

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
INSTITUTO DE GEOGRAFIA  
CURSO DE ENGENHARIA DE AGRIMENSURA E CARTOGRÁFICA

ANA LAURA ALMEIDA TIZZO

ANÁLISE DE CRATERAS DO POLO SUL NA SUPERFÍCIE LUNAR COM TÉCNICAS  
DE SENSORIAMENTO REMOTO E PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS  
PARA FUTURAS INSTALAÇÕES DE BASE SE EXPLORAÇÃO

Monte Carmelo

2022

ANA LAURA ALMEIDA TIZZO

ANÁLISE DE CRATERAS DO POLO SUL NA SUPERFÍCIE LUNAR COM TÉCNICAS  
DE SENSORIAMENTO REMOTO E PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS  
PARA FUTURAS INSTALAÇÕES DE BASE DE EXPLORAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Instituto de Geografia da  
Universidade Federal de Uberlândia como  
requisito parcial para obtenção do título de  
bacharel em Engenharia de Agrimensura e  
Cartográfica.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Eduardo  
Ribeiro de Toledo

Coorientador: Prof. Msc. Carlos Alberto de  
Magalhães Cordeiro Palhares

Monte Carmelo

2022

ANA LAURA ALMEIDA TIZZO

ANÁLISE DE CRATERAS DO POLO SUL DA SUPERFÍCIE LUNAR COM TÉCNICAS  
DE SENSORIAMENTO REMOTO E PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS  
PARA FUTURAS INSTALAÇÕES DE BASE DE EXPLORAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Instituto de Geografia da  
Universidade Federal de Uberlândia como  
requisito parcial para obtenção do título de  
bacharel em Engenharia de Agrimensura e  
Cartográfica.

Monte Carmelo, 01 de abril de 2022.

---

Prof. Dr. Pedro Eduardo Ribeiro de Todelo, IGUFU

---

Prof. Msc. Carlos Alberto de Magalhães Cordeiro Palhares, IGUFU

---

Prof. Dr. Rodrigo Bezerra de Araujo Gallis, IGUFU

## RESUMO

Dois anos depois de completar 50 anos da chegada do homem à Lua, existem atualmente movimentações do setor aeroespacial para permitir o retorno ao nosso satélite natural. A *National Aeronautics and Space Administration* – NASA, a agência espacial norte-americana, planeja instalar na órbita da Lua, a fim de permitir que se torne base para a exploração de nosso satélite natural e uma possível base de envio de futuras missões interplanetárias. Para tais objetivos, a ciência percorreu inúmeros caminhos de inovação e conhecimento através dos anos que antecederam o primeiro pouso na superfície lunar e continua percorrendo este mesmo de forma a permitir que tais atividades como pousos, decolagens e a instalação de bases que orbitarão no satélite natural se tornem uma atividade corriqueira para a humanidade no futuro. Nosso satélite natural volta a chamar a atenção novamente como possibilidade de exploração devido aos recentes estudos sobre a viabilidade de uso de Hélio-3, um gás raro no planeta Terra, que pode ser utilizado para produzir energia limpa em usinas de fusão nuclear. Países como a China estão avançando em seus respectivos programas espaciais, tendo como objetivo não somente novas viagens à Lua, mas de instalações de bases na superfície que viabilizarão a exploração do Hélio-3, minerais preciosos e outras fontes de rendimento energético e econômicas. Assim, esta proposta de estudo reúne conhecimento de interesse da Engenharia de Agrimensura e Cartográfica sobre nosso satélite natural e fazer uso de técnicas de Sensoriamento Remoto para mensuração de crateras do Polo Sul que possuem maior disposição para assentamento de bases lunares por estarem constantemente sombreadas, protegendo estas bases da constante radiação solar, e pelo fato de estudos recentes estimarem a existência de gelo nestas crateras que sustentariam as futuras bases com fornecimento de água.

**Palavras-chave:** Lua. Base de exploração. Hélio-3. Sensoriamento Remoto. Polo Sul lunar. Crateras.

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 1</b> – Desenho de Galileu Galilei sobre a Lua com base nas suas observações por meio de um telescópio. ....	18
<b>FIGURA 2</b> – Mapa da Lua desenhado por Thomas Harriot.....	18
<b>FIGURA 3</b> – Esboços da Lua de Scheiner (1614), Malapert (1619) e Biancani (1620).....	19
<b>FIGURA 4</b> – Mapa lunar por Cristóvão Bruno. ....	19
<b>FIGURA 5</b> – Carta lunar de Van Langren.....	20
<b>FIGURA 6</b> – Lua cheia por Hevelius. ....	21
<b>FIGURA 7</b> – Mapa da Lua por Cassini. ....	21
<b>FIGURA 8</b> – Mapa da Lua por Eimmart. ....	22
<b>FIGURA 9</b> – Coordenadas planetocêntricas.....	24
<b>FIGURA 10</b> – Projeção de Mercator. ....	27
<b>FIGURA 11</b> – Logomarca do Programa Artemis.....	36
<b>FIGURA 12</b> – Alunissador da Empresa <i>Astrobotic Technology</i> propostos no Programa Artemis. ....	38
<b>FIGURA 13</b> – Plataforma <i>QuickMap</i> : Polígono desenhado na cratera Clavius.....	40
<b>FIGURA 14</b> – Plataforma <i>QuickMap</i> : estabilidade da profundidade do gelo do Polo Sul-atual. ....	42
<b>FIGURA 15</b> – Método do Sensoriamento Remoto. ....	43
<b>FIGURA 16</b> – Satélite LRO. ....	44
<b>FIGURA 17</b> – Espectro Eletromagnético. ....	45
<b>FIGURA 18</b> – Daguerreótipo. ....	47
<b>FIGURA 19</b> – Primeira imagem da Lua.....	48
<b>FIGURA 20</b> – Imagem da Lua pelo John W. Draper.....	48
<b>FIGURA 21</b> – Áreas com possibilidade de pouso e estabelecimento da Base Camp do Projeto Artemis. ....	51
<b>FIGURA 22</b> – Plataforma <i>QuickMap</i> .....	52
<b>FIGURA 23</b> – Plataforma <i>QuickMap</i> : áreas constantemente sombreadas no Polo Sul da Lua. ...	53
<b>FIGURA 24</b> – Plataforma <i>QuickMap</i> : distorção das imagens ao centro do Polo Sul e imagens das crateras no entorno. ....	54
<b>FIGURA 25</b> – Plataforma <i>QuickMap</i> : linhas de Coordenadas Geográficas. ....	54
<b>FIGURA 26</b> – Plataforma <i>QuickMap</i> : polígono.....	55

<b>FIGURA 27</b> – Plataforma <i>QuickMap</i> : dados detalhados da região através do polígono traçado. ....	55
<b>FIGURA 28</b> – Plataforma <i>QuickMap</i> : linha e perfil topográfico. ....	56
<b>FIGURA 29</b> – Plataforma <i>QuickMap</i> : polígonos das crateras sombreadas e nomeadas do Polo Sul. ....	56
<b>FIGURA 30</b> – Plataforma <i>QuickMap</i> : mapeamento geológico. ....	57
<b>FIGURA 31</b> – Plataforma <i>QuickMap</i> : mapeamento geomorfológico do Polo Sul. ....	57
<b>FIGURA 32</b> – Plataforma <i>QuickMap</i> : ordem das análises. ....	62
<b>FIGURA 33</b> – Plataforma <i>QuickMap</i> : perfil topográfico da cratera de maior altitude, cratera Cabeus. ....	62
<b>FIGURA 34</b> – Plataforma <i>QuickMap</i> : perfil topográfico da cratera de menor altitude, cratera von Baeyer. ....	63
<b>FIGURA 35</b> – Plataforma <i>QuickMap</i> : perfil topográfico da cratera com o verão mais quente, cratera Wapowski. ....	63
<b>FIGURA 36</b> – Plataforma <i>QuickMap</i> : perfil topográfico da cratera com o inverno mais gelado, cratera Haworth. ....	64

## LISTA DE QUADROS

<b>QUADRO 1</b> – Ranking dos maiores satélites naturais do Sistema Solar e seu ano de descobrimento. ....	17
<b>QUADRO 2</b> – Projeto <i>Mercury</i> : síntese das missões realizadas. ....	28
<b>QUADRO 3</b> – Projeto <i>Gemini</i> : síntese das missões realizadas. ....	30
<b>QUADRO 4</b> – Projeto <i>Apollo</i> : síntese das missões realizadas. ....	32
<b>QUADRO 5</b> – Área, diâmetro, altitude dos polígonos desenhados nas crateras sombreadas do Polo Sul. ....	58
<b>QUADRO 6</b> – Profundidade das crateras no Polo Sul sombreadas. ....	59
<b>QUADRO 7</b> – Temperaturas do verão polar na Lua. ....	60
<b>QUADRO 8</b> – Temperaturas do inverno polar da Lua. ....	61

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- EUA – Estados Unidos da América
- URSS – União das Repúblicas Socialistas Soviéticas
- NASA – *National Aeronautics and Space Administration*
- LRO – *Lunar Reconnaissance Orbiter*
- LLR – *Lunar Laser Ranging*
- APO – *Apache Point Observatory*
- SNC – Shergotita-nakhlita-chassignita
- IAU – *International Astronomical Union*
- JPL – *Jet Propulsion Laboratory*
- LOP-G – *Lunar Orbital Platform – Gateway*
- EI – Estação Espacial Internacional
- ISRO – Organização Indiana de Pesquisa
- KPLO – *Korea Pathfinder Orbiter*
- CNSA – Administração Espacial Nacional da China
- ILRS – Estação Internacional de Pesquisa Lunar
- JAXA – *Japan Aerospace Exploration Agency*
- CSA – Agência Espacial Canadiana
- SLS – *Space Launch System*
- CLPS – *Commercial Lunar Payload Services*
- SELENE – *Selenological and Engineering Explorer*
- LROC – *Lunar Reconnaissance Orbiter Camera*
- REM – Radiação Eletromagnetismo
- PDI – Processamento Digital de Imagem
- SIG – Sistema de Informação Geográfica
- USGS – *United States Geological Survey*
- MDT – Modelo Digital do Terreno
- TLP – Transitórios Lunares
- SOFIA – *Stratospheric Observatory for Infrared Astronomy*
- H<sub>2</sub>O – moléculas de água
- OH – hidroxila
- FORCAST – *Faint Object Infrared Camera*
- PCGMWG – Grupo de Trabalho de Cartografia Planetária e Mapeamento Geológico

ME – Sistema de Referência Terra Média / Eixo Polar

PDS – Sistema de dados planetários

PA – Sistema de Referência Eixo Principal

ULCN – Rede de Controle Lunar Unificada

LION – Lunar International Observers Network

HDC – Hasselblad Data

HEC – Hasselblad Electric



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	10
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	11
<b>2.1 Objetivo Geral</b> .....	11
<b>2.2 Objetivos Específicos</b> .....	12
<b>3 JUSTIFICATIVA</b> .....	12
<b>4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	14
<b>4.1 As “Possíveis Origens” da Lua: uma história em construção</b> .....	14
<b>4.2 Pequena revisão histórica dos estudos sobre a Lua, características físicas e de Geomática: Selenografia</b> .....	16
<b>4.3 Sistemas de Coordenadas Lunares</b> .....	22
4.3.1 Coordenadas Planetocêntricas .....	23
<b>4.4 Sistema de Referência Fixo Lunar</b> .....	24
4.4.1 Sistema de Referência Lunar de Terra Média / Eixo Polar .....	24
4.4.2 Sistema de Referência Lunar do Eixo Principal .....	25
<b>4.5 Rede de Controle Unificada</b> .....	25
<b>4.6 Projeção Cartográfica lunar</b> .....	26
4.6.1 Projeção de Mercator .....	26
<b>4.7 Guerra Fria e Corrida Espacial: avanços tecnológicos e prestígio</b> .....	27
<b>4.8 Fenômenos Transitórios Lunares</b> .....	35
<b>4.9 Programa Artemis: o futuro das missões para a Lua</b> .....	36
<b>4.10 Os programas de exploração da NASA e outras agências na escolha da área</b> ..	38
<b>4.11 Descoberta de água na cratera Clavius</b> .....	40
<b>4.12 Sensoriamento Remoto, SELENE e LRO / LROC</b> .....	42
<b>4.13 Radiação Eletromagnética</b> .....	44
<b>4.14 Processamento Digital de Imagens</b> .....	45
<b>4.15 Fotogrametria</b> .....	46
<b>5 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	50
<b>5.1 Área de estudo</b> .....	50
<b>5.3 Descrição dos Métodos</b> .....	52
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	58
<b>7 CONCLUSÃO</b> .....	64
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	68

## 1 INTRODUÇÃO

A busca de maiores conhecimentos sobre nosso satélite natural remete a pelo menos 450 anos a.C.. Segundo Neison (1876), Demócrito afirmou que as Altas Montanhas e os Vales Ocos eram causas de suas marcas, o que surgiu a ideia de que a Lua não é lisa. No entanto, a análise sobre a superfície lunar se aprofundou a partir do século XV, por meios dos estudos de Selenografia e quando o físico William Gilbert elaborou seus estudos por meio da confecção de um desenho da Lua baseado na observação a olho nu.

A sistematização do mapeamento lunar inicia-se em 1779, quando Johann Schröter iniciou seus estudos sobre a mensuração da superfície lunar através de observações mais meticulosas da topografia lunar. No primeiro lustro da década de 30 do século XIX, Johann Heinrich Von Mädler publicou a obra *The Universal Selenography*, além de um cartograma da Lua. Até março de 1840, as mensurações da superfície lunar eram feitas por meio de observações diretas, no entanto, neste ano, JW Draper utilizou um refletor de 5 polegadas e produziu um daguerreótipo da Lua, e desta forma introduziu a fotografia na astronomia, sendo que em 1890, a fotografia lunar era considerada como subdisciplina da Astronomia.

Os avanços tecnológicos do século XX conduziram a avanços significativos da Selenografia. Em 1959, a espaçonave soviética Luna nos apresentou as primeiras fotos do lado oposto da Lua. A corrida espacial que caracterizava um dos principais fatores da Guerra Fria entre os Estados Unidos da América - EUA e a União das Repúblicas Socialistas Soviéticas – URSS acelerou o processo de conhecimento do homem sobre o espaço, mas principalmente sobre os estudos da superfície lunar, permitindo que os EUA se destacassem na corrida espacial por fazer os primeiros humanos alunissar na superfície em 1969. No entanto, até que este ponto da história se concretizasse, muito se avançou na área de Selenografia para que o planejamento das primeiras missões tripuladas ao nosso satélite natural pudesse ocorrer.

Dentre os estudos de matemática, sistemas computacionais, física e fisiologia humana, encontra-se a contribuição daquilo que viria a se chamar de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica no futuro, no estabelecimento de instrumentalização, métodos e o preciosismo das mensurações da superfície lunar, aproveitando todo conhecimento secular do avanço epistemológico desta ciência para os estudos de nosso satélite natural.

Dois anos depois de completar 50 anos da chegada do homem à Lua, existem atualmente movimentações do setor aeroespacial para permitir o retorno ao nosso satélite natural. Nos últimos dois anos, duas empresas de capital privado norte-americano, a *Blue*

*Origin* e a *Lockheed Martin*, mostraram a proposta de módulos de pouso capazes de permitir o transporte de astronautas de uma planejada e futura estação espacial que ficará instalada na órbita lunar até a superfície da mesma e percorrendo este mesmo trajeto ao contrário, ao qual serão acoplados foguetes lançados do nosso planeta.

No dia 01 de maio de 2019, a *Boeing* concluiu uma versão de testes em tamanho real da futura estação que a *National Aeronautics and Space Administration* - NASA, a agência espacial norte-americana, planeja instalar na órbita da Lua, a fim de permitir que ela se torne base para a exploração de nosso satélite natural e uma possível base de envio de futuras missões interplanetárias.

Para tais objetivos, a ciência percorreu inúmeros caminhos de inovação e conhecimento através dos anos que antecederam o primeiro pouso na superfície lunar e continua percorrendo este mesmo de forma a permitir que tais atividades como pousos, decolagens e a instalação de bases que orbitarão no satélite natural se tornem uma atividade corriqueira para a humanidade no futuro.

Assim, esta proposta de estudo tem por objetivo central reunir todo conhecimento de interesse da Engenharia de Agrimensura e Cartográfica sobre nosso satélite natural e fazer uso de técnicas de Sensoriamento Remoto para mensuração de crateras do Polo Sul que possuem maior interesse para assentamento de bases lunares por estarem constantemente sombreadas, ao exemplo da cratera de Schomberger e da cratera de Demonax, protegendo estas bases da constante radiação solar, e pelo fato de estudos recentes estimarem a possibilidade de haver gelo nestas crateras que sustentariam estas futuras bases com fornecimento de água.

A seguir apresentaremos os objetivos geral e específico desta pesquisa, além da revisão bibliográfica, métodos e resultados alcançados.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Revisar os avanços na área de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica nos estudos de Selenografia e analisar o Polo Sul da Lua, dando base para interpretação sobre o planejamento para exploração e colonização desta região nos próximos anos.

## 2.2 Objetivos Específicos

- Analisar e identificar a planialtimétrica da superfície lunar com os dados da espaçonave robótica *Lunar Reconnaissance Orbiter - LRO* da *National Aeronautics and Space Administration* – NASA.
- Descrever dados já levantados pelas agências espaciais e de pesquisas por meio da utilização de técnicas de Sensoriamento Remoto e interpretar as imagens do *Lunar Reconnaissance Orbiter* – LRO.
- Mensurar as crateras sombreadas do Polo Sul lunar para obter coordenada, área, distância, altitude e a máxima e mínima das temperaturas de verão e inverno presentes na região através da plataforma *QuickMap*.
- Revisar os avanços tecnológicos e métodos na área de Cartografia e Sensoriamento Remoto utilizados nos estudos que levaram e irão novamente conduzir a futuras missões de exploração da Lua nos próximos anos.

## 3 JUSTIFICATIVA

Os estudos sobre nosso satélite natural percorreram um longo caminho histórico que vai de filósofos como Aristarco de Samos na Grécia antiga por volta de 310 a.C. até os dias atuais. A Lua sempre trouxe consigo a curiosidade humana em entender suas diferentes facetas e ciclos, mas principalmente sua influência nos fenômenos naturais em nosso planeta.

Deste modo, os estudos que buscam entender suas dimensões, o entendimento de sua superfície, sua composição e outros aspectos já possuem uma longa história, mas nunca houve tanto avanço quanto as investigações do século XX, quando o avanço tecnológico de observação nos permitiu realizar estudos mais aprofundados sobre o satélite, e pela corrida espacial entre os Estados Unidos da América e a União das Repúblicas Socialistas Soviéticas. Tal corrida, por meio de programas espaciais das duas nações, objetivou na essência a mostra de poderio tecnológico, que tinha como pano de fundo um domínio ideológico, mas que de certa maneira o norte americanos saíram na frente com as primeiras missões tripuladas para o nosso satélite natural, no final da década 60 e os primeiros anos da década de 70.

Após este período de grande avanço tecnológico e de investigações científicas dentro do contexto da denominada “Guerra Fria”, não houve demais missões tripuladas ao satélite

natural, e os investimentos governamentais ficaram inertes até os anos mais recentes de nossa história.

A denominada Guerra Fria já não existe mais, mas novamente a humanidade e principalmente por motivações econômicas e políticas, a ciência reacende a chama de novas investigações não somente sobre nosso satélite natural, mas também sobre o planeta Marte, aos quais se tornaram objetivos de uma nova corrida espacial para os próximos anos, como apontado na introdução deste projeto.

Assim, a Engenharia de Agrimensura e Cartográfica e a Geociência de modo em geral, ganha espaço e motivação para investidas em estudos sobre a Lua, no que tange tanto a parte de imageamento, aferições cartográficas e topográficas, elementos de geodésia, de caracterização e mapeamento geológico e infinitas possibilidades de outros estudos correlacionados.

Para tal, o aprofundamento do conhecimento sobre nosso satélite natural se faz cada vez mais necessário, à medida que os instrumentos técnicos de mensuração o permitem. Dentro da epistemologia que dá base a ciência da Engenharia de Agrimensura e Cartográfica, encontramos obras como a do pesquisador Kurt Lambeck denominada *Geophysical Geodesy: the slow deformations of the Earth* de 1988 que dedicam uma parte desta obra aos estudos geodésicos de nosso satélite, citando o *Lunar Laser Ranging – LLR* da *Apache Point Observatory* (APO) com telescópio de 3,5 m no Estado do Novo México nos Estados Unidos, que se dedica desde a instalação do painel refletor na superfície da Lua em 1969 a mensurar constantemente a distância entre a nossa superfície e a superfície de nosso satélite natural contínua de disparos de laser direcionados a um único conjunto retro-refletor lunar.

Nosso satélite natural volta a chamar a atenção novamente como possibilidade de exploração devido aos recentes estudos sobre a viabilidade de uso de hélio-3, um gás raro no planeta Terra, que pode ser utilizado para produzir energia limpa em usinas de fusão nuclear. A eletricidade produzida em usinas term nucleares à hélio-3 representaria uma solução para possíveis crises de energia, já que 40 gramas de hélio-3 substituem cinco mil toneladas de carvão em termos de energia. Países como a China estão avançando em seus respectivos programas espaciais, tendo como objetivo não somente novas viagens à Lua, mas de instalações de bases na superfície que viabilizarão a exploração do hélio-3, minerais preciosos e outras fontes de rendimento energético e econômicas.

Dessa maneira sua justificativa de existência por meio de uma revisão histórica dos dados e técnicas que tangem a cartografia e do uso de técnicas inerentes a ciência cartográfica que será utilizada para um melhor conhecimento das características inerentes ao Polo Sul da

Lua, com relação à mensuração de crateras, análise de sombreamentos nas mesmas e outros aspectos que estão em consonância com os objetivos da NASA para as futuras missões tripuladas e o processo de estabelecimento de bases fixas no satélite.

## **4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **4.1 As “Possíveis Origens” da Lua: uma história em construção**

A maioria dos estudos aponta que a Lua tenha sua origem no mesmo processo de formação do Sistema Solar a cerca de 4,5 bilhões de anos atrás, onde a formação do nosso Sol concentra 99,86% da matéria presente no nosso Sistema Solar, segundo estudos mais recentes. Assim, grandiosa massa do Sol distorce o denominado Espaço-Tempo e faz que o restante da matéria, que formou 8 planetas, outros corpos rochosos de maiores proporções, os satélites naturais que orbitam os planetas, além dos cinturões de asteroides, que ao total compõem 0,14% da matéria existente no Sistema Solar.

Desta maneira, a origem da Lua remete a ideia básica de que todos os satélites naturais que orbitam os planetas de nosso Sistema Solar foram formados por matéria que passou a orbitar o corpo de maior massa (planeta), originária da matéria dispersa no processo de formação do Sistema Solar, ou de material originado pelo próprio planeta. Origem válida tanto para a nossa lua, como as conhecidas 82 luas de Saturno e as 79 de Júpiter.

No entanto, estudos recentes como o professor do departamento de Geologia da Universidade do Estado do Arizona (*Arizona State University*) John W. Larimer (1986) sobre química nebular e as teorias da origem da Lua nos aponta que a matéria presente no Sol e em outros corpos celestes como meteoritos primitivos que contem o material de origem do Sistema Solar são peças chaves para a compreensão da formação da nossa Lua e mesmo do Planeta Terra que possuem rochas que passaram por muitos processos de resfriamento e vulcanismos que atribuem complexidades difíceis de serem decifradas com relação à investigação de seu processo de origem. Assim, a origem de nossa Lua possui uma história ainda em processo de investigação, nos apontando algumas possibilidades, tal como, a que a Lua foi originada após o impacto que o Planeta Terra (ainda em processo de formação) tenha sofrido com o Planeta Theia, fazendo com que a parte do planeta “desgovernado” que compunha o núcleo fosse acrescido ao núcleo do Planeta Terra e que a matéria que circundou o Planeta Terra deu origem à nossa Lua.

Outra possibilidade ainda em processo de estudos aponta que a Lua foi formada por um processo de “perda de material” por parte do Planeta Terra como consequência de uma força centrípeta que fez com o material que deu origem a Lua fosse lançado ao espaço e se condensasse no corpo rochoso que viria a se tornar o nosso satélite natural.

Segundo Larimer (1986, pág. 170): “como a Lua tem apenas 1/80 da massa da Terra, suponha que não possua elemento refratário, e deficiente em todos os outros componentes. Então, em relação a Terra, tem 2-3 vezes menos silicato de magnésio, 10 vezes menor metais e 30 vezes menos elementos altamente voláteis.”

A maioria das hipóteses para a origem da Lua (fissão rotacional, co-acreção e ejeção colisional da Terra, incluindo “impacto gigante”) preconiza a formação da Lua em um ambiente geocêntrico. No entanto, dados geoquímicos importantes para as rochas basálticas da Lua, da Terra, do corpo-pai de asteroide howardita-eucrita-diogenita (HED) (provavelmente asteroide 4-Vesta) e do corpo-pai de meteorito shergotita-nakhlita-chassignita (SNC) (provavelmente Marte), não fornecem evidências de que a Lua foi derivada da Terra e sugerem que alguns objetos com composições semelhantes à lunar foram produzidos sem envolvimento da Terra. As composições da região de origem dos basaltos produzidos na Lua (basaltos de mar) foram semelhantes às produzidas no asteroide HED (eucritas) no que diz respeito aos elementos litófilos voláteis (Na, K, Rb, Cs e Tl), elementos siderófilos (Ni, Co, Ga, Ge, Re e Ir) e elementos ferromagnesianos (Mg, Fe, Cr e V) e menos semelhantes aos da Terra ou de Marte. Os basaltos da água e da eucrita diferem em suas abundâncias de Mn, valores de Fe / Mn e composição isotópica, sugerindo que a Lua e o asteroide HED se formaram em diferentes localizações nebulares. No entanto, afirmações anteriores de que a Lua e o corpo-pai HED diferem significativamente na abundância de alguns elementos, como Ni, Co, Cr e V, não são corroboradas pelos dados. Em vez disso, a sistemática de abundância de Cr-Mg-Fe-Ni-Co sugere uma semelhança próxima entre as composições da região de origem e as condições envolvidas na produção de basaltos de mar e eucrita, e uma diferença significativa daquelas de basaltos terrestres.

Os dados implicam que a Lua e o asteroide HED experimentaram depleção de elementos volátil semelhante e fracionamento semelhante de fases metálicas e máficas. Entre as hipóteses de origem lunar, fissão rotacional e ejeção colisional de pequeno impacto parecem menos sustentáveis do que co-acreção, captura ou uma variante da ejeção colisional de impacto gigante em que a Lua herda a composição do impactador. Tanto a Lua quanto o asteroide HED podem ter derivado de uma classe de objetos comuns no início do Sistema Solar.

A Lua também pode ter se formado a partir de uma série de rochas colidindo com uma Terra embrionária. De acordo com um estudo publicado na revista científica *Nature Geoscience*, o bombardeio de corpos celestes lançaria partes do nosso planeta para o espaço, formando pequenos "satélites" que ainda orbitam a Terra e se reúnem ao longo de milhões de anos. Juntos formam nossa Lua. A nova teoria poderia explicar uma grande inconsistência na hipótese predominante, segundo a qual a Lua foi o resultado de uma única colisão gigante entre a Terra e um corpo celeste, com o tamanho equivalente ao Planeta Marte. De acordo com a nova teoria, cerca de um quinto do material da Lua vem da Terra, e o restante vem de um segundo corpo celeste. Os proponentes da hipótese de impacto único estão intrigados. O estudo mostrou que esses múltiplos impactos escavaram mais material da Terra do que um único impacto, o que significa que as luas resultantes estariam mais próximas da composição da Terra.

Segundo Racula Refu, do Instituto Weizmann de Ciências, um dos autores do novo estudo: “O cenário de múltiplos impactos é uma forma mais natural de explicar a formação da Lua”.

Para chegar a conclusão da origem de múltiplos impactos para a Lua, foi criado cerca de 1.000 simulações de computador de colisões entre um proto-Terra e planetas embrionários chamados "planetesimais", menores que Marte. O sistema mostrou que o impacto de vinte dessas rochas foi suficiente para formar a Lua. Cada colisão criava um disco de detritos ao redor da proto-Terra, e esses pedaços se aglomeravam para formar pequenas luas – por ventura, ao longo de milhões de anos, essas luas se fundiriam para formar a Lua.

A seguir faremos uma pequena revisão histórica sobre os estudos inerentes a Lua com ênfase nas investidas cartográficas.

#### **4.2 Pequena revisão histórica dos estudos sobre a Lua, características físicas e de Geomática: Selenografia**

A Lua é o único satélite natural do Planeta Terra e apresenta-se como o maior satélite natural do Sistema Solar com relação ao tamanho do planeta em que ela orbita, no Sistema Solar como um todo o mesmo se coloca na quinta posição entre as 10 maiores em termos de dimensão, seguindo a seguinte ordem, conforme QUADRO 1 a seguir, sendo que nosso Sistema Solar abriga mais de 200 satélites naturais.



**QUADRO 1** – Ranking dos maiores satélites naturais do Sistema Solar e seu ano de descobrimento.

POSIÇÃO	NOME	PLANETA	ANO DE DESCOBRIMENTO	DIÂMETRO
1º	Ganimedes	Júpiter	1610	5.262 km
2º	Titã	Saturno	1655	5.150 km
3º	Calisto	Júpiter	1610	4.820 km
4º	Io	Júpiter	1610	3.642 km
5º	Lua	Terra	--	3.475 km
6º	Europa	Júpiter	1610	3.121 km
7º	Tritão	Netuno	1846	2.706 km
8º	Titânia	Urano	1787	1.577 km
9º	Reia	Saturno	1672	1.528 km
10º	Oberon	Urano	1787	1.523 km

Fonte: <https://canaltech.com.br/espaco/quantas-luas-o-sistema-solar-tem-conheca-satelites-naturais-alem-da-nossa-lua-163567/>. Acesso 04 de out. 2021.

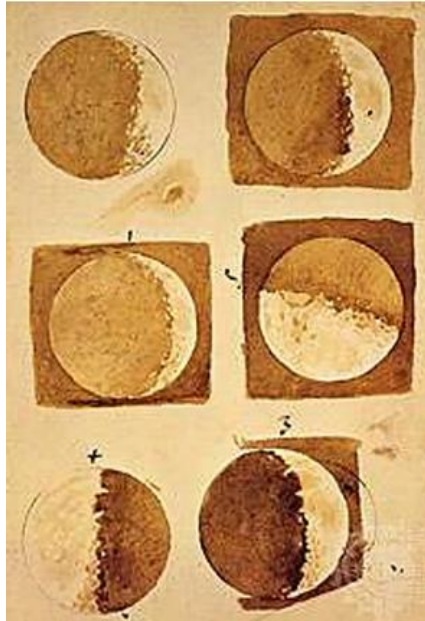
Um dos estudos sobre nosso satélite natural mais antigos conhecidos é o de Aristarco de Samos na Grécia Antiga por volta de 310 a.C., onde este filósofo tinha por objetivo possíveis determinações do tamanho da Lua, por meio de observações de eclipses tanto lunares como solares. Este estudo encontra-se em única obra remanescente do autor denominada de: “Sobre os tamanhos e as distâncias do Sol e da Lua”.

1 - A Lua recebe sua luz do Sol; 2 - A Terra pode ser considerada um ponto, e é o centro da esfera da Lua; 3 - Quando a Lua nos parece dicótoma (dividida em duas partes iguais), o grande círculo que separa a parte iluminada da parte escura está na direção; 4 - Quando a Lua nos parece dicótoma, sua separação do Sol é menor que um quadrante por um trigésimo de quadrante de nossos olhos; 5 - A largura da sombra da Terra equivale a duas Luas; 6 - A Lua subentende a décima quinta parte de um signo do zodíaco. (SAMOS, 2016).

No início do século XVII, Galileu fez suas primeiras observações da Lua com o uso de telescópio, deduzindo assim que a superfície lunar era composta por crateras, relevos e montanhas, ao contrário do que apontavam os filósofos aristotélicos que afirmavam que a Lua era uma esfera perfeita, como nos apontam alguns estudos como o de Nussenzeig (2013).

Por meio de suas observações dos astros com o uso de seu telescópio, Galileu publicou alguns estudos ao exemplo da obra: “*Sidereus Nuncius*: O Mensageiro das Estrelas”, onde o mesmo apresenta algumas representações da Lua por meio de desenhos, ao exemplo da FIGURA 1 a seguir:

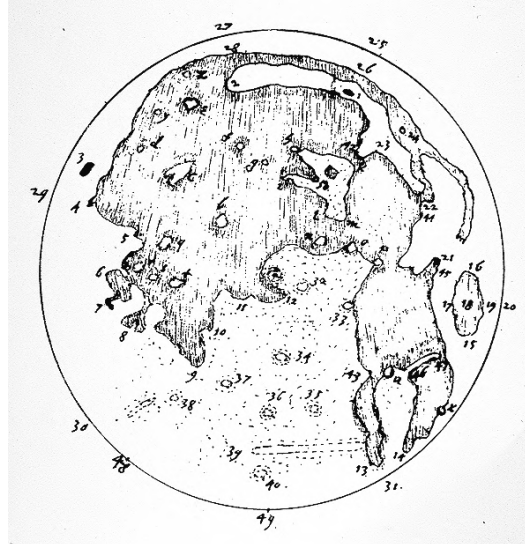
**FIGURA 1** – Desenho de Galileu Galilei sobre a Lua com base nas suas observações por meio de um telescópio.



Fonte: Grupo de Estudos e Pesquisas “História, Sociedade e Educação no Brasil”, UNICAMP. Acesso em 15 de out. de 2021.

Galileu não era o único observador da Lua, e nem o primeiro. Thomas Harriot desenhou um mapa do telescópio da Lua, observando-a por vários anos, mas suas pinturas ainda não foram publicadas. A FIGURA 2 a seguir representa os desenhos de Harriot.

**FIGURA 2** – Mapa da Lua desenhado por Thomas Harriot.

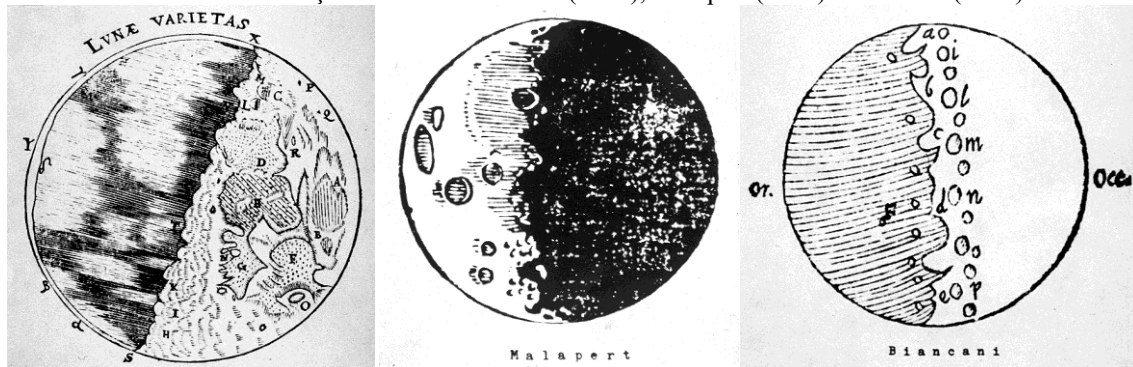


Fonte: <http://galileo.rice.edu/sci/observations/moon.html>. Acesso em 24 out de 2021.

De fato, Galileu nunca mais voltou à missão de representar a Lua. No entanto, na década de 1630, ele percebeu as vibrações da Lua, o que mostrava que a Lua nem sempre era observada pela mesma face na Terra.

Os esboços de Christophe Schiener (1614) Charles Ma Lapete (1619) e Giuseppe Bianciani (1620) eram úteis para apoiar o argumento de que a Lua é de superfície áspera, conforme a FIGURA 3 a seguir.

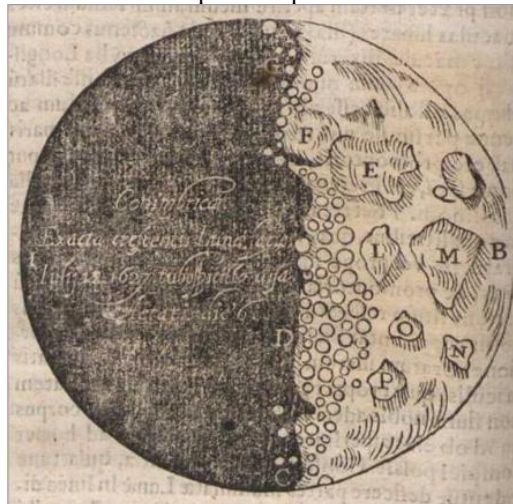
**FIGURA 3** – Esboços da Lua de Scheiner (1614), Malapert (1619) e Bianciani (1620).



Fonte: <http://galileo.rice.edu/sci/observations/moon.html>. Acesso 25 de out. de 2021.

Cristóvão Bruno publicou um mapa da Lua (FIGURA 4) na *Collecta astronomica* (1631), com diâmetro de 10 cm, letras, topo de Galileu, e que considera prova que o corpo lunar não é homogêneo, ao contrário, é causado por depressões e elevações, e suas regiões escuras não são mudanças na densidade, mas a influência da luz solar em superfícies irregulares.

**FIGURA 4** – Mapa lunar por Cristóvão Bruno.

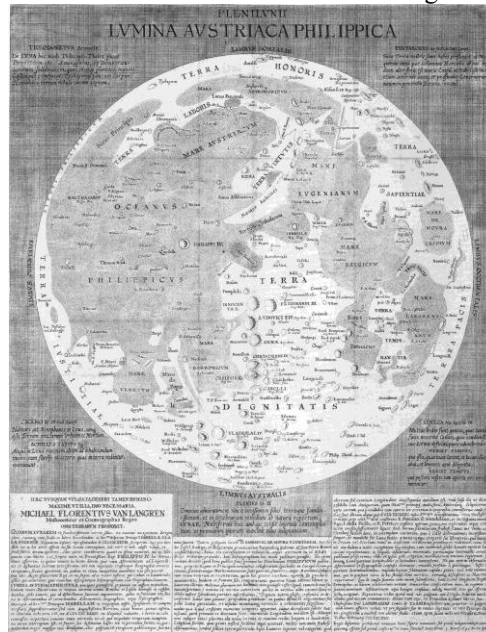


Fonte: <https://revistas.pucsp.br/index.php/circumhc/article/view/7150/5414>. Acesso 25 de out. de 2021.

A superfície lunar rugosa foi aceita pelos astrônomos, que concentraram a atenção para solução dos problemas de longitude com observações do telescópio. O problema da longitude é o problema da vida de Michael Florent van Langren.

Van Langren publicou o primeiro mapa (FIGURA 5) desenhado em Bruxelas: *Plenilunni / Lumina Austriaca Philippica* (1645).

**FIGURA 5** – Carta lunar de Van Langren.



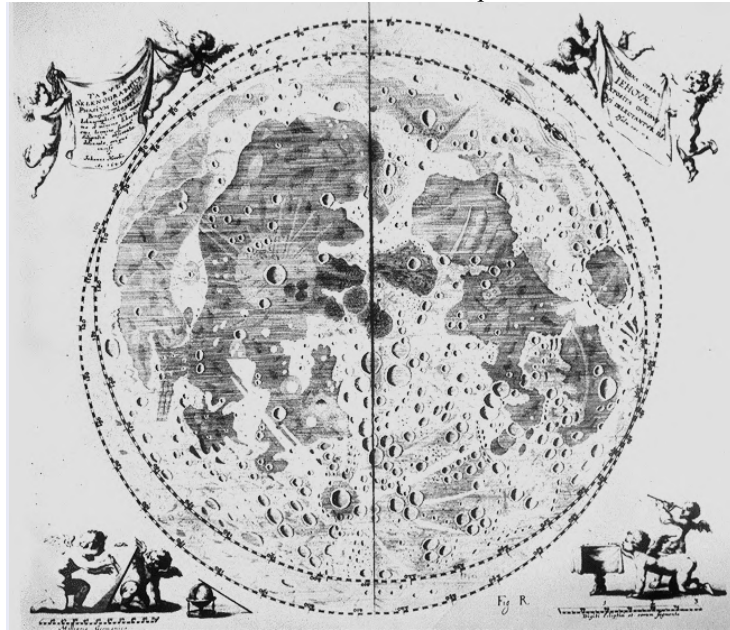
Fonte: <https://revistas.pucsp.br/index.php/circumhc/article/view/7150/5414>. Acesso em 25 out. de 2021.

O ponto luminoso deve ser usado como referência para a medição da longitude. A razão óbvia para a existência desses pontos é os acidentes na superfície da Lua, e eles refletem a luz do Sol de diferentes intensidades. Pela primeira vez, alguém deu nome as principais manchas visíveis a olho nu ou com pequeno telescópio/luneta. Portanto, Van Langren intenciona uma geopolítica europeia que obteve uma imensa terra de Oceano Filipino, Austríaco, dignidade, temperança, sabedoria, trabalho.

Em 1647, dois anos depois, Johannes Hevelius considerado o maior astrônomo observador, fez suas próprias lentes e seu próprio telescópio. Por vários dias, ele observou a Lua todas as noites claras, desenhou seus próprios resultados de observação, e os registrou em um livro luxuoso às suas próprias custas. Em *Selenographia*, mostra as esculturas de cada estágio imaginável da Lua (FIGURA 6), como a Lua cheia apareceu em um telescópio, um mapa composto de todos os recursos lunares iluminados no mesmo lado. Seu mapa homenageia outros nomes e lugares.



**FIGURA 6 – Lua cheia por Hevelius.**



Fonte: <http://galileo.rice.edu/sci/observations/moon.html>. Acesso em 25 de out. de 2021.

Quatro anos depois, um padre jesuíta, Giovanni Battista Riccioli, renomeou toda a superfície da Lua; muitas de suas regiões/manchas tornaram-se crateras, mares, vales; os nomes de lugares se estabilizaram. Nos últimos dez anos do século 17, os dois últimos grandes mapas do satélite foram publicados, o Cassini e o Eimmart (FIGURA 7 e 8).

**FIGURA 7 – Mapa da Lua por Cassini.**

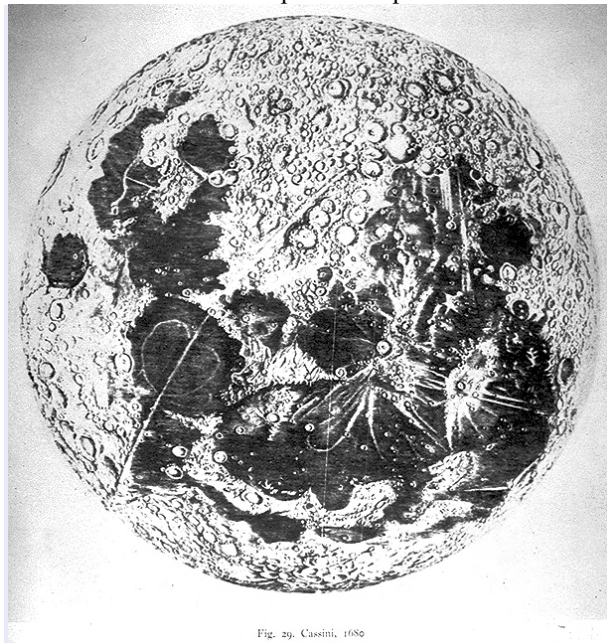
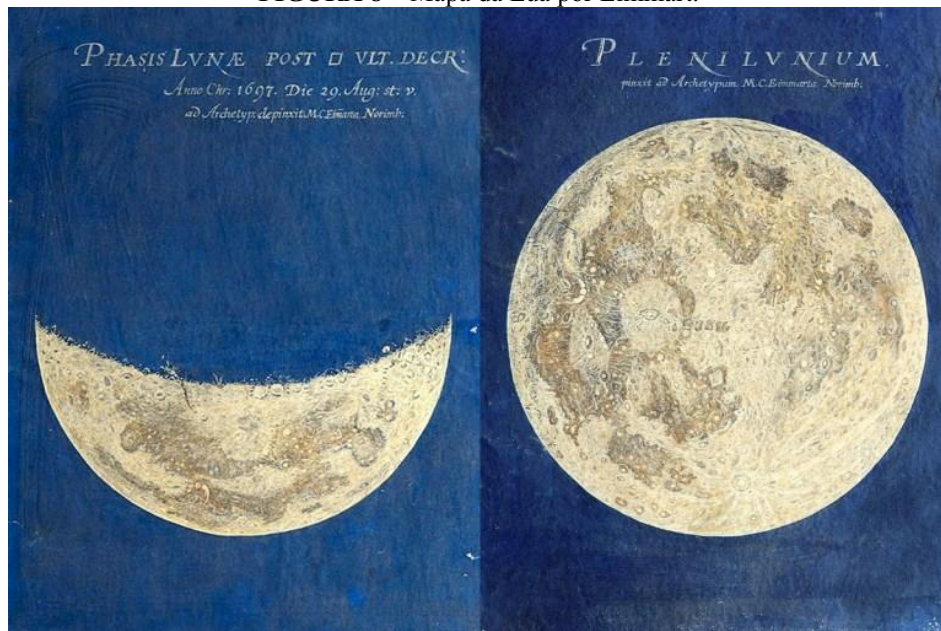


Fig. 29. Cassini, 1686

Fonte: <http://galileo.rice.edu/sci/observations/moon.html>. Acesso em 25 de out. 2021.

**FIGURA 8** – Mapa da Lua por Eimmart.



Fonte: <https://www.themarginalian.org/2019/01/06/maria-clara-eimmart/>. Acesso em 25 de out. 2021.

A Lua é um corpo celeste distinto: sua crosta, manto e núcleo são geoquimicamente diferentes. A superfície da Lua é formada por complexos acidentes geográficos que combinam diferentes processos, como impactos de meteoritos e atividade vulcânica. Com cor de giz, essa camada da superfície da Lua é chamada de regolito lunar, sendo uma camada de poeira porosa com 5 a 10 m de espessura. Depois das missões Apollo de 1969 a 1972, com as amostras coletadas e trazidas foi possível estudar e evidenciar que a superfície do satélite é rica em sílica, dióxido de titânio e óxidos de alumínio, cal, magnésio, cromo, ferro e sódio. As planícies lunares escuras e relativamente inóspitas, fáceis de observar a olho nu, são chamadas de mares, pelo fato de que os astrônomos antigos pensavam que continham água. Sabe-se hoje que são enormes depósitos de lava de basalto antigo. Os mares cobre 31% da superfície lunar, sendo quase inteiramente a superfície visível da Lua. Outro grande processo geológico que afeta a superfície lunar são as crateras de impacto formadas pela colisão de asteroides e cometas com o satélite.

A seguir falaremos sobre o sistema de coordenadas da Lua, as coordenadas planetocêntricas.

### 4.3 Sistemas de Coordenadas Lunares

Usar um sistema de coordenadas lunares comum para o LRO e outros componentes da NASA é importante por várias razões. Em suma, existe apenas um sistema que elimina a

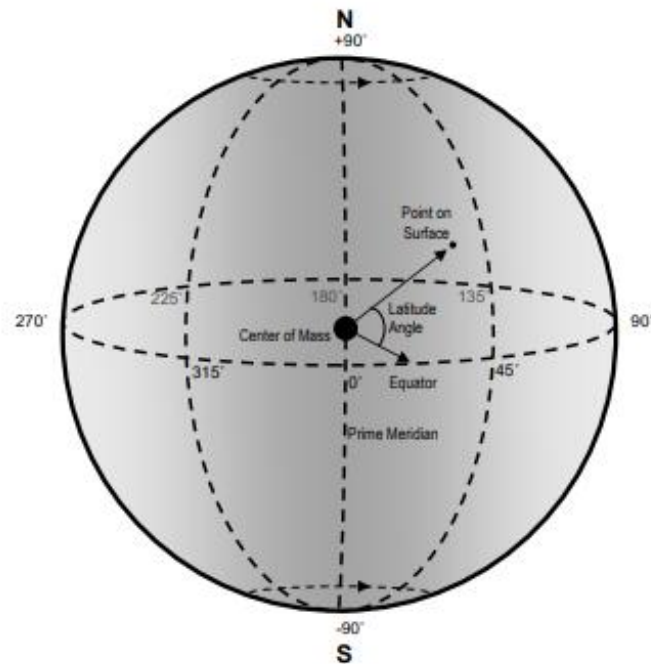
confusão potencial entre os membros da equipe LRO e outros componentes e missões da NASA e outros países, bem como a comunidade de usuários de dados.

Os termos sistema de referência e quadro de referência são usados de forma intercambiável, mas têm significados diferentes quando usados com precisão. Um sistema de referência é idealizado para definir a localização de algum objeto (ou no espaço em geral). Um quadro de referência é uma materialização de um sistema de referência na realidade, por exemplo. Na maioria dos casos trata-se de uma solução que define localizações numéricas específicas de certos pontos em um sistema de referência a partir de dados observacionais.

#### **4.3.1 Coordenadas Planetocêntricas**

Por recomendação do Grupo de Trabalho de Cartografia Planetária e Mapeamento Geológico (PCGMWG) são utilizadas coordenadas planetocêntricas. Estas são coordenadas esféricas, onde o eixo z é o eixo de rotação médio e o eixo x é a interseção do equador e do meridiano. O eixo x é perpendicular ao eixo z que passa pela origem do sistema, que é o centro de massa da Lua. O eixo y é ortogonal aos eixos x e z. A longitude, positivas ao leste, é o ângulo entre este vetor e o plano do meridiano principal ( $0^\circ$  longitude) medido ao leste (direita), e na direção de rotação dos corpos celestes progressivos, o valor da longitude aumenta de  $0^\circ$  a  $360^\circ$ . A latitude é o ângulo entre as linhas que se estendem da origem ao equador ( $0^\circ$  latitude) e um vetor da origem ao ponto de interesse,  $90^\circ$  de latitude nos polos, e é definida como positiva no hemisfério norte e negativa no hemisfério sul. O Norte planetocêntrico está localizado no hemisfério norte da eclíptica. O raio é a distância do centro de massa da Lua ao ponto de interesse. A FIGURA 9 a seguir ilustra as coordenadas planetocêntricas.

**FIGURA 9** – Coordenadas planetocêntricas.



Fonte: <https://lunar.gsfc.nasa.gov/library/LunCoordWhitePaper-10-08.pdf>. Acesso 03 de março de 2022.

Nos próximos itens vamos retratar sobre os sistemas de referências da Lua.

#### **4.4 Sistema de Referência Fixo Lunar**

Normalmente, dois sistemas de referência ligeiramente diferentes são usados para definir as coordenadas fixas do sistema lunar. Um deles é o Sistema de Referência Terra Média / Eixo Polar (ME), que sempre será usado para produtos de arquivo de sistema de dados planetários (PDS). O outro é o eixo do sistema de referência, também conhecido como Eixo Principal (PA).

##### **4.4.1 Sistema de Referência Lunar de Terra Média / Eixo Polar**

O sistema de referência Terra Média/ Eixo Polar (ME) define o eixo z como o polo médio de rotação. O primeiro meridiano, com  $0^\circ$  de longitude, é definido pela orientação média da Terra. O Equador lunar e o meridiano principal aparecem no que pode ser chamado de lua da Lua, "ponto médio da subterra". O conceito de um "ponto subterra" lunar decorre do fato de que a rotação da Lua está travada na Terra. Os pontos reais da subterra na Lua variam ligeiramente devido à excentricidade orbital, inclinação e outros fatores. Portanto, "ponto médio subterra" é usado para definir o ponto na superfície lunar onde a longitude é igual a  $0^\circ$ .



O ponto não coincide com nenhuma cratera proeminente ou outras características na superfície lunar. O sistema de referência Terra Média/ Eixo Polar deve ser o sistema padrão, adotado pelas várias missões e provedores de conjuntos de dados, para que as diferenças entre os dois (ou mais) sistemas serem evitadas.

#### **4.4.2 Sistema de Referência Lunar do Eixo Principal**

O sistema de referência do Eixo Principal (PA) é um sistema de coordenadas rotativas fixo no corpo lunar com seus eixos definidos pelo eixo principal da Lua e a direção do meridiano principal definida pela direção do eixo mais longo, aproximadamente, mas não exatamente apontando para a Terra. Como a Lua não é um elipsoide de três eixos verdadeiramente síncrono, os eixos de rotação PA e ME não coincidem. Os eixos dos dois sistemas diferem em cerca de 1 km na superfície lunar, grande o suficiente para notar nos mapas atuais e certamente grandes o suficiente para causar sérios problemas em relação aos locais de pouso. O sistema de referência PA é particularmente adequado para estudos dinâmicos em campos como determinação de campo gravitacional e determinação de alcance a laser lunar (LLR).

No tópico seguinte vamos falar sobre a Rede de Controle Unificada.

#### **4.5 Rede de Controle Unificada**

O quadro de coordenadas global mais preciso é o da solução mais recente baseada em dados de extensão LLR. Embora com precisão de centímetros, ou melhor, sua usabilidade como uma rede acessível sofre de apenas 4 pontos utilizáveis na superfície lunar. A solução global mais densa, uma solução fotogramétrica baseada em 43.866 imagens e dados anteriores para a posição 3D de 272.931 pontos, é nossa Rede de Controle Lunar Unificada de 2005 (ULCN 2005), ou seja, um conjunto de pontos na superfície lunar cujas coordenadas tridimensionais (latitude, longitude, raio) foram determinadas cuidadosamente em medições. A rede de controle é uma solução combinada, em que corrige um grande erro horizontal conhecido que se propagou para o mosaico de imagens da sonda Clementine, foi uma missão não tripulada da NASA com o objetivo de testar tecnologias espaciais, e pesquisar sobre a Lua. Por meio do ULCN original, que fornece ligações para os locais de pouso da Apollo e o quadro de referência LLR. A ULCN 2005 foi resolvida as posições tridimensionais dos

pontos, fornecendo um modelo topográfico mais denso para a Lua do que qualquer outra rede de controle.

A seguir apresentaremos sobre a Projeção Cartográfica lunar, a Projeção de Mercator.

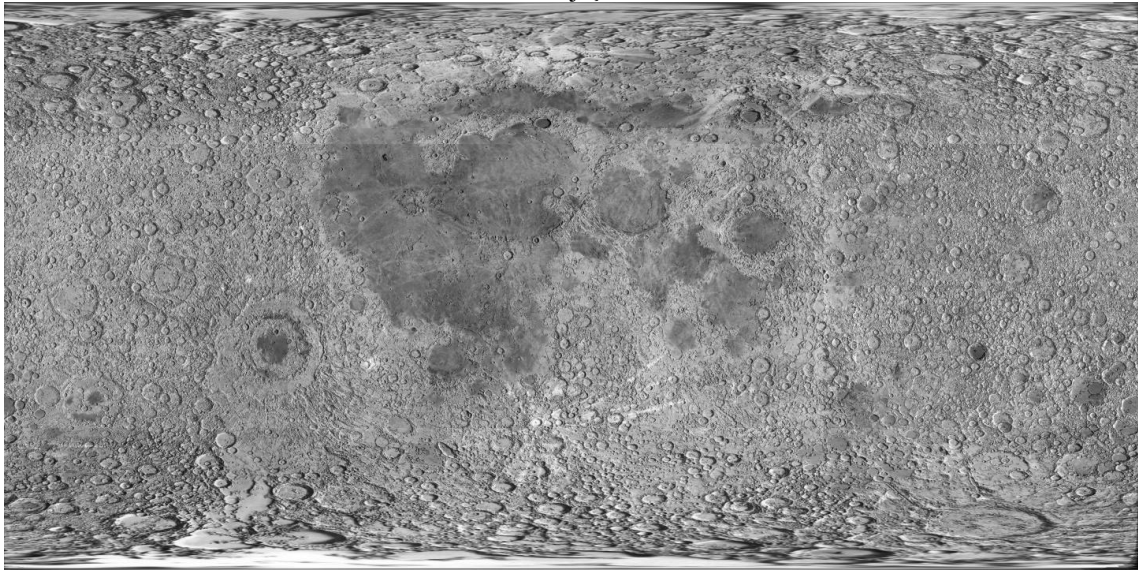
#### **4.6 Projeção Cartográfica lunar**

A projeção da superfície lunar é o conteúdo principal da construção da infraestrutura do mapa lunar, e sua seleção e design é um projeto sistemático bastante complicado, que é a parte básica da tecnologia de levantamento e mapeamento da superfície lunar. A diferença fundamental entre o levantamento lunar e o levantamento terrestre é que a superfície lunar não pode ser usada diretamente por humanos, e os dados de observação são obtidos principalmente por meio de sondas espaciais. Portanto, o sistema de projeção lunar multicamadas adaptado às características espaciais da região lunar é apenas uma estrutura preliminar, e segue basicamente a ideia de projeção do mapa, sendo o lado próximo à área central de 50%.

As projeções cartográficas são projetadas para representar superfícies ou partes delas em uma superfície plana e servem como base para a construção de mapas. É uma representação plana, por isso são criadas projeções cartográficas para minimizar a presença de imperfeições no mapa. Quanto às superfícies, os principais tipos de projeções são: cilíndrica; cônica; plana ou azimutal; e projeção de Robinson.

##### **4.6.1 Projeção de Mercator**

A projeção de Mercator é uma projeção de mapa cilíndrica proposta pelo geógrafo e cartógrafo Gerardus Mercator em 1569. A projeção é conforme, ou seja, mantém a forma dos continentes, mas altera as dimensões de suas regiões. Como efeito colateral, a projeção de Mercator inflará o tamanho dos objetos mais distantes do Equador. Esta expansão é muito pequena perto do Equador, mas acelera com o aumento da latitude, tornando-se infinita nos polos. A principal vantagem da projeção de Mercator é sua capacidade de representar o losango como uma linha na cartografia. Por esta razão, seu trabalho é amplamente utilizado na navegação até hoje. Como acontece com qualquer projeção projetada para representar a esfera lunar em uma superfície plana, o diagrama de Mercator exibe alguma distorção, como ilustra a FIGURA 10.

**FIGURA 10** – Projeção de Mercator.

Fonte: [https://www.physics.unlv.edu/~jeffery/astro/moon/map/moon\\_map\\_mercator.html](https://www.physics.unlv.edu/~jeffery/astro/moon/map/moon_map_mercator.html). Acesso 04 de mar. 2022.

Na figura acima em que se retrata a projeção lunar de Mercator, no lado mais distante está à área de 25% à esquerda e à direita. Pode ser visto que as grandes planícies de basalto escuro cobre apenas uma pequena parte da superfície lunar, aproximadamente 16%. No entanto, eles estão concentrados no lado mais próximo da Lua e, portanto, parecem mais largos que os terráqueos.

No próximo tópico falaremos sobre os avanços tecnológicos durante a Guerra Fria, marcada pela Corrida Espacial.

#### **4.7 Guerra Fria e Corrida Espacial: avanços tecnológicos e prestígio**

Na Segunda Guerra Mundial, após a derrota da Alemanha nazista, os Estados Unidos, sendo os países ocidentais, e a União Soviética, países comunistas, induziram um conflito pela supremacia tecnológica e ideológica de cada superpotência, conhecido de Guerra Fria.

Na Guerra Fria, a exploração do espaço se deu início com o lançamento do Sputnik 1, primeiro satélite artificial pela União Soviética. Este evento desencadeou uma corrida espacial, em que os EUA e URSS capturaram grande parte dos engenheiros que ajudaram na criação de mísseis na guerra anterior.

Logo após o primeiro passo da URSS, foi a vez dos EUA realizar sua primeira tentativa de lançamento de satélite. A carga transportada era de apenas um quadragésimo do Sputnik. Ele subiu a poucos metros da plataforma de lançamento e depois caiu de volta a

Terra, explodiu em chamas e fumaça preta. “A América dorme sob a Lua soviética” – gabou-se o primeiro-ministro Khrushchev.

Os líderes soviéticos aproveitaram como evidência de que bombas de hidrogênio poderiam ser lançadas à vontade, já que os satélites Sputnik haviam sido lançados em mísseis balísticos intercontinentais. Os americanos que se consideravam os líderes tecnológicos do mundo se sentiram vulneráveis, sentimento que se fortaleceu em 1959, quando a União Soviética lançou os primeiros foguetes para orbitar a Lua e trouxe de volta imagens do lado escuro da Lua. Em 1961, colocou a primeira espaçonave tripulada em órbita e pousou o veículo aéreo não tripulado na Lua em 1966.

O sucesso do espaço soviético levou o presidente John F. Kennedy a dizer em 1961 que os Estados Unidos enviariam um homem à Lua e o levaria para casa no final dos anos 60.

O projeto espacial dos EUA passou por vários estágios, sendo as missões *Mercury*, *Gemini* e por último *Apollo*.

No entanto, anos antes da missão *Ranger-7* pousar em superfície lunar, a NASA havia lançado em 1958, o Projeto Mercury que teve sua duração de 1958 a 1963 e tinha por objetivo preparar equipamentos e treinamento de astronautas para as futuras missões de orbitar e alunissar a superfície lunar. O QUADRO 2 a seguir nos apresenta uma síntese das missões do Projeto *Mercury*.

**QUADRO 2** – Projeto *Mercury*: síntese das missões realizadas.

FOGUETE	DATA	OBJETIVO
<b>Missões Não tripuladas</b>		
<i>Mercury-Jupiter</i>	Julho de 1959	Voo sub-orbital proposto – cancelado
<i>Little-Joe 1</i>	21/08/1959	Teste do sistema de escape de lançamento durante voo
<i>Big-Joe 1</i>	09/09/1959	Teste do escudo e da interface Atlas/nave espacial
<i>Little-Joe 6</i>	04/10/1959	Teste da aerodinâmica e da integridade da cápsula
<i>Little-Joe 1<sup>a</sup></i>	04/11/1959	Idem ao <i>Little Joe 1</i>
<i>Beach Abort</i>	09/05/1960	Teste do sistema de abordagem fora da plataforma
<i>Mercury-Atlas 1</i>	29/07/1960	Primeiro voo da <i>Mercury</i> com o foguete Atlas
<i>Little-Joe 5</i>	08/11/1960	Primeiro voo com nave <i>Mercury</i> de produção
<i>Mercury-Redstone 1</i>	21/11/1960	Lançado 4 polegadas (102 mm) e retornou a posição inicial por problema elétrico
<i>Mercury-Redstone 1<sup>a</sup></i>	19/12/1960	Primeiro voo da nave <i>Mercury</i> com o foguete <i>Redstone</i>
<i>Mercury-Atlas 2</i>	21/02/1961	Teste da nave com o Atlas
<i>Little-Joe 5<sup>a</sup></i>	18/03/1961	Teste do sistema de escape de lançamento durante condições severas
<i>Mercury-Redstone BD</i>	24/03/1961	Teste do <i>Redstone</i>
<i>Mercury-Atlas 3</i>	25/04/1961	Teste da nave <i>Mercury</i> com lançador Atlas
<i>Little-Joe 5B</i>	28/04/1961	Teste do sistema de escape de lançamento durante condições mais severas de lançamento
<i>Mercury-Atlas 4</i>	13/09/1961	Teste da nave <i>Mercury</i> com lançador Atlas
<i>Mercury-Scout 1</i>	01/11/1961	Teste da rede de rastreamento da <i>Mercury</i>

FOGUETE	DATA	OBJETIVO
<i>Missões com Primatas</i>		
<i>Little-Joe 2</i>	04/12/1959	Levou o macaco Sam, a 85 km de altitude
<i>Little-Joe 1B</i>	21/01/1960	Levou a macaca Miss Sam, a 14 km de altitude
<i>Mercury-Redstone 2</i>	31/01/1960	Levou o chimpanzé Ham, em voo sub-orbital
<i>Mercury-Atlas 5</i>	29/01/1961	Levou o chimpanzé Enos, em voo de duas órbitas
<i>Missões Tripuladas</i>		
<i>Freedom 7</i>	05/05/1961	Alan Shepard - primeiro estadunidense no espaço em voo sub-orbital de 15 minutos usando um foguete <i>Redstone</i> ;
<i>Libert Bell 7</i>	21/07/1961	Virgil Grissom - também voo sub-orbital usando um foguete <i>Redstone</i>
<i>Friendship 7</i>	20/02/1962	John Glenn - primeiro voo orbital dos EUA, usando um foguete Atlas;
<i>Aurora 7</i>	24/05/1962	Scott Carpenter - usando um foguete Atlas;
<i>Sigma 7</i>	03/10/1962	Walter Schirra - usando o Atlas;
<i>Faith 7</i>	15 e 16/05/1963	Gordon Cooper - usando um foguete Atlas.

Fonte: [https://www.wikifox.org/pt/wiki/Projeto\\_Mercury](https://www.wikifox.org/pt/wiki/Projeto_Mercury). Acesso 06 de out. 2021.

O Projeto *Gemini* foi o segundo projeto de exploração espacial da NASA, cujo seu antecessor foi o Projeto *Mercury* e foi seguido pelo Projeto Apollo. O objetivo principal do projeto era analisar o comportamento tanto dos tripulantes nas missões como também dos equipamentos utilizados quando colocados em órbita. Este passo seria fundamental para a viabilização da condução de uma missão tripulada à superfície lunar. Além da avaliação de comportamento humano e de material utilizado nas naves, outros dois passos importantes foram as manobras de acoplamento e as atividades feitas pelos astronautas fora do veículo espacial.

Com o anúncio da NASA de se estender o programa espacial de voos para dois tripulantes (um avanço com relação ao Projeto *Mercury*), o Projeto *Gemini* teve seu início oficial em janeiro de 1962, assim a Nave *Gemini* foi um melhoramento da Nave *Mercury* que tinha capacidade para apenas um tripulante. Tal projeto utilizou do Foguete *Titan-2*.

O QUADRO 3 a seguir nos traz um resumo do Projeto *Gemini*.

**QUADRO 3 – Projeto *Gemini*: síntese das missões realizadas.**

<b>MISSÃO</b>	<b>DATA</b>	<b>TEMPO DE VOO</b>	<b>NÚMERO DE ÓRBITAS</b>	<b>OBJETIVO</b>
<i>Gemini 1</i>	08/04/1964	4 dias	74	O primeiro voo do programa <i>Gemini</i> .
<i>Gemini 2</i>	19/01/1965	18 min. e 16 s	00	Teste de voo Sub-Orbital da nave <i>Gemini</i> .
<i>Gemini 3</i>	23/03/1965	4 h, 52 min. e 2 s	03	O primeiro voo tripulado do programa <i>Gemini</i> .
<i>Gemini 4</i>	03/06/1965	4 dias, 52 min. e 31 s	62	Primeira caminhada espacial de um norte americano.
<i>Gemini 5</i>	21/08/1965	7 dias, 22 h, 55 min. e 14 s	120	Estabelece novo recorde para duração de um voo tripulado espacial
<i>Gemini 6</i>	15/12/1965	1 dia, 1 h, 51 min. e 24 s	16	<i>Gemini 6</i> veio dentro de 30 polegadas da <i>Gemini 7</i> . Ambos as naves voaram em formação por 20 horas. Esta missão permitiu testar manobras e abordagem técnica que seria usado no programa Apollo.
<i>Gemini 7</i>	04/12/1965	13 dias, 18 h, 35 min. e 1 s	206	Estudar os efeitos da ausência de gravidade em um longo prazo
<i>Gemini 8</i>	15/03/1966	10 h, 41 min. e 26 s	7	Primeira acoplagem com Agena; defeito quase ocasionou desastre e perda dos astronautas; primeiro pouso de emergência do programa espacial.
<i>Gemini 9</i>	03/06/1966	3 dias, 2 h, 34 min. e 31 s	59	Três diferentes tipos de rendez-vous: 44 órbitas completadas
<i>Gemini 10</i>	16/07/1966	2 dias, 22 h, 46 min. e 39 s	43	Primeiro uso dos sistemas propulsores da Agena; rendez-vous com veículo <i>Gemini VIII</i> ; Collins fica 49 minutos em atividades extraveiculares e 39 minutos para recuperar experimento na Agena.
<i>Gemini 11</i>	12/09/1966	2 dias, 23 h, 17 min. e 8 s	44	Recorde de altitude da <i>Gemini</i> (1 189,3 km); rendez-vous e acoplagem com Agena
<i>Gemini 12</i>	11/11/1966	3 dias, 2 h, 34 min. e 31 s	59	Último voo do Projeto <i>Gemini</i> ; Aldrin executa uma atividade extraveicular de 5 horas

Fonte: <https://www.nasa.gov/audience/forstudents/5-8/features/nasa-knows/what-was-gemini-program-58.html>. Acesso 07 de out. 2021.

Depois dos projetos *Mercury* e *Gemini*, os primeiros projetos tripulados para exploração espacial da NASA, prepararam as tecnologias necessárias para atingir o objetivo de espaçonaves tripuladas pousando da superfície lunar, finalmente foi lançado o programa Apollo. No total aconteceram 11 missões tripuladas, em que 6 pousaram na Lua, e 12 astronautas deslocaram no solo lunar e coordenou experimentos científicos por lá.

As missões Apollo marcaram a história por proporcionar pela primeira vez a presença humana no solo lunar, com o pouso do módulo lunar da Apollo 11 em 20 de julho de 1969. No entanto, o Programa Apollo tem em sua história vitórias e derrotas na corrida espacial dos norte-americanos na busca de derrotarem os soviéticos em uma disputa de avanços científicos e por consequência tecnológicos desde a primeira vitória dos soviéticos que decidiram lançar um satélite com o peso menor que 100 quilos, do que o plano original de enviar um satélite de mais de 1 tonelada. Tal decisão se deu pela busca dos soviéticos em lançar um satélite antes dos norte-americanos ao colocarem o primeiro satélite artificial em órbita, aconteceu no dia 04 de outubro de 1957, lançado da base localizada em *Tyuratam*, no Cazaquistão, às 22h28m no horário de Moscou: Sputnik-1, pesando 83,6 quilos e 58 cm de diâmetro, orbitou o planeta por 22 dias. O Suptnik-2 já com 508 quilos entrou em órbita no dia 04 de novembro de 1957 levando consigo também a cadela Laika, meses antes do primeiro satélite americano que entrou em órbita no mês de janeiro de 1958: o Explorer-1. Ano este que marca o nascimento da *National Aeronautics Space Administration* – NASA no dia 29 de julho de 1958.

Em Pasadena, no Estado da Califórnia, o cientista William Pickering, diretor do Laboratório de Propulsão a Jato (JPL) desejava ultrapassar os soviéticos conduzindo as naves norte-americanas pela primeira vez à superfície lunar. O JPL que juntamente com o Instituto de Tecnologia da Califórnia eram as organizações que os Estados Unidos tinham para organizar as missões antes da existência da NASA, que passou a concentrar todas as atividades e esforços de natureza civil da agência espacial dos Estados Unidos.

Com este objetivo a ser alcançado pelos EUA, a superfície lunar ainda necessitava de estudos mais avançados, pois apesar de já ter conhecimento da existência de uma camada fina de solo, denominada de regolito e que tal camada recobre grande parte de nosso satélite natural, não se sabia se esta camada permitiria a alunissagem de um módulo, por não se ter conhecimento de sua profundidade. Tal certeza da possibilidade de alunissagem de um módulo só foi possível após as missões *Rangers* “desbravarem o caminho até a superfície lunar”. A missão *Ranger-7* chegou ao satélite no dia 28 de julho de 1964, e revelou imagens inéditas que proporcionaram tal certeza com relação ao possível pouso.

Os objetivos das missões Apollo seguiram em estabelecer tecnologias que beneficiasse os Estados Unidos, ganhar destaque no espaço sideral, formulando um plano de exploração científica lunar, e por último cultivar a habilidade dos humanos de trabalhar no ambiente lunar.

As missões Apollo foram realizadas com quatro tipos de foguetes: para voos sub-orbitais não tripulados – *Little Joe II*, para voos sub-orbitais e orbitais não tripulados – *Saturn*

I, para voos orbitais não tripulados e tripulados em órbita da Terra – *Saturn IB*, e para voos não tripulados e tripulados em órbita terrestre e em missões para Lua – *Saturn V*. O foguete *Saturn V* havia três estágios.

O QUADRO 4 a seguir mostra um resumo sobre as missões Apollo.

**QUADRO 4** – Projeto Apollo: síntese das missões realizadas.

MISSÃO	DATA	TEMPO	TRIPULAÇÃO	OBJETIVO	SUCESSO
Apollo 1	27/01/1967	-	Gus Grissom, Edward White e Roger Chaffee.	Tornar o Módulo de Comando em órbita da Terra, com <i>Saturn IB</i> .	Desastre total, marcada até os dias de hoje pela tragédia que levou à morte dos 3 astronautas.
Apollo 4	09/11/1967	9 horas	Não tripulada	Lançar uma espaçonave para a órbita. Início ao legado do <i>Saturn V</i> .	Sucesso completo, primeiro grande passo.
Apollo 5	22/01/1968	11h e 10m	Não tripulada	Teste do Módulo Lunar.	Sucesso completo.
Apollo 6	14/04/1968	9h e 57m	Não tripulada	Corrigir as falhas encontradas, e realizar novos testes do Módulo Lunar.	Houve algumas falhas de implementação, que foram posteriormente analisadas e corrigidas.
Apollo 7	11/10/1968	15 horas	Walter Schirra, Donn Eisele e Walter Cunningham.	Permanecer na órbita da Terra, e transmitir imagens em tempo real do espaço para a terra.	Sucesso completo.
Apollo 8	21/12/1968	20 horas	Frank Borman, James Lovell e William Anders.	Chegar à órbita da Lua, reconhecimento dos futuros locais de alunissagem, e características da Lua.	Sucesso completo.
Apollo 9	03/03/1969	10 dias no espaço	James McDivitt, David Scott e Russell Schweickart.	Teste relacionados a alunissagem.	Sucesso completo, com as três módulos do foguete.
Apollo 10	18/05/1969	8 dias no espaço	Tom Stafford, John Young e Eugene Cernan.	Teste relacionados a alunissagem.	Sucesso completo.
Apollo 11	Decolagem 16/07/1969, pouso 20/07/1968 e retorno 24/07/1969	3 horas	Neil Armstrong, Buzz Aldrin e Michael Collins	Realizar um pouso tripulado e explorar a Lua com o Módulo <i>Eagle</i> e instalar câmeras para registrar as primeiras imagens de satélite, sensores de medição de o vento solar, detectores de atividade sísmica, retrorrefletores e, finalmente amostras coletadas de solo e rocha. Local de pouso: Mar da Tranquilidade, relevo plano e pouco irregular.	Sucesso completo.



MISSÃO	DATA	TEMPO	TRIPULAÇÃO	OBJETIVO	SUCESSO
Apollo 12	19/11/1969	31 horas	Charles Conrad, Richard Gordon e Alan Bean.	Pousar em um lugar mais preciso: Oceano das Tormentas. Além disso, os astronautas deveriam trazer dejetos de uma sonda que estava na Lua por dois anos e os cientistas estudar o comportamento da atmosfera lunar sobre o objeto.	Sucesso completo. Todos os propósitos da missão foram cumpridos, e os astronautas retornaram com fotografias, amostras do solo, rochas e partes da sonda.
Apollo 13	05/04/1970	6 dias no espaço	James Lovell, Fred Haise e John Swigert.	Alunissar em outra região com diversas crateras e solo não muito plano.	Não obteve sucesso. Na viagem entre a Terra e a Lua, houve uma explosão no módulo de serviço, e os astronautas abordam sobreviveram desacoplando a parte danificada da nave.
Apollo 14	31/01/1971	9h e 20m	Alan Shepard, Stuart Roosa e Edgar Mitchell.	Mesmo objetivo da Apollo 13, realizou o pouso na região de Fra Mauro, que é próximo a uma enorme cratera, Cone.	Sucesso completo.
Apollo 15	26/07/1971	18 horas	David Scott, James Irwin e Alfred Worden.	Exploração lunar com ajuda de um veículo elétrico, podendo percorrer distâncias mais longas na superfície do satélite.	Sucesso completo, além de facilitar a locomoção e ser possível aumentar o trajeto da missão, o veículo era utilizado como plataforma científica, e retornou à Terra com 77 quilos de material lunar.
Apollo 16	16/04/1972	71 horas	John Young, Thomas Mattingly e Charles Duke.	Explorar a região chamada Terras Altas de Descartes, fotografar a órbita lunar e colocar um pequeno satélite para analisar as partículas solares e o campo magnético.	Sucesso completo.
Apollo 17	07/12/1972	75 horas	Eugene Cernan, Dr. Harrison Schmitt e geólogo Ronald Evans.	Alunissagem no Mare Serenitatis, vale cercado de montanhas, juntamente com um geólogo para explorar o máximo de características a superfície lunar.	Sucesso completo, coletadas 110,4 quilos de material, com amostras de lava, o que facilitou estudar como as bacias lunares se formaram.

Fonte: <https://canaltech.com.br/espaco/da-apollo-1-a-apollo-17-o-que-fez-cada-missao-do-programa-lunar-da-nasa-154105/>. Acesso 10 de out. 2021.

Depois das metas atingidas pelo presidente Kennedy, o fim da corrida espacial e da Guerra Fria – foi um período de relaxamento que levou à assinatura de um tratado para evitar desastres mundiais. A manutenção do plano diminuiu o interesse pelas missões lunares. Como resultado, as tarefas que ainda estavam no plano – Apollo 18, 19, 20 e 21 foram canceladas e o projeto encerrado.

Um ano antes do primeiro pouso tripulado na Lua, a NASA criou o programa *LION* (*Lunar International Observer Network*), convidando astrônomos de todo o mundo para monitorar a Lua. O objetivo do programa era monitorar fenômenos nomeados de Transitórios Lunares (*TLPs*). No Brasil foram convidados cinco dos astrônomos mais experientes em observação lunar: Cláudio Pamplona, do Ceará, Jean Nicolini, de São Paulo, José Manoel Luís da Silva, do Paraná, Nelson Travnik, de Minas Gerais, Rubens de Azevedo, da Paraíba. Eles selecionaram 18 astrônomos profissionais e amadores do país para montar a equipe.

A equipe foi encarregada de monitorar a Lua por horas a fio e relatar à NASA quaisquer fenômenos encontrados em sua superfície. Isso exige muita dedicação e experiência dos astrônomos, principalmente quando há poucos recursos técnicos disponíveis.

Havia observações intensas dos astrônomos para se ver se alguma coisa não estava acontecendo na Lua. Havia relatos de fenômenos e eventos que aconteciam na Lua, e por isso a NASA criou esse programa internacional porque iam pisar em um território onde aconteciam essas coisas e que poderiam colocar em risco as missões. (NELSON TRAVNIK, 2019).

Ao final do programa em 1971, Brasil e Estados Unidos tinham o maior número de TLPs registrados de todos os 13 países participantes. Um deles ocorreu na noite de 19 de junho de 1969, quando a missão Apollo 11 se preparava para pousar na Lua. Rubens de Azevedo descobriu o brilho incomum da cratera do Aristarco, na Paraíba. Relatos do fenômeno foram telegrafados diretamente para a NASA, que transmitiu a informação aos astronautas da Apollo 11. Buzz Aldrin, astronauta da missão, confirmou a anomalia observada por Rubens diretamente da órbita lunar, que teria dado um pequeno passo na história da humanidade algumas horas atrás, marcando a participação do Brasil durante o projeto Apollo.

A seguir vamos retratar sobre os Fenômenos Transitórios Lunares, observados principalmente nas missões Apollo.

#### 4.8 Fenômenos Transitórios Lunares

Os Fenômenos Lunares Transitórios ou TLP são fenômenos de curta duração que geralmente se manifestam sozinhos como uma névoa, brilho, escurecimento ou mudança de cor no solo lunar.

São classificados em quatro classes. Como “TLP cromático” a mudança de cor que se estende até uma superfície onde o componente vermelho ou azul é dominante; “Obscuramento” termo usado para definir eventos que parecem se referir ao escurecimento ou perda e contraste e à definição de algumas peculiaridades do solo lunar; “Brilhantismos” que é a manifestação de um fenômeno luminoso breve, mais intenso. Este fenômeno também inclui *flashes* lunares causados pelo possível impacto de meteoróides na Lua; qualquer alteração no brilho de alguma superfície característica, ou alteração da forma e extensão das sombras por um curto período de tempo, depois retorna ao seu estado anterior.

A luz emitida geralmente é descrita como avermelhada ou rosada, às vezes com aparência espumante ou fluida, a coloração pode se estender por 16Km ou mais na superfície lunar, com pontos mais claros de 3Km a 5Km de diâmetro (...). A duração de um evento é de cerca de 20 minutos, mas pode persistir de forma intermitente por algumas horas. (AA MILS, 1970)

Muitas teorias tentam explicar as causas dos fenômenos transitórios. Assim como a Lua afeta as marés na Terra e as marés na Terra, o mesmo efeito, mas com maior força, é exercido na superfície da Lua pela Terra. Essa força pode fazer com que algumas rochas lunares rachem ou colapsem, levando à liberação de gases na superfície lunar. Os terremotos lunares registrados por sismógrafos colocados na Lua pelas missões Apollo parecem estar relacionados aos efeitos de maré mencionados acima. Outro efeito relacionado que ocorre na Lua é a interação entre partículas solares e rochas lunares, que pode levar a fenômenos brilhantes, como algumas rochas terrestres quando expostas à luz ultravioleta. Outra teoria envolve choque térmico. Isso se manifestará devido a diferença de temperatura entre as áreas claras (dia) e as áreas escuras (noite), principalmente nas áreas próximas ao terminador lunar. A temperatura pode variar de -80 a +125°C em algumas horas. As temperaturas podem causar mudanças no solo lunar e produzir um fenômeno semelhante ao TLP. Além disso, a possibilidade de que esses brilhos tenham vindo de *flashes* do subsolo lunar ou impactos de fragmentos de meteoritos não pode ser descartada.

Mais recentemente, pesquisadores da NASA capturaram mais 12 possíveis eventos de *flash* de impacto lunar. No entanto, muitos pesquisadores continuam acreditando que os TLPs são simples efeitos ópticos, ou surgem da inexperiência do observador, pois muitos eventos são facilmente chamados de ilusões ópticas, aberrações cromáticas causadas pela turbulência atmosférica. Sem dúvida, devido a observações errôneas, eventos dessa natureza, por outro lado, têm sido registrados por meio de imagens, e essas ideias lançam uma nova luz sobre os possíveis mecanismos que produzem esses fenômenos.

A seguir falaremos do Programa Artemis, próximas missões para a Lua depois de quase 50 anos.

#### 4.9 Programa Artemis: o futuro das missões para a Lua

Em 2024, a NASA planeja colocar os pés na Lua novamente, com o programa Artemis, e que levará a primeira mulher e a primeira pessoa negra à Lua. A nova exploração lunar da agência espacial é muito mais do que esta nova viagem histórica, usando tecnologia inovadora para exploração lunar e estabelecer uma presença humana fixa no satélite natural. A agência espacial precisará lançar várias missões, e uma irá mapear Polo Sul da Lua, constatando reservas de gelo, o que é fundamental para a permanência de humanos no satélite. A FIGURA 11 a seguir nos apresentará a logomarca deste programa:

FIGURA 11 – Logomarca do Programa Artemis.



Fonte: <https://www.nasa.gov/specials/artemis/>. Acesso 14 de outubro de 2021.

Este programa foi autorizado em 2017 pela *Space Policy Directive 1*, com um custo inicial estimado em 35 bilhões de dólares, e contará com várias naves em fase de desenvolvimento, ao exemplo da *Orion* desenvolvida pela NASA, com dimensões entre 3,3 metros de altura e 5 metros de diâmetro, capacidade para uma tripulação de 2 a 6 astronautas e lançada pela primeira vez no mês de dezembro de 2014.

O Programa Artemis tem como objetivo além de conduzir tripulações para o nosso satélite, a intenção de construir a segunda estação internacional orbitando o satélite natural, que também servirá de “ponto de parada” para as futuras missões para o planeta Marte.

Sending human explorers 250,000 miles to the Moon, then 140 million miles to Mars, requires a bold vision, effective program management, funding for modern systems development and mission operations, and support from all corners of our great nation as well as our partners across the globe. NASA has been fine-tuning the plan to achieve that bold vision since the president called on the agency in December 2017 to lead a human return to the Moon and beyond with commercial and international partners. Two years later, he challenged us yet again, this time to send the first woman and next man to the Moon within five years. NASA is implementing the Artemis program to achieve those goals... (Artemis NASA’s *Lunar Exploration Program Overview*, 2020).

O Programa ainda conta com a construção da *Lunar Orbital Platform – Gateway - LOP-G*. O desenvolvimento da *Gateway* a ser construída na década de 2020, contará com o apoio das mesmas agências espaciais que construíram a Estação Espacial Internacional – EEI (Agência Espacial Europeia cujo sigla internacional é ESA, NASA, Roscosmos – Agência Espacial da nação russa, Agência Espacial Japonesa - JAXA e a agência espacial canadiana - CSA), em que a construção iniciou em 1998 e foi finalizada em 2011.

The Gateway is a critical component of the agency’s sustainable lunar operations. NASA will integrate the first two pieces on Earth, launching the Power and Propulsion Element (PPE) and the Habitation and Logistics Outpost (HALO) together in 2023 on a single rocket, followed by a commercial logistics supply launch. (Artemis NASA’s *Lunar Exploration Program Overview*, 2020, p. 10).

O *Space Launch System – SLS* é um projeto de um grande foguete da linha dos foguetes descartáveis que conduzirá a nave *Orion* nas missões do Programa Artemis, enquanto demais componentes do programa serão conduzidos por outros foguetes da linha comercial.

With the powerful Space Launch System (SLS) rocket and Orion spacecraft nearing the end of testing and development, the agency has the foundation needed to send humans back to lunar orbit. In preparation for the safest earliest possible lunar landing, NASA seeks to make full use of early Artemis missions through additional testing for Orion and the Human Landing System (HLS) when possible. (Artemis NASA’s *Lunar Exploration Program Overview*, 2020, p. 10).

Neste segmento, a NASA ainda estabeleceu o programa *Commercial Lunar Payload Services (CLPS)* a partir de 2018, onde este programa tem por objetivo básico estabelecer parcerias de transportes de cargas de equipamentos científicos até a superfície lunar antes das

missões tripuladas previstas para a partir de 2024, qualificando propostas de cargas de 100 a 1000 kg. A concepção deste programa buscando a terceirização das entregas de carga, colocou em pausa o desenvolvimento por parte de alguns “alunissadores” que estavam sendo desenvolvidos pela NASA ao exemplo do *Research Prospector*, e deu evidência para “alunissadores” desenvolvidos por empresas privadas ao exemplo do Artemis-7 da empresa *Draper*, caracterizada por ser uma empresa de engenharia sem fins lucrativos que teve participação no Programa Apollo.

A FIGURA 12 mostra a seguir, um exemplo dos alunissadores de entrega de carga dentre as propostas que fazem parte do Programa Artemis, das empresas *Astrobotic Technology*, *Intuitive Machines* e *OrbitBeyond*.

**FIGURA 12** – Alunissador da Empresa *Astrobotic Technology* propostos no Programa Artemis.



Fonte: <https://www.nasa.gov/press-release/nasa-selects-first-commercial-moon-landing-services-for-artemis-program>. Acesso 14 de out. 2021.

No item 4.10 vamos falar sobre as agências espaciais e os programas de exploração de olho na Lua para exploração de minerais, combustíveis e principalmente para avançar nas missões interplanetárias.

#### **4.10 Os programas de exploração da NASA e outras agências na escolha da área.**

Outros países, agências e empresas também estão de olho na Lua. Alguns conduzirão pesquisas, enquanto outros fornecerão suprimentos e equipamentos.

De acordo com Zoë Leinhardt, astrofísica da Universidade de Bristol, no Reino Unido, acredita que este ano vai marcar o início de uma nova corrida espacial envolvendo novos países: “Algumas missões têm objetivos de longo prazo estabelecidos mais além, e as missões

à Lua são tanto uma prova de conceito, quanto uma oportunidade para testar novas tecnologias e colaborações".

Dois anos após uma tentativa fracassada de pouso lunar, a Organização Indiana de Pesquisa Espacial (ISRO) está planejando uma missão de exploração lunar chamada *Chandrayaan-3*. Enquanto isso, o Japão tem dois projetos lunares ambiciosos. A agência espacial japonesa JAXA planeja lançar um módulo lunar em abril de 2022, que demonstrará a tecnologia precisa de pouso na Lua e identificará a tecnologia da cratera lunar aplicando um sistema de reconhecimento facial. Outro robô que a empresa japonesa vai implantar é dos Emirados Árabes Unidos, chamado Rashid, um veículo de quatro rodas encarregado de testar o solo lunar. A missão lunar russa de 2022 é chamada de Luna 25. Será a primeira missão do país à Lua em 45 anos e espera-se que seja a primeira a pousar no Polo Sul da Lua em julho de 2022. O *Korea Aerospace Research Institute* da *Korea Space Agency* lançará o *Korea Pathfinder Orbiter* (KPLO) para a Lua em agosto de 2022. A KPLO estudará a superfície lunar e ajudará a planejar futuras missões aos polos lunares. A Administração Espacial Nacional da China (CNSA) e a Roscosmos decidiram que desenvolveriam a Estação Internacional de Pesquisa Lunar (ILRS) e convidariam outros países a participar do programa.

O plano é desenvolver estações na superfície lunar e em órbita para servir de base para futuras missões tripuladas e atividades de pesquisa científica multidisciplinar, como exploração de recursos lunares e observações do espaço profundo. Três das sondas Chang'e da China e quatro das missões lunares da Rússia serão lançadas nos próximos anos para explorar e construir estações de pesquisa lunar. Estão previstas mais cinco missões do ILRS entre 2031 e 2035 para criar uma sede com laboratório e observatório. Muitos deles examinarão o ambiente lunar com o objetivo de encontrar maneiras de proteger funcionários e equipamentos de quaisquer ameaças, como poeira lunar e o intenso vento solar usado para gerar recursos como água.

Segundo Hannah Sargeant, cientista planetária da Universidade da Flórida Central, EUA (2022): "A Lua também atua como uma plataforma de testes para tecnologias que gostaríamos de usar um dia no planeta vermelho. Está muito mais perto de casa, a apenas três dias de distância, do que os pelo menos seis meses necessários para chegar a Marte."

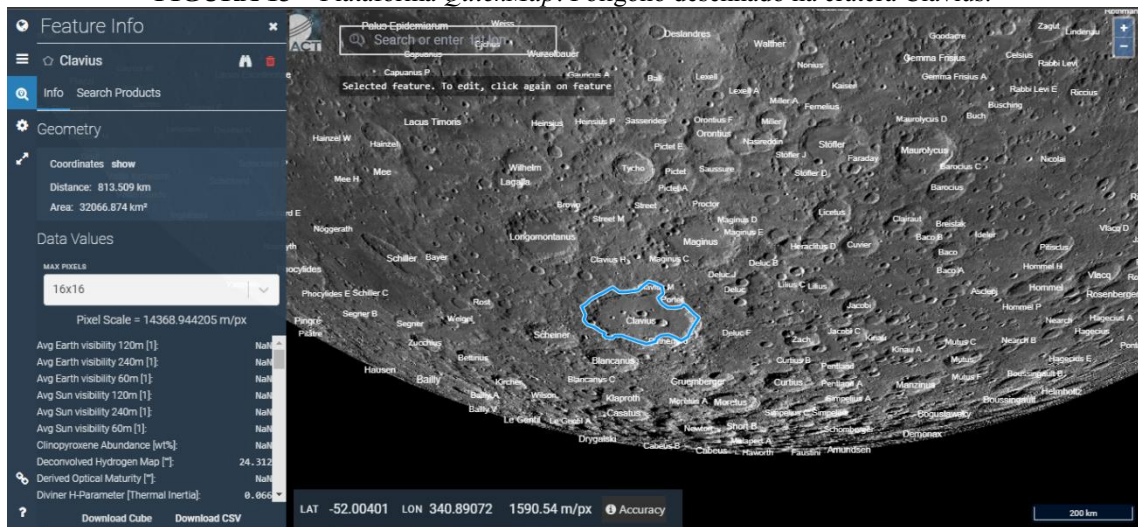
O Polo Sul da Lua é a zona mais apta para futuras instalações, pela presença de gelo procedente de cometas como também por sua composição mineral, rica em ferro e titânio, e pela luminosidade.

A seguir falaremos sobre a descoberta de água no sul da Lua, na cratera Clavius, sendo uma das maiores crateras visíveis da Terra.

#### 4.11 Descoberta de água na cratera Clavius

Pela primeira vez, o *Stratospheric Observatory for Infrared Astronomy* (SOFIA) da NASA confirmou a presença de água na superfície ensolarada da Lua. Esta descoberta mostra que a água pode ser distribuída na superfície lunar, não apenas em lugares frescos e sombreados. SOFIA detectou moléculas de água (H<sub>2</sub>O) em uma das maiores crateras visíveis da Terra, cratera Clavius, localizada no hemisfério sul da Lua, como mostra na FIGURA 13.

FIGURA 13 – Plataforma *QuickMap*: Polígono desenhado na cratera Clavius.



Fonte: Lunar QuickMap. Acesso 14 de fevereiro de 2022.

Observações anteriores da superfície lunar encontraram alguma forma de hidrogênio, mas não conseguiram distinguir entre água e hidroxila. Os dados do site mostraram que as concentrações de água variando de 100 a 412 partes por milhão – aproximadamente equivalente a uma garrafa de 12 onças de água – estavam presas em um metro cúbico de solo espalhado pela superfície lunar. Os resultados foram publicados na *Nature Astronomy*.

A água é um recurso precioso no espaço profundo e um ingrediente chave na vida. Ainda não se sabe se a água encontrada pelo SOFIA pode ser facilmente utilizada como recurso. Os resultados do SOFIA são baseados em anos de pesquisa sobre a presença de água na Lua. Quando os astronautas da Apollo voltaram na Lua em 1969, consideravam que o satélite natural estava totalmente seco. Missões orbitais e de impacto nos últimos 20 anos, como o *Lunar Crater Observation and Sensing Satellite* da NASA, confirmaram a presença de gelo em crateras permanentemente sombreadas ao redor dos polos da Lua. O *Deep Impact*, juntamente com a missão *Chandrayaan-1* da Organização Indiana de Pesquisa Espacial – e o *Infrared Telescope Facility* da NASA – fizeram extensas observações de toda a superfície



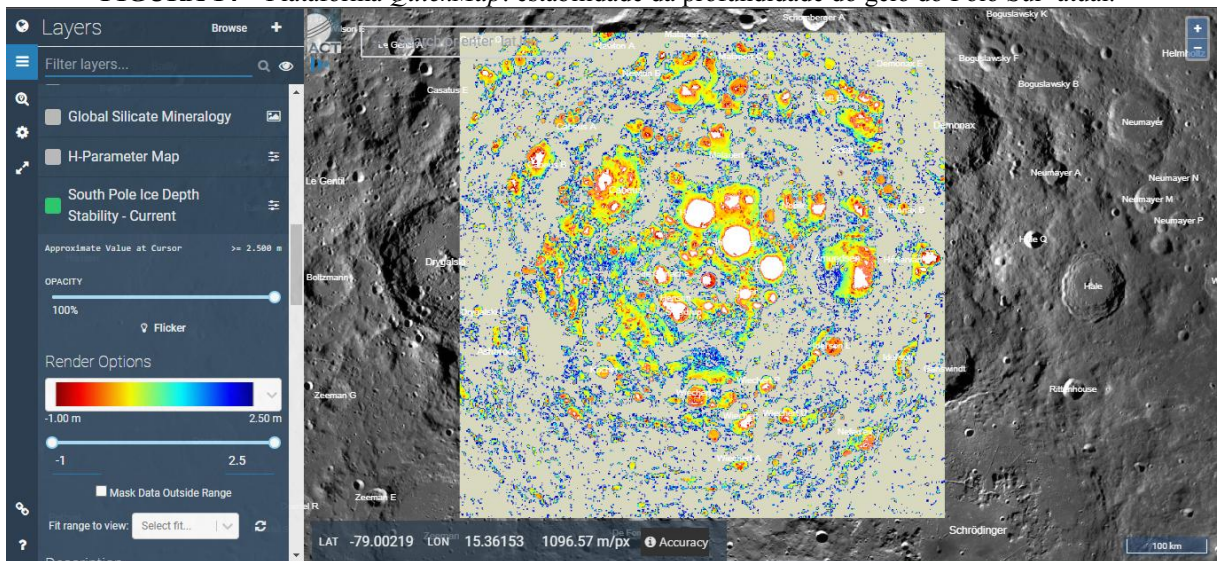
lunar e encontraram evidências de hidratação em regiões ensolaradas. No entanto, não conseguiram distinguir claramente a forma em que existe – H<sub>2</sub>O ou OH.

SOFIA oferece uma nova maneira de olhar para a Lua. Voando em altitudes de até 45.000 pés, este jato *Boeing 747SP* modificado está equipado com um telescópio de 106 polegadas de diâmetro que pode atingir mais de 99% do vapor de água na atmosfera da Terra para visualização de perto. Usando a *Faint Object Infrared Camera (FORCAST)* para o telescópio do SOFIA, o SOFIA conseguiu capturar um comprimento de onda específico exclusivo das moléculas de água, a 6,1 microns, e encontrou uma concentração relativamente surpreendente na ensolarada cratera de Clavius. Pode haver várias forças em ação na entrega ou produção dessa água. Os micrometeoritos que choveram na superfície lunar carregaram pequenas quantidades de água, que depositaram água na superfície lunar após o impacto. Outra possibilidade é que pode haver um processo de duas etapas em que o vento solar do sol transporta hidrogênio para a superfície lunar e reage quimicamente com minerais contendo oxigênio no solo para produzir grupos de hidroxila. Ao mesmo tempo, a radiação do bombardeio de micrometeoritos pode converter esse grupo hidroxila em água. Como a água é armazenada – tornando isso possível – também levanta algumas questões interessantes. A água pode ficar presa em pequenas estruturas subterrâneas semelhantes a contos formadas pelas altas temperaturas produzidas por impactos de micrometeoritos. Outra possibilidade é que a água possa estar escondida entre as partículas do solo lunar bloqueando a luz solar – o que poderia torná-la mais acessível do que a água presa em uma estrutura de contos.

Os voos de acompanhamento do SOFIA vão procurar água em locais ensolarados e durante as diferentes fases da Lua para aprender mais sobre como a Lua produz, armazena e move a água.

Na FIGURA 14 a seguir mostra sobre a estabilidade da profundidade do gelo do Polo Sul atualmente.

**FIGURA 14** – Plataforma *QuickMap*: estabilidade da profundidade do gelo do Polo Sul- atual.



Fonte: Lunar QuickMap. Acesso 17 de março de 2022.

A seguir vamos fazer uma pequena revisão de como surgiu o Sensoriamento Remoto, e de como funciona os estudos desta área, e no mesmo tópico também falaremos sobre os satélites que marcaram as observações sobre a Lua e sua superfície.

#### 4.12 Sensoriamento Remoto, SELENE e LRO / LROC.

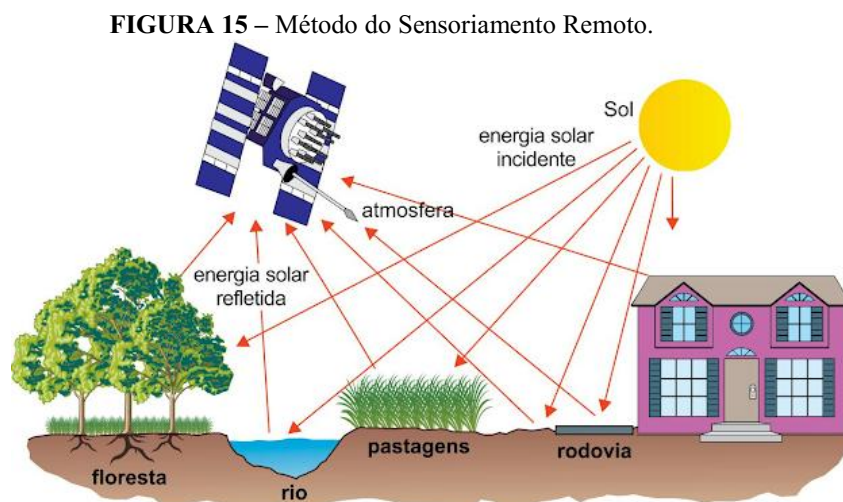
O sensoriamento remoto é composto de diferentes formas, sendo a definição mais comum adotada pelos autores Avery e Berlin (1992) e Meneses (2001): “uma técnica e levantamento para obter informações sobre objetos a partir de dados coletados por instrumentos que não possuem objeto de contato físico”. Como não há contato físico, o método de transferência de dados só pode ser feito por meio de radiação eletromagnética, pois esta é a única forma de energia que pode viajar no vácuo. Considerando a radiação eletromagnética como uma forma de energia, o sensoriamento remoto pode ser definido mais estritamente como uma medida da troca de energia entre a energia contida na radiação eletromagnética de um determinado comprimento de onda e a energia contida nos átomos e moléculas do objeto em estudo produzido pela interação.

A história do sensoriamento remoto está ligado ao desenvolvimento da fotografia e da pesquisa espacial. As fotografias aéreas foram os primeiros produtos a serem utilizados do sensoriamento remoto, a fotogrametria e fotointerpretação são expressões que antecedem o sensoriamento remoto.

O sensoriamento remoto contém tecnologias e conhecimentos extremamente complexos de diversas áreas, da física à botânica, da engenharia elétrica à cartografia. O sensoriamento remoto é um afluente da aerofotogrametria e da fotólise, em que se refere à decomposição de compostos químicos causada pela luz ou pela radiação ultravioleta. Por outro lado, o sensoriamento remoto e seus avanços se devem às pesquisas espaciais e aos avanços tecnológicos que planeja, desde os sensores mais sensíveis, métodos radiométricos, em que determina a distribuição de vários elementos nas rochas e em minerais, e regiões espectrais ampliadas. Embora a radiação de micro-ondas seja conhecida desde o início dos anos 2000 e os sistemas de radar estejam em operação desde a Segunda Guerra Mundial, foi somente na década de 1960 que os sistemas de radar começaram a operar como sistemas de sensoriamento remoto. A década de 1960 também origina dos sistemas de sensoriamento remoto orbital. O primeiro sensor orbital tem como alvo aplicações meteorológicas. Enquanto isso, câmeras também foram usadas para tirar fotos da superfície da Terra durante a série Apollo de missões tripuladas.

No sensoriamento remoto são obtidas informações através da radiação eletromagnética, concebido pelo Sol sendo fontes naturais, ou radares, sendo as fontes artificiais. Elas são expostas em imagens, e atualmente as mais utilizadas são imagens capturadas por sensores ópticos orbitais em satélites.

A FIGURA 15 representa a tecnologia e esquematização por trás do sensoriamento remoto.



Fonte: <https://www.indagacao.com.br/2018/02/unesp-2017-2-fase-questao-08-o-sensoriamento-remoto-e-a-tecnica-que-permite.html>. Acesso 22 de out. 2021.

*Selenological and Engineering Explorer (SELENE)* é uma sonda espacial em órbita lunar controlada pelo Japão. Foi construída pela JAXA, Agência Japonesa de Exploração Aeroespacial, e lançada em setembro de 2007. Com objetivo de realizar levantamento e mapeamento geográfico e mineral completo da Lua. Foram usados dois pequenos satélites para retransmitir ondas de radio e obter imagens 3D. A missão terminou em junho de 2009, com uma colisão com a superfície lunar.

A espaçonave robótica *Lunar Reconnaissance Orbiter (LRO)* lançada pela NASA em junho de 2009, e atualmente está voando ao redor da Lua a uma altitude de 50-200 quilômetros. Os objetivos do LRO incluindo a exploração humana da Lua é fazer descobertas científicas básicas, investigar os recursos lunares e determinar os possíveis locais de pouso. A espaçonave é capacitada para fornecer um mapa 3D da superfície lunar e imagens dos equipamentos das missões Apollo abandonados na Lua.

Neste trabalho utilizaremos sensoriamento remoto através das ilustrações obtidas do satélite LRO. A FIGURA 16 mostra o LRO em órbita lunar.

**FIGURA 16 – Satélite LRO.**



Fonte: <https://lunar.gsfc.nasa.gov/spacecraftillustrations.html>. Acesso 22 de outubro de 2021.

No próximo item, retrata sobre a radiação eletromagnética, método de transferências de dados no Sensoriamento Remoto.

#### **4.13 Radiação Eletromagnética**

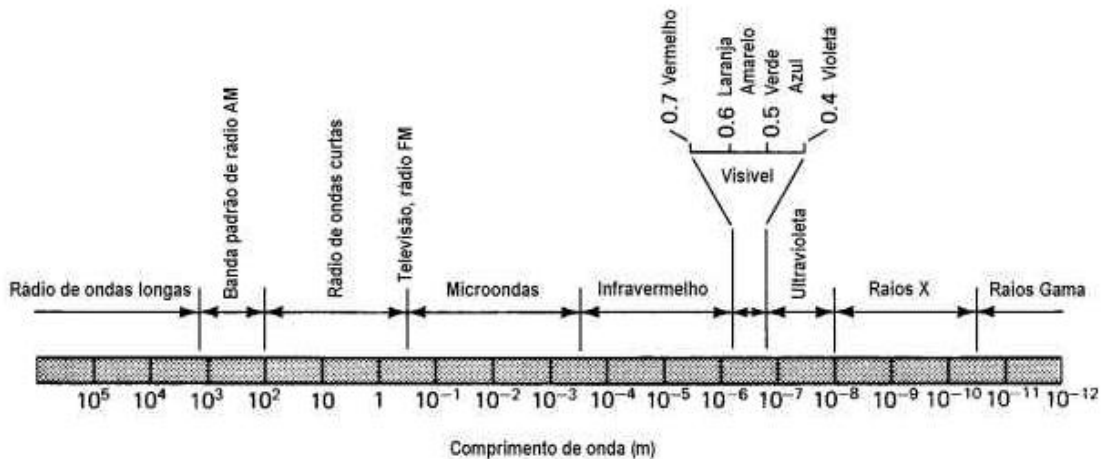
Toda troca de energia entre a Terra e outras partes do universo ocorrem por meio de radiação, que é a única radiação que pode passar por espaços relativamente vazios. A Terra-atmosfera é um sistema capaz de concentrar constantemente a energia solar e espalha sua

própria radiação para o espaço. Há um longo prazo a taxa de absorção e taxa de emissão são quase iguais, então o sistema está muito próximo do equilíbrio de radiação. A radiação também desempenha um papel importante na transferência de calor entre a superfície da Terra e a atmosfera e entre as diferentes camadas.

Para Maxwell (1865) a radiação eletromagnética é o resultado da aceleração de partículas carregadas. Não requer nenhum meio e pode viajar no vácuo.

A radiação eletromagnética é julgada como um conjunto de ondas visíveis e não visíveis, de que a velocidade no vácuo é 300.000 km/s. O espectro eletromagnético (FIGURA 17) de acordo com o comprimento de onda e frequência, varias formas de radiação.

FIGURA 17 – Espectro Eletromagnético.



Fonte: <http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap2/cap2-2.html>. Acesso 22 de outubro de 2021.

A seguir falaremos sobre o Processamento Digital de Imagens, a manipulação de imagens por computador.

#### 4.14 Processamento Digital de Imagens

O Processamento Digital de Imagens (PDI) refere-se a tecnologia que visa analisar os dados multidimensionais obtidos por diferentes tipos de sensores, ou seja, o processamento de imagens por computador, de forma que a entrada e a saída do processo sejam ambas as imagens.

Uma imagem pode ser definida como uma função bidimensional,  $f(x, y)$ , em que  $x$  e  $y$  são coordenadas espaciais (plano), e a amplitude de  $f$  em qualquer par de coordenadas  $(x, y)$  é chamada de intensidade ou nível de cinza da imagem nesse ponto. Quando  $x$ ,  $y$  e os valores de intensidade de  $f$  são quantidades finitas e discretas, chamamos de imagem digital. O campo do processamento digital de

imagens se refere ao processamento de imagens digitais por um computador digital. Observe que uma imagem digital é composta de um número finito de elementos, cada um com localização e valor específicos. Esses elementos são chamados de elementos pictóricos, elementos de imagem, pels e pixels. Pixel é o termo mais utilizado para representar os elementos de uma imagem digital. (GONZALEZ, 2009, p. 1).

O uso de imagens multiespectrais por satélites é uma técnica valiosa que pode extrair dados para várias aplicações para estudar recursos naturais. A conquista de informações espectrais pelo sistema em diferentes partes do espectro eletromagnético visa identificar e distinguir o alvo de interesse, que depende principalmente da qualidade de dados contidos na imagem. Além de analisar cenas em várias regiões do espectro eletromagnético, a tecnologia de PDI também pode integrar vários tipos de dados e fazer referências geográficas apropriadas.

O Processamento Digital de Imagem se divide em três etapas: Pré-processamento, Realce e Classificação.

O pré-processamento refere-se ao processamento inicial dos dados originais para calibração radiométrica da imagem, correção de distorção geométrica e remoção de ruído.

O realce tem como objetivo melhorar a qualidade da imagem, distinguindo facilmente os alvos presente na imagem.

Na classificação, as classes são atribuídas a objetos que existem na imagem.

A seguir, como sequência dos tópicos acima, falaremos sobre a Fotogrametria.

#### **4.15 Fotogrametria**

O termo fotogrametria vem das palavras gregas *photos*, significado de luz, *gramma* que significa algo pintado ou escrito, e *metron*, que significa medição. Com o advento de novos sensores, uma definição mais ampla de fotogrametria também foi proposta pela ASP em 1979: A fotogrametria é a arte, ciência e tecnologia de obtenção de informação confiável sobre objetos físicos e o meio ambiente através de processos de gravação, medição e interpretação de imagens fotográficas e padrões de energia eletromagnética radiante e outras fontes.

Enquanto a fotogrametria concentrava na análise de fotos, a definição atual também inclui dados de sensores remotos. Abrange duas áreas distintas, que em sentido mais estrito referem-se aos métodos de obtenção de dados quantitativos, como coordenadas, áreas, etc., a partir dos quais são elaborados mapas e mapas topográficos; e a área da fotointerpretação,



incluindo os obtidos a partir da análise de fotografias e imagens de satélites, os dados qualitativos.

Por convenção, a fotogrametria é classificada como um campo do sensoriamento remoto.

O desenvolvimento que levou ao estado atual da tecnologia de fotogrametria é anterior à invenção da fotografia. Aristóteles já mencionou em 350 a.C. como projetar imagens opticamente. Leonardo da Vinci demonstrou graficamente os princípios da aerodinâmica e da projeção óptica em 1492. O alemão Albrecht Dürer delineou as leis da perspectiva e em 1525 criou o mecanismo para desenhar perspectivas realistas e estabelecer um mecanismo para produzir vistas estereoscópicas. O astrônomo alemão Johannes Kepler formulou a definição precisa de estereologia por volta de 1600 e, em 1726, o suíço F. Kapeller a usou pela primeira vez para medições práticas, para mapeamento topográfico. Em 1759, J.H. Lambert escreveu um tratado clássico sobre perspectiva, sugerindo seu uso em mapeamento; Lambert já estava lidando com os problemas de perspectiva central inversa e ressecção espacial, a base da fotogrametria praticada até então.

Claramente, a prática da fotogrametria só poderia se desenvolver após a invenção da fotografia. Em 1829, o artista Louis Daguerre começou a trabalhar com o inventor Nicéphore Niépce que produziu a primeira e mais antiga câmera. Niepce morreu em 1833, mas Daguerre continuou a experimentar e desenvolver o processo que veio a ser conhecido como daguerreótipo, FIGURA 18. Em janeiro de 1839, Daguerre, considerado um dos pais da fotografia, tirou a primeira fotografia da Lua, ilustrada na FIGURA 19.

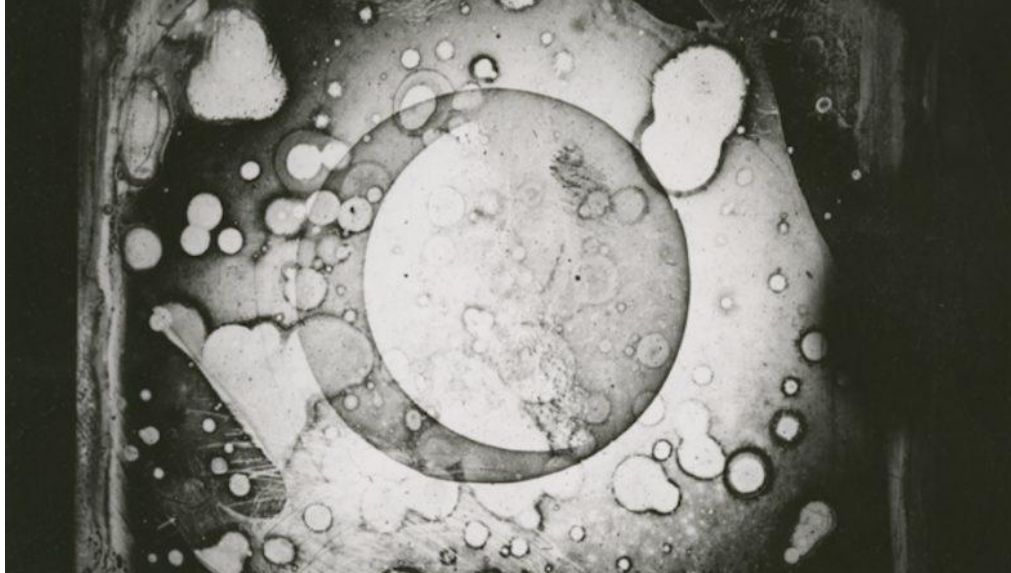
**FIGURA 18** – Daguerreótipo.



Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Daguerre%C3%B3tipo>. Acesso 20 de fevereiro de 2022.

A invenção do daguerreótipo foi anunciada em uma reunião da Academia Francesa de Ciências e da Academia de Belas Artes em janeiro de 1839. A imagem da Lua, sendo uma das primeiras pelo instrumento, infelizmente se perdeu, FIGURA 19.

**FIGURA 19** – Primeira imagem da Lua.



Fonte: <https://zap.aeiou.pt/primeira-fotografia-da-Lua-315311>. Acesso 20 de fevereiro de 2022.

Em março de 1840, o cientista John W. Draper também usou a mesma técnica para obter imagens do satélite natural da Terra, como mostra a FIGURA 20.

**FIGURA 20** – Imagem da Lua pelo John W. Draper.



Fonte: <https://nahistoriadehoje.wordpress.com/2017/01/02/a-primeira-foto-da-Lua/>. Acesso 20 de fevereiro de 2022.



Arago, geodesta francês, explanou a viabilidade do uso de fotografias no levantamento topográfico. Em 1849, o coronel francês Aimé Laussedat realizou o primeiro experimento para verificar o uso da fotogrametria no levantamento topográfico, tirando fotos em um balão, e pela dificuldade concentrou-se no mapeamento usando fotogrametria terrestre, e assim foi nomeado de “pai da fotogrametria”. Mesmo com as dificuldades, as fotos tiradas pelos balões continuaram sendo utilizadas, para fins militares.

Limitada à fotogrametria terrestre, a invenção do avião fez um grande avanço na fotogrametria. Em 1913, as aeronaves foram usadas pela primeira vez para tirar fotografias aéreas para levantamento e mapeamento. As fotografias aéreas são amplamente utilizadas, especialmente em atividades de reconhecimento. Durante o período entre guerras, a fotogrametria tornou-se uma técnica amplamente utilizada para fazer mapas. Alguns métodos usados até hoje datam desse período, como técnicas de orientação empírica e aerotriangulação. Fotografia aérea coloridas tornou-se disponível a partir da década de 1930. Com o início da Segunda Guerra Mundial, a interação da radiação nessa faixa espectral com objetos foi investigada para detectar camuflagem usando filme infravermelho, a fotogrametria foi usada como nunca antes para as necessidades de mapeamento. A interpretação de fotos é usada em larga escala para reconhecimento e inteligência.

Para documentar as conquistas dos primeiros homens a pisar na lua na Apollo 11, duas câmeras Hasselblad foram removidas do módulo lunar Eagle. Uma delas foi a Hasselblad Data (HDC) equipada com uma lente Zeiss Biogon 60mm  $f/5,6$  e um rolo de filme com capacidade para 200 disparos, feito para esta missão. A segunda foi uma câmera Hasselblad Electric (HEC) com uma lente Zeiss Planar 80mm  $f/2.8$  para registrar o pouso de dentro do módulo lunar. O HDC foi projetado para suportar condições extremas na superfície do satélite natural. Depois de tirar a foto, a câmera é içada no módulo. Os filmes usados foram removidos, e todo o resto – câmeras, lentes e outros acessórios – foi jogado na superfície lunar para reduzir o peso do módulo e aumentar suas chances de um retorno bem-sucedido. Cinquenta anos depois, 12 Hasselblad continuam na lua até hoje. Essa prática se repetiu em outras cinco missões, com investimento equivalente a US\$ 150 bilhões.

O advento dos computadores trouxe mais avanços na ciência da fotogrametria. Originalmente, na década de 1950, era usado para cálculos de aerotriangulação. Em 1958, a Helava apresentou o primeiro protótipo de um restaurador analítico que revolucionaria a fotogrametria. Apesar de seu pioneirismo, os equipamentos desenvolvidos pela Helava não foram acolhidos pela comunidade da fotogrametria, pois a informática ainda era incipiente e os equipamentos falhavam um após o outro. Grandes empresas produtoras de equipamentos

de fotogrametria apresentaram seus modelos de restauradores analíticos, em Congresso de Hamburgo (1976). Este é o fim da era dos dispositivos analógicos, que, no entanto, continuam a ser usados hoje (e continuarão a operar por algum tempo). Esses dispositivos analógicos passaram a receber dispositivos de digitalização de coordenadas, conectados a computadores; foi iniciada a chamada “fotogrametria auxiliada por computador”.

A *Lunar Reconnaissance Orbiter Camera* – LROC é um sistema que consiste em três câmeras montadas no LRO, que podem capturar imagens multiespectrais de alta resolução em preto e branco e média resolução da superfície lunar. O LROC é composto por duas câmeras de ângulo estreito, projetadas para fornecer uma imagem pancromática na escala de 0,5 metros dentro de um intervalo de 5 quilômetros e uma câmera grande angular para fornecer uma imagem de banda de sete cores com uma proporção de 100 metros/pixel dentro de um alcance de 60 quilômetros.

No trabalho a fotogrametria está presente através das imagens do satélite pelo LRO / LROC.

A seguir falaremos sobre a área de estudo escolhida e conseguinte os materiais e a metodologia para realização desta pesquisa.

## **5 MATERIAIS E MÉTODOS**

### **5.1 Área de estudo**

Conforme já citado anteriormente a Lua é o único satélite natural de nosso planeta e apresenta-se como o quinto maior satélite natural de nosso Sistema Solar, tendo 27% do diâmetro da Terra com 3.474,8 km e 60% da densidade da mesma, sendo uma média de 3,34 g/cm<sup>3</sup>.

(...) Together—along with supporting infrastructure such as communications, power, radiation shielding, and waste disposal and storage planning—these elements comprise a sustained capability on the Moon that can be revisited and built upon over the coming decades while also testing systems that will be required for human missions farther into the solar system. (...) In addition to its size, the Moon’s geography is complex and its resources dispersed. Evaluating potential sites for Artemis Base Camp, such as near Shackleton Crater, reflects the immense scale of the lunar geography. Robust mobility systems will be needed to explore and develop the Moon and to explore Mars. The habitable Artist’s concept of the Artemis Base Camp. 28 mobility platform is a particularly important mission element as the first mission to Mars will use a similar type of spacecraft. (Artemis NASA’s *Lunar Exploration Program Overview*, 2020, p. 27).

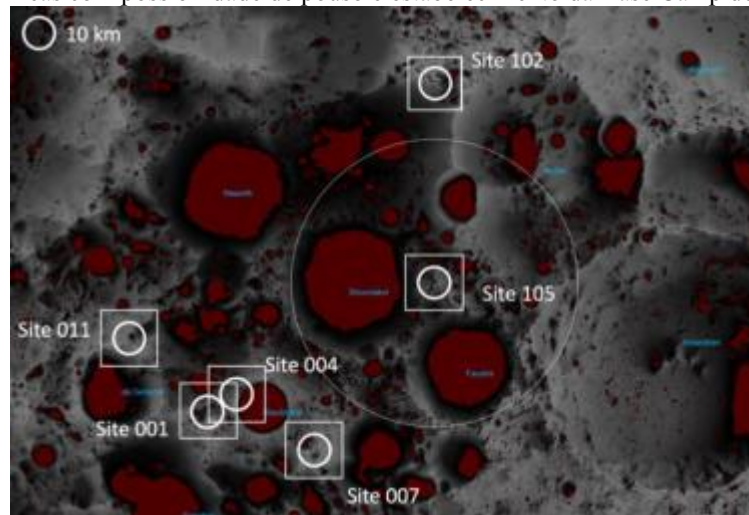
O documento Artemis NASA's *Lunar Exploration Program Overview* (2020, p. 63 e 64) ainda nos apresenta mais informações sobre a pretendida localização da futura Artemis Base Camp:

After Artemis II, the overall plan is to conduct operations on and around the Moon that help prepare us for the mission durations and activities that we will experience during the first human mission to Mars, while also emplacing and building the infrastructure, systems, and robotic missions that can enable a sustained lunar surface presence. To do this, we will develop Artemis Base Camp at the South Pole of the Moon. Artemis Base Camp will be our first sustainable foothold on the lunar frontier. We will initially move to one to two-month stays to learn more about the Moon and the universe. (...) The three primary mission elements of Artemis Base Camp are: The LTV that can transport crew around the site; the habitable mobility platform for long-duration trips away from Artemis Base Camp and the foundation surface habitat will enable short-stays for four crew on the lunar South Pole.

Assim, como área de estudo desta pesquisa, concentraremos nossa investigação nas crateras localizadas no Polo Sul da Lua em conformidade com as análises da própria NASA, fazendo uma descrição em geral dos dados já levantados pelas agências espaciais e de pesquisa e focando por meio da utilização de técnicas de Sensoriamento Remoto para interpretação das imagens do *Lunar Reconnaissance Orbiter* – LRO.

A FIGURA 21 nos apresenta a área de estudos da NASA com relação ao Polo Sul da Lua.

**FIGURA 21** – Áreas com possibilidade de pouso e estabelecimento da Base Camp do Projeto Artemis.



Fonte: [https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/artemis\\_plan-20200921.pdf](https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/artemis_plan-20200921.pdf) - Acesso 14 de out. 2021.

O tópico a seguir trata-se sobre o software utilizado como material para obtenção dos dados para análise do resultado final desta pesquisa.

## 5.2 Material

### 5.2.1 Software QuickMap

A obtenção das imagens para exploração cartográfica da área de estudo está na disponibilização das imagens obtidas pelo *Lunar Reconnaissance Orbiter* – LRO da *National Aeronautics and Space Administration* – NASA, lançado em 18 de junho de 2009, como parte do programa denominado: *Vision for Space Exploration* dos Estados Unidos. A visualização das imagens obtidas pelo LRO e os produtos cartográficos derivados destas imagens se encontram disponíveis na plataforma *QuickMap*, conforme a FIGURA 22. O *QuickMap* é uma plataforma de domínio público. A plataforma é proveniente de dados das missões *Clementine*, *Chandrayaan-1*, *Graal*, *Kaguya*, *Prospector Luna*, e a maioria deles provenientes da NASA LRO/LROC. No QuickMap Lunar é possível navegar por toda superfície lunar, obter coordenadas, distâncias, altitudes, profundidades, temperaturas, e etc.



Fonte: Lunar QuickMap. Acesso 15 de março de 2022.

Na sequência explicaremos sobre a metodologia determinada.

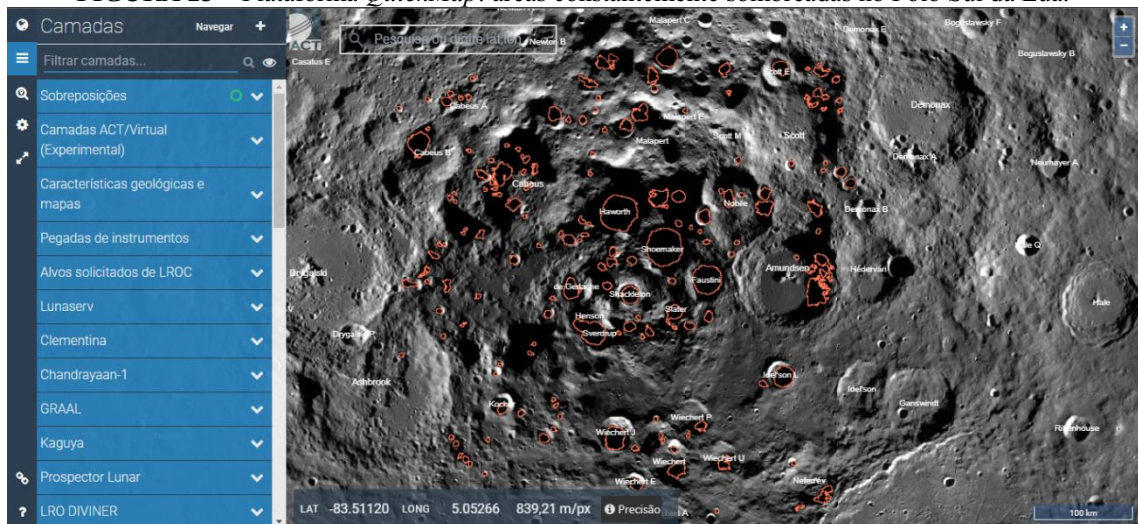
## 5.3 Descrição dos Métodos

Quanto à metodologia a ser adotada, além da revisão histórica dos avanços inerentes a Engenharia de Agrimensura e Cartográfica nos estudos de Selenografia, esta pesquisa realiza

o exercício de aplicações de técnicas para apontamentos das dificuldades que a NASA encontrará no estabelecimento de bases de exploração no Polo Sul de nosso satélite natural de acordo com as análises de dados obtidos.

Conforme apontado anteriormente, a área de estudo desta pesquisa se trata das principais crateras existentes no Polo Sul da Lua. A escolha desta área se deu pelos apontamentos da NASA com relação às possíveis áreas de futuros assentamento humanos no nosso satélite natural devido às áreas constantemente sombreadas nas crateras do Polo Sul que protegerão as bases lunares da incidência constante dos raios ultravioletas e gama do Sol, além de se especular a existência de água congelada nestas áreas constantemente sombreadas conforme FIGURA 23 a seguir:

**FIGURA 23** – Plataforma *QuickMap*: áreas constantemente sombreadas no Polo Sul da Lua.



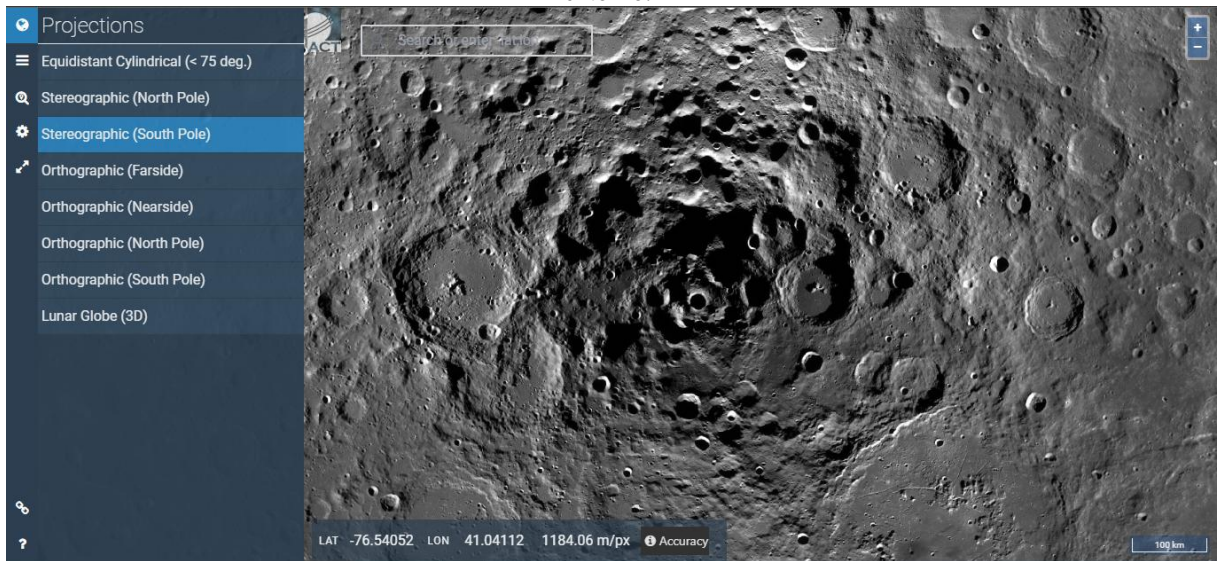
Fonte: Lunar QuickMap. Acesso 24 de outubro de 2021.

Para análise destas crateras é necessário se obter conhecimento das fontes ideais de informações para que possamos fazer as escolhas adequadas para esta pesquisa.

As imagens obtidas pelo LRO apesar da existência da distorção de imagens no centro do Polo Sul pela projeção cônica, mas que pode apresentar melhor visualização das crateras nas bordas da distorção, como mostra na FIGURA 24 a seguir:



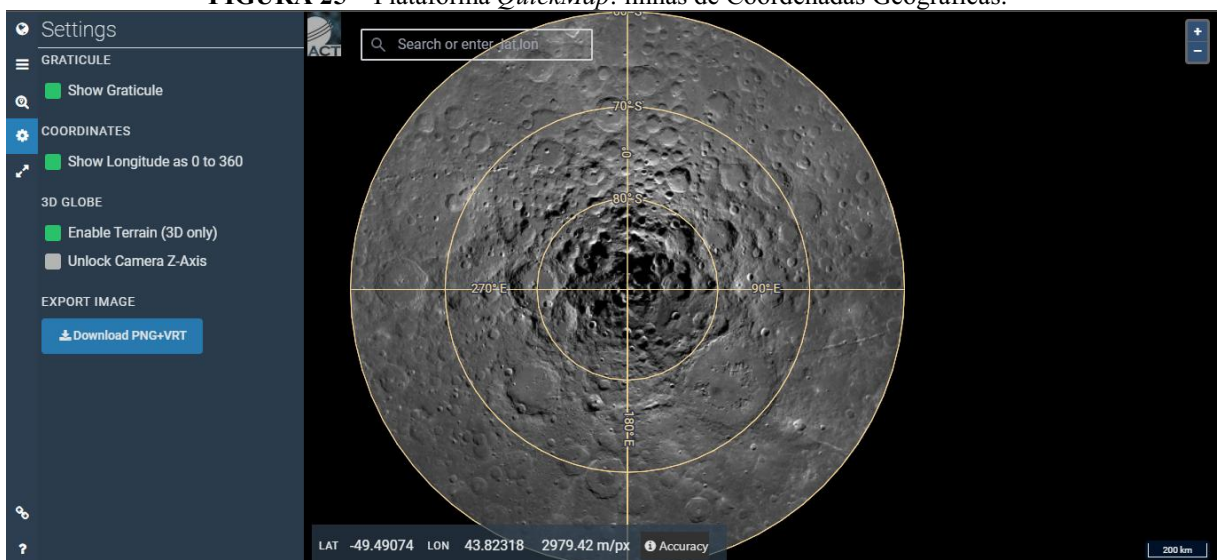
**FIGURA 24** – Plataforma *QuickMap*: distorção das imagens ao centro do Polo Sul e imagens das crateras no entorno.



Fonte: Lunar QuickMap. Acesso em 15 de março de 2022.

Assim, serão adotadas as imagens do LRO nesta pesquisa por meio das informações obtidas na plataforma para desktop *QuickMaps*<sup>1</sup>. No entanto, sob o prisma dos métodos a serem adotados a visualização das imagens na plataforma apresentam georreferenciamento das imagens com base no Sistema de Coordenadas Geográficas conforme FIGURA 25 a seguir:

**FIGURA 25** – Plataforma *QuickMap*: linhas de Coordenadas Geográficas.



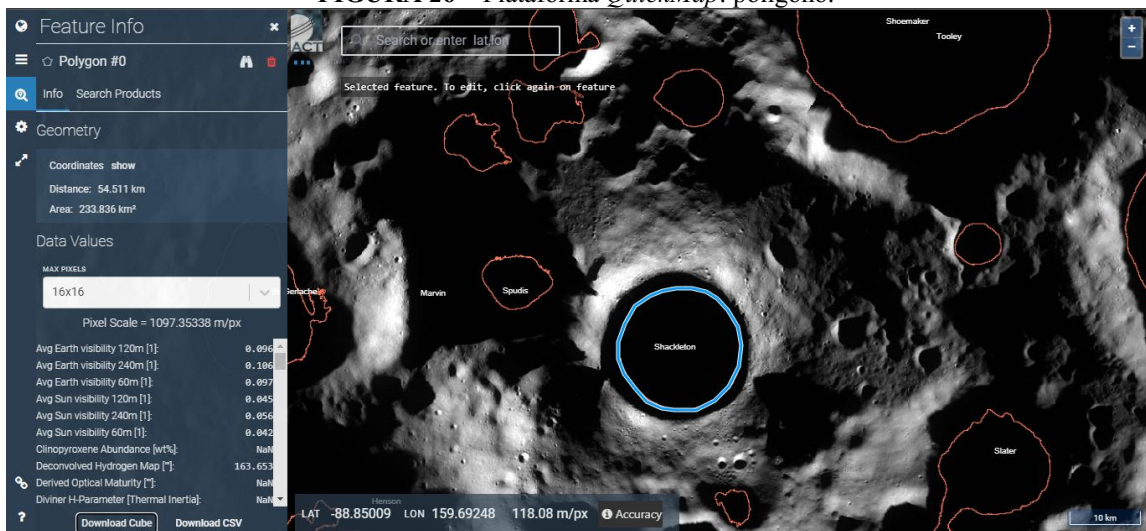
Fonte: Lunar QuickMap. Acesso 15 de março de 2022.

<sup>1</sup> Tal visualização das imagens do LRO também pode ser acessada pelo aplicativo QuickMap para Smartphones na plataforma Android.

Deste modo, enquanto parte da metodologia esta pesquisa busca pesquisar mais sobre outros sistemas de projeções existentes nos estudos de Selenografia, e obter os dados necessários para realizar a instalação de uma base no satélite natural.

A plataforma do *QuickMap* permite adicionar pontos, traçar linhas e polígonos por toda superfície lunar. Através dos polígonos, como ilustrado na FIGURA 26, permitem ter conhecimento de dados detalhados da região desenhada, dados estes como, coordenadas, área, distâncias, altitude, abundância de ferro e outros elementos, temperaturas, visibilidade do céu, profundidade, rugosidade e etc., conforme a FIGURA 27, e na plataforma também permite observar em prática sobre o perfil topográfico mediante a linha desenhada, FIGURA 28.

FIGURA 26 – Plataforma *QuickMap*: polígono.



Fonte: Lunar QuickMap. Acesso 16 de março de 2022.

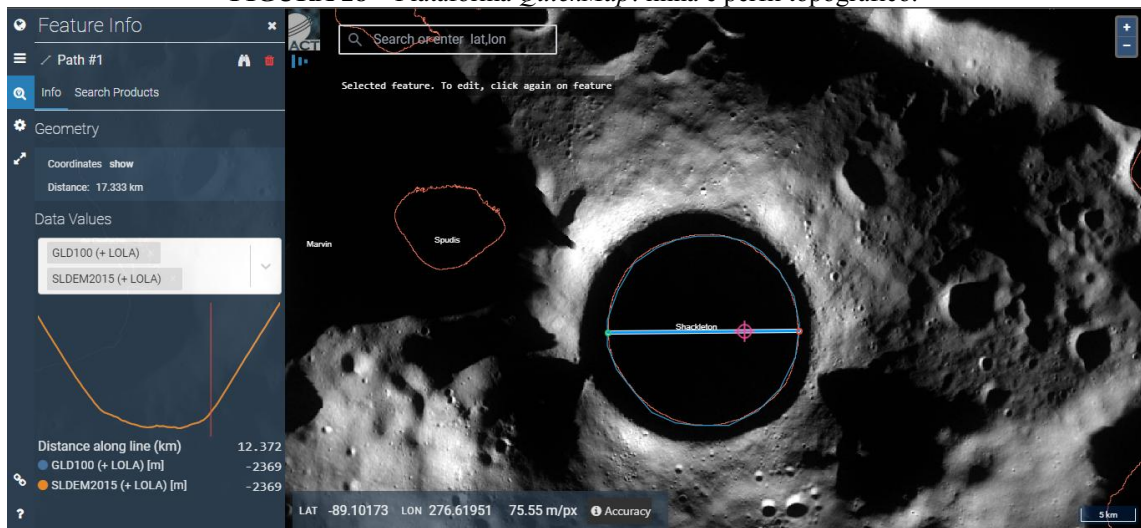
FIGURA 27 – Plataforma *QuickMap*: dados detalhados da região através do polígono traçado.



Fonte: Lunar QuickMap. Acesso 16 de março de 2022.



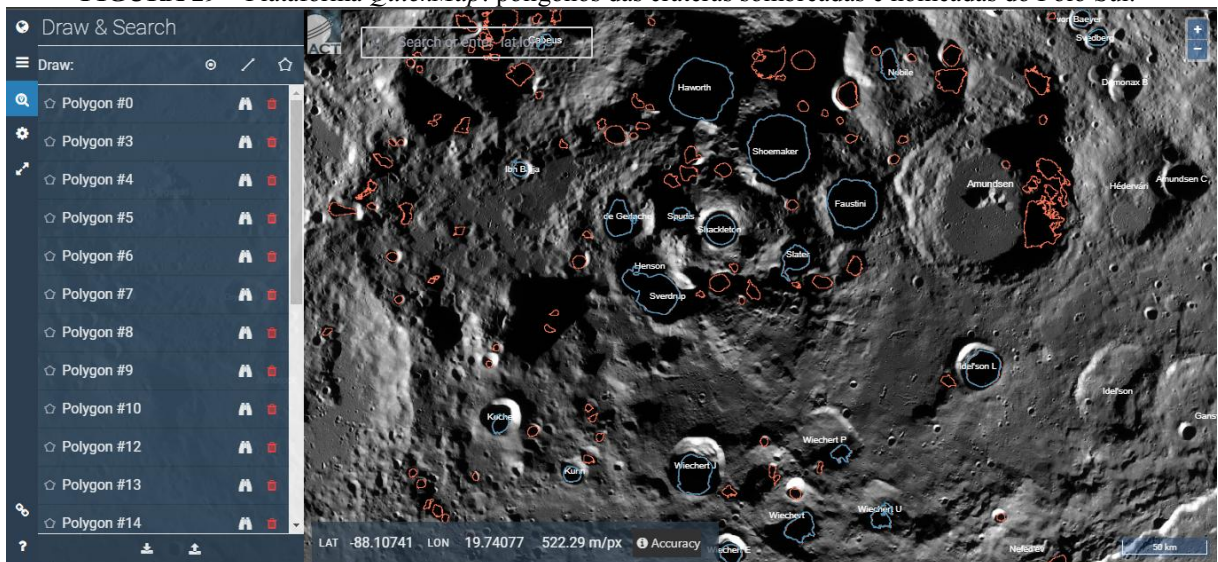
**FIGURA 28** – Plataforma *QuickMap*: linha e perfil topográfico.



Fonte: Lunar QuickMap. Acesso 16 de março de 2022.

Diante disto, conforme os objetivos desta pesquisa, foi traçado polígonos em todas as crateras sombreadas e nomeadas no Polo Sul lunar (FIGURA 29), para ter ciência dos dados necessários para instalação da base de exploração. Os dados notados são: área (km<sup>2</sup>), diâmetro do polígono (km), altitude (m), profundidade (m<sup>3</sup>), temperatura (K).

**FIGURA 29** – Plataforma *QuickMap*: polígonos das crateras sombreadas e nomeadas do Polo Sul.



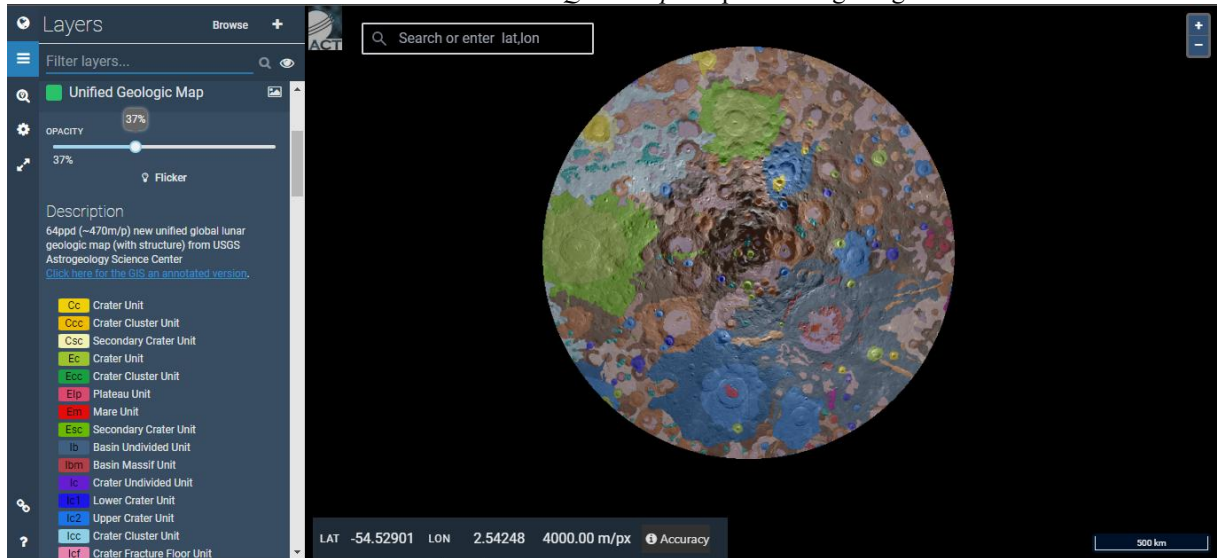
Fonte: Lunar QuickMap. Acesso 21 de fevereiro de 2022.

Realizada a etapa de obtenção de dados das imagens/polígonos do LRO/LROC, esta pesquisa trará em si os apontamentos necessários, de modo que possamos acusar futuros caminhos para exploração e questões logísticas dos estudos de Selenografia que serão apontadas na fase de conclusão desta pesquisa. A plataforma *QuickMap* ainda nos aponta



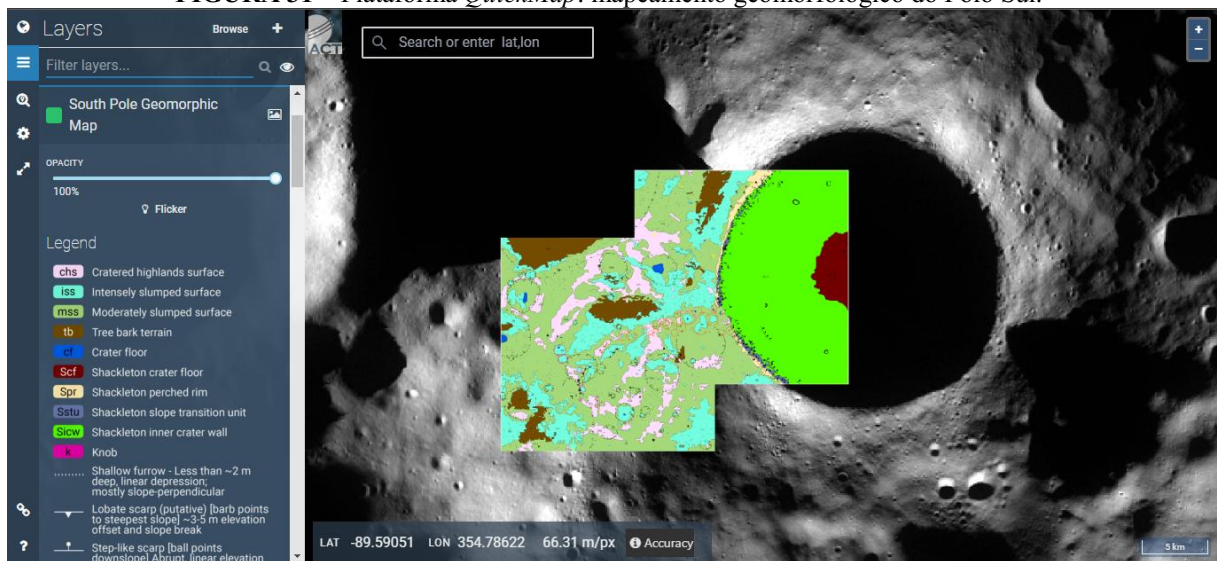
como produtos derivados do imageamento realizado pelo LRO alguns Mapas Geológicos e Geomorfológicos conforme apresentados nas FIGURAS 30 e 31 a seguir:

**FIGURA 30** – Plataforma *QuickMap*: mapeamento geológico.



Fonte: Lunar QuickMap. Acesso 16 de março de 2022.

**FIGURA 31** – Plataforma *QuickMap*: mapeamento geomorfológico do Polo Sul.



Fonte: Lunar QuickMap. Acesso 16 de março de 2022.

A seguir será apresentado os dados obtidos através do *QuickMap* para realização da análise e obtenção dos objetivos presentes na pesquisa.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

No fim da execução dos métodos comentados acima, analisou-se crateras do Polo Sul na superfície lunar com técnicas de sensoriamento remoto e processamento digital de imagens para futuras instalações de bases de exploração. No mesmo contexto da exploração da mineração do hélio-3 como futuro combustível, esta substância rara na Terra, espera-se também que a futura base lunar possa ser construída com o conhecimento que a permanência de humanos adquiriu ao longo dos anos sobre a Lua, embora ainda tenhamos muito a saber. Após a instalação de uma base lunar, surge uma nova oportunidade para os interessados na Lua: oportunidade econômica.

Nos quadros a seguir, apresentam-se dados obtidos dos polígonos traçados nas crateras nomeadas e sombreadas no polo sul.

**QUADRO 5** – Área, diâmetro, altitude dos polígonos desenhados nas crateras sombreadas do Polo Sul.

<b>Crateras sombreadas no Polo Sul da Lua</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Diâmetro (km)</b>	<b>Altitude (m)</b>
Nobile	139,416	52,982	378,09
von Baeyer	78,538	33,157	-114,21
Svedberg	79,016	32,489	-225,18
Shackleton	233,87	54,383	-769,93
Spudis	53,81	29270,00	-917,01
De Gertache	243,267	74,981	-1203,08
Slater	182,865	69,311	-1364,78
Faustini	662,99	97835,00	-1867,04
Cabeus B	375,703	86,882	-2179,88
Wiechert E	113,625	47,098	-2208,41
Scott E	165,091	50,874	-2387,20
Sverdrup	548,883	114,280	-2403,18
Wapowski	22,472	19,976	-2434,53
Haworth	1014,656	122,435	-2480,13
Wiechert	194,280	64,751	-2576,95
Ibn Bajja	58,86	32,582	-2735,67
Shoemaker	1074,668	123,401	-2974,30
Kuhn	72,323	31,673	-3211,65
Idel'son L	325,720	67,232	-3417,24
Cabeus	43,115	37184,00	-3647,95
Wiechert P	73,670	47,855	-3810,47
Wiechert J	370,662	77,910	-4289,78
Wiechert U	115,082	72,675	-4354,39
Kocher	76,70	40,173	-4433,94

Elaboração: a autora.

No QUADRO acima, as altitudes foram classificadas da maior para menor. No QUADRO a seguir, será apresentado sobre as profundidades das crateras em estudos.

**QUADRO 6 – Profundidade das crateras no Polo Sul sombreadas.**

<b>Crateras sombreadas no Polo Sul da Lua</b>	<b>Profundidade m3 1um (nm)</b>	<b>Profundidade m3 2um centro (nm)</b>
Cabeus	0,27	2043,15
Spudis	0,26	1981,25
Shackleton	0,24	2013,28
Shoemaker	0,23	1988,53
Haworth	0,22	2015,14
Sverdrup	0,21	2024,05
Slater	0,21	1965,32
Kocher	0,21	1986,50
Idel'son L	0,20	1975,54
Wiechert	0,20	2002,04
Wiechert E	0,20	1943,94
Wiechert P	0,19	1896,01
Faustini	0,18	2016,19
Scott E	0,17	1889,60
Nobile	0,17	1951,13
Cabeus B	0,16	1974,19
Wiechert J	0,16	1921,29
Wiechert U	0,16	1895,67
Kuhn	0,15	1961,73
Wapowski	0,15	1904,31
von Baeyer	0,13	1961,46
Svedberg	0,12	1940,85
Ibn Bajja	0,11	2003,24
De Gertache	0,07	2016,22

Elaboração: a autora.

No QUADRO acima, os dados da profundidade (m3) 1um (nm) foram ordenadas do maior para menor. No QUADRO a seguir, possui as temperaturas do verão polar na Lua.

**QUADRO 7 – Temperaturas do verão polar na Lua.**

<b>Crateras sombreadas no Polo Sul da Lua</b>	<b>Temperatura média do verão polar (K)</b>	<b>Temperatura máxima do verão polar (K)</b>	<b>Temperatura mínima do verão polar (K)</b>
Wapowski	116,36	200,26	71,68
Wiechert E	96,42	173,36	54,20
von Baeyer	89,86	162,47	48,30
Shackleton	89,10	138,90	49,38
Kocher	85,65	164,13	52,98
Scott E	85,41	151,11	50,52
Svedberg	84,26	153,99	46,53
Spudis	82,74	161,04	45,69
Idel'son L	80,38	141,02	45,76
Ibn Bajja	79,97	152,63	43,89
Cabeus B	79,28	134,61	45,93
Nobile	77,49	149,51	47,13
Wiechert U	74,97	142,88	41,91
De Gertache	73,88	123,28	40,00
Kuhn	72,23	131,06	43,43
Wiechert P	72,21	133,43	40,35
Wiechert J	71,80	124,27	43,56
Wiechert	71,36	131,49	40,25
Cabeus	65,65	142,19	36,15
Sverdrup	64,94	122,69	38,08
Slater	63,19	115,32	33,18
Shoemaker	61,13	106,81	30,03
Faustini	59,28	103,56	29,06
Haworth	55,61	97,49	32,29

Elaboração: a autora.

No QUADRO 7 as temperaturas médias do verão polar foram classificadas da maior para a menor. E por último, no QUADRO 8, traz os dados de temperaturas do inverno polar da Lua.

**QUADRO 8** – Temperaturas do inverno polar da Lua.

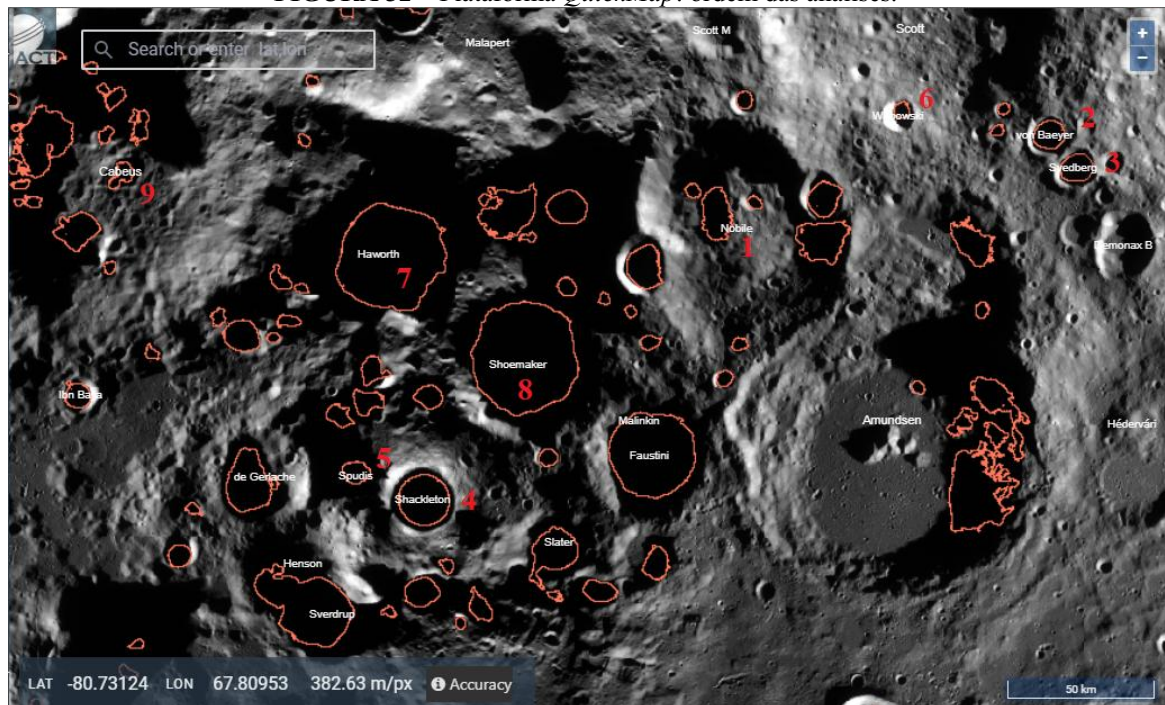
<b>Crateras sombreadas no Polo Sul da Lua</b>	<b>Temperatura média do inverno polar (K)</b>	<b>Temperatura máxima do inverno polar (K)</b>	<b>Temperatura mínima do inverno polar (K)</b>
Haworth	34,76	50,23	20,84
Shoemaker	38,05	63,11	22,92
Faustini	42,60	64,36	25,87
Slater	47,47	75,53	29,01
Cabeus	54,65	100,07	34,13
Sverdrup	55,10	90,55	33,81
De Gertache	56,02	91,19	36,23
Spudis	56,12	115,31	39,65
Shackleton	56,81	95,88	39,45
Wiechert	59,68	94,20	37,54
Wiechert U	64,76	109,35	40,46
Wiechert P	64,80	102,11	40,02
Ibn Bajja	64,84	121,13	42,16
Idel'son L	67,90	112,82	42,83
Wiechert J	67,99	106,89	42,62
Svedberg	69,41	119,93	44,02
Kuhn	70,85	111,01	42,48
Cabeus B	73,56	117,20	42,77
von Baeyer	74,70	128,75	46,05
Nobile	77,75	130,76	44,22
Scott E	78,52	135,57	47,94
Kocher	88,42	136,23	52,73
Wiechert E	90,14	151,67	51,75
Wapowski	112,87	180,60	70,97

Elaboração: a autora.

No QUADRO acima, as temperaturas média do inverno polar foram ordenadas da menor para a maior.

De acordo com os dados detalhados obtidos das crateras totalmente sombreadas no Polo Sul da Lua, faz-se a seguinte análise nas crateras (FIGURA 32):

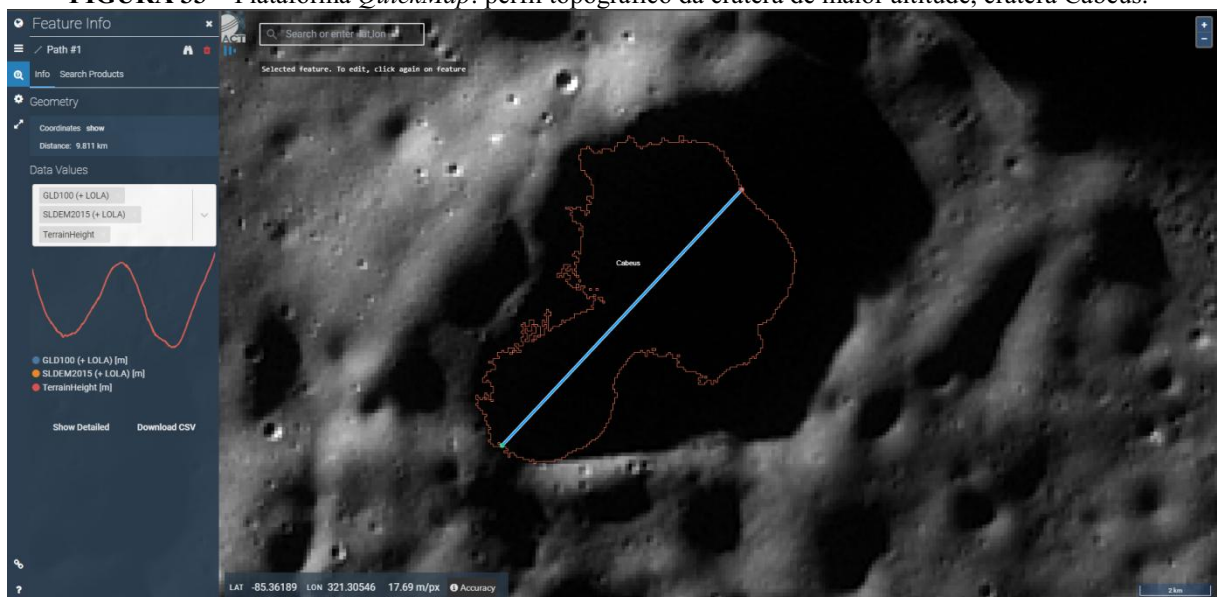
**FIGURA 32** – Plataforma *QuickMap*: ordem das análises.



Fonte: Lunar QuickMap. Acesso 18 de março de 2022.

Em conformidade com a Engenharia de Agrimensura e Cartográfica, e os objetivos específicos desta pesquisa analisam-se os perfis topográficos das crateras sombreadas do Polo Sul da Lua, em que permite uma representação gráfica de desníveis e topografia do terreno. Nas FIGURAS a seguir mostram o perfil topográfico da maior e menor cratera em profundidade, e também da cratera de verão mais quente e de inverno mais gelado.

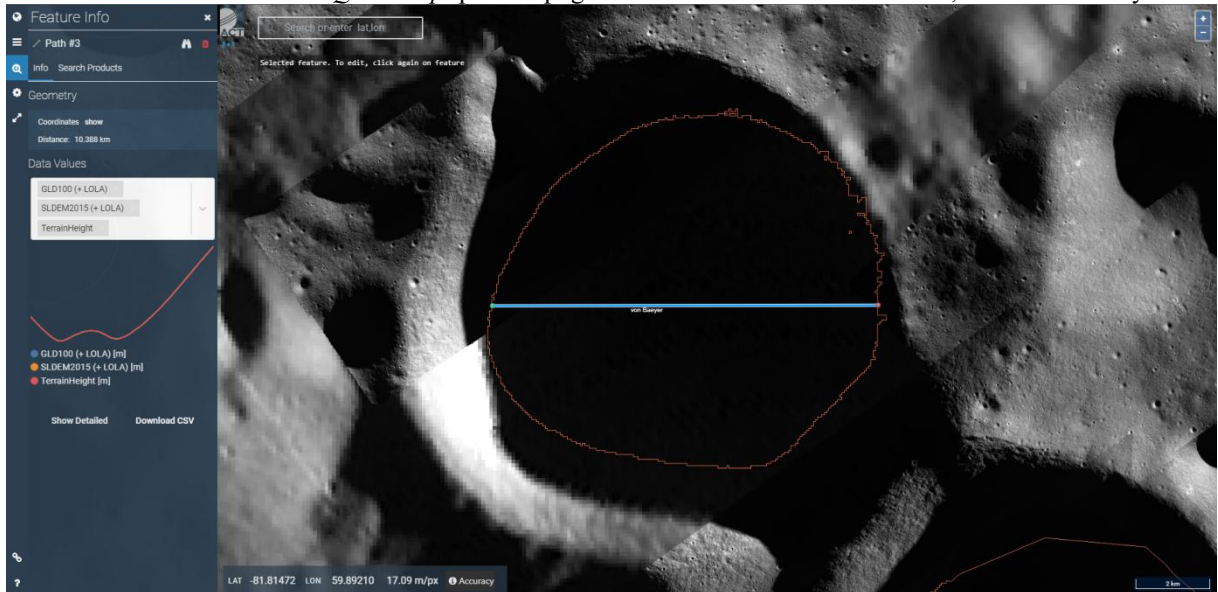
**FIGURA 33** – Plataforma *QuickMap*: perfil topográfico da cratera de maior altitude, cratera Cabeus.



Fonte: Lunar QuickMap. Acesso 25 de março de 2022.

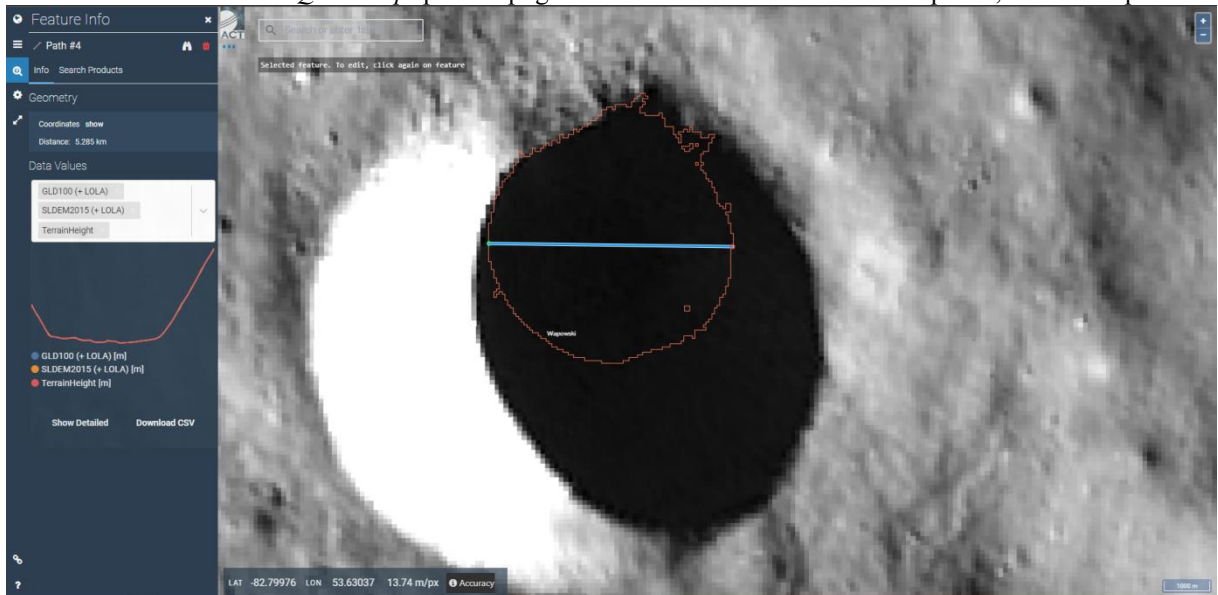


**FIGURA 34** – Plataforma *QuickMap*: perfil topográfico da cratera de menor altitude, cratera von Baeyer.



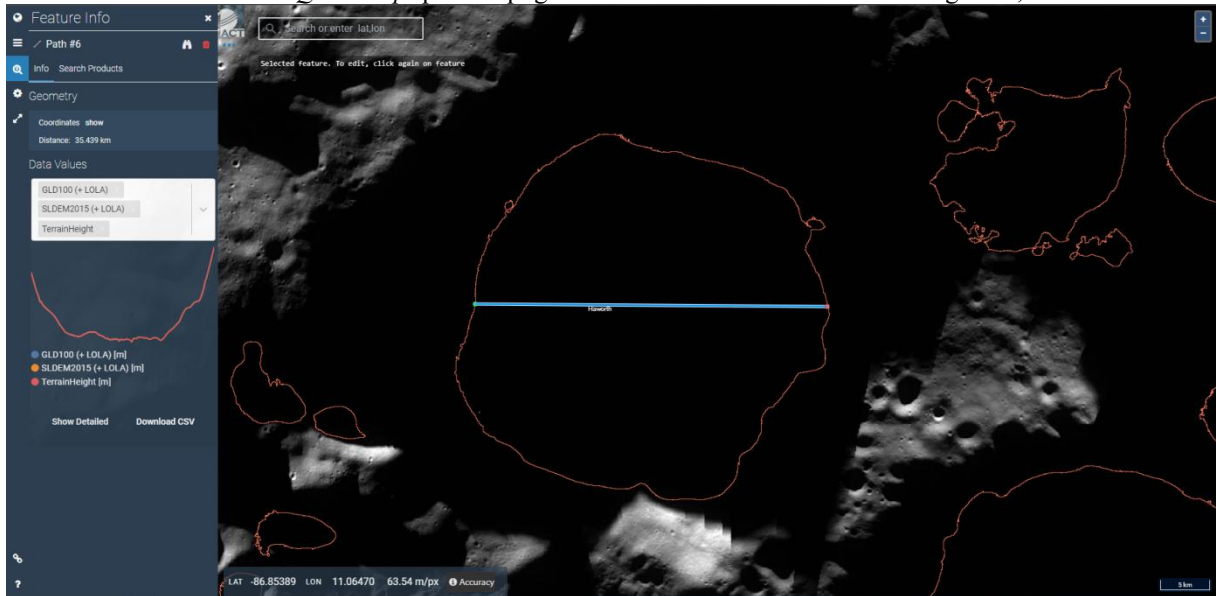
Fonte: Lunar QuickMap. Acesso 25 de março de 2022.

**FIGURA 35** – Plataforma *QuickMap*: perfil topográfico da cratera com o verão mais quente, cratera Wapowski.



Fonte: Lunar QuickMap. Acesso 25 de março de 2022.

**FIGURA 36** – Plataforma *QuickMap*: perfil topográfico da cratera com o inverno mais gelado, cratera Haworth.



Fonte: Lunar QuickMap. Acesso 25 de março de 2022.

Através de todos os dados apresentados acima é possível concluir a pesquisa a seguir.

## 7 CONCLUSÃO

Cinquenta anos depois que os humanos pousaram na Lua, houve um movimento intensificado no setor espacial para permitir o retorno para o satélite natural. A agência espacial norte-americana, NASA, trama estabelecer na superfície lunar para servir de base para exploração e possível envio de missões interplanetárias.

Pela primeira vez dois astronautas norte-americanos, em julho de 1969, pisaram na superfície da Lua em ação da acirrada corrida espacial, demonstrando poder tecnológico entre os Estados Unidos da América e a União das Repúblicas Socialistas Soviéticas. O desejo de voltar a Lua, como antes, cerca interesses políticos, marcados pela capacidade de mobilizar recursos humanos e financeiros, para atingir propósitos além de buscar vantagens tecnológicas. No entanto, o discurso oficial envolve objetivos científicos e programas de exploração.

Retornar à Lua em 2024, desta vez estabelecendo uma base de exploração na Lua, é um objetivo ousado com um prazo curto. Durante um período de quase 60 anos, cerca de 130 missões tripuladas ou não tripuladas foram enviadas a satélites da Terra pela União Soviética, Estados Unidos, Índia, Japão, China, Israel e Europa.

Em dezembro de 1972, os astronautas da Apollo 17 foram os últimos humanos a pisar na Lua. Desde então, ninguém mais esteve lá. No entanto, o desejo de voltar à Lua não foi



embora. Entusiastas citam razões para retornar à Lua. Uma delas é que ainda há muito a aprender antes de mirar em alvos mais desafiadores, como Marte. Pouco se sabe sobre os efeitos do corpo humano depois de exposto por um longo período em um ambiente de baixa gravidade e exibido à radiação cósmica. Mesmo os astronautas que ficaram no espaço há mais tempo não passaram tempo suficiente em baixa gravidade e exposição à radiação para simular a vida na Lua ou uma viagem a Marte.

Agências espaciais, especialistas e entusiastas da exploração espacial listaram outros interesses científicos para justificar o retorno à Lua e a construção de uma base: estudar a geologia, que pode ter se formado por volta de aproximadamente 4,5 bilhões de anos a partir de fragmentos de rochas deixados pelo Planeta Theia atingindo a Terra; a ausência de uma atmosfera (onde não há vento ou chuva) preservaria estruturas na paisagem lunar, o que ajudaria a entender a evolução do Sistema Solar; a gravidade da Lua que é seis vezes menor que a da Terra. Por esta razão, uma estação espacial na superfície lunar ou em sua órbita permitiria o lançamento de naves espaciais e sondas maiores e mais massivas que as da Terra, abrindo caminho para missões cada vez mais distantes.

Os interesses econômicos também orientam o retorno e a possível colonização do satélite natural. Pesquisas mostram que a Lua contém muitos minerais raros. Lá também existe bastante hélio-3, uma forma rara de combustível na Terra, que, em princípio, permitiria reações termonucleares, com liberação de grandes quantidades de energia. Da água congelada das crateras do Polo Sul, faz-se possível extrair oxigênio para os astronautas e hidrogênio para uso como propulsor de foguetes.

Com exceção do planeta Mercúrio, a Lua tem o ambiente térmico de superfície mais extremo de qualquer corpo planetário no sistema. A Terra e a Lua recebem cada um o mesmo fluxo de radiação solar, a diferença importante é que o nosso satélite natural não tem atmosfera para proteger o ser humano ou outro ser vivo da exposição direta às radiações solares, por isso a justificativa da escolha das crateras permanentemente sombreadas. Além disso, o ciclo lunar dia-noite dura cerca de 1 mês. Esses dois fatores são críticos na produção da faixa de temperatura extrema experimentada na Lua. O eixo de rotação da Lua é quase perpendicular ao plano da eclíptica. O resultado é que as elevações altas-baixas dos polos lunares experimentam luz extrema, com alguns pisos de crateras ainda em sombra permanente, para potenciais reservas de gelo na superfície lunar.

Diante disso, em acordo com os objetivos específicos desta pesquisa, os dados analisados conclui-se a classificação de 9 crateras permanentemente sombreadas no Polo Sul em destaque com altitudes, áreas e temperaturas.

A primeira cratera estudada, Nobile, é a única cratera com altitude positiva (378 metros) no Polo Sul da Lua, em característica disso, o verão não tem as temperaturas mais altas que as outras crateras, situando-se na média, mas o inverno é o segundo inverno menos gelado em comparação das outras temperaturas, com máxima de  $-142^{\circ}\text{C}$ . A cratera Nobile tem aproximadamente 52 km de diâmetro, área de 139 km<sup>2</sup>.

A cratera von Baeyer, com a menor altitude negativa de -114 metros, ou seja, a de menor profundidade, carrega quase a maior temperatura em verão ( $-110^{\circ}\text{C}$ ) e conseqüentemente um dos invernos menos gelados com a máxima de  $-144^{\circ}\text{C}$ . Von Baeyer tem cerca de 33 km de diâmetro e 78 km<sup>2</sup> de área. A cratera por se caracterizar entre as de menores altitudes apresenta um perfil topográfico sem grandes depressões (FIGURA 34).

Svedberg, a segunda cratera com menor profundidade tem -225 metros de altitude, com a temperatura máxima de verão de  $-119^{\circ}\text{C}$  e  $-153^{\circ}\text{C}$  no inverno, sendo absolutamente o quarto verão mais quente e o quarto inverno menos gelado. A cratera tem por volta de 32 quilômetros de diâmetro.

Shackleton, cratera localizada no centro do Polo Sul lunar, a terceira altitude menos profunda da seleção, com aproximadamente -770 metros. As temperaturas classifica-se na média entre as crateras selecionadas, o verão polar de  $-134^{\circ}\text{C}$  e o inverno de  $-177^{\circ}\text{C}$ . Shackleton têm em torno de 54 km de diâmetro e 233 km<sup>2</sup> de área.

A cratera Spudis, perto do centro do Polo Sul, quarta altitude menor em profundidade (-917 metros). Um dos verões mais quentes, tendo a máxima de  $-112^{\circ}\text{C}$  e o inverno não sendo um dos mais gelados, máxima de  $-157^{\circ}\text{C}$ . A cratera tem perto de 29 km de diâmetro e 53 km<sup>2</sup> de área.

Wapowski, a cratera do verão mais quente, com máxima de  $-72^{\circ}\text{C}$ , e do inverno menos frio ( $-92^{\circ}\text{C}$ ). É uma das crateras mais profundas com -2.434 metros mesmo sendo uma das menores em diâmetro (19 km aproximadamente). Deve ser ressaltado que Wapowski tem as melhores temperaturas presentes, e em contradição umas das maiores profundidade, e toda logística pode ser solucionada futuramente em convergência ao perfil topográfico apresentado na FIGURA 35.

Em comparação de temperatura e de altitude, do inverno mais gelado ( $-222^{\circ}\text{C}$ ), encontra-se a cratera Haworth, logo o verão menos quente ( $-175^{\circ}\text{C}$ ). A cratera é mais profunda que a anterior, com -2.480 metros. Haworth tem mais ou menos 122 km de diâmetro e 1.014 km<sup>2</sup> de área. Como mostrado (FIGURA 36), o perfil topográfico não apresenta grandes variações além da altitude negativa.

A cratera Shoemaker, é localizada quase no centro do polo sul, trata-se da segunda cratera mais profunda das 9 crateras selecionadas (-2.974 metros de altitude). O verão em resultado com a altitude e localização, não é um dos verões mais quente (-166°C), entretanto o inverno considera-se um dos mais gelados (-210°C), ficando atrás só da cratera Haworth. Shoemaker tem próximo de 123 km de diâmetro e 1.074 km<sup>2</sup> de área.

E por fim, Cabeus, a cratera mais profunda de todas as selecionadas tem -3.647 metros de profundidade, e em discordância no diâmetro com 37 km e 43 km<sup>2</sup> de área sensivelmente, carrega temperaturas médias no verão e no inverno (-130°C e -173°C). A topografia da cratera é marcada por um alto relevo, e dois declives (FIGURA 33), e deve ser levado em consideração a dificuldade imensa devido o perfil topográfico.

Apesar dos resultados apresentados para as crateras permanentemente sombreadas do Polo Sul lunar tratar da melhor área para a instalação de uma base de exploração, um outro ponto que poderia ser considerado são as cavernas lunares, chamados de tubos de lavas. Mapear e explorar esses tubos nos dará mais informações sobre a geologia da Lua e os tornará opções de santuário potencialmente interessantes para futuras missões residentes. Os tubos de lava podem proteger os astronautas de radiação cósmica e dos micrometeoritos e potencialmente fornecer acesso à água congelada e outros recursos presos no subsolo, áreas que podem ser exploradas em trabalhos futuros.

## REFERÊNCIAS

ALCÂNTARA, Prof. Enner. **Sensoriamento Remoto I**. São Paulo: Departamento de Cartografia, 2016. Color.

ALVARENGA, Jefferson. **Nasa anuncia descoberta de água na superfície da Lua**. Disponível em: <https://www.biotadofuturo.com.br/nasa-anuncia-descoberta-de-agua-na-superficie-da-Lua/>. Acesso em: 14 fev. 2022.

AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY(ASP). **Manual of Photogrammetry**, 1966, 1220p.

ARCHINAL, Brent. **Lunar Coordinates and Cartography: Coordinate System Establishment, Improvement, and Control (Registration) of Lunar Datasets, from Past, Present and Future U. S. and Foreign Missions**. Flagstaff: Usgs Astrogeology Science Center, 2014

Avery, TE, & Berlin, GL (1992). **Fundamentos de Sensoriamento Remoto e Interpretação de Aerofotos** (472 p). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.

Brian Dunbar. **Artemis**. Disponível em: <https://www.nasa.gov/specials/artemis/>. Acesso em: 12 out. 2021.

BORRI, Cristoforo. **Collecta astronomica**. Lisboa: Matias Rodrigues, 1931.

CAMARGO, Wander Bueno de. **USO DE TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO NO MAPEAMENTO DA VEGETAÇÃO DO FUNDO DE VALE DO CÓRREGO BARREIRO**. 2005. 109 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2005.

CAVALCANTE, Daniele. **Da Apollo 1 à Apollo 17: o que fez cada missão do programa lunar da NASA?** Disponível em: <https://canaltech.com.br/espaco/da-apollo-1-a-apollo-17-o-que-fez-cada-missao-do-programa-lunar-da-nasa-154105/>. Acesso em: 10 out. 2021.

**CORRIDA ESPACIAL**. São Paulo, SP, 24 dez. 1968. Disponível em: <https://acervo.estadao.com.br/noticias/topicos,corrida-espacial,469,0.htm>. Acesso em: 10 out. 2021.

**Diretor do Observatório de Piracicaba lembra participação em projeto da Nasa para pouso na Lua há 50 anos**. Disponível em: <https://g1.globo.com/sp/piracicaba-regiao/noticia/2019/07/20/diretor-do-observatorio-de-piracicaba-lembra-participacao-em-projeto-da-nasa-para-pouso-na-lua-ha-50-anos.ghtml>. Acesso em: 04 abr. 2022.

FERNANDES, Rodrigo Vesule. **ANÁLISE DE LEGALIDADE DA EXTRAÇÃO DE RECURSOS NATURAIS E DO USO EXCLUSIVO DE ÁREAS EM TERRITÓRIO LUNAR, À LUZ DO TRATADO DO ESPAÇO**. 2020. 49 f. Tese (Doutorado) - Curso de Direito Internacional, Estácio de Sá, São Paulo, 2020.

GALILEI, Galileu. **Sidereus Nuncius: O Mensageiro das Estrelas**. 2. ed. São Paulo: Duetto Editorial, 2009.

GONZALEZ, Rafael C.. **Processamento editado de imagens**. 3. ed. São Paulo: Gabriela Trevisan, 2009.

GUERSON, Cindy. **Cavernas lunares: ESA inova com estudo para explorar área**. Disponível em: <https://www.voitto.com.br/blog/artigo/cavernas-lunares>. Acesso em: 13 abr. 2022.

HADDAD, Thomás A. S.. **Mapas da Lua e carreiras astronômicas na Península Ibérica seicentista**. São Paulo, p. 1-12, 2011.

HARWOOD, William (ed.). **Trump administration requests funding boost for NASA's Artemis moon program**. Disponível em: <https://spaceflightnow.com/2020/02/10/trump-administration-requests-funding-boost-for-nasas-artemis-moon-program/>. Acesso em: 11 out. 2021.

HELAVA, U. V. **Prospecs in digital photogrammetry**. ACSM-ASPRS, Annual Convention, vol. 2, Washington, USA, 1992, 19-24.

HELAVA, U. V. **State of the art in digital photogrammetric Workstations**. ACSM-ASPRS, Annual Convention, vol. 2, Washington, USA, 1992, 10-18.

Honniball, C.I., Lucey, P.G., Li, S. *et al.* **Molecular water detected on the sunlit Moon by SOFIA**. *Nat Astron* 5, 121–127 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41550-020-01222-x>

**Imagem da projeção de Mercator Mapa lunar**. Disponível em: [https://www.physics.unlv.edu/~jeffery/astro/moon/map/moon\\_map\\_mercator.html](https://www.physics.unlv.edu/~jeffery/astro/moon/map/moon_map_mercator.html). Acesso em: 04 mar. 2022.

International Astronomical Union (IAU). Disponível em: <https://www.iau.org/>. Acesso em: 11 out. 2021.

LEITE, Ibson José Maciel; SOUZA, Cícero Jailton de Moraes; BARBOZA, Allan Christopher Rodrigues; SILVA, José Wesley Pereira da; MONTEIRO, Mário Anonio Alves. **Análise de crateras lunares como ferramenta alternativa para o ensino de física e astronomia**. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, [S.L.], v. 42, n. 201901582020, p. 1-8, 2020. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1806-9126-rbef-2019-0158>.

LRO Project (2008), **A Standardized Lunar Coordinate System for the Lunar Reconnaissance Orbiter**, LRO Project White Paper, version 4 of May 14 [available at <http://lunar.gsfc.nasa.gov/library/451-SCI-000958.pdf>].

LRO Project and Lunar Geodesy and Cartography Working Group (2008). **A standardized lunar coordinate system for the Lunar Reconnaissance Orbiter and lunar datasets**: LRO Project and LGCWG White Paper, version 5 of October 1. <http://lunar.gsfc.nasa.gov/library/LunCoordWhitePaper-10-08.pdf>

**"Lua"**. Disponível em: <https://www.sobiologia.com.br/conteudos/Universo/Lua.php>. Acesso 17 mar. 2022.

**Lunar Reconnaissance Orbiter.** Disponível em: <https://lunar.gsfc.nasa.gov/>. Acesso em: 22 out. 2021.

MENESES, Paulo Roberto. **INTRODUÇÃO AO PROCESSAMENTO DE IMAGENS DE SENSORIAMENTO REMOTO.** Brasília: Cnpq, 2012.

**NASA ANUNCIA DESCOBERTA DE ÁGUA NA PARTE ILUMINADA DA LUA.** Disponível em: <https://metsul.com/nasa-anuncia-descoberta-de-agua-na-Lua/>. Acesso em: 14 fev. 2022.

**NASA'S SOFIA Discovers Water on Sunlit Surface of Moon.** Disponível em: <https://www.nasa.gov/press-release/nasa-s-sofia-discovers-water-on-sunlit-surface-of-moon>. Acesso em: 14 fev. 2022.

NASA. **LROC ::QuickMap.** Disponível em: <https://QuickMap.lroc.asu.edu/?extent=-90,-25.1699959,90,25.1699959&proj=10&layers=NrBsFYBoAZIRnpEBmZcAsjYIHfYFcAbAyAbwF8BdC0yioA>. Acesso em: 25 out. 2021.

NASA. **New Space Policy Directive Calls for Human Expansion Across Solar System.** Disponível em: [New Space Policy Directive Calls for Human Expansion Across Solar System](#). Acesso em: 21 out. 2021.

Neison, Edmund; Nevill, Edmund Neville (1876). (em inglês). [S.l.]: Longmans, Green, and Company. p. 2007-07-24 no Wayback Machine;

**Novo estudo diz que série de impactos pode ter dado origem à Lua.** Disponível em: <https://veja.abril.com.br/ciencia/novo-estudo-diz-que-serie-de-impactos-pode-ter-dado-origem-a-lua/>. Acesso em: 13 abr. 2022.

NUSSENZVEIG, H.M., **Curso de física básica: mecânica** (Editora Blucher, São Paulo, 2013).

OLIVEIRA, Renan Furlan de. **DETECÇÃO AUTOMÁTICA DE CRATERAS DE IMPACTO EM IMAGENS DE ALTA RESOLUÇÃO ESPACIAL DA SUPERFÍCIE DE MARTE.** 2019. 113 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências Cartográficas, Unesp, Presidente Prudente, 2019.

**O que foi o Programa Gêmeos?** Disponível em: <https://www.nasa.gov/audience/forstudents/5-8/features/nasa-knows/what-was-gemini-program-58.html>. Acesso em: 07 out. 2021.

**O que são os flashes que partem da superfície da Lua?** Disponível em: <https://olhardigital.com.br/2019/06/05/ciencia-e-espaco/o-que-sao-os-flashes-que-partem-da-superficie-da-lua/>. Acesso em: 05 abr. 2022.

**O RETORNO À LUA.** São Paulo: Pesquisa Fapesp, 2019.

PANCINI, Laura. **China e Rússia se unem em 'corrida espacial' para a Lua e buscam parceiros.** Disponível em: <https://exame.com/ciencia/china-e-russia-corrída-espacial-para-a-lua/>. Acesso em: 02 fev. 2022.

**Participação brasileira nas missões Apollo.** Disponível em: <https://sciam.com.br/participacao-brasileira-nas-missoes-apollo/>. Acesso em: 13 fev. 2022.

PLESCIA, Jeff. **International Standards and the NASA Lunar Geodesy and Cartography Working Group.** Cape Canaveral, Fl: Leag-Ilewg-Srr Meeting, 2008. Color.

POPOVA, Maria. **The Astronomical Art of Maria Clara Eimmart: Stunning 17th-Century Drawings of Comets, Planets, and Moon Phases by a Self-Taught Artist and Astronomer.** Disponível em: <https://www.themarginalian.org/2019/01/06/maria-clara-eimmart/>. Acesso em: 17 out. 2021.

**Primeira fotografia da Lua registrada por Louis Daguerre.** Disponível em: <https://www.historiaemdestaque.com.br/dias-na-historia/primeira-fotografia-da-Lua-registrada-por-louis-daguerre>. Acesso em: 20 fev. 2022.

**Projeto: Fenômenos Tansitórios Lunares.** Disponível em: <http://www.rea-brasil.org/lunar/tlp.htm>. Acesso em: 14 fev. 2022.

**Projeto Mercury.** Disponível em: : [https://www.wikifox.org/pt/wiki/Projeto\\_Mercury](https://www.wikifox.org/pt/wiki/Projeto_Mercury). Acesso em: 06 out. 2021.

RUFU, Raluca. **Uma origem de múltiplos impactos para a Lua.** Disponível em: <https://www.nature.com/articles/ngeo2866>. Acesso em: 13 abr. 2022.

SACANI, Sérgio. **Conhecendo a Lua: O Movimento de Libração Lunar.** Disponível em: <https://spacetoday.com.br/conhecendo-a-Lua-o-movimento-de-libracao-lunar/>. Acesso em: 11 out. 2021.

SALLES, Daniel. **Home Casual Perdidas no espaço: as câmeras que ficaram na Lua há 50 anos.** Disponível em: <https://exame.com/casual/perdidas-no-espaco-as-cameras-que-ficaram-na-lua-ha-50-anos/>. Acesso em: 02 abr. 2022.

SAMOS, Aristarco de. **Sobre os tamanhos e distâncias do Sol e da Lua.** São Paulo: Rubens E. G. Machado, 2016.

SANTANA, Daiane. **Sensoriamento Remoto, Geoprocessamento e suas aplicações.** Disponível em: <https://vivoverde.com.br/sensoriamento-remoto-geoprocessamento-e-suas-aplicacoes/>. Acesso em: 10 fev. 2022.

SANTIAGO E CINTRA. **O QUE SÃO E PARA QUE SERVEM AS PROJEÇÕES CARTOGRÁFICAS?** Disponível em: <https://santiagoocintra.com.br/blog/o-que-sao-e-para-que-servem-as-projecoes-cartograficas/>. Acesso em: 04 mar. 2022.

Sean Potter. **NASA Selects Astrobotic to Fly Water-Hunting Rover to the Moon.** Disponível em: <https://www.nasa.gov/press-release/nasa-selects-astrobotic-to-fly-water-hunting-rover-to-the-moon>. Acesso em: 11 out. 2021.

SILVA, Christian Nunes da. **A REPRESENTAÇÃO ESPACIAL E A LINGUAGEM CARTOGRÁFICA.** Belém: Ed. Gapta/Ufpa, 2013.

Steven Sobieszczyk. **New Comprehensive Geologic Map of the Moon Released.**

Disponível em: <https://www.usgs.gov/news/usgs-releases-first-ever-comprehensive-geologic-map-moon>. Acesso em: 12 out. 2021.

**The Space Race.** Disponível em:

[http://www.digitalhistory.uh.edu/disp\\_textbook.cfm?smtid=2&psid=3426](http://www.digitalhistory.uh.edu/disp_textbook.cfm?smtid=2&psid=3426). Acesso em: 10 out. 2021.

TOLENTINO, Vaz. **Cartografia Lunar - O ponto central da face visível da**

**Lua.** Disponível em: <http://vaztolentino.com.br/imagens/7646-Cartografia-Lunar-O-ponto-central-da-face-visivel-da-Lua>. Acesso em: 10 out. 2021.

TOMMASELLI, Antonio M. G. Introdução. In: TOMMASELLI, Antonio M. G.

**Fotogrametria Basica.** 1. ed. [S.l.: s.n.], 2009. cap. 1, p. 1-2. v. 1. Disponível em: . Acesso em: 11 de fev. 2022.

VAN HELDEN, Al. **The Moon.** Disponível em:

<http://galileo.rice.edu/sci/observations/moon.html>. Acesso em: 17 out. 2021.

**Viagens à Lua: por que há tantas missões em 2022.** Disponível em:

<https://www.bbc.com/portuguese/geral-59984012#:~:text=O%20ano%20de%202022%20ser%C3%A1,%E2%80%8B%E2%80%8Bpor%20futuros%20astronautas..> Acesso em: 02 fev. 2022.

VIEIRA, Nathan. **Quantas luas o Sistema Solar tem?** Disponível em:

<https://canaltech.com.br/espaco/quantas-luas-o-sistema-solar-tem-conheca-satelites-naturais-alem-da-nossa-lua-163567/>. Acesso em: 04 out. 2021.

ZURITA, Marcelo. **A participação brasileira na maior aventura da humanidade, que levou o homem à Lua 52 anos atrás.** Disponível em:

<https://olhardigital.com.br/2021/06/21/colunistas/a-participacao-brasileira-na-maior-aventura-da-humanidade-que-levou-o-homem-a-Lua-52-anos-atras/>. Acesso em: 13 fev. 2022.