



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMIÁRIDO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE CARAÚBAS
CURSO DE INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

EZEQUIAS AMORIM MARTINS BATISTA

**DESAFIOS DE CONSTRUÇÃO E OBJETIVOS CIENTÍFICOS DO
TELESCÓPIO ESPACIAL JAMES WEBB**

CARAÚBAS

2022

EZEQUIAS AMORIM MARTINS BATISTA

DESAFIOS DE CONSTRUÇÃO E OBJETIVOS CIENTÍFICOS DO TELESCÓPIO ESPACIAL JAMES WEBB

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA,
Campus Caraúbas para obtenção do título de
Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador:

Prof. Dr. Mackson Matheus França
Nepomuceno

CARAÚBAS

2022

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

B333d Batista, Ezequias Amorim Martins.
Desafios de construção e objetivos científicos
do Telescópio Espacial James Webb / Ezequias
Amorim Martins Batista. - 2022.
47 f. : il.

Orientador: Mackson Matheus França Nepomuceno.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de , 2022.

1. James Webb. 2. Espectroscopia. 3.
Infravermelho. 4. Telescópio. 5. Universo. I.
Nepomuceno, Mackson Matheus França, orient. II.
Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Biblioteca Campus Caraúbas
Bibliotecária: Dalvanira Brito Rodrigues
CRB: 15/700

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

EZEQUIAS AMORIM MARTINS BATISTA

**DESAFIOS DE CONSTRUÇÃO E OBJETIVOS CIENTÍFICOS DO
TELESCÓPIO ESPACIAL JAMES WEBB**

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA,
Campus Caraúbas para obtenção do título de
Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador:

Prof. Dr. Mackson Matheus França
Nepomuceno

APROVADO EM ____/____/____

Ezequias Amorim Martins Batista

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Mackson Matheus França Nepomuceno
Orientador

Prof. Dra. Ana Tereza de Abreu Lima
Examinador

Prof. Dr. Hudson Pacheco Pinheiro
Examinador

“O homem é único, não porque ele faz ciência, e é único não porque faz arte, mas porque a ciência e a arte são igualmente expressões de sua maravilhosa plasticidade da mente.”

Jacob Bronowski.

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer, primeiramente, a Deus, o mentor de toda a Criação, aquele que, apesar de mim, me sustentou e me sustenta todos os dias, mediante a sua infinita graça e amor. Te louvo, Deus por isso.

Quero também agradecer aos meus melhores amigos, aqueles que são meus companheiros em todo instante, a minha base, meus exemplos de conduta e vida, os meus pais Francinaldo José Martins Batista e Iramilde Amorim Batista. Obrigado por todo o amor investido durante meu desenvolvimento, que perdura até hoje, se hoje estou onde estou, é fruto do empenho e do árduo trabalho dos senhores. Amo vocês.

Agradeço a companheira de caminhada que Deus me concedeu, minha esposa Maria Vitória Dias Guedes Batista. Sou grato pelo seu apoio nos instantes em que mais precisei durante minha caminhada de formação, e por sempre me motivar em meus momentos de inseguranças. Amo você.

Obrigado ao meu orientador Prof. Dr. Mackson Matheus França Nepomuceno pelos seus ensinamentos e conselhos que permitiram um direcionamento no desenvolvimento do meu trabalho.

Quero deixar aqui também minha gratificação aos meus amigos, aqueles de longas datas e aqueles que tive a honra de conhece-los durante esse período de formação acadêmica. Ao meu amigo e professor José Ailton L. Barboza Júnior, por todos os ensinamentos e pela sua disponibilidade em me ajudar quando precisei. Obrigado por fazerem meus dias melhores.

A todos os professores que tive a honra de conhecer durante minha caminhada acadêmica deixo meu muito obrigado. Obrigado pelos seus ensinamentos e empenho em transpassar seus conhecimentos.

RESUMO

Estudar o Universo e os corpos que o compõem é uma necessidade humana para autoconhecimento e até mesmo sobrevivência. Diante disso, o homem constantemente faz uso de suas ferramentas intelectuais e tecnológicas a fim de conhecer e desbravar o cosmo. Em resposta disso, vemos o Telescópio Espacial James Webb (TEJW), orbitando em local estratégico, portando tecnologias de ponta desenvolvidas a partir de parcerias de países e entre suas instituições astronômica. O TEJW é responsável por marcar uma nova era na astronomia. Com auxílio de seus instrumentos de captura infravermelha, ele responderá questões que até então o homem não continha informações suficientes para tomar posição. Porém, devido aos objetivos da missão, foi necessário inovações da engenharia em favor da ciência, para que seu funcionamento seja eficiente, e garanta que seus objetivos sejam atendidos. Diante disso, serão abordadas as inovações de engenharia e desafios para aplica-las de forma satisfatória, tratando esses pontos em formato de resultados e de forma sucinta, a fim de que haja uma percepção clara quanto ao assunto. Para coleta dessas informações serão abordados artigos, trabalhos científicos e conferências como base.

Palavras-chave: Universo. Telescópio. James Webb. Infravermelho.

ABSTRACT

Studying the Universe and the bodies that compose it is a human need for self-knowledge and even survival. Faced with this, man constantly makes use of his intellectual and technological tools in order to know and explore the cosmos. In response to this, we see the James Webb Space Telescope (TEJW), orbiting in a strategic location, carrying cutting-edge technologies developed from partnerships between countries and between their astronomical institutions. The TEJW is responsible for marking a new era in astronomy. With the aid of his infrared capture instruments, he will answer questions that until then the man did not contain enough information to take a position. However, due to the objectives of the mission, engineering innovations were necessary in favor of science, so that its operation is efficient, and guarantees that its objectives are met. In view of this, engineering innovations and challenges to apply them satisfactorily will be addressed, treating these points in the form of results and succinctly, so that there is a clear perception of the subject. To collect this information, articles, scientific papers and conferences will be used as a basis.

Keywords: Universe. Telescope. James Webb. Infrared.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – O astrolábio.....	14
Figura 2 – Ilustração triangulação.....	16
Figura 3 – Descrição paralaxe.....	17
Figura 4 – Método da paralaxe heliocêntrica.....	18
Figura 5 – O parsec.....	19
Figura 6 – Parede de estrelas.....	20
Figura 7 – Espectro eletromagnético.....	24
Figura 8 – Demonstração para as leis de Kirchhof.....	26
Figura 9 – Efeito Doppler na luz.....	28
Figura 10 – Demonstração dos telescópios refletor e refrator.....	30
Figura 11 – Sextante.....	30
Figura 12 – Modelo telescópio catadrióptico.....	31
Figura 13 – Telescópio Hubble.....	32
Figura 14 – Aberração esférica e convergência ideal.....	33
Figura 15 – Telescópio espacial James Webb.....	35
Figura 16 – Disposição dos espelhos que compõem o EP.....	36
Figura 17 – Sistema de atuadores de cada segmento do EP.....	38
Figura 18 – Posição do TEJW.....	39
Figura 19 – Capturas da Nebulosa Carina.....	44

SIMBOLOGIA, ACRÔNIMOS E ABREVIATURAS

Simbologia	Descrição
TEJW	Telescópio Espacial James Webb
TH	Telescópio Espacial Hubble
<i>IR</i>	<i>Infrared</i>
<i>NIR</i>	<i>Near infrared</i>
<i>MIR</i>	<i>Mid-Infrared</i>
<i>IRAS</i>	<i>Infrared Astronomical Satellite</i>
<i>ISO</i>	<i>Infrared Space Observatory</i>
<i>WISE</i>	<i>Wide-field Infrared Survey Explorer</i>
<i>VLT</i>	<i>Very Large Telescope</i>
<i>NASA</i>	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
UA	Unidades astronômicas
AL	Ano-Luz
<i>c</i>	Velocidade da luz
<i>p</i>	Paralaxe
<i>d</i>	Distância
<i>s</i>	Segundos
μ	Micron
<i>v</i>	Velocidade
m	Metros
h	Horas
H	Constante de Hubble
km	Quilômetros
pc	Parsec
M	Mega
°C	Celsius
K	Kelvin
k	Quilo
T	Temperatura
T_{ef}	Temperatura efetiva
F	Fluxo
W	Watts
L	Luminosidade
EP	Espelho primário
ES	Espelho secundário
ET	Espelho terciário
Å	Ångström
Ghz	Gigahertz
Mbps	Megabyte por segundo
Gb	Gigabyte

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1. OBJETIVO	12
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12
1.3. JUSTIFICATIVA	12
1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO.....	12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1 INTRODUÇÃO	14
2.2 DETERMINAÇÃO DE DISTÂNCIAS	15
2.3 O COSMO.....	19
2.3.1. Relatividade Geral	20
2.3.2. Expansão do Universo	21
2.3.3. Big Bang	22
2.3.4. A idade do Universo	22
2.4 FOTOMETRIA	24
2.4.1 Fluxo.....	24
2.4.2 Extinção atmosférica	25
2.4.3 Extinção interestelar e Excesso de cor	25
2.5 ESPECTROSCOPIA	25
2.5.1 Leis de Kirchhof.....	26
2.5.2 Sequência espectral e a temperatura das estrelas	27
2.5.3 Classificação de luminosidade	28
2.5.4 Velocidade radial e o efeito Doppler.....	28
2.5.5 O perfil da linha.....	29
2.6 TELESCÓPIOS.....	29
2.7 TELESCÓPIO HUBBLE	31

2.7.1	Instrumentos obturadores de imagem e dados	34
2.8	TELESCÓPIO ESPACIAL JAMES WEBB	34
3.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	36
3.1	OS DESAFIOS DE ENGENHARIA	36
3.1.1	Espelhos.....	36
3.1.2	Localização e proteção	38
3.1.3	Comunicação e armazenamento	41
3.2	OS OBJETIVOS CIENTÍFICOS DA MISSÃO	42
3.3	O TELESCÓPIO JAMES WEBB FRENTE AO TELESCÓPIO HUBBLE	44
4.	CONCLUSÕES.....	46
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

1. INTRODUÇÃO

A partir do século XVI, com a implementação da visão científica no pensamento astronômico, sendo o precursor de tal feito Galileu Galilei auxiliado por uma luneta, tornou-se possível uma visão que até então limitava-se a argumentos filosóficos, religiosos e místicos. Mas somente no século XX tornou-se possível uma visão científica aprofundada em termos práticos (STEINER, 2006). Com isso, as observações astronômicas com limitações oculares humanas foi ficando para trás, com a implementação de telescópios em órbita com a Terra.

O TEH foi um dos responsáveis por realizar essa divisão de momentos na ciência. Lançado em 24 de abril de 1990, orbitando a uma distância de 600 km da superfície da terra tem a capacidade de obter dados nos espectros infravermelhos, luz visível até ao ultravioleta e com isso realizar captura de imagens do universo (SOARES, 2008).

Com o passar dos anos, outros telescópios foram lançados em órbita para obtenção de dados, permitindo um amadurecimento da ciência, com isso, possibilitou a elaboração do TEJW, que marca uma nova era da astronomia. Levando a bordo um espelho primário medindo 6,5 metros contra os 2,4 metros do Hubble, o TEJW possui a capacidade de coletar seis vezes mais luz, isso permitirá uma análise dentro de comprimentos de ondas maiores além de análise de corpos mais escuros (GARDNER *et al.*, 2006). Além disso, o TEJW foi construído levando a bordo câmeras *IR* de alta sensibilidade, que o permite detectar estrelas e planetas e até mesmo galáxias distantes que até hoje não se poderiam observar. Trazendo uma vantagem significativa para o telescópio pois a espectroscopia *IR* é uma das técnicas de estudo mais bem sucedidas para estudo e coleta de diversas propriedades físicas dos corpos celestes através da luz e cor que eles emitem (SARAIVA *et al.*, 2014). Pois segundo Oliveira (2014), todos os corpos no universo emitem radiação *IR* sendo possível percebê-la em forma de calor. Portanto, utilizar a espectroscopia na faixa infravermelha se torna muito mais interessante quando se pretende coletar dados.

Todas essas tecnologias, aliadas à sua localização estratégica e a muitos dados que foram obtidos com o passar dos anos a partir de outros satélites como *IRAS*, *ISO*, *Spitzer*, *Akari* e *WISE* (RIEKE *et al.*, 2015), permitiram que o TEJW levasse a bordo

aperfeiçoamentos significativos em diversos âmbitos. Com isso, através do TEJW será possível responder questões fundamentais que até hoje o homem não poderia responder, a respeito de como era os corpos celestes logo após o Big Bang, assim como estudar a formação do nosso sistema solar e das estrelas e até mesmo a evolução das galáxias.

1.1. OBJETIVO

O presente trabalho tem por meta compilar os principais desafios tecnológicos e os objetivos científicos impostos ao TEJW, a partir de uma verificação bibliográfica desenvolvida antes e durante a construção do telescópio.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar uma abordagem teórica quanto a conceitos base envolvidos na ciência astronômica;
- Verificação de problemas enfrentados durante o desenvolvimento do TEJW e as inovações empregadas vistas como solução;
- Breve comparativo técnico entre o TEJW e o TEH, enfatizando alguns de seus pontos positivos e negativos;
- Apresentar alguns questionamentos que possivelmente as observações do TEJW poderão atuar.

1.3. JUSTIFICATIVA

Tendo em vista as diversas informações que se tem sobre o TEJW a respeito de sua capacidade técnica, mas que na maioria dos casos essas informações possuem uma abordagem voltada para a comunidade científica. Esse trabalho visa trazer um compilado sucinto das informações e técnicas empregadas nessa missão, de modo que qualquer leitor tenha percepção do funcionamento do TEJW e sua contribuição para a ciência.

1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO

A estrutura do trabalho está dividida no seguinte formato:

- Capítulo 1: Este capítulo expõe um breve contexto histórico acerca da astronomia, além disso, mostra os objetivos bem como a motivação para o desenvolvimento desse trabalho;
- Capítulo 2: Este capítulo é responsável por toda fundamentação teórica, ou seja, descreve cada componente do projeto;
- Capítulo 3: Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos em formato de discussões acerca das inovações aplicadas ao TEJW, e assim verificar os desafios enfrentados pelos cientistas e engenheiros a fim de validar os objetivos desse trabalho. Ainda nesse capítulo será realizado um breve comparativo técnico do TEJW frente ao TEH.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

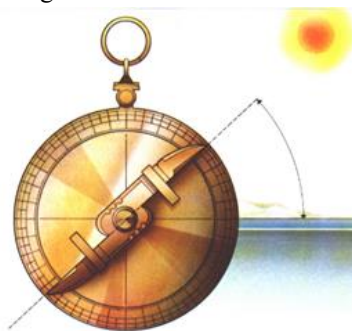
2.1 INTRODUÇÃO

A curiosidade quanto a origem das coisas sempre foi algo intrínseco do ser humano; e quando se trata da origem do universo essa ideia não se comporta diferente. Tem-se registros astronômicos com cerca de 3000 anos a.C. demonstrando que naquela época o homem já tinha a curiosidade aguçada quanto as “luzes” que se observava no alto, criando padrões, as chamadas constelações e, com o passar do tempo, percebendo que determinadas imagens no alto se repetiam durante as noites. Eles usavam isso como ferramenta de sobrevivência, os guiando em caminhadas, quanto ao melhor momento para plantar e até mesmo montar um calendário (FILHO *et al.*, 2014). Com isso torna-se possível perceber que a astronomia é uma das ciências mais antigas que se tem registros.

Desde a época pré-cristã já havia a utilização de um calendário com 365 dias. Além disso, outros povos como os polinésios já se utilizavam das observações celestes como ferramenta em suas navegações. Todas essas mudanças, quanto a forma de ver o cosmo, se deram na Grécia durante o período de 600 a.C. a 200 d.C. e, durante esse tempo os gregos foram responsáveis por trazer uma percepção descritiva dessa ciência de forma matemática (FILHO *et al.*, 2014).

Por volta do século VII, os árabes já possuíam instalações que permitiam observações distribuídas nos centros importantes. A partir daí, construíram ferramentas que permitiam a observação astronômicas. Alguma das principais ferramentas feitas por eles foram a ampulheta, astrolábios, representado de forma gráfica na figura 1, e esferas armilares (FILHO *et al.*, 2014).

Figura 1 – O astrolábio.



Fonte: (FILHO *et al.*, 2014).

Com a conquista da Espanha pelos árabes no século XI, houve uma disseminação da astronomia na Europa. Com isso, houveram avanços em pesquisas e publicações envolvendo ferramentas usadas até então, e que serviram como base para estabelecimento de outras (FILHO *et al.*, 2014).

2.2 DETERMINAÇÃO DE DISTÂNCIAS

A Unidade Astronômica se trata da distância média da Terra ao Sol. Atualmente adota-se o valor:

$$1 \text{ UA} = 149,59787069 \times 10^6 \text{ km} \quad (1.1)$$

Hoje se utiliza a medição por radar. Todavia não há a possibilidade de emissão direta ao Sol, sendo necessário a realização de medição indireta (FILHO *et al.*, 2014).

Uma outra unidade de medida que é muito aplicada é a Ano-Luz. Essa unidade dimensiona a distância que a luz percorre durante um ano. Assim,

$$1AL = \text{velocidade da luz} \times 1 \text{ ano} \quad (1.2)$$

$$1AL = (2,9979 \times 10^5 \text{ km/s}) \times (3,1557 \times 10^7 \text{ s}) \quad (1.3)$$

$$1AL = 9,46 \times 10^{12} \text{ km}. \quad (1.4)$$

A velocidade da luz foi quantificada pela primeira vez em 1675, pelo astrônomo dinamarquês Olaus Roemer (1644-1710), medindo o intervalo entre sucessivos eclipses da lua Io, de Júpiter para diferentes pontos da órbita da Terra. Com isso Roemer percebeu que havia alterações quanto ao tempo do eclipse. No instante em que Júpiter estava mais distante, havia um atraso, e adiantado quando ele estava mais próximo. Atraso de 1000 s (FILHO *et al.*, 2014).

Desse modo verificou-se que:

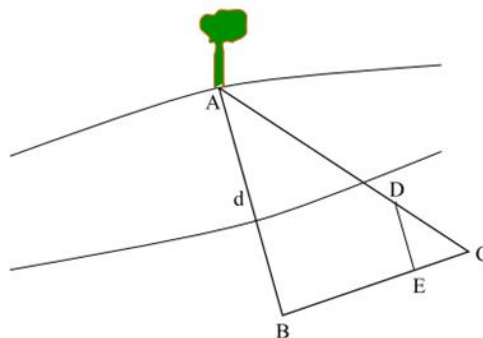
$$c = \frac{299\,795\,786 \text{ km}}{1000 \text{ s}} = 299\,795,796 \frac{\text{km}}{\text{s}} \quad (1.5)$$

Com isso, essa distância percorrida passou a ser vista como uma unidade de medida.

O método mais utilizado para medição em grandes distâncias, a pontos inacessíveis, é o método da triangulação.

A árvore da figura 2 sendo um vértice dos triângulos, torna-se possível construir dois triângulos semelhantes, ABC e DEC. Sendo BC a base do triângulo maior e AB, AC os seus lados.

Figura 2 – Ilustração triangulação.



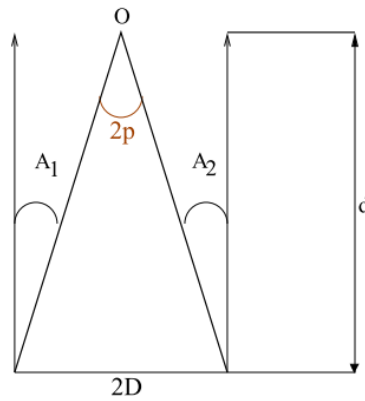
Fonte: (FILHO *et al.*, 2014).

Desse modo torna-se possível perceber que a razão entre os vértices do triângulo se apresenta da seguinte maneira:

$$\frac{AB}{BC} = \frac{DE}{EC} \quad (1.6)$$

O fenômeno da paralaxe causa uma mudança na direção do objeto observado a depender da posição em que se localiza o observador. Esse fenômeno é dado pela metade do deslocamento angular total medido com relação ao ponto O, como pode ser visto na figura 3, diante disso, a percepção da vista dos pontos B e C tornam-se diferentes (SARAIVA *et al.*, 2014).

Figura 3 – Descrição paralaxe.



Fonte: (FILHO et al., 2014).

Se desejarmos a distância do ponto O da figura 3, 2D passa a ser a linha de base do triângulo, A1 e A2 são os ângulos gerados entre o ponto O e um outro ponto tomado como referência, podendo ser um objeto muito mais distante. Aplicando conceitos trigonométricos, tem-se:

$$\tan p = \frac{D}{d} \quad (1.7)$$

Onde a paralaxe é definida por:

$$p = \frac{A1 + A2}{2} \quad (1.8)$$

Fazendo dela um valor conhecido, com D também conhecido, torna-se possível o cálculo para d. Se o ângulo for pequeno, a tangente dele será aproximadamente igual ao próprio ângulo medido em radianos (FILHO *et al.*, 2014).

O método da paralaxe é utilizado para medir distâncias de objetos astronômicos. Mas, como eles apresentam uma distância muito elevada, é necessária uma linha base grande. A medição da distância lunar ou de planetas próximos pode se ter como base o diâmetro da Terra. Já em casos de estrelas próximas, usa-se o diâmetro da órbita da Terra.

Antes da modernização e a possibilidade da captura de distâncias com uso de radares, utilizava-se o método da triangulação, tomando o diâmetro da Terra como base, método que hoje é vista como paralaxe geocêntrica.

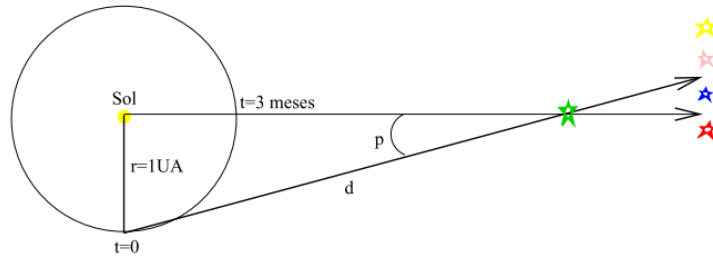
Esse método consiste em realizar a medição a partir de dois pontos opostos da Terra, quando se trata da Lua, por exemplo, e então é feito a média dessa variação total na direção observada (FILHO *et al.*, 2014).

$$p(rad) = \frac{R_{Terra}}{d} \quad (1.9)$$

$$d = \frac{R_{Terra}}{p(rad)} = \frac{1 \text{ UA}}{p(rad)} \quad (1.10)$$

Já a paralaxe heliocêntrica é aplicada medição de distância de estrelas mais próximas, como pode ser observado na figura 4.

Figura 4 – Método da paralaxe heliocêntrica.



Fonte: (FILHO *et al.*, 2014).

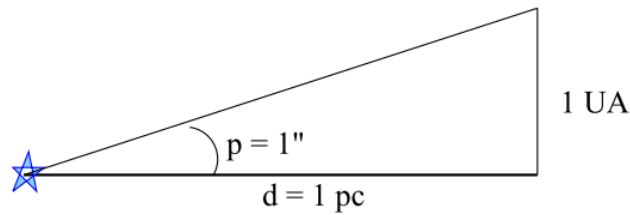
Segundo Filho (2014), à medida que a Terra gira em torno do Sol, pode-se medir a direção de uma estrela em relação às estrelas de fundo, quando a Terra está de um lado do Sol, e tornamos a fazer a medida seis meses mais tarde, quando a Terra está do outro lado do Sol. A metade do desvio total na posição ao da estrela corresponde à paralaxe heliocêntrica, que é expressa por:

$$p(rad) = \frac{\text{raio da órbita da Terra}}{d} \quad (1.11)$$

Objetos que apresentam paralaxe heliocêntrica de 1'' (um segundo de arco) pode-se dizer que o mesmo apresenta uma distância de 1 *pc*.

Paralaxe *p* de 1 *s* demonstrada na figura 5, corresponde a uma separação de 1 unidade astronômica à uma distância de 1 parsec. Assim,

Figura 5 – O parsec.



Fonte: (FILHO et al., 2014).

$$1 \text{ pc} = \frac{1 \text{ UA}}{4,848 \times 10^{-6}} = 206 \, 265 \text{ UA} \quad (1.12)$$

Até pouco tempo a maior distância que se podia medir com uma precisão na faixa dos 10%, era de 20 *pc*, que corresponde a paralaxe $\geq 0,05''$. O uso de CCDs (sensor de captura de imagem) e telescópios dedicados baixou a incerteza das observações feitas em solo para até 1 milissegundo de arco (FILHO et al., 2014).

Com o entendimento necessário das unidades de medidas astronômicas, possibilita uma inserção no estudo do cosmo.

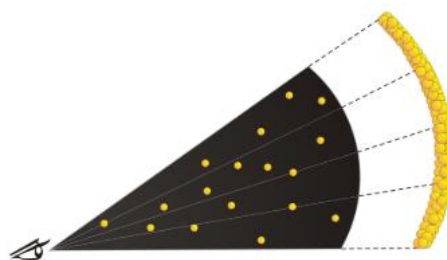
2.3 O COSMO

Apesar de parecer obvio o pensamento de que o céu noturno é escuro, nem sempre se pensou assim. Em 1610, Kepler defendia a ideia de um universo finito, e a comprovação disso seria a escuridão celeste durante as noites. Ele defendia a ideia de uma parede cósmica escura que encerrava o Universo. Nesse mesmo período, Galileu Galilei já havia comprovado que a Via Láctea é composta por uma infinidade de estrelas. (FILHO et al., 2014)

Essa discussão foi levada à tona no século XVIII e, em 1826, passou a ser conhecida como o paradoxo de Olbers, que está representado na figura 6 (FILHO et al., 2014).

Esse paradoxo diz que, em um universo infinito e com uma distribuição uniforme de estrelas, a linha de visada em qualquer direção acabará sempre interceptando uma estrela, e o céu aparecerá totalmente coberto delas como pode ser visto na figura 6 (SARAIVA et al., 2014).

Figura 6 – Parede de estrelas.



Fonte: (FILHO *et al.*, 2014).

Apesar desse paradoxo derrubar a teoria de um universo infinito e estático, existe alguns pontos a serem observados, já que, pelo paradoxo de Olbers, nós deveríamos ver um céu brilhante, equivalente a uma estrela média (FILHO *et al.*, 2014).

Assim, ele propôs algumas soluções:

- A poeira interestelar absorve a luz das estrelas:

Essa proposta de solução não foi válida, pois para uma poeira que estaria recebendo radiação da estrela, com o passar do tempo ela iria passar a brilhar tanto quanto a estrela. À medida que o universo se expande, há uma degradação da energia da estrela, desviando sua luz para o vermelho (SARAIVA *et al.*, 2014).

Apesar dessa explicação ajudar na solução, não é o suficiente para resolução.

- O universo não existiu por todo o tempo:

Hoje é a resposta mais aceita. Sabendo que o universo e a velocidade da luz são finitos, a luz das estrelas distantes não teve tempo de chegar até nós (FILHO *et al.*, 2014).

2.3.1. Relatividade Geral

Segundo Filho (2014), a proposta da teoria de relatividade geral proposta por Einstein em 1916, continha pouca diferença da teoria da gravitação de Isaac Newton com relação a Terra. Todavia, quando levado em consideração o Universo, há uma diferença muito grande.

A teoria da relatividade geral descreve a ação das massas nas propriedades do espaço e do tempo, implicando na movimentação dos corpos e outras propriedades físicas.

Em 1927, Einstein modifica algumas de suas equações para introduzir a constante cosmológica, a fim de solucionar um problema que, até então, as equações da

Relatividade Geral não solucionaram, obter um Universo estático. Essa constante serve como uma força repulsiva, que previne o colapso do Universo pela força gravitacional. Sua solução apresentava duas características: homogêneo, já que teria a mesma forma de qualquer ponto do espaço, e isotrópica, o modelo seria o mesmo para qualquer direção. Em conjunto essas duas hipóteses caracterizam o Princípio Cosmológico (SARAIVA *et al.*, 2014).

2.3.2. Expansão do Universo

Após a observação da galáxia de Andrômeda em 1923, por Edwin, demonstrando que nossa galáxia não era única, em 1929, Hubble aprofundou-se em suas pesquisas e demonstrou que as galáxias observadas por Milton La Salle, se deslocavam para o vermelho as suas linhas espectrais. Isso o permitiu calcular a suas velocidades, que eram proporcionais as suas distâncias. Quanto mais distante, mais rápido ela se afasta (SARAIVA *et al.*, 2014).

Apesar de tantas evidências, alguns cientistas da área defendem a Teoria do Estado Estacionário, o Universo seria similar em todas as direções e imutável no tempo.

O termo Big Bang, com menção a Grande Expansão, só foi mencionado em 1950, por Fred Hoyle, e esse evento marca o início do Universo, onde iniciou a expansão.

Diante dessa realidade de expansão, existem duas suposições quanto ao fim de nosso Universo: primeiro ele se expandirá para sempre e segundo, a expansão irá parar e haverá novo colapso ao estado denso (Big Crunch) (FILHO *et al.*, 2014).

Como a matéria escura, uma das formas de energia dominante no Universo e que é descrita pela quintessência, um tipo de matéria especial, pertencente ao céu. Essa matéria compõe 96% da energia total do Universo, que está se expandindo com velocidade igual à velocidade de escape, logo ele se expandirá para sempre (FILHO *et al.*, 2014).

Em 1964, de modo acidental, radioastrônomos descobriram a radiação de microondas do fundo do Universo. Em 1965, essa radiação foi descrita como radiação remanescente do Big Bang. Essa radiação proveniente das regiões mais distantes do Universo já havia sido predita como radiação do estado quente do Universo em sua formação (SARAIVA *et al.*, 2014).

2.3.3. Big Bang

O Big Bang tem como base o fato de as galáxias estarem se afastando, e pressupõe que em um passo dentro de 10 a 15 bilhões de anos atrás, toda essa matéria estaria condensada em um único ponto quente. Essa Grande Expansão que criou não somente a matéria e a radiação, mas também o espaço e o tempo, aumentam de tamanho apenas distanciando as galáxias e cúmulos de galáxias sem interferir em seus tamanhos (SARAIVA *et al.*, 2014).

Em 1927 surgiu a provável primeira proposição quanto ao início do Big Bang, que apesar de falha diante das leis quânticas, serviu como base para outros modelos mais modernos. Esse modelo tinha como ideia chave um átomo primordial, que esse átomo se partiu em pequenos pedaços, até formar os que hoje estão presentes no Universo (FILHO *et al.*, 2014).

Portanto, se levarmos em consideração a constante cosmológica sendo nula, surgem três modelos. O primeiro modelo trata o Universo com densidade alta, diante dessa afirmação o mesmo seria fechado, uma esfera. O segundo modelo trata o Universo com densidade muito baixa, um Universo aberto e, portanto, irá se expandir continuamente. O terceiro caso trata o Universo como plano, o Universo nesse modelo irá se expandir para sempre, mas a velocidade das galáxias serão cada vez menores, até chegar a zero no infinito (SARAIVA *et al.*, 2014).

2.3.4. A idade do Universo

Sabe-se que toda matéria do Universo gera atração gravitacional, até mesmo a luz, pela relatividade geral. Segundo Saraiva (2014), se anulado a constante cosmológica Λ , a energia de repulsão é nula e essa atração irá diminuir a expansão, isso implica que no passado, a expansão era mais rápida. É possível estimar a idade do Universo, observando o tempo que as galáxias distantes, movendo-se à velocidade de hoje, levaram para chegar aonde estão. A lei de Hubble, que relaciona a velocidade de expansão da galáxia com a distância é dada por:

$$v = H \times d \quad (1.13)$$

onde:

$$v = \frac{d}{t_0}, \quad (1.14)$$

e

$$t_0 = H^{-1} \quad (1.15)$$

$$H \approx 57 \text{ e } 78 \frac{\text{km}}{\text{s Mpc}} \quad (1.16)$$

assim tem-se que a idade máxima do Universo t_0 seria de 12 a 17 bilhões de anos.

Considerando a possível desaceleração causada pela atração gravitacional a idade t do Universo seria algo em torno de 9 e 14 bilhões de anos. Estimativa que bate com a obtida das estrelas mais velhas já conhecidas, as dos cúmulos globulares e as anãs brancas, cerca de 12 e 14 bilhões de anos.

Após 0,01s do Big Bang, a temperatura do Universo era de $T = 10^{11} \text{ K}$, após 3 minutos a temperatura já teria baixado a um bilhão de Kelvin, a temperatura durante $t \leq 1 \text{ s}$ com a colisão de 2 fótons, poderia gerar um par elétron-pósitron, por conversão de energia em massa. Durante a era hadrônica, época até uma idade de um milissegundo, em que a temperatura maior que 10^{14} K , podiam se formar hádron (prótons e nêutrons) (SARAIVA *et al.*, 2014).

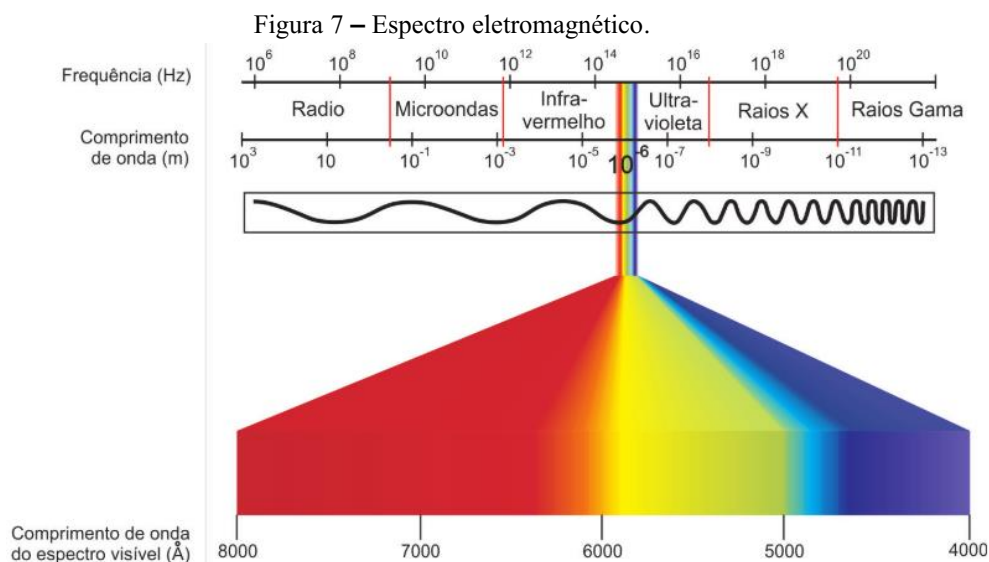
Para tempos menores que 10^{-44} s , chamado de tempo de Planck, as teorias físicas conhecidas não se aplicam mais, pelo princípio da incerteza.

Pelo modelo do Big Bang, logo após o tempo de Planck, o Universo estava em rápida expansão, com temperaturas muito altas e altíssima densidade. A partir disso, Gamow calculou a quantidade de deutério (um isótopo pesado e estável) que se formaria nessa situação. Ele percebeu que a percentagem era muito maior do que a que poderia ser formada no interior das estrelas. Gamow pressupôs que se essa matéria não estivesse banhada por uma radiação de certa intensidade, iriam ser formados muito mais deutério do que foi observado (SARAIVA *et al.*, 2014).

Em 1948 ele previu que essa radiação banhava todos os corpos celestes. Em 1964, tal radiação foi detectada, como sendo a radiação do fundo do Universo. O deutério é um hidrogênio pesado, pois seu núcleo contém um próton e um nêutron. O deutério, assim como o hélio, é um fóssil do Big Bang (FILHO *et al.*, 2014).

2.4 FOTOMETRIA

Fotometria é a medição da luz proveniente de um objeto. Essa luz pode ser percebida em diversos comprimentos de onda, como demonstrados na figura 7. Até o fim da Idade Média, o meio mais importante de observação astronômica era o olho humano, ajudado por vários aparatos mecânicos para medir a posição dos corpos celestes. Somente no século XVII que ocorre a invenção do telescópio, mas a fotografia astronômica iniciou no fim do século XIX, e permitiu registrar as luzes dos objetos do cosmo. As técnicas fotográficas tem avançado até hoje, com construções de detectores eletrônicos cada vez mais sensíveis a luz e que permitem estudos melhores da radiação eletromagnética do espaço.



Fonte: (FILHO *et al.*, 2014).

2.4.1 Fluxo

Fluxo é a energia por unidade de área e por unidade de tempo que chega ao detector. Fluxo, portanto, significa potência através de uma superfície $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ ou watt m^{-2} .

Segundo Filho (2014), o fluxo cai com o quadrado da distância r , o fluxo advindo do Sol a Terra, apresenta um decaimento de $\frac{1}{r^2}$.

Para o fluxo na superfície de uma estrela esférica de raio R :

$$F(R) = \frac{L}{4\pi R^2} \quad (1.17)$$

L é a luminosidade intrínseca, a energia total emitida por unidade de tempo em todas as direções.

Para objetos que não possuem aparência estelar, sua definição é a partir de seu brilho superficial (fluxo por unidade de área angular).

2.4.2 Extinção atmosférica

Embora a atmosfera seja praticamente transparente na faixa visível (3500 °A à 6500 °A), ela absorve fortemente no ultravioleta (1000 °A à 3500 °A) e em várias bandas do *IR* (1 μm a 1 mm), de modo que não podemos medir ultravioleta do solo, e *IR* somente acima de 2000 m de altura (FILHO *et al.*, 2014). Isso é devido aos vários componentes que difundem a luz em todas as direções como as moléculas, partículas sólidas de poeira e de fumaça. Assim, quanto maior for a quantidade de ar, maior será essa extinção.

2.4.3 Extinção interestelar e Excesso de cor

Fenômeno causado pela poeira interestelar principalmente no plano da Galáxia, que extingue e avermelha a luz das estrelas. Embora a magnitude aparente de uma estrela dependa de sua distância, o índice de cor não depende, fazendo dele útil para determinação da temperatura da estrela (SARAIVA *et al.*, 2014).

2.5 ESPECTROSCOPIA

É o estudo da luz através de suas cores que a compõe, sendo possível detectá-las com auxílio de um prisma ou uma rede de difração. Esse tipo de estudo permite estudar as propriedades físicas das estrelas como suas temperaturas, densidade e composições.

O primeiro a demonstrar o fenômeno que a luz branca, como a proveniente do Sol, ao passar por um prisma se decompõe em luz de diferentes cores, foi Isaac Newton em meados do 1665. Em seguida William Hyde Wollaston fez a primeira descoberta da espectroscopia quântica, com seu experimento que era composto por uma pequena fenda por onde passava a luz solar e em seguida esse feixe era emitido em um prisma. Ele

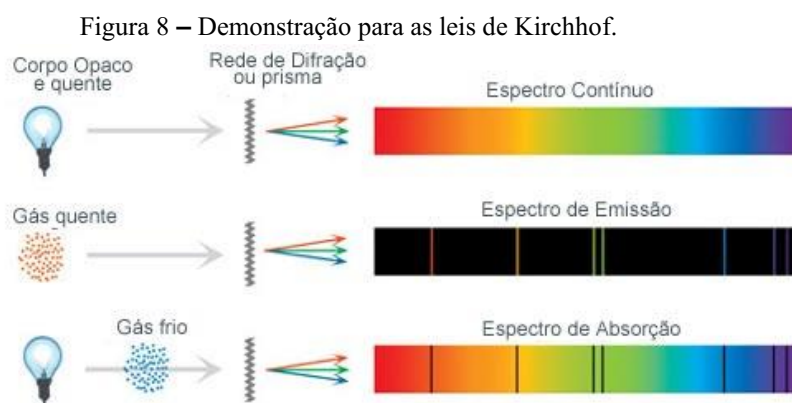
percebeu que haviam linhas escuras. Somente anos após, em 1820, um fabricante de vidro, o alemão Joseph von Fraunhofer percebeu centenas de linhas escuras que faziam parte do espectro solar, as chamadas linhas de Fraunhofer (SARAIVA *et al.*, 2014).

Já em 1856, Robert Wilhelm Bunsen inventou o bico de gás, cuja vantagem era o fato de emitir uma chama incolor, e servia para observar as emissões de cores quando colocado algum elemento para queima, sendo essa cor proveniente da queima, a cor relacionada ao elemento. Foi então que o físico Gustav Robert Kirchhof propôs que essa emissão fosse através de um prisma em conjunto com lentes. Nesse momento eles perceberam que cada elemento gera uma série de linhas diferentes (FILHO *et al.*, 2014).

A partir disso, foi possível propor características intrínsecas do Sol, como sendo o Sol um gás ou um sólido quente, envolvido por um gás mais frio. Assim eles puderam comparar e chegar a descoberta de linhas de Mg, Ca, Co, Zi, Ba e Ni (FILHO *et al.*, 2014).

2.5.1 Leis de Kirchhof

A partir das experiências realizadas por Kirchhof, foi possível formular três leis de forma empírica da espectroscopia, para determinar a composição de uma mistura de elementos representadas na figura 8.



Fonte: (SARAIVA *et al.*, 2014).

1. Espectro contínuo: um corpo opaco e quente emite um espectro contínuo, independente do seu estado (sólido, líquido ou gasoso).
2. Espectro de emissão: um gás transparente produz linhas brilhantes em seu espectro, a quantidade e as cores dessas linhas dependerão do elemento em questão.

3. Espectro de absorção: se um espectro contínuo passar por um gás frio, esse gás irá causar a presença de linhas escuras devido a absorção gerada pelo gás frio. Essas linhas escuras irão depender do gás em questão.

O fenômeno observado na 3ª Lei é devido ao fato de que o gás mais frio absorve mais radiação do que emite, isso faz com que ocorra o escurecimento de linhas. Com isso, pode ocorrer duas situações, a de equilíbrio ou não. O gás em equilíbrio não terá alteração em sua temperatura, pois irá reemitir em todas as direções a radiação que chega a ele. Quando isso não ocorre, haverá um aquecimento do gás (SARAIVA *et al.*, 2014).

Em 1766 pelo físico e químico inglês Henry Cavendish conseguiu identificar as linhas de hidrogênio no Sol e em 1862, o astrônomo sueco Anders Jonas Ångström reafirmar essa verificação quanto a presença desse elemento químico na composição do Sol. Em 1868 o astrônomo inglês Sir Joseph Norman Lockyer, descobriu uma linha no espectro do Sol, sendo identificado como um novo elemento químico, o hélio (SARAIVA *et al.*, 2014).

2.5.2 Sequência espectral e a temperatura das estrelas

Sabe-se que cada linha no espectro está relacionada a presença de algum elemento químico. Todavia hoje se sabe também que as estrelas possuem uma predominância de hidrogênio na sua composição, cerca de 90%, aproximadamente 10% de hélio e alguns outros elementos. Mas apesar do hidrogênio possuir uma abundância significativa, nem sempre ele se mostra tão evidente no espectro da estrela (SARAIVA *et al.*, 2014).

Esse fenômeno faz demonstrar que além da composição, a temperatura da estrela é a responsável pela formação do espectro. Para que ocorra a formação de linhas escuras de Balmer, é necessário que os átomos de hidrogênio possuam excitação $n=2$ (FILHO *et al.*, 2014).

Já para estrelas como o Sol, em que possuem uma temperatura abaixo do necessário para excitação das moléculas (em torno de 10000 K), os átomos estão em seu estado fundamental, assim haverá poucas colisões (SARAIVA *et al.*, 2014).

Também em estrelas que possuem uma temperatura muito alta, ocorre a ionização quase completa do hidrogênio, e novamente há poucos átomos excitados (FILHO *et al.*, 2014). Logo as linhas de Balmer ficam fracas em estrelas muito quente ou frias, e fortes em estrelas quentes o suficiente a somente excitar os átomos do hidrogênio.

2.5.3 Classificação de luminosidade

Segundo a classificação espectral de Havard, somente a temperatura irá impactar na resposta. Sabe-se que a luminosidade de uma estrela é dada por:

$$L = 4\pi R^2 \sigma T_{ef}^4 \quad (1.18)$$

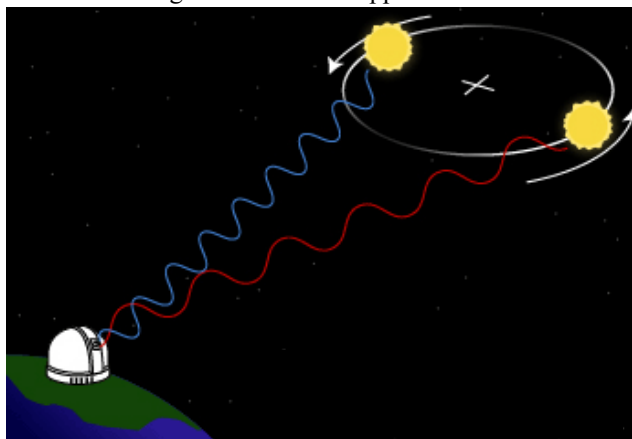
Logo fica evidente que para estrelas de mesma temperatura, mas que apresentam diferença de raio, suas luminosidades são diferentes, a com raio maior apresenta maior luminosidade.

2.5.4 Velocidade radial e o efeito Doppler

Velocidade radial é a velocidade do objeto na linha de visão entre o observador e o objeto, para verificação de tal resultado ocorre o efeito Doppler representado na figura 9.

Segundo Saraiva (2014) em 1842 Christian Doppler deduziu que para um corpo luminoso em movimento, o comprimento de onda da luz irá se modificar, com relação ao ponto de observação.

Figura 9 – Efeito Doppler na luz.



Fonte: (UFRGS).

Assim, o comprimento de onda de uma fonte que se move com velocidade v em relação ao observador é deslocado por:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{v}{c} \cos \theta \left(\frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}} \right) \quad (1.19)$$

θ é o ângulo entre o vetor velocidade e a linha visada, se a velocidade for muito menor que a velocidade da luz, podemos considerar somente a componente v_r , velocidade na direção do observador.

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{v_r}{c} \quad (1.20)$$

2.5.5 O perfil da linha

As propriedades das estrelas como: temperatura, pressão, gravidade superficial, densidade e velocidade das partículas influenciam diretamente na largura da linha. O alargamento colisional, fenômeno gerado pelas colisões entre partículas e que perturba os níveis de energia dos átomos, tornando-os menos definidos. Outra coisa que está relacionado ao perfil é o efeito Doppler (SARAIVA *et al.*, 2014).

Devido ao fato de as partículas estarem constantemente se movendo em direções aleatórias, as que estão se aproximando do observador tem sua linha deslocada para o azul (frequência maior), enquanto que as que estão se afastando tem suas linhas deslocadas para o vermelho (frequência maior). Assim a resultante desses deslocamentos é um alargamento da linha espectral (FILHO *et al.*, 2014).

2.6 TELESCÓPIOS

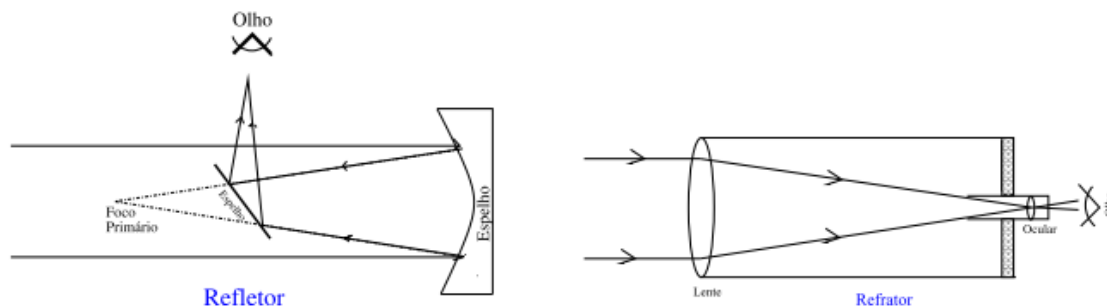
No início das observações astronômicas haviam basicamente dois tipos de telescópios, os refratores e os refletores.

Os telescópios refratores foi o primeiro modelo a ser proposto, feita por Galileo em 1609, era composto por somente uma lente convexa e outra côncava. Em 1611, Kepler publicou uma solução a qual, usa-se até os dias de hoje, que consiste em um arranjo de duas lentes convexas. (SARAIVA *et al.*, 2014).

Segundo Filho (2014), o modelo de telescópios refletores foi proposto e construído a primeira vez em 1668 por Isaac Newton, e que esse modelo que é adotado

até os dias de hoje. O telescópio refletor é construído com espelho curvo, em vez de uma lente, esse espelho pode ser uma parabolóide ou hiperboloide. Ambos os modelos estão representados na figura 10.

Figura 10 – Demonstração dos telescópios refletor e refrator.

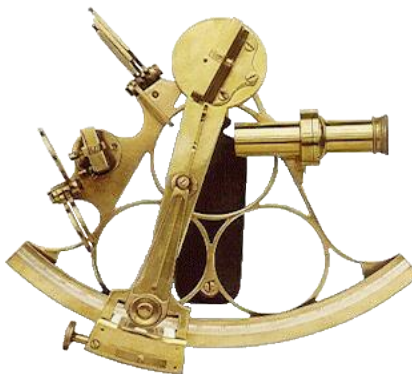


Fonte: (UFRGS).

O modelo construído por Newton possuía um comprimento de 15 cm, um espelho plano no tubo com angulação de 45° refletindo a imagem para um ponto chamado ocular, uma lente colocada no foco do telescópio. Com isso o telescópio de Newton gerava uma imagem nove vezes maior do que um refrator 4 vezes longo. Havia limitações dos espelhos da época, essas limitações de construção geravam aberrações esféricas. Com isso, em 1672, Laurent Cassegrain propôs usar um espelho convexo secundário que serviria para convergir a luz para um buraco no centro do espelho principal, essa proposta iria cancelar a aberração esférica gerada pelo modelo de Newton. A maioria dos telescópios modernos utilizam o foco Cassegrain (FILHO *et al.*, 2014).

Com isso, outras contribuições em forma de ferramentas astronômicas foram sendo realizadas. A figura 11 mostra o sextante, inventado por John Hadley em 1731, que permite olhar o horizonte e uma estrela simultaneamente através de uma luneta e com isso medir sua altura.

Figura 11 – Sextante.



Fonte: (ANCRUZEIROS).

Existe alguns fatores que influenciam a sensibilidade de um telescópio, dentre eles pode-se citar o decaimento ao quadrado da mesma com relação ao diâmetro da área coletadora.

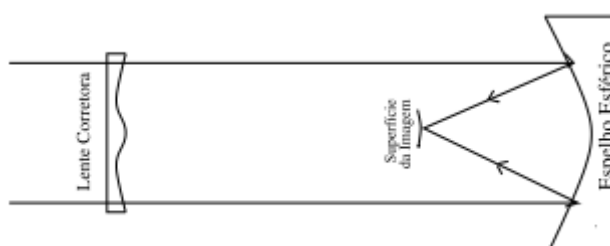
Com telescópios comuns, é possível visualizar objetos da ordem de 1 segundo de arco aqui da Terra. Todavia, com os avanços tecnológicos, e implementação de ótica ativa, que realiza a modificação dos espelhos compensando a variação causada pela atmosfera da Terra, esse limite hoje tende a 0,3 segundos de arco.

Com o passar dos anos foram criados métodos de adaptação para que fosse possível a utilização de espelhos cada vez maiores nos telescópios. Hoje tem-se os telescópios Keck, Keck I e II, formados por mosaicos de espelhos menores no setor primário, eles possuem um total de 10 metros de espelho. Já os maiores com espelhos únicos com tamanho de 8,2 metros são o VLT no Chile, Gemini Norte e o Subaru, no Havaí.

Os telescópios modernos possuem focos Ritchey-Chrétien, modelo que substitui o espelho secundário do Cassegrain por outro de forma complexa, que permite corrigir imagens de um campo maior.

Em grandes campos de observação são utilizados telescópios catadriópticos do tipo Schmidt-Cassegrain, são parecidos com os Schmidts, mas possui placa de correção curvada, como pode ser visto na figura 12. Essa placa de correção permite um maior campo de visão e contraste.

Figura 12 – Modelo telescópio catadrióptico.



Fonte: (UFRGS).

2.7 TELESCÓPIO HUBBLE

Pode-se afirmar que Galileu Galilei ao inventar sua luneta com finalidade de observar o movimento celeste com melhor nitidez fomentou ainda mais a necessidade e

curiosidade do homem em conhecer o cosmo. Com os avanços da ciência levar os telescópios que até então eram instalados em terra firme ao espaço tornou-se uma necessidade.

A atmosfera terrestre causa distorções da radiação cósmica, para os seres vivos isso é fundamental, pois através disso é que o equilíbrio térmico é garantido e a sobrevivência das espécies. Todavia quando se deseja observar o cosmo esse bloqueio não se mostra como fator positivo, sabendo que haveria uma limitação evidente das observações em consequência do cancelamento desses comprimentos de onda realizado pela atmosfera terrestre.

Os telescópios espaciais estão isentos desse problema, sendo, portanto, a melhor solução para correção dos problemas enfrentados pelos telescópios terrestres.

Segundo Soares (2008) o HST visto na figura 13 foi lançado em abril de 1990, foi pioneiro no seu tipo, e responsável por ser um divisor de eras na ciência. Seu nome foi dado em homenagem ao astrônomo norte-americano Edwin Powell Hubble responsável por demonstrar a existência das galáxias na década de 1920.

Figura 13 – Telescópio Hubble.



Fonte: (Revista Galileu, 2021).

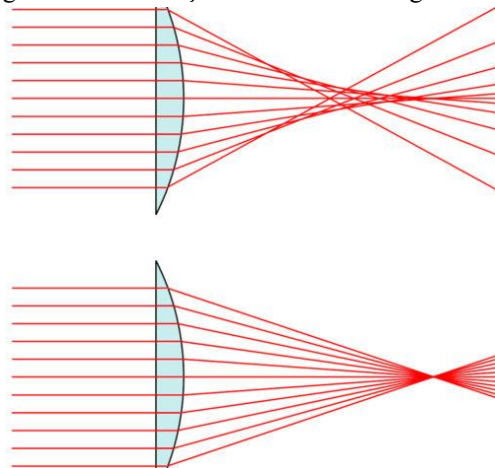
Localizado na órbita circular a 593 km acima da superfície terrestre, o HST possui uma velocidade de 28.800 km/h que o permite fazer uma revolução completa na Terra a cada 97 minutos aproximadamente (SOARES, 2008).

Quando foi instalado em órbita, o HST possui uma massa total equivalente a 11.110 kg e um comprimento de 15,9 m e diâmetro de 4,2 m. Para manter todo seu sistema em funcionamento em sua construção estão acoplados 2 painéis solares com dimensões de 2,4 m x 12,1 m e em conjunto estão um agrupamento de 7 baterias de níquel-hidrogênio, responsáveis por manter o fornecimento energético durante os 25 minutos que a espaçonave está na sombra da Terra (SOARES, 2008).

O HST possui um arranjo de lentes baseado no modelo de telescópio de Newton chamado de telescópio refletor, nele está instalado um espelho de 2,4 metros de diâmetro para captação de luz, ou também conhecido como espelho primário, e com isso dá a ele uma razão focal $f/24$.

Todavia, apesar da árdua pesquisa durante o desenvolvimento do HST, três anos após o lançamento do telescópio, em 1993, a NASA precisou realizar uma missão para reparos vista como a mais importante dentre todo o seu período de funcionamento. Foi percebido que as imagens não estavam dentro do esperado, apresentando-se de forma desfocada como está representado na figura 14. Diante disso verificou-se que estava sendo gerado aberração esférica, e, portanto, a correção desse defeito óptico deveria se proceder no espelho primário (SOARES, 2008).

Figura 14 – Aberração esférica e convergência ideal.



Fonte: (annphoto, 2018).

Desse modo, como solução foi inserido uma lente adicional para correção das linhas de foco fazendo com que todas elas incidissem na mesma região.

Quando instalado em órbita, o HST levava a bordo um conjunto de cinco instrumentos óticos, além disso, quatro antenas que seriam responsáveis por transmitir todas as informações obtidas durante sua operação para sua base, localizada em Maryland, estado norte-americano, mesmo estado em que está localizado o instituto de Ciência do Telescópio Espacial, base responsável pelos dados científicos. Além disso, para garantir a estabilidade de toda a espaçonave, está sob domínio de um conjunto de giroscópios e para a precisão de apontamento, um conjunto de sensores de guiagem. Para que todo esse conjunto de sistemas embarcado na espaçonave funcionem de modo

esperado e possam enviar os dados obtidos, são utilizados dois computadores (SOARES, 2008).

2.7.1 Instrumentos obturadores de imagem e dados

Segundo Soares (2008), no instante inicial haviam a bordo cinco instrumentos, que eram.

1. *Advanced Camera for Surveys* (ACS), Câmera Avançada para Levantamentos. Essa câmera é responsável por detectar ondas eletromagnéticas dentro do espectro visível com foco em observações dos mais distantes objetos do universo.
2. *Near-Infrared Camera and Multi-Object Spectrometer* (NICMOS), Câmera de infravermelho próximo e espectrômetro multiobjeto. Nessa câmera é realizado a detecção da radiação infravermelha. Desse modo, é através desse obturador que o HST consegue realizar a observação das formações estelares.
3. *Space Telescope Imaging Spectrograph* (STIS), Espectrografo Imageador do Telescópio Espacial. Responsável por realizar a separação dos comprimentos de ondas emitidos pelo cosmo em forma de luz.
4. *Wide Field and Plantary Camera* (WFPC), Câmera Planetária e de Campo Amplo. Nela estão acoplados 48 filtros, permitindo a coleta de informações em diversos comprimentos de ondas, com isso, nela são capturadas imagens com cores. Durante a missão de correção em 1993, a WFPC foi substituída pela WFPC2.
5. *Fine Guidance Sensors* (FGS), Sensores de Guiagem Fina. Sensores que utilizam uma estrela para se posicionar na direção correta, servindo também como ferramenta para medição das distâncias angulares e o seu movimento relativo.

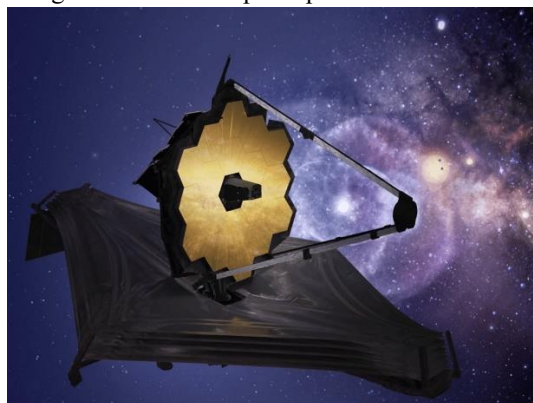
2.8 TELESCÓPIO ESPACIAL JAMES WEBB

Em meados da década de 90, a NASA passou a ser cobrada por um sucessor ao Hubble. Esse sucessor deveria possuir uma otimização e refinamento na espectroscopia infravermelha ainda maior que o TEH. Com isso, nos anos seguintes a NASA iniciou um

árido processo de pesquisa na área do nomeado até então de o Telescópio Especial da Próxima Geração. Em 2002 o telescópio foi renomeado, para tal feito, teve como base a homenagem ao administrador da NASA durante a missão Apollo, ficando definido então Telescópio Espacial James Webb (GARDNER *et al.*, 2006).

Somente em 25 de dezembro de 2021, mais de 20 anos depois, a bordo do foguete Ariane 5 e pesando cerca de 6,6 toneladas, o James Webb foi lançado, e está em órbita espacial Lagrange L2, cerca de $1,5 \times 10^6$ km da Terra, programado inicialmente a cumprir uma missão de 5 anos (GARDNER *et al.*, 2006). A figura 15 apresenta uma construção gráfica o telescópio em seu estado de atuação.

Figura 15 – Telescópio espacial James Webb.



Fonte: (UOL, 2020).

O TEJW irá observar as primeiras estrelas explodindo como supernovas e a formação das primeiras galáxias. Com isso, ele verificará o chamado Universo primitivo.

Todavia, trabalhar no espectro infravermelho traz consigo certas dificuldades e desafios que fizeram uma gama de engenheiros trabalharem arduamente no projeto e durante a construção do TEJW, a fim de contornar possíveis situações que ele enfrentaria em seu transporte, além disso, as possíveis interferências durante seu funcionamento.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

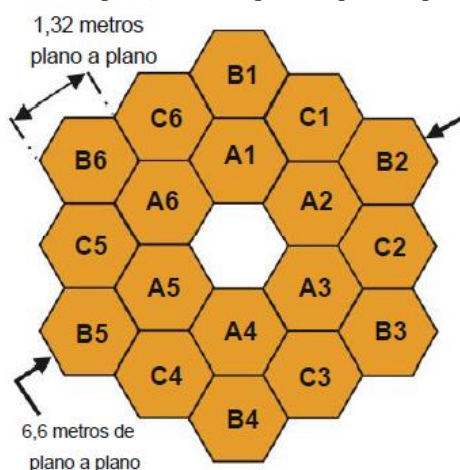
3.1 OS DESAFIOS DE ENGENHARIA

3.1.1 Espelhos

É sabido que o Universo após o Big Bang está em constante expansão, e, segundo observações realizadas pela sonda *WMAP* (*Wilkinson Microwave Anisotropy Probe*) no espectro de micro-ondas, o processo de reionização que desencadeou a alteração dos gases encerrou-se 1 bilhão de anos após o instante do Big Bang. Apesar dessa imensa energia capaz de alterar a matéria, hoje essa radiação se apresenta fraca, com comprimento de onda alongada, segundo o fenômeno do efeito Doppler, e, portanto, para analisar esses largos comprimentos de onda, seria necessária uma área de coleta grande.

Todavia, um espelho único, com a área requirida seria inviável e de difícil carregamento para o espaço. Pensando nisso, os engenheiros e os idealizadores do TEJW projetaram um EP segmentado em 18 partes hexagonais, como pode ser visto na figura 16. Cada segmento pesa cerca de 20 kg e possui um diâmetro de 1,32 m, esse conjunto gera uma estrutura côncava com diâmetro total de 6,5 m e, quando devidamente faseados, atuam como um único espelho (LIGHTSEY *et al.*, 2012).

Figura 16 – Disposição dos espelhos que compõem o EP.



Fonte: (GARDNER, 2006).

Segundo Lightsey (2012), cada segmento foi construído pensando em eficiência e leveza, com isso, o espelho foi feito de berílio com um fino revestimento de ouro

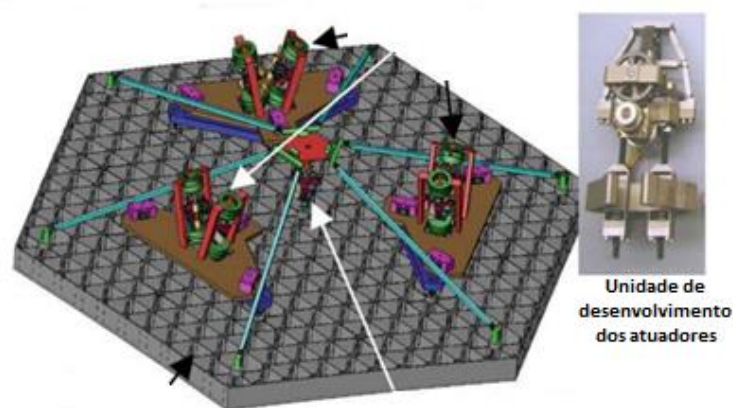
otimizado para o *IR*. Toda essa estrutura possui um encaixe ideal de modo que, quando montado, gera uma área aproximadamente circular.

Na composição do EP, existem três tipos de segmentos, que se diferenciam ligeiramente quanto as regras de esfericidade de acordo com posição a qual ele está inserido. Os espelhos que possuem classificação dado pelas letras A, B e C são permutáveis, por apresentarem a mesma prescrição de construção, mas quanto a classificação numeral que parte do 1 até o 6, é responsável por garantir a simetria hexagonal de todo o espelho (GARDNER *et al.*, 2006).

Quanto aos outros dois espelhos anexados ao telescópio, o conjunto de ES possui forma convexa, também feito de berílio e possui ajuste de posição ativa, já o ET que possui uma abertura controlada para limitar a sua exposição ao céu aberto, é responsável por realizar correções das capturas geradas pelos EP e ES, além disso, ele se localiza em um subsistema óptico de popa. Ainda nesse subsistema, tem o espelho de direção fina que possui controle ativo em dois eixos de inclinação e trabalha em conjunto com o sensor de orientação fina, estabilizando as imagens capturadas. (LIGHTSEY *et al.*, 2012)

A partir do sistema de detecção e controle da frente de onda é que ocorre o posicionamento adequado dos segmentos, alinhando-os ao ES. Para que isso ocorra, cada segmento do EP possui sete atuadores vistos na figura 17, que o permitem 6 graus de liberdade, que são: movimentos nos eixos x e y, da ponta, ajuste de inclinação, um pistão que realiza a movimentação ao longo do eixo z e por fim, cronometragem, todos esses movimentos trabalham de modo cooperativo. Seis desses atuadores estão ligados ao movimento do espelho, que estão dispostos em três bipés, fixando-os ao painel traseiro. O sétimo atuador fica responsável por controlar o raio de curvatura e trabalha sem ligação ao espelho e a própria estrutura do *backplane*. Vale salientar que todos esses atuadores funcionam em temperaturas criogênicas e possuem capacidade de posicionamento grosseiro e fino (LIGHTSEY *et al.*, 2012).

Figura 17 – Sistema de atuadores de cada segmento do EP.



Fonte: (GARDNER, 2006).

Como já supracitado, todo esse conjunto está acoplado a um *backplane*. Essa estrutura de material ultra leve, mas rígida, possui 3 divisões que se dobram e que serviria de auxílio durante o carregamento do telescópio, se dobrando pra que fosse possível acoplar toda estrutura do telescópio no foguete de lançamento (LIGHTSEY *et al.*, 2012).

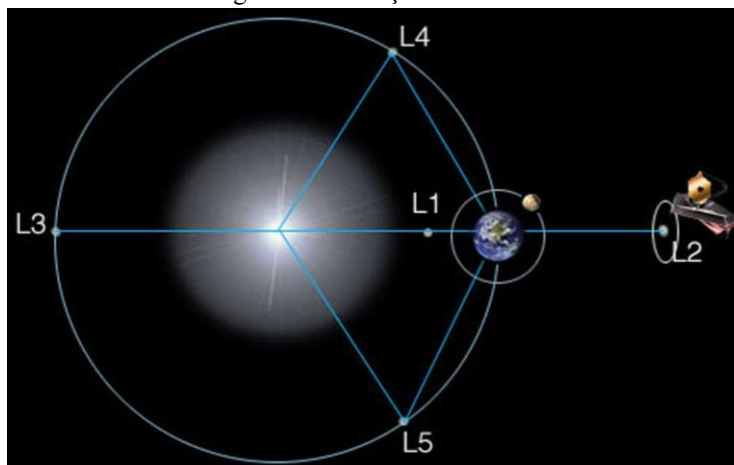
É válido dizer que a base estrutural do ES também é uma estrutura que possui atuadores que possibilita o seu posicionamento estendido do EP.

3.1.2 Localização e proteção

Esses conjuntos de espelhos primário e secundário do telescópio estarão sempre expostos ao céu aberto, com isso os desenvolvedores pensaram em um modo que eles estejam sempre sob proteção da iluminação solar, evitando qualquer tipo de interferência em suas verificações, visto que trabalhar com radiação *IR* em outras palavras é trabalhar com radiação térmica. Desse modo, a posição orbital Terra-Sol, no ponto Lagrange L2 vista na figura 18, atenderia os requisitos necessários, permitindo uma projeção do observatório com proteção solar para o telescópio e instrumentos, mantendo temperaturas criogênicas menor que $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$ em todo esse conjunto de equipamentos (GARDNER *et al.*, 2006).

O ponto Lagrange L2 pertence a um grupo de pontos que vai do 1 ao 5. Eles possuem a característica de ter uma órbita estável, permitindo que um corpo quando inserido nesse ponto, tenha um deslocamento constante nessa órbita.

Figura 18 – Posição do TEJW.



Fonte: (NASA, 2010).

A fim de garantir a estabilidade térmica necessária para as verificações, a nave conta com proteção solar, uma estrutura que possui uma área de 25 m², equivalente a uma quadra de tênis, composta por um conjunto de finas malhas protetoras de Teflon aluminizado, que garante o bloqueio de grande parte da radiação solar de equivalente a 200 kW para a casa de miliwatts.

Porém, para que essa manta protetora pudesse ser estendida com segurança, visto que se trata de algo altamente sensível, foi implementado ao TEJW um conjunto de estruturas e equipamentos ligadas a ela, dentre eles estão: 139 mecanismos de liberação, 70 conjuntos de dobradiças, 8 motores de implementação, aproximadamente 400 polias além de 90 cabos individuais. Com isso, tornou-se possível o hasteamento de toda essa manta térmica em segurança, e permitirá manter resfriado os equipamentos enquanto que o lado voltado para baixo do telescópio estará recebendo a radiação necessária para geração de energia (A CIÊNCIA..., 2022).

Para o instrumento de *MIR*, que necessita de um desempenho ainda maior, o TEJW possui um resfriador criogênico ativo, garantindo que haja eficiência mesmo em comprimentos de onda mais longos. No que se refere aos outros equipamentos, o resfriamento é feito de forma passiva a partir da irradiação para o espaço (LIGHTSEY *et al.*, 2012).

Quando se trata do conjunto de instrumentos que permitirá a coleta de dados e imagens, o TEJW conta com a cinco equipamentos, a *NIRCam* espectrômetro de infravermelho próximo, (*NIRSpec*) instrumento de infravermelho médio, (*MIRI*)

instrumento de filtro ajustável (*TFI*) e o sensor de orientação fina (*FGS*) (LIGHTSEY *et al.*, 2012).

Todos esses instrumentos, sensores e parte de comando estão acoplados e selados dentro da estrutura do módulo de instrumentos científicos integrados (*ISIM*), localizado na parte traseira do telescópio (LIGHTSEY *et al.*, 2012). Esses sistemas de comandos que processam as instruções enviadas pela base, tem autonomia sobre todos os equipamentos, incluindo os atuadores presentes na nave, em especial os que tem autonomia sobre os equipamentos ópticos.

Além desses atuadores que agem sob todos os aparatos ópticos, incluindo os espelhos, os responsáveis por abrir as asas do *backplane* e os que agem sob a manta protetora solar, foi necessário a colocação de atuadores em forma de propulsores.

Devido a localização do TEJW, no ponto L2, o deixa vulnerável a determinados fenômenos cósmicos, dentre eles há a pressão solar gerada no protetor solar. Essa pressão atua diretamente no posicionamento do telescópio gerando pequenos momentos angulares, interferindo nos equipamentos de apontamento do telescópio. Essas interferências fazem com que haja uma necessidade de manutenção periodicamente através de disparos de seus propulsores a fim de que o telescópio se mantenha constante em órbita e não a perca, anulando toda a missão programada (GADNER, 2006).

A atuação desses propulsores que realizam essa manutenção da órbita é a única atividade que exige comando em tempo integral, devido ao fato de ser algo crítico que garante a segurança de toda a missão. Esse controle será feito nos instantes em quem o telescópio realiza comunicação com a base no solo, pois é nesse instante que os engenheiros a frente terão acesso ao monitoramento de todo o observatório (GADNER, 2006).

Nos primeiros 180 dias da missão, a fase definida de comissionamento do TEJW, serão realizados contatos contínuos durante 24 horas de todos os dias da semana, de modo a garantir a execução de atividades críticas nos instantes iniciais, para que assim que executáveis, seja de modo gradual realizado operações semiautônomas (GADNER, 2006).

O programa inicial da missão planejado é de 5 anos, porém, esse fator é uma estimativa inicial da missão que poderá ser estendida a depender da eficiência do telescópio. O fator que é considerado como eficiência está ligado ao tempo gasto captando e analisando a energia contida nas radiações eletromagnéticas. O tempo gasto em ações

como girar, estabilizar, calibrar e ajustar partes do observatório e além disso, as atividades aéreas são vistas pelos engenheiros como ineficiência para a missão (GADNER, 2006).

Segundo Gardner (2006), apesar de o telescópio ter sido projetado para operar em estado ininterrupto e simplificado, foi idealizado margens de sobrecarga operacionais, distribuídas sendo: 19% dessa sobrecarga voltada para a espaçonave e o observatório como um todo, 6% ligada a instrumentação do telescópio, abrangendo a calibração de uma estrela padrão e por fim, 5% voltado para a catalogação, envolvendo também as possíveis falhas de capturas de estrelas guia. Por conseguinte, espera-se que a missão possua uma eficiência geral de 70%, apesar de isso ser é um fator que depende dos programas que o TEJW será submetido a realizar.

3.1.3 Comunicação e armazenamento

Esses programas que serão submetidos ao telescópio deverão ser enviados e armazenados nele em alta velocidade, pois, apesar da sua distância a mais de mil quilômetros da superfície da Terra, como já citado haverá atuações em tempo real. Pensando nisso, a equipe envolvida no desenvolvimento do TEJW inseriu equipamentos de comunicações que contam com um *downlink* que opera na banda Ka, considerada uma banda de frequência alta e que opera na faixa de 27 e 40 GHz, com isso ela permite uma seleção da taxa de transmissão podendo ser 7, 14 ou 28 Mbps. Para a transmissão são utilizadas 2 antenas que tem capacidade de transmissão em todas as direções, garantindo uma cobertura quase que perfeita em formato esférico em caso de comunicação de emergência (GADNER, 2006).

No quesito de armazenamento prévio desses dados de interesse científico e de engenharia, o observatório conta com um gravador que possui memória do tipo SSD (*Solid State Drive*), esse tipo de memória garante leitura rápida e indestrutibilidade dos dados, fatores necessários diante da localização do telescópio, que o deixa suscetível aos efeitos dos raios cósmicos. O SSD conta com capacidade de 471 Gb. Essa capacidade de armazenamento garante redundância de dados coletados ao longo de dois dias. Quanto a carga compactada diária normal de funcionamento é de 232 Gb, esse grande volume de ocupação decorre das matrizes geradas pelos detectores de 80 Mpix que realizam uma leitura a cada 20 a 200 s (GADNER, 2006).

Uma outra função desse sistema de armazenamento é garantir que o TEJW permaneça em operação, mesmo que haja perda de alguma informação do novo plano de operação a ser seguido.

Esses desafios que a engenharia se propôs a contornar em função da ciência, permitem a execução dos objetivos científicos pensados para a missão e com isso, nos traz uma garantia maior em prováveis respostas das questões fundamentais da astronomia que hoje se mostram em aberto.

3.2 OS OBJETIVOS CIENTÍFICOS DA MISSÃO

As primeiras fontes de luz que surgiram no instante inicial do universo, são vistas como a semente do Universo, pois a partir delas que se sucederam as galáxias e os aglomerados. Sabe-se que as primeiras galáxias formadas possuíam cerca de um milhão de massas solares, e irradiavam com energia que se deslocavam para o *NIR*.

Todavia, apesar das informações que se tem hoje, o motivo responsável por dar início ao nascimento e a como se prossegue a evolução das estrelas, partindo desde o momento de protoestrelas envoltas em poeira até a estruturação dos sistemas planetários é algo que ainda intriga a comunidade científica.

Desde muitos anos as estrelas são ponto chave das pesquisas astronômicas, porém, o entendimento observacional e detalhado é algo recente, e que se tornou possível graças aos avanços tecnológicos que permitiram ferramentas computacionais para realização de simulações. Apesar disso, ainda não sabemos a detalhes de como se sucede a formação das estrelas logo em seguida as nuvens de poeira.

Como já descrito, o TEJW foi projetado para operar exclusivamente no *IR*, com comprimentos de onda que vão de 0,6 a 27 μm , isso o permitirá ultrapassar barreiras cósmicas como as poeiras e nuvens de gases ao longo do Universo. O objetivo é ter o fundo *NIR* limitado pela poeira cósmica, poeira que permeia o espaço entre planetas, também conhecido como poeira zodiacal. Já se tratando da limitação no *MIR*, fica responsável as limitações técnicas dos equipamentos de detecção e emissão (LIGHTSEY et al., 2012).

Com isso, será possível ter uma percepção quanto as primeiras estrelas explodindo como supernovas e a formação das primeiras galáxias. Para esse objetivo o telescópio deverá ficar exposto por longos períodos de tempos, cerca de 100 horas para cada filtro da *NIRCam*. Além disso, o TEJW fará estudos da radiação do fundo no universo, e, com

isso obter uma aproximação melhor quanto a idade do universo, dado que hoje apresenta-se de forma bem incerta, se mostrando com valores divergentes dependendo da forma a qual se realiza o cálculo. Esse feito só será possível graças a sua estabilidade térmica em seus equipamentos desenvolvida pelos engenheiros em sua construção.

Por consequência aos equipamentos embarcados a nave do TEJW, os cientistas envolvidos a missão poderão discernir o motivo pelo qual as regiões compactas, denominadas de núcleo galáctico ativo, possuem uma luminosidade tão avantajada mais que o normal, apenas em certas áreas da espectroscopia, indicando que essa luminosidade não advém das estrelas que compõe esse núcleo massivo. Se tratando dos sistemas planetários, e a origem da vida, o TEJW irá verificar através da fotometria as propriedades físicas e químicas desses fatores a fim de entende-las e compreende-las, e com isso, ver o potencial que se tem desses sistemas quanto a origem da vida (GADNER, 2006).

Um fator que está ligado a abordagem da primeira luz é a compreensão da origem da nossa casa, a Terra, e a sua capacidade sublime de sustentação da vida, sendo assim, o TEJW fará estudos do perfil químico e físico dos produtos que foram responsáveis por tal resultado, e o prógono químico a isso.

Ainda nos feitos que serão realizados pelo telescópio da nova geração, partindo agora para suas contribuições exteriores ao sistema solar, ele estudará os exoplanetas a partir da verificação dos ambientes a qual eles estão inseridos, e com isso, realizar investigações de imagens desses planetas que estão fora do nosso sistema (GADNER, 2006).

Já é sabido que o TEJW possui um refinamento gritante no âmbito do *IR*, em vista disso, torna-o totalmente adequado a estudos de imagens de planetas que orbitam em torno das denominadas estrelas tardias, as estrelas que possuem classificação espectral K, que se apresentam de forma alaranjada e até de classe M, as de cor vermelha. Além disso, verificar imagens de planetas jovianos, planetas que possuem muitos satélites em sua órbita e que são compostos essencialmente de gases e se localizam distantes da nossa estrela, o Sol.

Diante da capacidade técnica do *MIR*, o TEJW será especialmente relevante no diagnóstico da motivação da energia do interior das galáxias brilhantes de diversos tipos, desde os quasares e outras galáxias que possuem buraco negro super massivo em seu centro à aquelas que formam estrelas a uma taxa mais rápidas.

3.3 O TELESCÓPIO JAMES WEBB FRENTE AO TELESCÓPIO HUBBLE

É inegável a importância que o TEH tem até os dias de hoje, todavia, sua construção e equipamentos não o permitem realizar certos estudos e coletas de dados, mas que pode ser um aliado fundamental ao TEJW. A *NIRCam* do TEH possui uma limitação de comprimento de onda de 0,1 μm a 2,5 μm , visto que seu sucessor conta com comprimentos partindo dos 0,6 μm indo até um pouco mais de 27 μm os fazem um par formidável como complementos.

Além disso, ambos os telescópios possuem a característica de serem refletores, usando espelhos para realizar a ampliação da coleta ao invés de lentes, utilizando o modelo de Cassegrain. Todavia, o TEJW possui um terceiro espelho acoplado ao seu conjunto que garantirá um aperfeiçoamento em suas verificações.

O telescópio da nova geração possui uma área de coleta seis vezes maior que o seu antecessor, isso o permitirá uma observação de corpos com até 100 vezes menos energia, além disso será possível replicar verificações realizadas pelo TEH trazendo uma resposta com maior definição, como pode ser visto na figura 19 em que mostra a Nebulosa Carina quando capturada pelo TEH na imagem superior e a capturada pelo TEJW na imagem inferior. Apesar desse aperfeiçoamento dos espelhos, ele foi construído contendo quase 1/3 da massa do espelho primário do TEH, que é construído com revestimento em finas camadas de alumínio e fluoreto de magnésio.

Figura 19 – Capturas da Nebulosa Carina.



Fonte: (CANALTECH, 2022).

Entretanto, o TEJW possui limitação para comprimentos de onda da luz visível, devido a sua construção voltada para o *IR*, enquanto que o TEH possui uma percepção considerável nesse comprimento, e, mais uma vez os fazendo trabalhar em conjunto para se ter um resultado final mais bem acabado.

Um outro fator que faz o TEJW diferenciar-se do TEH é quanto a sua proteção solar, que nele foi inserido em camadas na parte frontal do telescópio, enquanto que a proteção solar do TEH se apresenta de forma tubular, servindo também para acoplar todos os equipamentos a bordo.

Vale salientar que o TEH está em órbita a 535 km da superfície da Terra, enquanto que o TEJW está localizado a uma distância de milhares de quilômetros da superfície da terra inviabilizando missões de manutenções, ponto negativo frente ao TEH que possibilitou ter uma modulação e visitas técnicas durante os instantes iniciais de seu funcionamento e ao longo dele para correções de falhas que foram ocorrendo.

Desse modo, a tabela 1 resume os pontos levados em questão anteriormente.

Tabela 1 – Comparativo técnico TEH e TEJW

	Telescópio Espacial Hubble	Telescópio Espacial James Webb
<i>NIRCam</i>	0,1 μm a 2,5 μm	0,6 μm a 27 μm
Tipo de conjunto de lentes	Refletor	Refletor + um terceiro espelho
Área de coleta do espelho	2,4 m ²	6,5 m ²
Massa do telescópio	11,11 toneladas	6,6 toneladas
Comprimentos de onda verificáveis	luz visível, raios gama, raio-x e infravermelho	Infravermelho
Distância	593 km	1,5 milhões de km
Manutenção	Viável	Inviável

Fonte: (Autoria própria).

4. CONCLUSÕES

Desde as primeiras observações realizadas pelo homem até os dias atuais, é bem perceptível os diversos avanços que a ciência astronômica desenvolveu apesar das limitações aplicadas as tecnologias do momento e de engenharia, contudo, o homem não se deteve a esses empecilhos, mas procurou maneiras de contorna-los.

Em primeira instância, a busca por respostas acerca de suas investigações era retidas a observações oculares, porém, já demonstravam o empenho do homem na busca por respostas. Contudo, após o sec. XVI momento em que há a implementação de ferramentas ópticas nessas análises até os dias atuais, houveram um refinamento crescente dessas respostas.

É possível perceber o empenho da engenharia em favor da ciência e que, o TEJW será só mais uma nova fase na busca por respostas das observações dos homens, que nos permitirá ver além do já então visto, buscando por planetas que fazem parte de outros sistemas solares e adentrar nas suas composições. Esses feitos marcam uma nova era, instante este que será marcada por diversas descobertas, dando fim a chamada “era das trevas”, pois permitirá o homem ver o que antes não havia visto, inclusive ver instantes após o Big Bang, instante em que tudo começou.

Entretanto, para o TEJW poder chegar ao grau de refinamento que se tem, foram necessárias diversas contribuições diretas e indiretas de outros telescópios, em especial o TEH, graças ao seu trabalho de anos e o aperfeiçoamento que foi desenvolvido ao longo deles, tornou-se possível o melhoramento de tecnologias que vão desde a forma matemática de lidar com os dados a forma de manusear o telescópio.

Portanto, os objetivos alcançados com o TEJW não possuem mérito isolado, apesar de seus equipamentos de ponta, pois, como foi demonstrado, está embarcado a ele uma bagagem de conhecimentos prévios, resultado de anos de pesquisas dos antecessores a ele. Além disso há o fato que ele apresenta certas limitações em alguns quesitos. Desse modo, para certos tipos de observações é necessário que haja uma espécie de parceria com o TEH a fim de chegar aos resultados almejados, com realização do cruzamento de dados observacionais dentro dos pontos fortes de cada um deles.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A CIÊNCIA e a Engenharia do Telescópio Espacial James Webb. 2022. Disponível em: <https://ecoa.puc-rio.br/e/2155>. Acesso em: 14 out. 2022.

FILHO, Kepler; SARAIVA, Maria. **As leis de Kepler**. In: ASTRONOMIA e Astrofísica. 2014. cap. 10, p. 75-81.

FILHO, Kepler; SARAIVA, Maria. **Astronomia antiga**. In: ASTRONOMIA e Astrofísica. 2014. cap. 1, p. 1-6.

FILHO, Kepler; SARAIVA, Maria. **Cosmologia**. In: ASTRONOMIA e Astrofísica. 2014. cap. 27, p. 639-699.

FILHO, Kepler; SARAIVA, Maria. **Determinação de distâncias**. In: ASTRONOMIA e Astrofísica. 2014. cap. 18, p. 177-184.

FILHO, Kepler; SARAIVA, Maria. **Espectroscopia**. In: ASTRONOMIA e Astrofísica. 2014. cap. 21, p. 217-237.

FILHO, Kepler; SARAIVA, Maria. **Fotometria**. In: ASTRONOMIA e Astrofísica. 2014. cap. 20, p. 193-213.

FILHO, Kepler; SARAIVA, Maria. **Telescópios**. In: ASTRONOMIA e Astrofísica. 2014. cap. 28, p. 703-733.

GARDNER, Jonathan P., et al. **The James Webb Space Telescope**. Space Science Reviews, p. 485-606, 1 nov. 2006.

GUDEL, Manuel., et al. **The mid-infrared Instrument for the James Webb Space Telescope**. Astronomical Society of Pacific, p. 584-594, 7 jul. 2015.

LIGHTSEY, Paul A., et al. **James Webb Space Telescope: large deployable cryogenic telescope in space**. Optical Engineering, 3 fev. 2012.

SOARES, Domingos. **O Telescópio Espacial Hubble**. 14 fev. 2008. Disponível em: <http://lilith.fisica.ufmg.br/~dsoares/reino/hst-EM.htm>. Acesso em: 11 ago. 2022.

STEINER, João E. **Origem do universo e do homem**. Estudos avançados, p. 231-248, 11 set. 2006.