

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE ECONOMIA E RELAÇÕES INTERNACIONAIS
BACHARELADO EM RELAÇÕES INTERNACIONAIS

MARCELO MORAES DE ALMEIDA

**O RETORNO DA LUA COMO META ESPACIAL DAS NAÇÕES: A
DINÂMICA DA EXPLORAÇÃO ESPACIAL NO SÉCULO XXI**

UBERLÂNDIA

2024

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE ECONOMIA E RELAÇÕES INTERNACIONAIS
BACHARELADO EM RELAÇÕES INTERNACIONAIS

MARCELO MORAES DE ALMEIDA

**O RETORNO DA LUA COMO META ESPACIAL DAS NAÇÕES: A
DINÂMICA DA EXPLORAÇÃO ESPACIAL NO SÉCULO XXI**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto de Economia e Relações Internacionais, como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do grau de Bacharel em Relações Internacionais da Universidade Federal de Uberlândia, sob orientação do Professor Erwin Pádua Xavier.

UBERLÂNDIA

2024

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE ECONOMIA E RELAÇÕES INTERNACIONAIS
BACHARELADO EM RELAÇÕES INTERNACIONAIS

MARCELO MORAES DE ALMEIDA

**O RETORNO DA LUA COMO META ESPACIAL DAS NAÇÕES: DINÂMICA
DA EXPLORAÇÃO ESPACIAL NO SÉCULO XXI**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto de Economia e Relações Internacionais, como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do grau de Bacharel em Relações Internacionais da Universidade Federal de Uberlândia, sob orientação do Professor Erwin Pádua Xavier.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Erwin Pádua Xavier (Orientador)

Instituto de Economia e Relações Internacionais (IERI/UFU)

Prof. Edson José Neves Júnior

Instituto de Economia e Relações Internacionais (IERI/UFU)

Prof. Filipe Almeida do Prado Mendonça

Instituto de Economia e Relações Internacionais (IERI/UFU)

UBERLÂNDIA

2024

“O que sabemos é uma gota, o que ignoramos é um oceano”

- Isaac Newton

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Sérgio e Paula pelo benefício da educação.

Agradeço aos professores e mentores que tive ao longo da minha vida.

Agradeço a cidade de Uberlândia pelos ótimos anos vividos.

Agradeço aos amigos que estiveram comigo durante esse período.

RESUMO

No século XXI, a exploração espacial vivencia uma transformação significativa, com a Lua retornando como meta dos principais programas espaciais nacionais, reafirmando seu papel vital em suas estratégias de longo prazo. Diferentemente da competição bilateral característica da Guerra Fria entre Estados Unidos e União Soviética, a nova era espacial é marcada por uma abordagem multifacetada, concentrando-se na ocupação prolongada da Lua, gerando a pergunta de como tem sido a nova dinâmica espacial do século e o papel que a Lua ocupa nela. Este estudo propõe que a colonização da Lua e a exploração de seus recursos será etapa fundamental no desenvolvimento de tecnologias para missões mais distantes, como a exploração de Marte. A ascensão da China como potência astropolítica tem reacendido a corrida espacial, evidenciada pelo sucessos de seu programa Chang'e que tem como foco missões lunares, ocupando, agora, o lugar da Rússia como segunda maior potência espacial, o que gerou uma resposta dos Estados Unidos, que ainda mantêm a liderança no âmbito espacial, através do Programa Artemis. No entanto, a configuração da nova dinâmica global é mais complexa, multifacetada e enriquecida pela participação de novos atores como Índia, Japão e a União Europeia, além da presença de entidades privadas. Esse contexto sugere o aumento de tensões geopolíticas e o possível surgimento de novos blocos de cooperação internacional, com a China capitaneando uma contraposição à supremacia espacial americana.

PALAVRAS-CHAVE: exploração espacial; astropolítica; Lua; programa Artemis; cooperação internacional; corrida espacial no século XXI.

ABSTRACT

In the 21st century, space exploration is undergoing a significant transformation, with the Moon re-emerging as a goal for the main national space programs, reaffirming its vital role in their long-term strategies. Unlike the bilateral competition characteristic of the Cold War between the United States and the Soviet Union, the new space era is marked by a multifaceted approach, focusing on the prolonged occupation of the Moon, raising the question of what the new space dynamics of the century are and the role the Moon plays in it. This study proposes that the colonization of the Moon and the exploitation of its resources will be a fundamental step in the development of technologies for more distant missions, such as the exploration of Mars. The rise of China as an astropolitical power has reignited the space race, evidenced by the success of its Chang'e program, which focuses on lunar missions, now taking Russia's place as the second-largest space power, which has elicited a response from the United States, which still maintains leadership in the space realm through the Artemis Program. However, the configuration of the new global dynamic is more complex, multifaceted, and enriched by the participation of new actors such as India, Japan, and the European Union, in addition to the presence of private entities. This context suggests an increase in geopolitical tensions and the possible emergence of new blocks of international cooperation, with China leading an opposition to American space supremacy.

KEYWORDS: space exploration; astropolitics; Moon; Artemis Program; international cooperation; space race in the 21st century.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Diagrama mostrando a ordem das “esferas celestes” no modelo heliocêntrico de Copérnico, conforme publicado em 1543.....	22
Figura 2: Lente objetiva e luneta astronômica de Galileu Galilei, 1610. Museo di Storia della Scienza, Florença.....	23
Figura 3: O foguete nazista V-2 que lançou a era espacial.....	26
Figura 4: R-7, o primeiro míssil balístico intercontinental soviético.....	28
Figura 5: Réplica do Sputnik 1 no Museu de história espacial em São Petersburgo, Rússia. 29	
Figura 6: Laika, o primeiro-ser vivo a orbitar a terra.....	30
Figura 7: William H. Pickering, Dr. James A. van Allen, and Dr. Wernher von Braun, responsáveis pelo projeto que lançou o Explorer 1.....	31
Figura 8: Ham em Janeiro de 1961, antes de seu voo para o espaço.....	32
Figura 9: Iuri Gagarin, o primeiro humano a ir e orbitar o espaço.....	33
Figura 10: John F. Kennedy discursando na Universidade de Rice.....	34
Figura 11: A tripulação da Apollo 11, Neil Armstrong, Michael Collins e Buzz Aldrin.....	35
Figura 12: Placa deixada na Lua pela Apollo 11.....	36
Figura 13: Neil Armstrong caminhando sobre a superfície lunar.....	36
Figura 14: Réplica do foguete Saturno V no U.S. Space & Rocket Center em Huntsville, Alabama.....	43
Figura 15: Space Launch System (SLS), o foguete que levará os humanos de volta à Lua... 44	
Figura 16: O Starship da SpaceX.....	45
Figura 17: A assinatura do Tratado do Espaço Exterior no escritório das Nações Unidas em Washington.....	48
Figura 18: Representantes dos países que assinaram os Acordos Artemis no Congresso Astronáutico Internacional em Paris.....	51
Figura 19: A Estação Espacial Internacional (ISS).....	55
Figura 20: Mapa dos principais pousos suaves lunares por nações.....	59
Figura 21: A tripulação da missão Artemis III da NASA.....	61
Figura 23: Tiangong, a estação espacial operacional da China localizada na órbita baixa da Terra.....	64
Figura 24: Luna 16 (sonda de retorno de amostra da URSS) no Museu do Espaço em Moscou.....	67
Figura 25: A sonda japonesa SLIM, na Lua.....	71
Figura 26: O foguete LVM3 transportando a sonda Chandrayaan 3.....	72
Figura 27: Ilustração da sonda Chandrayaan 3 e seu rover lunar.....	73
Figura 28: O braço robótico “Canadarm” na Estação Espacial Internacional.....	75

LISTA DE GRÁFICOS:

Gráfico 1: Ranking dos maiores orçamentos espaciais em 2022.....	58
---	----

LISTA DE SIGLAS

NASA	Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço
ISRO	Organização de Pesquisa Espacial Indiana
ESA	Agência Espacial Europeia
ROSCOSMOS	Corporação Estatal de Atividades Espaciais Russa
JAXA	Agência de exploração aeroespacial japonesa
DART	Double Asteroid Redirection Test
LCROSS	Lunar Crater Observation and Sensing Satellite
SOFIA	Stratospheric Observatory for Infrared Astronomy
ONU	Organização das Nações Unidas
ISS	Estação Espacial Internacional
COPUOS	Comitê das Nações Unidas para o Uso Pacífico do Espaço Exterior
OTAN	Organização do Tratado do Atlântico Norte
MBRSC	Centro Espacial Mohammed Bin Rashid
LRO	Programa Lunar Reconnaissance Orbiter
LADEE	Lunar Atmosphere and Dust Environment Explorer
LOP-G	Lunar Orbital Platform
ILRS	International Lunar Research Station
ESM	Módulo de Serviço Europeu
I-HAB	International Habitat Module
ESPRIT	European System Providing Refueling, Infrastructure and Telecommunications
HLCS	Halo Lunar Communication System
ISRU	In-Situ Resource Utilization
SMART-1	Small Missions for Advanced Research in Technology-1
ECLSS	Sistema de Controle Ambiental e Suporte à Vida
ERM	European Refueling Module
SELENE	Selenological and Engineering Explorer
SLIM	Smart Lander for Investigating Moon
MMX	Martian Moons Exploration
HLS	Human Landing System
CLPS	Commercial Lunar Payload Services
MOM	Mars Orbiter Mission
MCSS	Mission Control Space Services

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 ASTROPOLÍTICA E A HISTÓRIA DA EXPLORAÇÃO ESPACIAL.....	17
2.1 Astropolítica.....	17
2.2 Por que buscamos explorar o espaço?.....	19
2.3 Dos primórdios à Idade Moderna.....	21
2.4 Idade Contemporânea até a Corrida Espacial.....	24
2.5 A Corrida Espacial.....	26
3 O PAPEL E A RELEVÂNCIA DA LUA NA EXPLORAÇÃO ESPACIAL CONTEMPORÂNEA.....	38
3.1 Descoberta de água na Lua.....	39
3.2 Hélio-3.....	40
3.3 Tirania da Equação do Foguete.....	42
3.4 Turismo Espacial.....	46
3.5 Direto Espacial.....	47
3.5.1 Tratado do Espaço Exterior.....	48
3.5.2 Acordo da Lua.....	49
3.5.3 Acordos Artemis.....	51
4 A DINÂMICA DA EXPLORAÇÃO ESPACIAL NO SÉCULO XXI.....	55
4.1 Guerra da Ucrânia e suas implicações.....	56
4.2 Principais agências envolvidas na exploração da Lua.....	57
4.2.1 Estados Unidos (NASA).....	60
4.2.2 China (CNSA).....	63
4.2.3 Rússia (Roscosmos).....	66
4.2.4 União Europeia (ESA).....	69
4.2.5 Japão (JAXA).....	70
4.2.6 Índia (ISRO).....	71
4.2.7 Emirados Árabes Unidos (UAESA).....	74
4.2.8 Canadá (CSA).....	75
4.3 Setor privado.....	75
4.3.1 SpaceX.....	76
4.3.2 Blue Origin.....	77
4.3.3 Ispace.....	77
4.3.4 Astrobotic Technology e Intuitive Machines.....	78
5 CONCLUSÃO.....	81
6 REFERÊNCIAS.....	83

1 INTRODUÇÃO

A capacidade humana de explorar o espaço é um marco recente na história da civilização humana. Até o século XX, a ideia de viajar para além da atmosfera terrestre era confinada aos reinos da ficção científica e especulação. Contudo, o século XX trouxe consigo revoluções tecnológicas e científicas que tornaram possível não apenas imaginar, mas também realizar a jornada para o espaço.

Este progresso foi catalisado em grande pelo contexto da Guerra Fria, na qual a corrida espacial emergiu como um dos campos de batalha ideológicos e tecnológicos entre as superpotências da época, os Estados Unidos e a União Soviética. O pioneirismo soviético nesse âmbito, com o lançamento do primeiro satélite da história, o Sputnik-1, em 1957, marcou o início dessa corrida, desafiando a supremacia americana e instigando o temor de que o domínio soviético do espaço pudesse traduzir-se em domínio militar e tecnológico. Em resposta, os Estados Unidos fundaram a NASA e intensificaram seus esforços para alcançar e superar as conquistas espaciais soviéticas.

A década seguinte foi marcada por uma série de feitos espaciais históricos, incluindo o desenvolvimento do programa Apollo dos Estados Unidos, que visava colocar o homem na Lua, de modo que a conquista da Lua tornou-se não só uma questão de prestígio nacional para os EUA, como também atestava sua superioridade tecnológica e científica perante o mundo.

Porém, ao mesmo tempo, os custos astronômicos e os riscos associados às missões tripuladas começaram a ser questionados, especialmente após o sucesso inicial das missões à Lua. O interesse público e o apoio político para missões tripuladas distantes começaram a diminuir na década de 1970, levando a uma reavaliação das prioridades na exploração espacial.

A última viagem tripulada à superfície da Lua ocorreu em dezembro de 1972, durante a missão Apollo 17. Desde então, não fez mais sentido continuar com as operações tripuladas, uma vez que os gastos e riscos eram elevados demais e não traziam retornos significativos. Além disso, houve uma mudança de foco na meta científica da NASA, que passou a se envolver no desenvolvimento de sondas, telescópios espaciais e veículos não tripulados para a exploração do sistema solar como um todo. Essa é uma das principais dúvidas do público médio no que tange a exploração espacial: porque o homem nunca voltou à Lua? Vale ressaltar, no entanto, que, após a Apollo 11, em 1969, que marcou o primeiro

pouso lunar tripulado à Lua, a NASA retornou mais 5 vezes em missões tripuladas ao longo dos 12 anos seguintes, até encerrar efetivamente o programa.

Desde então, diversas outras nações, para além da extinta União Soviética, agora Rússia (Roscosmos) e dos EUA (NASA), passaram a fazer missões de reconhecimento com orbitadores na Lua, como o Japão (JAXA), a União Europeia (ESA), a China (CNSA) e a Índia (ISRO). Ênfase deve ser dada para a China que, na última década, foi a principal expoente nas missões em direção à Lua, com destaque ao projeto chang'e que, em 2020, através da sonda chang'e 5, se tornou a segunda nação a colocar uma bandeira na superfície da Lua desde o feito dos EUA em 1969. Por outro lado, os EUA também possuem planos ambiciosos em relação à Lua com o Programa Artemis, anunciados em 2017, que novamente planejam retornar com a presença humana em solo lunar em 2025, 50 anos depois da última missão tripulada à Lua, em 1972.

Sendo assim, é perceptível que se configura uma nova dinâmica na exploração espacial no século XXI, agora com novos atores, diferentes motivações para tal e, possivelmente, novas articulações em blocos de poder entre as nações que irão disputar essa nova corrida espacial em ascensão no sistema internacional. Por último, vale ressaltar que ainda não há uma definição burocrática legal para a exploração do espaço no direito internacional, uma pauta que tem sido levantada pelos EUA, já visando as intenções de exploração comercial da Lua pelos principais programas espaciais. Logo, as perguntas que orientam a pesquisa corrente são: “qual tem sido a dinâmica da exploração espacial no pós-Guerra Fria e Século XXI e qual o lugar a Lua ocupa nesse novo processo como objetivo dos principais programas espaciais contemporâneos?”.

A hipótese aqui presente é que se nota um movimento na dinâmica da exploração espacial, sobretudo na segunda metade da década de 2010, na qual diversos programas espaciais passaram a anunciar missões com destino à Lua, desencadeando uma nova corrida espacial em direção à Lua entre as principais potências espaciais contemporâneas. Isso é fortalecido pelos esforços da China para concluir a construção de uma estação espacial independente, chamada Estação Espacial Tiangong (TSS), sendo um contraponto da Estação Espacial Internacional (ISS), que virá a ser desativada em 2030. Destaca-se que os chineses são barrados de trabalhar na ISS, devido à lei americana que proíbe a NASA de compartilhar dados com Pequim, fazendo com que a potência asiática viesse a buscar seus próprios meios para uma inserção na dinâmica espacial. Além disso, a China também oficializou um acordo em 2021 para a construção de uma estação de pesquisa internacional na Lua, com a Rússia, a ILRS (International Lunar Research Station). Isso ocorre em um momento de distanciamento

entre a Roscosmos e as agências presentes na Estação Espacial Internacional (ISS), devido à Guerra da Ucrânia, o que ameaça uma cooperação histórica entre a Rússia e os Estados Unidos, que se alongou por duas décadas no âmbito espacial.

Por outro lado, em 2017, a NASA anunciou o Programa Artemis como o novo programa espacial dos Estados Unidos para a Lua, quase meia década depois que o último homem aterrissou em solo lunar. A projeção é que, em 2025, a humanidade revisite o satélite natural terrestre, dessa vez com a primeira mulher e primeira pessoa negra compondo a tripulação. O programa conta com uma série de missões a fim de estabelecer a primeira presença de longo prazo na Lua, mantendo a liderança americana, para que, através do conhecimento e experiência adquiridos, possa ser dado o próximo salto na exploração espacial, dessa vez, em direção a Marte. Artemis também engloba a construção de uma nova estação espacial, na órbita da Lua, conhecida como Lunar Gateway. É um projeto colaborativo multinacional envolvendo quatro das agências parceiras da Estação Espacial Internacional (ISS): NASA, ESA, JAXA e CSA. Está planejado para ser a primeira estação espacial além da órbita baixa da Terra e a primeira estação espacial a orbitar a Lua.

Deve-se mencionar também os fatores burocráticos de direito internacional, haja vista que a exploração do espaço sideral esbarra em alguns trâmites legais, como o Tratado do Espaço Sideral da ONU, de 1967, que diz que nenhum lugar no espaço pode ser reivindicado por qualquer nação, e o Acordo da Lua da ONU, de 1979, que prevê que o espaço não deve ser explorado comercialmente, mas os EUA, a China e a Rússia se recusaram a assiná-los. Tendo isso em vista, sob liderança dos EUA, há o desenvolvimento de um novo acordo baseado no tratado de 1967 que descreve 13 diretrizes, com uma visão compartilhada de princípios, para a criação de um ambiente seguro e transparente, o qual facilita a exploração, a ciência e as atividades comerciais para toda a humanidade usufruir. Diversas nações já assinaram o acordo, porém, não contam com a participação da Rússia e da China.

Em vista dos fatos apresentados, nota-se que se instala um cenário no sistema internacional, com a escalada de diversas agências e seus respectivos programas espaciais ao redor do mundo, sob liderança de dois principais atores do globo, Estados Unidos e China, com este último buscando oferecer um contraponto no balanço de poder astropolítico. Tendo isso em vista, posiciona-se a Lua novamente como meta espacial das nações, gerando um ambiente que proporciona a configuração de uma potencial nova corrida espacial no sistema internacional. Observa-se que, dessa vez, diferentemente da segunda metade do século XX, na Guerra Fria, agora, a Lua se apresenta não como o objetivo final, mas etapa fundamental

para a verdadeira corrida que se dará em direção ao planeta Marte, o próximo desafio da humanidade na exploração espacial, prêmio ainda não alcançado por nenhuma nação.

Ademais, entendendo a atual conjuntura do sistema internacional, constata-se que a China, como segunda principal potência econômica e terceira militar do globo, com projeções de cada vez mais reduzir essa lacuna com os EUA, no âmbito espacial ainda não se posiciona como adversária equiparada, buscando, assim, reduzir esse desequilíbrio através de mecanismos próprios e articulando parcerias de sua zona de influência para participação dos novos desafios na exploração espacial. Pela primeira vez, desde a Guerra Fria, há um novo ator no sistema que oferece uma perspectiva diferente daquela instaurada pelas potências centrais que atuam conjuntamente, em harmonia, mas sob grande influência dos EUA.

Tendo isso em vista, nos próximos anos, haverá mudanças significativas na dinâmica espacial no sistema internacional, havendo duas novas grandes estações espaciais, representadas pelas atuais maiores duas potências no balanço de poder do sistema, com metas ambiciosas e alto potencial de exploração e evolução científica, tecnológica e militar durante esse processo, que servirá de aprendizado aos programas espaciais para uma permanência de longo prazo na Lua e, posteriormente, visando missões tripuladas em direção a Marte.

O objetivo geral do trabalho será analisar qual tem sido a dinâmica da exploração espacial no pós-Guerra Fria e século XXI e o lugar que a Lua ocupa nesse novo processo como objetivo dos principais programas espaciais contemporâneos. Em relação aos objetivos específicos, são três: explorar sucintamente o tema da Astropolítica e o histórico da dinâmica da exploração e corrida espacial ocorrido no século XX no contexto da Guerra Fria; analisar o papel e relevância da Lua como símbolo e meta da corrida espacial durante a Guerra Fria e agora no século XXI; investigar os principais atores envolvidos na dinâmica da exploração espacial do século XXI, como os Estados (agências governamentais) e órgãos (públicos e privados), sobretudo dos programas espaciais líderes, suas alianças e articulações, planos e metas de médio e longo prazo e como e porquê a Lua retorna como objetivo relevante e até central de uma nova corrida espacial.

Quanto à justificativa, nota-se que a exploração espacial direta, ainda que recente, é um fenômeno que traz muito impacto sobre a geopolítica como um todo, como exemplo claro, têm-se a corrida espacial ocorrida na Guerra Fria no século XX que, simbolicamente, representava muito naquele contexto, e terminou com a vitória dos EUA após a chegada da primeira nave tripulada em superfície lunar. Além disso, nota-se também que a exploração espacial tem grande impacto na busca e desenvolvimento de novas tecnologias e avanço

científico, dado o tamanho dos desafios que proporcionados, exigindo o esforço e inovações para superar tais desafios.

Por outro lado, assim como foi vivido no século XX, vê-se uma dinâmica semelhante se instalando na atualidade, novamente, com interesse dos principais programas espaciais na Lua. Percebe-se que a temática de exploração espacial nunca foi tão divulgada e acessível desde o fim da corrida espacial, com muitos programas espaciais divulgando projetos ambiciosos que pretendem alterar a dinâmica da geopolítica atual. Isso inclui o potencial de estreitamento nas relações entre os principais países envolvidos, visto que é possível observar o crescente esforço da China para diminuir a predominância americana no espaço, evidenciado, agora, pela disputa na presença de longo prazo na Lua, o que configura um cenário que indica uma possível renovação da dualidade na política espacial global, sugerindo a formação de blocos geopolíticos distintos, com um alinhamento ocidental liderado pelos EUA e um bloco oriental, liderado pela China, que desafia a hegemonia tradicional.

Sendo assim, faz-se importante um estudo que analise qual tem sido a dinâmica espacial no século XXI, em um momento em que a Lua volta a ser objetivo das nações e com isso, buscar entender os efeitos dessa dinâmica nas Relações Internacionais tentando deduzir algumas tendências na geopolítica do século XXI.

A presente pesquisa será desenvolvida desde uma abordagem hipotético-dedutiva, vez que parte de uma análise geral acerca da nova dinâmica espacial que se instala no sistema internacional tendo a Lua, novamente, como objetivo dos principais programas espaciais da contemporaneidade e esse desdobramento, especialmente em seus efeitos no balanço de poder, visto a articulação de blocos de influência agora com duas principais potências, EUA e China, disputando uma nova corrida na exploração espacial, economia e segurança.

Quanto ao método de procedimento, a pesquisa se desenvolverá a partir do método qualitativo e histórico, no qual será realizado um levantamento de informações e dados históricos em relação aos principais programas espaciais do cenário internacional no século XX e atualmente de maneira exploratória.

Em relação às fontes de dados e informações, considerando o objetivo do tema, será realizado um levantamento bibliográfico acerca do tema. Em vista disso, serão analisados artigos, livros, dissertações e notícias emitidas por jornais renomados, com vistas a compreender em profundidade o tema e o problema levantados. De forma ampla, as fontes deste trabalho serão não apenas primárias (notícias, documentos, estatísticas oficiais, etc.), como também secundárias (bibliográficas).

O trabalho será dividido em três seções substantivas. Na primeira seção, "Astropolítica e a História da Exploração Espacial", será brevemente introduzida a teoria Astropolítica, a fim de fornecer a base teórica para as análises que se seguirão neste trabalho, seguido de uma apresentação na cronologia da exploração espacial, detalhando o processo que transformou a humanidade de mera espectadora para uma exploradora ativa do espaço, traçada com ênfase particular na corrida espacial do século XX, que inaugura a primeira era espacial.

Prosseguindo, a segunda seção, "O Papel e a Relevância da Lua na Contemporaneidade", examina a transição do papel da Lua como um símbolo de conquista em uma disputa geopolítica ideológica no século XX para um foco de interesse comercial e exploratório. Esta mudança reflete a evolução dos objetivos e motivações por trás da exploração espacial, sublinhando a Lua como um recurso-chave nas estratégias espaciais atuais e futuras.

Por fim, a terceira seção, "A Dinâmica da Exploração Espacial no Século XXI", enfoca nos protagonistas, programas e missões que estão definindo o cenário da astropolítica contemporânea. A interação entre as agências espaciais estatais, o setor privado emergente e novos entrantes na arena espacial ilustra a complexa teia de cooperação e competição que caracteriza a exploração espacial hoje e tendências para o futuro.

2 ASTROPOLÍTICA E A HISTÓRIA DA EXPLORAÇÃO ESPACIAL

Este capítulo estabelece o contexto histórico da exploração espacial e a evolução conceitual que delinea a jornada humana além da atmosfera terrestre. Explorar o espaço sempre esteve entrelaçado com a curiosidade intrínseca da humanidade e o desejo de expandir nossos limites conhecidos, tanto físicos quanto intelectuais. Desde as observações astronômicas primitivas até os feitos tecnológicos contemporâneos, a exploração espacial reflete nossa aspiração incessante de compreender o lugar da humanidade no universo. Assim, este capítulo prepara o terreno para uma discussão mais aprofundada sobre as dinâmicas contemporâneas que caracterizam a exploração espacial no século XXI, sublinhando a importância de compreender o passado para navegar o futuro da humanidade além da Terra.

2.1 Astropolítica

No estudo da Astropolítica, área das Relações Internacionais dedicada à análise da geopolítica do espaço exterior, considera-se o espaço como a última fronteira a ser desbravada pelas sociedades humanas, representando assim o quarto meio ou fronteira de exploração e projeção humana de soberania, após a terra, o mar e o ar. Esta nova fronteira, o espaço, transcende os limites tradicionais do planeta Terra, estendendo-se até a órbita geostacionária e além, em busca de vantagens estratégicas, avanços tecnológicos significativos e descobertas científicas que possam redefinir o entendimento humano sobre o universo (LUTES, 2011).

Assim como os domínios terrestre e marítimo foram cenários de exploração, expansão e afirmação de sociedades e impérios ao longo da história, o poder espacial, embora mais recente, emergiu no período pós-Segunda Guerra Mundial, como uma nova dimensão da política global, tendo início com o lançamento do primeiro satélite da humanidade, em 1957, que marcou o início de uma era de exploração espacial intensificada pela competição da Guerra Fria (SHEENAN, 2007).

Assim, as nações que se fazem presentes no espaço, seja por meio do lançamento de satélites ou pela operação de estações espaciais, consolidam-se como potências de status distinto. Este contexto forjou um palco no qual o espaço se tornou não apenas um desafio técnico e científico, mas uma arena para demonstrações de superioridade tecnológica e militar (SHEENAN, 2007).

A dinâmica da política global é transformada por nações que estendem sua esfera de influência para além das fronteiras terrestres, alcançando o espaço sideral. Essas nações, ao se

projetarem como atores com capacidade de atuação global, assumem um papel de liderança no cenário internacional. Portanto, países que detêm as capacidades tecnológicas, econômicas e sociopolíticas necessárias para se engajarem na exploração espacial, inevitavelmente, se beneficiam dessa empreitada. Assim, o espaço não apenas se apresenta como um novo horizonte para o enriquecimento e progresso, mas também como uma arena ampliada para a atuação política. Nesse contexto, a era espacial não elimina nem intensifica os conflitos humanos intrínsecos; pelo contrário, ela projeta as dinâmicas políticas para um novo estágio, no qual as questões de poder, influência e interesses se manifestam em uma escala até então inexplorada (SHEENAN, 2007).

Entende-se que a era espacial se divide em duas fases distintas. A primeira fase, conhecida como a corrida espacial, coincide com o período da Guerra Fria, estendendo-se de 1947 a 1991. Esta etapa foi marcada pela intensa rivalidade entre os Estados Unidos e a União Soviética, na qual a supremacia tecnológica e estratégica no espaço sideral era vista como um símbolo de poder e influência global. A segunda fase, iniciada em 1991 e que perdura até os dias atuais, é caracterizada pela ascensão e diversificação dos programas espaciais nacionais. Neste período, uma gama mais ampla de nações, além de entidades privadas, começou a participar ativamente da exploração espacial, impulsionada tanto por avanços tecnológicos quanto pelo reconhecimento do potencial econômico e estratégico do espaço.

Além disso, no contexto atual, a análise geopolítica do espaço inclui variáveis adicionais, como a natureza das relações entre as potências espaciais, avanços tecnológicos, a potencial militarização do espaço, a exploração de recursos naturais, e questões de sustentabilidade das atividades espaciais (DOBOŠ, 2020). Assim, discutir sobre poder espacial e Astropolítica vai além das questões de segurança relacionadas a conflitos armados. Essencialmente, trata-se da capacidade de um país de assegurar de forma autônoma seu acesso e utilização do espaço tanto em tempos de paz quanto em guerra, bem como de impedir que adversários neguem esses benefícios (CEPIK; MACHADO, 2011). Tal como a geopolítica, a Astropolítica é dinâmica e situacional, adaptando-se às condições variáveis de tempo, lugar e circunstâncias.

2.2 Por que buscamos explorar o espaço?

A humanidade possui a capacidade de se adaptar às adversidades melhor que qualquer outra espécie que já ocupou este planeta. A sua característica de compreensão e utilização dos

recursos naturais da Terra é única, impulsionada pela curiosidade intrínseca e pelo constante questionamento sobre a origem, o destino e outros mistérios do universo.

A presença humana neste planeta contém um prazo de validade. Considerando a fragilidade enquanto espécie e ignorando, a capacidade de autodestruição dos humanos, através de guerras, degradação do meio-ambiente, proliferação de doenças, quando se trata de uma escala cósmica a existência humana se torna insignificante perante a imensidão do universo. Um exemplo dessa vulnerabilidade reside no fato de que, daqui a aproximadamente um milhão de anos, o sistema solar receberá uma visita não requisitada pela estrela errante *Gliese 710*. Com aproximadamente 60% da massa do Sol, essa estrela cruzará o sistema solar e sua passagem desencadeará perturbações gravitacionais extremas, especialmente nos cometas residentes na Nuvem de Oort, uma vasta nuvem de cometas que delimita o sistema solar, e resultará no redirecionamento de vários desses corpos celestes para a região interna do sistema, provocando uma chuva de cometas sem precedentes com probabilidade elevada de colisões (BERSKI; DYBCZYŃSKI, 2016).

Mesmo que a humanidade não consiga, até lá, desenvolver métodos eficazes para repelir ou desviar corpos celestes, como demonstrou o programa Double Asteroid Redirection Test (DART) da NASA, o qual visa testar um método de defesa planetária contra objetos próximos à Terra e obteve sucesso em seu primeiro teste, desviando o asteroide Dimorphus em 2022 (NASA, 2022), torna-se crucial reconhecer que eventos como esse escapam do controle humano e, majoritariamente, uma resposta diante dessas situações é a única escolha disponível para a civilização.

No entanto, caso a sociedade persista, a expectativa máxima de habitabilidade no Planeta Terra seria de aproximadamente 1 bilhão de anos, em virtude do ciclo de vida das estrelas, que desempenham um papel fundamental na sustentação da vida e na formação dos centros dos sistemas estelares reconhecidos. O Sol, atualmente em sua sequência principal, encontra-se na metade de sua vida, aumentando gradualmente sua luminosidade. Nos próximos 6,5 bilhões de anos, com o aumento do brilho solar, a temperatura terrestre também se elevará, resultando na evaporação completa da água do planeta. Essa evolução culminará na inabitabilidade do nosso lar (MACIEL, 1995).

Finalizada essa etapa, o Sol iniciará o esgotamento de seu suprimento de hidrogênio no núcleo. À medida que a fusão diminui, a estrela se expandirá, transformando-se em uma gigante vermelha que, possivelmente, engolirá os planetas mais próximos, incluindo a Terra. (MACIEL, 1995) Nesse cenário, faz-se a pergunta de quais seriam as opções para a

humanidade. Talvez corpos rochosos como Marte, as luas de Júpiter e Saturno, que apresentam considerável potencial, Plutão, que, àquela altura, estará mais aquecido, ou até mesmo exoplanetas, caso um dia a tecnologia possibilite, como pontua Neil Degrasse Tyson.

Nossa busca por vida no universo move a busca por exoplanetas, alguns dos quais lembram a Terra – não em detalhes, claro, mas nas propriedades gerais. As últimas estimativas, tendo como base o catálogo atual, sugerem até 40 bilhões de planetas como a Terra apenas na Via Láctea. São planetas que nossos descendentes poderão querer visitar um dia por escolha, se não por necessidade (TYSON, 2017, p. 98).

Contudo, são escassas as certezas e predominam as especulações. Eventualmente, a humanidade poderá ser desafiada a buscar respostas para essas incertezas, em prol de sua sobrevivência.

Pode ser um tanto difícil crer que a humanidade viverá para presenciar todos esses acontecimentos, tendo em vista a fragilidade e raridade da vida e que em um relógio metafórico do universo, caso comprimirmos os 14,8 bilhões de anos de história do universo na escala de um ano terrestre, a raça humana, os *Homo Sapiens*, só chegariam na última hora do último dia desse ano, há aproximadamente 200.000 anos, enquanto que toda a História já registrada pelos humanos correspondem apenas aos últimos 14 segundos (COSMOS, 1980). Este é o calendário cósmico, uma escala didática de tempo elaborada pelo cientista norte-americano Carl Sagan, cujo objetivo era resumir ou abreviar metaforicamente em um ano toda a história do universo, desde o início do Big Bang aos dias atuais. Na escala de tempo elaborada por Sagan, cada segundo do calendário cósmico equivale a 500 anos reais.

Por outro lado, a Terra possui exemplares que a ocupam há muito mais tempo. Pequenos mamíferos, répteis e animais marinhos possuem espécies presentes há centenas de milhões de anos aqui, como é o caso de algumas espécies de tubarões que datam de cerca de 400 milhões de anos atrás (CNN BRASIL, 2022). Ou seja, existem exemplos de seres vivos que transcenderam as extinções em massa e presenciaram diversos eventos cósmicos neste universo, assim, é plausível pensar que o ser humano também pode ser um desses.

Sob outra perspectiva, a exploração espacial não precisa ter somente fins de sobrevivência, afinal, a humanidade é curiosa por natureza, e esse instinto explorador está diretamente conectado à nossa história e evolução. Novamente, Tyson fala sobre isso abordando que na ausência dessa curiosidade não somos diferentes do fazendeiro provinciano que não demonstra qualquer necessidade de se aventurar além da divisa do município porque os seus 16 hectares atendem a todas as suas necessidades. Mas se nossos predecessores

tivessem pensado assim, o fazendeiro em vez disso viveria em uma caverna, caçando o seu jantar com um porrete e uma pedra.

Durante nossa breve estadia no planeta Terra, devemos a nós mesmos e a nossos descendentes a oportunidade de explorar – em parte porque é algo divertido de fazer. Porém há uma razão muito mais nobre. No dia em que nosso conhecimento do cosmos deixar de se expandir, corremos o risco de retornar à visão infantil de que o universo, figurativa e literalmente, gira ao redor de nós. Neste mundo desolado, pessoas e nações armadas e com fome de recursos poderão ter a tendência a agir segundo seus “preconceitos inferiores adquiridos”. E isso seria o último soluço do iluminismo humano – até a ascensão de uma nova cultura visionária que mais uma vez abraçasse, no lugar do medo, a perspectiva cósmica (TYSON, 2017, p 106).

Para compreender a exploração espacial como quase interligada à natureza humana, e como ela tornou-se possível, antes, é necessário entender a escada de conhecimento que foi construída por diversos povos e indivíduos até que seja possível nos tornar uma espécie interplanetária.

2.3 Dos primórdios à Idade Moderna

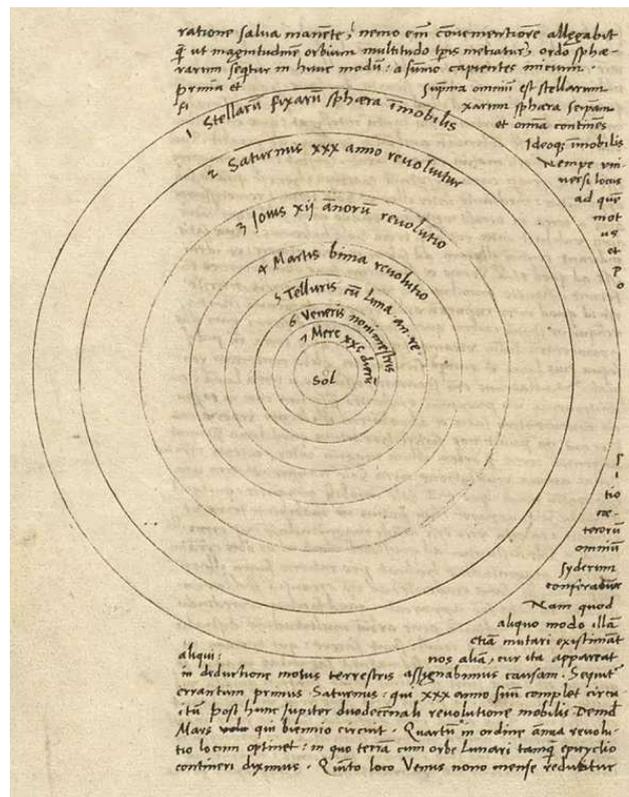
Desde os primórdios, a humanidade voltou seu olhar para o céu, buscando compreendê-lo. A observação celeste esteve intrinsecamente ligada à vida humana, mesmo nos tempos de nomadismo, quando as noções primitivas das estações do ano eram cruciais para antecipar migrações animais e mudanças climáticas. Com a transição para o sedentarismo e o advento da agricultura, esse conhecimento tornou-se ainda mais crucial, permitindo previsões das condições climáticas essenciais para o sucesso das atividades agrícolas.

Avançando para 1600 a.C., os babilônios registravam as primeiras observações dos planetas, incluindo Mercúrio e Vênus, seguidos por Marte, Júpiter e Saturno. Na Grécia Antiga, os filósofos foram os pioneiros ao propor um universo geocêntrico, que colocava a Terra como centro do cosmos. Por volta de 100 d.C., Cláudio Ptolomeu desenvolveu ainda mais essa ideia, sustentando que sete corpos celestes orbitavam em torno da Terra. Esses corpos eram o Sol, a Lua, Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno. Assim, o sistema ptolomaico perdurou por séculos, exercendo uma influência significativa no entendimento astronômico da época (LAUNIUS, 2018).

Foi então, em 1543, que Nicolau Copérnico, um astrônomo polonês considerado um dos maiores gênios do Renascimento, tornou-se o primeiro a rejeitar essas concepções. Naquele ano, ele publicou o livro “Sobre as Revoluções das Esferas Celestes”,

desenvolvendo a teoria de um universo heliocêntrico, no qual todos os corpos celestes orbitavam em torno do Sol, removendo, assim, a Terra do centro do universo. Copérnico afirmou também que a Lua não era um planeta, mas sim um satélite natural que, por sua vez, orbitava a Terra. Anos mais tarde, a Igreja proibiu a obra de Copérnico e esse revés atrasou o avanço no assunto, uma vez que muitos cientistas evitavam publicar sobre o tema devido à repressão da Santa Inquisição (LAUNIUS, 2018).

Figura 1: Diagrama mostrando a ordem das “esferas celestes” no modelo heliocêntrico de Copérnico, conforme publicado em 1543.



Fonte: www.elmundo.es/ciencia/2016/06/26/576d240422601df7468b4574.html. Acesso: Jan/2024

As ideias de Copérnico, embora polêmicas, inspiraram outros pensadores, como Giordano Bruno, conhecido por teorias que, de maneira conceitual, ampliaram o novo modelo copernicano. Giordano propôs que as estrelas fossem sóis distantes, cercados por seus próprios planetas, e aventurou-se na ideia de que tais planetas pudessem hospedar vida, insistindo que o universo era infinito e, portanto, não poderia ter um "centro" definido. Apesar de suas alegações serem puramente filosóficas, sem um método científico substancial, Bruno estava correto em muitos aspectos. No entanto, foi condenado por heresia e executado, queimado em Roma no ano de 1600 (CROWE, 1986).

Pouco depois, em 1608, Galileu Galilei, cientista com inúmeras contribuições para a física experimental, também foi um promotor das ideias de Copérnico. Ele desempenhou um papel crucial na remodelação e expansão da astronomia da época. Ao criar variações da luneta de Hans Lippershey, inicialmente utilizada para fins militares, e aprimorá-la, Galileu tomou a decisão de apontá-la para o céu noturno, tornando-se, assim, o primeiro homem a realizar observações astronômicas com um telescópio, enriquecendo a astronomia com evidências científicas crescentes. Após a publicação do livro “Diálogo sobre os Dois Principais Sistemas Mundiais”, em 1632, Galileu foi perseguido e condenado pela Santa Inquisição, sendo obrigado a passar o resto de sua vida em prisão domiciliar (LAUNIUS, 2018).

Figura 2: Lente objetiva e luneta astronômica de Galileu Galilei, 1610. Museo di Storia della Scienza, Florença.



Fonte: www.fisica-interessante.com/biografia-galileu-galilei.html. Acesso: Jan/2024

Em vida, Galileu recebeu significativa influência de outro cientista renomado da época, Johannes Kepler, responsável por formular as Leis de Kepler. Essas leis descrevem a mecânica celeste, isto é, os movimentos que os corpos celestes realizam no espaço. As leis de Kepler, por sua vez, foram uma fonte inspiradora para outro grande cientista, Isaac Newton, que, em 1687, publicou o livro “Princípios Matemáticos da Filosofia Natural”, abrindo portas cruciais para a compreensão da física e das leis da natureza (KOYRÉ, 1961).

Nessa obra, Newton apresentou a gravitação e o efeito das órbitas dos planetas, formulando, assim, as três leis de Newton e a Lei da Gravitação Universal. A contribuição de

Newton não se limita apenas à astronomia; ela representa uma verdadeira revolução no entendimento da física como um todo, servindo de base para o desenvolvimento de tecnologias futuras, como os foguetes, que desempenhariam um papel fundamental na exploração espacial (MORE, 1934).

2.4 Idade Contemporânea até a Corrida Espacial

Em 1781, William Herschel anunciou a descoberta de Urano e suas luas, expandindo o conhecimento sobre nosso sistema solar. Posteriormente, ele também identificou as luas de Saturno. Em 1846, John Couch Adams adicionou Netuno à lista de planetas conhecidos e, finalmente, em 1930, Clyde Tombaugh descobriu Plutão, que foi considerado o nono planeta até sua exclusão em 2006 (HISTORY, 2020).

Em 1915, Albert Einstein publicou a Teoria da Relatividade Geral, abalando os fundamentos da ciência ao unificar seus trabalhos sobre a física do movimento e a ausência de campo gravitacional com a Lei da Gravitação Universal de Newton. Essa teoria ofereceu um arcabouço teórico crucial para compreender as complexidades do espaço-tempo (FOX; ARIES, 2004).

Nesse período, avanços notáveis nos instrumentos ópticos, como o telescópio refrator e o espectroscópio, possibilitaram observações mais precisas, revelando fenômenos celestes anteriormente desconhecidos, como supernovas, pulsares e até a especulação acerca dos buracos negros, elucidando a natureza das estrelas, seus ciclos de vida e movimentos. A aplicação de métodos estatísticos na astronomia contribuiu para a modelagem de galáxias e a análise de sua distribuição no universo.

Em paralelo, a teoria do Big Bang, desenvolvida na primeira metade do século XX, pelo padre Georges Lemaître, proporcionou uma explicação abrangente para a origem do universo, que posteriormente viria a ser complementada por Edwin Hubble com a compreensão da expansão do mesmo e a descoberta radiação cósmica de fundo por Arno Penzias e Robert Wilson, em 1965, que elucidou as condições iniciais do universo (NATIONAL GEOGRAPHIC, 2022).

Na área das tecnologias, o desenvolvimento de computadores e sistemas de controle avançados permitiu o cálculo preciso das trajetórias e o monitoramento de missões espaciais. O trabalho pioneiro de engenheiros como Sergei Korolev e Wernher von Braun na criação de veículos de lançamento foi essencial para tornar possível o envio de sondas ao espaço (LAUNIUS, 2018).

Mas foi nas décadas de 1940 e 1950 que a exploração espacial se tornou uma possibilidade tangível graças às contribuições pioneiras de três cientistas visionários determinados a mudar o curso da humanidade: o americano Robert Goddard, o russo Konstantin Tsiolkovsky e o alemão Hermann Oberth. Embora não tenham colaborado diretamente, eles desenvolveram tecnologias separadamente que foram fundamentais para os avanços espaciais modernos (MCDOUGALL, 1985).

Em 1903, Konstantin Tsiolkovsky formulou os princípios teóricos da astronáutica, destacando suas ideias visionárias em "Explorando o Espaço Cósmico por Meio de Dispositivos de Reação". Ele propôs a possibilidade de exploração humana do universo, calculando a velocidade necessária para escapar da atmosfera terrestre e defendendo o uso de hidrogênio e oxigênio como propulsores de foguetes (MCDOUGALL, 1985).

Robert Goddard, inspirado pelas ideias de Tsiolkovsky, lançou em 1926 o primeiro foguete movido a combustível líquido em Auburn, Massachusetts. Ainda que tenha voado por apenas 2,5 segundos, foi o suficiente para entrar para história na evolução da tecnologia de foguetes (MCDOUGALL, 1985).

Enquanto isso, Hermann Oberth desempenhou um papel fundamental no desenvolvimento de mísseis e foguetes avançados durante a Segunda Guerra Mundial, incluindo o V-2, o primeiro míssil balístico guiado de longo alcance. Em junho de 1944, um V-2 alemão tornou-se o primeiro objeto feito pelo homem a atingir o espaço. Os Estados Unidos também adotaram essa tecnologia, lançando um V-2 de White Sands, no Novo México, em outubro de 1946, equipado com uma câmera que capturou as primeiras fotografias do espaço (MCDOUGALL, 1985).

Figura 3: O foguete nazista V-2 que lançou a era espacial.



Fonte: www.bbc.com/future/article/20140905-the-nazis-space-age-rocket Acesso: Jan/2024

Esses três cientistas de diferentes nacionalidades inspiraram o trabalho de Sergei Korolev e Wernher von Braun, que sucederam essa corrida na parte de tecnologias. O trabalho pioneiro desses engenheiros através do desenvolvimento de computadores e sistemas de controle avançados permitiu o cálculo preciso das trajetórias e o monitoramento de missões espaciais que viriam a se tornar essenciais para a criação de veículos de lançamento possibilitar o envio de sondas ao espaço (LAUNIUS, 2018).

No pós-Segunda Guerra Mundial, EUA e União Soviética, antigos aliados, tornaram-se protagonistas na luta pelo poder geopolítico global, iniciando a era da Guerra Fria. A intensa rivalidade resultou no desenvolvimento de bombas nucleares pela União Soviética em 1949, dando origem ao conceito de um mundo bipolar e estabelecendo as bases para a Guerra Fria.

2.5 A Corrida Espacial

A Guerra Fria impulsionou uma competição acirrada entre os Estados Unidos e a União Soviética, cada um buscando afirmar sua superioridade em diversas esferas, incluindo a corrida espacial, tecnológica, militar e econômica. Os dois blocos foram liderados por essas superpotências, e o confronto ideológico entre o capitalismo americano e o socialismo soviético moldou décadas da geopolítica global, com consequências duradouras para o

desenvolvimento planetário. Esta corrida pela supremacia levou ambos os lados a intensificar seus esforços, incluindo o desenvolvimento e lançamento de mais foguetes.

Entretanto, foi gradativo o processo que levou os humanos ao espaço. Já era de conhecimento da ciência que esse ambiente apresentava muitos riscos, como a radiação espacial, visto não haver fora da Terra uma atmosfera capaz de proteger os humanos. Assim, em fevereiro de 1947, apenas dois anos após o fim da Segunda Guerra Mundial, os Estados Unidos lançaram o primeiro animal ao espaço, as moscas-das-frutas, como um teste. A bordo de outro foguete V-2, a cápsula cheia de moscas atingiu uma altitude de 109 km, o suficiente para estar no espaço e retornou, de paraquedas e, surpreendentemente, as moscas sobreviveram (DREW; JOSEPH, 2012).

Ainda assim, era necessário algo mais próximo do ser humano para atestar a segurança das expedições. Desse modo, enviado pelos EUA, em junho de 1949, Albert II, um macaco-rhesus, tornou-se o primeiro primata e mamífero a chegar ao espaço, no entanto, o paraquedas falhou na aterrissagem e a cápsula atingiu o solo em alta velocidade, o macaco veio a falecer. Fato é que isto não é incomum entre os primatas que foram para o espaço, posto que dois em cada três macacos enviados em missões entre 1940 e 1950 morreram nas expedições ou pouco depois, sendo um mau sinal por dois motivos; primeiramente, dada a similaridade dos macacos com os seres humanos que, tampouco, sobreviveriam e, segundo, em relação à recuperação dos foguetes, visto que muitas das cápsulas que iam para o espaço não retornavam, uma questão persistente durante muito tempo e que, até ser solucionada impediu o progresso das expedições. Esse cenário estava prestes a mudar (SPACE, 2003).

Do outro lado, a União Soviética, em meio a um extenso período de reconstrução após a Segunda Guerra Mundial, ao notar a liderança que os Estados Unidos estavam assumindo na exploração espacial, encontrava-se na posição de acelerar seus próprios avanços nesse campo. No início da década de 1950, o míssil V-2 representava a vanguarda da tecnologia em foguetes, mas os soviéticos decidiram distanciar-se das tecnologias alemãs. Isso tornou-se especialmente evidente quando Sergei Korolev desenvolveu o R-7, o primeiro míssil balístico intercontinental da história. Esse foguete desempenhou um papel fundamental no desenvolvimento do programa que redefiniria a história da humanidade, o programa Sputnik, e daria início, de fato, à corrida espacial, com a União Soviética desempenhando um papel pioneiro nisso (MCDUGALL, 1985).

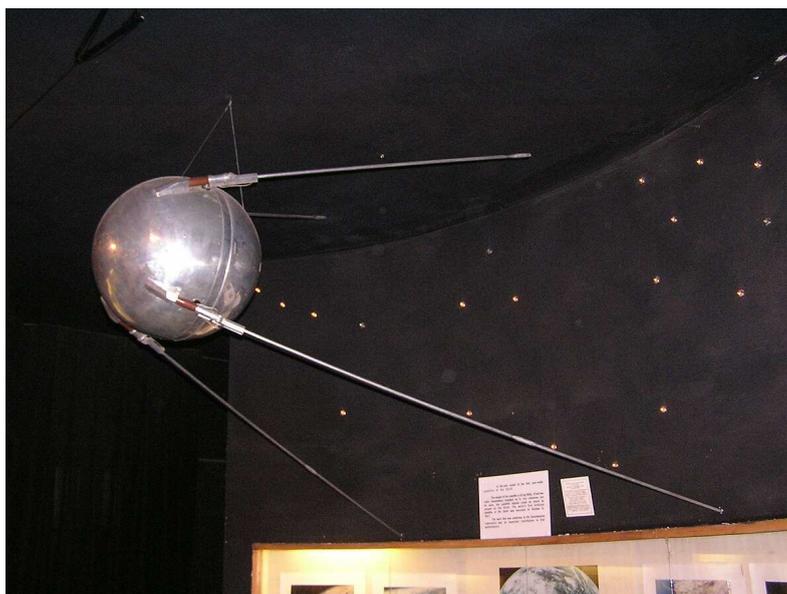
Figura 4: R-7, o primeiro míssil balístico intercontinental soviético.



Fonte: www.prlib.ru/en/history/619478. Acesso em Jan/2024.

Enquanto o primeiro satélite do programa Sputnik ainda estava em desenvolvimento, os soviéticos continuaram a aprimorar o R-7. Após várias tentativas, falhas e análises de erros, finalmente foi atingido um modelo adequado para lançar o Sputnik-1 ao espaço. Desenvolvido por Mikhail Khomiakov, o satélite não tinha realmente um objetivo específico, isto é, tratava-se de uma esfera de 58 cm de diâmetro, pesando aproximadamente 84 kg, que transmitia um sinal que pudesse ser sincronizado por qualquer operador de rádio amador, nada mais que um “bipe” (MCDOUGALL, 1985).

Figura 5: Réplica do Sputnik 1 no Museu de história espacial em São Petersburgo, Rússia.



Fonte: <https://revistagalileu.globo.com/Revista/noticia/2017/10/sputnik-o-satelite-russ-o-que-causou-o-inicio-da-corrída-espacial.html>. Acesso: Jan/2024

Assim, em outubro de 1957, o Sputnik foi lançado a uma velocidade de 28.000 km/h, a velocidade mais rápida já alcançada por um objeto feito pelo homem até aquele momento. E após 324,5 segundos, a União Soviética acabava de colocar o primeiro objeto feito pelo homem na órbita da Terra e, com ele, o começo da exploração espacial (WINTER; MELO, 2007).

Depois de três meses, 1.440 órbitas terrestres e mais de 70 milhões de quilômetros percorridos, o satélite se desintegrou ao reentrar na atmosfera da Terra em 4 de janeiro de 1958 (WINTER; MELO, 2007). O progresso da União Soviética era visível até mesmo para os americanos. O então presidente dos Estados Unidos, Dwight Eisenhower, disse que o país atravessava a “Crise do Sputnik”, deixando clara a sua insatisfação com os primeiros passos dos Estados Unidos na corrida espacial. No mesmo ano do lançamento do Sputnik, os Estados Unidos também tentaram lançar seu satélite, mas o foguete explodiu, agravando ainda mais a crise do Sputnik. Para enfrentar esse desafio e combater a crise, o Comitê Consultivo Nacional da Aeronáutica decidiu criar uma área especializada para o Espaço, levando à criação da NASA em 29 de julho de 1958 (MCDUGALL, 1985).

Em novembro de 1957, foi lançado o Sputnik-2, desta vez com uma cachorrinha de rua de Moscou, Laika. Mais uma vez, o foguete R-7 foi lançado, mas devido ao superaquecimento horas após seu lançamento, Laika morreu na órbita da Terra. Mesmo

assim, ela se tornou o primeiro animal a entrar em órbita. Naquela altura, a União Soviética propagou que tinha sobrevivido durante seis dias, pois admitir tal erro teria prejudicado sua imagem positiva (LAUNIUS, 2018). A verdade só foi descoberta dez anos após o fim da União Soviética, em 2002. Depois de Laika, mais de 12 cães foram enviados, mas apenas cinco voltaram vivos (BBC, 2017).

Figura 6: Laika, o primeiro-ser vivo a orbitar a terra.



Fonte: www.uol.com.br/tilt/noticias/redacao/2022/11/03/ha-65-anos-a-cachorrinha-laika-era-o-primeiro-ser-vivo-a-orbitar-a-terra.html. Acesso: Jan/2024

Em 1958, os Estados Unidos lançaram em órbita seu primeiro satélite, o Explorer 1. Como reação, a União Soviética lança outro programa espacial conhecido como Vostok, com o objetivo de realizar as primeiras missões tripuladas ao espaço. Entre maio de 1958 e março de 1961, lançaram vários foguetes preparatórios, incluindo Sputniks 3, 4, 5 e uma variante entre o Sputnik e o Vostok (MARSHALL, 2023).

Figura 7: William H. Pickering, Dr. James A. van Allen, and Dr. Wernher von Braun, responsáveis pelo projeto que lançou o Explorer 1.



Fonte: www.americaspace.com/2018/02/02/a-u-s-made-moon-60-years-since-explorer-1-dawn-of-americas-space-program/ Acesso: Jan/2024

Em janeiro de 1961, os Estados Unidos lançaram com sucesso um chimpanzé chamado Ham em um voo espacial suborbital. Esses primatas são maiores e geneticamente mais semelhantes aos humanos. Durante esse voo de 16,5 minutos, Ham atingiu uma altitude de 253 km e foi recuperado ileso. Esse êxito abriu caminho e confiança para futuramente os EUA enviarem o primeiro humano a alcançar o espaço (SPACE, 2003).

Figura 8: Ham em Janeiro de 1961, antes de seu voo para o espaço.



Fonte: www.aventurasnahistoria.uol.com.br/noticias/reportagem/ham-chimpanze-o-primeiro-astronauta-america-no.phtml. Acesso: Jan/2024

Em abril de 1961, um novo foguete estava pronto e Iuri Gagarin foi escolhido como cosmonauta para se tornar o primeiro homem no espaço. Assim, às 5h30 do dia 12 de abril de 1961, Gagarin é transportado para a plataforma de lançamento e, às 6h07, o Vostok é lançado do Cosmódromo de Baikonur. Às 6h13, Vostok é colocado em órbita e, finalmente, às 6h17 Gagarin envia uma mensagem dizendo: “Vejo a Terra, ela é azul”. Depois disso, eles continuam em órbita, seguindo essa trajetória com o objetivo de retornar à Terra em território russo. Após orbitar, Gagarin retornou à Terra, enfrentando uma força de 8g, ejetando-se da espaçonave a 7 km de altura, mas abrindo o paraquedas e pousando em segurança às 8h05 (WINTER; MELO, 2007).

Figura 9: Iuri Gagarin, o primeiro humano a ir e orbitar o espaço.



Fonte: www.revistagalileu.globo.com/Sociedade/Historia/noticia/2021/03/trajetoria-do-sovietico-iuri-gagarin-primeiro-humano-ir-ao-espaco.html. Acesso: Jan/ 2024

Assim, o cosmonauta tornou-se um ídolo global. A União Soviética até o proibiu de retornar ao espaço, tendo em vista o risco das missões e entendendo que agora ele era uma peça valiosa demais do marketing soviético. Nas palavras de Gagarin (LAUNIUS, 2018, p.7):

a estrada para as estrelas certamente é íngreme e perigosa, mas nós não temos medo, viagens espaciais não podem ser paradas. Isso não é o trabalho de apenas um homem, ou ainda, um grupo de pessoas. Trata-se de um processo histórico que a humanidade está realizando de acordo com as leis naturais do desenvolvimento humano.

Com Gagarin se tornando um porta-voz do programa espacial e da União Soviética, ele chegou a visitar muitos países, incluindo o Brasil, sendo calorosamente recebido pelo então presidente, Jânio Quadros (FOLHA SÃO PAULO, 2021).

Vendo que a União Soviética começava a avançar na corrida espacial, os Estados Unidos também lançaram o seu primeiro homem ao espaço, Alan Shepard, em 5 de maio de 1961. (LAUNIUS, 2018) Contudo, o desejo era de superar essa conquista. Nesse mesmo ano, o presidente dos Estados Unidos, John F. Kennedy, lança um desafio: enviar homens à Lua e trazê-los de volta em segurança antes do final da década. Ele disse, em um famoso discurso na Universidade de Rice em 1962 (LAUNIUS, 2018, p.7):

nós escolhemos ir para Lua nesta década, não por ser uma tarefa fácil, mas, justamente, por ser difícil. Porque essa conquista servirá para mensurar o melhor dos nossos esforços e habilidades, porque o desafio é algo que nos negamos a adiar e pretendemos vencer.

Figura 10: John F. Kennedy discursando na Universidade de Rice.



Fonte: <https://airandspace.si.edu/multimedia-gallery/president-kennedy> Acesso: Jan/2024

A partir de então, os dois países se comprometeram totalmente com a corrida. Os soviéticos lançaram 12 satélites, enquanto os americanos lançaram 54. Diante da necessidade de sucesso, os Estados Unidos iniciaram o Projeto Mercúrio, uma cápsula com capacidade para um astronauta. Posteriormente, evoluíram para o Projeto Gemini, com capacidade para dois astronautas e, finalmente, conceberam o Projeto Apollo, capaz de transportar três astronautas. O Projeto Mercúrio alcançou a órbita lunar sem pouso, enquanto o Projeto Gemini capturou a primeira imagem de Marte. Em relação ao Projeto Apollo, em 1967, após uma série de lançamentos não tripulados, ocorreu a primeira tentativa de lançamento tripulado, mas durante um teste, a cabine pegou fogo, resultando na trágica morte dos três astronautas (WINTER; MELO, 2007).

As missões subsequentes, da Apollo 2 à 6, não foram tripuladas por receio de repetir a tragédia. Contudo, a retomada dos voos tripulados ocorreu com a Apollo 7, que realizou a primeira transmissão ao vivo do espaço. Posteriormente, a Apollo 8 foi pioneira ao levar astronautas à órbita lunar, seguida pelas missões 9 e 10. Até que, finalmente, em 1969, o aguardado momento chegou com a Apollo 11, marcando o cumprimento da promessa feita por John F. Kennedy. Em 16 de julho de 1969, tudo estava preparado para o lançamento da Apollo 11 (MARSHALL, 2023).

O lançamento foi televisionado em 33 países, sendo testemunhado por mais de 25 milhões de espectadores apenas nos Estados Unidos. Assim, às 13h32, o foguete foi lançado,

transportando três tripulantes: Edwin “Buzz” Aldrin, piloto do módulo lunar; Michael Collins, piloto do módulo de comando; e Neil Armstrong, o comandante. Três dias depois, os astronautas alcançaram o lado oposto da Lua, entrando em sua órbita. O plano original consistia em uma pequena espaçonave, apelidada de Eagle, se desprendendo da Apollo 11 para realizar o pouso lunar, levando apenas dois dos tripulantes, Buzz e Armstrong. Enquanto isso, Collins permaneceria na espaçonave, monitorando e garantindo o sucesso da missão. Às 17h44, a descida começou, enfrentando alguns contratemplos. A espaçonave estava mais rápida do que o previsto, porém, o pouso, extremamente complexo, foi bem-sucedido. A escolha do local de pouso exigiu habilidade, pois a superfície lunar é irregular. Às 20h17 de 20 de julho de 1969, foi concluída a alunissagem, com apenas 25 segundos de combustível restantes (WINTER; MELO, 2007).

Figura 11: A tripulação da Apollo 11, Neil Armstrong, Michael Collins e Buzz Aldrin.



Fonte: <https://www.britannica.com/topic/Apollo-11> Acesso: Jan/2024

Neil Armstrong, o primeiro homem a pisar na Lua, realizou esse feito às 2h51 da manhã. O momento foi transmitido ao vivo para 1,2 bilhão de pessoas. Após três horas e meia de preparativos, Armstrong e Buzz saíram da espaçonave. Armstrong levava uma placa contendo desenhos dos hemisférios da Terra, com assinaturas dos astronautas e do presidente Nixon, acompanhada da mensagem: “Aqui, os homens do planeta Terra pisaram pela primeira vez na Lua, em julho de 1969 d.C. Viemos em paz para toda a humanidade”. Armstrong, ao descrever o solo lunar, afirmou que era quase como pólvora e, ao dar o primeiro passo, proferiu as icônicas palavras: “Esse é um pequeno passo para um homem, um

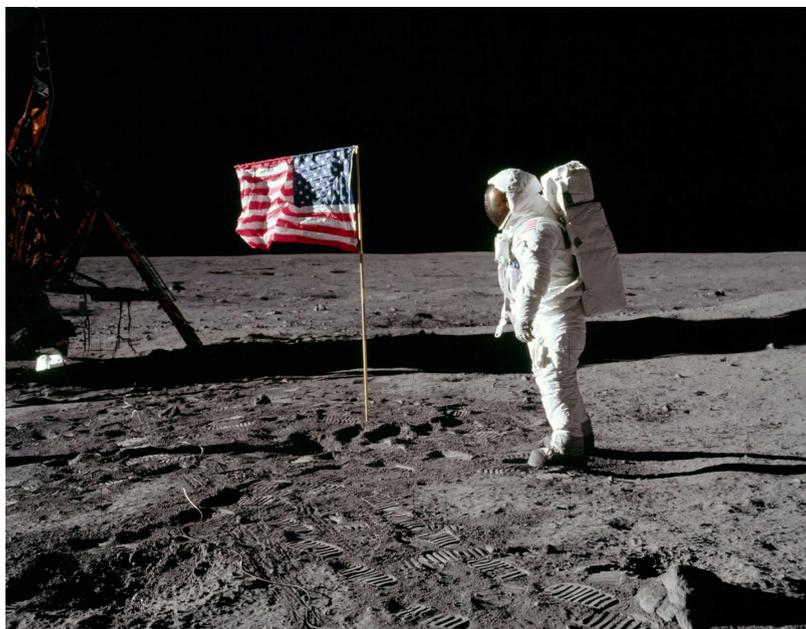
salto gigante para a humanidade”. A pegada deixada por Armstrong naquele salto permanece lá até hoje. Após oito dias no espaço, em 24 de julho de 1969, retornaram com segurança à Terra (NASA, 2019).

Figura 12: Placa deixada na Lua pela Apollo 11.



Fonte: www.intrinseca.com.br/blog/2018/10/8-curiosidades-sobre-a-ida-do-homem-a-lua/ Acesso: Jan/2024

Figura 13: Neil Armstrong caminhando sobre a superfície lunar.



Fonte: www.nasa.gov/mission/apollo-11/ Acesso: Jan/2024

Com essa conquista marcante, os Estados Unidos declararam vitória na corrida espacial, apesar de terem ficado atrás na maior parte da competição. Após essas missões,

foram realizados outros envios tripulados à Lua, mas a percepção de sua utilidade foi questionada, uma vez que não ofereciam oportunidades significativas de exploração. A conclusão foi de que seria mais sensato enviar sondas e garantir a segurança dos astronautas. Um exemplo emblemático foi a missão Apollo 13 em 1970, onde os astronautas relataram ao Centro de Controle de Missão da NASA uma explosão, destacando os perigos inerentes às viagens espaciais (LAUNIUS, 2018).

Entende-se que não existe um vencedor claro nesta competição. Ambos os Estados Unidos e a União Soviética contribuíram significativamente, impulsionando a humanidade para novas fronteiras. Portanto, a corrida espacial não apenas reflete uma disputa geopolítica, mas representa a culminação de décadas de esforços colaborativos e descobertas transformadoras que pavimentaram o caminho para a exploração além das fronteiras terrestres.

Sendo assim, visa-se compreender as complexas dinâmicas que moldam a política espacial contemporânea, refletindo as transições desde as tensões da Guerra Fria até o cenário multifacetado da exploração espacial no século XXI. Nota-se que, nesse contexto, a Lua, que é objeto de pesquisa neste trabalho, incorpora dois papéis nas eras espaciais. Na primeira, a conquista da Lua se posicionava como um objeto simbólico de demonstração da superioridade tecnológica, o que foi, inclusive, explorado pelos EUA após a conquista, como a vitória daquela competição. Já na contemporaneidade, a Lua ocupa uma posição mais complexa com novos componentes, descobertas e utilidades práticas para sua exploração, o que desencadeou uma nova competição entre as nações, mas agora motivada por outros interesses comerciais e econômicos. Para esse assunto, o papel da Lua na nova fase da exploração espacial, que nós dirigimos agora à nossa atenção.

3 O PAPEL E A RELEVÂNCIA DA LUA NA EXPLORAÇÃO ESPACIAL CONTEMPORÂNEA

A exploração da Lua transcende a mera curiosidade científica, mergulhando nas profundezas do pensamento filosófico da humanidade. A Lua, vista como um objeto de fascínio e inspiração, tem sido central em várias obras literárias e científicas que refletem a eterna aspiração humana em alcançá-la, como em "Da Terra à Lua", de Júlio Verne, que imagina a jornada audaciosa ao satélite 104 anos antes de sua conclusão, mostrando que a Lua permanece como um símbolo de um primeiro passo na busca por compreender o desconhecido e expandir os limites do próprio ser (LAUNIUS, 2018).

Entre 1969 e 1972, a humanidade testemunhou seis missões tripuladas à Lua, marcando um período de extraordinária exploração espacial que permitiu a doze astronautas caminhar no satélite terrestre. Inicialmente, esses feitos sugeriram que viagens lunares se tornariam rotineiras. Contudo, o entusiasmo inicial não se sustentou e, desde então, mais de cinco décadas se passaram sem novas alunissagens humanas. O declínio nas missões lunares teve raízes na conclusão da corrida espacial, marcada pela vitória simbólica dos Estados Unidos com a Apollo 11, sustentando-a ao longo de cinco expedições nesse período. Esse sucesso não só demonstrou supremacia tecnológica em meio à Guerra Fria, mas também elevou as expectativas para futuras explorações espaciais.

O hiato nas viagens lunares não significou o fim das ambições espaciais. Nas últimas cinco décadas, ainda que existissem planos de retomar as viagens à Lua, elas sempre esbarravam no obstáculo econômico, fazendo com que a ideia acabasse sendo engavetada em várias ocasiões, uma vez que a verba destinada aos projetos da NASA passou a ser enxugada consecutivamente. Se lá na década de 1960 a agência espacial recebia quase 5% de todo o orçamento do governo americano, atualmente esse valor não passa de 0,5% (THE PLANETARY SOCIETY, 2024; BBC 2017). No século XXI, novos desafios econômicos e prioridades políticas moldaram as políticas espaciais, levando à reorientação dos objetivos da NASA. Embora a agência tenha mudado seu foco para o desenvolvimento da Estação Espacial Internacional e o lançamento de satélites avançados, como o Hubble e o James Webb, o interesse na Lua nunca desvaneceu completamente. Esses satélites, projetados para desvendar os mistérios do universo, exemplificam a continuação da busca humana por conhecimento além da Terra.

Recentemente, um renovado interesse na Lua emergiu, impulsionado pela rivalidade geopolítica e pelo potencial científico e econômico do satélite. Entre as razões para retornar à

Lua é que ainda há muito a se aprender e aproveitar antes de mirar em alvos mais desafiadores, como Marte. Além disso, a descoberta de água na Lua e o potencial do hélio-3 como fonte de energia limpa e eficiente reacenderam a imaginação global para a exploração lunar (POLYTECHNIQUE INSIGHTS, 2022). Os Estados Unidos e a China, em particular, expressaram ambições de retornar à Lua, indicando o início de uma nova era na exploração espacial na forma de uma nova corrida espacial. Este cenário estabelece a Lua não apenas como um destino de interesse científico, mas também como um palco para a demonstração de capacidades tecnológicas e estratégicas na era contemporânea.

Assim, a Lua permanece um símbolo de aspirações humanas, um lembrete das realizações passadas e um farol para futuras explorações. À medida que nos preparamos para retornar ao nosso satélite natural, refletimos sobre o papel da Lua na expansão dos horizontes humanos e na contínua busca por conhecimento e inovação. O retorno à Lua não é apenas uma jornada de descoberta científica, mas também um passo em direção a novas fronteiras na exploração espacial e na cooperação internacional.

3.1 Descoberta de água na Lua

A descoberta de água na Lua representa um marco significativo na exploração espacial, com profundas implicações para futuras missões lunares e a possibilidade de colonização humana fora da Terra. A seguir, será apresentado um cronograma das principais missões que contribuíram para a descoberta de água na Lua, destacando os avanços tecnológicos e metodológicos que permitiram tais descobertas, bem como discutir as implicações dessas descobertas para futuras explorações.

Em 1994, a missão Clementine, operada pela NASA, forneceu as primeiras evidências indiretas de água congelada em crateras permanentemente sombreadas nos polos lunares, através de leituras de radar. Essa descoberta inicial sugeriu a possibilidade de reservatórios de água em regiões lunares inexploradas. Posteriormente, em 1998, a missão Lunar Prospector, também da NASA, fortaleceu a hipótese da existência de água gelada nos polos da Lua ao detectar um excesso de hidrogênio nas regiões polares, um indicador potencial da presença de água congelada (NASA, 2024).

A missão Chandrayaan-1, lançada pela Organização Indiana de Pesquisa Espacial (ISRO) em 2008, marcou um avanço significativo na busca por água na Lua ao descobrir, de forma direta, moléculas de água na superfície lunar. Utilizando o instrumento Moon Mineralogy Mapper (M³), fornecido pela NASA, a Chandrayaan-1 mapeou a distribuição de minerais hidratados na Lua, fornecendo evidências concretas da presença de água. Em 2009,

a missão Lunar Crater Observation and Sensing Satellite (LCROSS), da NASA, confirmou a presença de água gelada e vapor ao analisar a pluma gerada pelo impacto controlado do estágio superior do foguete Centauro na cratera Cabeus. Essa missão foi crucial para validar a existência de água em forma de gelo nas regiões permanentemente sombreadas dos polos lunares (NASA, 2024).

Em 2018, o Stratospheric Observatory for Infrared Astronomy (SOFIA), da NASA, detectou moléculas de água (H₂O) no regolito lunar na região iluminada pelo Sol. Esse achado foi significativo porque sugeriu que a água pode estar mais amplamente distribuída pela superfície lunar do que se pensava anteriormente, não limitada apenas a regiões frias e sombreadas. E por fim, em 2020, a missão chinesa Chang'e-5, foi a quinta de uma série de missões que visam estabelecer as bases para futuros pousos humanos na superfície da Lua e tinha como objetivo coletar e devolver amostras de rocha e solo lunar à Terra, pela primeira vez, em 40 anos, fornecendo uma oportunidade única para análise direta. Antes da Chang'e 5, havia fortes evidências da presença de água na Lua, principalmente, em regiões permanentemente sombreadas perto dos polos lunares, onde a água poderia existir na forma de gelo. No entanto, as amostras da Chang'e 5 permitiram aos cientistas confirmar a presença de água nas rochas e no solo lunar coletados de uma área que não está permanentemente sombreada (PLANETARY SOCIETY, 2022).

Essas descobertas transformaram o entendimento sobre a Lua, indicando a existência de moléculas de água em toda a superfície lunar. A presença de água na Lua tem implicações significativas para futuras missões de exploração e colonização, oferecendo uma potencial fonte de água e oxigênio para suporte à vida e, principalmente, produção de combustível para foguetes, reduzindo a dependência de recursos terrestres. A evolução das descobertas de água na Lua destaca o progresso da tecnologia espacial e a importância da colaboração internacional na exploração espacial (REUTERS, 2023).

3.2 Hélio-3

Conhecido como o combustível do futuro, o Hélio-3 (He-3) consiste em um isótopo do hélio caracterizado por possuir dois prótons e um único nêutron em seu núcleo, e tem sido amplamente reconhecido por seu potencial revolucionário como uma fonte de energia. Sua existência foi proposta pela primeira vez em 1934 pelo físico nuclear australiano Mark Oliphant (OLIPHANT; HARTECK; RUTHERFORD, 1934), mas apenas nas últimas décadas a comunidade científica começou a explorar seu vasto potencial energético. Esse interesse crescente está ancorado no processo de fusão nuclear que, ao contrário da fissão nuclear,

promete uma produção de energia substancialmente mais segura, sem gerar resíduos nucleares de longa duração.

No entanto, apesar das vantagens significativas em termos de segurança e sustentabilidade, a fusão nuclear enfrenta desafios práticos, permanecendo predominantemente no âmbito experimental. A utilização do Hélio-3 como combustível na fusão nuclear destaca-se por seu processo aneutrônico, que não produz nêutrons e, conseqüentemente, evita a criação de subprodutos radioativos. Esta característica notável torna o Hélio-3 um candidato ideal para avançar em direção à geração de energia limpa e potente (JORNAL DA USP, 2022).

Apesar das promessas do Hélio-3, sua aplicação prática é limitada pela raridade do isótopo na Terra, contrastando com sua abundância na Lua. Tal discrepância é resultado da exposição prolongada da Lua aos ventos solares, que depositaram Hélio-3 em sua superfície ao longo de bilhões de anos. A ausência de atmosfera e campo magnético na Lua facilitou este processo, ao passo que na Terra, estes mesmos fatores atuaram como um escudo protetor, impedindo a acumulação do isótopo. Estima-se que a abundância seja tal que um pedaço de solo lunar com área de dois quilômetros quadrados e profundidade de três metros contenha 100 quilos de hélio-3 (FLÓRIO, 2016).

Harrison Schmitt, astronauta da Apollo 17 e geólogo, destaca a energia como elemento central da nova corrida espacial, caracterizada pela participação de países em desenvolvimento e pela iniciativa privada. A exploração do Hélio-3 poderia oferecer uma resposta sustentável às crescentes demandas energéticas globais, especialmente para nações dependentes de fontes poluentes, como a China, para qual 3/4 da energia consumida são obtidas de usinas de carvão com expectativa que nos próximos 50 anos aumente em quatro vezes (SCHMITT, 2006) e, apenas 40 gramas de hélio-3 substituem cinco mil toneladas de carvão em termos de energia (FLÓRIO, 2016).

Contudo, a viabilidade econômica da energia de fusão do Hélio-3 permanece uma questão aberta, exigindo inovações que reduzam significativamente os custos associados. Um grande desafio identificado é a necessidade de reduzir drasticamente os custos de envio de foguetes da Terra para a Lua, em comparação com os custos atuais suportados, permanecendo questionável o interesse em investir em fontes de energia cujo combustível necessite ser transportado da Lua por foguetes ao longo dos anos (JORNAL DA USP, 2022).

No entanto, a iniciativa privada tem desempenhado um papel crucial nesse aspecto, impulsionando o desenvolvimento de tecnologias mais acessíveis para a exploração espacial, evidenciado por expoentes como a SpaceX, Blue Origin, e outros, como demonstra

competições como o Lunar X-Prize (um prêmio de 30 milhões de dólares oferecido pela Google para desenvolvimento de tecnologia de exploração espacial mais barata) e revelam o crescente envolvimento de empresas privadas no setor, prometendo acelerar o avanço em direção a soluções inovadoras e econômicas para a exploração do Hélio-3 e outros recursos lunares (FLÓRIO, 2016).

Portanto, a exploração do Hélio-3 na Lua não apenas oferece uma perspectiva fascinante para a produção de energia limpa, mas também simboliza um marco potencial na jornada da humanidade no espaço, condicionada pelo desenvolvimento tecnológico e pela colaboração entre nações e também com o setor privado.

3.3 Tirania da Equação do Foguete

O título dessa seção remete a um termo frequentemente utilizado para descrever um princípio fundamental da física que governa a propulsão de foguetes. Essa "tirania" refere-se ao fato de que, para alcançar velocidades maiores no espaço, é necessário carregar uma quantidade massiva de combustível. A ideia é derivada da chamada "Equação do Foguete de Tsiolkovsky", desenvolvida pelo cientista no início do século XX (ESA, 2012), ilustrando que, paradoxalmente, é mais desafiador, do ponto de vista energético, levar um foguete da superfície terrestre à órbita da Terra do que partir da órbita terrestre em direção à Lua, apesar de a distância para este último trajeto ser quase dez vezes maior que a primeira (NASA, 2012).

O desafio reside no fato de que a Terra constitui a principal barreira para o acesso ao espaço. Donald Pettit, engenheiro químico e ex-astronauta da NASA explica que devido à sua gravidade, para alcançar a órbita, é necessário atingir velocidades aproximadas de 28 mil quilômetros por hora, o que demanda um consumo significativo de combustível. Sendo assim, somente para vencer a gravidade e chegar em órbita, situada a cerca de 400 quilômetros de altitude, se faz necessário mais da metade da energia total utilizada para alcançar Marte. Um exemplo do tamanho desse desafio se mostra no fato de que caso a Terra fosse 50% maior não haveria programa espacial capaz de tirar foguetes da Terra com a tecnologia atual (NASA, 2012).

A tecnologia atual dos foguetes utiliza a queima dos combustíveis para gerar energia, mas aqui entra a parte difícil: quanto mais combustível é adicionado a um foguete para aumentar sua velocidade, isso também aumenta a massa total que o foguete precisa impulsionar. Isso cria um ciclo em que a adição de mais combustível exige, paradoxalmente, ainda mais combustível para compensar o aumento de peso. Esse ciclo de adicionar

combustível para carregar o próprio combustível adicional é o que estabelece aquela tirania. Esse fenômeno faz com que, na prática, a maior parte da estrutura de um foguete seja dedicada ao combustível, deixando apenas uma pequena fração para a carga útil que ele pode transportar. Este é um dos maiores obstáculos técnicos na exploração espacial, limitando a quantidade de equipamentos, suprimentos e tripulação que podem ser enviados ao espaço, de modo que se torna extremamente caro e difícil transportar grandes quantidades (NEW SPACE ECONOMY, 2023).

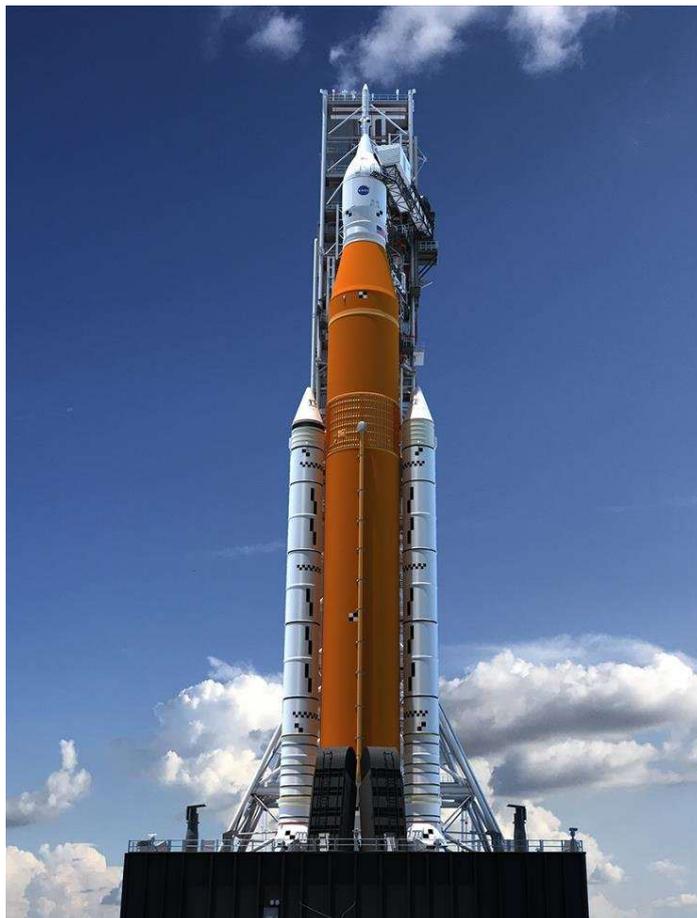
Comparativamente, veículos de transporte convencionais, como automóveis e embarcações, dedicam uma fração consideravelmente menor de sua massa total ao combustível. Enquanto que esses veículos dedicam por volta de 3 a 4% ao combustível, os foguetes, como o Saturno V, que levou o homem à Lua, utilizou aproximadamente 85% de sua massa para combustível. Dos 15% restantes, aproximadamente 11% correspondiam a estrutura do foguete, (SCIENTIFIC AMERICAN, 2020) deixando apenas uma pequena porcentagem para carga útil trazendo um custo de transporte de aproximadamente US\$5.400 por quilo (SCOLES, 2022).

Figura 14: Réplica do foguete Saturno V no U.S. Space & Rocket Center em Huntsville, Alabama.



Já o Space Launch System (SLS) da NASA, planejado para a missão Artemis, de 2025, com o objetivo de retornar humanos à Lua, segue essa tendência. Com um peso total de 2,7 milhões de quilos, reserva mais de 2,3 milhões desses quilos para hidrogênio líquido, seu combustível, a mesma proporção de seu antecessor, porém com um custo de transporte dez vezes maior (US\$58.000 por quilo) (SCOLES, 2022).

Figura 15: Space Launch System (SLS), o foguete que levará os humanos de volta à Lua.



Fonte: www.researchgate.net/figure/Artists-depiction-of-NASAs-Space-Launch-System-SLS-launch-vehicle-the-Orion-crew_fig1_330117843 Acesso: Fev/2024

Em 2024, ocorreu a terceira tentativa de lançamento, após duas tentativas falhas no ano anterior, da Starship, o maior e mais potente foguete da história, da Space X, que promete ser reutilizável, com capacidade de até 100 tripulantes e com um custo por carga útil de apenas US\$10 por quilo, devido a sua estratégia única de reabastecimento no espaço. O potencial do Starship ainda não é uma realidade, dado que apesar desta última tentativa ter atingido as velocidades orbitais pretendidas pela primeira vez, o foguete foi destruído na reentrada na atmosfera, não havendo ainda uma tentativa de sucesso. Contudo, apresenta

grandes expectativas para um futuro mais acessível e promissor na logística das viagens espaciais (SCOLES, 2022).

Figura 16: O Starship da SpaceX.



Fonte: www.oglobo.globo.com/mundo/noticia/2023/04/spacex-tem-lancamento-adiado-devido-a-valvula-de-pressurizacao-supostamente-congelada.ghtml Acesso: Fev/2024

A humanidade já opera praticamente no limite tecnológico do que a engenharia aeroespacial é capaz de proporcionar. Qualquer tipo de mudança e modificações no que tange os foguetes exigem anos de testes e pesquisas para a base de conhecimento necessária. Contudo, emerge uma alternativa promissora: a utilização da Lua como plataforma de lançamento para futuras missões espaciais. A gravidade significativamente menor da Lua e a ausência de atmosfera solucionam o dilema anteriormente exposto e oferecem um cenário ideal para o lançamento e até construção de foguetes. A economia de energia necessária para missões a partir da Lua, comparativamente à Terra, é tão substancial que uma missão a Marte demandaria aproximadamente metade da energia. Este benefício, derivado da facilidade em escapar da influência gravitacional lunar, possibilitaria que fosse transportada mais carga útil com a mesma quantidade de combustível (MIT, 2015).

A utilização da Lua como plataforma de lançamento, para missões espaciais pode ser um elemento-chave para a futura construção de uma colônia habitável em Marte no futuro, reduzindo significativamente o número de viagens necessárias para transportar os materiais

requeridos para a construção de infraestrutura, acelerando o processo de estabelecimento de presença humana sustentável no planeta vizinho. Este avanço representa um marco potencialmente transformador, estabelecendo a colonização lunar como passo preliminar necessário para transformar a humanidade numa civilização interplanetária.

3.4 Turismo Espacial

É impossível dizer exatamente quando pessoas comuns irão poder visitar a Lua, mas estimativas apontam que, ainda neste século, isso pode acontecer. Wendy N. Whitman Cobb, professora de Estudos de Estratégia e Segurança da Escola de Estudos Avançados do Ar e do Espaço (SAASS) da Força Aérea dos EUA acredita que, apesar dos custos de lançamento estarem caindo significativamente, trata-se ainda de uma empreitada muito cara e que envolve muitos riscos. De modo geral, no curto prazo, apenas astronautas apoiados pelas agências estatais e entusiastas com muito capital acumulado teriam acesso à essa viagem (UOL, 2021). Já existem algumas empresas privadas que oferecem voos espaciais. Esse é um mercado em expansão e que também desencadeou uma espécie de corrida mercadológica. Cada vez mais outras empresas entram no setor do turismo espacial, como é o caso da Blue Origin, da Virgin Galactic e da SpaceX. Enquanto as duas primeiras ainda enfocam voos suborbitais, a segunda, que não foi criada com o propósito de turismo, gradativamente abraça esse ramo.

Nesse sentido, a SpaceX planeja fazer voos para a Lua por entre 70 e 100 milhões de dólares por passageiro. O fundador da empresa, Elon Musk, anunciou suas intenções de enviar dois clientes pagantes em uma viagem ao redor da Lua em uma missão inaugural de turismo lunar. Ainda que não seja definitivamente uma viagem que pouse na Lua, já é o primeiro passo para tal (NATIONAL GEOGRAPHIC, 2023). Nesses dois voos previstos para a Lua, o primeiro é a *dearMoon*, com o empresário japonês Yusaku Maezawa, de 46 anos, que viajará acompanhado do DJ Steve Aoki, do rapper sul-coreano T.O.P e de outros artistas. Maezawa é o fundador da Zozotown, maior loja online de roupas do Japão e tem fortuna de US\$1,5 bilhão. O plano de voo da *dearMoon* indica que a nave Starship ficará alguns minutos na órbita terrestre até iniciar um procedimento em direção à Lua, etapa que levará mais de dois dias. A volta em torno do satélite vai durar mais um dia e, então, a espaçonave retornará à Terra em cerca de dois dias (DEARMOON, 2021).

A segunda, ainda sem nome, com o empresário americano Dennis Tito, de 82 anos, e sua esposa Akiko Tito, 57, investidora no ramo imobiliário. Em 2001, Dennis pagou US\$20 milhões e se tornou o primeiro turista a visitar a Estação Espacial Internacional a bordo da

nave russa Soyuz TM-32 rumo à Estação Espacial Internacional, onde ficou oito dias em órbita, como membro da missão ISS EP-1, o que motivou Yusaku Maezawa, em 2021, a repetir o feito a bordo da mesma nave, ficando 12 dias na Estação Espacial Internacional (G1, 2022).

Além da parte financeira e da parte tecnológica, alguns outros desafios precisam ser superados para que as visitas se tornem possíveis e frequentes para presenciarmos mais um capítulo emocionante na história dos homens e das mulheres que sonham em desbravar o universo. Assim como na história da aviação em que, inicialmente, o voo era inacessível à grande parte da população e experiência de luxo a alguns indivíduos, o turismo espacial caminha da mesma forma. O interesse é nítido e, antes mesmo de ser possível, já há pessoas se mobilizando e garantindo o pioneirismo nesse turismo. Graças ao espírito aventureiro do ser humano, talvez será possível um dia ir para outros planetas, como Marte. E é por isso que, primeiro, é importante voltar para a Lua. Ela será o grande porto de partida para as próximas etapas da exploração espacial.

3.5 Direto Espacial

A conquista da Lua tem sido um marco significativo na história da exploração espacial, mas sua importância vai além da simples realização científica e tecnológica. Com o interesse renovado na exploração lunar, uma questão fundamental emerge: será que quem chegar primeiro à lua adquire automaticamente o direito de explorar seus recursos? À medida que agências espaciais e empresas privadas planejam missões lunares e projetos de mineração espacial, torna-se crucial explorar e entender os princípios legais que regem a exploração da Lua. Sendo assim, se faz necessário analisar criticamente essas questões, examinando os tratados existentes, os desafios enfrentados e as possíveis soluções para garantir uma exploração lunar pacífica, sustentável e equitativa.

O Direito Espacial é regido pelas regras, princípios e padrões do Direito Internacional propostos nos cinco tratados que estabelecem os princípios para a exploração do espaço exterior e que foram elaborados sob a supervisão das Nações Unidas que são: Tratado do Espaço Exterior (1967); Acordo sobre o Resgate de Astronautas; o Retorno dos Astronautas e o Retorno de Objetos Lançados no espaço sideral (1967); Convenção sobre Responsabilidade Internacional por Danos Causados por Objetos Espaciais (1972); Convenção sobre o registro de objetos lançados no espaço sideral (1976) e Tratado da Lua (1979). A exceção do Tratado da Lua, do qual apenas 18 nações são signatárias, todos os outros tratados sobre leis espaciais foram ratificados pela maioria das grandes nações que fazem viagens espaciais. O Comitê das

Nações Unidas para o Uso Pacífico do Espaço Exterior (COPUOS) coordena esses tratados e outras questões de jurisdição espacial, auxiliado pelo Escritório da ONU para Assuntos do Espaço Exterior (UNOOSA, 2008).

3.5.1 Tratado do Espaço Exterior

O Tratado do Espaço Exterior, também conhecido como Tratado do Espaço Sideral, representa um marco fundamental na legislação espacial internacional. Este tratado multilateral estabelece os princípios que regem as atividades dos Estados na exploração e uso do espaço exterior, incluindo a Lua e outros corpos celestes. Baseando-se fortemente no Tratado da Antártida de 1961, o Tratado do Espaço Exterior também se concentra na regulação de certas atividades e na prevenção da concorrência irrestrita que poderia levar a conflitos (U.S. DEPARTMENT OF STATE, 2017).

A Assembleia Geral da ONU aprovou o tratado em dezembro de 1966, sendo aberto para assinatura nos EUA, União Soviética e Reino Unido e entrando em vigor em outubro de 1967. Desde sua assinatura, em janeiro de 1967, ele serve como base legal para a exploração pacífica e sustentável do espaço (JORNAL DA USP, 2023).

Figura 17: A assinatura do Tratado do Espaço Exterior no escritório das Nações Unidas em Washington.



Fonte: <https://www.thespacereview.com/article/3155/1> Acesso: Fev/2024

O contexto que antecedeu à elaboração do Tratado do Espaço Exterior, na década de 1950, foram avanços significativos na tecnologia de mísseis balísticos intercontinentais, despertando preocupações sobre o uso do espaço para fins militares. O lançamento do Sputnik pela União Soviética, em 1957, intensificou ainda mais essas preocupações,

desencadeando uma corrida armamentista com os Estados Unidos concomitantemente à necessidade regulamentação das atividades espaciais (MONTSERRAT; SALIN, 2003).

Para conter a militarização do espaço, a Assembleia Geral da ONU aprovou duas resoluções em 1963, a resolução 1884, proibindo a introdução de armas de destruição em massa no espaço, e a resolução 1962, que garantia o uso pacífico da Lua e outros corpos celestes e a prevenção da apropriação nacional do espaço sideral, estabelecendo princípios jurídicos sobre a exploração do espaço exterior, e estipulando o direito de explorar e utilizar livremente o espaço a todos os países. Esse impulso culminou na redação e adoção do Tratado do Espaço Exterior em janeiro de 1967 (ZANDONÁ, 2023).

No entanto, apesar de suas disposições abrangentes, o Tratado do Espaço Exterior enfrenta desafios em sua implementação e interpretação. Enquanto proíbe explicitamente a instalação de armas de destruição em massa no espaço, não é clara sua posição sobre atividades militares convencionais, que permanecem ambíguas. Além disso, o crescente interesse na mineração lunar, de asteroides e até na colonização de Marte levantou questões sobre a aplicabilidade do tratado a novas atividades espaciais, de modo que o Tratado, que não é atualizado há mais de 50 anos, está ultrapassado (CNN, 2022).

Apesar desses desafios, o Tratado do Espaço Exterior continua sendo o principal instrumento jurídico internacional no campo da legislação espacial. Sua importância como base na governança do espaço é factual, refletida em iniciativas multilaterais como a Estação Espacial Internacional. À medida que o interesse na exploração espacial cresce, a necessidade de atualizar e interpretar adequadamente o tratado se torna cada vez mais premente, garantindo, assim, um ambiente seguro e cooperativo para a exploração futura do espaço.

3.5.2 Acordo da Lua

O Tratado da Lua, também conhecido como Acordo da Lua, assinado em dezembro de 1979 foi adotado pela Assembleia Geral da ONU na resolução 34/68. Ele estabelece obrigações cruciais para os Estados-Parte, sendo um marco multilateral que transfere a jurisdição sobre todos os corpos celestes, como a Lua, Marte e asteroides, e suas órbitas, para os países participantes. Assim, visando garantir que todas as atividades espaciais estejam em conformidade com o direito internacional, incluindo os princípios estabelecidos na Carta das Nações Unidas e prevê a necessidade de estabelecer um regime internacional para regular a exploração dos recursos naturais da Lua quando esta exploração se tornar possível (UNOOSA, 1979).

Complementando o Tratado do Espaço Exterior, ele confirma a desmilitarização da Lua e de outros corpos celestes, proibindo o uso da força ou qualquer ação hostil na Lua, reservando-a para atividades pacíficas. Além disso, veta a instalação de bases militares, testes de armas e manobras militares na Lua, mas permite o seu uso para fins científicos pacíficos e não proíbe o uso de equipamentos para exploração lunar pacífica. Dessa forma, os Estados Partes se comprometem a informar sobre suas atividades lunares, enquanto a Lua e seus recursos são considerados patrimônio comum da humanidade, não sujeitos à apropriação nacional (NTI, 2023).

Cada Estado-Parte pode garantir a compatibilidade das atividades lunares dos outros Estados-Parte, e qualquer Estado pode solicitar consultas se suspeitar de não conformidade com o Acordo. Tais consultas visam resolver disputas de forma mutuamente aceitável, protegendo os direitos e interesses de todos os Estados-Parte, com relatórios ao Secretário-Geral da ONU sobre os resultados. (NTI, 2023) No entanto, desde sua criação, o tratado enfrenta desafios significativos em sua eficácia e aplicação. Notavelmente, grandes potências espaciais, como os Estados Unidos, a Rússia e a China, não ratificaram o tratado, minando sua relevância no cenário internacional (REYNOLDS, 1995). Em março de 2024, apenas 18 Estados ratificaram o tratado (UNTC 2024).

A ausência de um acordo de implementação que aborda questões fundamentais não resolvidas, como a definição de patrimônio comum da humanidade e a regulamentação da mineração espacial, têm deixado o Tratado da Lua incompleto e dificultado o alcance de um consenso entre os Estados-Parte, comprometendo sua eficácia e levantando dúvidas sobre a aplicabilidade do tratado em um contexto contemporâneo de crescente interesse na exploração espacial comercial, especialmente em comparação com os Acordos Artemis, que operam como um compromisso político não-vinculativo, operacionalizando as bases do direito espacial internacional (MCGILL, 2023).

Antes de janeiro de 2023, nenhum Estado tinha se retirado de qualquer um dos cinco tratados das Nações Unidas sobre atividades relacionadas com o espaço, até a Arábia Saudita notificar sua saída do Acordo da Lua menos de seis meses depois de terem assinado os Acordos Artemis, uma grande perda dado o promissor programa espacial do país, e que levanta questões sobre o futuro do Acordo da Lua que, desde sua abertura em 1979, atraiu apenas 18 adeptos, em contraste com os 24 signatários dos Acordos Artemis em três meses. Isso destaca as diferenças entre os quadros legais dos dois Acordos, especialmente no que diz respeito à extração e utilização de recursos espaciais. Enquanto o Acordo da Lua exige o

estabelecimento de um regime internacional antes da extração de recursos, os Acordos Artemis representam um quadro não-vinculativo para a exploração lunar (MCGILL, 2023).

Embora os Acordos Artemis ofereçam flexibilidade política, sua omissão em relação ao Acordo da Lua sugere uma falta de harmonia entre eles. A retirada da Arábia Saudita e as ações pendentes de outros signatários, como a Índia e a França, destacam a crescente preferência dos Estados por medidas não-vinculativas. No entanto, é importante reconhecer que os instrumentos não-vinculativos podem ser um trampolim para o desenvolvimento de tratados vinculativos. Assim como o Tratado do Espaço Exterior evoluiu a partir de resoluções não vinculativas, os Acordos Artemis podem eventualmente levar a um tratado multilateral vinculativo (MCGILL, 2023).

3.5.3 Acordos Artemis

Os Acordos Artemis representam um conjunto de declarações que estabelecem princípios comuns, diretrizes e melhores práticas para a exploração segura da Lua e, eventualmente, de Marte, à medida que a humanidade estenda suas missões espaciais para além da órbita terrestre. Co-Liderados pela NASA e Departamento de Estado dos EUA, esses acordos são fundamentais para o sucesso do programa Artemis, que busca retornar os seres humanos à Lua e, posteriormente, explorar Marte e, na perspectiva americana, tais parcerias internacionais com diversos países e empresas privadas são essenciais para atingir os seus objetivos. O objetivo principal dos Acordos Artemis, é estabelecer um conjunto comum de princípios para garantir que as missões inseridas no escopo do programa Artemis sejam conduzidas de maneira responsável (NASA, 2024).

Figura 18: Representantes dos países que assinaram os Acordos Artemis no Congresso Astronáutico Internacional em Paris.



Fonte: <https://spacenews.com/artemis-accords-signatories-hold-first-meeting/> Acesso: Mar/2024

O princípio fundamental dos Acordos é reforçar a importância do cumprimento do Tratado do Espaço Exterior de 1967, bem como de outros acordos e políticas espaciais relevantes, como o Acordo de Resgate e Retorno de 1968, a Convenção de Responsabilidade de 1972 e a Convenção de Registro de 1975. Em termos de abrangência, os Acordos Artemis aplicam-se a atividades realizadas em órbita, na superfície e na subsuperfície da Lua, de Marte, por cometas e asteroides e também a objetos em trânsito entre esses corpos celestes e locais (SPACE, 2024).

Os Acordos Artemis estão sendo implementados como uma série de acordos bilaterais entre os Estados Unidos e outros países, o que tem sido uma tendência na legislação espacial, uma vez que permite avanços mais rápidos do que se a NASA buscasse um acordo multilateral sob a égide das Nações Unidas. Esse enfoque permite que a NASA aja rapidamente, ao mesmo tempo em que atrai parceiros internacionais e comerciais. Paralelos são traçados com o desenvolvimento de regulamentos internacionais para a aviação civil, que começou com acordos bilaterais entre os Estados Unidos e o Reino Unido e foram posteriormente adotados por outras nações. A natureza bilateral dos Acordos Artemis, no entanto, apresenta restrições, como a impossibilidade de cooperação bilateral com a China devido a leis federais, como a "Emenda Wolf" (MARSHALL, 2023).

Atualmente, 36 países assinaram os Acordos Artemis, incluindo os Estados Unidos, o Reino Unido, o Japão, a Índia, o Canadá e o Brasil. Entretanto, as principais nações, além dos Estados Unidos, envolvidas na problemática do direito espacial, China e Rússia, não fazem parte do acordo, o que levanta, novamente, a ineficácia da iniciativa dado que, a área potencialmente de maior conflito seria pela extração de recursos na Lua e, ainda que os Acordos Artemis estabeleçam que as nações não obtêm direitos de propriedade sobre os materiais extraídos na Lua, esses acordos permanecem sendo não juridicamente vinculativos e constituem apenas um entendimento formalizado entre as partes do acordo (HARVARD INTERNATIONAL REVIEW, 2023).

Para lidar com esse problema, os Acordos estabelecem "zonas de segurança" com áreas que podem ser estabelecidas entre países e que podem ser encerradas quando cessarem as operações relevantes, assim, sem interferências de outras nações. Entretanto, o acordo não prevê um mecanismo claro para designar territórios, o que levanta impasses no que tange a equidade na distribuição de recursos. Além disso, embora os Acordos Artemis pretendam servir como um importante mediador entre os intervenientes estatais, os acordos carecem de

um mecanismo de aplicação para intervenientes não estatais que tenham as suas próprias intenções e interesses (HARVARD INTERNATIONAL REVIEW, 2023).

Os acordos também sofreram muitas críticas, sobretudo, provenientes da China e Rússia por serem supostamente muito centrados nos interesses comerciais dos EUA e, possivelmente, conduzirem a resultados pouco ideais para outras nações (THE DIPLOMAT, 2020). Em 2020, Dmitry Rogozin, que à época ocupava a posição de chefe da Roscosmos, a agência espacial russa, expressou uma visão crítica em relação aos Acordos Artemis, comparando-os a uma "invasão" da Lua. Esta comparação foi feita em paralelo às invasões do Afeganistão e do Iraque, sugerindo uma percepção de que tais acordos representavam uma forma de dominação ou controle sobre a exploração lunar (MARSHALL, 2023).

A fronteira final não funcionará, necessariamente, como um pacificador final. O conflito entre os Estados Unidos, Rússia e China pode não ficar confinado à Terra e pode se alastrar para o espaço exterior, ainda que de forma semelhante à Guerra Fria, através de influência e busca por poder, de modo que o futuro da cooperação espacial internacional pode depender da alteração dos Acordos Artemis, do Tratado da Lua, ou da elaboração de um acordo totalmente novo.

Diante disso, torna-se evidente que o papel da Lua na exploração espacial contemporânea diverge significativamente de sua função durante o século XX, que, àquela época, simbolizava um palco para a disputa ideológica que marcava a corrida espacial da Guerra Fria, sem uma utilidade prática de fato.

Atualmente, o foco se deslocou para a exploração dos recursos lunares, com a descoberta de água e hélio-3, despertando um interesse comercial entre as nações. Esses recursos são vistos como fundamentais para estabelecer uma presença humana de longo prazo na Lua, aproveitando os benefícios práticos que o ambiente lunar tem a oferecer como um ponto de partida vital para as missões de exploração do espaço profundo, proporcionando um local estratégico para a produção de combustível para foguetes a partir da água e servindo como uma estação de reabastecimento e lançamento, aproveitando sua baixa gravidade para facilitar as viagens espaciais.

A corrida espacial do século XXI parece ter como grande objetivo o planeta Marte, um destino ainda não alcançado por nenhuma nação. No entanto, a Lua desempenha um papel crucial neste processo, servindo como um campo de testes essencial antes de enfrentar os desafios ainda maiores que Marte apresenta, tanto do ponto de vista científico quanto logístico.

Contudo, a exploração lunar enfrenta desafios no âmbito do direito internacional, dada a falta de uma resolução clara e atualizada. O Tratado do Espaço Exterior, que não é atualizado há mais de cinco décadas, e o fracasso em avançar com o Tratado da Lua, juntamente com as limitações dos Acordos Artemis, que não incluem atores fundamentais como China e Rússia e carecem de vinculação legal e clareza sobre a utilização de recursos, destacam a necessidade de uma nova estrutura legal para a exploração espacial.

Portanto, a Lua mantém sua relevância no cenário da exploração espacial do século XXI, mas agora sob uma ótica operacional e prática. As nações estão cada vez mais focadas em utilizar a Lua de maneira pragmática, buscando estabelecer uma presença sustentável e explorar suas vastas possibilidades para o avanço da humanidade no espaço. Este objetivo é possibilitado pelo crescimento e avanço dos vários programas espaciais nacionais e até a entrada do setor privado na exploração espacial, para cuja nova dinâmica dirigimos agora a nossa atenção.

4 A DINÂMICA DA EXPLORAÇÃO ESPACIAL NO SÉCULO XXI

A nova corrida espacial do século XXI difere da original, que ocorreu durante a Guerra Fria entre os Estados Unidos e a União Soviética, e amplia as complexidades da geopolítica devido à natureza única da exploração espacial. Atualmente, ela envolve não apenas nações, mas conta com o crescente envolvimento de entidades não-estatais, com objetivos que vão muito além da simples demonstração de supremacia tecnológica e poder, muito menos uma disputa ideológica. As metas agora incluem a exploração sustentável do espaço, a habitação humana prolongada fora da Terra e até a comercialização do espaço. Ao invés de uma divisão clara em blocos de influência, a dinâmica atual é menos binária e mais multifacetada, caracterizada por uma rede complexa de sobreposições de cooperação e competição (MARSHALL, 2023).

Tendo isso em vista, a exploração espacial contemporânea é marcada por um alto grau de cooperação internacional. Projetos como a Estação Espacial Internacional (ISS) demonstram colaboração entre várias nações, incluindo os Estados Unidos, Rússia, membros da ESA (Agência Espacial Europeia), Japão e Canadá. Essas parcerias refletem um reconhecimento da necessidade de compartilhar conhecimento, recursos e custos para alcançar objetivos ambiciosos no espaço (SHEEHAN, 2007).

Figura 19: A Estação Espacial Internacional (ISS).



Fonte: www.nasa.gov/international-space-station/ Acesso em: Mar/2024

Paralelamente à cooperação, existe uma competição estratégica, particularmente visível entre as nações que lideram a exploração do espaço: os EUA, a Rússia e, mais recentemente, a China, que está rapidamente expandindo suas capacidades espaciais, com o objetivo de se estabelecer como uma superpotência espacial, o que motivou os EUA a acelerar seus próprios planos, como visto no Programa Artemis e na renovação do interesse em parceiros comerciais e internacionais. Esta competição é motivada por prestígio nacional, benefícios militares e econômicos e o desejo de garantir uma presença influente na órbita terrestre e além. Observa-se que, dessa vez, diferentemente da segunda metade do século XX, na Guerra Fria, agora, a Lua se apresenta não como o objetivo final, mas etapa fundamental para a verdadeira corrida deste século, que se dará em direção a Marte, o próximo desafio da humanidade na exploração espacial, prêmio ainda não alcançado por nenhuma nação (PYLE, 2019).

4.1 Guerra da Ucrânia e suas implicações

Historicamente, após o fim da corrida espacial no século XX, EUA e Rússia se estabeleceram como aliados na exploração do espaço e na liderança cooperativa da operação da Estação Espacial Internacional, que se deu ao longo de 20 anos. Entretanto, isso mudou recentemente devido ao tensionamento nas relações entre os países por decorrência da Guerra da Ucrânia, que traz consigo uma série de ramificações na dinâmica espacial. Como resposta à anexação da Crimeia pela Rússia em 2014 e seu envolvimento contínuo no conflito até o ápice com a invasão da Ucrânia, os Estados Unidos e seus aliados impuseram uma série de sanções econômicas à Rússia. Essas sanções afetaram não apenas a economia russa, mas também restringiram o acesso a tecnologias e recursos essenciais para seu programa espacial (MARSHALL, 2023).

As reações por parte da Rússia, especialmente do diretor-geral da Roscosmos, Dmitry Rogozin, indicavam uma ruptura após décadas de cooperação espacial, sugerindo a retirada da presença da Roscosmos da ISS após 2024, ano que vence o acordo, ainda que a NASA tenha intenções de manter a ISS operacional até 2030 (BBC, 2022). Posteriormente, Yuri Borisov, nomeado para substituir Rogozin após 2022, estendeu a permanência da agência na estação até 2028, alegando que esse prazo permitirá implementar um projeto de estação orbital independente. (UOL, 2023) Além da cooperação contínua na ISS ao longo dos anos, outros projetos conjuntos, também foram afetados e interrompidos. Um exemplo disso é a dependência dos Estados Unidos dos foguetes Soyuz russos desde o encerramento do

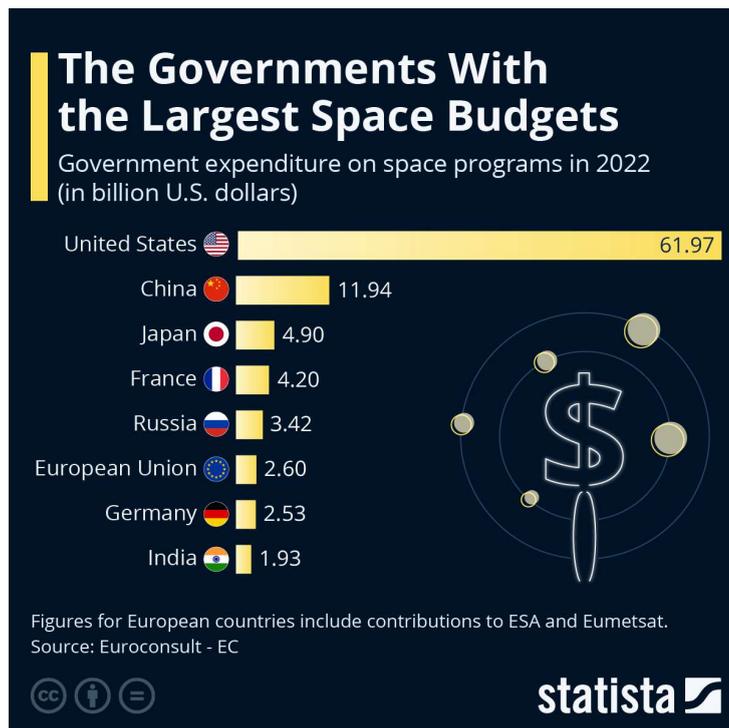
programa Space Shuttle, em 2011, que se tornaram a única opção para transportar astronautas para a ISS (MARSHALL, 2023).

Por outro lado, a Agência Espacial Europeia (ESA) fez um pronunciamento em março de 2022, comunicando total alinhamento com as sanções impostas à Rússia pelos seus Estados-membros, ainda que reconheça o impacto da mesma na exploração científica do espaço (ESA, 2022). Diante disso, vários acordos entre Roscosmos e a ESA passaram a ser congelados ou suspensos desde o início da guerra. O principal deles foi o projeto Mars Rover, que contaria com o lançamento de um astromóvel europeu em Marte, a partir de um foguete russo, e foi suspenso indefinidamente pela ESA (ESA, 2022). A Roscosmos, por sua vez, retaliou descontinuando um acordo com a ESA para operações conjuntas de lançamento do Centro Espacial da Guiana, que, até aquele momento, havia resultado em pelo menos 25 satélites europeus sendo colocados em órbita por foguetes russos Soyuz desde 2011, evidenciando as consequências negativas para projetos espaciais futuros que poderiam se beneficiar da cooperação entre os países (ESA, 2022).

4.2 Principais agências envolvidas na exploração da Lua

Além dos Estados Unidos, China e Rússia, outros países e entidades privadas desempenham papéis significativos na nova dinâmica da exploração espacial. Nesta seção, serão avaliadas as principais missões e programas espaciais com foco na Lua desde o início do século XXI até o presente e futuro anunciados. Esses esforços demonstram o renovado interesse e atividade em explorar e utilizar nosso satélite natural como parte das ambições espaciais globais. Inicialmente, para uma compreensão mais aprofundada do cenário atual, é válido realizar uma análise comparativa dos orçamentos das principais agências espaciais. Isso permitirá identificar quais países estão direcionando esforços significativos e financeiros para avançar em suas capacidades de exploração e tecnologia espacial.

Gráfico 1: Ranking dos maiores orçamentos espaciais em 2022.



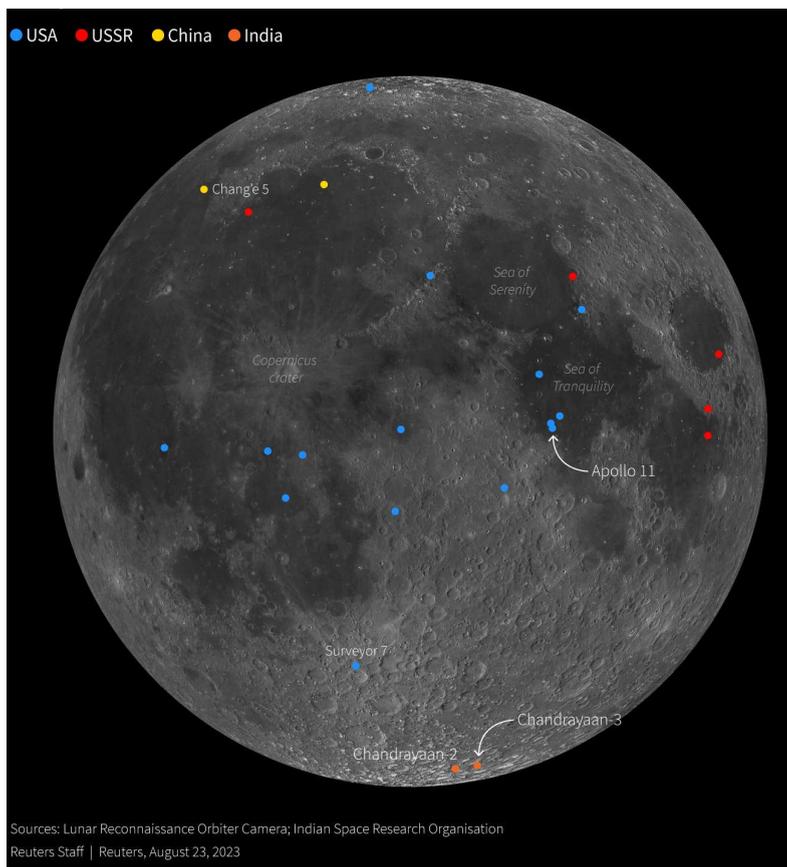
Fonte: <https://www.statista.com/chart/29454/governments-with-the-largest-space-budgets/> Acesso em: Mar/2024

Um aspecto fundamental a ser destacado é a supremacia do orçamento espacial dos Estados Unidos, que excede a soma dos orçamentos de todas as outras nações em mais de US\$30 bilhões. Isso não apenas evidencia a liderança contínua dos EUA no setor espacial, mas também sublinha sua posição dominante. Por outro lado, nota-se a posição da China, que ocupa o segundo lugar com uma margem considerável em relação aos demais competidores. Isso reforça a percepção de que a China está emergindo como uma potência espacial significativa, em detrimento da Rússia que, no século passado, dividiu o palco da exploração espacial com os EUA, inclusive sendo pioneira em diversas realizações. Por fim, destaca-se o Japão, os países europeus que compõem a ESA de modo geral e, finalmente, a Índia que, apesar de seu orçamento relativamente modesto quando comparado aos demais, tem demonstrado capacidades impressionantes no cenário espacial. Com um pouso suave realizado na Lua, a Índia se posicionou como a quarta nação a alcançar tal feito, seguindo os passos de EUA, União Soviética e China.

Dando prosseguimento, agora será apresentada uma representação gráfica dos pouso suaves na Lua realizados até o momento pelas nações pioneiras na exploração lunar. Nesta representação, as cores são utilizadas para diferenciar cada país: os Estados Unidos são

simbolizados pela cor azul; a União Soviética, por vermelho; a China, por amarelo; e a Índia, por laranja. É importante destacar que, em 2024, o Japão juntou-se a este seleto grupo ao realizar com sucesso o pouso da sonda "SLIM" na Lua, posicionando-se, assim, como o quinto país a conquistar tal feito (JAXA, 2024).

Figura 20: Mapa dos principais pousos suaves lunares por nações.



Fonte:

<https://www.reuters.com/science/why-are-countries-racing-moons-heavily-cratered-south-pole-2023-08-23/>
Acesso, Mas/2024

Com base nisso, este cenário ressalta o interesse crescente de novas nações na complexa dinâmica espacial que envolve a Lua, bem como os progressos e inovações tecnológicas em exploração espacial introduzidas por esses participantes emergentes. É notável que, após a sonda Luna-24 da União Soviética ter efetuado o último pouso suave na Lua em 1976 (AIR AND SPACE, 2020), houve um intervalo de 37 anos até que a humanidade voltasse a realizar tal feito, com a China (Chang'e 3) em 2013, seguindo pela entrada de novos agentes tanto estatais quanto privados no cenário lunar como a Índia (Chandrayaan-3) em 2023, e logo depois pelo Japão (SLIM) e pela empresa Intuitive

Machines (IM-1), ambos em 2024 (PLANETARY SOCIETY, 2024), refletindo um panorama diversificado e dinâmico na exploração do satélite natural da Terra que destaca as motivações que levaram as superpotências originais da corrida espacial, Estados Unidos e Rússia, a reavivarem seus planos para a exploração lunar. Por fim, será feita uma análise detalhada de cada um desses principais atores que compõem a nova dinâmica espacial com foco na Lua no século XXI.

4.2.1 Estados Unidos (NASA)

Com a chegada do homem da Lua, em 1969, os EUA estabeleceram uma dominância na dinâmica da exploração espacial e, após o fim da Guerra-Fria com a mudança na meta científica da NASA, que passou a se envolver no desenvolvimento de sondas, telescópios espaciais e veículos não tripulados para a exploração do sistema solar como um todo, houve um período de cooperação internacional no espaço. Desde de 1975, quando a Apollo 18 e a Soyuz MS-19 atracaram no espaço, marcando a primeira missão conjunta entre a NASA e a Agência Espacial Soviética até o estabelecimento da ISS, que contava com diversas agências espaciais (SHEEHAN, 2007), a cooperação foi frutífera por mais de duas décadas, marcando um período de diversos avanços na cosmologia.

No entanto, a emergência da China como nova potência espacial crescendo de forma independente no cenário internacional, passou a ameaçar a hegemonia estadunidense, sobretudo com os constantes avanços em missões direcionadas à Lua do projeto Chang'e, incluindo sua própria estação espacial e planos para explorar as regiões polares da Lua, fazendo com que se instaurasse uma nova corrida espacial, tendo, novamente, a Lua como meta das nações (PYLE, 2019).

Bill Nelson, diretor da NASA, expressou preocupações e afirmou estarem em uma corrida espacial com a China para voltar à Lua. Um ponto de preocupação para Nelson é a possibilidade de encontrar água no polo sul da Lua e a China reivindicar essa área como sua própria, citando a situação das Ilhas Spratly no Mar da China Meridional, onde a China afirmou posse sobre águas internacionais. Ele ressalta a importância da água como recurso vital para futuras missões espaciais e expressa o desejo de proteger essas potenciais reservas para uso internacional. Sob essa perspectiva nasceram os Acordos Artemis, que, de acordo com a agência, são princípios para o uso pacífico do espaço, a participação cooperativa e evitar a reivindicação de território lunar por qualquer nação ou entidade, garantindo o acesso igualitário e compartilhado à Lua (EL PAÍS, 2023).

Para a NASA, a exploração atual da Lua tem um propósito diferente da missão anterior, há 50 anos. Agora, o objetivo seria criar um ambiente propício para o trabalho e inovação, preparando o caminho para futuras expedições humanas a Marte. Enquanto uma viagem à Lua leva apenas três ou quatro dias, chegar a Marte pode levar sete ou oito meses, e permanecer na superfície do planeta por um ou dois anos antes que a Terra e Marte estejam novamente alinhados para o retorno. Por esse motivo, é crucial desenvolver habitats espaciais e sistemas de propulsão mais avançados que permitam viagens mais rápidas, possivelmente em três meses. A NASA tem como meta alcançar Marte até 2040, o que pode parecer um prazo longo, mas são apenas 16 anos de distância (EL PAÍS, 2023).

O Programa Artemis foi a consolidação dessa nova ótica para a exploração espacial americana. Anunciado como uma série de missões visando retornar astronautas à Lua até meados desta década, com a primeira mulher e a próxima pessoa a pisar na superfície lunar. Na mitologia grega, Artemis era a irmã gêmea de Apollo, tratando-se de uma homenagem à missão que levou pessoas para a Lua há algumas décadas no passado. O objetivo do programa é estabelecer uma presença humana sustentável na Lua até o final da década para realizar pesquisas científicas e testar novas tecnologias que seriam cruciais para futuras missões a Marte (MARSHALL, 2023).

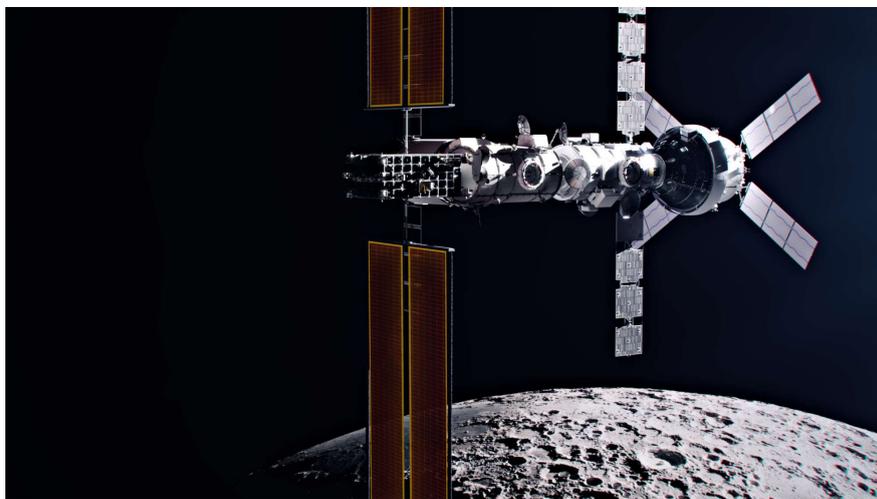
Figura 21: A tripulação da missão Artemis III da NASA.



Fonte: <https://www.nasa.gov/news-release/nasa-names-astronauts-to-next-moon-mission-first-crew-under-artemi>
/s/. Acesso: Mar/2024

O Programa Gateway é a última das etapas do Artemis para estabelecer a primeira estação espacial orbital da humanidade ao redor da Lua. Destinado a servir como centro de comunicação, laboratório científico e módulo de habitação para astronautas, trata-se de projeto colaborativo multinacional envolvendo a NASA, a ESA, a JAXA (Japão), a CSA (Canadá) e o Centro Espacial Mohammed Bin Rashid (MBRSC). A Gateway ajudará a NASA e seus parceiros a testar as tecnologias e capacidades necessárias para uma presença humana sustentada no espaço profundo e a traçar um caminho para as primeiras missões humanas a Marte (NASA, 2023).

Figura 22: Imagem conceitual da Lunar Gateway.



Fonte: <https://www.nasa.gov/reference/gateway-about/> Acesso: Mar/2024

A seguir, elencam-se as principais missões espaciais da NASA relacionadas à Lua no século XXI:

- **Programa Lunar Reconnaissance Orbiter (LRO) (2009):** Sonda orbital para estudo detalhado da Lua, produziu dados valiosos durante a década de 2010, mapeando a superfície lunar em alta resolução (NASA, 2024).
- **Lunar Crater Observation and Sensing Satellite (LCROSS) (2009):** Investigar a existência de água na Lua, impactando a superfície lunar e analisando os destroços (NASA, 2023).
- **Programa Lunar Catalyst (2009):** Iniciativa para desenvolver tecnologias de pouso e operação lunar em parceria com empresas privadas (NASA, 2019).

- **Gravity Recovery and Interior Laboratory (GRAIL) (2011):** Voou em órbitas paralelas ao redor da Lua durante vários meses para medir seu campo gravitacional com detalhes (NASA, 2023).
- **Lunar Atmosphere and Dust Environment Explorer (LADEE) (2013):** Missão com o intuito de analisar a exosfera e o pó lunar, fornecendo dados cruciais sobre o ambiente lunar (NASA, 2024).
- **Artemis I (2022):** Primeiro voo não tripulado do Sistema de Lançamento Espacial (SLS) e da nave espacial Orion em torno da Lua (NASA, 2024).
- **Artemis II (2025):** Primeiro voo tripulado do Orion em órbita lunar (NASA, 2024).
- **Artemis III (2026):** Marcará o retorno dos astronautas à superfície lunar depois de 63 anos, incluindo a primeira mulher e primeiro homem negro a pisar na Lua (NASA, 2024).
- **Artemis IV / Lunar Orbital Platform (LOP-G) (2028):** Lançamento dos módulos da primeira Estação Espacial Internacional Lunar Orbital da humanidade, a Lunar Gateway e 2 astronautas pousaram no satélite (NASA, 2023).

4.2.2 China (CNSA)

A ascensão da China como potência espacial significativa tem sido percebida como uma ameaça à supremacia dos EUA no espaço. O rápido desenvolvimento do programa espacial chinês, incluindo missões lunares, lançamentos de satélites e o desenvolvimento de tecnologias espaciais avançadas, têm acelerado a competição espacial entre as duas nações e têm tido impactos significativos na geopolítica, influenciando o curso da exploração e utilização do espaço no século XXI (PYLE, 2019).

A disputa entre os dois países, que se dá tanto no âmbito comercial quanto no âmbito da segurança nacional, como exemplificado pela Emenda Wolf, a lei federal que impede a NASA de cooperar com a China, têm prejudicado a cooperação internacional no campo espacial. Restrições impostas pelos EUA em relação à cooperação tecnológica com a China podem limitar as oportunidades de colaboração em projetos espaciais que poderiam beneficiar ambas as nações e a comunidade global (MARSHALL, 2023).

Diante das restrições à cooperação com os EUA, a China tem buscado fortalecer suas parcerias internacionais no espaço, principalmente com países em desenvolvimento, o que inclui o lançamento de satélites para nações parceiras, o estabelecimento de programas de intercâmbio de cientistas e engenheiros espaciais e o desenvolvimento de acordos bilaterais e multilaterais com outras agências espaciais emergentes (MARSHALL, 2023).

A competição entre os EUA e a China na exploração lunar tem implicações importantes para o futuro da exploração espacial. Ambos os países têm planos ambiciosos para enviar astronautas à Lua e estabelecer bases lunares, o que vem desencadeando uma nova corrida espacial e moldando o futuro da exploração espacial humana.

Uma demonstração do êxito espacial chinês se dá no estabelecimento de sua própria Estação Espacial Orbital da Terra, a Estação Tiangong. Trata-se de uma estação semelhante à ISS, consistindo em três módulos lançados entre 2021 e 2022: Tianhe, Wentian e Mengtian. A estação já está operacional, tendo recebido a primeira tripulação, Shenzhou 12, em junho de 2021, e a China planeja manter a estação habitada por pelo menos uma década, com uma tripulação mínima de três taikonautas (denominação da tripulação espacial chinesa). Além disso, a estação conta com um braço robótico e pode ser expandida para até seis módulos no futuro (SPACE, 2023; CSNA, 2021).

A construção da Tiangong foi motivada pela exclusão da China do programa ISS. Comparada à ISS, a Tiangong é menor, mas oferece suporte para longas estadias no espaço. O desenvolvimento da Tiangong foi precedido pelo lançamento dos laboratórios espaciais Tiangong 1 e Tiangong 2 para testar tecnologias e sistemas cruciais. A expectativa é que, no futuro, a Tiangong abrigue um telescópio espacial semelhante ao Hubble, chamado Xuntian, que significa “pesquisar os céus”, para contribuir com a pesquisa espacial chinesa e internacional. Com isso, a China se torna a terceira nação a estabelecer uma estação espacial orbital independente, além dos EUA com os programas Skylab e Mir e Rússia com os programas Salyut, lançados pela União Soviética (SPACE, 2023; CSNA, 2021).

Figura 23: Tiangong, a estação espacial operacional da China localizada na órbita baixa da Terra.



Fonte: <https://oglobo.globo.com/mundo/epoca/noticia/2022/11/astronautas-chineses-chegam-a-estacao-espacial-de-tiangong.ghtml> Acesso: Mar/2024

Além da estação Tiangong, a China, juntamente com a Rússia estabeleceram planos para a construção da Estação Internacional de Pesquisa Lunar (ILRS), como uma contraposição à Estação Lunar Gateway, do programa Artemis. O projeto já conta com a participação de oito membros, sendo eles, Venezuela, África do Sul, Azerbaijão, Paquistão, Bielorrússia e Egito, além dos membros fundadores, Rússia e China, tendo estimativa para conclusão até 2035 (CSNA, 2021).

A ILRS será uma base experimental construída em órbita lunar, projetada para conduzir uma ampla gama de atividades de investigação, incluindo exploração e utilização, observação lunar, experimentos científicos básicos, verificação técnica e operações autônomas de longo prazo. O objetivo principal é criar uma plataforma para a cooperação internacional em pesquisa espacial e exploração lunar e sua construção depende de outras missões relacionadas à Lua, como do programa Luna e Chang'e (CSNA, 2021).

Em relação às missões Chang'e, que são parte do Programa de Exploração Lunar da China, trata-se de um ambicioso conjunto de missões nomeado em homenagem à deusa da Lua na mitologia chinesa. Ele abrange missões orbitais, de pouso, de retorno de amostras e, futuramente, missões tripuladas, visando aprofundar o conhecimento da Lua, explorar seus recursos e desenvolver tecnologias de exploração espacial (MARSHALL, 2023). A seguir, elencam-se as principais missões espaciais da CNSA no século XXI.

- **Shenzhou 5 (2003):** China se torna o terceiro país a enviar um astronauta ao espaço de forma independente, com Yang Liwei orbitando a Terra em 15 de outubro (JULIENNE, 2021).
- **Shenzhou 6 (2005):** Segunda missão tripulada, levando dois astronautas ao espaço (SPACE, 2016).
- **Tiangong-1 (2011):** Lançamento do primeiro laboratório espacial da China, marcando um passo inicial significativo para a construção de uma estação espacial (SPACE, 2023).
- **Chang'e-1 (2007):** Missão lunar orbital chinesa, primeira fase do programa Chang'e (JULIENNE, 2021).
- **Chang'e-2 (2010):** Continuação da missão orbital lunar, com maior detalhamento (JULIENNE, 2021).
- **Chang'e 3 (2013):** Primeiro pouso suave lunar da China, entregando o rover Yutu à superfície lunar (JULIENNE, 2021).

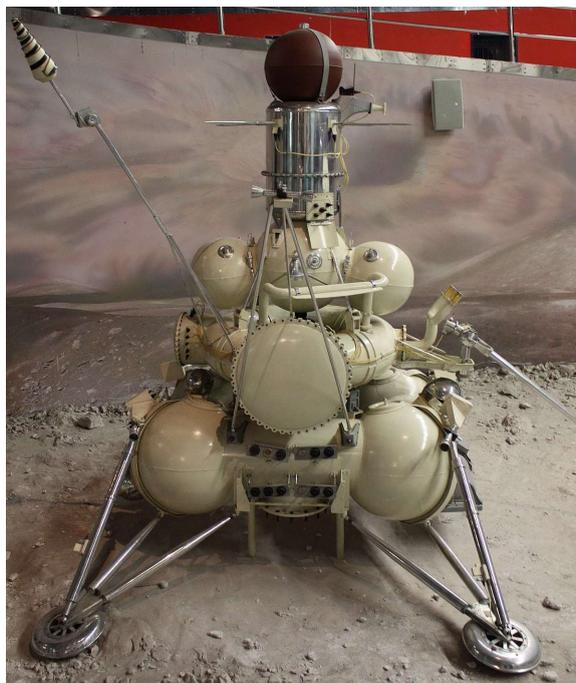
- **Tiangong-2 (2016):** Lançamento de um laboratório espacial mais avançado para experimentos em órbita e preparação para a futura estação espacial chinesa (CNSA, 2021).
- **Shenzhou 11 (2016):** Missão tripulada à Tiangong-2, demonstrando capacidades de longa duração em órbita (PYLE, 2019).
- **Chang'e 4 (2018):** Lançamento da primeira missão a pousar no lado oculto da Lua, com um rover e um módulo de pouso, um marco histórico na exploração lunar (JULIENNE, 2021).
- **Tianwen-1 (2020):** Primeira missão a Marte, incluindo um orbitador, um lander e um rover (PLANETARY SOCIETY, 2024).
- **Chang'e 5 (2020):** Missão de retorno de amostras lunares, coletando material lunar e trazendo-o de volta à Terra pela primeira vez na história da China e em 40 anos pela humanidade (CNSA, 2020).
- **Tianhe (2021):** Lançamento do módulo central da Estação Espacial Tiangong, marcando o início da montagem em órbita da estação espacial modular da China (CNSA, 2021).
- **Shenzhou 12 (2021):** Primeira missão tripulada à estação espacial Tianhe, estabelecendo presença humana contínua em órbita para a China (CNSA, 2021).
- **Chang'e 6 (2024):** Planejada como a próxima missão de retorno de amostras lunares, focando no lado oculto da Lua (NASA, 2024).
- **Chang'e 7 (2026):** Explorar a região do polo sul lunar, incluindo a busca por água e a investigação da topografia e composição do solo (NASA, 2024).
- **Chang'e 8 (2028):** Testar tecnologias para a utilização de recursos in situ (ISRU), como a extração de água do regolito lunar, e demonstrar tecnologias para a construção de uma futura base lunar, inclusive usando impressão 3D com materiais lunares, antes da futura exploração tripulada da Lua (NASA, 2024).
- A expectativa é que em 2030 a China realize uma missão tripulada na superfície lunar com dois astronautas através da espaçonave lunar Mengzhou e do módulo lunar Lanyue (SPACE, 2024).

4.2.3 Rússia (Roscosmos)

O principal programa espacial russo da atualidade é a revitalização do programa Luna. A Roscosmos planeja continuar sua exploração lunar, que teve suas últimas missões durante a era soviética, com a missão Luna-24, em 1976. E planeja, agora, uma série de

missões subsequentes, cada uma com objetivos específicos para avançar no conhecimento científico e tecnológico sobre a Lua e preparar o terreno para futuras missões humanas. As missões Luna 25, 26, 27 e 28 visam explorar a Lua, especialmente seu polo sul, e testar novas tecnologias de pouso suave e operações na superfície lunar (SPACE, 2020).

Figura 24: Luna 16 (sonda de retorno de amostra da URSS) no Museu do Espaço em Moscou.



Fonte: <https://moonregistry.forallmoonkind.org/apollo-10-crewed-lunar-orbit-3-2-2-2-4-2-2-4/> Acesso em: Mar/2024

Além disso, em 2021 foi assinado um Memorando de Entendimento entre o Governo da República Popular da China e o Governo da Federação Russa relativo à cooperação para a construção da Estação Internacional de Pesquisa Lunar (ILRS) na superfície ou órbita da Lua até 2035. E pouco depois, as agências responsáveis, Roscosmos e CNSA realizaram uma sessão conjunta em São Petersburgo dedicada à apresentação do roteiro para a criação da estação espacial conjunta (ROSCOSMOS, 2024).

Sendo assim, nota-se uma mudança na estratégia espacial russa que, historicamente, consolidou uma cooperação de longa data com países ocidentais na ISS após a Guerra Fria, mas recentemente, devido ao estreecimento das relações entre a Rússia e os países da OTAN, decorrente dos conflitos recentes da anexação da Crimeia e Guerra da Ucrânia, há um isolamento do país na antiga coalizão espacial e a consequente busca por uma aproximação

com novos parceiros estratégicos emergentes no cenário da exploração espacial (MARSHALL, 2023).

Nota-se que a Rússia enfrentará desafios significativos em termos de política espacial a longo prazo, tendo em vista que, atualmente, especialistas em política espacial, como Bleddyn Bowe da Universidade de Leicester, no Reino Unido, colocam a Rússia como uma potência espacial em declínio, que não conseguiu modernizar aspectos cruciais de sua indústria espacial, dependendo fortemente de importações de tecnologia de computador de países como o Ocidente, Coreia do Sul, Japão e Taiwan. As sanções impostas à economia russa devem afetar severamente seu programa espacial, especialmente considerando que os lançamentos de foguetes são uma fonte vital de receita para a Roscosmos (BBC, 2022).

Desse modo, a necessidade da Rússia em estabelecer parcerias espaciais, particularmente com o Oriente, é ampliada pelo conflito na Ucrânia. A Rússia já demonstrou intenções de colaborar com a China em missões espaciais, incluindo o desenvolvimento de uma base lunar, como anunciado em 2021. Essa parceria se faz valiosa dado que a China também possui dificuldades de colaborar na dinâmica espacial pré-existente devido ao impedimento da NASA em qualquer projeto em que ela esteja envolvida, sendo inclusive barrada de participação na ISS. Do mesmo modo que a China precisou buscar seus próprios meios de entrada na dinâmica espacial, explorando parcerias com programas emergentes, agora, a Rússia aparece como uma potencial aliada num contexto em que as duas nações podem se beneficiar da cooperação.

No entanto, o impacto das sanções na economia russa pode restringir a capacidade da Rússia de contribuir significativamente para essa parceria. Com um programa espacial consideravelmente mais robusto, atualmente, a China não depende da Rússia. Um fato que reforça isso se dá na disparidade de investimentos no orçamento dos principais programas em questão, com a NASA divulgando em 2022 um orçamento de US\$61.97 bilhões, cinco vezes maior que o da CSNA, de US\$11.94 bilhões, e quinze vezes maior que o da Roscosmos, de US\$3.42 bilhões, como demonstrado no “Gráfico 1”, sugerindo que a Rússia poderá assumir um papel secundário na exploração espacial futura, podendo ficar isolada a menos que fortaleça as relações com a China ou busque uma reaproximação no futuro com os EUA e seus parceiros (MARSHALL, 2023; BBC, 2022; STATISTA, 2023).

- **Luna 25 (Luna Glob):** Tinha como objetivo efetuar um pouso suave na Lua e liberar um rover para se deslocar e efetuar pesquisas em solo lunar. Após diversos

adiamentos, em 2023, a bordo do foguete Soyuz-2.1b, a sonda foi lançada, mas caiu na superfície lunar devido a uma falha que desviou sua trajetória (NASA, 2023).

- **Luna 26 (Luna Glob Orbiter) (2027):** Missão orbitadora, destinada a mapear a superfície lunar em alta resolução, estudar a exosfera lunar e investigar o ambiente de radiação (ESA, 2020).
- **Luna 27 (Lander Lunar) (2028):** Pousar na região do polo sul lunar, uma área de interesse devido à reservas de água congelada nas crateras permanentemente sombreadas. Será capaz de perfurar o regolito lunar para coletar amostras de solo (SPACE, 2020).
- **Luna 28 (Luna Grunt) (2030):** Coletar amostras do solo lunar e retorná-las à Terra para análise detalhada. A missão de retorno de amostras proporcionará estudar o material lunar em laboratórios na Terra (SPACE, 2020).

4.2.4 União Europeia (ESA)

A Agência Espacial Europeia (ESA) tem desempenhado um papel coadjuvante significativo na exploração lunar no século XXI, contribuindo com tecnologia, conhecimento e colaboração internacional para o crescente esforço global de retornar à Lua e ir além.

Um exemplo disso é que a ESA é um parceiro-chave no Programa Artemis. A contribuição da ESA inclui o fornecimento do Módulo de Serviço Europeu (ESM) e do Módulo de Reabastecimento Europeu (ERM) para a cápsula Orion, que transportará astronautas ao espaço lunar. Ambos são uma colaboração crucial para a missão, fornecendo propulsão, energia e suporte vital para a Orion (NASA, 2024).

Ademais, a ESA também compõe uma série de contribuições para o Lunar Gateway. A ESA planeja fornecer módulos habitacionais e de infraestrutura, incluindo o Módulo Internacional de Habitação (I-HAB), onde a tripulação do Artemis viverá, conduzirá pesquisas e se preparará para atividades na superfície lunar. E o ESPRIT (European System Providing Refueling, Infrastructure and Telecommunications), que fornecerá comunicações e capacidades de reabastecimento. E por fim, há o sistema de comunicações lunares HALO (HLCS) para permitir comunicações de alta taxa de dados entre a superfície lunar e o Gateway (NASA, 2023).

Além das parcerias, a ESA está focada no desenvolvimento de tecnologias essenciais para a exploração lunar, como robótica, pouso preciso e utilização de recursos in situ (ISRU), como a produção de oxigênio respirável e água potável. O programa visa desenvolver a capacidade da Europa de contribuir significativamente para as futuras missões lunares,

explorando a Lua de maneiras que beneficiem a humanidade e preparem o terreno para missões mais ambiciosas, como a Heracles, prevista para 2028 (ESA, 2024). A seguir, elencam-se as principais missões espaciais da ESA no século XXI:

- **Small Missions for Advanced Research in Technology-1 (SMART-1) (2003):** Foi a primeira missão lunar da Europa, destinada principalmente a testar novas tecnologias de propulsão e realizar pesquisas científicas lunares. Ajudou a mapear a composição mineral da Lua e confirmou a presença de cálcio, alumínio, silício, ferro e outros elementos na superfície lunar.
- **ExoMars Program (2016):** Em colaboração com a Roscosmos, é uma missão não tripulada destinada a explorar o planeta Marte. O primeiro módulo foi lançado em 2016 e o segundo para enviar um rover (Rosalind Franklin) era previsto para 2022, mas foi suspenso.
- **Lunar Pathfinder (2022):** Missão destinada a fornecer serviços de comunicação e navegação para missões lunares, facilitando a comunicação entre a Terra e os elementos na superfície lunar.
- **Heracles (2028):** Em colaboração com a JAXA e a CSA (Agência Espacial Canadense), a ESA está trabalhando na missão Heracles, que envolve o envio de um rover e um módulo de ascensão para a Lua e retornar amostras à Terra.

4.2.5 Japão (JAXA)

Assim como a ESA, a JAXA, agência espacial do Japão, se mantém como um dos principais parceiros da NASA ao longo do século XXI, tendo participação ativa na ISS ao longo dos anos e sendo um coadjuvante importante no Programa Artemis e no Lunar Gateway, fornecendo o Sistema de Controle Ambiental e Suporte à Vida (ECLSS) do I-HAB, o módulo de habitação da estação (NASA, 2023).

Além disso, no início de 2024, o Japão entrou para a história ao se tornar o quinto país a realizar com sucesso um pouso de uma sonda na Lua, marcando um feito significativo na exploração lunar. A missão, denominada Smart Lander for Investigating Moon (SLIM), simboliza um avanço notável na tecnologia espacial, demonstrando a capacidade do Japão em conduzir missões complexas e contribuir para o conhecimento humano do espaço (JAXA, 2024).

Olhando para o futuro, a JAXA planeja continuar sua participação ativa na exploração lunar, desenvolvendo tecnologias avançadas para pouso e mobilidade na

superfície lunar, investigando recursos lunares e participando de missões internacionais. Com seu histórico de inovação e colaboração, a JAXA está bem posicionada para contribuir significativamente para os próximos capítulos da exploração lunar humana.

Figura 25: A sonda japonesa SLIM, na Lua.



Fonte: <https://global.jaxa.jp/projects/sas/slim/> Acesso: Abr/ 2024

A seguir, elencam-se as principais missões espaciais da JAXA no século XXI:

- **Selenological and Engineering Explorer (SELENE) (2007):** A missão SELENE, conhecida como Kaguya, foi a primeira grande missão lunar do Japão no século XXI. Seus objetivos incluíam mapear a superfície lunar com alta precisão, estudar a origem e a evolução geológica da Lua, e explorar o ambiente espacial lunar (JAXA, 2023).
- **Smart Lander for Investigating Moon (SLIM) (2024):** Uma missão de pouso lunar planejada para demonstrar tecnologia de pouso de precisão que será crucial para missões que visam pousar em locais de interesse específicos. Com o resultado, o Japão se tornou o quinto país a pousar uma missão não tripulada na superfície da Lua (JAXA, 2024).
- **Martian Moons Exploration (MMX) (2026):** Uma missão ambiciosa planejada para trazer amostras das luas de Marte, Phobos e Deimos, de volta à Terra (JAXA, 2015).

4.2.6 Índia (ISRO)

A contribuição da ISRO à exploração lunar tem reforçado a posição da Índia como uma potência emergente no espaço. As missões Chandrayaan, especialmente a descoberta de água pela Chandrayaan-1, têm um impacto significativo no planejamento de futuras missões lunares por agências espaciais em todo o mundo (NASA, 2024). Com orçamentos relativamente modestos, a ISRO conseguiu realizar feitos significativos, contribuindo valiosamente para a compreensão científica da Lua e demonstrando capacidades tecnológicas avançadas, através do desenvolvimento e fabricação autônoma da maior parte das tecnologias utilizadas nas suas missões Chandrayaan (PYLE, 2019). Tornou-se o quarto país a pousar uma sonda, a Chandrayaan-3 com sucesso no satélite, pela primeira vez, no polo sul, destacando a crescente capacidade técnica e industrial da Índia no setor espacial (ISRO, 2023). A ISRO assinou os Acordos Artemis, ainda que não esteja participando diretamente como a JAXA, ESA, CSA e UAESA (NASA, 2023).

Figura 26: O foguete LVM3 transportando a sonda Chandrayaan 3.



Fonte: <https://www.thehindu.com/sci-tech/science/isro-chandrayaan-3-mission-timeline/article67063771.ece>

Acesso: Mar, 2024

Figura 27: Ilustração da sonda Chandrayaan 3 e seu rover lunar.



Fonte: <https://science.nasa.gov/mission/chandrayaan-3/>. Acesso: Mar/2024

A seguir, elencam-se as principais missões espaciais da ISRO no século XXI:

- **Chandrayaan-1 (2008):** Foi a primeira sonda lunar da Índia, destinada a mapear a superfície lunar e explorar sua composição mineral. Promoveu a detecção de moléculas de água na superfície lunar, contribuindo para uma melhor compreensão da sua geologia (ISRO 2023).
- **Mars Orbiter Mission (MOM) (2013):** Conhecida como Mangalyaan, foi uma sonda enviada com sucesso à órbita de Marte (ISRO 2022).
- **Chandrayaan-2 (2019):** Visava dar continuidade ao sucesso da Chandrayaan-1, com um orbitador, um lander, Vikram, e um rover, Pragyan, para realizar uma análise mais detalhada da superfície lunar, especialmente nas regiões polares (ISRO 2023).
- **Chandrayaan-3 (2023):** Dando continuidade ao antecessor e sendo o primeiro país a realizar um pouso suave no polo sul lunar (ISRO 2023).
- **Gaganyaan (2025):** O programa de voo espacial humano da Índia visa enviar astronautas indianos ao espaço em uma espaçonave indiana pela primeira vez (ISRO 2023).

4.2.7 Emirados Árabes Unidos (UAESA)

A Agência Espacial dos Emirados Árabes Unidos (UAESA) é uma adição relativamente nova ao cenário global da exploração espacial, mas já fez contribuições significativas e estabeleceu ambições notáveis para a exploração da Lua no século XXI. Através de iniciativas estratégicas e parcerias internacionais, os Emirados Árabes Unidos estão rapidamente se tornando um participante ativo na nova corrida espacial, com foco particular na exploração lunar (MARSHALL, 2023). São participantes do Programa Artemis e do Lunar Gateway, com o Centro Espacial Mohammed Bin Rashid (MBRSC) dos Emirados Árabes Unidos fornecendo tripulação e a câmara de ar científico da Gateway. Vale lembrar que os Emirados Árabes Unidos assinaram os Acordos de Artemis, liderados pelos Estados Unidos (NASA, 2024). Porém, este acordo bilateral não impede que o país feche parcerias com outras nações, como a China, com a qual irá cooperar juntamente ao programa Chang'e, para o envio de seu rover Rashid 2 (UOL, 2022), demonstrando sua multilateralidade na cooperação espacial. A seguir, elencam-se as principais missões espaciais da UAESA no século XXI:

- **Missão Hope (Al-Amal) (2020):** A primeira missão interplanetária árabe para estudar a atmosfera de Marte entrou em órbita em 2021, demonstrando a ambição crescente dos EAU no espaço (SPACE, 2021).
- **Rashid 1 (2023):** Tentativa de pouso suave na Lua não bem sucedida. Lançada de um foguete Falcon 9, da SpaceX, com o módulo Hakuto-R, desenvolvido pela empresa japonesa Ispace, iria fazer imagens das partículas do regolito lunar, estudar as características térmicas da superfície, além de medir a densidade eletrônica da Lua, contando com um sistema de *machine learning* desenvolvido pela Mission Control Space Services (MCSS), em parceria com a CSA. Ainda assim, foi a primeira tentativa de missão árabe à Lua (SPACE, 2023).
- **Rashid 2 (2026):** Continuação da primeira missão. Dessa vez, através de uma cooperação com a China para futuras missões conjuntas de exploração da Lua. Inicialmente, a parceria prevê lançar em o rover emiradense Rashid 2 junto com a missão chinesa Chang'e 7 (UOL, 2022).

4.2.8 Canadá (CSA)

O Canadá tem uma longa história de contribuição para a exploração espacial, principalmente através de sua expertise em tecnologia de braços robóticos, como o famoso Canadarm na ISS (PYLE, 2019). E, atualmente, está participando do Programa Artemis e irá contribuir com tecnologia avançada, incluindo uma nova versão do Canadarm, o Canadarm3, para o Lunar Gateway e um astronauta da CSA compoendo a tripulação da Artemis II que retornará os humanos a Lua, Jeremy Hansen (NASA, 2024). Embora a CSA possa não liderar missões lunares independentes, sua contribuição reforça o papel crítico da globalização na realização dos objetivos de exploração lunar da humanidade.

Figura 28: O braço robótico “Canadarm” na Estação Espacial Internacional.



Fonte: https://www.spacefoundation.org/space_technology_hal/canadian-space-robotics-systems-canadarm/.

Acesso: Mar/2024

4.3 Setor privado

No século XXI, o setor privado emergiu como um participante fundamental e inovador na exploração espacial, particularmente da Lua, complementando os esforços tradicionalmente liderados por agências governamentais. Empresas privadas introduziram novas dinâmicas de custo, eficiência e parcerias, acelerando o ritmo da exploração lunar e abrindo novas frentes de atividade econômica no espaço. Até agora, apenas agências estatais foram à Lua, mas as empresas privadas ganham cada vez mais espaço.

Bill Nelson, administrador da NASA, acredita que as companhias privadas são cruciais para a operação da NASA, porque permitem que a agência divida custos e aproveite a criatividade dos empresários do setor privado, evidenciando que a iniciativa privada tem sido bem vista na indústria espacial, dividindo parte das responsabilidades antes assumidas na totalidade pelas agências (BBC, 2023). A seguir, elencam-se as principais empresas relevantes na exploração espacial, particularmente da Lua, até o momento:

4.3.1 SpaceX

A SpaceX, liderada por Elon Musk, tem desempenhado um papel transformador na exploração espacial do século XXI, redefinindo o que é possível com seus ambiciosos planos, tecnologia avançada e parcerias estratégicas. A empresa não só emergiu como líder no setor espacial privado, mas também se tornou um parceiro vital para agências governamentais em missões além da órbita terrestre com lançamentos a partir do foguete Falcon 9, como demonstrado nas missões para a ISS após a interrupção da parceria com a da Russa e os foguetes Soyuz (PYLE, 2019). Seu veículo central agora é a Starship, projetada para transportar carga e tripulação de até 100 pessoas para destinos além da órbita terrestre, marcando um marco na visão de Musk para tornar a humanidade multiplanetária.

Desde 2012, a SpaceX vem trabalhando com a NASA, inicialmente, focados no desenvolvimento de veículos de lançamento capazes de transportar cargas e, posteriormente, astronautas para a ISS. Um marco nesse relacionamento foi o contrato no âmbito do Commercial Orbital Transportation Services (COTS) e posteriormente o Commercial Crew Program, que não só ajudou a SpaceX a desenvolver a cápsula Dragon, mas também marcou a transição da NASA para a utilização de serviços de lançamento comercial (PYLE, 2019).

Mais recentemente, a SpaceX foi selecionada pela NASA para fornecer o Sistema de Pouso Humano (HLS) para a missão Artemis III, sublinhando sua capacidade inovadora em desenvolver tecnologias para apoiar o retorno humano à Lua. Com um contrato avaliado em cerca de US\$3 bilhões, a empresa está desenvolvendo uma variante da Starship para transportar astronautas da órbita à superfície lunar. Com a missão prevista para 2025, o pouso da Artemis III, na Lua, requer duas espaçonaves: a cápsula Orion, que transportará os astronautas para a órbita lunar, e o módulo de pouso Starship, que enviará os astronautas ao polo sul da Lua. Além disso, os dois primeiros módulos da Lunar Gateway, o Elemento de Potência e Propulsão (PPE) e o Posto Avançado de Habitação e Logística (HALO) serão lançados a bordo de um SpaceX Falcon Heavy foguete na Artemis IV, na qual, novamente, a

SpaceX também fornecerá o módulo de alunissagem para os astronautas (SPACE, 2024; NASA 2024).

A SpaceX também planeja lançar a missão *dearMoon*, levando artistas em uma viagem ao redor da Lua, promovendo uma nova forma de apreciação e inspiração derivada da exploração espacial. A SpaceX já demonstrou sua capacidade técnica com o desenvolvimento do Falcon 9, um dos foguetes mais poderosos em operação. No entanto, é o desenvolvimento contínuo da Starship que simboliza o próximo grande salto na exploração espacial, prometendo missões de carga pesada e transporte humano para a Lua, Marte e além, visando estabelecer bases permanentes e sustentáveis no espaço que poderiam um dia sustentar comunidades humanas (SPACE, 2022; DEARMOON, 2023).

4.3.2 Blue Origin

A Blue Origin, fundada por Jeff Bezos com a visão de expandir o acesso ao espaço para promover a habitação e o trabalho humanos além da Terra, tem se destacado como um participante significativo na exploração lunar do século XXI. Entre as ambições lunares estão o desenvolvimento do sistema de pouso lunar Blue Moon e o foguete New Glenn, projetado para ser reutilizável, visando reduzir significativamente o custo de acesso ao espaço, tornando as missões lunares mais frequentes e economicamente viáveis. Sua capacidade de lançar cargas pesadas para a Lua pode contribuir para a logística espacial e tornar a presença humana sustentável na Lua uma realidade mais tangível (BLUE ORIGIN, 2024).

O Blue Moon, um lander lunar, é projetado para transportar uma grande variedade de cargas úteis para a superfície lunar, apoiando missões científicas e operações logísticas para futuras bases lunares. Apesar de não ter sido selecionado para a missão Artemis III da NASA, numa nova rodada conseguiu a seleção para o desenvolvimento de um módulo de alunissagem para a Artemis V, prevista para 2029, com um acordo de US\$3,4 bilhões, liderando uma equipe nacional que conta com empresas como Lockheed Martin e Northrop Grumman (EXAME, 2023; BLUE ORIGIN, 2020).

4.3.3 Ispace

Com a ambiciosa visão de centrar a Lua nas futuras atividades humanas espaciais, a ispace, empresa privada japonesa fundada em 2010, desenvolveu competências notáveis em tecnologias de pouso lunar e mobilidade, além de ofertar serviços de transporte para clientes governamentais e comerciais. A empresa se esforça para expandir as possibilidades humanas no espaço, refletindo um compromisso profundo com a vanguarda da exploração lunar

(ISPACE, 2023). A ispace espera ganhar contratos de agências estatais e clientes comerciais que desejam equipamentos entregues na Lua ou mapear sua superfície em busca de recursos naturais.

O programa Hakuto-R, que toma seu nome de uma lenda japonesa de um coelho branco na Lua, simboliza a iniciativa pioneira da ispace. Concebido originalmente como uma competição no Google Lunar XPRIZE, o programa evoluiu para uma série de missões com foco comercial, destinadas a demonstrar as capacidades tecnológicas da Ispace e a operar missões lunares comerciais (PYLE, 2019).

Em dezembro de 2022, um foguete, a bordo de um foguete da SpaceX, a ispace enviou o módulo lunar Hakuto-R para o espaço a caminho da Lua, carregando como carga útil o rover lunar Rashid 1 dos Emirados Árabes Unidos. Embora a tentativa de realizar o primeiro pouso comercial na Lua na história não tenha sido bem sucedida, a ispace tem demonstrado uma resiliência e capacidade notáveis, estabelecendo-se como uma entidade distinta, capaz de superar os obstáculos intrínsecos à exploração espacial (SPACE, 2023).

4.3.4 Astrobotic Technology e Intuitive Machines

Astrobotic Technology e Intuitive Machines são duas empresas dedicadas ao desenvolvimento de landers lunares robóticos, e ambas foram selecionadas pela NASA por meio do programa Commercial Lunar Payload Services (CLPS) para transportar cargas científicas e tecnológicas até a superfície da Lua. Essas missões têm como objetivo preparar o terreno para futuras explorações humanas e comerciais, demonstrando novas tecnologias e realizando pesquisas científicas importantes (NASA, 2024).

A Astrobotic Technology trabalhou no desenvolvimento do lander lunar Peregrine, projetado para entregar cargas úteis comerciais e governamentais à superfície da Lua. Sua tentativa de lançamento ocorreu em janeiro de 2024, mas devido a uma perda crucial de combustível não foi bem sucedido. Já a Intuitive Machines assumiu a liderança e fez história ao se tornar a primeira empresa comercial a colocar a nave Odysseus na superfície da Lua em fevereiro de 2024 (SPACE, 2024).

No entanto, a Astrobotic Technology também conta com outra tentativa para o futuro próximo, o lander lunar conhecido como Griffin, que foi escolhido pela NASA para entregar o rover VIPER à superfície lunar. O VIPER é projetado para buscar água e outros recursos lunares, contribuindo para o entendimento da viabilidade de recursos locais para futuras missões humanas e representando uma etapa significativa na exploração lunar robótica. Esses

esforços demonstram o compromisso contínuo das empresas privadas e da NASA em impulsionar a exploração espacial na direção da Lua (SPACE, 2024).

Estes são apenas alguns dos participantes na atual corrida espacial, que se tornou uma dinâmica global com múltiplos objetivos, incluindo a exploração científica, a busca por recursos, a habitação humana no espaço e até a comercialização do espaço. A cooperação internacional, assim como a competição (saudável), estão impulsionando avanços significativos na tecnologia e na capacidade humana de explorar o espaço.

Considerando os fatos e as informações disponíveis sobre a nova dinâmica da exploração espacial no século XXI, é evidente que a Lua reassume uma posição de destaque nas estratégias e objetivos dos principais programas espaciais atuais. Essa nova era se caracteriza por um aspecto multifacetado, em contraste com a competição bilateral do século passado entre as superpotências da época, Estados Unidos e União Soviética. Atualmente, enquanto as motivações do passado eram predominantemente marcadas por disputas ideológicas e de poder no cenário geopolítico, a dinâmica contemporânea revela objetivos renovados, focados na permanência prolongada na Lua, na exploração de seus recursos e no desenvolvimento de tecnologias essenciais para missões mais distantes no espaço, como a exploração de Marte.

Neste contexto, a ascensão da China como uma força significativa na arena astropolítica desencadeou uma nova corrida espacial a partir do final dos anos 2000. Isso foi evidenciado quando, após 34 anos sem pousos lunares, a China conseguiu pousar uma sonda na Lua com sucesso. Desde então, várias missões chinesas alcançaram êxitos notáveis, destacando as capacidades impressionantes do país e incentivando outras nações a intensificar seus próprios programas espaciais com foco lunar.

Apesar da notoriedade das conquistas chinesas, os Estados Unidos continuam liderando essa nova fase, como evidenciado pela comparação dos orçamentos dos principais programas espaciais, com os EUA investindo somas substancialmente maiores que todas as outras nações combinadas. O programa Artemis dos EUA, com seu cronograma ambicioso, visa posicionar novamente os Estados Unidos à frente na exploração lunar.

Observa-se também um declínio relativo do programa espacial russo em contraponto à ascensão chinesa, com a China assumindo seu lugar na competição. Contudo, novos atores relevantes como a Índia, o Japão e a União Europeia (ESA) estão emergindo.

A cooperação internacional, exemplificada pelo sucesso da Estação Espacial Internacional ao longo de mais de duas décadas, continua robusta, envolvendo EUA, União

Europeia, Japão, Canadá, entre outros parceiros. Esta cooperação foi fortalecida pelo programa Artemis e pelo projeto Lunar Gateway. No entanto, as relações recentemente tensionadas entre EUA, União Europeia e Rússia, devido ao conflito na Ucrânia, levaram a uma reconfiguração potencial da cooperação espacial, com a Rússia se aproximando mais da China, como indicado pelos planos para uma base lunar conjunta.

Esse cenário sugere a formação de dois blocos de influência: de um lado, Estados Unidos e seus aliados; de outro, China, Rússia e seus parceiros. Esta divisão é parcialmente reforçada pela emenda Wolf, que impede a cooperação espacial sino-americana, forçando a China a buscar novas alianças e justificando o desenvolvimento de uma estação espacial orbital independente, visto que não teve acesso à ISS. Isso sugere, também na arena da Astropolítica a reprodução de uma clivagem geopolítica, do século XXI, entre um bloco ocidental, liderado pelos Estados Unidos e um bloco oriental, originariamente antihegemônico, capitaneado pela China, com apoio da Rússia.

Entretanto, diferentemente da corrida espacial do século passado, a atual dinâmica espacial é complexificada pela presença significativa de atores privados, que operam transnacionalmente, oferecendo novas oportunidades de cooperação multilateral. Um exemplo dessa nova realidade é a parceria dos Emirados Árabes Unidos com o programa Lunar Gateway e a assinatura dos Acordos Artemis, ao mesmo tempo em que mantém colaborações com a China e empresas privadas, refletindo a natureza multilateral e diversificada da exploração espacial no século XXI.

5 CONCLUSÃO

A jornada da humanidade através da exploração espacial é um testemunho da nossa inerente curiosidade e desejo implacável de ultrapassar as fronteiras do conhecido. Desde os primeiros lançamentos de satélites durante a corrida espacial até as atuais missões interplanetárias, a exploração espacial evoluiu de uma demonstração de supremacia tecnológica entre superpotências para uma busca coletiva pelo conhecimento e pela compreensão do universo. A história da exploração espacial reflete não apenas os avanços tecnológicos e científicos alcançados, mas também a capacidade da humanidade de se unir em torno de objetivos comuns, superando desafios geopolíticos e ambientais para descobrir os mistérios além da nossa atmosfera. Essa trajetória histórica não apenas pavimentou o caminho para inovações tecnológicas transformadoras, mas também expandiu nossa compreensão do espaço, estabelecendo um legado duradouro que continua a inspirar futuras gerações a sonhar grande e alcançar o inalcançável.

A Lua, nosso satélite natural, emergiu como um palco crucial na narrativa da exploração espacial, atuando como um trampolim essencial para ambiciosas jornadas a destinos mais distantes, como Marte. A descoberta de água na Lua e a presença de hélio-3 destacam-se como recursos potencialmente revolucionários, não apenas apoiando a vida humana em futuras bases lunares, mas também prometendo abastecer a próxima era da exploração espacial e energia limpa. Além disso, a evolução do direito espacial, desde o Tratado do Espaço Exterior até os Acordos Artemis, reflete a crescente necessidade de um quadro regulatório que harmonize os interesses de exploração e utilização comercial do espaço. Essa dimensão legal é fundamental para garantir que a exploração lunar avance de forma sustentável, equitativa e em benefício compartilhado da humanidade, ressaltando a importância da Lua não apenas como um destino científico e comercial, mas também como um domínio que requer cooperação internacional e governança responsável.

No século XXI, a dinâmica da exploração espacial caracteriza-se pela sua natureza multifacetada e multilateral, distinguindo-se significativamente da corrida espacial bilateral do século anterior. Enquanto a rivalidade estratégica entre a China e os Estados Unidos sugere o potencial para uma nova corrida espacial, a realidade atual é complexa, com uma multiplicidade de atores estatais e privados contribuindo para um ecossistema espacial diversificado. A cooperação internacional, exemplificada pela participação de várias agências espaciais nacionais e empresas privadas, como SpaceX e Blue Origin, sublinha uma abordagem mais colaborativa e inclusiva para a exploração espacial. Essa dinâmica reflete

um reconhecimento compartilhado dos benefícios mútuos da pesquisa espacial e da exploração, mesmo que tensões geopolíticas persistam. A menos que eventos futuros redirecionem essa trajetória para um cenário de blocos de influência dominados pelos EUA e China, a exploração espacial continuará a evoluir como um empreendimento global, marcado pela cooperação e pelo desejo compartilhado de expandir os limites do possível.

Em suma, a exploração espacial, enraizada na rica tapeçaria da história humana e impulsionada pelo espírito indomável de descoberta, continua a ser um testemunho da nossa aspiração coletiva de compreender o cosmos. A Lua, com seus recursos inexplorados e seu potencial para facilitar missões futuras, permanece um símbolo de esperança e uma ponte para o desconhecido. E, à medida que avançamos no século XXI, a colaboração internacional e a inovação continuam a ser as chaves para desbloquear os próximos capítulos da nossa jornada espacial.

Muitas perguntas ficam em aberto, aguardando os próximos capítulos da história se escreverem a fim de obtermos algumas respostas. Para o futuro, faz-se necessária uma pesquisa que verifique se a dinâmica da exploração espacial no século XXI seguirá a tendência multilateral que vem apresentando nas últimas décadas, ou se ela se tornará mais bilateralizada, com duas potências líderes rivais no sistema internacional e com o surgimento de um novo bloco de influência da China, em contraposição ao domínio dos Estados Unidos e os parceiros tradicionais da Estação Espacial Internacional (à exceção da Rússia) e agora do programa Artemis.

6 REFERÊNCIAS

AMÓS, Jonathan. Missão Artemis: os escolhidos da Nasa para iniciar “nova era” de exploração da Lua. **BBC News Brasil**. 2023. Disponível em:

<<https://www.bbc.com/portuguese/articles/cjkyvxxv1722o>>. Acesso em: jan. 2024.

ANDRADE, Gabriel. Rússia confirma que abandonará a ISS em 2028; saiba mais. **UOL**. 2023. Disponível em:

<<https://gizmodo.uol.com.br/russia-confirma-que-abandonara-a-iss-em-2028-saiba-mais/>>. Acesso em: mar. 2024.

ARMSTRONG, Martin. Infographic: The Governments With the Largest Space Budgets. **Statista Infographics**. 2023. Disponível em:

<<https://www.statista.com/chart/29454/governments-with-the-largest-space-budgets/>>. Acesso em: mar. 2024.

AUTRY, Greg; HANLON, Michelle L. D. As regras do espaço não são atualizadas há 50 anos; agora a ONU quer mudar isso. **CNN Brasil**. 2022. Disponível em:

<<https://www.cnnbrasil.com.br/tecnologia/as-regras-do-espaco-nao-sao-atualizadas-ha-50-anos-agora-a-onu-quer-mudar-isso/>>. Acesso em: fev. 2023

BARDAN, Roxana. NASA Confirms DART Mission Impact Changed Asteroid’s Motion in Space. **NASA**. 2022. Disponível em:

<<https://www.nasa.gov/news-release/nasa-confirms-dart-mission-impact-changed-asteroids-motion-in-space/>>. Acesso em: jan. 2024.

BARTELS, Meghan. Russia wants to land 3 next-generation Luna spacecraft on the moon by 2025. **Space**. 2020 Disponível em:

<<https://www.space.com/luna-russian-moon-lander-program-2020s.html>>. Acesso em: mar. 2024.

BBC NEWS BRASIL. **Por que o homem não pisou mais na Lua?**. 2017. Disponível em:

<<https://www.bbc.com/portuguese/internacional-42339397>>. Acesso em: fev. 2024.

BENDER, Bryan. “We better watch out”: NASA boss sounds alarm on Chinese moon ambitions. **Politico**. 2023. Disponível em:

<<https://www.politico.com/news/2023/01/01/we-better-watch-out-nasa-boss-sounds-alarm-on-chinese-moon-ambitions-00075803>>. Acesso em: fev. 2024.

BERSKI, F. ; DYBCZYŃSKI, P. Gliese 710 will pass the Sun even closer - Close approach parameters recalculated based on the first Gaia data release. **Semantic Scholar**, v. 595, 2016.

Disponível em:

<<https://www.semanticscholar.org/paper/Gliese-710-will-pass-the-Sun-even-closer-Close-on-Berski-Dybczy%C5%84ski/8336d88fd42cad734d03aa901d3cd2950ee7fd04>>. Acesso em: jan. 2024.

BLUE ORIGIN. **NASA Selects Blue Origin National Team to Return Humans to the Moon**. 2020. Disponível em:

<<https://www.blueorigin.com/pt-BR/news/nasa-selects-blue-origin-national-team-to-return-humans-to-the-moon>>. Acesso em: mar. 2024.

BLUE ORIGIN. **New Glenn**. 2024. Disponível em:

<<https://www.blueorigin.com/pt-BR/new-glenn>>. Acesso em: mar. 2024.

BLUE ORIGIN. **SLD National Team**. 2020. Disponível em:

<<https://www.blueorigin.com/pt-BR/blue-moon/sld-national-team#:~:text=Blue%20Origin>>. Acesso em: mar. 2024.

BRANDÃO, Hemerson. Rover dos Emirados Árabes Unidos pegará carona em missão lunar da China. **UOL**. 2022. Disponível em:

<<https://gizmodo.uol.com.br/rover-dos-emirados-arabes-unidos-pegara-carona-em-missao-lunar-da-china/>>. Acesso em: mar. 2024.

CEPIK, Marco; MACHADO, Felipe. O comando do espaço na grande estratégia chinesa: implicações para a ordem internacional contemporânea. **Carta Internacional**, Belo Horizonte, v. 6, n. 2, 2011, p. 112–131.

CNSA. **Chang'e 5 lands on moon, starts surface operations**. 2020. Disponível em:

<<https://www.cnsa.gov.cn/english/n6465652/n6465653/c6810692/content.html>>. Acesso em: mar. 2024.

CNSA. **China launches first section of its massive space station**. 2021. Disponível em:

<<https://www.cnsa.gov.cn/english/n6465652/n6465653/c6811970/content.html>>. Acesso em: mar. 2024.

CNSA. **China's Space Program: A 2021 Perspective**. 2022 Disponível em:

<<https://www.cnsa.gov.cn/english/n6465684/n6760328/index.html>>. Acesso em: abr. 2024.

CNSA. **International Lunar Research Station (ILRS) Guide for Partnership**. 2021.

Disponível em:

<<https://www.cnsa.gov.cn/english/n6465652/n6465653/c6812150/content.html>>. Acesso em: mar. 2024.

COSMOS: Uma Viagem Pessoal. Direção: Adrian Malone. Produção: Carl Sagan Productions Virgínia, EUA: PBS, 1980.

CROWE, Michael J. **The Extraterrestrial Life Debate, 1750-1900**. Mineola, NY: Dover Publications, 2011.

DAVID, Leonard. Astrobotic readies next lunar lander following failed Peregrine moon mission. **Space**. 2024. Disponível em:

<<https://www.space.com/astrobotic-next-lunar-lander-failed-peregrine-mission>>. Acesso em: abr. 2024.

DOBOŠ, Bohumil. Astropolitics: yes, that is really a thing. **Medjunarodni Problemi**, [s.l.], v. 72, n. 1, 2020, p. 236–253.

DOBOŠ, Bohumil. The eagle returned: geopolitical aspects of the new lunar race.

Astropolitics, [s.l.], v. 20, n. 2–3, 2022, p. 121–134.

DOMÍNGUEZ, Nuño. Bill Nelson, head of NASA: “We want to protect the water on the Moon to prevent China from taking it over”. **EL PAÍS**. 2023. Disponível em:

<<https://english.elpais.com/science-tech/2023-05-31/bill-nelson-head-of-nasa-we-want-to-protect-the-water-on-the-moon-to-prevent-china-from-taking-it-over.html>>. Acesso em: fev. 2024.

DREW, Jason. **Story of the Fly**. [s.l.]: Cheviot Publishing, 2012.

DUARTE, Fernando. Como a invasão russa ameaça a cooperação internacional no espaço.

BBC News Brasil, 2022. Disponível em:

<<https://www.bbc.com/portuguese/internacional-60880817>>. Acesso em: mar. 2024.

ESA. **A Man – and an equation – Rocket Science**. 2012. Disponível em:

<<https://blogs.esa.int/rocketscience/2012/10/14/a-man-and-an-equation/>>. Acesso em: fev. 2024.

ESA. **ESA statement regarding cooperation with Russia following a meeting with Member States on 28 February 2022**. 2022. Disponível em:

<https://www.esa.int/Newsroom/Press_Releases/ESA_statement_regarding_cooperation_with_Russia_following_a_meeting_with_Member_States_on_28_February_2022>. Acesso em: fev. 2024.

ESA. **Helium-3 mining on the lunar surface**. 2024. Disponível em:

<https://www.esa.int/Enabling_Support/Preparing_for_the_Future/Space_for_Earth/Energy_Helium-3_mining_on_the_lunar_surface>. Acesso em: fev. 2024.

ESA. **Luna**. 2022. Disponível em:

<https://www.esa.int/Science_Exploration/Human_and_Robotic_Exploration/Exploration/Luna>. Acesso em: mar. 2024.

ESA. **Lunar Exploration**. 2024. Disponível em:

<<https://lunarexploration.esa.int/explore/esa/233>>. Acesso em: mar. 2024.

EXAME. **Depois da SpaceX, Blue Origin também levará astronautas à Lua**. 2023.

Disponível em:

<<https://exame.com/ciencia/depois-da-spacex-blue-origin-tambem-levara-astronautas-a-lua/>>. Acesso em: mar. 2024.

FADEM, Rachel. Tubarões são milhões de anos mais velhos que dinossauros; veja mais curiosidades. **CNN Brasil**. 2022. Disponível em:

<<https://www.cnnbrasil.com.br/tecnologia/tubaroes-sao-milhoes-de-anos-mais-velhos-que-dinossauros-veja-mais-curiosidades/>>. Acesso em: 6 abr. 2024.

FLÓRIO, Victoria. Mineração de hélio-3 na lua. **Ciência e Cultura**, v. 68, n. 4, 2016, p. 16–18. Disponível em:

<http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252016000400007>. Acesso em: fev. 2024.

FOUST, Jeff. Eight countries sign Artemis Accords. **SpaceNews**. 2020. Disponível em:

<<https://spacenews.com/eight-countries-sign-artemis-accords/>>. Acesso em: fev. 2024.

FOX, Karen C. **Einstein: A to Z**. 1. ed. Hoboken, N.J: John Wiley & Sons, 2004.

G1. **SpaceX levará empresário e esposa em nave ao redor da Lua.** 2022. Disponível em: <<https://g1.globo.com/inovacao/noticia/2022/10/12/spacex-leva-empresario-e-esposa-em-nave-ao-redor-da-lua.ghtml>>. Acesso em: fev. 2024.

HISTORY. **As grandes descobertas no Sistema Solar.** 2020. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=GR4CgpvPZas>>. Acesso em: jan. 2024.

ISRO. **Chandrayaan-1_Science.** 2023. Disponível em: <https://www.isro.gov.in/Chandrayaan-1_science.html>. Acesso em: mar. 2024.

ISRO. **Chandrayaan-2.** 2023. Disponível em: <https://www.isro.gov.in/Chandrayaan2_science.html>. Acesso em: mar. 2024.

ISRO. **Chandrayaan-3.** 2023. Disponível em: <<https://www.isro.gov.in/Chandrayaan3.html>>. Acesso em: mar. 2024.

ISRO. **CHANDRAYAN2.** 2023. Disponível em: <https://www.isro.gov.in/Chandrayan_2.html>. Acesso em: mar. 2024

ISRO. **Gaganyaan.** 2023. Disponível em: <<https://www.isro.gov.in/Gaganyaan.html>>. Acesso em: mar. 2024.

JAXA. **JAXA | Smart Lander for Investigating Moon (SLIM).** 2024. Disponível em: <<https://global.jaxa.jp/projects/sas/slim/>>. Acesso em: mar. 2024.

JAXA. **KAGUYA (SELENE).** 2023. Disponível em: <https://www.kaguya.jaxa.jp/index_e.htm>. Acesso em: mar. 2024.

JAXA. **MMX - Martian Moons eXploration.** 2015. Disponível em: <<https://www.mmx.jaxa.jp/en/>>. Acesso em: mar. 2024.

JAXA. **Smart Lander for Investigating Moon (SLIM) | Spacecraft.** 2024. Disponível em: <<https://www.isas.jaxa.jp/en/missions/spacecraft/current/slim.html>>. Acesso em: mar. 2024.

JI, Elliot ; PILIERO, Raphael J. ; CERNY, Michael B. What Does China Think About NASA's Artemis Accords? **The Diplomat.** 2020. Disponível em: <<https://thediplomat.com/2020/09/what-does-china-think-about-nasas-artemis-accords/>>. Acesso em: fev. 2024.

JONES, Andrew. China names the spacecraft that will put its astronauts on the moon (video).

Space. 2024. Disponível em:

<<https://www.space.com/china-names-spacecraft-astronaut-moon-missions>>. Acesso em: mar. 2024.

JONES, Andrew. China's Tiangong space station. **Space**. 2023. Disponível em:

<<https://www.space.com/tiangong-space-station>>. Acesso em: mar. 2024.

JOSEPHS, Jonathan. Corrida espacial: como rivalidade entre EUA e China por volta à Lua gera boom de investimentos em tecnologia. **BBC News Brasil**. 2023. Disponível em:

<<https://www.bbc.com/portuguese/articles/c25w1p0zezjo>>. Acesso em: mar. 2024.

JULIENNE, Marc. China's Ambitions in Space: The Sky's the Limit. **IFRI**. 2021. Disponível

em: <<https://www.ifri.org/en/publications/etudes-de-lifri/chinas-ambitions-space-skys-limit>>.

Acesso em: 20 nov. 2022.

KOLITZ, Daniel. Quando pessoas normais poderão visitar a Lua? **UOL**. 2021. Disponível

em: <<https://gizmodo.uol.com.br/quando-pessoas-normais-poderao-visitar-a-lua/>>. Acesso

em: fev. 2024.

KOYRÉ, Alexandre. **The Astronomical Revolution: Copernicus--Kepler--Borelli**. New York: Dover Publications, 1992.

KRECHETNIKOV, Artem. Laika, a vira-lata “pioneira” enviada ao espaço em 1957 em missão “sem volta”. **BBC News Brasil**, 2017. Disponível em:

<<https://www.bbc.com/portuguese/internacional-41860261>>. Acesso em: jan. 2024.

LAUNIUS, Roger D. **The Smithsonian History of Space Exploration: From the Ancient World to the Extraterrestrial Future**. 1st edition. Washington, DC: Smithsonian Books. 2018.

LEA, Robert. What are the Artemis Accords? **Space**. 2024. Disponível em:

<<https://www.space.com/artemis-accords-explained>>. Acesso em: fev. 2024.

LEWIS, Cathleen. Revisiting the Soviet Lunar Sample Return Missions. **Air and space**. 2020. Disponível em:

<<https://airandspace.si.edu/stories/editorial/revisiting-soviet-lunar-sample-return-missions>>.

Acesso em: mar. 2024.

LUTES, Charles D. **Toward a Theory of Spacepower**: Selected Essays. [s.l.]: Military Bookshop, 2011.

MACIEL, Walter J. O futuro do Sol. **IAG/USP**. 1995. Disponível em: <<http://www.astro.iag.usp.br/~maciel/teaching/artigos/futuro/futuro.html#:~:text=Ficando%20mais%20brilhante%2C%20o%20Sol>>. Acesso em: jan. 2024.

MARSHALL, Tim. **The Future of Geography**: How Power and Politics in Space Will Change our World. London: Elliott Thompson, 2023.

MCDUGALL, Walter A. **The Heavens and the Earth**: a Political History of the Space Age. 2. ed. Baltimore, Md: Johns Hopkins University Press, 1997.

MEHTA, Jatan . Your Guide to Water on the Moon. **The Planetary Society**. 2022. Disponível em: <<https://www.planetary.org/articles/water-on-the-moon-guide>>. Acesso em: fev. 2024.

MELO, Cristiano Fiorilo de ; WINTER, Othon Cabo. **A conquista do Espaço**: Do Sputnik à Missão Centenário. [s.l.]: Física, 2017.

MONSERRAT FILHO, José ; PATRÍCIO SALIN, A. O Direito Espacial e as hegemonias mundiais. **Estudos Avançados**, v. 17, n. 47, 2003, p. 261–271.

MORE, Louis Trenchard. **Isaac Newton, a Biography**. [s.l.]: Dover Publications, Inc., 1962.

NASA. **Artemis - NASA**. Disponível em: <<https://www.nasa.gov/humans-in-space/artemis/>>. Acesso em: mar. 2024.

NASA. **Artemis Accords - NASA**. Disponível em: <<https://www.nasa.gov/artemis-accords/>>. Acesso em: mar. 2024.

NASA. **Chandrayaan-1 / Moon Impact Probe**. 2024. Disponível em: <<https://science.nasa.gov/mission/chandrayaan-1/>>. Acesso em: mar. 2024.

NASA. **Commercial Lunar Payload Services**. 2024. Disponível em: <<https://www.nasa.gov/commercial-lunar-payload-services/>>. Acesso em: mar. 2024.

NASA. **Gateway - NASA**. 2024 Disponível em: <<https://www.nasa.gov/mission/gateway/>>. Acesso em: mar. 2024.

NASA. **Gateway Space Station - NASA**. 2024. Disponível em:

<<https://www.nasa.gov/reference/gateway-about/>>. Acesso em: mar. 2024.

NASA. **GRAIL (Ebb and Flow) - NASA Science**. 2023. Disponível em:

<<https://science.nasa.gov/mission/grail/>>. Acesso em: mar. 2024.

NASA. **July 20, 1969: One Giant Leap For Mankind**. 2019. Disponível em:

<<https://www.nasa.gov/history/july-20-1969-one-giant-leap-for-mankind/>>. Acesso em: jan. 2024.

NASA. **LADEE - NASA Science**. 2024. Disponível em:

<<https://science.nasa.gov/mission/ladee/>>. Acesso em: mar. 2024.

NASA. **LCROSS - NASA Science**. Disponível em:

<<https://science.nasa.gov/mission/lcross/>>. Acesso em: mar. 2024.

NASA. **Luna 25**. 2023. Disponível em:

<<https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraft/display.action?id=2023-118A>>. Acesso em: mar. 2024.

NASA. **Lunar Reconnaissance Orbiter - NASA Science**. 2024. Disponível em:

<<https://science.nasa.gov/mission/lro/>>. Acesso em: mar. 2024.

NASA. **NASA TechPort - Project Data**. 2019. Disponível em:

<<https://techport.nasa.gov/view/32426>>. Acesso em: mar. 2024.

NASA. **The Apollo Program - NASA**. 2024. Disponível em:

<<https://www.nasa.gov/the-apollo-program/>>. Acesso em: jan. 2024.

NASA. **Water & Ices**. 2024. Disponível em:

<<https://science.nasa.gov/moon/moon-water-and-ices/>>. Acesso em: fev. 2024.

NATIONAL GEOGRAPHIC. **O que foi o Big Bang?**. 2022. Disponível em:

<<https://www.nationalgeographicbrasil.com/espaco/2022/10/o-que-foi-o-big-bang>>. Acesso em: mar. 2024.

NATIONAL GEOGRAPHIC. **Turismo espacial**: como funciona e quanto custará o serviço que promete levar humanos ao espaço. 2023. Disponível em:

<<https://www.nationalgeographicbrasil.com/espaco/2023/09/turismo-espacial-como-funciona-e-quanto-custara-o-servico-que-promete-levar-humanos-ao-espaco>>. Acesso em: fev. 2024.

NAZARÉ, Eduardo. Direito Espacial cria normas internacionais que regulamentam atividades humanas no espaço. **Jornal da USP**. 2023. Disponível em: <<https://jornal.usp.br/campus-ribeirao-preto/direito-espacial-cria-normas-internacionais-que-regulamentam-atividades-humanas-no-espaco/>>. Acesso em: fev. 2024.

NELSON, Jack Wright ; WEDENIG, Stefan Michael. The Moon Agreement: Hanging by a Thread? **Institute of Air & Space Law**. 2023. Disponível em: <<https://www.mcgill.ca/iasl/article/moon-agreement-hanging-thread>>. Acesso em: fev. 2024.

NELSON, Sue. Exploração espacial: os países e empresas que competem com os EUA para voltar à Lua depois de 50 anos. **BBC News Brasil**. 2024. Disponível em: <<https://www.bbc.com/portuguese/articles/cedq0n7zwlyo>>. Acesso em: mar. 2024.

NEW SPACE ECONOMY. **The Tyranny of the Rocket Equation: An In-depth Examination**. 2023. Disponível em: <<https://newspaceconomy.ca/2023/05/28/the-tyranny-of-the-rocket-equation-an-in-depth-examination/>>. Acesso em: fev. 2024.

NTI. **Moon Agreement**. 2023. Disponível em: <<https://www.nti.org/education-center/treaties-and-regimes/agreement-governing-activities-states-moon-and-other-celestial-bodies-moon-agreement/>>. Acesso em: fev. 2024.

O'SHEA, Claire A. NASA Welcomes India as 27th Artemis Accords Signatory. **NASA**. 2023. Disponível em: <<https://www.nasa.gov/news-release/nasa-welcomes-india-as-27th-artemis-accords-signator/>>. Acesso em: mar. 2024.

OLIPHANT, M. L. E.; HARTECK, P. ; RUTHERFORD, Lord, Transmutation Effects Observed with Heavy Hydrogen, **Proceedings of the Royal Society of London**., v. 144, n. 853, 1934, p. 692–703.

PACHECO, Denis. “Combustível do futuro”, hélio-3 é dez vezes mais comum na Terra do que se imaginava. **Jornal da USP**. 2022. Disponível em: <<https://jornal.usp.br/atualidades/combustivel-do-futuro-helio-3-e-dez-vezes-mais-comum-n-terra-do-que-se-imaginava/>>. Acesso em: fev. 2024.

PETTIT, Don. The Tyranny of the Rocket Equation. **NASA**. 2012. Disponível em: <https://web.archive.org/web/20220306084046/https://www.nasa.gov/mission_pages/station/expeditions/expedition30/tryanny.html>. Acesso em: mar. 2024.

PULTAROVA, Tereza. Private Japanese moon lander crashed after being confused by a crater. **Space**. 2023. Disponível em: <<https://www.space.com/moon-lander-inspace-hakuto-r-crash-lunar-terrain>>. Acesso em: mar. 2024.

PYLE, Rod. **Space 2.0: How Private Spaceflight, a Resurgent NASA, and International Partners are Creating a New Space Age**. Dallas, TX: BenBella Books, 2019.

REHM, Jeremy ; BARTELS , Meghan. UAE Hope Mars orbiter: The Arab world's first interplanetary mission. **Space**. 2021. Disponível em: <<https://www.space.com/hope-mars-mission-uae>>. Acesso em: mar. 2024.

REUTERS. **Why is the moon's south pole so important?**. 2023. Disponível em: <<https://www.weforum.org/agenda/2023/08/space-water-ice-moon-south-pole/#:~:text=The%20Moon>>. Acesso em: fev. 2024.

REYNOLDS, Glenn Harlan, The Moon Treaty: prospects for the future, **Space Policy**, v. 11, n. 2, 1995, p. 115–120.

RIBEIRO, Gabriel Francisco. A Lua é pop (de novo): Por que a Lua voltou a ser objeto de desejo e tem novos países querendo dar um pulinho lá? **UOL**. 2019. Disponível em: <<https://www.uol.com.br/tilt/reportagens-especiais/por-que-queremos-voltar-para-a-lua/#page24>>. Acesso em: 6 abr. 2024.

ROSCOSMOS. **International Lunar Research Station: Guide for Partnership**. 2021 Disponível em: <<https://web.archive.org/web/20220822205424/https://www.roscosmos.ru/media/files/mnls.pdf>>. Acesso em: mar. 2024.

SCHMITT, Harrison H. **Return to the Moon: Exploration, Enterprise, and Energy in the Human Settlement of Space**. New York (Ny): Springer, 2006.

SCOLES, Sarah. PRIME MOVER: Starship will be the biggest rocket ever. Are space scientists ready to take advantage of it?, **Science**, v. 377, n. 6607, p. 702–705, 2022.

SHEEHAN, Michael. **The International Politics of Space**. 1st edition. London ; New York: Routledge, 2007.

STEINER, João. A importância de William Herschel para a astronomia. **Jornal da USP**. 2017. Disponível em:

<<https://jornal.usp.br/atualidades/a-importancia-de-william-herschel-para-a-astronomia/>>.

Acesso em: jan. 2024.

THE PLANETARY SOCIETY. **Every Mission to Mars, Ever**. 2024. Disponível em:

<<https://www.planetary.org/space-missions/every-mars-mission>>. Acesso em: mar. 2024.

THE PLANETARY SOCIETY. **Every Mission to the Moon, Ever**. 2024. Disponível em:

<<https://www.planetary.org/space-missions/every-moon-mission>>. Acesso em: mar. 2024.

THE PLANETARY SOCIETY. **Your Guide to NASA's Budget**. 2024. Disponível em:

<<https://www.planetary.org/space-policy/nasa-budget>>. Acesso em: fev. 2024.

TYSON, Neil deGrasse. **Astrofísica Para Apressados**. 2. ed., São Paulo, SP: Planeta, 2020.

U.S. DEPARTMENT OF STATE. **Outer Space Treaty**. 2017. Disponível em:

<<https://2009-2017.state.gov/t/isn/5181.htm>>. Acesso em: fev. 2024.

UNOOSA. **Moon Agreement**. 1979. Disponível em:

<<https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/spacelaw/treaties/intromoon-agreement.html>>.

Acesso em: fev. 2024.

UNOOSA. **Space Law Treaties and Principles**. 2008. Disponível em:

<<https://web.archive.org/web/20211223083235/http://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/spacelaw/treaties.html>>. Acesso em: fev. 2024.

VIDAL, Florian. Helium-3 from the lunar surface for nuclear fusion? **Polytechnique Insights**. 2022. Disponível em:

<<https://www.polytechnique-insights.com/en/braincamps/space/extraterrestrial-mining/helium-3-from-the-lunar-surface-for-nuclear-fusion/>>. Acesso em: fev. 2024.

WALL, Mike. Russia pinpoints cause of Luna-25 moon lander's failure. **Space**. 2023.

Disponível em: <<https://www.space.com/russia-luna-25-moon-crash-cause-found>>. Acesso em: mar. 2023.

WILLIAMS, David R. Future Chinese Lunar Missions. **NASA**. 2024. Disponível em: <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/lunar/cnsa_moon_future.html>. Acesso em: mar. 2024.

YUSAKU MAEZAWA. **dearMoon Crew Announcement!** | 月周回プロジェクト dearMoon クルー発表. 2022. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=9-XXSdcsBLU>>. Acesso em: abr. 2024.

ZAK, Anatoly. Luna-Glob orbiter (Luna-26). **Russian Space Web**. 2023. Disponível em: <https://www.russianspaceweb.com/luna_glob_orbiter.html>. Acesso em: mar. 2024.

ZANDONÁ, Thaís. Recursos espaciais: governança ou astropolítica no Século XXI. **UFRGS**. 2023. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/263192>>. Acesso em: mar. 2024.

ZUR, Christian. Escaping the Tyranny of the Rocket Equation. **Scientific American**. 2020. Disponível em: <<https://www.scientificamerican.com/blog/observations/escaping-the-tyranny-of-the-rocket-equation/>>. Acesso em: fev. 2024.