidade acadêmica (NOVELHO, 2022).

A sequência de investigações para entender o funcionamento do espaço-tempo e como iniciou o Universo começa aparecer nas bases sustentadas por esse artigo, Friedmann tratou matematicamente um primórdio de tamanho zero, fisicamente não faz sentido, mas possui um significado importante que seria apresentado posteriormente, houve um instante que tudo estava muito próximo antes de se afastar.

Outro importante personagem no desenvolvimento da Cosmologia se chama Georges Édouard Lemaître, astrônomo que nasceu na Bélgica. O seu interesse pela física e também pela religião é o que mais se destaca. Seguindo os seus objetivos, em 1923, tornou-se padre e neste ano começou a sua jornada no conhecimento científico, sendo que antes era formado em engenharia civil, posteriormente fez pós-graduação em física-matemática.

Em 1927, ele publicou seu trabalho em uma revista que não era reconhecida internacionalmente e obteve pouco reconhecimento. Este artigo trata o universo em expansão, mostrando a relação entre a distância e a velocidade das galáxias. A diferença entre Friedmann e Lemaître se encontra que este último relaciona o Universo real, por informações colhidas das nebulosas enquanto o outro tratou da parte matemática.

Figura 5 Georges Lemaître



Fonte: Aquino (2023).

Era questão de tempo para as informações de cada um se espalharem por toda comunidade científica. Nesse meio tempo, outro astrônomo ficou conhecido por suas observações e descobertas, Edwin Powell Hubble. Um americano que nasceu em 20 de novembro de 1889 e falecido em 1953. Formado em Matemática, Astronomia e Direito, fez os dois primeiros cursos na Universidade de Chicago e o último na Universidade de Oxford. O que todos três cientistas têm em comum, todos tiveram de participar da Primeira Guerra Mundial.

Hubble, começou a trabalhar no laboratório de Mount Wilson, localizado na Califórnia, em 1919. Não demorou tanto tempo para realizar uma grande descoberta, Waga (2005, p. 160), fala o seguinte:

Em 1923, após uma série de observações de Andrômeda, Edwin P. Hubble, o famoso astrônomo americano, observa nesta nebulosa espiral uma estrela variável bem tênue que ele conclui trata-se de uma estrela do tipo cefeída. Em 1912, Henrietta Leavitt, astrônoma do Harvard College Observatory, mostrou existir uma correlação entre a luminosidade absoluta média de estrelas variáveis cefeídas e o período de oscilação da intensidade da luz vinda delas.

O telescópio Hooker, localizado no monte Wilson, entrou em lançamento em 1917, com diâmetro de 2,54 metros e sendo do tipo refletor. Ele era formado por duas lentes, a primária usa lente côncava, responsável pela reflexão da luz e a segunda lente, chamada secundária. Hubble, confirmou a partir de uma estrela cefeída que Andrômeda não pertencia a Via-Láctea.

Figura 6- Hubble e o telescópio Hooker



Fonte: (LIMA; SANTOS, 2018)

O grande nome em detectar as estrelas cefeídas² foi a americana Henrietta Leavitt³, que trabalhava em Harvard com catalogação de estrelas variáveis a partir de 1902. Ela identificou que o brilho e magnitude tinha uma relação inversa, quanto maior fosse as cefeídas (proporcional ao seu brilho), menor era o período de variação. A partir da descoberta dos períodos, pôde analisar essas estrelas próximas da Terra e distante, utilizando o módulo da distância para calcular a longitude delas.

Assim, Leavitt descobriu uma forma para calcular o distanciamento em relação à Terra, o método ficou conhecido como a relação período-luminosidade. Muitos astrônomos a usaram, principalmente o Hubble, descobrindo que a conhecida nebulosa de Andrômeda não pertencia à mesma galáxia da Terra, sendo a primeira descoberta importante dele. Leavitt, seria indicada ao prêmio Nobel em 1925, porém faleceu há alguns anos, além da dificuldade dela receber o prêmio por ser mulher.

Alguns anos passaram, Hubble continuou observando no monte Wilson, um dos seus estudos envolvia em encontrar as distâncias das galáxias e as respectivas velocidades. A partir daí, publicou outro trabalho, em 1929. Neste artigo, mostra que existem desvios nas linhas espectrais das galáxias distantes, segundo Waga (2005,

² Uma estrela cefeída tem um ciclo bem definido de variação do seu brilho. Isto ocorre pela fusão nuclear que provoca a transformação do hélio em carbono que causa uma mudança de tamanho no exterior dessa estrela, aumentando e diminuindo, provocando variação de temperatura e conseqüentemente da luminosidade em tempos iguais.

³ <https://www.youtube.com/watch?v=XQv03YqEPNM>.

p. 160), "Hubble observou a existência de uma relação linear entre o desvio para o vermelho e a distância". Para chegar nessa conclusão, ele usou dois conceitos.

O efeito Doppler e a distância de luminosidade, o primeiro se refere às galáxias que estão se afastando ou aproximando, o comprimento de onda de luz muda conforme a rapidez varia conforme a distância desta fonte para o observador, tendo um desvio no seu espectro. A distância de luminosidade é caracterizada através do fluxo e luminosidade da fonte.

Vale destacar a ajuda de Milton La Salle Humason (1891-1972). Antes de ser assistente no observatório do monte Wilson, trabalhava como zelador, buscou mostrar interesse em querer ajudar como assistente no observatório e após receber uma chance de trabalhar de auxiliar dos astrônomos, provou a capacidade de atuar nas atividades propostas. Nomes como o dele que ficam na sombra dos grandes cientistas, mas que são tão quão importantes para o avanço da ciência.

Os estudos do Hubble envolvendo as linhas espectrais que estavam sendo desviadas para o vermelho na maioria das galáxias encontravam um maior espaçamento, possuindo a relação linear da distância e da velocidade (REIS, SIFERT, 2022). Portanto, propôs uma equação que relaciona as duas grandezas físicas. Hoje, conhecemos como a constante de Hubble, sendo a seguinte:

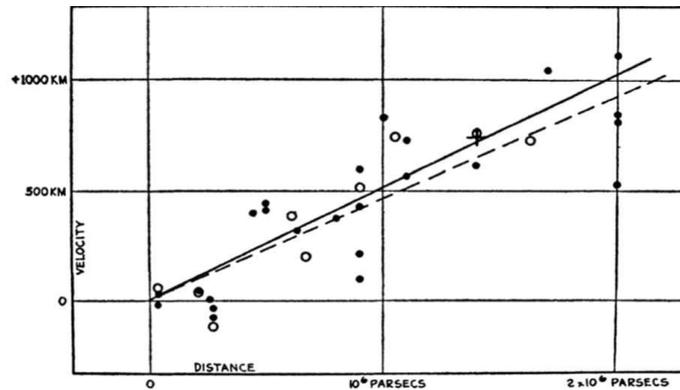
$$v(t) = H_0 d(t)$$

O símbolo $v(t)$ significa velocidade de afastamento. Do lado direito da equação temos o termo, H_0 , conhecido como a constante de Hubble. Para explicar o alongamento do espaço-tempo introduziu o fator de escala $a(t)$ e ela relaciona ao aumento da distância em relação ao tempo, definida pelo parâmetro de Hubble.

$$H(t) = \frac{\dot{a}(t)}{a(t)}$$

O t da equação acima é caracterizado pelo tempo cosmológico, relacionando a distância das nebulosas com a idade do universo. Ao analisar o gráfico da figura 7, produzido pelo Hubble, exibe a proporcionalidade da distância e velocidade, além de fazer aproximações do tempo que cada uma pode dispor.

Figura 7- Proporção distância-velocidade das nebulosas



Fonte: Hubble (1929).

Hubble, no artigo de 1929, mostra a possibilidade da expansão do Universo, mesmo que não tivesse total convicção de realmente era o caso. Acreditava também a explicação do desvio dos aspectos das galáxias estudadas ainda não conseguir existir outra maneira pela razão de não haver uma física mais avançada do que na época.

Ao fim da década de 20 do século XX, modelos cosmológicos tornaram essenciais na explicação dos sistemas galácticos, comprovação delas estarem além do que se imaginava anteriormente. Catalogação dos tipos de nebulosas, distância aproximada que elas estavam e qual seriam suas velocidades. A semente do conhecimento estava oferecendo frutos.

Com isso, a partir do pensamento do espaço está crescendo, há a possibilidade de fazer o caminho reverso e imaginar a existência de um começo. Este pensamento passou pela mente do padre Lemaître, segundo Comins e Kaufmann (2010, p. 520), “Lemaître concluiu logicamente que os superaglomerados devem ter se expandido de um volume muito menor. Ele propôs que o Universo começou com um átomo primordial de energia extremamente quente e denso”. As galáxias ou os conjuntos destas que estavam se afastando, poderiam em algum momento anterior estarem mais próximas.

Ao retornar mais no tempo, percebe que o Universo se contrai até o período de toda matéria estar posicionada no mesmo local, não como ela é conhecida hoje, com toda a sua estrutura trivial, mas a partir de uma singularidade, que o padre chamou de átomo primordial. Este, portando energia de densidade, temperatura e pressão

altíssima, (BERTOLAMI; GOMES, 2018), provocou um crescimento que iniciou a criação de tudo, incluindo a matéria.

Neste instante, o próprio tempo surgiu com o espaço, expandindo até hoje. Portanto, antes de começar, não tem como datar qualquer evento, não se consegue informar o que também provocou a explosão e não tem nem a informação da quantificação do tempo para iniciar porque não existia a linha temporal. Porém, a partir do processo de desencadear, a teoria do Big Bang oferece a explicação do comportamento do recém espaço-tempo.

O átomo primordial contendo elevada energia e com densidade gigantesca provocou uma expansão, após esse momento, o universo possuía temperatura muita alta. Segundo Comins e Kaufmann (2010, p. 518), "para os primeiros 10^{-35} segundos de existência do universo (um piscar de olhos leva aproximadamente 1/10), cálculos indicam que ele expandiu em uma taxa inicial na qual sua temperatura caiu para $10^{27}K$ ". Nos primeiros microssegundos aconteceu uma diminuição de temperatura.

Contudo, nesse instante o espaço-tempo começa a surgir, o seu desenvolvimento dispunha de muita energia, sabendo que quanto mais energia maior a temperatura. Antes de um segundo da explosão, a temperatura decaiu consideravelmente, mas acredita-se que ainda era elevada. Neste instante ocorre o que hoje chama de estado inflacionário.

Como dito anteriormente, não sabemos explicar o que aconteceu antes da expansão inicial do Universo, mas conseguimos idealizar o tempo posterior por razões das leis físicas aparecer nessa ocasião. As quatro forças, as forças nucleares forte e fraca, gravitacional e eletromagnética, todas estavam unidas como se fosse uma só até algumas frações de segundos.

A inflação provocou o aumento significativo, a taxa de expansão cresceu em números impressionantes, cerca de 10^{51} vezes maior do que anteriormente, aproximando de uma bola de futebol (COMINS E KAUFMANN, 2010). A suposição inicial gira em torno do aumento do espaço enquanto o tempo avançou e a temperatura de radiação decaiu.

Menos de um segundo, a produção de algumas partículas elementares aumentou. Por exemplo, um fóton que portava grande energia criou um par de partícula. Com um segundo, Hawking (2015, p.149) fala que,

Nessa época, o Universo teria contido sobretudo fótons, elétrons e neutrinos (partículas extremamente leves que são afetadas apenas pela força fraca e pela gravidade) e suas antipartículas, além de alguns prótons e nêutrons.

Os elementos que sobraram por razões de obterem menos massas, precisou de pouca energia para criar as partículas/antipartículas. A produção das partículas e antipartículas provocavam destruição entre elas, mas a formação era mais rápida do que a aniquilação. Portanto, obteve mais fótons e elétrons. Desse modo, aconteceu com os neutrinos e antineutrinos que interagem bem menos e existiria abundantemente. Com a diminuição da radiação, ocorreu o inverso de antes, a destruição foi menor do que a produção de pares dessas partículas.

O aumento do espaço caracterizou a diminuição de temperatura, agitação das substâncias também diminuiria, carregando menos energia do que antes (CAMPOS, 2020). Os fótons restantes desse processo ainda podem ser encontrados, conhecido, hoje em dia, como radiação cósmica de fundo em micro-ondas. Antes, próximo do fim da década de 40 do século passado, os físicos George Gamow e Ralph Alpher, sugeriram no Universo primordial, com densidade elevada, o domínio da radiação eletromagnética.

Além da percepção desses fótons com a expansão do Universo, o comprimento de onda desses, atualmente, tornaram ondas de rádio pelo fato da quantidade de energia diminuir com a distância, provocando o desvio para o vermelho. Caso encontrasse uma maneira de provar este fato, a teoria do Big Bang fortalecia em relação a outra hipótese que também estaria sendo levantada na época.

Outra hipótese para descrever o funcionamento do Universo, ficou conhecido como o modelo do estado estacionário. Proposto por Thomas Gold, Hermann Bondi e Fred Hoyle, em 1948, tinha características diferentes da grande explosão. Rocha (2009, p.77) diz que "a chamada teoria do estado estacionário se baseia num universo estacionário, infinito e homogêneo no espaço e no tempo". O que implicou dizer que não existiu um início de tudo e o Cosmos sempre existiu.

Na concepção de Hoyle, a eternidade do espaço faz mais sentido do que o modelo que Gamow defendia, a origem do Universo de um átomo primordial. Numa entrevista de rádio para a British Broadcasting Corporation (BBC), usando a ironia, falou que o início de tudo resultou de uma grande explosão, *The Big Bang*. O termo ficou famoso, conseqüentemente, hoje utiliza o nome para a explicação de como o Universo começou.

Ele concordava com os dados obtidos pelas observações realizadas até então, concordando que as galáxias estavam se afastando, sugeriu a criação de matéria de forma contínua durante todo o tempo. As substâncias foram formadas nos lugares que antes eram das antigas galáxias, justificando a homogeneidade do espaço. Como a matéria seria criada? Essa dúvida não foi respondida pelos seguidores desse modelo.

Com isso quebra a lei de conservação da massa e energia, já que precisa que a massa total seja constante e a criação de matéria causa um desbalanço nessa quantidade, quebrando as leis de física. Essas questões, Hoyle tentava nos seguintes anos, encontrar algum jeito de ser respondida. Outro fato desse modelo, o tempo, era eterno, o que agradava os críticos, percebiam que a outra teoria tinha a idade do universo muito baixa, sendo mais jovem do que a própria Terra, além de abrir brecha do início de tudo parecer criado por Deus.

Então, tinham dois modelos que tentavam explicar o funcionamento do Universo, a teoria do Big Bang saiu na frente quando, sem querer, dois engenheiros americanos foram analisar ruídos recebidas pelas antenas que ficavam localizadas nos EUA. Eles trabalhavam com telecomunicação, recebendo informações de satélites no qual começaram a detectar.

Os nomes dos dois engenheiros são Arno Penzias e Robert Wilson. Eles são os responsáveis por identificar a Radiação Cósmica de Fundo em Microondas (RCFM). Quando eles começaram a perceber um ruído nas antenas, pensavam ser algum tipo de sujeira e fizeram a limpeza. Porém, o ruído continuava não importando qual horário e direção fossem feitas as medições (VILLELA, FERREIRA e WUENSCHÉ, 2004), os dados seriam os mesmos.

A Cosmologia continua no desenvolvimento da compreensão de um melhor modelo que explique o Universo, através das observações dos astros dentro e fora da Via-Láctea. O uso dos telescópios contribuiu em entender o Cosmos, a partir dele, sabemos que o Universo está em expansão. Sendo assim, o próximo capítulo aborda uma breve história sobre a invenção do telescópio, além de fornecer nomes que figuraram inicialmente na produção de telescópios e nas observações.

3 TELESCÓPIOS

Hoje se busca cada vez mais entender o que rodeia a terra, seja no sistema solar, na Via-Láctea galáxias que estão em distâncias gigantescas, de tal ponto que a luz pode demorar muito mais tempo do que somos capazes de imaginar. Nossos olhos têm um campo de visão limitado a uma certa distância ao tentar observar o céu a olho nu, e isso se torna difícil em cidades com muita poluição luminosa. Contudo, a única forma de investigação astronômica é usar o telescópio que ajuda a enxergar objetos distantes.

Através das combinações de lentes ópticas a humanidade começou a avançar acerca de informações do universo. No entanto, a história dos telescópios é mais recente do que as lentes, a sua origem carrega a incerteza de quem construiu o primeiro. Porém, sabemos que a partir dele construído, as observações traçaram um caminho de novas descobertas.

3.1 UMA BREVE HISTÓRIA DOS TELESCÓPIOS

O telescópio é um sinal de conhecimento que nos permitiu dar grandes passos quando olhamos para cima, visões de novos mundos, novas estrelas e lugares que não conhecemos. Esse instrumento causou uma boa primeira impressão desde a sua introdução e continua até hoje. Continuamos a desvendar os mistérios que o espaço permite.

Voltando à origem da sua criação, não se tem uma certeza de quem o criou, mas existe uma maior possibilidade de que foi um holandês que construiu o primeiro telescópio. Segundo Andersen (2009), um oculista inventou um dispositivo que aumentaria os objetos que estivessem longe. Hans Lippershey (1570-1619), é considerado para Andersen como o responsável pela invenção do telescópio.

Lippershey morava em Middleburg, localizado na Zelândia, hoje faz parte dos Países Baixos. Ele era dono de uma ótica, então trabalhava com lentes, e foi por meio delas que começou a estudar como sua combinação ampliava objetos distantes. Várias histórias despertaram a curiosidade sobre esse fato, mas uma delas conta sobre duas crianças brincando com duas lentes, descobrem que quando combinaram e olharam para uma parte da igreja, a imagem através delas aumentou.

Figura 8- Retrato de Hans Lippershey



Fonte: Corning Museum of Glass (2011)

Ele projetou um tubo com duas lentes com distâncias entre elas, após testar o novo instrumento, buscou investimento do governo dos Estados Gerais, que na época era o governo holandês. O príncipe Maurício de Nassau, como comandante do exército, percebeu que poderia usar a invenção contra os espanhóis em sua luta pela independência da Holanda (CHAPMAN, 2014). Porém, Lippershey não ganhara a patente pela criação do telescópio, outros também argumentaram que seriam os criadores, além da ideia se espalhar a outros países.

Ele tivesse a patente, gravaria o seu nome na história como o construtor da primeira luneta, mesmo que seu objetivo estivesse ligado ao fato de aumentar os objetos que estivesse distante, principalmente nas navegações, sendo um trunfo aos Estados Gerais que usou o instrumento contra os seus inimigos, ganhando vantagem.

A Figura 9, mostra o formato de uma luneta, que rapidamente se espalhou por várias cidades europeias, a partir de 1609. Alguns ainda não tinham vistos como ela funcionava, só ouvia a respeito do poder de aumento que ela proporcionava aos observadores.

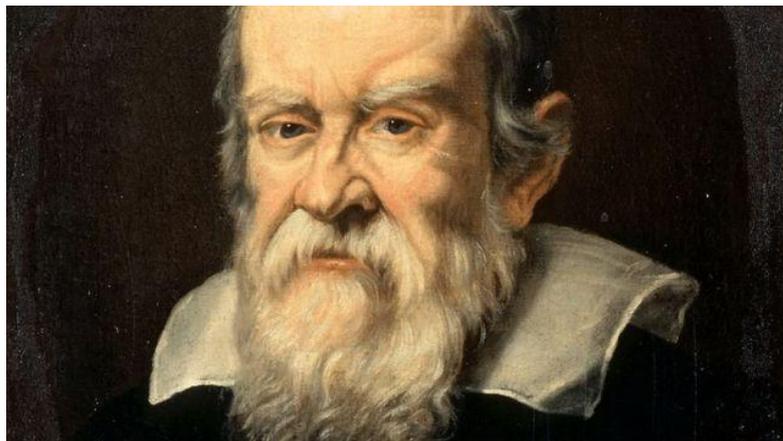
Figura 9- A Luneta



Fonte: Learn Something Interesting (2018)

O astrônomo, Galileu Galilei⁴ tomou conhecimento de sua existência naquele momento, mas os detalhes de como funcionava ainda não estavam claros. Segundo Teixeira et al. (2022, p. 3), "Em junho de 1609, Galileu construiu seu primeiro telescópio, baseado em um instrumento de longa distância construído pelo holandês Hans Lippershey". Galileu, soube de tal instrumento em maio, e no mês seguinte criou seu primeiro telescópio baseado nas informações que recebeu.

Figura 10- Galileu Galilei



Fonte: (BBC, 2019)

O instrumento consistia de um tubo de chumbo com duas lentes, tendo a primeira lente convexa, e a segunda que ficava perto do olho seria côncava. Portanto,

⁴ Considerado o pai da ciência moderna, Galileo di Vincenzo Bonauti de Galilei, além de astrônomo, era físico e engenheiro. Nasceu em 15 de fevereiro de 1564, faleceu em 8 de janeiro de 1642.

a ampliação do tamanho das imagens chegava até nove vezes maiores do que comparado a olho nu, aproximando cerca de três vezes.

Realizado com seu equipamento, Galileu buscou apresentar a sociedade veneziana, ganhando respeito e até um aumento salarial anual. A motivação por melhorar o telescópio fez com que construísse outros com ampliações crescentes, além de apontar o equipamento para os céus, investigando os corpos astronômicos, como a Lua e alguns planetas.

O telescópio refrator ganhou o nome de Galileu, contudo, ele não foi o primeiro a construir o instrumento, como também não tinha sido o primeiro a apontar e investigar algo além da nossa atmosfera. Casas (2020, p. 92) fala que “em 5 de agosto Thomas Harriot, astrônomo e matemático algebrista inglês, realizou a primeira observação celeste com telescópio que temos notícia”. O ano ainda era 1609, Harriot apontava a sua luneta e começava a observar a Lua.

O aumento da imagem era baixo, em torno de seis vezes. Nessa época, tal acontecimento não ficou conhecido porque o inglês não publicou nenhum trabalho, essa informação só apareceu no ano de 1784 (CHAPMAN, 2014), mais de 150 anos depois. Harriot e Galileu, além de ser um dos primeiros nas observações dos corpos celestes, começaram a defender o modelo copernicano a partir das investigações, no qual o Sol estava no centro do sistema e os outros planetas giravam em torno dele, inclusive a Terra.

Um ano depois, em 1610, Galileu começava a investigar, em janeiro observou o planeta Júpiter, seu foco de observação em alguns meses, além de aprimorar os telescópios que ele próprio construía. Em março, com um que ampliou trinta vezes mais, percebeu quatro corpos celestes perto de Júpiter, algum tempo depois raciocinou que não eram estrelas, mas satélites naturais do planeta. Um acontecimento importante, já que não era apenas a Terra que teria “Lua”.

Com o passar dos anos, ele continuou a observar, olhando para a lua, Saturno e até o Sol. Percebeu que quando apontava seu instrumento para qualquer lugar do céu, sempre havia inúmeras estrelas. Assim, todos os dados obtidos seriam registrados, o primeiro trabalho chamado, *Sidereus Nuncius*, publicado em 1610, mostra as imagens desenhadas da lua, aglomerados de estrelas e os satélites naturais de Júpiter.

Figura 11- A luneta de Galileu Galilei



Fonte: Diniz (2012)

Quanto mais observou, mais percebeu que as ideias que recebeu sobre os objetos celestes até aquele momento diferiam do que vira em seu telescópio. Os escritos subsequentes, de alguma forma, tenderam cada vez mais a abraçar as ideias de Copérnico, que defendia o movimento dos planetas ao redor do Sol em vez da Terra, o que começou a incomodar a Igreja.

O motivo na época que levou a igreja católica não aceitar o pensamento de Copérnico girou em torno do conservadorismo da Terra não possuir a centrismo no sistema galáctico. Para Levada (2009, p. 8),

O copernicismo “não o entusiasmou” os grandes cientistas do século XVI, talvez intimidados pela Igreja, que promoveu uma violenta reação ao sistema heliocêntrico, reação esta devida ao fato de a Igreja defender o sistema aristotélico como sendo o modelo ideal, que se apresentava como um sistema condizente com as sagradas escrituras, o que, de fato, jamais foi citado nesta obra.

O modelo aristotélico que mostra a terra fixa no centro do Cosmos era finito, enquanto todos os outros corpos celestes giravam ao redor da Terra infinitamente, em um círculo. Como temos a terra em um local especial no universo, agradava à Igreja por razões que Deus criou dessa maneira. A Igreja não perseguiu Copérnico, sabia que era algo que iria contra o ensinamento sagrado, contudo, tratava como algo hipotético, não literal.

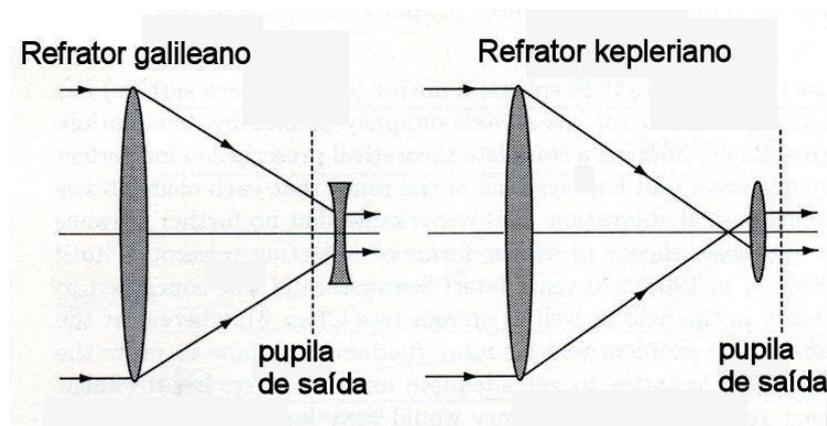
Galileu continuou a escrever, tentando colocar as suas ideias nas publicações a respeito do que estava observando, controlando as informações para passar

despercebido pela Inquisição. Enganaria por algum tempo, mas após a Igreja perceber que defendia o Sol como centro do universo, o condenou a prisão domiciliar.

Todos os telescópios construídos por ele tinham as mesmas características de lentes, Casas (2020, p. 94) fala que “todos os telescópios construídos por Galileo que temos notícia tinham lente objetiva convergente e lente ocular divergentes.” Supõe, portanto, que ele não buscou empregar ocular convergente, usando a lente côncava que divergia dos raios luminosos que recebiam.

A luneta galileiana possuía um campo de visão menor do que a construída por Kepler, esta consistia em duas lentes convergentes (CASAS, 2020), sendo a primeira a objetiva era convexa, e a segunda, também convexa, colocada levemente atrás da distância focal. Tanto o campo de abertura quanto a magnificação eram maiores, a diferença estaria na imagem invertida.

Figura 12- Os dois tipos de telescópios refratores



Fonte: (FILHO; SARAIVA, 2018)

Observa na figura 12, os raios de luz que são paralelos refratam na lente convexa que orienta ao ponto focal, Galileu colocou a lente côncava que faz os raios divergirem e assim a imagem real e aumentada. Enquanto, o mesmo processo acontece com a luneta de Kepler, a diferença está na lente convexa posicionada após a distância focal, invertendo a imagem, por razões dos raios que convergiram da objetiva, após passarem da distância focal, refratam em posições diferentes do que anteriormente.

Hoje, as lunetas de Kepler são mais usadas porque fornecem melhores resultados, mas ambos sofrem de aberrações esféricas. Quando a luz passa através de uma lente esférica, os raios são mais refratários à medida que se afastam do eixo

e isto implica que nem todos raios de luz convergem no mesmo lugar, produzindo baixa nitidez da imagem.

Outro problema dos telescópios refratores é a aberração cromática. A luz é composta de várias cores, quando ela passa através de um meio transparente ao outro pode ser decomposta nas cores vermelha, alaranjada, amarela, verde, azul, anil e violeta. Cada qual com seu respectivo comprimento de onda e focalizado no eixo óptico em lugares diferentes.

A solução consistiu no aumento da distância focal dos telescópios, a aberração cromática diminuiria porque os desvios da decomposição da luz seriam menores. A consequência estaria na construção de telescópios maiores, o problema seria a baixa luminosidade da imagem que diminuiria com o aumento da distância focal. Portanto, um fator que tentaria buscar outras soluções, como fabricar lentes objetivas esféricas que tenham o mínimo de aberrações, o que aconteceu mais na frente.

Outro tipo de telescópio surgiu ainda no século XVII, ele consiste do princípio do uso da reflexão da luz. Esta propriedade acontece quando o raio incidente refletido no plano tem o mesmo ângulo quando refletido (HALLIDAY; RESNICK, 2012). O primeiro a construir foi o Isaac Newton. Segundo Comins e Kaufmann (2010, p. 98),

Newton determinou que um espelho côncavo construído na forma de uma parábola faz todos os raios de luz incidentes paralelos que o atingem convergir para o ponto focal. A distância entre este espelho primário e o ponto focal, onde a imagem do objeto distante é formada, é chamada de distância focal do espelho. Existem pontos focais para a luz de fontes extremamente distantes, como as estrelas.

Com isso, Newton, sabendo do ponto focal que a imagem seria formada de estrelas ou objetos com uma grande distância, começou a produzir um instrumento que seria de observação, mas usando outros tipos de princípios da óptica que na sua época ainda não eram conhecidos como são hoje em dia.

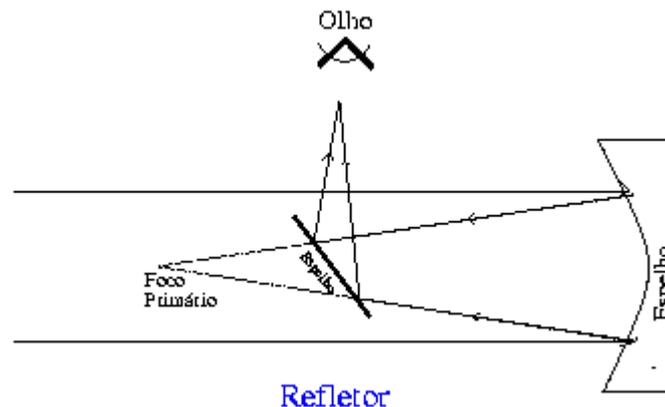
Os dois primeiros telescópios de Newton foram construídos em 1668 e 1671, e há rumores de que o instrumento de observação diferia dos modelos da época, o que levou a ser convidado ao grupo Royal Society para explicar o seu funcionamento. No início de 1672 ele participou de uma reunião com os membros, que ficaram muito entusiasmados, e no mesmo dia Newton se tornou o mais novo membro do grupo.

O aparelho, diferente do refrator, consiste ao fundo do tubo um espelho esférico côncavo que irá refletir até a distância focal que vai estar colocada um segundo

espelho plano com angulação de 45° . A luz será refletida novamente à abertura ao lado que possui uma lente ocular, possibilitando ao observador enxergar o objeto amplificado.

Com esse tipo de configuração, representada na Figura 13, o telescópio refletor tem versões diferentes em relação à posição em que o segundo espelho deve ficar. Dois outros modelos surgiram, a relação envolve o uso do espelho côncavo ou convexo e conseqüentemente a localização da lente ocular. O modelo de Laurent Cassegrain é um desses que tem estrutura modificada.

Figura 13- Desenho do Telescópio de Newton

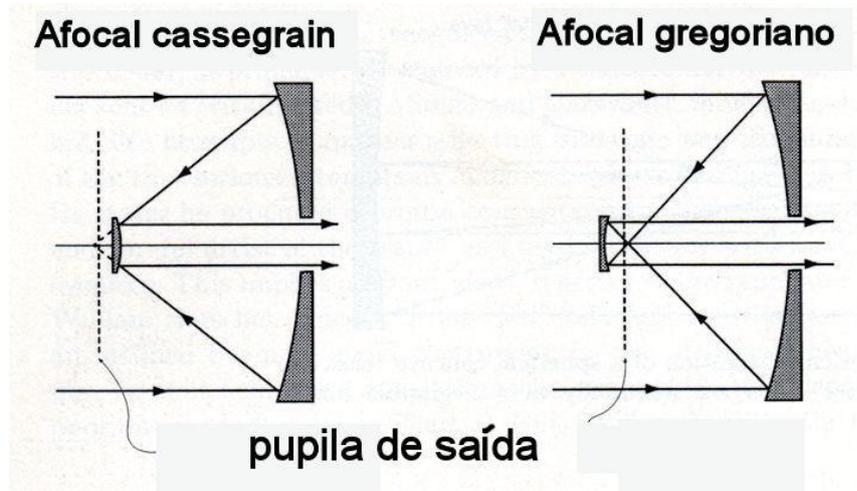


Fonte: (FILHO; SARAIVA, 2018).

Cassegrain nasceu na França, o primeiro telescópio que ele construiu aconteceu no ano de 1672, igualmente a Newton. A localização do espelho primário fica no fundo do tubo, sendo parabólico e ainda existe no meio do espelho um furo. Este deve ao fato de a luz passar após deslocar do espelho secundário com característica convexa (COTTRELL, 1995). Portanto, a luz entra no telescópio, reflete no espelho primário em direção ao secundário que reflete ao orifício no meio do espelho primário em direção à ocular.

Outro telescópio parecido com o Cassegrain decorreu do escocês chamado James Gregory, ele desenhou o primeiro telescópio refletor, em 1663. A distância focal é curta, mas o espelho secundário gregoriano fica localizado depois do foco, este espelho possui característica côncava. O caminho do feixe de luz segue a mesma trajetória, passando o orifício no meio do espelho primário. Os dois modelos são menos populares quando comparado ao de Newton.

Figura 14- Desenho dos telescópios Cassegrain e gregoriano



Fonte: (FILHO; SARAIVA, 2018)

A localização da lente ocular pode variar nos modelos reflexivos citados acima ou em outros modelos com a mesma característica, reflexão da luz. Eles são melhores do que os telescópios refratores, além de terem maior popularidade. O século XVIII trouxe pessoas que conseguiram qualificar os dois telescópios.

Dois personagens que contribuíram para as correções dos problemas ópticos nos telescópios foram, James Short, fabricante escocês que praticamente eliminou o problema das aberrações esféricas e Chester Moor Hall, usando duas lentes próximas para corrigir as aberrações cromáticas (CASAS, 2009). Com o passar do tempo, a tecnologia sendo aprimorada, os novos telescópios tornam-se poderosos em conhecer os mistérios que habitam o universo, mas estamos longes de saber das coisas que estão fora do alcance dos nossos instrumentos astronômicos.

Por enquanto, os telescópios melhorando gradativamente, as qualificações na produção de lentes e espelhos, as catalogações que começaram com a primeira luneta apontada ao céu, até hoje continuam a aumentar as informações colhidas dos astros, novas descobertas e atualizações do que já sabem desenvolvem a astronomia.

4 TELESCÓPIO ESPACIAL HUBBLE

Aproximando três décadas e meia de observações, o Telescópio Espacial Hubble, contribuiu com inúmeras observações de qualidades que os telescópios terrestres não conseguiam fazer antes de seu lançamento. Desde o início do projeto, o desafio de concluir esse instrumento astronômico tornou-se crescente pela limitação orçamentária.

A humanidade vai colocando mais uma pedra na estrada que leva a compreensão do universo. Desde a criação da luneta por Hans Lippershey, passando pelas observações celestes de Galileu Galilei e novo tipo de telescópio de Isaac Newton, chega-se ao ponto de um esforço de vários astrônomos em dispor de um dispositivo que mostrasse imagens que nenhuma outra geração anterior conseguira enxergar.

Em 24 de abril de 1990, aconteceu o lançamento da missão STS-31 que entraria para história como mais uma marca da curiosidade humana em conhecer o espaço. O ônibus espacial Discovery foi com os astronautas Loren J. Shriver (comandante da missão), Charles F. Bolden (piloto), Steven A. Hawley, Bruce McCandless II e Kathryn D. Sullivan transportava o Telescópio Espacial Hubble até a altitude de 618 quilômetros.

Figura 15- O ônibus Discovery transporta o HST



Fonte: (NASA; ESA, 1990).

O tamanho do HST é 13,2 metros de comprimento; 4,2 metros de diâmetro e o peso de 11 toneladas (GAINOR, 2020). O modelo do telescópio reflexivo do HST tem característica da estrutura feita por Cassegrain. A objetiva tem 2,4 m, o segundo espelho 0,3 metro de diâmetro e a distância focal de 56,7 metros. Esse foi o primeiro telescópio enviado ao espaço, possuía as expectativas altas no que podia desvendar do universo.

A história do HST mostra a dificuldade de finalizá-lo, com muitos astrônomos lutando para tirá-lo do papel, mesmo com o financiamento diminuindo ao longo dos anos desde a aceitação da construção até a conclusão. Atualmente, com mais de 1,5 milhão de observações a datar de 1990 (NASA, 2022), suas imagens já foram vistas, estudadas e até admiradas por inúmeras pessoas.

4.1 BREVE HISTÓRIA DO HST

Após a década de 20 do século passado, começaram a construir observatórios com os maiores telescópios terrestres, como os telescópios Hooker e Hale, o primeiro no Monte Wilson e o outro no Monte Palomar, os dois localizados na Califórnia. Esses instrumentos ópticos, mesmo com qualidades em visualizar os objetos celestes, a atmosfera do planeta atrapalhava nas investigações de alguns comprimentos de ondas, tal qual o ultravioleta e infravermelho.

Um dos mais conhecidos defensores da ideia de um telescópio espacial foi o astrônomo Lyman Spitzer, que acreditava que tal instrumento fora da terra poderia realizar novas descobertas e visualizações mais nítidas do universo (MEDIA, 2018). O mesmo acreditava que era um projeto futurista pela tecnologia insuficiente da época.

Com o surgimento da Agência Espacial Estadunidense, criada em 1958 e chamada de *National Aeronautics and Space Administration (NASA)*- começaria o processo de planejar um grande telescópio espacial, a partir de 1970, mas encontrou dificuldades de apoio no congresso americano. A pressão em liberar recursos financeiros estava aumentando, porém, os astrônomos continuavam encontrando adversidades na aprovação dos congressistas.

Em 1977, finalmente o financiamento pelo governo aconteceu (CHEN, 2015). Os detalhes no que cerne a relação dos equipamentos que teriam o telescópio

espacial, além dos contratos com as empresas. Em consenso entre a Nasa e os astrônomos participantes no projeto que haveria cinco equipamentos montados atrás do espelho principal no módulo de sistema de apoio.

A participação europeia entraria como uma forma de diminuir os custos do governo estadunidense. Após uma longa conversa entre as partes, a Agência Espacial Europeia (ESA) ficou responsável com a Câmera de Objeto Fraco (*Faint Object Camera- FOC*). Os outros quatro instrumentos científicos seriam a Câmera de Campo Amplo (*Wide Field Camera-WFC*), Espectrógrafo de Objeto Fraco (*Faint Object Spectrograph- FOS*), Espectrógrafo de Alta Resolução (*High Resolution Spectrograph-HRS*) e o Fotômetro de Alta Velocidade (*High Speed Photometer-HSP*).

Em 1990, WFC foi melhorada e tornou uma câmera de campo amplo e também planetária chamada de *Wide Field and Planetary Camera (WF/PC)*, este equipamento conseguiu fornecer imagens de corpos próximos até galáxias distantes, limitando tão somente uma parte dos comprimentos de ondas do infravermelho. A FOC, outra câmera responsável em reproduzir imagens de objetos celestes com baixa luminosidade.

O terceiro instrumento que buscou o mesmo objetivo da FOC é a FOS, porém esta estaria no uso da espectroscopia que trabalharia no ultravioleta. A HRS mudou seu nome para GHRS, em homenagem ao pioneirismo do americano, Robert H. Goddard (NASA, 2023). O espectrógrafo trabalha exclusivamente no ultravioleta, consegue distinguir objetos que estejam próximo até mais longínquo, determinando com alta precisão as suas composições químicas.

A quinta ferramenta, consiste do HSP, mede tanto o brilho de corpos celestes quanto a variação do brilho. A capacidade de determinar a perda de luz e matéria de um corpo celeste para um buraco negro (GAINOR, 2020). O telescópio estava bem equipado para captar muitas informações do que na Terra tornaria complicado de verificar, devido à sua atmosfera e a absorção de certos comprimentos de onda.

Ainda teria os três sensores de orientação fina que o tornaria o sexto instrumento científico (GAINOR, 2020). usado pela astrometria, responsável tanto pelo estudo da posição dos astros quanto das variações das posições dos astros em relação ao tempo. A previsão inicial da construção do telescópio espacial ficou para 1983.

O espelho principal ficou a cargo da empresa PerkinElmer em retificar e polir. Um dispositivo chamado corretor nulo reflexivo foi desenvolvido para padronizar a

reflexão em todo o espelho (GAINOR, 2020). Ele seria o responsável de deixar o espelho com o foco no mesmo lugar, retificando e a polindo até a forma final. O corretor nulo configurado para um espelho de 1,5 m de diâmetro estava posicionado levemente abaixo em razão da objetiva possuir 2,4 metros.

A supervisão dos testes no espelho principal ficou a cargo de três funcionários da NASA e os gerentes da empresa contratada, não permitindo que outros estivessem presentes. O espelho diminuiria a sua altura de 1,3 milímetro da posição correta, realizaram-se novos testes com corretor nulo configurado erroneamente, retificou e poliu com o erro e o espelho ficou levemente mais achatado nas bordas em relação ao que era o ideal. Um único funcionário da NASA assentiu os testes para os gerentes da Perkin-Elmer.

Os novos testes com outro corretor nulo, refrator, porém menos preciso. Este corretor nulo encontrou o erro, contudo, a precisão do outro era maior, o pessoal da empresa descartou e não mostrou a NASA (GAINOR, 2020). A Perkin-Elmer negligenciou muitas outras tentativas de medição de reflexão do espelho principal, mesmo que alguns funcionários da própria empresa mostraram-se preocupados com a falta de testes.

O espelho primário foi incorporado ao telescópio em 1982, não modificado até a data de lançamento. Outro fator importante nessa década aconteceu com o nome do telescópio, que agora seria chamado de Telescópio Espacial Hubble (DICKINSON, 2012). Era uma homenagem ao astrônomo americano Edwin P. Hubble, que realizou descobertas importantes e suas análises através de estrelas cefeídas ajudou na percepção de que o universo está em expansão.

O HST, estava anteriormente projetado para manutenções na terra, porém, ao trazer ficava muito caro e perigoso. Com isso, a previsão dos 15 anos de funcionamento dele no espaço, as suas atualizações e correções aconteceriam no espaço por uma equipe de astronautas em futuras missões.

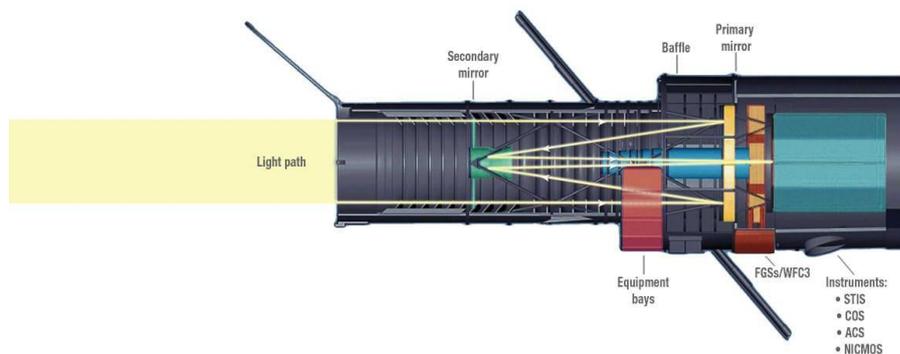
O dia do lançamento chegou, numa parceria entre a NASA e a ESA, colocou na manhã do dia 24 de abril de 1990, o Telescópio Espacial Hubble fora da Terra. Ele foi retirado de dentro do ônibus espacial um dia depois por um braço robótico. A localização de 618 quilômetros fora da terra, O HST começou a funcionar apontando os sensores solares na direção do Sol para carregamento da bateria instalada nele e as antenas posicionado corretamente para a equipe responsável pelo controle dele na Terra, recebeu as informações iniciais.

4.2 O ERRO

Os primeiros meses estavam relacionados ao funcionamento do HST, antes mesmo de deixar disponível para as investigações científicas. A expectativa da mídia e dos astrônomos era crescente nas descobertas que o telescópio proporcionava com as suas futuras investigações, mesmo que no passado recente alguns criticaram perante ao alto custo dele, que foi de cerca de 2,5 bilhões de dólares.

O telescópio Hubble é caracterizado como refletor, com isso, a luz que passa pela abertura dele vai até o espelho primário, de 2,4 metros, que refletirá até o espelho secundário, de 0,3 metros, que também reflete os raios luminosos até o orifício que fica localizado no meio do espelho primário até os principais instrumentos de observações. Caso tudo estivesse correto, ele estaria pronto na divulgação científica, mas perceberam algo errado.

Figura 16- O caminho da luz no HST



Fonte: (NASA; STScI, 2019).

A reunião com a imprensa de notícia em 27 de junho de 1990, tornou-se marcante porque o Dr. Edward Weiler, cientista-chefe do Telescópio Espacial Hubble, informa a todos que o espelho primário estaria defeituoso (CHEN, 2015). O preço da falta de testes antes mesmo de instalar o espelho no Hubble chegou, a imprensa não poupou nas críticas e o congresso americano queria explicações posteriormente.

As imagens capturadas pelas câmeras estavam borradas em consequência da aberração esférica, onde a luz converge para pontos próximos do foco, fornecendo imagens com baixas nitidez e quanto maior o diâmetro do espelho, mais desfoque

acontece. Um problema que colocaria a própria NASA em riscos por seus erros anteriores e a gestão ruim. O lado positivo estaria no fato das imagens serem melhores do que qualquer telescópio terrestre.

Sabendo do problema, o próximo passo era encontrar uma solução que fosse realizada na próxima missão de atualizações e correções no HST. Segundo Soares (2008), o erro foi resolvido da seguinte forma:

A solução do problema seria a colocação de "óculos" corretivos no telescópio. Os óculos desenvolvidos pela equipe técnica do HST, denominado COSTAR, sigla para "Corrective Optics Space Telescope Axial Replacement", é, portanto, um sistema óptico de correção para a focalização do telescópio.

Uma equipe de estratégia foi criada para encontrar a solução e assim aconteceu por um dos seus membros, o engenheiro elétrico James Crocker (GAINOR, 2020). Ele explicou como o pacote de óptica ficaria em frente ao espelho, especificamente nas bordas, corrigindo o problema e mais tarde esse pacote ficou conhecido como COSTAR.

Em 2 de dezembro de 1993, a missão se dirigiu ao HST a fim de corrigir da aberração esférica. Além da implantação do COSTAR, aconteceu a implantação da WP/FC2 que estaria sendo colocada no lugar da versão mais antiga, WP/FC. Todo o processo de instalações e atualizações aconteceu em sete dias, a missão ocorreu com sucesso e os astronautas chegaram em terra em 13 de dezembro de 1993.

Figura 17- O Astronauta e o HST



Fonte: (NASA, 2022).

Outras missões aconteceram objetivando melhorar e corrigir problemas que foram surgindo durante a passagem dos anos. Logo, as viagens espaciais até o telescópio Hubble aconteceram em 1997, 1999, 2002 e 2009 (DICKINSON, 2012). Com as dificuldades desde a sua operação, o HST até hoje tornou importante para humanidade, visualizar as imagens distantes nunca esteve tão acessível quanto agora.

4.3 HST E A EXPANSÃO DO UNIVERSO

O telescópio carrega o nome de um dos cosmólogos mais importantes na percepção da expansão do universo, Edwin P. Hubble. O cientista relacionou a distância de estrelas cefeídas com a velocidade de afastamento delas, creditado a ele como nome principal do entendimento da expansão do universo (GAINOR, 2020). Então, buscar por essas estrelas teria melhores resultados com o HST, pela nitidez das observações comparado às observações terrestres.

Em 1993, o telescópio foi usado para encontrar cefeídas na galáxia Messier 81 (M81), achando 32 delas em dois campos estudados e o intuito era saber os seus períodos e brilhos (NASA, 2023). Com isso, conseguiram medir a distância da nossa galáxia até a M31 em 11 milhões de anos-luz.

O caminho em aprimorar essa constante através do HST tornou-se crucial na mudança de pensamento que mostraria que ainda sabemos pouco do universo. A perspectiva da relação de como galáxias, aglomerados de galáxias e quasares estão se afastando em toda direção de uma das outras modificou-se quando analisaram os dados obtidos pelo telescópio Hubble, o universo está se expandindo aceleradamente.

Os corpos celestes observados para medir a taxa de expansão tenderam para uma luminosidade menor do que o esperado. Como a expansão do Cosmos era desacelerada, então a distância dos astros investigados deveria ser menor do que calculado. Segundo Silva (2014, p. 3)

O High-z Supernova Search Team (HSST) e o Supernova Cosmology Project (SCP), ambos usando amostras de calibrações do Calán/Tololo survey constataram que as SNe Ia apresentavam um brilho menor do que esperado. Como consequência, os dados eram ajustados perfeitamente ao se adotar um modelo cosmológico o qual necessitava uma contribuição aproximadamente de 72% de uma fonte de energia extra que acelera o universo, sendo esta a energia do

vácuo, diferentemente das matérias ordinária e escura. Esta portanto foi a primeira evidência concreta da aceleração do universo

Duas equipes ganharam, com muita dificuldade, tempo de observação no HST. A *Supernova Cosmology Project* (SCP), liderada por Saul Permuter e a *High-z Supernova Search Team* (HSST), chefiada por Brian Schmidt, ganharam 28 órbitas de tempo em suas pesquisas (WILLIAMS, 2020). O objetivo era, aproveitar ao máximo o estudo das supernovas distantes do tipo Ia⁵ (sne Ia), e analisar em relação ao parâmetro de desaceleração da expansão, as distâncias e a idade do universo.

Em 1998, aconteceram a divulgação dos dados obtidos no telescópio Hubble das duas equipes, High-z e a SCP (GAINOR, 2020). Esta última, observou 42 supernovas, publicando os resultados em janeiro desse ano e a outra um número menor, 16. Os dois grupos concluíram o seguinte, as luminosidades dessas sne Ia estavam menores do que a previsão teórica, calculada para uma expansão cósmica desacelerada. Portanto, essas se portavam como se a sua rapidez estava aumentando, caracterizando um Cosmos que se expande aceleradamente.

A causa da mudança do tipo de expansão pode estar relacionada a energia escura, esta permeia a grande parte do Universo, cerca de 70%, com pressão negativa, provoca um afastamento acelerado dos astros distantes por seu efeito anti-gravidade (ROSENFELD, 2005). A energia escura também é estudada pelo HST, buscando formações que possibilite mais evidências da sua natureza física, já ela está presente entre as galáxias.

Na década de 1920, os dados colhidos pelos telescópios terrestres mostraram uma visão expansionista desacelerada e a última década do mesmo século aponta que um telescópio espacial avança no entendimento dos objetos celestes distantes que se afastam cada vez mais rapidamente.

Alguns astrônomos do comitê que analisavam as propostas para o uso do tempo do Hubble, quando apresentados aos projetos das pesquisas das supernovas que poderiam refinar o parâmetro de Hubble, não concordaram em ceder (WILLIAMS, 2020). Contudo, a chance dada aos dois grupos, que mais tarde divulgaram para o mundo sobre aceleração de afastamento das galáxias mostram o valor que cada pesquisa pode acrescentar no avanço da ciência.

⁵ São anãs brancas que estão em sistemas binários de estrelas, produzem explosões violentas, provocadas pelo colapso dos seus núcleos. Com isso, liberam rapidamente muita energia ao espaço.

4.4 HST x JWST

O Telescópio Espacial James Webb (*Telescope Space James Webb-JWST*), desde o lançamento, no dia 25 de dezembro de 2021, tornou-se o mais recente de uma linha de telescópios espaciais em operação. Além de ser o mais moderno, sua localização quase três vezes mais distante do que o HST, aumentam as expectativas de examinar com intensidade maior os objetos celestes, especialmente informações que poderiam responder como era o universo primordial, sua idade e outros detalhes que os humanos ainda não conhecem.

Figura 18- O lançamento do foguete Ariane 5



Fonte: (NASA; CHRIS GUNN, 2022).

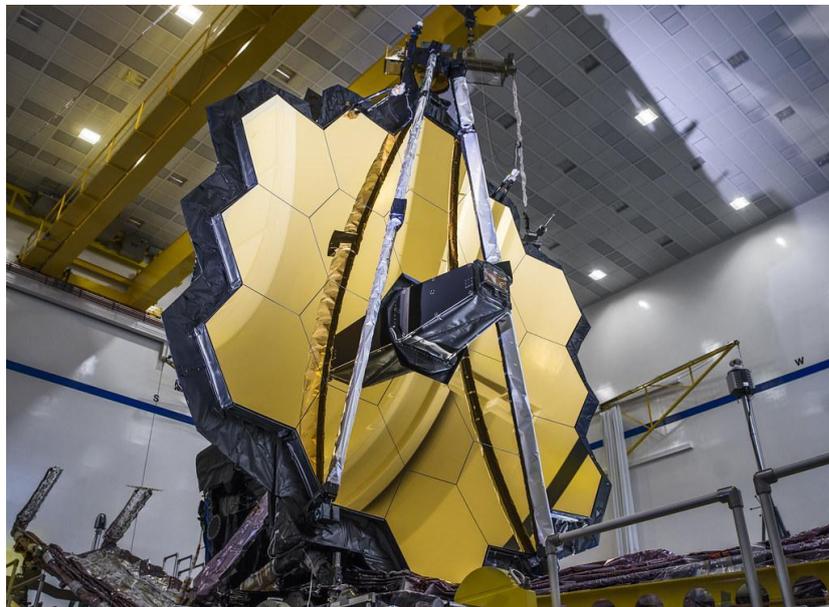
Em consideração ao tempo para ficar pronto, o JWST durou aproximadamente 17 anos, começando a sua construção em 2004. Porém, a ideia do próximo telescópio espacial aconteceu antes mesmo do Hubble fosse lançado (GARCÍA, 2022). O primeiro nome dele era Telescópio Espacial de Próxima Geração (*Next Generation Space Telescope-NGST*), modificado em 2002 com o nome atual.

A mudança ocorreu em homenagear James E. Webb, a segunda pessoa que administrou a NASA. Ele liderou uma das séries de programas de exploração mais conhecidas, as missões Apollo, responsáveis por levar as primeiras pessoas à Lua no

final da década de 60. Personagem importante na história da NASA, foi recompensado com seu nome em um telescópio.

Diferente do HST, esse telescópio contou com mais países envolvidos, houve participações da NASA, ESA e da Agência Espacial Canadense (*Canadian Space Telescope- CSA*). O formato dos dois também se diferenciam, Webb não se parece com um telescópio tradicional. Para Coelho (2022, p. 114), “o espelho de 6,5 metros do JWST, que consiste em 18 segmentos hexagonais dispostos como um favo de mel.” Tanto o espelho primário quanto o secundário são feitos de berílio, material ultraleve.

Figura 19- O espelho principal do JWST



Fonte: (ESA, 2020).

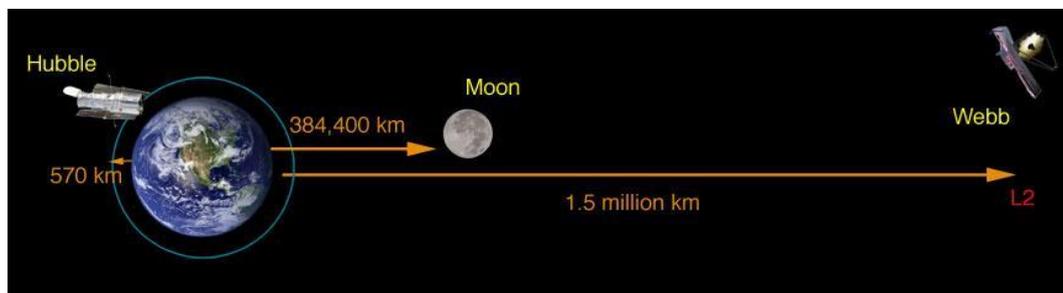
Portanto, o telescópio deveria ser configurado para ser projetado dentro de um foguete espacial. Os espelhos e o protetor solar foram feitos para dobrarem e diminuir a sua área, possibilitando encaixar na parte frontal do foguete, este chamado de foguete Ariane 5. O lançamento aconteceu na Guiana Francesa, local ideal porque fica perto do equador e ajuda a impulsionar o veículo espacial.

A distância que o telescópio James Webb está localizado é superior ao HST, este orbita a Terra em altitude de aproximadamente 547 quilômetros, Webb está a uma altitude de 1,5 milhão de quilômetros. A posição que se encontra o JWST é conhecida como ponto de Lagrange, segundo Coelho (2022, p. 114):

O JWST viajou para um local especial chamado Ponto de Lagrange (L2), a 1,5 milhão de quilômetros de distância. Lá, a gravidade do Sol e da Terra se equilibram de uma maneira que permite que o JWST mantenha permanentemente o Sol, a Terra e a Lua nas costas, enquanto observa o cosmos.

O local é especial por razões da combinação das forças gravitacionais de um corpo maior, o Sol, e de um corpo menor, a Terra, criando uma posição em que um terceiro corpo com a terceira menor massa, o JWST, faça uma órbita em torno de dele mesmo enquanto acompanha o movimento da Terra sem que seja atraído pelo Sol.

Figura 20- As distâncias do HST e JWST em relação à terra



Fonte: (NASA, 2022).

Para chegar no ponto de Lagrange 2, Webb percorreu por aproximadamente um mês essa distância, sendo acionado o desdobramento dos equipamentos enquanto não chegava até o local. Tornou-se vital que tudo estivesse correto quando chegasse a posição projetada porque neste local o telescópio é bombardeado por raios solares e a proteção do material do escudo seria essencial para as coletas de luz dos objetos posteriormente estudados, criando a proteção necessária.

Esse material foi escolhido porque mantém a sua forma em temperaturas muito baixas. Além de possuir essa característica física, material é um bom condutor térmico e de eletricidade. Possui uma fina camada de ouro de 48 gramas nos 18 segmentos e no espelho secundário com o tamanho de 0,74 metros de diâmetro, tornando útil na reflexão do espectro do infravermelho.

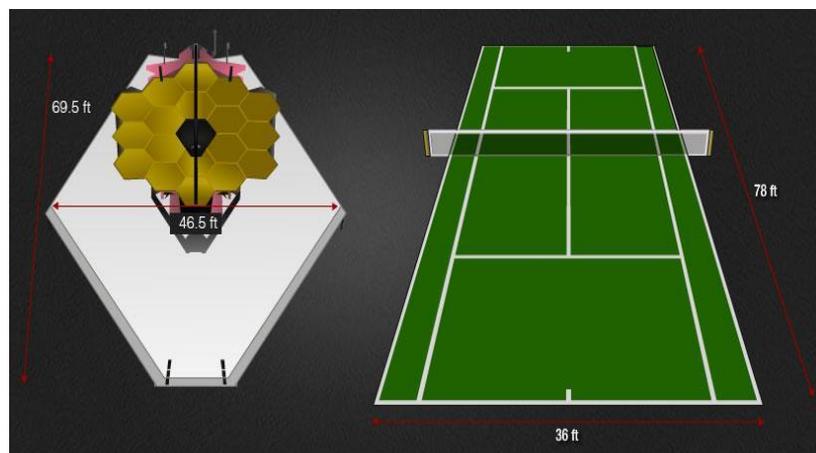
O JWST foi projetado para esse tipo de luz invisível, capacitado em oferecer observações o mais longe possível. Segundo Souza e Sabino (2022, p. 20), “JWST é um telescópio infravermelho, ou seja, acompanha o calor, a luz infravermelha tem um comprimento de onda maior do que a luz visível, por este motivo necessita de um

espelho maior”. Por essa razão, a coleta de luz torna-se muito maior do que qualquer outro telescópio espacial, até mesmo o Hubble.

A partir da reflexão, a radiação em comprimento de onda do infravermelho chega ao módulo de Instrumento Científico Integrado (ISIM), nele estão presentes os quatro instrumentos do JWST (GARCÍA, 2022). Existem mais dois módulos, o Elemento do Telescópio Óptico (*Optical Telescope Element-OTE*) e o Módulo de Suporte Espacial (*Space Support Module-SSM*).

Todos esses estão integrados, o ISIM abriga a Câmera de Infravermelho (NIRCAM), instrumentos para o Infravermelho (MIRI), o Espectrógrafo de Infravermelho (NIRSpec) e o Espectrógrafo de Infravermelho próximo e sem fenda (FGS/NIRISS) (GARCÍA, 2022). Cada instrumento é equipado para trabalhar situações diferentes. A MIRI e NIRCAM possuem bloqueadores de luz, podendo impossibilitar a radiação de uma estrela para estudar corpos próximos que são menos brilhantes.

Figura 21- Comparação do protetor solar do JWST e campo de tênis



Fonte: (ESA, KORNMESSER, 2019).

Todos esses instrumentos ficam acima do escudo solar. Na Figura 13, mostra as dimensões na unidade de medida em pés que seria equivalente às dimensões de 22 metros de comprimento por 12 metros de largura. O formato, parece de uma pipa, tem o objetivo de manter todos os equipamentos em temperaturas negativas, abaixo de $-233\text{ }^{\circ}\text{C}$, para um melhor funcionamento. Esse escudo é composto por cinco camadas, que ficam abaixo dos espelhos, servindo como uma proteção dos raios solares provenientes do Sol, Terra e Lua. O material de proteção é conhecido como

Kapton, este é resistente e forte, além de coberto com alumínio e silício. Os objetivos do telescópio espacial James Webb estão nas investigações do universo primitivo, a evolução das galáxias ao longo do tempo, o ciclo de vida da estrela e de outros mundos (PATHAK, 2021). Como a luz dos corpos celestes viaja pelo espaço, ela demora um certo tempo para chegar até a Terra ou até os telescópios espaciais. O universo está em expansão que provoca um alongamento do comprimento de onda das galáxias mais distantes, tendendo para o espectro do infravermelho.

O resultado do desvio para o infravermelho de astros que estão se afastando é explicado pelo efeito Doppler, que mostra a relação do objeto se distanciar, provoca uma variação do comprimento de onda da luz que emite, alongado para o espectro do infravermelho. Assim o JWST foi projetado para detectar esse tipo de onda que estão muito distantes.

Assim, pode-se saber como era o universo em instantes próximos do início da expansão, consegue enxergar aproximadamente a idade de 13,4 bilhões de anos. Como está olhando para o passado, conhecer como eram as galáxias mais antigas, além da taxa de rotação delas, conhecendo a sua massa e entender mais sobre os buracos negros que estão nos seus centros.

Outro estudo relaciona o ciclo de vida das estrelas, estas são formadas no interior de densas nuvens de gás e poeira estelar. O infravermelho consegue passar por essas nuvens e assim o telescópio Webb tem potencial em investigar as criações de estrelas. Esta, no que lhe concerne, suporta formar um sistema com corpos que começam a orbitar. As características desses planetas vão depender da nebulosa em que se encontram, fornecendo diversidades de composição, estrutura e a possibilidade futura de existência de vida.

O JWST tem mais de um ano de operação, está no início das averiguações e deve durar em torno de 10 anos, não tem como atualizar ou obter manutenções devido à distância que está localizado. Ele busca investigar na faixa larga das ondas do infravermelho, diferenciando do HST que tem outros tipos de instrumentos com capacidades de observações em diferentes espectros de ondas e ainda pode atuar na faixa próxima do infravermelho.

Para efeito de interesse em saber o motivo do telescópio James Webb atua no infravermelho, no anexo tem uma sequência de imagens de nebulosas e galáxias dele e do HST. Os detalhes dos registros do JWST são maiores do que as imagens dos meus astros com as câmeras que atua no espectro da luz visível

5 METODOLOGIA

Na atividade atual realizou-se uma pesquisa bibliográfica, sem uso de uma sistematização, que buscou um aprofundamento dos conhecimentos que estão disponíveis na Cosmologia, buscando informações a respeito do avanço nessa área com o telescópio Hubble, além de compreender sobre o Universo e o telescópio. esta ferramenta contribuiu em investigar o Cosmos.

O seu desenvolvimento destinou-se por meio de objetivos descritivos e exploratórios, expondo os avanços que o ser humano conseguiu acerca da origem e a sua expansão dos corpos celestes. Sucédida pelo método hipotético-dedutivo, através da justificativa do telescópio Hubble está localizado aproximadamente a 547 quilômetros da superfície da terra, tem dados observacionais que ajudam no estudo do Cosmos.

Consequentemente, verifica-se que o método foi o hipotético, em razão da procura ativa de matérias para descrever as contribuições do HST na Cosmologia a partir dos dados obtidos ou caso necessitasse, anunciar uma nova reformulação se fosse refutado. A reflexão de analisar através da coleta de dados é essencial para o progresso nesse método.

A base teórica analisada no primeiro momento orientou-se por trabalhos encontrados no periódico CAPES, as buscas foram feitas pelas palavras-chave: “Telescópios Espacial Hubble”, “Cosmologia”, “expansão do Universo” e “telescópio espacial James Webb”, “telescópio”. Os mesmos termos foram pesquisados também no Google Acadêmico. Além das buscas realizadas no site da NASA, tanto do HST quanto do JWST e a busca em livros que abordassem os dois telescópios e a cosmologia.

Sendo assim, existiram várias pesquisas de materiais do telescópio Hubble explicitando como ele contribuiu no avanço da cosmologia, além daquelas que tratam do telescópio James Webb, de como ele pode melhorar os dados colhidos para entender a evolução do universo. Seguindo uma realização de fichamentos de obras teóricas e trabalhos acadêmicos mais recentes, no período entre 2017 e 2022, mas, eventualmente, encontrando materiais mais antigos também.

A organização do material analisado para a referenciação se deu em uma planilha do Excel que provinha da coleta de todas as citações e meus respectivos comentários, juntamente de quem escreveu, título da obra, número da edição, cidade,

editora, ano, etc. Esse recurso foi importante no intuito de ordenar a referência dessa produção científica.

Para mais, o texto discutido se deu como dissertativo, onde apresentamos informações a fim de ser possível o uso da hipótese da localização do Hubble ter potencial de observar com menos interferência do que em lugares na superfície da terra, por isso o avanço da Cosmologia e a mudança de paradigma de como está ocorrendo a expansão do Cosmos. Para Marconi e Lakatos (2011, p. 126), “constituindo-se a hipótese uma suposta, provável e provisória resposta a um problema, cuja adequação (comprovação= sustentabilidade ou validade) será verificada através da pesquisa”. Sendo assim, desenvolveu soluções capazes de confirmar a resposta para o problema.

Por certo, o estudo neste trabalho foi elaborado de cunho meramente teórico, sem a necessidade de incrementar propostas aplicáveis para corroborar com os dados que estão apresentados aqui.

Com isso, neste trabalho apresenta uma contribuição para o conhecimento científico presente atualmente por meio da hipótese que possibilite encontrar informações, determinando explicações a fim de atender o problema levantado e isso configura como pesquisa descritiva.

Em relação ao objetivo que segue, o modelo é de fazer uma revisão bibliográfica, que buscou encontrar informações atuais que têm sido estudados na área de cosmologia sobre seu avanço com o telescópio Hubble e o promissor James Webb quando tratado da expansão do universo.

Nesse sentido, tem por objetivos descrever a respeito das contribuições do Hubble em favor da Cosmologia que contém inúmeros trabalhos desde o seu funcionamento, podendo ser caracterizado como pesquisa descritiva e encaixa com a fala de Duarte e Furtado (2014, p. 26), “a pesquisa descritiva se restringe a constatar o que já existe. Os acontecimentos são narrados. Procura-se conhecer a natureza, as características, a composição e os processos que constituem o fenômeno”.

Por outro lado, esse tipo de pesquisa não supre a necessidade completa com a coleta de dados e a construção da hipótese. Logo, precisa mais do que descrever para a pesquisa está completa, sucedeu de classificar da melhor forma a relação com os dois telescópios e se o Webb terá papel importante no futuro do Hubble e se esse foi importante para as observações do Cosmo.

Por essa razão, o alinhamento que a pesquisa exploratória oferece pode ser útil usar tal classificação também, já que se torna mais objetiva a coleta de informações, Gil explica (2010, p. 27) que "As pesquisas exploratórias têm como propósito proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a construir hipóteses".

De fato, a intenção de continuar da pesquisa oferece detalhes mais explícitos que proporcione construir melhor o problema, favorecendo as particularidades e flexibilizando o diagnóstico diante da teoria organizada na parte inicial do segundo capítulo.

Além de que, a busca foi desenvolvida com base na hipótese da localização do HST, fora da terra, corrobora para melhores dados de investigação do afastamento das galáxias. Neste momento outro telescópio, James Webb, funciona numa posição muito mais distante em relação à terra, sendo mais valioso por buscar respostas mais distantes, já que o Webb terá menos influência da radiação enviada pela Terra, Lua e o Sol devido ao protetor instalado nele.

Destaca-se, que os dados foram buscados para explicações da compreensão de uma área da cosmologia que não abarca resultados numéricos e estatísticos e analisados de forma crítica em relação às percepções do pesquisador. Dessa forma, a abordagem empregada tendeu para uma pesquisa qualitativa e segue o que Marconi e Lakatos (2011, p. 269), ao falar sobre "o método qualitativo difere do quantitativo não só por não empregar instrumentos estatísticos, mas também pela forma de coleta e análise dos dados."

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Em virtude deste trabalho apresentar uma pesquisa bibliográfica, o tipo de pesquisa realizada se deu através de trabalhos acadêmicos, livros e informações contidas no periódico CAPES, Google Acadêmico, Scielo, NASA, Hubble site, Webb Space Telescope. A partir das informações colhidas nesses locais, tornou-se útil para as investigações do avanço que o telescópio Hubble proporcionou no desenvolvimento da Cosmologia.

A partir da pesquisa, eles foram responsáveis por trilhar em busca das respostas dos objetivos acerca do avanço da cosmologia que começaram no século passado em virtude de melhores telescópios terrestres que foram sendo desenvolvidos e o mais poderoso telescópio lançado ao espaço antes do século XXI, realizando algumas investigações relacionadas a área da Cosmologia. Além de, procurar saber se após tanto tempo de funcionamento fora da terra, o JWST, vai fazer com que o HST se aposente.

Em consequência de análises de materiais que abordem os pontos descritos nos objetivos, a finalidade dessa pesquisa se concentrou em buscar referências teóricas. Os dados encontrados foram submetidos a leituras com foco em encontrar informações que corroboram em apontar se está alinhado às hipóteses levantadas no trabalho.

No primeiro capítulo descobriu-se que qualquer fenômeno da natureza, para os nossos ancestrais, era obra oriundo dos deuses. Tanto (COMINS; KAUFMANN, 2010) quanto (STUART, 2018, p.1) falam do céu ser a morada das divindades, caso estivessem bondosos ou com raiva da humanidade seria notado por meio da fartura, ou inópia. Neste momento tinha uma percepção das causas dos acontecimentos em suas vidas poderiam ser boas ou ruins.

Além do entendimento do que seria o universo foi construído com a passagem do tempo, quando as civilizações começaram a modernizar. A busca dos conhecimentos que trata de astronomia, acerca dos movimentos dos corpos visíveis e estrelas mais brilhantes. Outro detalhe, era a questão do universo, onde (RIDPATH, 2014) aborda que tudo pertence a esse lugar, indo ao encontro de (COLIN, 2012) e (BERTOLANI; GOMES, 2018). Esses falam da energia e matéria são características de um universo que está em expansão.

O capítulo dois aborda também a Cosmologia, (NETO, 2018) fala do que seria essa área, estando ligada a origem, grande estrutura e a evolução do universo. As pesquisas apontam alguns nomes importantes em saber das questões levantadas por ele, um deles foi o Edwin Powell Hubble que usou os dados do telescópio Hooker para mostrar que a galáxia de Andrômeda estava fora da Via-Láctea. Contribuiu também em mostrar que o universo está em expansão no seu livro de 1936.

(SARAIVA, 2010) aborda a explicação de como seria essa expansão, dizendo que o distanciamento das galáxias advém em todas as direções e não existindo um lugar especial. Este pensamento tinha sido mostrado de forma teórica antes mesmo dos dados das observações realizadas por Hubble, com Willem de Sitter, Friedmann e o padre Lemaître.

Os contribuidores dos modelos consideravam a existência do universo em se afastar. Esta questão é levantada por autores como (NOVELLO, 2022) e (WAGA, 2005), mostrando as ideias de cada um, identificando as diferenças em cada modelo. A importância dos cálculos deles tornaram importantes porque as observações corroboram e assim, as hipóteses solidificam na questão da expansão do universo.

Finalizando o capítulo com a possibilidade de existência de uma origem desse por meio de um átomo primordial, este conceito foi abordado por Lemaître. (COMINS; KAUFMANN, 2010) segue a análise de como seria os primeiros momentos da expansão, (BERTOLAMI; GOMES, 2018) também comenta e aponta o motivo da origem e crescimento do universo pela altíssima energia e densidade contidos nesse átomo primordial.

(HAWKING, 2015), tinha uma visão diferente em relação ao Big Bang, defendia outro tipo de modelo cosmológico, o universo seria estacionário, infinito e homogêneo. Porém, uma parte do seu livro, “Uma breve história do tempo”, fala de como foram os microssegundos de um espaço-tempo que crescia rapidamente. Além dos elementos que estariam formando-se nesse instante, tanto em combinações como em destruições.

O modelo defendido por HAWKING perdeu espaço quando Arno Penzias e Robert Wilson conseguiram medir a Radiação Cósmica de Fundo em Microondas (RCFM), em 1968. Caracterizado como radiação prevista na teoria na década de 40, ela é resultante dos primeiros milhares de anos do universo, portando alto nível de energia e densidade defendida, principalmente, por George Gamow. Assim, a teoria

do Big Bang ganhou força, comentado por (ROCHA, 2009), (VILLELA; FERREIRA; WUENSCHÉ, 2004).

O motivo em surgir um capítulo para o telescópio acontece a fim de explicar a importância dos questionamentos na Cosmologia, e como eles foram entendidos, sendo que um deles é a expansão do universo. Estudar as estrelas e galáxias distantes nos deu a oportunidade de descobrir o afastamento dos astros. As observações destes começaram no século XVII, quando (CHAPMAN, 2014) e (TEIXEIRA, 2022) apontam para o inventor do telescópio refrator ser um holandês, Hans Lippershey. Contudo, dizem que Galilei Galileu usou da sua investigação para criar a sua primeira luneta, pois não tinha o desenho dela em mãos, apenas receberia a explicação de como ela funcionava.

A partir da criação em 1610, Galileu fez inúmeras observações que ficou conhecido em sua região, ganhando muito prestígio. Escreveu trabalhos e ensaios que chamaram atenção da Igreja, seu posicionamento após investigar alguns corpos astronômicos como Saturno, Júpiter e seus satélites naturais, a Lua e até o Sol, o deixou convencido de que a Terra não seria o centro do sistema. A igreja, condenou a prisão domiciliar por essa heresia.

Tanto a sua luneta, quanto a de Kepler, outro que ficou conhecido por suas descobertas, são tratados nos trabalhos de (CASA, 2020) e (LEVADA, 2009). Explicam as diferenças das lentes nas lunetas, Galileu usa uma lente convexa na objetiva e a segunda côncava, enquanto no outro as duas lentes são convexas. Mostram que os melhores resultados são vistos no telescópio de Kepler, mesmo que as duas sofressem de aberrações ópticas.

Um tipo de telescópio diferente de Galileu foi construído por Isaac Newton, este usou a reflexão da luz como uma forma de enxergar objetos distantes. Abordando as explicações da história, funcionamento e variantes do telescópio refletor são apontados por (HALLIDAY; RESNICK, 2012), (COMINS; KAUFMANN, 2010) e (COTTRELL, 1995). Na história, além do modelo de Newton, dois outros são Laurent Cassegrain e James Gregory.

No último capítulo do referencial teórico, as descobertas foram em torno das dificuldades desde o planejamento do telescópio espacial Hubble. De início não era chamado desta forma, a partir da década de 80 do século XX, foi renomeado em homenagem ao astrônomo, Edwin P. Hubble. O livro de (GAINOR, 2020), aborda a

história com detalhes desde os primeiros pensamentos de existir a possibilidade de colocar um satélite no espaço.

As informações e imagens do Hubble, as características deste instrumento astronômico que na época foi considerado promissor pela tecnologia contida nele (NASA, 2022). A história dele também foi abordada por (MEDIA, 2018), falando da contribuição do Lyman Spitzer, defensor implacável na busca de orçamento para a construção do HST.

(CHEN, 2015), comenta as dificuldades que o governo americano colocava para liberar o financiamento a NASA, esta conseguiu em 1977, entrando em contato com parceiros na construção do telescópio. Quem assumiu a retificação e polimento do espelho principal foi a empresa Perkin-Elmer, (GAINOR, 2020), explica como aconteceu esse procedimento, detalhando o erro em retificar e polir pela empresa, causando um erro que os raios luminosos na borda não conseguiam focar no mesmo lugar do que os raios mais próximos do centro focal.

(CHEN, 2015), mostra como o erro no espelho primário abalou a reputação da NASA, momento crítico na história dessa agência espacial, mas essa contornou encontrou a causa das imagens estarem borradas. Uma equipe ficou responsável pela solução e em 1993, o problema foi corrigido. (DICKINSON, 2012) também aponta além dessa missão, mais quatro outras que foram sempre feitas para correções, trocas de equipamentos e atualizações.

Um ponto retratado neste capítulo ocorreu na investigação da expansão do universo e o HST, a possibilidade da contribuição no refinamento de melhor explicação. (WILLIAMS, 2020) mostra que duas equipes são responsáveis nas investigações de um tipo de estrelas que possibilita saber a distância delas até a terra, como também a velocidade de afastamento. os dados coletados são publicados com a surpreendente informação da expansão do universo de forma acelerada.

(GAINOR, 2020), similarmente aborda tal informação, explicando a mudança de paradigma, antes pensava que seria desacelerada, em 1998, descobre o oposto. Um momento para a Cosmologia de uma nova explicação, o que está provocando essa aceleração, pois se pensava que a gravidade seria o motivo de retardar a expansão.

Finalizando, o quarto capítulo trouxe informações do telescópio espacial James Webb. O telescópio moderno, com equipamentos que analisam o comprimento de ondas no infravermelho, possibilitam investigações de galáxias, estrelas e

nebulosas mais distantes do que visto no espectro visível. (GARCÍA, 2022), expõe a história do JWST, os passos de quando se iniciou a operação do projeto, o motivo de homenagear James Webb com o nome no telescópio.

(COELHO, 2022, p. 114), traz as características do JWST, o seu tamanho, do espelho, os equipamentos contidos e localização dele no espaço. Um local considerado especial porque ele não fica girando em torno da Terra, como também não é puxado pela gravidade do Sol, apenas o orbitando. O Webb é projetado de tal forma que impedem dos raios solares de chegarem na parte observacional do espelho, permitindo que os espelhos e os instrumentos fiquem em temperaturas baixas, importante para investigar no infravermelho.

(SOUZA; SABINO, 2020), explicam as causas das observações serem no infravermelho, García informa os equipamentos e como funciona, podendo ver após nebulosas de gases e poeiras, estudo das composições de estrelas antigas e planetas que o rodeia, a idade do universo, expansão do universo, etc. Como os mais distantes objetos celestes se afastam, a radiação que eles liberam chegam até o telescópio em comprimento de onda do infravermelho.

Os objetivos de estudos do JWST são abordados por (PATHAK, 2021); o universo primitivo, galáxias ao longo do tempo, o ciclo de vida das estrelas e outros mundos. Entender esses pontos está alinhado às questões que a Cosmologia também tenta explicar, principalmente quando envolve o universo primitivo, a expansão e as grandes estruturas. O funcionamento do Webb é de aproximadamente 10 anos, sem missão para reparos ou atualizações nele.

A Construção dos três capítulos do referencial teórico abordou a compreensão sobre o universo, como a Cosmologia o estuda. A forma em que hoje sabemos acerca do Cosmos, traçado pelo conhecimento acumulativo em que foram descobertos e passado de geração em geração, estabelecendo uma conexão entre o conhecimento teórico e observacional.

Por isso, a sequência se deu por saber acerca do telescópio, um instrumento óptico que garantiu uma investigação mais profunda do que apenas investigar a olho nu. Esse objeto astronômico garantiu que entendesse melhor sobre a origem do universo, como também descobrir a sua expansão. Os telescópios terrestres foram evoluindo com o tempo, ficando cada vez maiores e melhores, contudo, eram limitados nas observações dos espectros não visíveis, como o ultravioleta e infravermelho.

Portanto, colocar um telescópio no espaço seria ideal, a atmosfera não prejudicaria, aconteceriam melhores investigações. Nesse sentido, o telescópio espacial Hubble foi lançado em 1990. Como previsto, os dados obtidos são melhores do que qualquer telescópio terrestre da sua época. As melhorias das imagens de corpos celestes colocaram o ser humano em um novo patamar, a revolução do pensamento da aceleração da expansão é a marca do poderio deste instrumento.

O HST não foi o único a ser implantado no espaço, o mais recente tem um poder de coletar informações dos astros, se chama Telescópio Espacial James Webb. Com um espelho maior do que o Hubble, posicionado a uma distância de 1,5 milhão de quilômetros da Terra, com equipamentos mais modernos e usados no infravermelho tem causado esperança de melhores resultados do que o próprio HST.

Todos esses pontos abordados no referencial teórico podem ser analisados com a hipótese levantada no início da pesquisa deste trabalho. A primeira suposição relacionou a posição do Hubble, que está a mais de 500 quilômetros da altitude da atmosfera da Terra, teria melhores dados do que telescópios na superfície terrestre.

Portanto, confirmou-se esse fato. Como não existe atmosfera para atrapalhar a coleta de luzes que vem de estrelas mais distantes, o HST pode investigar lugares mais distantes, galáxias em que as radiações vindas delas estão no espectro do ultravioleta ou infravermelho próximo, são colhidas mais facilmente do que outros telescópios na Terra. A atmosfera da Terra não é favorável para esses dois tipos de ondas, muitas vezes não conseguem ser identificadas pelos observatórios, quando tratam de objetos celestes que estão muito distantes.

Como consequência disso, as imagens de estrelas mais antigas são mostradas, o avanço da astronomia alcança novos patamares com tipos de telescópios espaciais. Portanto, quando lançado o Telescópio Espacial James Webb, em 2021, a hipótese inicial acerca do protagonismo nas observações espaciais. A respeito disso, o JWST é mais moderno com espelhos maiores do que o HST, pode investigar lugares mais distantes do que este último.

O Webb, também localiza em posição mais distante, um poder de coleta de luz no próximo e médio do infravermelho, o Hubble apenas no espectro próximo desse tipo de onda. Portanto, JWST torna-se mais favorável em investigar a origem do universo, como também a sua expansão. O HST tem contribuições como a descoberta do afastamento das galáxias de forma acelerada.

Como também foi abordado, aconteceu o refinamento da constante de Hubble, que antes dele girava em torno de 10%, atualmente está em 2%. A idade do universo atualizada conforme os estudos atualizam e atualmente estima-se que a idade seja de 13,8 bilhões de anos. Portanto, o James Webb pode coletar dados próximo da origem do Cosmos por conseguir investigar mais longe, tendo uma maior possibilidade de protagonismo das observações.

Contudo, quando tratado do infravermelho, o HST pode investigar em bandas de espectros maiores do que o JWST, e no quesito de comprimento de onda da luz o Hubble sai na frente. Ele consegue melhores resultados na luz visível, ultravioleta e infravermelho próximo. Isso apenas mostra que os dois podem ser protagonistas juntos, cada um com sua especialidade. Portanto, a hipótese foi parcialmente confirmada, pois o telescópio James Webb não pode se tornar protagonista em todos os tipos de observações.

Nesse momento pode ser respondida à pergunta do avanço nas observações em Cosmologia com o telescópio Espacial Hubble e seu futuro perante ao Telescópio espacial James Webb com relação à expansão do universo. A principal descoberta do HST para a cosmologia está na mudança do tipo de expansão do universo, o que antes acontecia de forma desacelerada, agora sabe-se que acontece aceleradamente.

Na primeira década de funcionamento no espaço, o HST consegue uma façanha enorme. Desde o astrônomo James P. Hubble informou que as galáxias estão se afastando e conseqüentemente o universo está em expansão, chega outro momento crucial, afastamento acelerado dos corpos celestes. Supernovas do tipo Ia são estudadas, as suas luminosidades estavam mais fracas do que os cálculos teóricos, os dados obtidos apontavam uma aceleração desses corpos.

A energia escura é apontada como responsável dessa aceleração, ganhando da gravidade. A evidência da existência dela é estudada até então pelo HST, o que ainda é difícil em saber a sua natureza. Outras investigações realizadas pelo telescópio estão no refinamento da constante de Hubble, também é necessária para saber a idade do universo, distâncias das galáxias e suas velocidades de afastamento.

O outro questionamento acerca do futuro do HST em relação ao JWST é solucionado com a percepção em que os dois poderão ser usados em observações diferentes, o Webb no infravermelho e o Hubble nos outros espectros da luz. Não existe a possibilidade de aposentadoria do Hubble devido ao JWST, os dois vão

produzir seus materiais científicos, qualificando ainda mais as investigações com os dois telescópios.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A escolha oriunda da participação em um grupo de pesquisa de Cosmologia motivou em escrever sobre um tema que se relacione com essa área. A parte observacional chamou atenção por mostrar lugares difíceis de ser visto a olho nu. Portanto, o tema escolhido foi o avanço nas observações em Cosmologia com o telescópio espacial Hubble e seu futuro perante ao telescópio espacial James Webb com relação à expansão do universo.

Então, quanto ao objetivo geral de descrever as contribuições do telescópio Hubble para observações em Cosmologia e seu futuro perante ao telescópio James Webb. Em relação à contribuição do Hubble, confirmou-se que existiu avanço, principalmente quando trata da expansão do universo, além de investigar objetos mais antigos, buscando como esses eram próximos da origem do universo.

Com as partes dos objetivos específicos, que se iniciou com a investigação do avanço da Cosmologia a partir do século XX, trazendo informações de períodos anteriores, como a ideia do Universo estático. Logo, os modelos teóricos compostos por nomes que hoje são mundialmente conhecidos quando tratado da astronomia, como Einstein, Lemaître e Friedmann. Com as melhorias dos observatórios, contendo melhores telescópios, conseguiu encontrar evidências dos distanciamentos das galáxias mais distantes e mensurar a idade do universo.

Portanto, o primeiro objetivo específico foi confirmado com a junção da física teórica com a observação no avanço da Cosmologia. O segundo objetivo específico tratou-se do telescópio espacial Hubble que ajudou nos desenvolvimentos de questões da expansão, idade do universo e a energia escura. Confirmou a importância do HST para a Cosmologia.

Finalizando os objetivos específicos com as análises do futuro do Hubble com relação ao James Webb. O ponto em destaque tratou de corroborar o trabalho em conjunto dos dois telescópios, no qual não existe a interferência do futuro do HST devido ao telescópio Webb. Os dois funcionam em diferentes espectros de onda, sendo que o JWST tem mais poder de investigação quando trata de distâncias mais distantes do que o próprio Hubble consegue ir.

As principais descobertas nos objetivos específicos se deram na percepção da criação da luneta por Hans Lippershey, ele não usou para observar os astros, mas ao contrário da visão inicial que seria desenvolvida por Galileu Galilei. Outro detalhe, o

primeiro a criar o desenho de telescópio refletor foi James Gregory e a construir por Isaac Newton. O erro do espelho do Hubble poderia ser encontrado aqui na Terra se fizesse uma vistoria rigorosa, mas a negligência em economizar e ignorar as preocupações de alguns que acompanhavam o polimento e a retificações.

Outro ponto de destaque são os instrumentos científicos dos dois telescópios citados no último capítulo do referencial teórico, denotando que cada um pode fazer as investigações em espectros diferentes, não tendo sobreposição de um em relação ao outro. O grande destaque está no JWST que tem um poder de observação maior do que o HST.

Este confirmou a hipótese levantada no início desse trabalho, a sua localização acima da atmosfera pode produzir materiais de estudos do que as observações de telescópio terrestres. O que faz sentido do Webb está mais distante, no ponto de L2, cerca de 1,5 milhão de quilômetros, tem uma estrutura capaz de proteger da radiação proveniente dos astros próximos para observar os corpos celestes que emitem a radiação no infravermelho, além de contar com espelho primário de 6,4 de diâmetro.

Quando tratado das dificuldades, os recursos em português das obras da história dos telescópios são escassos, encontrando uma variedade maior nas produções em inglês. Como o telescópio espacial James Webb está em operação há pouco mais de um ano, sendo que alguns meses ficaram para ajustes de posição e testes com equipamentos, os dados são recentes das suas observações e não tendo como fazer análises igualmente ao HST.

Portanto, querendo avaliar os dois telescópios a respeito da expansão do universo, é recomendado a continuidade dessas pesquisas, quando o JWST estiver com mais tempo de observações, tentando encontrar um refinamento da taxa da constante de Hubble. Adicionalmente, a questão do tempo dos telescópios, como o HST não terá mais missões de correções de problemas ou atualizações e o Webb também não, quanto tempo os dois estarão úteis nas investigações e qual tem a maior chance de ser mais longínquo em função de funcionamento, já que o JWST tem perspectiva de vida de 10 anos.

REFERÊNCIAS

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

ANDERSEN, G. **The telescope**: Its History, Technology, and Future. Princeton: Universidade de Princeton, 2007.

AQUINO, F. **Padre Lemaître e o Big Bang**. Lorena: Cléofas, 2021. Disponível em: <https://cleofas.com.br/padre-lemaitre-e-o-big-bang/>. Acesso em: 1 dez. 2022.

BBC (org.). **A carta em que Galileu Galilei tentou ‘maquiar’ ideias ‘heréticas’ para evitar inquisição**. [S.l.]: BBC, 2019. Disponível em: <http://bbc.com/portuguese/geral-46743467>. Acesso em: 10/02/2023.

BERTOLAMI, O. **O Big Bang**: a origem do Universo. Porto: [s.n.], 2014.

BERTOLAMI, O.; GOMES, C. **A Origem do Universo**. 70. ed. Porto: [s.n.], 2018. Disponível em: <http://web.ist.utl.pt/orfeu.bertolami/homeorfeu.html>. Acesso em: 1 dez. 2022.

CAMPOS, G. C. **A Nucleossíntese no Universo Primordial**. 2020. Orientador (a): Marlete Pereira Meira de Assunção. 2020. 43. F. Trabalho de conclusão de curso (Especialização em Teoria da Relatividade) - Instituto de Ciências Ambientais, Químicas e Farmacêuticas da Universidade Federal de São Paulo - Campus Diadema, Diadema, 2020.

CARVALHO, T. F. G. **Da divulgação ao ensino**: um olhar para o céu. 2016. Tese (Doutorado em Ensino de Física) - Ensino de Ciências (Física, Química e Biologia), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016. doi:10.11606/T.81.2016.tde-06102016-113657. Acesso em: 2023-02-27.

CHAPMAN, A. **Stargazers**: Copernicus, Galileo, the telescope and the Church. Oxford: Lion Books, 2014.

CHEN, J. L. **A guilda to Hubble Space Telescope**: Their Selection, Location, and Significante. New York: Springer, 2015.

COELHO, J. G. O Telescópio Espacial James Webb - uma nova era na Astronomia. **Cadernos de Astronomia**, Vitória, v. 3, n. 2, p. 112–121, 2022. DOI: 10.47456/Cad.Astro.v3n2.38762. Disponível em: <https://periodicos.ufes.br/astro/article/view/38762>. Acesso em: 31 jan. 2023.

COMINS, N. F.; KAUFMANN III, W. J. **Descobrendo o Universo**. 8. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.

CORNING MUSEUM OF GLASS (org.). **The quest to see more**: glass lenses. Corning Museum of Glasses: Nova Iorque, 2011. Disponível em: <https://www.cmog.org/article/quest-see-more-glass-lenses>. Acesso em: 10 fev. 2023.

DARLING, D. **Friedmann, Alexander Alexandrovich (1888-1925)**. Dundee: [s.n.], 2016. Disponível em: <https://www.daviddarling.info/encyclopedia/F/Friedmann.html>. Acesso em: 1 dez. 2022.

DICKINSON, T. **Hubble's Universe: Greatest Discoveries and Latest Images**. Canada: Firefly Books Ltd., 2012.

DINIZ, L. G. **Galileu Galilei – o mensageiro das estrelas**. Belo horizonte: CEFET-MG, 2012. Disponível em: <http://astronomianoaledoaco.blogspot.com/2012/03/galileu-galilei-o-mensageiro-das.html>. Acesso em: 10 fev. 2023.

DUARTE, S. V.; FURTADO, M. S. V. **Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) em ciências sociais aplicadas**. [S. l.]: Saraiva, 2014.

ESA (org.). **A glowing pool of light**. [S.l.]: NASA/ESA, 2008. Disponível em: <https://esahubble.org/images/opo0834a/>. acesso em: 13/02/2023.

ESA (org.). **Imagem do Hubble de NGC 3324**. [S.l.]: NASA/ESA, 1998. Disponível em: <https://esahubble.org/images/opo9839a/>. acesso em: 13/02/2023

ESA (org.). **Hubble Launch**. [S.l.]: ESA, 1990. Disponível em: https://esahubble.org/images/hst_launch_hi/. Acesso em: 3 jan. 2023.

ESA (org.). **Stephan's Quintet - A Mammoth Cosmic Collision (Ground-based view)**. [S.l.]: NASA/ESA, 2000. Disponível em: <https://esahubble.org/images/opo9839a/>. acesso em: 13 fev. 2023

ESA (org.). **Telescópio Espacial James Webb será lançado em outubro de 2021**. [S.l.]: NASA/ESA, 2020. Disponível em: https://www.esa.int/Space_in_Member_States/Portugal/Telescopio_Espacial_James_Webb_sera_lancado_em_outubro_de_2021. acesso em: 18 fev. 2023

ESA (org.). **Hubble Ultra Deep Field**. [S.l.]: ESA, 2006. Disponível em: <https://esahubble.org/images/heic0611b/>. acesso em: 14 fev. 2023

FILHO, K. S. O. **Sir Isaac Newton**. Porto Alegre: UFRGS, 2006. Disponível em: <http://astro.if.ufrgs.br/bib/newton.htm>. Acesso em: 2 jan. 2023.

FILHO, K. S. O.; SARAIVA, M. F. O. **Refrator ou Refletor**. Porto Alegre: UFRGS, 2018. Disponível em: <http://astro.if.ufrgs.br/telesc/node2.htm>. Acesso em: 2 jan. 2023.

Fosbury, R.; Christensen, L. L. **Hubble's bequest to astronomy**. [S.l.; s.n.], 2014.

GAINOR, C. **Not yet imagined: a study of hubble space telescope operations**. Washington: [s. n.], 2020. 452 p. ISBN 9781626830622.

GARCÍA, J. A. S. **Telescopio espacial James Webb**. [S.I.]: ACTA, 2022. Disponível em: <https://repositorio.aemet.es/handle/20.500.11765/13840>. Acesso em 18 jan. 2023.

GIL, A. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

HAWKING, S. **Uma breve história do tempo**. Rio de Janeiro: Intrínseca Ltda, 2015.

HISTORY (ed.). **Stonehenge**. [S.I.]: A&E Television Networks, 2020. Disponível em: <https://www.history.com/topics/british-history/stonehenge>. Acesso em: 18 out. 2022.

HUBBLESITE (org.). **Linha do tempo da missão**. [S.I.]: NASA, 2022. Disponível em: <https://hubblesite.org/mission-and-telescope/mission-timeline>. Acesso em: 24 jan. 2023.

HUBBLESITE (org.). **Hubble Space Telescope's internal components (light path)**. [S.I.]: NASA, 2019. Disponível em: <https://hubblesite.org/contents/media/images/4520-Image.html>. Acesso em: 24 jan. 2023.

HUBBLESITE (org.). **O emocionante universo do Hubble: medindo a taxa de expansão do universo**. [S. I.]: NASA, 2021. Disponível em: <https://hubblesite.org/hubble-30th-anniversary/hubbles-exciting-universe/measuring-the-universe-expansion-rate>. Acesso em: 5 junho 2022.

HUBBLE, E. **The Realm Of the Nebulae**. London: Oxford University, 1936.

LAS CASAS, R. Os primeiros telescópios. **Cadernos de Astronomia**, Vitória, v. 1, n. 1, p. 91–98, 2020. DOI: 10.47083/Cad.Astro.v1n1.30856. Disponível em: <https://periodicos.ufes.br/astronomia/article/view/30856>. Acesso em: 27 jan. 2023.

LEARN SOMETHING INTERESTING (org.). **Invention of the telescope**. [S.I.]: Learn Something Interesting, 2018. Disponível em: <http://learnsomethinginteresting.com/2018/07/18/invention-of-the-telescope/>. Acesso em: 10 fev. 2023.

LEVADA, C. L.; MACETI, H.; LAUTENSCHLEGUER, I. J. O ANO INTERNACIONAL DA ASTRONOMIA: ou “O ano em que a ciência se tornou Ciência”. **Caderno de Física da UEFS**, v. 07, p. 7–13, 2009.

LIMA, J. A. S.; SANTOS, R. C. 100 Anos da Cosmologia Relativística (1917–2017). Parte I: Das Origens à Descoberta da Expansão Universal (1929). **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 40, n. 1, 2017.

MARCONI, M. A., LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia Científica**. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

MEDIA, A. **HUBBLE IN SPACE**. New York: [s.n.], 2018. ISBN 978-1-68203-301-2.

NASA (org.). **About The Hubble Space Telescope**. [S.l.]: NASA, 26 jun. 2022. Disponível em: https://www.nasa.gov/mission_pages/hubble/about. Acesso em: 25 jan. 2023.

NASA (org.). **Discoveries - Hubble's Deep Fields**. [S.l.]: NASA, 2023. Disponível em: <https://www.nasa.gov/content/discoveries-hubbles-deep-fields>. Acesso em: 13 fev. 2023.

NASA (org.). **NASA's Webb Captures Dying Star's Final 'Performance' in Fine Detail**. [S.l.]: NASA, 2022. Disponível em: <https://www.nasa.gov/image-feature/goddard/2022/nasa-s-webb-captures-dying-star-s-final-performance-in-fine-detail>. Acesso em: 13 jan. 2023.

NASA (org.). **NASA's Webb Delivers Deepest Infrared Image of Universe Yet**. [S.l.]: NASA, 2022. Disponível em: <https://www.nasa.gov/image-feature/goddard/2022/nasa-s-webb-delivers-deepest-infrared-image-of-universe-yet>. Acesso em: 13 fev. 2023.

NASA (org.). **NASA's Webb Reveals Cosmic Cliffs, Glittering Landscape of Star Birth**. [S.l.]: NASA, 2022. Disponível em: <https://www.nasa.gov/image-feature/goddard/2022/nasa-s-webb-reveals-cosmic-cliffs-glittering-landscape-of-star-birth>. Acesso em: 10 fev. 2023

NASA (org.). **NASA's Webb Sheds Light on Galaxy Evolution, Black Holes**. [S.l.]: NASA, 2022. Disponível em: <https://www.nasa.gov/image-feature/goddard/2022/nasa-s-webb-delivers-deepest-infrared-image-of-universe-yet>. Acesso em: 13 fev. 2023.

NASA (org.). **Webb's Southern Ring Nebula**. [S.l.]: NASA, 2022. Disponível em: <https://science.nasa.gov/webbs-southern-ring-nebula>. Acesso em: 14 fev. 2023.

PATRÍCIO, N. **Telescópio Espacial James Webb lançado com sucesso**. [S.l.]: RTP, 2022. Disponível em: https://www.rtp.pt/noticias/mundo/chegou-o-dia-do-lancamento-do-telescopio-espacial-james-webb_es1372035. Acesso em: 20 jan. 2023.

Owens, J. **Stonehenge**. [S.l.]: National Geographic, 2015. Disponível em: <https://www.nationalgeographic.com/history/article/stonehenge-1>. Acesso em: 01 fev. 2023.

Pásztor, E.; Roslund, C. **LA INTERPRETACIÓN DEL DISCO de NEBRA**. [S.l.]: *Antiquity archaeological journal*, 2007.

PATHAK, P. S. **James Webb Space Telescope: future of Space astronomy**. [S. l.; s. n.], 2021.

REIS, R. R. R.; SIFFERT, B. B. Supernovas do tipo Ia e a expansão do Universo. **Cadernos de Astronomia**, Vitória, v. 3, n. 1, p. 21, 2022. DOI: 10.47456/Cad.Astro.v3n1.37130. Disponível em: <https://periodicos.ufes.br/astrologia/article/view/37130>. Acesso em: 22 dez. 2022.

RIDPATH, L. **Astronomia**. 4. ed. Rio de Janeiro: DK, 2014.

ROCHA, G. R. CONTROVERSAS CIENTÍFICAS: O caso do modelo padrão da cosmologia. **Caderno de Física da UEFS**, Feira de Santana, v. 7, n. 1, n.2, p. 65–85, 2009. ISSN: 2527-0230. Disponível em: <http://dfisweb.uefs.br/caderno/vol7n12.html>. Acesso em: 15 dez. 2022.

ROSENFELD, R. **A Cosmologia**. [S.l.]: SBF, 2005. Disponível em: <http://www1.fisica.org.br/fne/edicoes/category/24-volume-06-n-1-maio>. Acesso em: 28 fev. 2023.

SARAIVA, M. F. **Origem e evolução do universo**. Porto Alegre: UFRGS, 2008. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/fis02001/aulas/cosmo.html>. Acesso em: 1 dez. 2022.

SCNCE SOCKS (org.). **James Webb Space Telescope**. [S.l.]: Scnce Socks, 2019. Disponível em: <https://sciencesocks.co/blogs/blackstories/james-webb-space-telescope>. Acesso em: 25 jan. 2023.

SILVA, G. P. DA. Estimando parâmetros cosmológicos a partir de dados observacionais. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 40, n. Rev. Bras. Ensino Fís., 2018 40(2), 2018.

SILVA, H. H. B. **SETOR ESCURO DO UNIVERSO**: uma análise termodinâmica. 2014. 116 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Física, Departamento de Física Teórica e Experimental, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.

SOARES, D. S. L. **Cosmos**. Belo Horizonte: UFMG, 2007. Disponível em: <http://lilith.fisica.ufmg.br/~dsoares/cosmos/07/cosmos0.htm>. Acesso em: 1 dez. 2022

SOUZA, J. N.; SABINO, F. M. **Aplicações matemáticas na exploração espacial**: alguns desafios envolvidos na missão do telescópio espacial James Webb. 2022. Monografia (Curso de Matemática) - Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão, 2022.

STScI (org.). **“Cosmic Cliffs” in the Carina Nebula (NIRCam Image)**. [S.l.]: STScI, 2022. Disponível em: <https://webbtelescope.org/contents/media/images/2022/031/01G77PKB8NKR7S8Z6HBXMYATGJ>. Acesso em: 13 fev. 2023.

STUART, C. **A história do universo para quem tem pressa**. 1. ed. Rio de Janeiro: Valentina, 2018.

TEIXEIRA, I. M.; *et al.* **Do telescópio de Galileu ao telescópio espacial Hubble: contribuições do desenvolvimento tecnológico na divulgação da história da Astronomia**. Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento, [S. l.], v.11; n.5, pág. e26811528214, 2022. DOI: 10.33448/rsd-vv11i5.28214. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/28214>. Acesso em: 5 jun. 2022.

TEKNOMERS (org.). **El Nebra Sky Disc no muestra animales míticos, sino el cielo tal como era en ese momento.** [S. l.; s.n.], 2022. Disponível em: <https://teknomers.com/es/el-nebra-sky-disc-no-muestra-animales-miticos-sino-el-cielo-tal-como-era-en-ese-momento/>. Acesso em: 18 out. 2022.

WAGA, I. Cem anos de descobertas em cosmologia e novos desafios para o século XXI. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 27, n. Rev. Bras. Ensino Fís., 2005 27(1), jan. 2005.

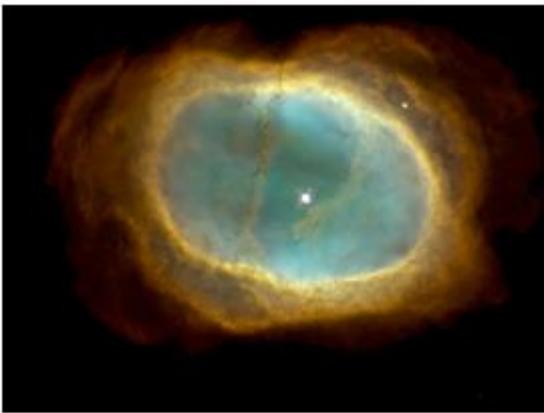
WILLIAMS, R. Hubble telescope 30 years in orbit: personal reflections. **Research in astronomy and astrophysics**, v. 20, n. 4, p. 44, 2020.

ANEXO A- IMAGENS DO HST E JWST

A sequência das imagens que foram produzidas a partir dos telescópios Hubble e James Webb são exibidas mais embaixo. Como o JWST trabalha no infravermelho, tem menos influência da radiação do Sol, Terra e Lua, além de um espelho primário de 6,4 metros de diâmetro, é natural que ele forneça mais detalhes nas suas observações quando comparado ao HST.

Nebulosa do Anel do Sul (NGC 3132)

Figura 22- Registrado pelo HST



Fonte: (NASA, 1998)

Figura 23- Imagem do JWST



Fonte: (NASA; *et. al.*, 2022)

Campo Profundo

Figura 24- Registrado pelo HST



Fonte: (NASA; ESA, 2006)

Figura 25- Registrado pelo HST



Fonte: (NASA; *et. al.*, 2022)

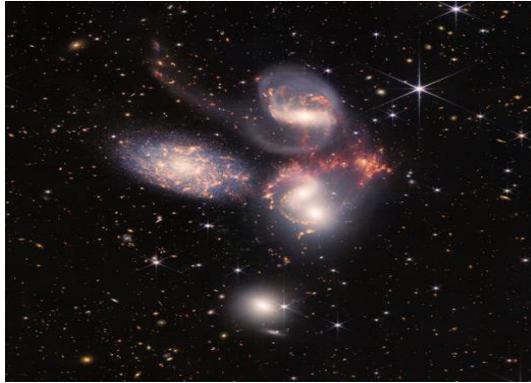
O quinteto de Stephan

Figura 26- Registro pelo HST



Fonte: (NASHARP; *et. al.*, 2000)

Figura 27- Registro pelo JWST



Fonte: (NASA, *et. al.*, 2022)

A Nebulosa Carina (NGC 3324)

Figura 28- Registrado pelo HST



Fonte: (NASA; *et. al.*, 2008)

Figura 29- Registrado pelo JWST



Fonte: (NASA, *et. al.*, 2022)