



UFRGS
UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO GRANDE DO SUL

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA**

TANIA CRISTINA GOMES

**EXOGEODIVERSIDADE E DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA PARA O ENSINO DE
GEOGRAFIA: FEIÇÕES EÓLICAS DE MARTE**

Porto Alegre/RS – Brasil
2022

TANIA CRISTINA GOMES

**EXOGEODIVERSIDADE E DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA PARA O ENSINO DE
GEOGRAFIA: FEIÇÕES EÓLICAS DE MARTE**

Monografia de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Geografia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Licenciada em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Verdum

Porto Alegre/RS – Brasil
2022

CIP - Catalogação na Publicação

GOMES, TANIA CRISTINA
EXOGEODIVERSIDADE E DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA PARA O
ENSINO DE GEOGRAFIA: FEIÇÕES EÓLICAS DE MARTE / TANIA
CRISTINA GOMES. -- 2022.
125 f.
Orientador: ROBERTO VERDUM.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto
de Geociências, Licenciatura em Geografia, Porto
Alegre, BR-RS, 2022.

1. Exogeodiversidade. 2. Planeta Marte. 3.
Divulgação Científica. 4. Ensino de Geografia. 5.
Sequência Didática. I. VERDUM, ROBERTO, orient. II.
Título.

TANIA CRISTINA GOMES

Geógrafa – Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

Mestra em Geografia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS

Doutora em Geografia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS

DOCTEUR EN GÉOGRAPHIE – Le Mans Université - France

MONOGRAFIA

Submetida como parte dos requisitos
Para a obtenção do Grau de

LICENCIADA EM GEOGRAFIA

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Instituto de Geociências
Departamento de Geografia

Porto Alegre – Brasil

Aprovada em 19/10/2022

BANCA EXAMINADORA

Orientador	Prof. Dr. Roberto Verdum	Universidade Federal Rio Grande do Sul, Brasil
Avaliadora	Profa. Dra. Kátia Kellem da Rosa	Universidade Federal Rio Grande do Sul, Brasil
Avaliador	Prof. Me. Marcelo Guglielmi Leite	SMED - Gravataí, Brasil



Fonte: NASA/JPL-Caltech/ASU

Dedico ao meu companheiro de vida, **Ígor** e ao nosso pequeno **Vicente** que está conhecendo os desafios do mundo com muita coragem e que nos ensina todos os dias algo novo, assim como a Ciência e a Educação.

AGRADECIMENTOS

AGRADECER é sempre um ato grandioso. Reconhecer que as conquistas não são individuais é necessário, pois ninguém *peleia* solitário.

Agradeço ao meu amor e meu companheiro Ígor, que, com muita paciência, carinho, compreensão e cumplicidade, me acompanhou, ao longo desta caminhada e que me incentivou a querer escalar as mais altas montanhas, à minha mãe, Helena, por me incentivar sempre.

Ao meu orientador, professor Roberto Verdum, por me acolher e, também, pela confiança, pela troca de conhecimento e pela amizade.

Aos professores que compuseram a banca, professora Dr.^a Katia Kellem, professor Ms. Marcelo Guglielmi Leite.

Do mesmo modo, agradeço aos funcionários, técnicos e bolsistas do IGEO e do Departamento de Geografia, em especial, à Karen Foletto Ferreira e Zélia da Silva Zaghetto.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul, pública, gratuita e uma das melhores do país pela oportunidade. Ao Instituto de Geociências e ao Departamento do Curso de Geografia – UFRGS.

Sem a colaboração e o suporte de muitas pessoas e instituições, a realização do curso de Licenciatura em Geografia não seria possível.

Muito Obrigada a todos (as)!



Fonte: NASA/JPL-Caltech

Edição: Yvette Smith

Ao meu passado
Eu devo o meu saber, e a minha ignorância
As minhas necessidades
As minhas relações,
A minha cultura e o meu corpo
Que espaço meu passado deixa pra minha liberdade hoje?
Não sou escrava dele.
(Simone de Beauvoir)

EXOGEODIVERSIDADE E DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA PARA O ENSINO DE GEOGRAFIA: FEIÇÕES EÓLICAS DE MARTE¹

Autora: Tania Cristina Gomes

Orientador: Prof. Roberto Verdum

Local e data da defesa: Porto Alegre, 19 de outubro de 2022.

RESUMO

O planeta Terra é o mais complexo dos planetas telúricos, então identificados no Sistema Solar, o que resulta em maior heterogeneidade de processos e de morfologias, as quais deram origem a ricas geodiversidade e biodiversidade. Enquanto habitantes da Terra, temos as possibilidades de estudar e de conhecer, *in loco*, os processos geológicos e geomorfológicos que modelam sua superfície. A exploração científica planetária, sobretudo nas últimas décadas, tem revelado evidências de modificação na paisagem de Marte. A identificação, a classificação e a distribuição dos fenômenos e da dinâmica superficial aumentam, à medida que mais imagens de alta resolução são adquiridas e disponibilizadas. Nesse contexto, pode-se inserir um novo conceito, ao qual alguns pesquisadores têm se dedicado: exogeodiversidade, termo que designa a “geodiversidade” fora do planeta Terra. Nesse caminho, a divulgação científica do conhecimento gerado pela exploração espacial deverá estimular o interesse de leigos, de alunos e de professores. Entretanto, denota-se uma lacuna na produção de material didático, pois este tema é tido apenas como conteúdo optativo nos âmbitos escolar e universitário. Assim, este trabalho objetiva inicialmente reconhecer e caracterizar as formas e os processos geomorfológicos de Marte, análogos à paisagem e às formas de relevo na Terra, através da leitura e da análise de imagens como instrumentos nos processos de ensino e de aprendizagem em Geografia. Igualmente, o presente texto tem a finalidade de compor uma proposta de materiais didático e de atividades para o conteúdo programático da disciplina de Geografia, tanto em nível escolar quanto universitário. Contudo, a sequência didática sugerida pode ser utilizada por professores de diferentes áreas do conhecimento, que, associados aos demais capítulos deste trabalho, pode contribuir para sua própria formação. Além disso, este trabalho destacará a importância da relação entre divulgação científica, Educação e ensino de Geografia, enquanto instrumento à disposição de professores, de pesquisadores e de divulgadores científicos profissionais para estimular o pensamento crítico sobre Ciências. Do mesmo modo, pretende-se manifestar a necessidade de se propor uma disciplina, mesmo que eletiva, que aborde a exogeodiversidade dos planetas telúricos nos cursos de bacharelado e de licenciatura em Geografia.

Palavras-chave: Exogeodiversidade. Planeta Marte. Divulgação Científica. Ensino de Geografia. Sequência Didática.

¹ Monografia defendida para obtenção do Grau de Licenciada em Geografia. Departamento de Geografia – Instituto de Geociências – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, 2022.

EXOGEODIVERSITY AND SCIENTIFIC DISSEMINATION FOR GEOGRAPHY TEACHING: MARS WIND FEATURES²

Author: Tania Cristina Gomes

Advisor: Roberto Verdum

Place and date of the defense: Porto Alegre, July 19th, 2022

ABSTRACT

Planet Earth is the most complex of the telluric planets then identified in the Solar System, which results in greater heterogeneity of processes and morphologies that have given rise to rich geodiversity and biodiversity. As inhabitants of the Earth, we have the possibilities to study and to know, in loco, both geological and geomorphological processes that shape its surface. Especially in the last decades, planetary scientific exploration has revealed evidence of modification in the landscape of Mars. The identification, classification and distribution of surface phenomena and dynamics increase as more high-resolution images are acquired and made available. In this context, one can insert a new concept, to which some researchers have been dedicated: exogeodiversity, the term that designates the "geodiversity" outside planet Earth. In this way, the scientific dissemination of knowledge generated by space exploration should stimulate the interest of laymen, students and teachers. However, it is denoted a gap in the production of didactic material, because this theme is taken only as optional content in school and university spheres. Thus, this work aims initially to recognize and to characterize the forms and the geomorphologic processes of Mars, analogous to the landscape and the forms of relief on Earth, through the reading and the analysis of images as instruments in the processes of teaching and learning in Geography. Also, the present text has the purpose of composing a proposal of didactic materials and activities for the programmatic content of Geography discipline, both at school and university level. However, the suggested didactic sequence can be used by teachers of different areas of knowledge, which, associated with the other chapters of this work, can contribute to their own training. Moreover, this work will highlight the importance of the relationship between science dissemination, education and teaching of Geography, as a tool available to teachers, researchers and professional science disseminators to stimulate critical thinking about Science. In the same way, it is intended to manifest the need to propose a discipline, even if elective, that approaches the exogeodiversity of the telluric planets in both bachelor and licentiate graduate courses of Geography.

Keywords: Exogeodiversity. Planet Mars. Scientific dissemination. Geography teaching. Didactic sequence.

² Monograph presented to obtain a licentiate graduation in Geography at the Department of Geography, Institute of Geosciences, Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre (RS), Brazil, in 2022.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Lista de Figuras

Figura 1: Organograma de Pesquisa	18
Figura 2: Modelos de comunicação pública no ambiente de divulgação científica.....	27
Figura 3: Espiral da Cultura Científica.	34
Figura 4: Representação artística simplificada do Sistema Solar	49
Figura 5: Imagem de Marte e comparação com o tamanho do Planeta Terra.....	50
Figura 6: Registro da superfície marciana feito pela Sonda Mariner-4	54
Figura 7: Registro da superfície de Marte - Rover Sojourner feito pela Pathfinder	56
Figura 8: Cena capturada pelo Curiosity em 9 de setembro de 2015.....	57
Figura 9: Localização da sonda a InSight e outras sondas da NASA	58
Figura 10: Ilustração da estrutura interna de Marte	59
Figura 11: Maior lua de Marte – Missão Tianwen-1	61
Figura 12: Mapa Geológico de Marte.....	67
Figura 13: Imagens que caracterizam processos Geológico e/ou Geomorfológico em Marte.....	69
Figura 14: Mapa de Marte mostrando os locais de pouso das principais sondas marcianas.....	73
Figura 15: Mapa topográfico Global de Marte	74
Figura 16: Relação entre velocidade, tamanho e transporte de partículas	81
Figura 17: Esboço de formas comuns de dunas crescentes na Terra	83
Figura 18: Distribuição global de mobilidade de areia e campos de dunas	85
Figura 19: Campo de dunas em Vastitas Borealis – Polo Norte de Marte.....	86
Figura 20: Campos de dunas Nili Patera na região de Syrtis Major	88
Figura 21: Campos de dunas Cratera Kaiser em Noachis no Hemisfério Sul	90
Figura 22: Campos de dunas Cratera Bounce na região da Argyre Planitia no Hemisfério Sul.....	92

Lista de Quadros

Quadro 1: Aspectos da comunicação e divulgação científicas	22
Quadro 2: Aspectos a incluir no currículo de ciências para favorecer a construção de conhecimentos Científicos	41
Quadro 3: Propostas de articulação e instituições nacionais que promovem a astronomia.....	46
Quadro 4: Característica planetárias comparadas entre os Planetas Marte e Terra	51
Quadro 5: Objetivos e principais avanços da Missão Mars 2020 em relação as missões anteriores....	63
Quadro 6: Escala Geocronológica de Marte	70
Quadro 7: Nomenclatura forma de terreno em Marte.....	75

1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	12
1.1	Concepção da problemática e justificativa	12
1.2	Objetivos.....	14
2	ASPECTOS METODOLÓGICOS: MATERIAIS E MÉTODOS	16
3	ASPECTOS DA DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA	21
3.1	Divulgação Científica no Brasil	28
3.2	Divulgação Científica, Educação e Ensino.....	32
3.3	Divulgação Científica e Ensino de Geografia	37
4	EXOGEODIVERSIDADE: A GEODIVERSIDADE FORA DA TERRA E O ENSINO DE ASTRONOMIA NO BRASIL	43
5	A EXOGEODIVERSIDADE DE MARTE: O PLANETA VERMELHO	48
5.1	Síntese cronológica de seis décadas de exploração científica sobre o Planeta Vermelho e suas principais missões exploratórias	51
5.2	A Geografia e a Caracterização Física do Planeta Vermelho.....	65
5.2.1	A Cartografia de Marte.....	71
5.2.2	Processos Geológicos e Geomorfológicos de Marte	77
5.2.2.1	<i>Estruturas Eólica resultantes de processos exógenos: uma comparação entre morfologias eólicas dos planetas Terra e Marte</i>	79
6	CONSTRUÇÃO DE MATERIAL DIDÁTICO	94
6.1	Proposta de Sequência Didática	98
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	117
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	119

1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

1.1 Concepção da problemática e justificativa

Marte, faz parte do Sistema Solar que é composto pelo Sol, quatro planetas gasosos ou Jovianos (Júpiter, Saturno, Urano, Netuno), quatro planetas telúricos, ou seja, planetas com superfície sólida e rochosa (Mercúrio, Vênus, Terra, Marte), Putão (planeta anão) e Corpos Menores (Satélites, Anéis, Asteroides, Cometas, Meteoritos e Meteoros, Gás e Poeira Zodiacal).

A Terra é o mais complexo dos planetas telúricos, o que resulta em uma maior diversidade de processos e morfologias resultantes que deram origem a uma rica biodiversidade e geodiversidade. Na condição de habitantes deste planeta, temos a oportunidade de estudar e conhecer, *in loco*, os processos geológicos e geomorfológicos que modelaram a sua superfície. A exploração planetária mostrou que as superfícies dos planetas telúricos e dos seus satélites naturais, foram submetidos a processos semelhantes como no Planeta Terra, sendo o impacto de meteoros, o vulcanismo, o tectonismo e a erosão como os responsáveis pelos principais processos modeladores da superfície dos planetas rochosos.

Os processos geradores de morfologias em planetas rochosos podem ser associados a três categorias fundamentais de acordo com os processos responsáveis pela sua gênese e podem atuar em conjunto num mesmo corpo planetário: morfologias endógenas, exógenas e exóticas. As morfologias endógenas são derivadas da ação das forças internas do planeta (tectonismo, plutonismo e vulcanismo), as exógenas são aquelas que derivam da ação dos agentes externos (fatores climáticos, erosão, transporte e deposição à superfície), e as exóticas resultam do bombardeamento por meteoros e cometas. Nesse sentido, ao conhecer as morfologias produzidas por cada um destes processos, é possível revelar a história da superfície de um planeta. O mesmo conhecimento, é, pois, fundamental como termo de comparação para as morfologias de outros planetas telúricos (CORREIA, 2002).

A exploração espacial, especialmente das últimas décadas, tem revelado evidências de modificação na paisagem de Marte. A identificação, classificação, distribuição dos fenômenos e dinâmica superficial aumentaram à medida que mais

imagens de alta resolução são adquiridas e disponibilizadas. Neste contexto, pode-se inserir um novo conceito, ao qual alguns pesquisadores têm se dedicado (BETARD & PEULVAST, 2019): “Exogeodiversidade”, sendo este o termo que designa a “Geodiversidade” fora da Terra.

O conceito de Geodiversidade – meio abiótico da Biodiversidade – aplicado desde meados de 1990 para abordar a variabilidade da natureza, limita-se à superfície da Terra e suas características, sem envolver a diversidade geológica e geomorfológica de corpos rochosos celestes do sistema solar, isto é, de planetas telúricos, luas que orbitam gigantes gasosos, cometas e asteroides. Nesse sentido, há uma grande dificuldade de avaliação da (geo)diversidade extraterrestre definida conceitualmente por Betard & Peulvast (2019) de “Exogeodiversidade” que, com exceção da Lua – Missão Apollo, permanecem como corpos inexplorados e acessíveis apenas por imagens e observações indiretas.

Os mesmos autores colocam que a Geodiversidade é um conceito aceito e reconhecido no campo das Geociências e tem fundamentos teóricos e aplicações práticas que o tornam um novo paradigma ao desenvolvimento de estratégias para a conservação abiótica da natureza. No entanto, a Geodiversidade raramente foi considerada no contexto de ambientes extraterrestres, apesar da excepcional diversidade geológica e geomorfológica dos demais corpos planetários do Sistema Solar, conforme revelado por várias décadas de missões de exploração espacial, por imagens e dados topográficos de alta resolução. Assim, a exploração humana planetária, em especial de Marte e outros corpos rochosos, implica numa avaliação objetiva da Exogeodiversidade a ser feita para proteger as características mais valiosas – do ponto de vista científico, cultural, histórico, estético e/ou artístico – contra uma série de ameaças antropogênicas, antes da seleção de futuros locais de desembarque.

O fato é que o investimento em missões planetárias e o conhecimento gerado a partir destas, tem avançado de maneira rápida e contínua. A divulgação e disseminação deste conhecimento, relacionado ao Sistema Solar e à exploração espacial, deverá estimular também o interesse de leigos e de alunos. Entretanto, denota-se uma lacuna na produção de material didático, pois este tema, no âmbito escolar, é tido apenas como conteúdo optativo, podendo ser trabalhado em disciplina como Geografia, Física e Biologia ou, ainda, fica a cargo da preferência e capacidade do professor que tenha interesse em trabalhar o assunto com os alunos, prática esta inclusive, preconizada na reforma do Novo Ensino Médio.

A lacuna na produção de material didático, relacionada à temática da exploração espacial e suas descobertas, pode estar associada, de acordo com Correia (2002), a uma deficiência ou ausência de formação nesta área, em nível curricular universitário e/ou de conteúdo programático escolar. O baixo conhecimento sobre esse tema constitui uma barreira para um eficaz ensino deste conteúdo, especificamente em Geografia. Nesse sentido, é importante que os professores de Geografia tragam para si a responsabilidade de trabalhar o conhecimento associado à evolução da exploração planetária, pois este conhecimento possibilita compreender melhor o Planeta Terra, a sua origem e os seus aspectos evolutivos, no contexto do Sistema Solar e, num sentido mais amplo, do Universo.

Diante do exposto, para revelar a história da superfície de qualquer planeta rochoso deve-se reconhecer as morfologias e os processos que as originaram, sendo este conhecimento, sobretudo das morfologias terrestres, elementar como expressão de apoio analítico e comparação para as morfologias de outros planetas telúricos. Dessa maneira, pretende-se neste trabalho, reconhecer as formas e os processos geomorfológicos de Marte, análogos à paisagem e às formas de relevo na Terra, através da análise de imagens como instrumento pedagógico e de aprendizagem para o Ensino de Geografia.

Cabe, ainda, ponderar que a educação e a divulgação científica são aliadas, não somente ao combate à desinformação e ao negacionismo, mas também na popularização de temas complexos, estimulando o público leigo a se interessar por ciência. A popularização dos resultados científicos se constitui como ferramentas potentes à disposição de professores, pesquisadores, cientistas e divulgadores científicos profissionais. Nesse sentido, é preciso pensar na relação entre a divulgação científica e a educação geográfica para encarar as dificuldades e os desafios enfrentados por quem se propõe a conectar ciência e sociedade, tornando-a acessível também fora dos centros acadêmicos.

1.2 Objetivos

- **Objetivo Geral**

Reconhecer e caracterizar as formas e os processos geomorfológicos de Marte, análogos à paisagem e às formas de relevo na Terra, através da leitura e da análise de imagens como instrumentos nos processos de ensino e de aprendizagem em Geografia.

- **Objetivos específicos**

- ✓ Elucidar a relação entre Divulgação Científica, Educação e Ensino de Geografia, enquanto instrumento à disposição de professores, pesquisadores, cientistas e divulgadores científicos profissionais para estimular o pensamento crítico sobre Ciência, sobretudo no Brasil;
- ✓ Estimular a apropriação e incorporação de um novo conceito, até então pouco ou ausente, nos trabalhos de Geografia no Brasil: a Exogeodiversidade;
- ✓ Construir uma síntese cronológica de seis décadas de exploração científica em Marte e as principais missões espaciais para auxiliar como material de consulta, sobretudo para professores que tenham interesse em trabalhar o tema em sala de aula;
- ✓ Construir material didático relacionado às morfologias de relevo semelhantes entre os planetas telúricos, Terra e Marte;
- ✓ Sugerir e manifestar a necessidade de propor uma disciplina, mesmo como eletiva, que aborde a exogeodiversidade, sobretudo dos planetas telúricos, nos cursos de Geografia (Bacharelado e Licenciatura);
- ✓ Consentir que este material seja utilizado como material de apoio na formação de professores de Geografia.

2 ASPECTOS METODOLÓGICOS: MATERIAIS E MÉTODOS

O tratamento metodológico em uma pesquisa é subproduto direto da teoria e da prática científica (ROSS, 2010). É a metodologia que norteia a pesquisa, enquanto a instrumentalização e as técnicas operacionais funcionam como apoio e, definida a abordagem teórico-metodológica, deve-se sistematizar a etapa organizacional da pesquisa para as orientações pontuais (GOMES, 2013).

Libault (1971) propõe quatro níveis organizacional para Pesquisa Geográfica: nível compilatório, nível correlativo, nível semântico e nível normativo. Embora esses níveis tenham sido organizados para o tratamento de dados e informações que possam ser quantificados e traduzidos em tabelas e gráficos, podem perfeitamente ser aplicados em qualquer pesquisa de natureza geográfica. Portanto, qualquer trabalho, ao assumir o caráter geográfico, pode ser submetido a esses quatro níveis de análise.

No entanto, o *checklist* sugerido por Libault (1971), ainda que obedeça a uma lógica organizacional, não deve ser aplicado de modo estático e linear (GOMES, 2013). Desta forma, as informações e os dados compilados, correlacionados e interpretados em cada etapa do trabalho, estão dispostos de acordo com o Organograma de Pesquisa da figura 1.

O nível compilatório corresponde à obtenção, seleção e compilação dos dados e às informações pertinentes à pesquisa pretendida, ou seja, refere-se à primeira fase do trabalho, que consiste, além da aquisição do material teórico conceitual, do estágio da obtenção de material específico sobre o objeto de estudo e a abordagem que dará suporte ao trabalho. Nesse sentido, esta fase objetivou o levantamento relacionado aos modelos de Divulgação Científica e sua relação com a Educação e o Ensino de Geografia, bem como definiu a abordagem na perspectiva do conceito de Exogeodiversidade.

A divulgação científica possui caráter complementar no Ensino, surge para preencher lacunas na educação moderna e ajudar o público a adotar atitudes críticas em relação à ciência, devendo-se observar que a popularização científica como instrumento pedagógico, tem seus limites resumidos, pelo fato de ser unidirecional e não interativa, o que pode dar origem a construções pseudocientíficas, fortalecendo o mito da ciência inacessível, em vez de promover um autêntico equilíbrio na disseminação do

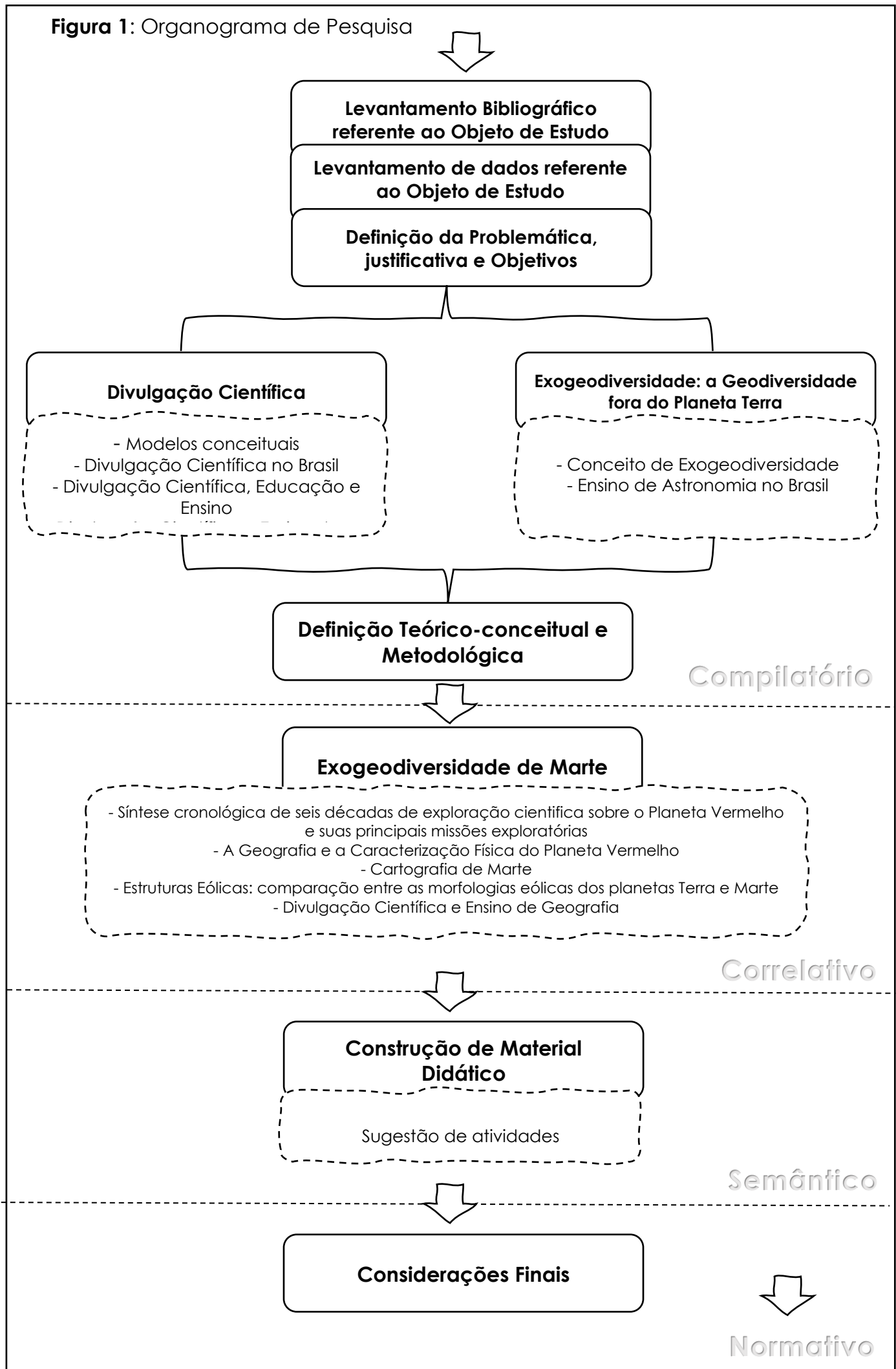
conhecimento. Posto isto, é preciso atentar ao modelo e a práxis pedagógica aplicada no ambiente escolar, considerando os fundamentos de um modelo de divulgação científica contextual e de fluxo de informação não linear, através do conhecimento compartilhado e não apenas comunicado, combinando conhecimento científico com sensibilidade e imaginação para despertar o prazer e o interesse pelo tema abordado.

Destarte, as atividades de divulgação científica estão fortemente relacionadas com a qualidade da educação básica e podem promover o aprimoramento, assim como a modernização do ensino em todos os níveis, com ênfase em métodos e práticas que promovam e valorizem a interdisciplinaridade, a criatividade e a experimentação. Este horizonte, emoldura a chamada alfabetização científica do indivíduo, ao incluir este no processo de construção social e promover a democratização do acesso ao conhecimento científico, onde a alfabetização científica pode ser preconizada pela educação formal (escolar) e não formal ou informal (extraescolar).

Embora, os espaços escolares sejam compreendidos como responsáveis pela reflexão e promoção de diálogos sobre ciência (MASSARANI & MOREIRA, 2021), a divulgação científica deve promover para além da apropriação do conhecimento, pois deve estimular a participação social, o que Paulo Freire chama de consciência epistemológica e postula a não neutralidade do ato pedagógico, “defendendo que as ações que visem à alfabetização científica devam estar permeadas por um projeto emancipador e de inclusão social, em uma perspectiva de defesa do ser humano, da justiça social e da democracia.” (MARQUES & MARANDINO, 2018 p.7).

Já o conceito de Exogeodiversidade pode ser aplicado em diferentes escalas, desde a escala global de planetas e satélites, até a escala mais elementar de átomos e íons. Como por exemplo, o mapa geológico de Marte que traz representações e características estruturais da superfície planetária em grandes bacias de impacto (como por exemplo Bacia de Hellas), províncias e cadeias vulcânicas (por exemplo, Tharsis Montes), sistemas de cânions controlados tectonicamente (por exemplo, Valles Marineris). Estas grandes estruturas constituem uma variedade de formas nas quais as características de (geo)diversidade de menor escala estão imbricadas, de microformas a partículas elementares, constituindo inclusive, superfícies geomorfológicas análogas a paisagens e formas de relevo na Terra (BETARD & PEULVAST, 2019).

Figura 1: Organograma de Pesquisa



Compilatório

Correlativo

Semântico

Normativo

O nível correlativo compreende a fase em que os dados compilados da etapa anterior, sejam associados. Assim, o nível correlativo objetivou a aplicação do conceito de Exogeodiversidade associado às descobertas científicas sobre Marte, resultando em uma síntese cronológica de seis décadas de exploração científica sobre o Planeta Vermelho e suas principais missões exploratórias: a Geografia e a Caracterização Física do Planeta Vermelho, a Cartografia de Marte e sobre as Estruturas Eólicas, uma comparação entre as morfologias eólicas dos planetas Terra e Marte.

Atualmente, tudo que se sabe sobre a história dos planetas que compõem o Sistema Solar, com exceção da Terra, foi revelado por evidências encontradas e fundamentadas pela observação remota da superfície dos planetas. A partir dos anos de 1960, com as missões espaciais, assistimos uma verdadeira revolução do conhecimento sobre os planetas e suas luas. O uso de telescópios, sondas, *rovers* e, recentemente, “helicóptero” vem permitindo a aquisição de dados e informações sobre os planetas vizinhos, telúricos e gasosos, em grande quantidade e qualidade, substancialmente na forma de captura de imagens de alta resolução espectral e espacial.

Assim, o conhecimento da superfície dos planetas telúricos, inferido e disseminado pelas imagens, sobretudo do Planeta Marte, revelam morfologias muito semelhantes ou idênticas às da superfície da Terra. Uma visão geral relativamente completa do Planeta Vermelho já havia sido realizada, ainda no início dos anos 2000, e mostrou a imagem de um planeta frio e deserto com características periglaciais e calotas de gelo permanentes, passando por variações sazonais, sob uma fina atmosfera composta predominantemente de CO₂, revelando, portanto, uma diversidade de processos e paisagens que podem ser perfeitamente comparadas com as da Terra.

Nessa perspectiva, enquanto recurso didático e pedagógico, foram usadas imagens e fotografias disponíveis para comparar os processos e as formas de relevo semelhantes à Terra. De acordo com Silva *et al.* (2018), a fotografia constitui um instrumento que possibilita tanto o professor quanto o aluno a enxergar uma nova forma de ler o mundo. O uso da fotografia em sala de aula, além de nos ensinar um código visual, mudando à nossa maneira de perceber o lugar em diferentes escalas, pode levar a um despertar e um interesse pela Ciência Geográfica.

Cabe destacar que o método mais utilizado, quando se trata de estudos relacionados à superfície dos planetas telúricos, sobretudo aqueles que não podemos realizar investigação *in loco*, é a análise de imagens e fotografias. São observações

diretas que resultam em mapeamento das superfícies, inferidas a partir de dados gerados pelas missões espaciais, sejam estes adquiridos por equipamentos em solo ou em órbita.

Assim, para a análise comparativa das morfologias superficiais foram usadas imagens e fotografias disponíveis em trabalhos de referência, imagens disponibilizadas no Google Earth, Google Mars ou, ainda, imagens concedidas pelas agências de exploração espacial, como Agência Espacial Norte-americana NASA, Agência Japonesa de Exploração Aeroespacial (JAXA), Agência Espacial Europeia (ESA), Agência Espacial e de Aviação Russa, Organização Indiana de Pesquisa Espacial (ISRO).

Por fim, as etapas transcorridas em nível compilatório e correlativo, deram suporte à construção do Material Didático em Nível Semântico e Normativo, cujo objetivo é assinalar a fase interpretativa e consolidar o produto fim da pesquisa, dando sentido à realidade estudada. De acordo com Ross (2010), é nessa etapa que se estabelecem as generalizações e os dados puros e que deixam de ser meramente informações factuais ou numéricas, assumindo um caráter significativo em nível de interpretação.

Dessa forma, a etapa final teve como objetivo a construção de uma proposta de material didático e de atividades, adaptadas de Correia (2002), para o conteúdo programático da disciplina de Geografia, tanto em nível escolar quanto universitário. Contudo, as atividades aqui propostas, podem ser utilizadas por professores de diferentes áreas do conhecimento que, associados aos demais capítulos deste trabalho, podem contribuir para a sua própria formação.

3 ASPECTOS DA DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA

“Para que a ciência possa existir na cultura é necessário colocar à ciência as exigências reflexivas da fala. A divulgação científica, neste sentido, teria nascido de uma percepção dessa necessidade”.
(VOGT & MORALES, 2017).

De maneira simples, a definição de ciência pode ser anunciada como a busca de relações causais e o estabelecimento de leis gerais da natureza, onde seu objetivo é descobrir e enumerar as leis da natureza, enunciadas pela própria natureza. Assim, o idioma da ciência é a linguagem da natureza, caracterizada por uma língua complexa e altamente codificada para a nossa compreensão. Contudo, a natureza enuncia leis simples que dizem como deve ser a simplicidade da natureza, onde as coisas estão em completa harmonia e operam em equilíbrio, não causando espanto que o equilíbrio e a harmonia sejam obsessões, metas, objetivos da ciência para criar a suas próprias leis (VOGT & MORALES, 2017).

Dessa maneira, conforme os mesmos autores, a relação de proximidade e identificação entre ciência e natureza se institui com o objetivo de enunciar verdades como se elas foram ditas por elas mesmas, sem agentes históricos que as enunciaria. De outro modo, existe um conjunto de impressões, percepções e vivências históricas que convivem (sob o ponto de vista da sociedade e da cultura) que caracterizam como esta sociedade percebe a verdade que é enunciada cientificamente. Dessa maneira, a cultura científica é feita e se faz da mistura entre as impressões subjetivas das sociedades humanas em relação a essas verdades enunciadas pela ciência (VOGT & MORALES, 2017).

O debate acerca da divulgação científica pode ser considerado controverso, especialmente pela conceituação e distintas terminologias. Muitos são os termos utilizados – difusão, disseminação, comunicação científica, divulgação científica, jornalismo científico, popularização da ciência – para caracterizar o objetivo e as motivações da atividade de divulgação científica (MENDES, 2006).

Os termos disseminação e divulgação são distintos, onde o primeiro, “seria o processo que pressupõe a transferência de informações, transcritas em códigos especializados, a um público seletivo de especialistas”, ou seja, “comunicação que se estabelece dentro da comunidade científica, a fim de difundir os resultados científicos”.

Já o segundo termo, divulgação ou “vulgarização da ciência”, “estaria relacionado com a comunicação pública da ciência, para um público não-especialista”, “utilizando processos e recursos técnicos para a transposição de uma linguagem especializada para outra não-especializada, objetivando tornar o conteúdo acessível”, por meio de museus, centros de ciência e as mídias e, ainda que não sendo objetivo principal, zoológicos, jogos, brinquedos, histórias em quadrinhos, documentários, também podem ser considerados instrumentos de popularização da ciência (MENDES, 2006 p. 90).

Já a comunicação científica habita o coração da ciência. Ela alimenta o processo de divulgação científica, torando-se tão vital quanto a própria pesquisa, pois a ciência se tornará legítima somente após ser analisada e aceita pelos pares e, isso exige que seja comunicada. Nesse sentido, a comunicação eficiente e eficaz compõe parte indispensável do processo de investigação científica (MEADOWS, 1999; FRANÇA, 2015). Portanto, a comunicação científica “diz respeito à transferência de informações científicas, tecnológicas ou associadas a inovações e que se destinam aos especialistas em determinadas áreas do conhecimento” e tem por finalidade básica a “disseminação de informações especializadas entre os pares, com o intuito de tornar conhecidos, na comunidade científica, os avanços obtidos em áreas específicas ou a elaboração de novas teorias ou refinamento das existentes” (BUENO, 2010 p. 1 e 2).

De acordo com França (2015) ainda que os conceitos de comunicação científica e divulgação científica exibam características em comum, ambas apresentam aspectos distintos, tais como o perfil do público, o nível de discurso, a natureza dos canais ou ambientes utilizados para sua veiculação e a intenção explícita de cada processo em particular. Nessa perspectiva, França (2015) sistematiza, com base em Bueno (2010), tais aspectos (Quadro 1).

Quadro 1: Aspectos da comunicação e divulgação científicas

ASPECTOS	COMUNICAÇÃO CIENTÍFICA	DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA
Perfil do público	Especialistas, com formação técnico-científica	Não iniciado, sem formação técnico-científica
Percepção do público	Especialidades do método científico e processo cumulativo de produção da ciência.	Não reconhece, de imediato, o caráter coletivo ou burocrático da produção da ciência e a individualiza.
Nível do discurso	O público compartilha conceitos, frequenta espaços, ambientes ou acessa veículos especializados. Está continuamente empenhado em assimilar termos, processos e conceitos novos e o jargão técnico constitui patrimônio comum.	O público não é alfabetizado cientificamente e vê como ruído qualquer termo técnico. É necessário a decodificação ou recodificação do discurso especializado, com o uso de recursos que podem penalizar a precisão das informações.
Natureza dos canais	Está presente em círculos mais restritos, como eventos técnico-	Pode contemplar audiência ampla e heterogênea, também pode estas

	científicos e publicações especializadas.	circunscrita a um grupo menos de pessoas.
Veículos ou mediadores	Congressos e periódicos científicos, revistas científicas, cursos, livros, glossários de termos técnicos	Grande imprensa (graças ao jornalismo científico), TV aberta ou fechada, revistas.
Intenções	Visa à disseminação de informações especializadas entre os pares com o intuito de tornar conhecidos, na comunidade científica, os avanços obtidos em áreas específicas, ou à elaboração de novas teorias ou refinamento das existentes.	Objetiva democratizar o acesso ao conhecimento científico e estabelecer condições para a alfabetização científica. Visa a inclusão dos cidadãos no debate sobre temas especializados e que podem impactar sua vida e seu trabalho.
Pontos de convergência	Interesses comerciais, políticos, militares e outros estão, quase sempre, presentes em ambas. Também tem sido comum a parceria entre jornalista/divulgadores e pesquisadores/cientistas na produção de textos ou reportagens para publicações. Sistemáticamente, a comunicação científica, devidamente recodificada e retrabalhada, contribui para alimentar o processo de divulgação científica.	

Fonte: Bueno (2010), sistematizado por França (2015)

Percebe-se que a comunicação científica e a divulgação científica estão fortemente relacionadas e, embora uma não seja procedente da outra, apresentam um relacionamento de interdependência. No panorama científico:

“há situações específicas que não são participadas à sociedade, seja por não serem consideradas de relevância, pela crença que não serão entendidas, pela imposição do sigilo, ou ainda, pela ausência de uma cultura em que essa seja uma ação realizada com maior frequência por meio da divulgação. Quando existe essa atividade, mesmo em última instância, são muitas vezes, unidirecionais, como apresentação de resultados de pesquisas, novas descobertas realizadas nos campos, novos produtos à disposição do público e assim por diante (FRANÇA, 2015 p. 28 e 29)

Assim, a divulgação científica, que tem o propósito de conectar a ciência ao público leigo, compreende a recreação do conhecimento científico para torná-lo acessível ao público, através do conhecimento compartilhado e não apenas comunicado, combinando conhecimento científico “com sensibilidade e imaginação para despertar o prazer e o interesse independente do tema” abordado (MORA, 2003 p. 101 *apud* MENDES, 2006 p. 91).

Mendes (2003), ainda com a intenção de aprofundar o debate acerca da definição de divulgação científica, infere dois modelos de divulgação, subsistindo:

“... **modelo linear** e ideológico em que os cientistas são os especialistas e o público – passivo e homogêneo – é caracterizado como leigo que precisa ser formado e informado sobre a ciência, marcando a separação entre cientistas e não-cientistas como um dos pressupostos da constituição e especialização da atividade científica, principalmente a partir do século XIX, como algo esotérico e diferenciado da atividade dos amadores (Bauer, M. e Shoon, I., 1993) ...” “Esse enfoque de entendimento do público e da função da divulgação científica pode ser descrito segundo o **modelo de déficit**, que orientou, por algum tempo, as pesquisas e iniciativas de divulgação científica, no qual o conhecimento científico constitui um corpo reconhecível de informação codificada e que o público seria um grupo passivo e

homogêneo com falhas ou ausência de conhecimento sobre e de ciência que precisam ser corrigidas...” Neste modelo, a informação científica flui em uma única direção, em que a divulgação científica é caracterizada pelos esforços em transmitir as informações de especialistas ou cientistas para o público.” (MENDES, 2006 p. 93)

Em distinta perspectiva...

“...a divulgação científica possui um significado crítico quando a ciência é veiculada como um processo contínuo de construir explicações sobre o mundo natural, em que o público é autorizado a engajar-se criticamente no processo científico, tornando-se participante no processo de descoberta. Além disso, a divulgação científica outorga ao público a oportunidade para avaliar a ciência em termos das suas próprias normas culturais e valores. Esse **modelo contextual** – ou o “**modelo em rede de comunicação da ciência**”, como define Lewenstein em sua entrevista para Pablo Boczkowski (1997, p.171) – descreve a comunicação como um fluxo não-linear – e às vezes caótico – entre ciência e seus públicos, não sendo caracterizada somente pelo objetivo cognitivo, mas apontando as preocupações éticas e políticas, por exemplo, pertinentes à pesquisa. Neste modelo, entende-se a compreensão pública da ciência como sendo um produto da interação do conhecimento científico e local, dentro de um sistema retroalimentado (Lewenstein apud Pablo Boczkowski, 1997, Manzini, 2003, A. Gross, 1994)’. MENDES, 2006 p. 93)

Dessa maneira, são os conceitos, as definições e os modelos de divulgação científica que, sob diferentes aspectos e objetivos, determinarão seu campo de atuação e seu público-alvo, seja para os próprios cientistas, para o público leigo, ou ainda, para agentes formuladores de políticas públicas. Assim, a função ou o papel da divulgação científica se recria ao longo do tempo, acompanhando o desenvolvimento da ciência e da tecnologia, orientando antigos e novos objetivos.

Mendes (2006), com base em W. Bueno (1985), Bragança Gil (1988) e Hernando Calvo (1997), destaca as funções e os objetivos como educacionais, cívicos, de mobilização popular, informativo, social, cultural, econômico, político e ideológico. De acordo com a autora, os objetivos elencados por diferentes autores estão relacionados entre si e “marcam a divulgação científica como uma contribuição no processo de transformação social”, tendo como “questão central a democratização da ciência”, onde “a divulgação científica pode fornecer na instrumentalização da população para melhor intervir nos processos decisórios”, devido a “compreensão do público leigo em relação à ciência e tecnologia” (MENDES, 2006 p. 98).

Hernando Calvo (1997) ressalta que há um atraso na divulgação científica em relação aos avanços científicos, juntamente pelo distanciamento entre a sociedade e a comunidade científica e, enfatiza que é importante levar a ciência ao encontro da população, a fim de atender a existência social da ciência, dos cientistas, dos professores, dos jornalistas, dos autores e escritores, para auxiliar o público leigo a superar seus medos em relação a ciência. Nesse sentido, Hernando Calvo (1997) destaca

sua visão frente às funções e aos objetivos da divulgação científica e, dentre estes se destacam algumas:

- 1. Criação de uma consciência científica coletiva**, através do desenvolvimento de uma cultura científica e técnica de massa na qual os meios escritos e audiovisuais possuem papel essencial ao estarem comprometidos com informações verdadeiras, sugestivas sobre ciência. No mesmo sentido os cientistas também têm a obrigação moral para dedicar parte do seu trabalho e do seu tempo a interagir com o público através dos meios de informação;
- 2. Função de coesão entre os grupos sociais**, onde a divulgação deve proporcionar coesão da unidade dos grupos sociais para permitir que os indivíduos participem, garantindo que os cientistas e o público se compreendam melhor;
- 3. Fator de Desenvolvimento Cultural**, onde defende a divulgação científica como uma necessidade cultural, onde a difusão tem papel importante para que as descobertas e as preocupações científicas passem a fazer parte do cotidiano da população. É a difusão cultural da ciência;
- 4. Elevar a qualidade de vida**, não somente pelo conhecimento em si, mas por disponibilizar meios de aproveitamento e utilização adequada dos recursos naturais e dos avanços da ciência e tecnologia;
- 5. Política de comunicação científica**, onde uma sociedade cada vez mais dependente do conhecimento tecnológico é extremamente importante a divulgação de informações honestas, críticas e exaustivas sobre ciência e tecnologia.
- 6. Função complementar de ensinar**, onde a divulgação científica entra para preencher lacunas na educação moderna e ajudar o público a adotar uma certa atitude crítica em relação à ciência, observando sempre que a popularização científica como pedagogia tem seus limites, resumidos pelo fato de ser unidirecional e não interativa, pode dar origem a construções pseudocientíficas e pode fortalecer o mito da ciência inacessível, em vez de promover um autêntico equilíbrio na distribuição de conhecimento.
- 7. Função de combater a falta de interesse**, esta função perpassa pela falta de interesse pelos diferentes aspectos científicos e tecnológicos do desenvolvimento da sociedade. As pessoas entendem os aspectos da política relacionados à guerra,

ordem pública, saúde ou educação, até mesmo ao meio ambiente, mas a base de muitas dessas políticas setoriais é que permite a inovação.

No campo teórico, de acordo com Brossard & Lewenstein (2021 p.15), surgiram novos conceitos de compreensão pública da ciência, "indo de um conceito de "déficit" ou difusão linear de popularização para modelos que enfatizam o conhecimento leigo, o engajamento público e a participação pública na formulação de políticas científicas (LEWENSTEIN, 2003)". Nesse sentido, Brossard & Lewenstein (2021)³, analisaram criticamente os modelos de compreensão pública da ciência, usando a prática para informar a teoria (Figura 2), tendo como objetivo de estudo "avaliar se os modelos teóricos comumente discutidos na literatura de comunicação pública refletem bem as ações de divulgação científica, realizadas na esfera pública" (BROSSARD & LEWENSTEIN, 2021 p.43).

O estudo demonstrou que "os modelos teóricos da compreensão pública da ciência não captam a complexidade da realidade dos projetos não formais de educação científica" e a análise, ainda que limitada a cinco projetos diferentes, "evidenciou uma sobreposição entre modelos tradicionalmente apresentados como incomensuráveis em discussões teóricas" e ainda que "os projetos tenderam a usar abordagens mistas que combinavam modelos, em vez de gravitar em torno de qualquer estrutura bem definida" (BROSSARD & LEWENSTEIN, 2021 p.44).

Ainda de acordo com os autores, todos os projetos de divulgação científica analisados:

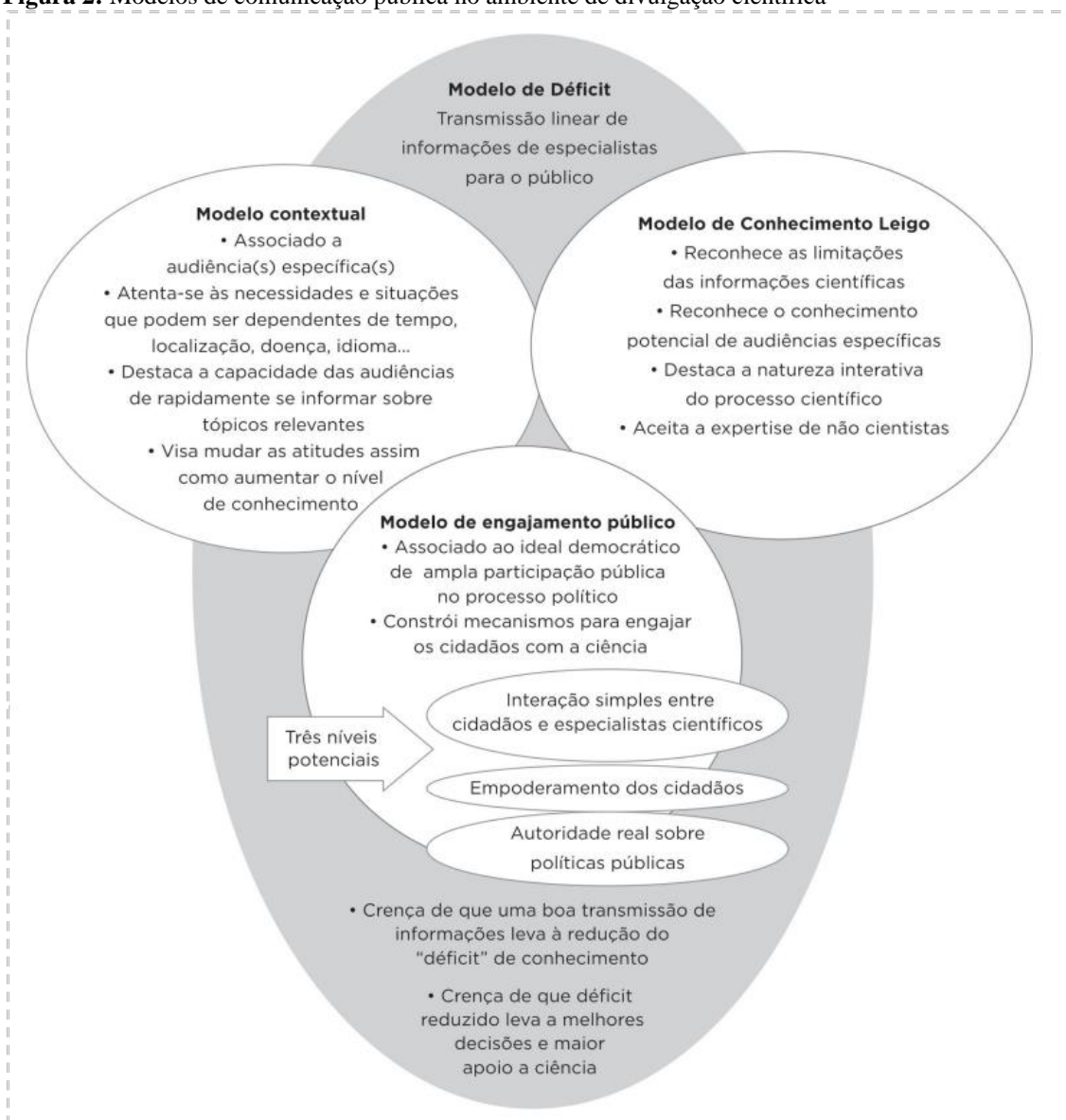
"... tenderam a usar a abordagem do Modelo de Déficit como pilar, mesmo que parecessem seguir outras abordagens teóricas. Os projetos contextuais visam não apenas aumentar o conhecimento, mas também discutir as atitudes do público em relação à ciência e aos cientistas. O engajamento público com a ciência foi fomentado em diferentes níveis: (1) por meio de uma simples interação entre cidadãos e especialistas científicos; (2) por meio do empoderamento dos cidadãos para dar voz de forma que pudessem expressar seus pontos de vista; (3) fornecendo verdadeira autoridade pública sobre a política" (BROSSARD & LEWENSTEIN, 2021 p.44).

Também, de acordo com os autores, as perspectivas teóricas relacionadas à divulgação científica devem levar em consideração a fluidez das fronteiras entre os modelos teóricos e continuar a buscar outras áreas de investigação para derrubar as

³ Tradução autorizada pelos autores, origina em: LEWENSTEIN, B., BROSSARD, D. A Critical Appraisal of Models of Public Understanding of Science: Using Practice to Inform Theory. In: KAHLOR, LeeAnn; STOUT, Patrícia (orgs.). Communicating Science: New Agendas in Communication. Routledge: Nova Iorque e Londres, 2010.

paredes que separam paradigmas e construir pontes entre esses modelos, tornando a prática mais eficaz.

Figura 2: Modelos de comunicação pública no ambiente de divulgação científica



Fonte: Brossard & Lewenstein (2021 p. 46)

Diante desse conjunto teórico, é inegável que a divulgação científica se apresente como peça fundamental no processo de desenvolvimento da ciência, bem como para que a sociedade possa lograr do progresso científico. Sua finalidade é construir e fortalecer uma cultura científica que extrapole os limites da academia e dos laboratórios de pesquisa para favorecer um meio profícuo de popularização da ciência. Detidamente ela vem sendo realizada e se fortalecendo através da criação de espaços, institutos, organizações, museus de ciência, uso de rádio, televisão, internet, redes sociais, publicação de artigos e matérias em revistas e jornais.

3.1 Divulgação Científica no Brasil

De acordo com Massarani & Moreira (2021):

Entre os séculos 16 e 18, a atividade científica sistemática e a comunicação de ideias da ciência moderna eram quase inexistentes no Brasil, então colônia portuguesa. O país tinha uma pequena população de colonos, a maioria analfabeta, e uma população significativa de indígenas espalhada pelo interior do país. Além disso, no século 18, a impressão e a publicação de livros foram proibidas no Brasil, assim como as escolas de nível superior. Portanto, apenas alguns indivíduos pertencentes a uma elite muito restrita de pessoas tiveram educação superior no exterior, principalmente em Portugal, e tiveram acesso aos novos conhecimentos científicos, mesmo assim com limitações por conta do atraso científico em Portugal. A primeira expressão consistente de divulgação científica no Brasil, embora ainda muito limitada, ocorreu no início do século 19, por um motivo político determinante: a Corte Portuguesa havia chegado ao Brasil e era preciso criar as condições para que a administração da metrópole e da colônia funcionasse. Abriam-se portos, suspendeu-se a proibição da impressão e criaram-se as primeiras instituições ligadas à ciência e à técnica, como o Real Horto (1808), a Real Academia Militar (1810) e o Museu Real (1818), todos no Rio de Janeiro, que foi capital do Brasil de 1763 até 1960.

Sucintamente, a divulgação científica no Brasil está associada a mobilização por legitimação da atividade de pesquisa (profissionalização), institucionalização e consolidação da Ciência brasileira, dado ao interesse da elite nacional em consolidar seu projeto de desenvolvimento, no qual a ciência e a tecnologia tinham papel de destaque. Apesar do pouco investimento em ciência e tecnologia, foi a partir da segunda metade do século XIX, que ocorreu um maior interesse pela divulgação científica e a expansão se intensificou no país, como já vinha ocorrendo na Europa e nos Estados Unidos por divulgadores científicos profissionais como Louis Figuier e Camille Flammarion, (franceses) e Emilio Huclin (espanhol) (López apud Massarani, 1998). (MENDES, 2006 p. 121).

A partir das ideias de Massarani (1998), a mesma autora enfatiza que se atribui a divulgação científica realizada no Brasil, assim como na América Latina, ao esforço de alguns cientistas, dando origem a um espaço público para a ciência. Isso favoreceu a presença social destes cientistas divulgadores, oriundos da elite técnico-científica e, na medida em que reafirmaram sua legitimidade profissional, promoveram maior comunicação com seus pares e outros grupos sociais, contribuindo com o sucesso científico do início do século XX, sobretudo na área da saúde.

Mendes (2006) ainda afirma que:

“... a ação dos cientistas no sentido de promoverem a divulgação científica direcionou-se tanto para o público interno da ciência (a coletividade científica) como para o público leigo, visando: 1. fortalecer a comunidade científica junto ao Estado, entendido como o responsável por estabelecer e implementar políticas direcionadas à ciência e tecnologia e ao projeto de carreira (profissionalização) e 2. construir um público mais favorável à ciência (MENDES, 2006 P. 124).”

A partir da década de 1920, os esforços desses cientistas, associado a conscientização da importância de se criar condições para o desenvolvimento da pesquisa básica no país, bem como da formação de profissionais capacitados, surge instituições voltadas à pesquisa e à educação superior, dando destaque a relevância da divulgação científica para difundir as ideias dos cientistas e a dimensão da ciência para o desenvolvimento do país. Nessa esteira, surge também a preocupação com a ampliação e renovação na educação, à época se vivenciava um analfabetismo⁴ generalizado no Brasil, motivando campanhas pelo ensino público. É neste contexto que surgem, algumas décadas depois e a nível nacional, ações governamentais que impulsionaram a criação dos primeiros fundos universitários de pesquisa, criação da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC, 1948), do Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq, 1951), a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES, 1951), a criação da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp, 1962) (MENDES, 2006).

Aqui vale destacar uma figura importante no processo de divulgação científica no Brasil. De uma divulgação científica voltada para uma elite no final do século XIX ou para um público leigo letrado na década de 1920, sobretudo no Rio de Janeiro, José Reis, tido como um dos primeiros a constituir “carreira de divulgador da ciência” dirige suas publicações à dois públicos específicos: aos intelectuais (revista *Ciência e Cultura* e revista *Anhembi*), e para o público escolar, escrevendo para o jornal *Folha da Manhã* e, promovendo as feiras de ciências, vincula divulgação científica à educação científica da sociedade pelas leituras de seus artigos, pelos debates sobre a melhoria do ensino de ciências nas escolas ou pelas participações em feiras e clubes de ciência, os quais ajudou a implementar no país junto com o Instituto Brasileiro de Educação, Ciência, Cultura de São Paulo (IBECC, 1946 - Órgão da Unesco) (MENDES, 2006).

⁴ De acordo com dados do IBGE, 40% da população brasileira, na década de 1950, era analfabeta (IBGE, 2005).

Massarani & Moreira (2021) corroboram com os estudos de Mendes (2006) ao enfatizar que a atividade de divulgação científica no Brasil vem sendo observada desde o início do século 19, conforme diferentes épocas e iniciativas, através da criação de espaços de ciência, matérias em jornais, mídia audiovisual, eventos de popularização da ciência, revistas de divulgação científica e artigos acadêmicos. Os autores ainda ressaltam, na década de 1920, a criação da Academia Brasileira de Ciências (ABC) como parte de um movimento em favor da ciência básica e em 1923, o surgimento dos salões da ABC e o nascimento da Rádio Sociedade⁵, a primeira emissora de rádio do Brasil, alguns anos após a primeira emissora de rádio do mundo, com o objetivo de transmitir conteúdos sobre ciência, educação e a cultura (MASSARANI & MOREIRA, 2021 p.108).

De acordo com Massarani & Moreira (2021) é a partir da década de 1980, até anos recentes, que se observa um crescimento contínuo e diversificado da divulgação científica no Brasil, bem como a implementação de políticas públicas relacionadas ao tema:

“Uma ação de destaque foi a criação da revista Ciência Hoje, em 1982,13 pela SBPC. A Ciência Hoje depois se tornou um grande complexo, que incluiu publicações impressas e online e uma revista infantil, Ciência Hoje das Crianças, de grande circulação e grande aceitação nas escolas públicas... De 1981 a 1984, a Editora Abril lançou uma versão brasileira da revista Science Illustrated, publicada pela ‘Reader’s Digest’. Em 1987, a mesma editora criou a revista Superinteressante, dentro das diretrizes da revista espanhola Muy Interesante. Em 1991 foi lançada a revista Globo Ciência, hoje Galileu... Em 2002, foi criada a Scientific American Brasil, que reúne artigos escritos por cientistas e jornalistas brasileiros. Recentemente, diversas Fundações Estaduais de Fomento à Pesquisa (FAP - Fundação de Amparo à Pesquisa), como Fapesp (Estado de São Paulo), Faperj (Rio de Janeiro), Fapemig (Minas Gerais) e Fapeam (Amazonas), começaram a publicar revistas de divulgação científica, com destaque para a Revista da Fapesp que atingiu alcance e repercussão nacional (MASSARANI & MOREIRA, 2021 p.113)”

“Houve iniciativas inovadoras como o programa E por falar em ciência, transmitido pela Rádio MEC entre 1992 e 1997 (WERNECK, 2002). Um levantamento realizado na década de 2000 indicou a existência de cerca de três dezenas de programas específicos voltados para C&T, a maioria deles em estações públicas, em geral estações universitárias de curto alcance, e muito deles têm dificuldades com sua continuidade. Uma universidade que se destacou nos últimos anos no que diz respeito à institucionalização da divulgação científica e à produção de programas de divulgação para suas emissoras de rádio e TV é a Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) (MASSARANI & MOREIRA, 2021 p.114)”

“A primeira tentativa de criação de um programa de ciências para a televisão brasileira ocorreu em 1979, quando Nossa Ciência foi veiculada pela TV Educativa. Teve apenas dez episódios. O Globo Ciência, programa da TV Globo e da Fundação Roberto Marinho, teve mais sucesso: foi criado em

⁵ <http://www.fiocruz.br/radiosociedade/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?sid=35>

1984 e durou até 2014. A TV Cultura de São Paulo também veiculou diversos programas de divulgação científica. O Tome Ciência, com notícias e entrevistas sobre temas de C&T, surgiu em 1987 no canal público TVE e durou até 1990. Foi retomado em 2004 e atualmente é veiculado por alguns canais universitários e de casas legislativas. Alguns outros programas foram produzidos no Brasil, como o Minuto Científico (1996-1997) ou Ver Ciência (2002-2005), enquanto outros ainda voltados para o público mais jovem, como o americano O Mundo de Beakman (1994-2002), foram traduzidos para o português. Canais estaduais ou universitários determinados, como a TV Educativa do Espírito Santo ou a TV UFMG, têm também veiculado programas de divulgação científica com alguma frequência (MASSARANI & MOREIRA, 2021 p.113)”.

“Em 1994, foi criado o ‘Festival Internacional de Ciência em TV’, Ver Ciência, que consiste em um festival anual de programas científicos de TV produzidos no Brasil e no exterior. A partir de 2004, o festival passou a fazer parte da Semana Nacional de Ciência e Tecnologia (SNCT) e se espalhou por todos os estados brasileiros, com o envio de dezenas de vídeos científicos de diversas procedências para serem exibidos em escolas ou locais públicos em todo o país. Nos últimos três anos, em função dos cortes de recursos para a área, o festival tem dificuldade de se manter. Vários canais a cabo têm programas relacionados à C&T; ainda assim, o acesso a esses programas é limitado a uma parcela relativamente pequena de brasileiros (MASSARANI & MOREIRA, 2021 p.115)”.

No entanto, os mesmos autores atentam para a qualidade da informação científica praticada nos meios de comunicação de massa que, embora tenha melhorado nos últimos anos, não atinge níveis adequados, sobretudo aquelas revistas que visam interesses comerciais, muitas vezes produzindo uma visão distorcida sobre o que realmente é a divulgação científica, levantando problemas de credibilidade, de matérias frágeis e sensacionalistas, muitas vezes, favorecendo a pseudociência.

Mais recentemente, com o desenvolvimento tecnológico e acesso contínuo a informação pela internet, a divulgação científica é impulsionada e tem o espaço virtual como instrumento facilitador de sua prática, onde o uso da internet para busca de informações sobre ciência e tecnologia já supera o uso da TV para o mesmo fim. Nesse sentido, Massarani & Moreira (2021) assinalam, também, que “o uso da Internet para divulgação científica no Brasil ocorre principalmente quando centros e museus de ciências, instituições científicas, grupos de pesquisa em divulgação científica, alguns órgãos governamentais e pesquisadores individuais realizam as iniciativas”, usando *blogs* e redes sociais como ferramentas de acesso rápido, fácil e informal (MASSARANI & MOREIRA, 2021 p.118).

Desta forma, no que diz respeito aos blogs e redes sociais, Massarani & Moreira (2021) apontam que:

“... há um aumento do número de iniciativas de blogueiros. Observa-se um engajamento crescente de cientistas e divulgadores científicos, semelhante ao que ocorre na Europa e nos Estados Unidos, porém em um nível

consideravelmente inferior. O portal *ScienceBlogs* Brasil está associado ao maior portal de blogs de ciência do mundo e possui cerca de 50 blogs. Em 2016, foi criada a rede *ScienceVlogs Brasil (SvBr)* que reúne hoje 61 vídeos científicos no YouTube. É um selo que atesta a qualidade científica de canais de divulgação científica no YouTube e conta hoje com cerca de 70 mil inscritos. O uso de redes sociais, como o Facebook e o Twitter, para divulgação científica tem crescido consideravelmente nos últimos tempos e passou a predominar na comunicação de informação rápida; no entanto, todo o seu potencial ainda não foi devidamente estudado e explorado. Recentemente, alguns youtubers, como Atila Iamarino, do canal Nerdologia, e Pirula, do Canal do Pirula, vêm chamando a atenção e atraindo milhares de seguidores. Uma verificação recente mostrou que, em 2020, os temas de ciência no Twitter se destacaram com o cientista britânico Richard Dawkins com 3 milhões de seguidores, seguido pelo biólogo Atila Iamarino com 1 milhão e a Agência Fiocruz com 250 mil. Neste ranking a USP vem em quarto lugar com 215 mil e a SBPC em quinto com 183 mil seguidores (ORTIZ; BROTAS; MASSARANI, 2020; MASSARANI; COSTA; BROTAS, 2020).

Cabe destacar ainda alguns museus e associações de ciências que tem como objetivo a interatividade com o público. Criado em 1967, o Museu de Ciência e Tecnologia da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul de Porto Alegre. Recentemente museu Catavento Cultural e Educacional criado em 2010 em São Paulo e Museu do Amanhã, criado em 2015 no Rio de Janeiro, este último um dos museus mais visitados no Brasil.

A partir dessa sucinta abordagem sobre divulgação científica percebe-se que no Brasil houve e há iniciativas e expansão de popularização da ciência, apesar das limitações. Contudo, ao se considerar o tamanho do país e a diversidade da população brasileira, “o número de espaços científico-culturais ainda é muito baixo se comparado a países mais avançados. Além disso, a distribuição geográfica e social dos museus no Brasil é bastante desigual, com maior concentração nas áreas mais ricas das grandes cidades do Sudeste do país”. Dessa maneira, “... o país está longe de possuir uma ação ampla e consistente que possibilite uma divulgação científica qualificada, escorada em políticas públicas adequadas e com continuidade, e que atinja grande parte de sua população que está ainda excluída destas ações” (MASSARANI & MOREIRA, 2021 p.119)”.

3.2 Divulgação Científica, Educação e Ensino

De acordo com Massarani & Moreira (2021), o interesse pela divulgação científica nas universidades e instituições de pesquisa aumentou expressivamente nos últimos anos, sobretudo pela criação de diversos grupos em todo o Brasil e, em parte, pela criação do Programa Nacional de Extensão - Ministério da Educação, voltado para

instituições públicas de ensino superior, para apoiar a extensão universitária, incluindo atividades de divulgação científica (lamentavelmente, o programa foi praticamente extinto em anos recentes).

Em meio aos ataques sofrido pela Ciência brasileira cabe ponderar que a educação e a divulgação científica são aliadas, não somente ao combate a desinformação e ao negacionismo, mas também na popularização de temas complexos, estimulando o público leigo a se interessar por ciência. São ferramentas potentes a disposição de professores, pesquisadores, cientistas e divulgadores científicos profissionais. Nesse sentido, é preciso pensar na relação entre divulgação científica e educação para encarar as dificuldades e os desafios enfrentados por quem se propõe a conectar ciência e sociedade, tornando-a acessível também fora dos centros acadêmicos.

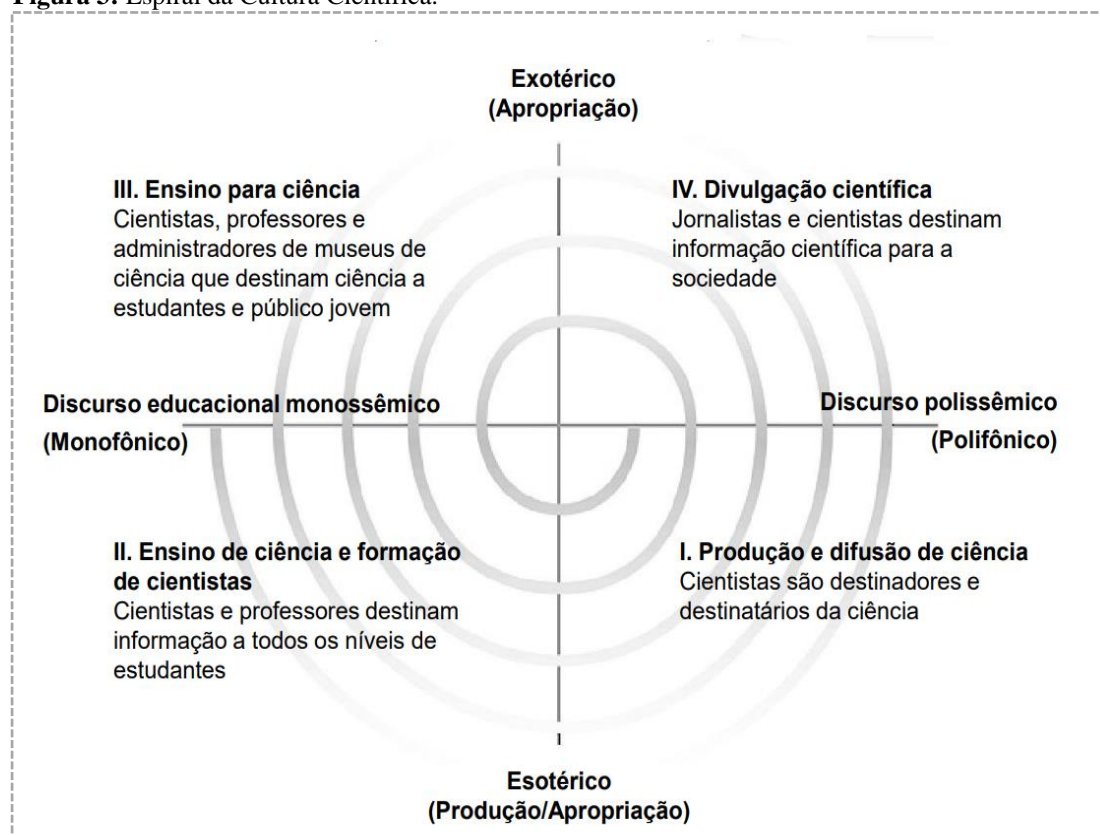
No entanto, para conectar ciência e sociedade há uma longa travessia a ser percorrida. Nessa trajetória, fronteiras de espaço e tempo devem ser transpostas, em que de acordo com Vogt (2003), o conjunto de fatores, eventos e ações do homem nos processos sociais voltados para a produção, a difusão, o ensino e a divulgação do conhecimento científico, constituem as condições para o desenvolvimento da cultura científica.

Nesse contexto, metaforicamente Vogt & Morales (2017) apresentam a dinâmica e a relação entre os fatos, os eventos e as ações que envolvem a cultura científica (Figura 3). Os eixos, um na horizontal e outro na vertical, definem e opõem quatro quadrantes, pelos quais percorre continuamente a linha espiralada. A espiral demonstra a vinculação da comunicação para que a ciência tenha uma concretude do ponto de vista da sua realidade e da sua materialidade social.

O 1º quadrante, ponto de partida da espiral, dominam as ações voltadas à produção e à disseminação da ciência, caracterizado como o momento da produção e da chamada difusão da ciência, espaços nos quais cientistas são locutores e destinatários da ciência, através da comunicação por meio de artigos e eventos científicos – congressos, simpósios, reuniões de associações e grupos de pesquisas. O 2º quadrante, do ensino *de* ciência e treinamento de cientistas, envolve a entrega de informações de cientistas e professores aos estudantes de diferentes níveis, desde a educação básica até a pós-graduação. Já o 3º quadrante desenvolve atividades voltadas do ensino *para* a ciência, no qual cientistas-divulgadores, professores e centros/eventos como museus e feiras de ciências, por exemplo, levam a ciência e a tecnologia aos estudantes e ao público majoritariamente jovem. Por fim, o 4º quadrante representa a divulgação

científica mais ampla praticada por jornalistas e pesquisadores, que tem a sociedade em geral como interlocutora (VOGT & MORALES, 2017).

Figura 3: Espiral da Cultura Científica.⁶



Fonte: Reprodução e adaptação de Vogt (2012); Vogt & Morales (2017)

Salienta-se que a comunicação é o motor da dinâmica da cultura científica em todos os quadrantes, exercendo papel fundamental para a disseminação e a consolidação de novos conhecimentos, para a difusão e a divulgação de conteúdos científicos e tecnológicos, bem como para a educação. Desse modo, os dois primeiros quadrantes, respectivamente da produção e difusão da ciência e do ensino de ciência e treinamento de cientistas – localizados abaixo do eixo horizontal, refletem os espaços de produção e reprodução da ciência e, cuja natureza da audiência em ambos é definida como esotérica, ou seja, reservada a grupos restritos. No oposto, quadrantes três e quatro, do ensino para a ciência e da divulgação científica – localizados acima do eixo horizontal – são os da apropriação da ciência, sujeita a audiência ampla, aberta e irrestrita, caracterizada como exotérica (VOGT & MORALES, 2017).

⁶ Publicado, originalmente, como “Espiral da cultura científica”, em Vogt, C.; Morales, A.P. *O discurso dos indicadores de C&T e de percepção de C&T*. Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, la Ciencia y la Cultura e Los Libros de la Catarata, Madri, 2016, p. 25-31

O eixo vertical delimita dois grupos, polissêmico – à direita, quadrantes 1 e 4 – e, monossêmico – à esquerda, quadrantes 2 e 3 – sendo estes grupos opostos em aspectos dos discursos inerentes aos processos contidos em cada um deles. No primeiro grupo, à direita do eixo, o discurso polissêmico e polifônico, se pronunciam várias vozes e de maneira concomitante, sejam cientistas falando para cientistas, no quadrante um; sejam jornalistas e pesquisadores falando para o público em geral, no quadrante quatro. E, do lado oposto, o discurso monossêmico e monofônico, com característica educacional, próprio do ensino *de* ciência e treinamento de cientistas e do ensino para a ciência (VOGT & MORALES, 2017).

De acordo com os autores, ao se observar a espiral percebe-se uma trajetória que se movimenta de uma linguagem objetiva para uma linguagem mais subjetiva, ou ainda uma linguagem metafórica, que procura estabelecer comunicação, capaz transformar e adequar a abstração que está representada e dita em códigos muito abstratos, em conceitos sensíveis, capazes de serem apreendidos pela transferência de características e propriedades que constituem a metáfora.

Como visto, a comunicação científica e a divulgação científica resultam do processo de fazer ciência e são indispensáveis no processo de fazer ciências, bem como para a educação em ciências. No entanto, é preciso compreender que, para a formação de uma cultura científica mais sólida e segura, será necessário promover a educação científica nas sociedades baseadas no conhecimento e no uso de novas tecnologias e, que sejam incluídas iniciativas para a popularização da ciência (PORTO, 2009; FRANÇA, 2015).

Com base em diversos autores, Massarani & Moreira (2021, p.47) apontam que pesquisas recentes mostraram que os níveis de conhecimento importam, porém de maneira mais complexa do que se pensava anteriormente.

“Acredita-se que as pessoas usem seus conhecimentos existentes para consolidar suas atitudes, mas tendem a interpretar as informações científicas de maneira diferente com base em valores pré-existentes que funcionam como ferramentas de filtragem” (BROSSARD; KIM; SCHEUFELE; LEWENSTEIN, 2008; HO; BROSSARD; SCHEUFELE, 2008 apud MASSARANI & MOREIRA, 2021).

Nesse sentido, as atividades de divulgação científica estão fortemente relacionadas com a qualidade da educação básica e podem promover o aprimoramento,

assim como a modernização do ensino de ciências⁷ em todos os níveis, com ênfase em métodos e práticas que promovam e valorizem a interdisciplinaridade, a criatividade e a experimentação (MASSARANI & MOREIRA, 2021).

Este horizonte, emoldura a chamada alfabetização científica⁸ do indivíduo ao incluir este no processo de construção social por promover a democratização do acesso ao conhecimento científico. Dessa maneira, a divulgação científica pressupõe alfabetização científica e essa por sua vez:

“não deve se limitar à simples enunciação, mas contextualizar dados, fatos, resultados e não deve tampouco servir de instrumento para distanciar os que produzem C&T do cidadão comum, mas sim, permitir o espaço para aproximação e diálogo, em forma de debates sobre as relações entre: ciência e sociedade, ciência e mercado, ciência e democracia.” (BUENO, 2010, p. 8; FRANÇA, 2015 p. 29)

Desse cenário, como destaca Marques & Marandino (2018 p.6), “é importante pensar que a alfabetização científica, como objetivo educacional, implica delinear, em última instância, um projeto de sociedade, conferindo uma orientação à participação social e à transformação”, onde a alfabetização científica “deve possibilitar a ampliação do conhecimento de mundo, levando o sujeito a perceber-se como ser de opções com vistas à superação das condições de opressão a que se encontra submetido.”. Dessa maneira, “a transformação deve estar atrelada a um projeto de inclusão e de democratização do acesso aos bens culturais e materiais da sociedade, de humanização das relações e da prevalência de valores ligados à justiça social em detrimento dos interesses mercadológicos.”

A alfabetização científica pode ser preconizada pela educação formal (escolar) e não formal ou informal⁹ (extraescolar). Entretanto, são os espaços escolares que são tidos como responsáveis pela reflexão e promoção de diálogos sobre ciência. Nessa

⁷ A IV Conferência Nacional de CT&I apontou a necessidade de uma verdadeira revolução no ensino de ciências, devido as carências no ensino de ciências para a maioria dos jovens brasileiros (MASSARANI & MOREIRA, 2021). Ver em: <https://fapes.es.gov.br/4-conferencia-nacional-de-cti>

⁸ Chassot (2014 p. 62), define alfabetização científica como um “conjunto de conhecimentos que facilitarão aos homens e mulheres fazer uma leitura do mundo onde vivem”, sendo “desejável que os alfabetizados cientificamente não apenas tivessem facilitada a leitura do mundo em que vivem, mas entendessem as necessidades de transformá-lo, e transformá-lo para melhor”.

⁹ Considera-se Educação informal aquela praticada nos meios de comunicação, centros e museus de ciência, programas de extensão universitários, eventos de divulgação, educação à distância e assim por diante. Aquela que “se refere a todas aquelas instituições, atividades, meios, âmbitos da educação que, não sendo escolares, foram criados expressamente para satisfazer determinados objetivos educativos.” (MARQUES & MARANDINO, 2018 p.12)

perspectiva, Marques & Marandino (2018 p.7) entendem divulgação científica como processo que ocorre dentro e fora da escola e que implica na:

- i) promoção de diálogos e aproximações entre a cultura experiencial dos indivíduos e a cultura científica;
- ii) apropriação de saberes relacionados a termos e conceitos científicos, à natureza da ciência, às relações entre ciência, tecnologia e sociedade;
- iii) promoção de condições necessárias à realização de leituras críticas da realidade, à participação no debate público, à tomada de decisão responsável, à intervenção social em uma perspectiva emancipadora e de inclusão social.

Igualmente, os mesmos autores ainda destacam que a divulgação científica deve promover para além da apropriação do conhecimento, pois deve estimular a participação social, o que Paulo Freire chama de consciência epistemológica. Os mesmos também, postulam a não neutralidade do ato pedagógico, “defendendo que as ações que visem à Alfabetização Científica devam estar permeadas por um projeto emancipador e de inclusão social, em uma perspectiva de defesa do ser humano, da justiça social e da democracia.” (MARQUES & MARANDINO, 2018 p.7).

3.3 Divulgação Científica e Ensino de Geografia

Para transmutar a compreensão de ciência pela sociedade, as instituições de pesquisas e seus cientistas devem promover a aproximação, desde a escola primária, com o sistema educacional e, dar vistas não somente a “instituir novas posições e atuações, mas também obter reconhecimento e avaliação para a atividade científica e recrutar novos aliados à ciência”, sendo este um fator primordial para o progresso da ciência (MENDES, 2006 p.117).

A institucionalização da ciência e da educação¹⁰ brasileira refletem as mesmas circunstâncias sociais e remontam a mesma época, estando ambas intimamente ligadas. Foi nos anos de 1920 e 1930 que “surgiram no país movimentos culturais, políticos e sociais que tiveram repercussão no campo educacional, científico e, mais tarde, tecnológico” e, nesse contexto, “confluíram com o movimento de educadores pela

¹⁰ Dentre as iniciativas no campo científico e educacional, destaca-se a criação da Sociedade Brasileira de Ciências (1916), transformada em Academia Brasileira de Ciências, em 1922 e da Associação Brasileira de Educação, em 1924, promovendo as discussões sobre educação pública, sobre a criação de universidades (como a USP e a Universidade do Brasil) e sobre a reforma do sistema de ensino, que, de certa forma, foram incorporadas pelo ministro Gustavo Capanema (1937). Destaca-se ainda que este mesmo período foi “caracterizado por um movimento de insatisfação e crítica pelos cientistas e educadores ao sistema educacional brasileiro em relação à sua estrutura formal estabelecida pela reforma Capanema (1937 e 1942) e, aos métodos e processos educacionais arcaicos e desatualizados (MENDES, 2006 p.134 e 186).

educação da sociedade, fortalecendo tanto o tema da educação pública como a questão da ciência em relação à reivindicação de recursos para que esta pudesse se reproduzir para além do aplicado (MENDES, 2006 p.134).”

A mesma autora ao analisar diferentes textos de José Reis, um dos mais importantes divulgadores da ciência brasileira, ressalta o interesse deste divulgador científico em extrapolar, ainda na década de 1950, a “esfera educacional, reconhecendo a escola não apenas com a função de transmitir a ciência, mas como formadora e estimuladora de uma geração de estudantes interessados em ciência e, mais além, interessados em tornarem-se cientistas”, se fazendo “necessário uma reformulação tanto nos métodos como no conteúdo de ciência ensinado na escola primária e secundária” (MENDES, 2006 p.200). Ainda nos artigos analisados se percebe “o interesse de direcionar a divulgação científica ao objetivo educacional”, caminhando para além da divulgação de conteúdos científicos, visando proporcionar também a alfabetização científica e tecnológica e, estabelecer uma relação de interdependência entre ciência e educação científica da população como um todo (MENDES, 2006 p.206).

Nesse sentido, Xavier & Gonçalves (2014) destaca que, atualmente, há um consenso de que a escola e o espaço que a cerca deve ser instrumento de socialização do conhecimento, envolvendo todas as áreas do conhecimento. Entretanto, o ambiente escolar precisa ser planejado e adequado de modo a permitir a participação democrática de toda a comunidade escolar. Do mesmo modo, o espaço escolar adequado que acolhesse a demanda educacional nesse sentido ocorreu aos poucos. Anteriormente, os alunos contavam apenas com a sala de aula, posteriormente puderam contar com espaços extrassala, como por exemplo, bibliotecas e laboratórios. A utilização do pátio da escola é vista como um importante local de interação e espaço onde se desenvolvem atividades coletivas que auxiliam na aprendizagem. Pode-se igualmente salientar que as escolas vêm se inserindo no contexto das novas tecnologias e incentivando seu uso, repassando e modificando metodologias de ensino.

O papel do professor, com vista na divulgação científica inovadora no espaço escolar, envolve o incentivo da curiosidade e do pensamento imaginativo, apoiados em práticas que possam estimular o processo de criação dos alunos, levando-os a concretizar sua visão de mundo. No entanto, é preciso que esse estímulo sobre a imaginação esteja vinculado aos compromissos e aos valores da ciência, como bem coloca Gurgel e Pietrocola (2011, p.95):

“Contudo, a imaginação, para ser “científica”, não pode ser uma atividade puramente livre. Por mais que seja um ato bastante complexo e de grande subjetividade, por se relacionar com construção simbólica mental do indivíduo, não pode estar desvinculada dos compromissos e dos valores da ciência. As novas ideias, quando produzidas, devem ser condicionadas a uma construção racional, estrutura de pensamento fundamental na ciência”

Gurgel e Pietrocola (2011, p.104 e 105), com base na epistemologia de Einstein, resumem três momentos marcantes para o processo criativo:

Etapa 1 – Percepção Intuitiva da Realidade: Nesta etapa, o pensamento estabelece uma interação multifacetada com a realidade a ser compreendida, fazendo uso de acervo de conhecimento do indivíduo. Essa interação depende mais de uma percepção subjetiva (como indivíduo singular) que pode fazer referência a outras percepções e representações previamente formuladas em sua mente, do que a busca de elementos objetivos presentes na realidade.

Etapa 2 – Salto Criativo que liga as Percepções aos Conhecimentos Gerais: Nesta etapa, o pensamento vincula a diversidade percebida com um corpo de conhecimentos gerais que podem ser axiomas, leis, princípios etc. Estes podem ser inéditos, como ocorre numa “descoberta” científica, ou podem ser reconstruções, no caso de uma aprendizagem póstuma, como ocorre, por exemplo, em ente escolar. Neste caso, as percepções do indivíduo são, pela primeira vez, organizadas pelo corpo de conhecimentos a ser aprendido. No esquema proposto por Einstein a Solovine, esta etapa corresponderia à flecha que parte das experiências E aos axiomas A.

Etapa 3 – Verificações: No qual o pensamento, a partir do conhecimento construído, verifica se a variedade de experiências imediatas E se encontra organizada. Para isso, confronta as proposições S deduzidas, isto é, as possíveis conclusões que o conhecimento criado permite estabelecer com a realidade percebida.

Estas etapas incidem sobre o quadro geral do pensamento criativo, demonstrando o papel fundamental da **imaginação científica**. Entretanto, cabe destacar que essa categorização do processo de imaginação pode ser reducionista e conter certa dose de arbitrariedade. Todavia, é necessária para que se torne possível o estudo sistemático de situações didática aplicas ao ensino (GURGEL & PIETROCOLA, 2011).

Nesse contexto, a divulgação científica consiste em recurso educacional importante no processo de ensino e aprendizagem. Aproximar ensino e divulgação científica no ambiente escolar, além de estimular a curiosidade e ampliar o conhecimento sobre fenômenos estudados, aumenta a possibilidade e o surgimento de novos talentos para a ciência e tecnologia. No entanto, tornar o conhecimento científico minimamente compreensível à comunidade escolar exige do professor a elaboração de estratégias eficazes de expor, aos alunos, esse conteúdo científico de forma prática, dinâmica e, sobretudo, interativa.

Deste modo, pensar em ensino e divulgação científica inovadora no espaço escolar, especialmente associado as novas tecnologias, exige reflexão sobre práticas que

incentive o processo de criação dos alunos, onde “o papel do professor com a chegada das tecnologias infocomunicacionais também foi alterado, pois houve a necessidade de repensar, adequar ou modificar suas metodologias de ensino, o que conseqüentemente mudou também a percepção dos alunos em relação ao conteúdo dado” (XAVIER & GONÇALVES, 2014 p. 186).

Igualmente, deve-se pensar se há prática de divulgação científica no ensino de Geografia. Lopes, Silva e Costa (2021) ao analisar o conteúdo de artigos publicados no XVIII Encontro Nacional de Geógrafos (XVIII ENG), conferem que dos 162 trabalhos da área de educação não há o uso da expressão “divulgação científica”. Entretanto, ainda que o termo “divulgação científica” não esteja em evidência nos artigos analisados, na prática ocorre em 20 artigos.

Ainda de acordo com os autores, a categoria Divulgação Científica poderia estar distribuída nas categorias Didática e Prática de Ensino em Geografia, Formação Docente, Alfabetização Cartográfica ou ainda Ensino de Geografia em Diferentes Contextos. No entanto, a partir da análise de conteúdo, os 20 artigos que abordaram a prática de DC foram distribuídos em subcategorias: O professor faz Divulgação Científica (13 artigos – 65%); Professor e aluno fazem Divulgação Científica (5 artigos – 25%) e; A Divulgação Científica para além dos muros da escola (2 artigos – 10%).

Foi observado que apesar da prática em sala de aula ser efetivada de maneira unilateral, sobretudo na subcategoria “O professor faz DC”, tendo como recurso “música, filmes, poesia, desenho animado, charges, imagens, bonecos, aplicativo de celular (WhatsApp) e jogo eletrônico”, há “um esforço nítido em tornar melhores suas práticas de ensino, aproximar os estudantes do universo científico, trazendo o cotidiano pra ciência e a ciência para o cotidiano.”, mesmo diante da precariedade das condições de trabalho que requer, além de competência acadêmica, disposição e engajamento (LOPES, SILVA E COSTA, 2021 p. 349 e 351).

Nos artigos classificados como “Professores e alunos fazem DC” verificou-se que de fato ocorre a prática de DC por parte dos discentes, em mostra de música, cordel, texto e humor gráfico, frente aos estímulos dos docentes. Já na subcategoria, “A DC para além dos muros da escola”, com apenas dois artigos, destaca-se o protagonismo dos discentes por transpor os limites da escola, tornando-se divulgadores da ciência para além do contexto escolar.

Esta última subcategoria, onde os discentes assumem o protagonismo sobre a DC, é substancial para a participação cidadã, e conseqüentemente, para reduzir a

imagem deformada ou distorcida do trabalho científico ou da ciência diante da sociedade, na qual uma imagem descontextualizada pode refletir negativamente na relação complexa entre ciência, tecnologia e sociedade.

Nesse sentido Pérez et al (2001, p.139) estudam, com base em diferentes autores, os aspectos voltados não somente ao “que queremos potenciar no trabalho de nossos alunos e alunas”, mas deve-se “uma reflexão centrada na avaliação”, pois “ao avaliar se realça aquilo a que se atribui realmente importância”. Reflexões como esta fazem com que os professores criem “a necessidade de incluir nos seus materiais, nas atividades que propõem para o trabalho na aula, ou nos exercícios de avaliação, aspectos que enriquecem o processo de ensino/aprendizagem das ciências e que rompem com os habituais reducionismos”.

Os autores destacam os aspectos para incluir no currículo de ciências, desde o ensino básico ao ensino superior, para favorecer a construção de conhecimentos científicos (Quadro 2), incidindo positivamente na clarificação da natureza da ciência e do trabalho científico frente a relação ciência, tecnologia e sociedade.

Quadro 2: Aspectos a incluir no currículo de ciências para favorecer a construção de conhecimentos Científicos

1	Apresentam-se situações problemáticas abertas (com o objetivo de os alunos poderem tomar decisões para as estudar) de um nível de dificuldade adequado (correspondem à sua zona de desenvolvimento potencial)?
2	Planifica-se uma reflexão sobre o possível interesse das situações propostas que dê sentido ao seu estudo (considerando a sua relação com o programa geral de trabalho adotado, as possíveis implicações ciência, tecnologia e sociedade - CTS? Procura evitar-se qualquer discriminação (por razões étnicas, sociais...) e, em particular, o uso de uma linguagem sexista, transmissora de expectativas negativas em relação às mulheres?
3	Planifica-se uma análise qualitativa significativa, que ajude a compreender e a enquadrar as situações definidas (à luz dos conhecimentos disponíveis, do interesse do problema etc.) e a formular perguntas operativas sobre o que se procura? Mostra-se, por outro lado, o papel essencial das matemáticas como instrumento de investigação, que intervém desde a formulação do próprio problema à análise dos resultados, sem cair em operativismos cegos?
4	Perspectiva-se a formulação de hipóteses , fundamentadas nos conhecimentos disponíveis, susceptíveis de orientar o tratamento das situações e explicitam-se, funcionalmente, os preconceitos? Nesse sentido presta-se atenção à atualização dos conhecimentos que constituam pré-requisitos para o estudo a empreender? Propõe-se, pelo menos, a modificação de alguma das hipóteses? Dá-se atenção aos preconceitos (encarados como hipóteses)?
5	Planeja-se a formulação de estratégias (no plural), incluindo, neste caso, dispositivos experimentais? Pede-se, pelo menos, a avaliação crítica de alguma estratégia etc.? Presta-se atenção à atividade prática em si mesma (montagens, medidas, ...)? Potencia-se a incorporação da tecnologia atual nos dispositivos experimentais (computadores, eletrônica, automação, ...) com o objetivo de favorecer uma visão mais correta da atividade científico-técnica contemporânea?
6	Esboça-se a análise atenta dos resultados (a sua interpretação física, fiabilidade etc.) à luz do corpo de conhecimentos disponíveis, das hipóteses consideradas e/ou dos resultados de outros autores? Está prevista alguma reflexão sobre os possíveis conflitos entre alguns dos resultados e as concepções iniciais? Favorece-se a “autorregulação” do trabalho dos alunos? Criam-se

	condições para que os alunos comparem a sua evolução conceptual e metodológica com a evolução experimentada historicamente pela comunidade científica?
7	Têm-se em considerações, possíveis perspectivas (redefinição do estudo a um outro nível de complexidade, problemas derivados, ...)? Em particular, consideram-se as implicações CTS do estudo realizado (possíveis aplicações, repercussões negativas, ...)? Pede-se a elaboração de “produtos” (cartazes, coleções de objetos...)?
8	Pede-se um esforço de integração que tenha em conta a contribuição do estudo realizado para a construção de um corpo coerente de conhecimentos, as suas possíveis implicações noutros campos de conhecimentos etc.? Pede-se algum trabalho de síntese, mapas e redes conceptuais, mapas semânticos etc., que relacionem diversos conhecimentos?
9	Presta-se atenção à comunicação como aspecto essencial da atividade científica? Planeja-se a elaboração de memórias científicas (descritivas) do trabalho realizado? Pede-se a leitura e comentário crítico de textos científicos? Dá-se atenção à verbalização, solicitam-se comentários significativos que evitem o “operativismo mudo”?
10	Potencia-se a dimensão coletiva do trabalho científico organizando grupo de trabalho e facilitando a interação entre esses grupos e a comunidade científica (representada na classe pelos restantes grupos, o corpo de conhecimentos já construído, os textos, o professor como perito, ...)? Em particular, dá-se relevo ao fato de os resultados de uma só pessoa ou de um só grupo não serem suficientes para confirmar ou refutar uma hipótese? Apresenta-se o corpo de conhecimentos (disponíveis) como a aceitação/validação do trabalho realizado pela comunidade científica e como expressão do consenso alcançado?

Fonte: Pérez et al (2001, p. 140 e 141)

Os autores encerram apontando que não pretendem, evidentemente, dizer que os aspectos sumarizados no quadro acima baste para orientar corretamente o processo de ensino/aprendizagem das ciências, contudo constitui um importante e determinante contribuição (um requisito *sine qua non*) e que, por outro lado, facilita o acolhimento de propostas derivadas de outras linhas de investigação didática, como as relativas à forma de orientar as práticas experimentais, laboratoriais e/ou de campo.

4

EXOGEODIVERSIDADE: A GEODIVERSIDADE FORA DA TERRA E O ENSINO DE ASTRONOMIA NO BRASIL

*“Duas coisas são infinitas:
o universo e a estupidez humana.
Mas, em relação ao universo,
ainda não tenho certeza absoluta”
(Albert Einstein)*

O conceito de geodiversidade – meio abiótico da biodiversidade¹¹ – aplicado desde meados de 1990 para abordar a variabilidade da natureza, limita-se à superfície da Terra e suas características, sem envolver a diversidade geológica e geomorfológica de corpos rochosos celestes do sistema solar, isto é, de planetas telúricos, luas que orbitam gigantes gasosos, cometas e asteroides. Nesse sentido, há uma grande dificuldade de avaliação da (geo)diversidade extraterrestre definida conceitualmente por Betard & Peulvast (2019) de “exogeodiversidade” que, com exceção da Lua – Missão Apollo, permanecem como corpos inexplorados e acessíveis apenas por imagens e observações indiretas.

De acordo com Betard & Peulvast (2019) e, revelado por missões espaciais iniciadas em meados do século 20, a variabilidade abiótica também caracteriza superfícies planetárias de outros corpos rochosos do sistema solar e, nessa perspectiva, o neologismo exogeodiversidade – “que significa “geodiversidade” fora da Terra”:

É inspirado pela recente introdução do termo “exogeoconservação”, como extensão dos princípios e práticas de geoconservação no campo das ciências planetárias, para qualificar “a identificação de valor científico, histórico, estético, ecológico ou cultural em corpos celestes e nas suas feições geológicas e geomorfológicas, e a proteção de tais corpos e feições” (Matthews e MacMahon, 2018). Como ressaltam esses autores, o “exo-” expressa o escopo extraterrestre da geoconservação – assim como no termo “exobiologia” visando estudar a vida extraterrestre – e poderia ser aplicado também a outros termos associados como “exogeosítios” e “exogeopatrimônio. (BETARD & PEULVAST, 2019 p.3 e 4) - **Tradução livre**

Da mesma forma, os autores propõem uma adaptação do termo geodiversidade, proposto por Gray (2013) e definem “exogeodiversidade” como uma:

¹¹ Campo de estudos “tradicionalmente preocupado em descrever e quantificar a diversidade abiótica das características e sistemas da Terra, principalmente em seus componentes geológicos, geomorfológicos, pedológicos e hidrológicos (Sharples, 1993; Kozłowski, 2004; Gray, 2013). Existem definições mais holísticas na vasta literatura dedicada à geodiversidade (Bétard, 2017): pode incluir “a ligação entre pessoas, paisagens e cultura” (Stanley, 2001) e também pode referir-se a ambientes pouco acessíveis ou recursos invisíveis como o oceano profundo (Serrano e Ruiz Flaño, 2007).” (BETARD & PEULVAST, 2019 p.3)

Extensão natural (diversidade) de características geológicas (estruturas, rochas, minerais), geomorfológicas (formas de relevo, processos), solo (rególito) e hidrológicas em corpos rochosos extraterrestres, incluindo suas associações, relações, propriedades e sistemas” que “comparada à diversidade abiótica da Terra, apresenta algumas peculiaridades como a ausência de fósseis comprovados nas rochas e de matéria orgânica nos solos, e uma hidrosfera possivelmente composta por outros fluidos que não a água, por exemplo, lagos e rios de hidrocarbonetos em Titã (Mitri et al., 2007; Neish et al., 2016) (BETARD & PEULVAST, 2019 p.4) - **Tradução livre**

O conceito de exogeodiversidade, também, pode ser aplicado em diferentes escalas, desde a escala global de planetas e satélites, até a escala mais elementar de átomos e íons. Como por exemplo, o mapa geológico de Marte que traz representações e características estruturais da superfície planetária em grandes bacias de impacto (como por exemplo Bacia de Hellas), províncias e cadeias vulcânicas (por exemplo, Tharsis Montes), sistemas de cânions controlados tectonicamente (por exemplo, Valles Marineris). Estas grandes estruturas constituem uma variedade de formas nas quais as características de geodiversidade de menor escala estão imbricadas, de microformas a partículas elementares, constituindo inclusive, superfícies geomorfológicas análogas a paisagens e formas de relevo semelhantes à Terra (BETARD & PEULVAST, 2019).

Dessa forma, nos mesmos termos da diversidade abiótica da Terra (GRAY, 2013), a valorização da diversidade de paisagens que formam a exogeodiversidade torna-se relevante, porém com duas particularidades: 1º) ausência direta de observações por humanos, que precisam proceder com observações indiretas (imagens) para sua avaliação e, 2º) ausência de conexão direta e interação com a vida humana e não humana até o presente, dando origem a um conjunto original de valores sociais.

Dos valores¹² e das ameaças, elencados por Betard & Peulvast (2019), a exogeodiversidade é que deve culminar em ações voltadas à exogeoconservação nas próximas décadas, devido aos inúmeros projetos de exploração e colonização humana, protagonizados pela Lua e por Marte, aqui nos interessa aqueles voltados à ciência e educação, os quais:

Estão entre os principais critérios para considerar os exogeosítios como valiosos recursos a serem conservados, pois nos dão um enorme conhecimento sobre a história do sistema solar e dos planetas, além de informações preciosas sobre a origem da vida na Terra. Alguns lugares das superfícies planetárias tornaram-se locais chave ou tipos de referência em vários domínios das ciências planetárias (geomorfologia, estratigrafia, mineralogia etc.). Outros locais a serem conservados fornecerão evidências

¹² Valores Culturais, valores estéticos, valores econômicos, valores funcionais e valores científicos e educacionais. Ver em: Bétard, François & Peulvast, Jean-Pierre. Valuing and representing exogeodiversity: From scientific imagery to artistic imagination. *Géomorphologie*. Vol. 25 n° 3. <https://doi.org/10.4000/geomorphologie.13412>

físicas para pesquisas futuras, bem como as oportunidades para treinar e educar geocientistas profissionais, estudantes, acadêmicos e o público em geral (BETARD & PEULVAST, 2019 p.12) - **Tradução livre**.

Nesse sentido, evoca-se aqui o estudo da Astronomia, sobretudo no Brasil, seja na educação formal, informal e não formal, seja aquele destinado à divulgação científica. Segundo Langhi & Nardi (2009), a educação em astronomia e a formação de professores, em âmbito nacional, pode ser constituída nos contextos da educação básica, graduação e pós-graduação, extensão, pesquisa, popularização midiática, estabelecimentos e materiais didáticos.

No entanto, na educação formal (ensino básico, graduação e pós-graduação) são poucas as instituições que abordam, em sua estrutura curricular (disciplinas obrigatórias ou optativas), conteúdos de astronomia. No ensino básico, por exemplo, alguns elementos de astronomia podem estar presentes, de maneira reduzida ou quase inexistente, nas aulas de Ciências ou de Física. Normalmente, a temática é abordada apenas por professores que planejam visitas a observatórios, planetários, museus e associações de astrônomos amadores. Contudo, é na categoria extensão que a astronomia encontra abrigo, através de instituições que promovem cursos de curta duração, formação continuada ou ainda oficinas, geralmente ligados a universidades ou instituições públicas (LANGHI & NARDI, 2009).

A trajetória histórica da astronomia como conteúdo escolar foi iniciada em 1958, com o curso de graduação na antiga Universidade do Brasil, mas com a decreto de 1942, do Estado Novo, o ensino foi modificado e a astronomia como a cosmografia deixaram de ser disciplinas específicas. Na década de 1960, os cursos de ensino superior em Física, Engenharia e Matemática ofereciam somente disciplinas optativas em astronomia, situação que permanecem até hoje. Nas reformas da educação formal que se seguiram, os conteúdos de astronomia passaram a fazer parte de disciplinas de Ciências e Geografia (ensino fundamental) e física (ensino médio) e, atualmente, conforme os Parâmetros Curriculares Nacionais, derivados da Lei de Diretrizes e Bases (LDB) de 1996, a Astronomia está presente fundamentalmente na disciplina de Ciências, deixando, portanto, de ser decisivamente uma disciplina específica nos cursos de formação de professores (LANGHI & NARDI, 2009).

Os mesmos autores também fazem uma importante reflexão, mesmo que superficial, do porquê a Astronomia continua sendo um saber repleto de concepções

espontâneas, erros conceituais, mitos e dificuldades no processo de ensino e aprendizagem e formulam três hipóteses, deixando o debate em aberto:

- a) há pouco interesse da população e dos alunos em aprender Astronomia;
- b) há uma quantidade insuficiente de estabelecimentos para atender a demanda de educação em Astronomia;
- c) há pouco interesse das associações amadoras, observatórios e planetários em se envolver com a educação em Astronomia, optando por contemplar principalmente atividades de popularização (Divulgação científica), educação não formal, ou mesmo informal, na base do senso comum (LANGHI & NARDI, 2009 p.7).

Segundo Langhi & Nardi (2009), as hipóteses “b” e “c” validam a hipótese “a” e, mesmo que existisse estabelecimentos em quantidade satisfatória no Brasil, estes não atuariam focados na educação formal e não formal em Astronomia, uma vez que a atuação desses estabelecimentos (planetários, museus, associações e clubes de astrônomos amadores e simpatizantes) está voltada ao turismo, lazer e diversão, desvinculados da formação continuada de professores, assim como da alfabetização científica e tecnológica da comunidade inserida no seu contexto, por serem ambientes constituídos de membros simpatizantes e sem formação específica na temática. Nesse ínterim, ainda que a popularização e o ensino ocorram, é preciso considerar a produção da pesquisa sobre educação em Astronomia e, conseqüentemente seu aporte teórico, para que as ações voltadas à educação formal, informal e não formal e, de divulgação científica, não sejam baseadas apenas no senso comum, como ocorre normalmente.

Outra contribuição de Langhi & Nardi (2019) para o debate relacionado ao ensino de Astronomia, bem como para fortalecer as relações entre as instituições e os estabelecimentos nacionais já existentes, que promovem a astronomia nos âmbitos da educação e divulgação científica, levando em consideração a composição de cinco propostas de articulação (Quadro 3).

Quadro 3: Propostas de articulação e instituições nacionais que promovem a astronomia

1	Reunir as fontes de saberes do conteúdo sobre educação em astronomia visando facilitar a sua busca pelos professores em contínua formação, mediante a criação de um portal do saber astronômico, com conteúdo específico, propostas de atividades, sugestões metodológicas e didáticas, relatos de experiências de atuações docentes, planetários, observatórios e clubes de astronomia.
2	Organizar e manter um cadastro nacional de instituições de educação formal, não formal, informal e de popularização relacionada com a astronomia e ciências afins, com dados frequentemente atualizados, para contatos constantes e organização de eventos e atividades conjuntas de aproximações (que, de certa forma, já teve início, no Brasil, com o Ano Internacional da Astronomia).
3	Estabelecer campanhas nacionais e periódicas, que contemplem ações contextualizadas no ensino

	da astronomia, envolvendo todos os estabelecimentos simultaneamente, em favor da comunidade escolar, podendo ser aproveitados os resultados de pesquisas sobre educação em astronomia, bem como os fenômenos astronômicos observáveis, sejam eles raros ou cotidianos (por exemplo: fases da lua, horários e pontos do “nascer” e “pôr” do sol, data de entrada de estações do ano e seus significados, movimento diurno da esfera celeste, reconhecimento de constelações da época, eclipses, trânsitos, ocultações, cometas, conjunções, etc.).
4	Organizar, sugerir e subsidiar atividades de astronomia e seu ensino formal e não formal, em conjunto com escolas, comunidade e estabelecimentos de uma mesma região.
5	Promover, durante eventos e congressos nacionais das áreas de astronomia e de ensino de ciências, momentos de discussão entre estes dois campos, quando poderão ocorrer trocas de saberes de conteúdo e experiências entre astrônomos (amadores e profissionais) e professores convidados da educação básica, levando-se em consideração a investigação da pesquisa sobre educação em astronomia.

Fonte: Langhi & Nardi (2009 p. 8)

A conjuntura proposta por Langhi & Nardi (2009) sustenta-se sobre um articulado “pilar triplo” entre a comunidade astronômico profissional, a comunidade astronômico amadora (*não-hobbysta*) e a comunidade escolar (professores e alunos) para fomentar o diálogo e promover mudanças na estrutura curricular, favorecendo futuros avanços na educação em Astronomia, na formação inicial e continuada de professores.

5

A EXOGEODIVERSIDADE DE MARTE: O PLANETA VERMELHO

Este capítulo traz uma síntese cronológica de seis décadas de exploração científica em Marte e as principais missões espaciais. Expõe a geografia e as principais características físicas do Planeta Vermelho¹³ e a sua cartografia básica. Para fechar o capítulo, segue uma análise dos processos geológicos e geomorfológicos atuantes na superfície marciana e um detalhamento das estruturas eólicas resultantes de processos exógenos, com exemplos comparativos de morfologias eólicas entre os planetas, Terra e Marte.

Marte ou Planeta Vermelho, faz parte do Sistema Solar (Figura 4) que é composto pelo Sol, quatro planetas gasosos ou Jovianos (Júpiter, Saturno, Urano, Netuno), quatro planetas telúricos, ou seja, planetas sólidos rochosos (Mercúrio, Vênus, Terra, Marte), Plutão (planeta anão) e Corpos Menores (63 Satélites, Anéis, Asteroides, Cometas, Meteoritos e Meteoros, Gás e Poeira Zodiacal).

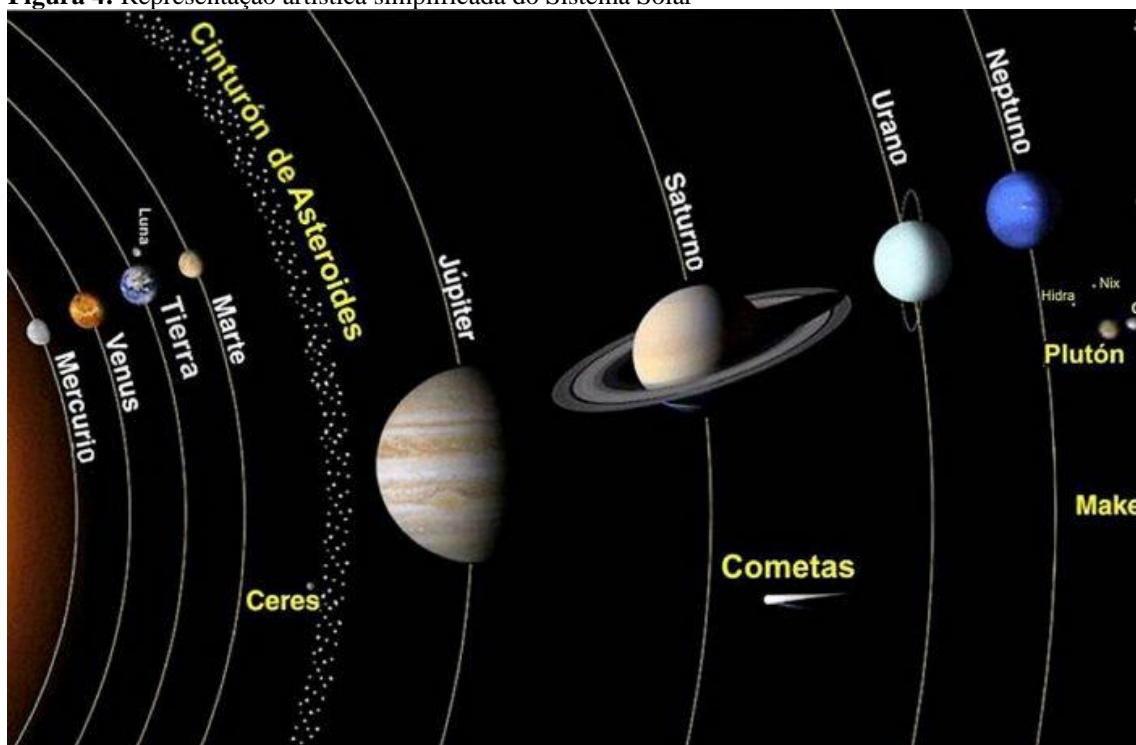
O Planeta Vermelho é conhecido e faz parte do imaginário popular, desde a antiguidade, sendo o quarto planeta a partir do Sol e o segundo menor planeta do Sistema Solar. Guardando conexões com a mitologia greco-romana e até obras de ficção científica, o planeta de cor avermelhada, devido a presença de óxido de ferro predominante em sua superfície, foi batizado de Marte em homenagem ao deus romano da guerra.

De acordo com Oliveira Filho e Saraiva (2017) o Sistema Solar é formado pelo Sol, pelos oito planetas com suas luas e anéis, além dos planetas anões, asteroides e cometas. Os cinco planetas visíveis a olho nu (Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno) já eram conhecidos desde a antiguidade. Os demais foram descobertos depois da invenção do telescópio: Urano, em 1781, por William Herschel (1738- 1822) e Netuno, em 1846 por Urbain Jean Joseph Le Verrier (1811-1877) e John Couch Adams (1819-1892). Plutão foi descoberto em 1930 por Clyde William Tombaugh (1906-1997), e classificado até agosto de 2006 como o nono planeta do Sistema Solar. Desde então a União Astronômica Internacional reclassificou Plutão como planeta anão, constituindo uma nova categoria de corpos do sistema solar, na qual também foram

¹³ Pela presença predominante do óxido de ferro em sua superfície, semelhante aos sedimentos existentes com esta coloração, na superfície terrestre.

colocados Ceres, o maior objeto do cinturão de asteroides entre as órbitas de Marte e Júpiter, e Éris (2003UB313)¹⁴ o maior asteroide do cinturão de Kuiper.

Figura 4: Representação artística simplificada do Sistema Solar



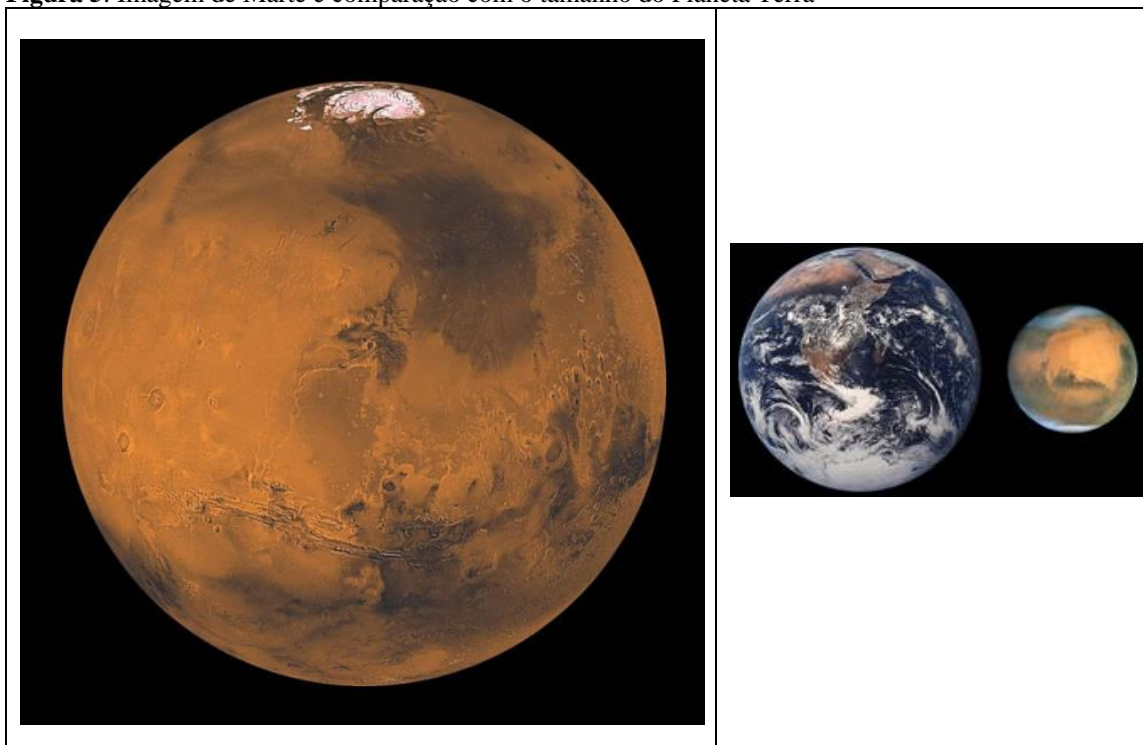
Fonte: Banco de Imagem Shutterstock

Marte apresenta características semelhantes às da Terra, pois possui superfície sólida e rochosa, formada por montanhas, vales, crateras e vulcões (Figura 5). Conforme Pereira (2007) a órbita de Marte é mais excêntrica do que a da Terra, daí a grande variação da sua distância ao Sol, bem como da Terra, sendo que, as ocasiões em que os dois planetas mais se aproximam, é conhecida por “oposições”. Por esta razão é que as melhores observações a partir da Terra são feitas durante as oposições e foram responsáveis pela maioria das informações obtidas antes das missões espaciais para Marte.

A quadro 5 e a figura 5 mostram algumas características planetárias comparadas entre Marte e a Terra, bem como a proporção do tamanho entre esses dois planetas. Marte possui cerca de metade do diâmetro da Terra, mas pouco mais de um décimo da sua massa. Devido a menor massa, a gravidade de Marte é menor que a da Terra, cerca de 38%, com aceleração gravitacional de 3.7 m/s.

¹⁴ Ver em: [NASA - New Planet Discovered](#)

Figura 5: Imagem de Marte e comparação com o tamanho do Planeta Terra



Fonte: NASA/JPL/USGS – Domínio Público via Wikimedia Commons

URL: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a9/MARS-Viking.jpg>

Em relação a atmosfera, apresenta uma composição muito rica em dióxido de carbono (95%), 3% nitrogênio, 1,6% argônio, traços de oxigênio, água e metano. É rarefeita e bastante empoeirada, causando um efeito de cor avermelhado/amarelado quando vista da superfície, sendo que os dados da missão *Mars Exploration Rovers* indicaram que as partículas suspensas são de aproximadamente 1,5 micrômetros.

O ar de Marte contém apenas 1/1000 da água do ar da Terra, mas ainda assim pode condensar formando nuvens em grande altitude na atmosfera e massas de neblina matinal nos vales. No local de aterragem da sonda Viking 2, por exemplo, uma fina camada de água congelada cobre o solo em cada inverno. Há evidências de que no passado Marte teve uma atmosfera mais densa, permitindo que a água corresse em superfície, revelando formas semelhantes a costas, as gargantas, os leitos de rios e as ilhas, sugerindo que já existiram grandes cursos “d’água” no Planeta Vermelho¹⁵.

¹⁵ Para saber mais sobre as características de Marte acessar: [Introdução a Marte \(ufrgs.br\)](#)

Quadro 4: Característica planetárias comparadas entre os Planetas Marte e Terra

	Planeta Marte	Planeta Terra
Diâmetro	6.794 km	12.756 km
Massa (Terra = 1)	0.108	1
Gravidade à superfície (Terra = 1)	0.38	1
Densidade	3.940 kg/m ³	5.515 kg/m ³
Distância mínima ao Sol	2.067x10 ⁸ km	1.471x10 ⁸ km
Distância máxima ao Sol	2.492x10 ⁸ km	1.521x10 ⁸ km
Inclinação do eixo	25.19°	23.45°
Duração do dia	24h 37m	24h 00m
Duração do ano	686.98 dias	365.25 dias
Temperatura mínima à superfície	-140°C	-90°C
Temperatura máxima à superfície	20°C	60°C
Composição da atmosfera	95% CO ₂ ; 3% N ₂ ; 2% outros	77% N ₂ ; 21% O ₂ ; 2% outros

Fonte: Pereira (2007) apud Kaufmann III et al. (1998)

Um dia solar em Marte (24h37 min) tem apenas 37 min mais que 1 dia na Terra (24 h), muito próxima da duração de um dia na Terra. Um ano marciano equivale praticamente dois anos na Terra (1,88 anos), mas devido à inclinação do eixo ser semelhante à da Terra, também pode-se distinguir quatro estações, porém mais longas que as do planeta Terra e, devido à maior excentricidade da órbita de Marte, existem diferenças expressivas entre a duração delas em relação a cada hemisfério (PEREIRA, 2007).

5.1 Síntese cronológica de seis décadas de exploração científica sobre o Planeta Vermelho e suas principais missões exploratórias

O Planeta Vermelho vem sendo explorado cientificamente desde a década de 1960, através de sondas e aterrizadores enviados a Marte por agências espaciais de diversos países e, desde as primeiras missões, acredita-se que Marte preserve evidências de vida, mesmo que já extinta. A ideia de que possa ter existido vida no planeta vizinho foi estimulada em parte por um problema de tradução de textos do astrônomo Giovanni Schiaparelli, que observou e desenhou em 1877 um mapa de Marte com uma série de linhas retas e as denominou de "canalis" (leitos de rio ou "sulcos), mas foi traduzido para o inglês como "canais".

Diferente de uma viagem à Lua¹⁶ que dura cerca de 3 dias, uma viagem ao Planeta Vermelho leva cerca de 7 meses e as missões são complexas. Os grandes projetos espaciais e missões planejadas para conduzir novas descobertas em Marte

¹⁶ A próxima missão da NASA para a Lua será a Missão Artemis-I. O lançamento, marcado para o início de setembro de 2022, foi cancelado devido a um vazamento de hidrogênio líquido detectado dentro de um dos quatro motores do sistema de lançamento espacial (SLS) Fonte: <https://www.nasa.gov/artemis-1> e <https://www.tecmundo.com.br/ciencia/246103-nasa-desiste-enviar-missao-artemis-i-inicio-setembro.htm>

foram iniciados pela NASA e pela União Soviética (Rússia) que arriscaram por inúmeras vezes orbitar ou pousar em superfície, as suas sondas, *landers*, *rovers* e helicópteros, este último é um investimento recente que promete revolucionar as descobertas em Marte¹⁷.

Ao longo desses 60 anos de exploração científica sucederam-se muitos erros, acertos e fracassos e, atualmente, os projetos espaciais estão sendo idealizados pela Agência Espacial Norte-americana NASA, Agência Japonesa de Exploração Aeroespacial (JAXA), Agência Espacial Europeia (ESA), Agência Espacial e de Aviação Russa e a Organização Indiana de Pesquisa Espacial (ISRO), sendo que hoje, Marte é estudado por 12 missões ativas (em órbita e em superfície) (CAVALCANTE & YUGE, 2021):

12 Missões ativas:

- Oito em órbita:
 - 1) Mars Odyssey (NASA, 2001)
 - 2) Mars Express (ESA, 2003)
 - 3) Mars Reconnaissance Orbiter (NASA, 2005)
 - 4) Mars Atmosphere and Volatile Evolution – MAVEN (NASA, 2013)
 - 5) Mars Orbiter Mission – Mangalyaan (ISRO Índia, 2013)
 - 6) ExoMars Trace Gas Orbiter (Parceria ESA/Roscosmos, 2016)
 - 7) Tianwen-1 (CNSA China, 2020)
 - 8) Hope Mars (Emirados Árabes Unidos, 2020)
- Quarto em superfície
 - 1) Curiosity (NASA, 2011)
 - 2) InSight (NASA, 2018)
 - 3) Perseverance e o helicóptero Ingenuity (Mars 2020 – NASA, 2020)
 - 4) Rover Zhurong da missão Tianwen-1 (CNSA China, 2020)

São muitas as sondas de missões que falharam ou nem chegaram a Marte. Outras estão desativadas ou, ainda, há espaçonaves e equipamentos que estão abandonados na superfície. Dentre as inativas, pode-se listar a sonda Spirit e outros *rovers*, como o Opportunity, que parou de funcionar após 15 anos de missão em consequência de danos nos painéis solares causado por uma tempestade de poeira, uma das piores já registradas pela NASA, e a Phoenix que encontrou gelo em Marte e encerrou sua atividade em 2008 (CAVALCANTE & YUGE, 2021).

10 Missões Inativas:

- 1) Mars Exploration Rovers (NASA, 2003-2019)

¹⁷ As missões chamadas “*orbiter*” são designadas para orbitar Marte, enquanto as missões chamadas “*lander*” são designadas a explorar a superfície do planeta.

- 2) Mars Polar Lander (NASA, 1999)
- 3) Mars Pathfinder e Sojourner (NASA, 1996-1997)
- 4) Phoenix (NASA, 2007-2008)
- 5) Mars Global Surveyor (NASA, 1980-2006)
- 6) Viking 1 & 2 (NASA, 1975)
- 7) Mariner 9 (NASA, 1971)
- 8) Mariner 6 e 7 (NASA, 1969)
- 9) Mariner 4 (NASA, 1964)
- 10) Mars 3, 5, 6 (URSS, 1971, 1973)

Muitas missões também fracassaram ou falharam em seus objetivos, sobretudo na década de 1970, durante a corrida espacial entre Estados Unidos e União Soviética (CAVALCANTE & YUGE, 2021):

Oito Missões que fracassaram ou falharam:

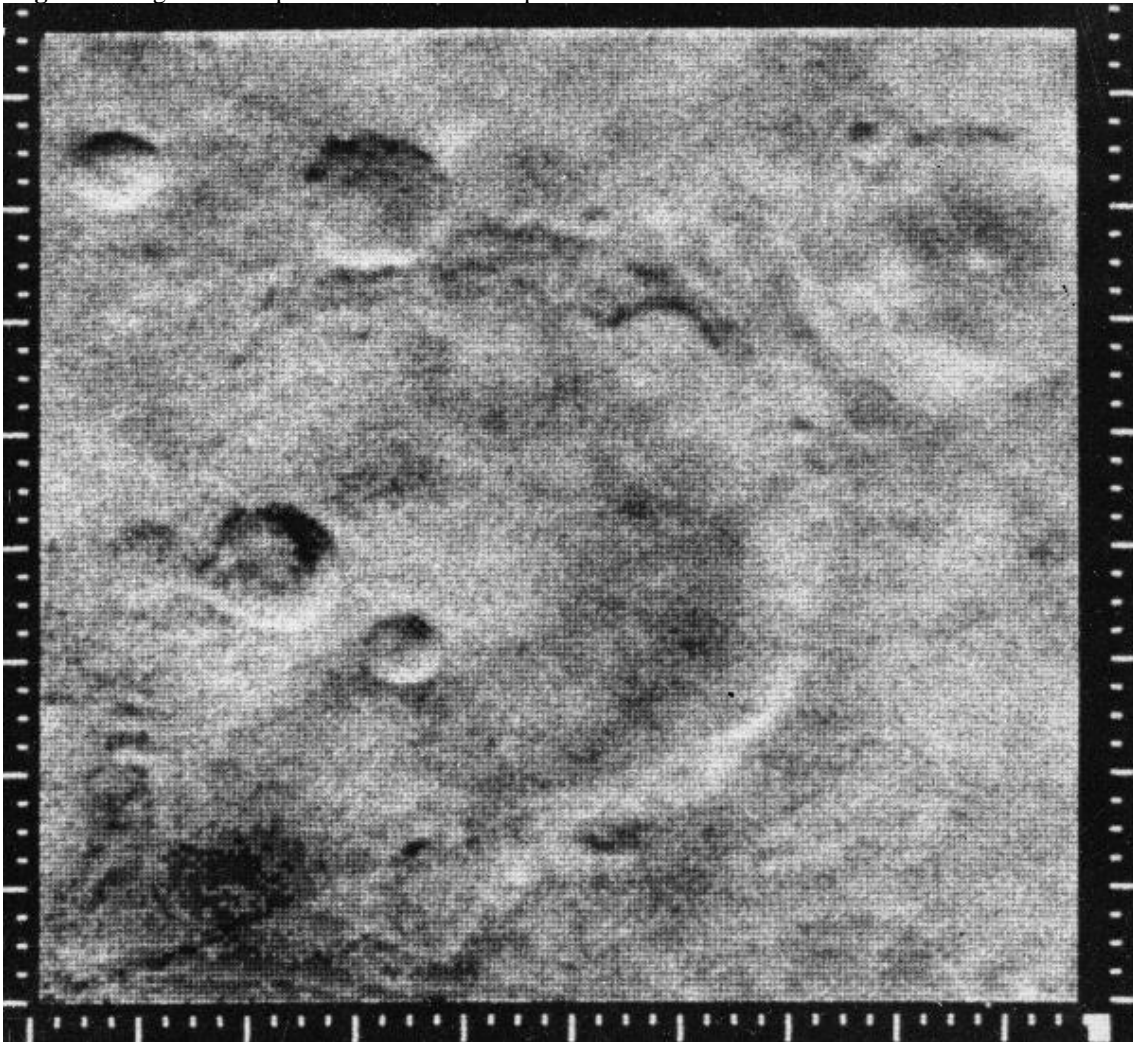
- 1) Phobos-Grunt (Roscosmos, 2011)
- 2) Nozomi (JAXA, 1998)
- 3) Mars Climate Orbiter (NASA, 1998)
- 4) Mars 96 (Roscosmos, 1996)
- 5) Mars Observer (NASA, 1992)
- 6) Mariner 4 e 8 (NASA, 1964, 1971)
- 7) Mars 1969A, 1969B, 1, 2, 4, 7 (URSS, 1962, 1969, 1971, 1973)
- 8) Korabl 4, 5, 11, 13 (URSS, 1960, 1962)

Impulsionada pela Guerra Fria, a corrida espacial promoveu as primeiras missões a Marte e ao completarem seis décadas de exploração acumulam boas descobertas. Nesse sentido, vale destacar as principais missões, aquelas que marcaram a história de exploração científica sobre o planeta vizinho.

Os soviéticos, ao lançarem o Sputnik-1 em 1957, cujo objetivo era estudar as camadas superiores da atmosfera terrestre e, bem como os efeitos da microgravidade e da radiação solar sobre os organismos vivos, foram os primeiros a colocar um satélite artificial em órbita, neste caso da Terra. Após três anos do lançamento do *Sputnik-1*, os soviéticos lançaram em 1960 Marsnik 1, Marsnik 2, Sputnik 22 sem sucesso, falhando ao atingir ou ao sair da órbita terrestre. Entretanto, obtiveram sucesso com o Sputnik 23, sendo a primeira sonda a sair da Terra. Porém, falhou durante o voo, perdendo contato com a base em março 1963, antes de chegar ao seu destino. Quatro anos mais tarde, as sondas soviéticas Zond 2 (1964) e Zond 3 (1965) foram as primeiras a se aproximar de Marte, mesmo que não tenha sido possível investigar o planeta, por não terem enviado nenhum dado, configurou um marco importante na história da exploração científica de Marte.

O primeiro contato com este planeta ocorre em 1965 com a sonda Mariner 4¹⁸, atualmente em órbita solar. Lançada pela NASA, a sonda registrou Marte e fez as primeiras 22 imagens da superfície do Planeta Vermelho, registrando crateras e confirmou a presença de uma atmosfera tênue composta por gás carbônico (Figura 6). Mais tarde, as Mariner 6 e 7 reproduziram o sucesso de suas precursoras, aumentando o acervo de fotografias de Marte.

Figura 6: Registro da superfície marciana feito pela Sonda Mariner-4



Fonte: NASA (1965)

Depois das sondas na década de 1960, Mariner-9 finaliza a missão Mariner da NASA para Marte. Lançada em 30/05/1971 se tornou o primeiro satélite artificial de Marte, quando entrou em órbita marciana, ficando por dois anos em funcionamento. Ao chegar, Mariner 9, registrou que uma grande tempestade de poeira estava obscurecendo todo o globo do planeta. A tempestade persistiu por um mês, mas depois que a poeira

¹⁸ Vídeo da NASA sobre a Mariner 4 em Marte: <https://youtu.be/XI6PRBIsUyU>

baixou, a Mariner-9 revelou um planeta cheio de vulcões gigantes e um grande cânion que se estendia por 4.800 quilômetros (3.000 milhas) em sua superfície. Mais surpreendentemente ainda, foram as imagens que registraram as relíquias de antigos leitos de rios, que foram esculpidas na paisagem deste planeta aparentemente seco e empoeirado (primeiros registros de erosão fluvial). A Mariner-9 excedeu todos os requisitos fotográficos primários ao mapear 100% da superfície do planeta e, também, forneceu as primeiras fotos das duas pequenas e irregulares luas marcianas: Fobos e Deimos (NASA)

Vale destacar que neste mesmo ano (1971), os soviéticos pousaram pela primeira na superfície de Marte. O aterrissador da Mars-3, lançado em 28 de maio de 1971, se tornou o primeiro objeto feito pelo homem a efetuar um pouso suave na superfície do Planeta Vermelho, mas infelizmente o contato se perdeu por completo cerca de vinte segundos depois.

No entanto, foram necessários mais alguns anos de preparativos e estudos para termos as primeiras missões de exploração da superfície de Marte, plenamente bem-sucedidas. Lançadas pela NASA em 1975, as missões Viking-1 e Viking-2, tinham como objetivo, além de fotografar, conduzir experiências no campo da biologia, examinando a possibilidade de sinais de vida extraterrestre, a partir da descoberta de microrganismos em Marte. Os experimentos verificaram atividades químicas no solo de Marte, mas não encontraram evidências da presença de microrganismos no entorno das zonas de aterrissagem.

A Viking-1 foi a primeira a enviar uma imagem do solo de Marte, registrando rochas e areia e, em síntese, pode se considerar que as missões Viking-1 e 2 foram bem-sucedidas, sobretudo pela quantidade e qualidade de dados coletados. Realizaram cerca de 5.200 imagens e cartografaram 97% da superfície do planeta, a partir da órbita de Marte, em ângulos deferentes, permitindo melhor detalhamento da sua topografia. Além de dados de solo, foram feitos registros da superfície (cerca de 4.500 imagens), além de dados sobre o clima, a atmosfera e as mudanças sazonais.

Após um longo período sem novas descobertas, a década de 1990 marcou a retomada das atividades de exploração em Marte, quando em 1997 a NASA aterrissou no planeta novamente. Lançada em 1996, a missão Pathfinder, que levou o *rover* Sojourner a Marte, pousou em superfície para uma exploração detalhada do território marciano. Em paralelo, o satélite Surveyor se estabeleceu na órbita do Planeta Vermelho, com a missão de estudar a superfície de Marte, sua atmosfera e o interior do

planeta. A novidade desta missão foi os pequenos veículos chamados Sojourner (*rovers*), os quais caminharam pela superfície marciana para analisar o solo, sendo o primeiro veículo a transitar em Marte (Figura 7).

Tanto o módulo de pouso quanto o *rover* de 10,6 quilos carregavam instrumentos para observações científicas e fornecer dados de engenharia sobre as novas tecnologias que estavam sendo desenvolvidas. Foram incluídos instrumentos científicos para analisar a atmosfera marciana, o clima, a geologia e a composição de suas rochas e solo. A Mars Pathfinder usou um método inovador de entrar diretamente na atmosfera marciana, auxiliado por um paraquedas para retardar sua descida, pela fina atmosfera marciana e um sistema gigante de *airbags* para amortecer o impacto (NASA)

Figura 7: Registro da superfície de Marte - Rover Sojourner feito pela Pathfinder



Fonte: NASA (1997)

Em 2003 é a vez da Agência Espacial Europeia (ESA) lançar a sonda Mars Express Orbiter, com objetivo de capturar imagens de alta resolução para estudar a topografia e a morfologia da superfície, elaborar mapa mineralógico, estudar a composição da atmosfera e servir como meio de comunicação para as *landers* de 2003 a 2007. Também carrega consigo a sonda Beagle 2 (missão britânica acoplada à sonda Mars Express), sendo responsável por enviá-la à superfície de Marte e servir como meio

de comunicação, entre a Beagle 2 e a Terra. Mars Express Orbiter, permanece em atividade até hoje, circulando em Marte, contudo a missão, não foi de todo bem-sucedida, pois a Beagle-2 jamais enviou qualquer sinal de volta à Terra e sua situação permaneceu um mistério até 2015, quando enfim foi avistada.

Em 2004, a NASA pousa os *rovers* Spirit (Missão Mars Exploration Rovers A) e Opportunity (Missão Mars Exploration Rovers B) em Marte para realizar estudos mineralógicos e estudar a história do clima e da água do planeta. Ambos estiveram na ativa até 2010 e 2018, respectivamente. O Opportunity, inclusive, tem até hoje o marco da mais longa distância percorrida em outro planeta: o *rover* cobriu 45 quilômetros, enviando de volta à Terra mais de 200 mil fotografias. Ele também foi responsável pela descoberta de umidade na atmosfera marciana.

O Curiosity, *rover* semelhante aos *rovers* Spirit e Opportunity, entrou em operação na cratera Gale em 06 de agosto de 2012. Lançado pela missão *Mars Science Laboratory* (NASA) investiga o clima, a arqueologia¹⁹, a existência de vida e coleta dados para o envio de uma futura missão tripulada a Marte. Sendo o único veículo robótico operando atualmente na superfície do planeta, revolucionou o conhecimento sobre Marte, como por exemplo, que o Planeta Vermelho teve condições de abrigar vida microbiana em seu passado remoto, sendo que os dados recentes indicam que o planeta pode já ter tido água na suficiente para dar origem à vida como a conhecemos (Figura 8)

Figura 8: Cena capturada pelo Curiosity em 9 de setembro de 2015.



Fonte: NASA/JPL-Caltech – O círculo amarelo indica a localização de uma pedra do tamanho do Curiosity pela qual o rover passou recentemente. À esquerda está o “Passo de Paraitepuy”, pelo qual o Curiosity está passando no momento da captura da imagem.

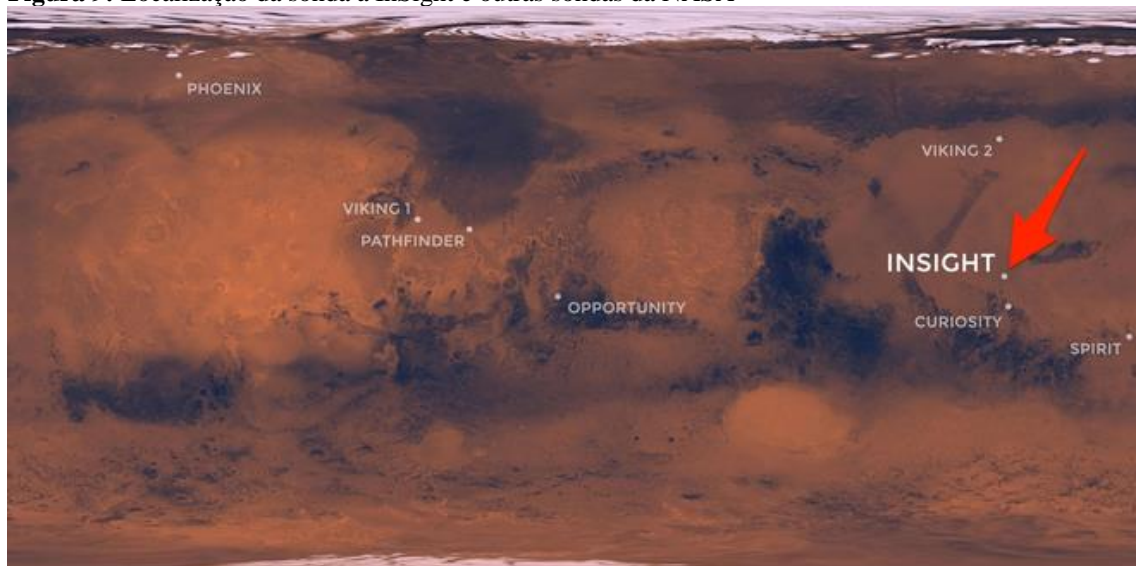
¹⁹ Estudo da composição da superfície, da crosta e do interior de Marte.

É oportuno salientar que a missão que levou o Curiosity até Marte, tem na sua equipe um brasileiro, o físico Ivair Gontijo. Há mais de dez anos, o físico fez parte do projeto que construiu os transmissores e receptores do radar utilizados para o pouso do *rover* na superfície. Ele também tem envolvimento com o *rover* Perseverance (missão Mars 2020), chegando ao seu destino em fevereiro de 2021 para buscar por bioassinaturas.

Em 2011 a Administração Espacial Nacional da China, lança a missão Yinghuo-1, marcando a primeira missão interplanetária da China, com o objetivo de estudar a atmosfera, a ionosfera e o campo magnético de Marte, mas a missão não teve sucesso. Em 2014, a Índia se torna o primeiro país asiático a explorar a órbita de Marte. A missão *Mars Orbiter Mission*, também conhecida como *Mangalyaan*, é uma missão da Organização Indiana de Pesquisa Espacial que objetiva testar tecnologias para a exploração interplanetária e usar cinco instrumentos científicos para estudar a atmosfera e o solo de Marte, a partir de sua órbita.

Em 2018, pela oitava vez na história humana, a NASA aterrissa uma nova sonda na superfície de Marte. A missão InSight (*Interior Exploration using Seismic Investigations, Geodesy and Heat Transport*) foi projetada para estudar o subsolo de Marte, sendo o primeiro explorador robótico a analisar em profundidade a crosta, o manto e núcleo do Planeta Vermelho (Figura 9).

Figura 9: Localização da sonda a InSight e outras sondas da NASA



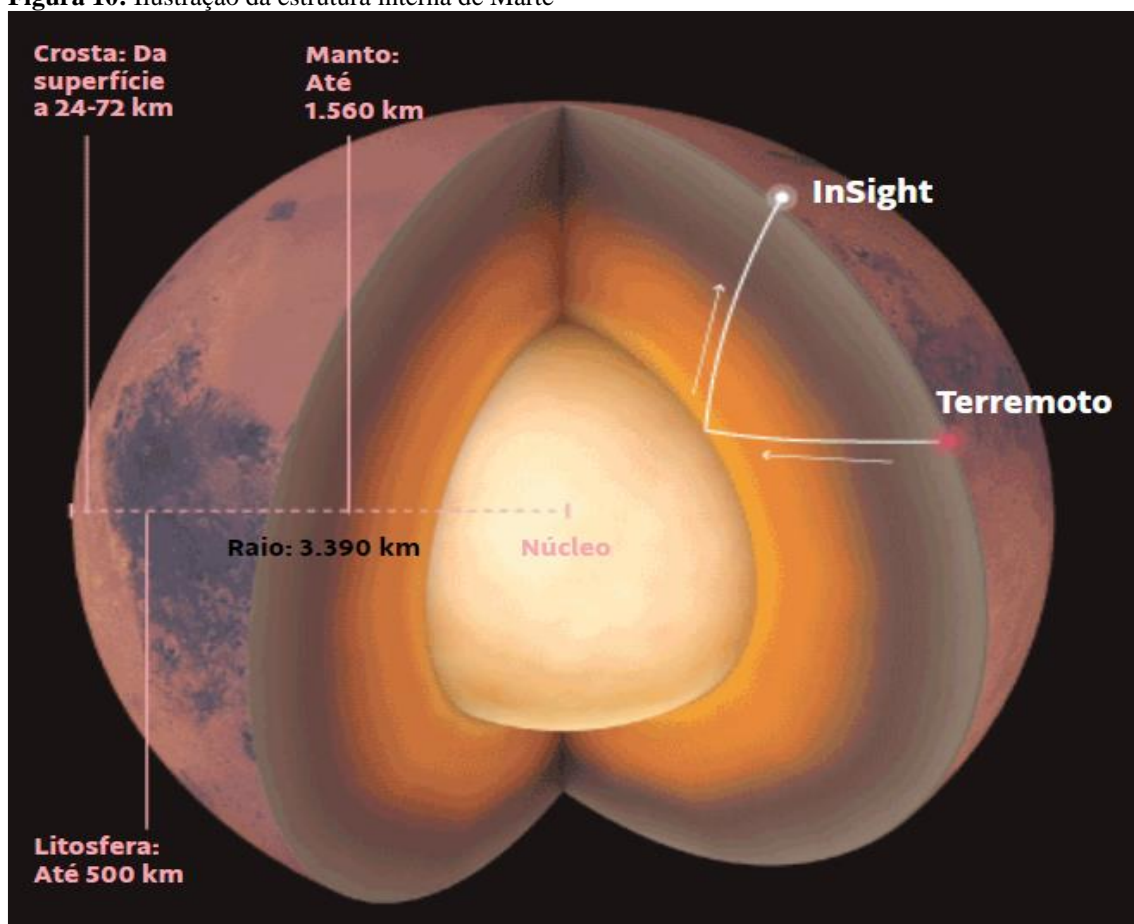
Fonte: NASA

Em comparação com os demais planetas terrestres, Marte não é muito grande nem tão pequeno. Isso significa que ele preserva o registro de sua formação e pode nos

fornecer evidências de como os planetas terrestres se formaram, constituindo um laboratório perfeito para se estudar a formação e evolução dos planetas rochosos do Sistema Solar. O InSight pode revelar o quão ativo geologicamente Marte pode ser. Nesse sentido, os primeiros resultados mostraram que o Planeta Vermelho é geologicamente ativo e repleto de “*marsquakes*” (abalos semelhantes aos terremotos que ocorrem no Planeta Terra).

Com a missão InSight e o sismógrafo ultrasensível (*Seismic Experiment for Interior Structure* – SEIS, desenvolvido pelo Instituto de Física Terrestre de Paris), instalado na sonda, a NASA divulgou detalhes do interior de Marte, através da interpretação da ocorrência de martemotos (terremotos, modestos não ultrapassando 4 pontos na escala Richter), mostrando a composição e o tamanho das camadas da estrutura interna do planeta – núcleo, manto e crosta (Figura 10).

Figura 10: Ilustração da estrutura interna de Marte



Fonte: NASA (2019) – Interpretação artística mostrando a estrutura interna de Marte. A camada superior constitui a crosta, abaixo dela o manto, que repousa sobre núcleo interno sólido. As ondas de choque viajam pelo interior de Marte antes de serem detectadas pelo sistema, carregando consigo, em razão de mudanças de velocidade de propagação e frequência, sinais dos tipos de material pelos quais transitam.

Marte possui um raio de cerca de 3.390 km e seu núcleo cerca de 1.830 km de raio, composto basicamente de ferro e níquel líquido. A densidade é relativamente baixa e, portanto, acredita-se que o núcleo pode ser abundante de elementos mais leves, como por exemplo, enxofre. A crosta possui uma espessura entre 24 e 72 km e, em contato com a crosta, está o manto com cerca de 1.560 km, composta de apenas uma camada rochosa, deferente da Terra que apresenta uma camada inferior e outra superior. Também descobriram que a litosfera de Marte é bastante espessa (entre 400 e 600 km) e pode explicar por que dificilmente se observa placas tectônicas em Marte.

Ainda, apesar da sonda InSight não ter instalado o seu termômetro adequadamente, o que ajudaria na coleta de dados sobre temperatura, o modelo sugere que a crosta deve ser de 13 a 21 vezes mais enriquecida de elementos radioativos geradores de calor do que o manto. Assim, com a conclusão dos primeiros resultados produzidos pela missão InSight, pela primeira vez foi possível comparar dois planetas rochosos do Sistema Solar – Terra e Marte. A missão foi estendida e continuará ativa até 2022, para maior coleta de dados e, conseqüentemente, aprimorar o modelo já idealizado.

Por fim, as missões da década de 2020 prometem revolucionar as descobertas no planeta vizinho. Lançada em 19/07/2020, a missão Hope Mars ou Emirates Mars é a primeira sonda árabe (Emirados Árabes Unidos) a orbitar Marte. Em órbita desde o dia 09/02/2021 seu objetivo é aprofundar o conhecimento científico e preencher lacunas sobre as características do clima e da atmosfera do Planeta Vermelho, fornecendo uma imagem global da atmosfera e suas camadas, bem como fornecer dados referente à perda de gases hidrogênio e oxigênio para o espaço.

Com a questão “perguntas celestiais”, a missão Tianwen-1²⁰ é a primeira missão espacial da agência chinesa CNSA (*China National Space Administration*). Lançada em 23/08/2020, entrou na órbita em 10/02/2021 e aterrissou seu *rover*, chamado Zhurong, na superfície de Marte em 14/05/2021, na região da Utopia Planitia, mesma área onde desceu a Viking 2 da NASA, em 1976. Entre os instrumentos acoplado ao *rover* Zhurong está um radar que pode detectar bolsões de água, abaixo da superfície. No planeta Terra, esses bolsões podem hospedar comunidades microbianas

²⁰ Em meados de setembro de 2021 as atividades da sonda Tianwen-1 (orbital e rover) foram suspensas, ficando inativa por cerca de 2 meses, devido a um alinhamento entre Marte, a Terra e o Sol, cujo efeito traz grande volume de radiação eletromagnética, causando interrupções e problemas no sistema de comunicação entre as sondas e a Terra. Fonte: Jornal estatal People Daily <http://portuguese.people.com.cn/n3/2021/1006/c309812-9904065.html>

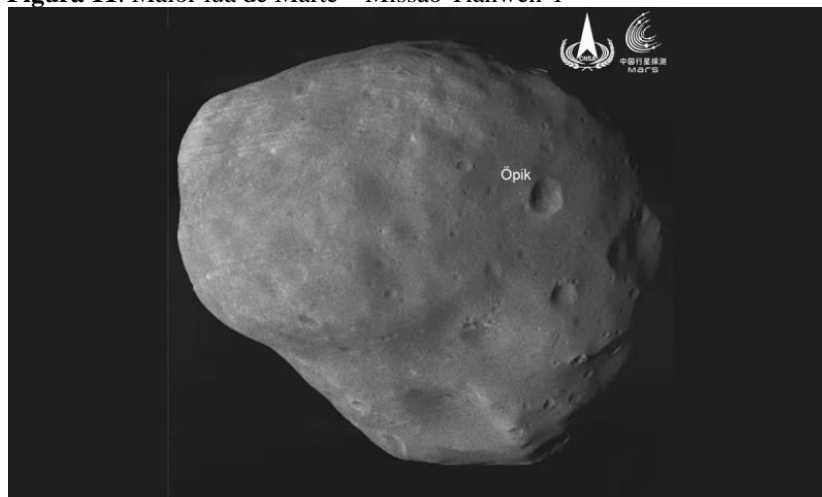
prósperas, deste modo, detectá-los em Marte seria um passo importante na busca por vida em outro planeta.

Sabe-se que atualmente não existe água na superfície de Marte, mas vestígios mostram que já existiu, constatado pela observação de cânions secos e canais fluviais vistos da órbita, bem como pela presença de minerais na superfície que só se formam em água líquida. Cerca de 3 bilhões de anos atrás, algo aconteceu com a atmosfera de Marte, e a maior parte da água líquida evaporou. Mas parte dela ainda pode estar no subsolo, protegido da radiação solar nociva que bombardeia a superfície do planeta. Poderiam aqueles antigos bolsões de água conter vida?

Assim, o *rover*, deve analisar as características do solo do Planeta Vermelho, utilizando o radar de exploração subterrânea para analisar a composição do material em superfície e as características do clima. Já o orbital da missão, além de estabelecer a comunicação com o *rover*, se encarregará de mapear a morfologia e a estrutura geológica e, ainda, coletar dados da ionosfera e dos campos eletromagnético e gravitacional.

Para fechar os eventos publicados da missão chinesa “perguntas celestiais” - missão Tianwen-1 nesse capítulo, segue imagem incrível da lua marciana, Fobos, considerada o maior e mais próximo satélite natural de Marte (Figura 11). Devido à qualidade da imagem (50 metros/pixel) é possível identificar estrias e crateras causadas por impactos, como a Cratera Öpik (2 km de diâmetro), assim denominada em homenagem ao astrônomo e astrofísico germano-báltico estoniano Ernst Öpik (Observatório Armagh – Irlanda do Norte) que quantificou o número de crateras em Marte, antes mesmo delas serem detectadas por sondas espaciais.

Figura 11: Maior lua de Marte – Missão Tianwen-1



Fonte: China National Space Administration (CNSA, 2022).

Finalmente, a missão Mars 2020! Lançada em 30/07/2020 pela NASA, a missão aproveitou a posição ideal de alinhamento planetário, entre o planeta Terra e Marte, para mais uma ambiciosa exploração científica, considerada a maior e mais complexa missão para o planeta vizinho, composta de um *rover* (*Perseverance*) e um helicóptero (*Ingenuity*), para testar a possibilidade de voar em Marte.

O fato foi revolucionário, pois a partir do uso de helicóptero, neste caso o *Ingenuity* que já está em funcionamento, não será mais necessário percorrer quilômetros em superfície, mas sim voar até os alvos de interesse e, ainda, ajudará a planejar melhor as possíveis rotas para os futuros *rovers*. O *Ingenuity* foi projetado para sobrevoar a superfície de Marte a uma altitude de 3 metros durante 30 s, mas no segundo voo alcançou altitude de 10 metros e no sexto voo esteve no ar 139,9 s e, segue batendo recordes em altitude, velocidade e distância percorrida.

O *Perseverance* (*Percy*) é o quinto *rover* marciano da NASA, baseado nas configurações do *rover* *Curiosity* de 2012, e que tem como objetivo investigar a astrobiologia e a história geológica de Marte, incluindo a possibilidade de o planeta ter sido habitável no passado. A missão também prevê aquisição de informações e desenvolvimento de tecnologias que poderão ser usadas futuramente para expedições humanas para Marte.

Após a descida arriscada, chamada de “7 minutos de terror” o *rover* *Perseverance* pousou com sucesso na cratera Jazero, em 18 de fevereiro de 2021, e tem registrado muitas imagens, vídeos e sons detalhados sobre a história de Marte, sobretudo amostras de solo que deverão ser recolhidas e transportadas para a Terra para análise, caracterizando uma missão pioneira.

Como já mencionado, a Missão Mars 2020 é uma das mais complexas e ambiciosas. Está equipada com aparelhos científicos diferentes dos demais enviados para Marte e serão cruciais para o avanço das pesquisas no Planeta Vermelho. Missões anteriores trazem evidências da presença de água corrente em Marte, antes de se tornar um deserto gelado e, as descobertas também apontam a remota existência de ambientes quentes suficientes para sustentar vida microbiana. Nesse sentido, o *Perseverance* é fundamental para responder as questões sobre astrobiologia, a existência de sinais (ou bioassinaturas) de vida microbiana passada em Marte.

Em síntese, a Missão Mars-2020 busca coletar dados sobre a geologia e o clima, investigar sinais de vida antiga em Marte e estudar com detalhes a cratera Jazero, local de grande potencial para novas descobertas. Ainda, a missão se constitui como a

primeira etapa de uma viagem de ida e volta a Marte, além da realização de testes de condições de voo em Marte (Quadro 5).

Quadro 5: Objetivos e principais avanços da Missão Mars 2020 em relação as missões anteriores.

<p>Sinais de Vida antiga</p>	<p>Missões anteriores da NASA descobriram evidências de água corrente em Marte, antes se tornar um deserto gelado. No início de sua história, Marte tinha ambientes mais quentes na superfície que poderiam ter sustentado vida microbiana. Assim, o objetivo do Perseverance é buscar resposta da astrobiologia e confirmar sinais (ou bioassinaturas) de vida microbiana passada em Marte. Porém, isso requer distintos instrumentos, onde dois em particular desempenharão um papel fundamental na busca de sinais potenciais de vidas passadas: SHERLOC (abreviação de <i>Scanning Habitable Environments with Raman & Luminescence for Organics & Chemicals</i>), que pode detectar matéria orgânica e minerais, e PIXL (abreviação de <i>Planetary Instruments</i>, para litoquímica de raios-X), que mapeia a composição química de rochas e sedimentos. Ainda, o Perseverance é capaz de usar alguns instrumentos para coletar dados à distância: as câmaras do Mastcam-Z podem fazer zoom em texturas de rochas de lugares tão distantes quanto um campo de futebol, enquanto o SuperCam usa um laser para destruir rocha e regolito para estudar sua composição no vapor resultante. O RIMFAX (abreviação de <i>Radar Imager for Mars 'Subsurface Experiment</i>) usa ondas de radar para sondar características geológicas subterrâneas</p>
<p>Cratera Jezero</p>	<p>O local escolhido para pousar o <i>rover</i> é de difícil "amartagem" (aterrizagem), mas as novas tecnologias permitiram um pouso com maior precisão, segurança e autonomia, aterrando num intrigante delta de rio antigo com penhascos íngremes, dunas de areia e campos de pedras. A cratera de Jezero é uma bacia de 45 quilômetros de largura localizada no hemisfério norte de Marte. Há cerca de 3,5 mil milhões de anos, um rio fluiu para um corpo de água do tamanho do Lago Tahoe/Nevada, depositando sedimentos em forma de leque conhecido como delta. A equipe científica do Perseverance acredita que este antigo delta de rio e depósitos de lagos podem ter colecionado e preservado moléculas orgânicas e outros sinais potenciais de vida microbiana.</p>
<p>Coleta de dados sobre a geologia e o clima</p>	<p>As sondas em órbita de Marte têm reunido imagens e dados da cratera de Jezero a mais de 300 quilômetros de distância, mas encontrar sinais de vida antiga na superfície requer uma inspeção muito mais detalhada. Para isso precisa estar no solo. Compreender as condições climáticas anteriores de Marte e ler a história geológica registrada em rochas dará uma noção mais rica de como era Marte em seu passado remoto. Estudar a geologia e o clima do Planeta Vermelho também pode dar uma noção das razões por que a Terra e Marte - apesar de algumas semelhanças iniciais - acabaram tão diferentes.</p>
<p>Capacidade de superar desafios</p>	<p>A missão é arriscada e a NASA sublinha que não foi fácil fazer a sua preparação durante uma pandemia, mas que procurar sinais de vida antiga, recolher amostras e testar novas tecnologias não são feitos fáceis. Nem é um toque suave em Marte: apenas cerca de 50% das tentativas de chegar ao solo marciano, por qualquer agência espacial, foram bem-sucedidas.</p>
<p>Primeira fase de uma viagem de ida e volta a Marte</p>	<p>O Perseverance é o primeiro <i>rover</i> com um sistema que recolhe e empacota amostras para trazer de volta à Terra numa missão futura. Em vez de pulverizar a rocha como a broca da Curiosity, a broca da Perseverance cortará núcleos de rocha intactos do tamanho de bastonetes de giz e os colocará em tubos de amostra que ficarão armazenados até serem "resgatados" ou o <i>rover</i> entregará as amostras a</p>

	<p>uma sonda que faz parte da campanha planejada de devolução de amostras de Marte pela NASA e pela ESA (Agência Espacial Europeia).</p>
<p>Os instrumentos e tecnologia que ajudarão a preparar o caminho para futuras missões humanas à Lua e Marte</p>	<p>Como parte do sistema de pouso da nave espacial, a Navegação Relativa ao Terreno é a principal razão pela qual o Perseverance pode explorar um lugar como a Cratera de Jezero. É ele que permite que a nave compreenda de forma rápida e autônoma sua localização sobre a superfície e modifique sua trajetória no momento de "amartagem". O Perseverance também tem mais autonomia na superfície do que qualquer outro rover, incluindo inteligência autônoma que lhe permite cobrir mais terreno nas operações de um dia com menos instruções de engenheiros na Terra. Essa capacidade de avanço rápido (cortesia de sensores, computadores e algoritmos atualizados) pode se traduzir em mais capacidade científica ao longo da missão. Além disso, tornará a exploração da Lua, de Marte e de outros corpos celestes mais eficiente para outros veículos. O Perseverance vai também testar novas tecnologias, como o MOXIE, que testará a produção de oxigênio da atmosfera, demonstrando a forma como futuros exploradores podem produzir oxigênio para propelente de foguete, bem como para a respiração. Ainda, outros dois instrumentos ajudarão os engenheiros a projetar sistemas para que futuros exploradores humanos pousem e sobrevivam em Marte: O pacote MEDLI2 (<i>Mars Entry, Descent e Landing Instrumentation 2</i>) é uma versão de próxima geração do que voou na missão do Mars Science Laboratory o rover Curiosity, enquanto o conjunto de instrumentos MEDA (<i>Mars Environmental Dynamics Analyzer</i>) fornece informações sobre tempo, clima e radiação ultravioleta e poeira de superfície.</p>
<p>Teste de condições de voo em Marte</p>	<p>As principais descobertas sobre Marte foram feitas por sondas em órbita, ou por robots no solo, mas a bordo do Perseverance, guardado na sua "barriga", seguiu uma outra experiência da NASA, o Ingenuity, um pequeno veículo que testou a possibilidade de voar em Marte e recolheu dados sobre o comportamento de uma aeronave noutro planeta. A tarefa não se antevia fácil: a atmosfera fina de Marte dificulta a sustentação de qualquer objeto. Como a atmosfera do planeta vermelho é 99% menos densa que a da Terra, o Ingenuity precisava ser leve, com pás de rotor muito maiores e que giram muito mais rápido do que seria necessário para um helicóptero com a mesma massa na Terra. O frio foi outro obstáculo a ser enfrentado pelas do Ingenuity, uma vez que a cratera de Jezero, onde o rover Perseverance está, pode atingir temperaturas de 130 graus Fahrenheit negativos (-90°C) durante a noite. O mini-helicóptero pesa 1,8 kg e é composto por quatro pés, um corpo e duas hélices sobrepostas, medindo 1,2m de envergadura. As hélices giram a uma velocidade de 2.400 rpm, cerca de cinco vezes mais rápido do que um helicóptero normal. Para recarregar as baterias, o Ingenuity está equipado com painéis solares, sendo grande parte da sua energia utilizada para se manter quente em temperatura negativa.</p>
<p>A missão mais equipada para registrar imagens e sons, desde a entrada até o pouso.</p>	<p>São 19 câmeras no próprio rover e quatro em outras partes da nave para registara imagem (brutas e processadas) e sons na entrada, na descida e no pouso. Pela primeira vez foi possível experimentar em alta definição como é pousar em Marte, através de um microfone fixado na lateral do rover. Outro microfone está auxiliando a entender as propriedades das rochas e a ouvir o vento.</p>

Fonte: Caçador (2021)

Por fim, com objetivo de pousar o rover em local com alto potencial para encontrar material orgânico bem preservado para estudar as propriedades físicas e

químicas das amostras, principalmente do subsolo (cerca de 2 m de profundidade), a Missão ExoMars – 2022 faz parte da missão *ExoMars Trace Gas Orbiter* (cooperação entre ESA e Roscosmos, 2016) deveria ter enviado o *rover* Rosalind Franklin a Marte, em setembro de 2022, utilizando um foguete da Roscosmos (agência espacial russa), mas a missão foi suspensa em consequência da guerra entre Rússia e Ucrânia. Dados desta missão seriam relevantes para o avanço sobre a descoberta de vida em Marte, pois as amostras subterrâneas tendem a conter biomarcadores, visto que a tênue atmosfera de Marte possui baixa proteção contra radiação e fotoquímica na superfície.

Em setembro do corrente ano a Nasa divulgou ter encontrado matéria orgânica em amostras de rocha, coletadas em antigo delta de um rio na cratera Jezero. Como mencionado anteriormente, o principal objetivo da Missão Mars 2020 é encontrar sinais de vida antiga em Marte e, com a notícia divulgada nessa semana, isso parece estar mais próximo de se concretizar. Algumas das amostras coletadas recentemente, pelo *rover* Perseverance, contém matéria orgânica, indicando que a Cratera Jezero, que provavelmente já abrigou um lago e o delta que desaguava nele, tinha ambientes potencialmente habitáveis há 3,5 bilhões de anos. “As rochas que estamos investigando no delta têm a maior concentração de matéria orgânica que já encontramos na missão”, disse Ken Farley, em entrevista à CNN-World, cientista do projeto Perseverance do Instituto de Tecnologia da Califórnia/Pasadena.

5.2 A Geografia e a Caracterização Física do Planeta Vermelho

De maneira simplificada, Marte é expressivamente distinto da Terra em muitos aspectos. Seu ambiente inóspito, frio, seco, pouca umidade e água (na forma de gelo ou vapor), precipitação e a atmosfera pouco espessa, torna-o inabitável. Entretanto, há aspectos similares, como por exemplo, a já mencionada e detalhada recentemente, estrutura interna de Marte, a presença de uma atmosfera, gelo polar, mudanças sazonais e de padrão climático.

As morfologias superficiais observadas atualmente nos planetas telúricos são resultantes de eventos que ocorreram no passado e para melhor compreendê-las foram criadas classificações a partir dos processos que as originaram e suas formas resultantes (NEVES, 2016). Assim, as estruturas observadas em Marte foram geradas por processos endógenos, exógenos e exóticos (UCHUPI & EMMRY, 1993 apud CORREIA, 2002):

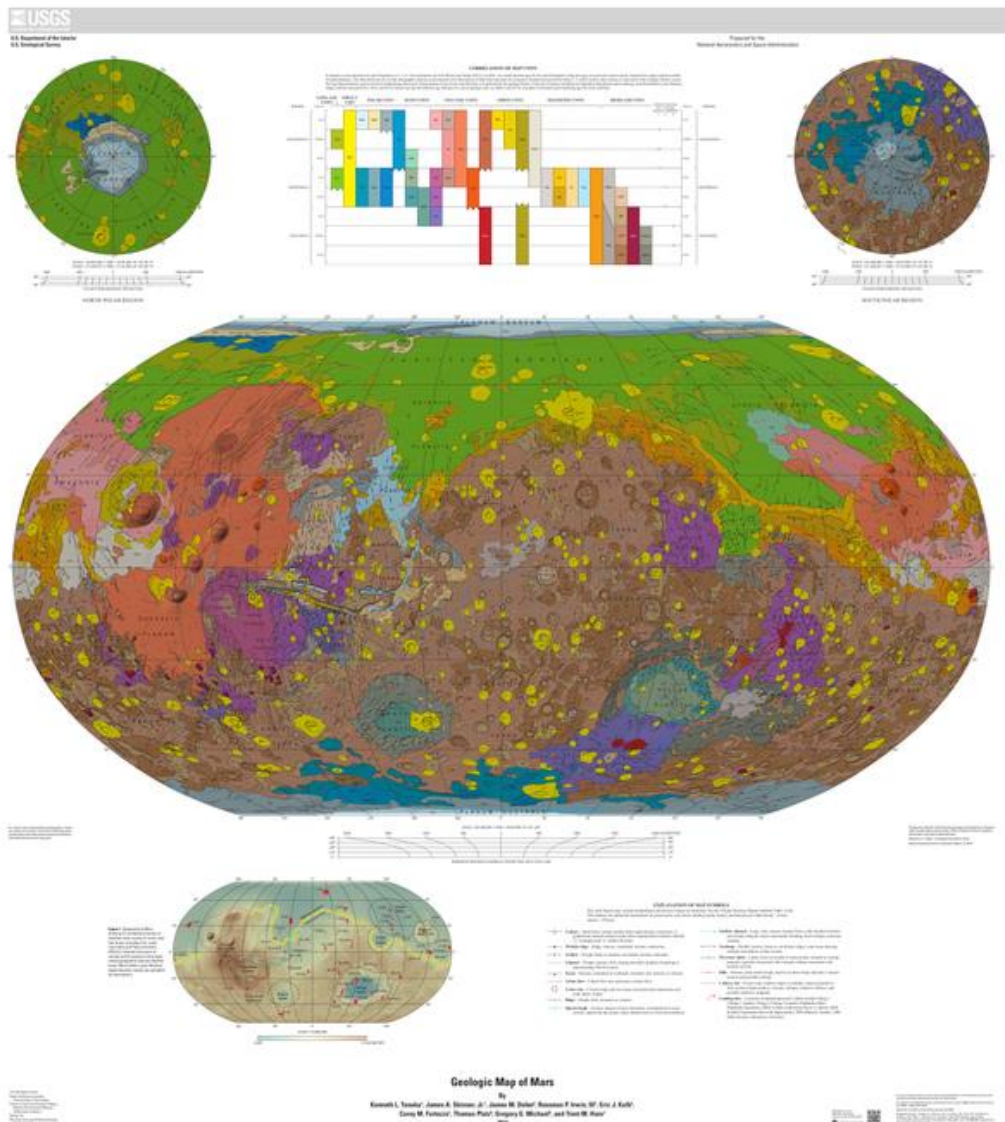
As morfologias dos planetas telúricos podem ser agrupadas em três categorias principais de acordo com os processos responsáveis pela sua

gênese, em morfologias endógenas, exógenas e exóticas²¹ (Uchupi e Emery 1993). As morfologias endógenas são devidas à acção das forças internas do planeta (tectonismo, plutonismo e vulcanismo), as exógenas são aquelas que derivam da acção dos agentes externos, como por exemplo, factores climáticos, erosão, transporte e deposição à superfície, e as exóticas resultam do bombardeamento por meteoróides e cometas. Estes três processos geradores de morfologias podem ter actuado em conjunto num mesmo corpo planetário (Uchupi e Emery 1993, Freedman e Kaufmann 1998). (CORREIA, 2002, p. 43).

Publicado recentemente, o mapa geológico global de Marte (Figura 12) registra a distribuição de unidades geológicas e formas de relevo na superfície do planeta, foi baseado em variedade, qualidade e quantidade sem precedentes de dados de sensoriamento remoto adquiridos desde os Viking Orbiters. Esses dados forneceram observações morfológicas, topográficas, espectrais, termofísicas, de radar e outras observações para integração, análise e interpretação em apoio ao mapeamento geológico. Em particular, o mapeamento topográfico preciso permitiu um retrato morfológico consistente da superfície para mapeamento global (enquanto as bases de imagens de alcance visual usadas anteriormente eram menos eficazes, porque combinavam informações morfológicas e de albedo e, localmente, neblina atmosférica). Além disso, as bases de imagens de infravermelho termal usadas para este mapa tendem a ser menos afetadas pela neblina atmosférica e, portanto, são confiáveis para a análise da morfologia e textura da superfície, em resolução ainda maior do que os produtos topográficos (TANAKA et al, 2014).

²¹ As morfologias exóticas representam a continuação dos processos responsáveis pela formação dos planetas e satélites. O impacto de grandes meteoróides provocaram o incremento da massa no corpo impactado e alterações das morfologias exóticas da superfície. As características dos terrenos exóticos, em qualquer corpo, são controladas pela existência de atmosfera, densidade e composição do corpo que sofreu o impacto (Uchupi e Emery 1993, Encrenaz et ai. 1995). Os registos das morfologias exóticas antigas podem ter sido parcialmente perdidos devido a processos vulcânicos ou tectónicos. Como resultado, a área total com morfologias exóticas nos planetas telúricos, é em média, de 14%, sendo menor que 1% em Vénus e na Terra e até 84% na Lua (tabela 3.5) (Uchupi e Emery 1993). De um modo geral, é esperado que os corpos maiores tenham menor percentagem de formas exóticas devido à posterior obliteração por processos endógenos e exógenos (CORREIA, 2002 p. 43).

Figura 12: Mapa Geológico de Marte



Fonte: Tanaka et al (2014) –
URL: <https://pubs.usgs.gov/sim/3292/>

De acordo com Betard & Peulvast (2019), no mapa geológico de Marte estão representadas as principais características estruturais da superfície planetária: grandes bacias de impacto (por exemplo, Bacia de Hellas), províncias e cadeias vulcânicas (por exemplo, Tharsis Montes) e sistemas de cânions controlados tectonicamente (por exemplo, Valles Marineris).

A partir de imagens é possível caracterizar sistemas de cânions de grande escala controlados por deslizamento e falhas normais (Valles Marineris, Marte) (Figura 13A). Ainda, há uma diversidade de vulcões e estruturas vulcânicas maiores, vulcões em escudo de 500 a 600 km de largura (Olympus Mons, Mars), bem como formas vulcânicas menores e características como estratovulcões e cones de cinzas com fluxos

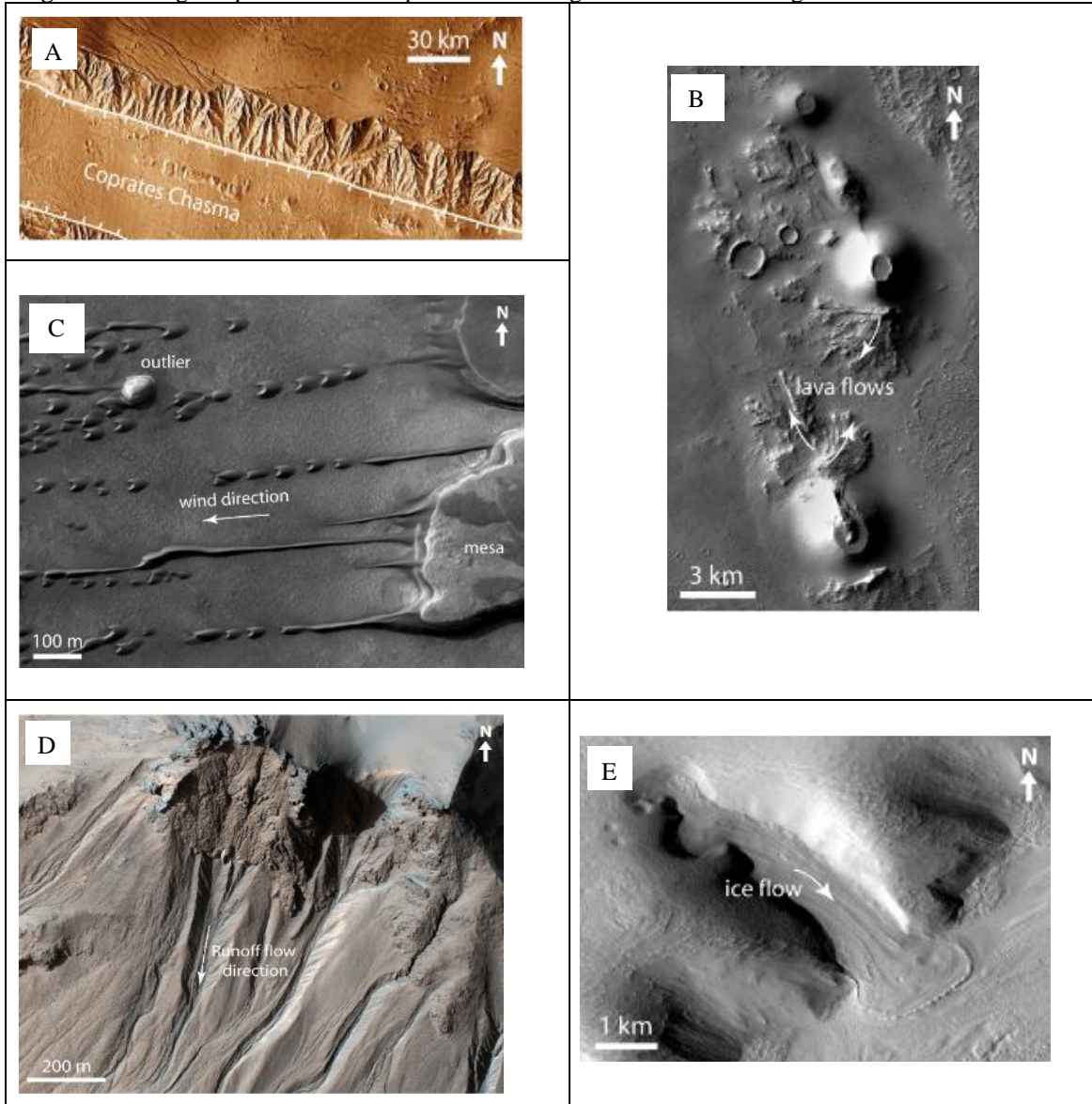
de lava associados (Biblis Patera, Marte) (Figura 13B). Também, um conjunto de processos de perda de massa e formas de relevo gravitacionais, a maioria dos quais foram observados nas altas escarpas e bordas de crateras de Marte (Figura 13A, D). (BETARD & PEULVAST, 2019).

Igualmente, há uma variabilidade de formas e processos fluviais (BAKER et al., 2015; BETARD & PEULVAST, 2019): evidências morfológicas de fluxos canalizados antigos (sistemas fluviais dendríticos e redes de vales associados, canais trançados, deltas e leques aluviais, sistemas de voçorocas) que ocorrem principalmente nas superfícies de Marte e Titã, onde os fluxos de fluido não são lavas vulcânicas (água para Marte; metano para Titã²²) (Figura 13D).

Além disso há uma variedade de processos relacionado aos sistemas eólicos, com uma multiplicidade de dunas, características de erosão eólica e depósitos eólicos em campos e sistemas de dunas, com distintas morfologias já descritas, por Greeley e Iversen, 1987; Bourke et al., 2010; Rodrigues et al., 2014, em Marte (Figura 13C), Vênus e Titã (BETARD & PEULVAST, 2019).

²² Titã é um dos satélites do Planeta Saturno, é uma das 62 luas que orbitam Saturno. Ela é a segunda maior lua do Sistema Solar (a maior é Ganimedes, lua de Júpiter). É uma lua gelada, em comparação à Terra, pois sua superfície possui temperatura média de -180°C.

Figura 13: Imagens que caracterizam processos Geológico e/ou Geomorfológico em Marte



A: Coprates Chasma (grande Cânion), um grande *graben* delimitado por escarpas altas de falhas normais, como parte do sistema de desfiladeiros Valles Marineris, Marte (imagem infravermelha THEMIS, Mars Odyssey); observe os contornos recortados da crista da escarpa da falha, afetada por voçorocas e grandes deslizamentos de terra com quedas de pedregulhos provavelmente desencadeadas por atividade sismotectônica.

B: Campo de cone de cinzas e fluxos de lava associados perto de Biblis Patera, Marte (imagem CTX, Mars Reconnaissance Orbiter); observe que a associação de cones de cinzas e fluxos de lava raramente é observada em Marte, o que é um fator de alta exogeodiversidade extrínseca.

C: Barcanas e dunas lineares de sota-vento em forma de platôs em camadas na região de Hellespontus, Marte (imagem HiRISE); observe a quebra das dunas retilíneas de sota-vento em barcanas com a distância da obstrução do fluxo, os ventos soprando de oeste para leste.

D: Sistema quase paralelo de ravinas na borda interna da Cratera Hale, Marte (imagem de cor falsa HiRISE); observe que o material grosseiro da borda do aro sugere uma alta disposição a fluxos de detritos.

E: Geleira de vale coberto de detritos alimentado de uma alcova semelhante a um circo na região de Protonilus Mensae, Marte (imagem CTX, Mars Reconnaissance Orbiter); observe as aparentes linhas paralelas de fluxo e o cume em forma de morena que delimita a frente da geleira. Créditos da imagem: Cortesia NASA/JPL/Universidade do Arizona.

Fonte: Adaptada de Betard & Peulvast (2019)

Ainda conforme Betard & Peulvast (2019), o Planeta Vermelho apresenta um conjunto complexo de paisagens glaciais e periglaciais, isto é, formas de relevo, bastante estudadas. As investigações incluem duas calotas de gelo permanentes dos polos de Marte, geleiras montanhosas de alta latitude, baseadas em frio (Head e Marchant, 2003), bem como montanhas tropicais de altitude (FASTOOK et al., 2008), geleiras de vales cobertas de detritos e seus cumes e depósitos semelhantes a morenas (Figura 13E). Traços de antigas glaciações em Marte também são representados por uma variedade de formas de relevo glaciais típicas (vales em forma de U e suspensos, circos glaciais) (KARGEL e STROM, 1992; CONWAY et al., 2018; BOUQUETY et al., 2019).

Em relação à geocronologia de Marte, esta é ainda bastante imprecisa por ter sido estabelecida pela distribuição e densidade do número de crateras de impacto na superfície marciana, combinado com estudos de meteoritos para definir a história cronológica de Marte, ou seja, os terrenos mais antigos têm maior número de crateras, são maiores e mais degradadas que as superfícies mais jovens. Embora o método para estabelecer as idades seja relativamente impreciso, permite datações relativas dos acontecimentos ocorridos na superfície. Assim, a escala temporal para os acontecimentos geológico de Marte pode ser definida basicamente em três períodos, designados de acordo com a região, onde o período foi caracterizado, acrescido de um período Pré-Noachiano (Quadro 6).

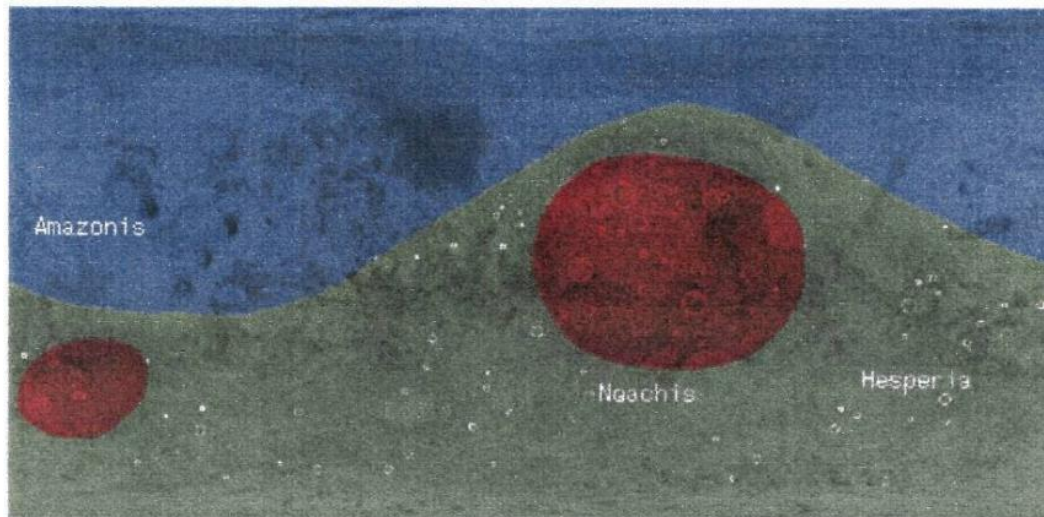
Quadro 6: Escala Geocronológica de Marte

Período Pré Noachiano 4,5 Ga Região Noachis Terra – Hemisfério Sul
Este período é marcado pelo intenso bombardeamento de meteoros e asteroides, sendo responsável pela formação da maioria das crateras, bacias e falhas. Caracterizando o início do vulcanismo – Tyrhena. Corresponde as superfícies mais antigas que envolvem materiais primordiais degradados por vários processos, incluindo formação de megaregolito e cimentação de detritos. Pequenas crateras foram perdidas por esses processos, constatação observada pela distribuição de morfologia de crateras. As taxas de perda de crateras e de sobrevivência, são estimadas como uma medida da taxa média de atividade deposição/erosão.
Período Noachiano 4.5 - 3.3 Ga Região Noachis Terra - Hemisfério Sul
Entre 4100 milhões e 3500 milhões de anos. Superfícies desse período são marcadas inúmeras grandes crateras de impacto. Ainda representam as formações mais antigas da superfície de Marte. Destaca-se ainda que os períodos Noachianos representam idades estabelecidas com maior rigor por terem sido correlacionadas a amostras de rochas coletadas na Lua, recolhidas pelas missões Apolo de terrenos com taxa de impacto semelhantes aos de Noachis Terra
Período Hesperiano 3,3 Ga – 1Ga Região Hesperia Planum - Hemisfério Sul
Estima-se que a fronteira Hesperiana/Amazônica seja de cerca de 2,9 a 3,3 Gyr, mas com menos probabilidade pode variar de 2,0 a 3,4 Gyr. As datas de meia-idade são menos restritas devido às incertezas na taxa de crateras. A comparação de nossas idades estabelecidas por Hartmann & Neukun

(2001) com dados de recapeamento de Tanaka et al. (1987) dá uma forte indicação de que as taxas de recapeamento vulcânico, fluvial e periglacial foram muito mais altas em aproximadamente o primeiro terço da história marciana. Comparados com as formações Noarchianas, consistem em planícies com menos crateras, possivelmente de origem vulcânica. São superfícies que se pertencem a este sistema são: superfícies de deflação eólica, terrenos caóticos e a fase principal de vulcanismo - Elysium.

Período Amazônico 2,9 Ga
Região Amazonis Planitia – zona equatorial de transição

Entre 2900 milhões e 3300 milhões de anos até o presente. Regiões amazônicas têm poucas crateras de impacto. Mais longo período da história geológica marciana e apresenta extensas planícies de origem vulcânica, bem como formações de origem eólica e fluvial. Acredita-se que o Monte Olimpo se formou durante este período, com fluxos de lava em outros lugares de Marte. Associado a este período se tem os planaltos vulcânicos – Tharsis, sistemas fluviais e os terrenos das calotas polares.



Mapa da superfície de Marte que define a idade dos terrenos sendo o sistema Noachiano a vermelho, o Hesperiano a verde e o Amazoniano a azul

Fonte: Tanaka (1986); Hartmann & Neukum (2001); Correia (2002)

5.2.1 A Cartografia de Marte

Em relação a sua cartografia, o Planeta Vermelho, com exceção da Lua, foi o primeiro alvo extraterreno a ser cartografado. Mesmo com limitações, Christian Huygens, já em 1659, esboçou a primeira representação considerada válida de Marte. Huygens descreveu uma superfície com duas manchas escuras, uma no pólo Sul (possivelmente uma calota polar) e outra na região equatorial e parte do hemisfério norte que corresponde à região de Syrtis Major (PEREIRA, 2007).

No século XIX o uso de telescópios fez com o levantamento topográfico fosse melhorado, pela diferença do albedo. Dessa maneira, basicamente os mapas representavam regiões escuras, denominadas mares e, zonas claras, continentes. A época, também foram feitas as primeiras tentativas para estabelecer uma grelha de coordenadas geográficas e, em 1840, os alemães Wilhem Beer e Johann Mädler,

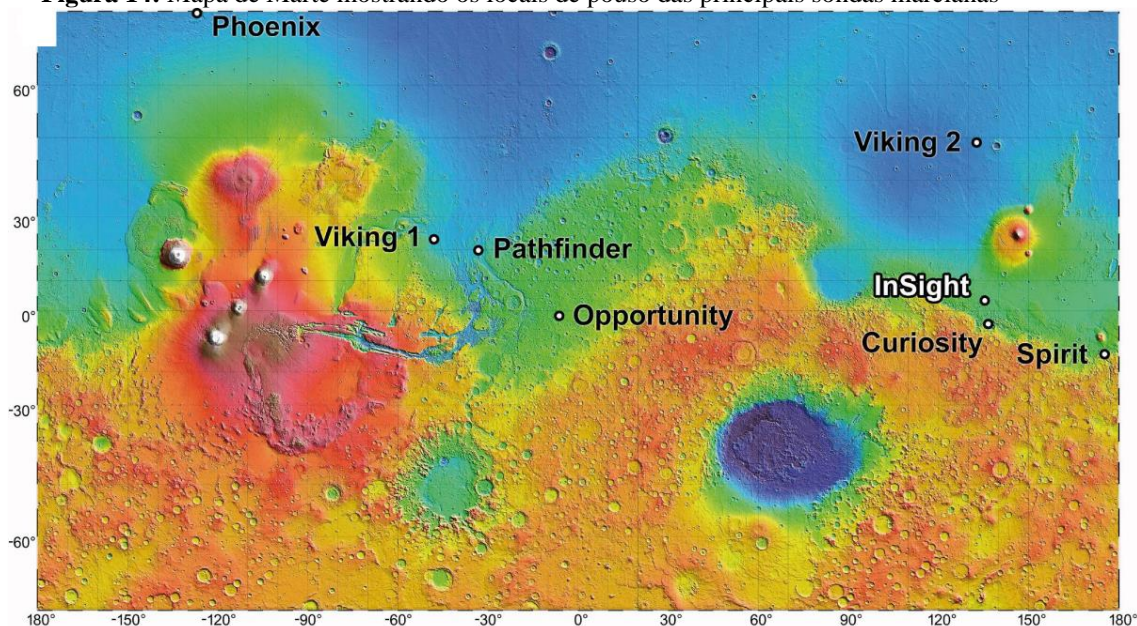
constituíram um sistema de latitude e longitude análogo ao usado na cartografia do Planeta Terra (*idem*).

Mas o primeiro mapa detalhado da superfície de Marte e, associado a uma nomenclatura que passou a servir de base aos mapas subsequentes, foi elaborado pelo astrônomo Giovanni Schiaparelli, que observou Marte, entre 1877 e 1881, quando o planeta se encontrava relativamente mais próximo da Terra. Embora Schiaparelli tenha cometido os mesmos erros dos seus antecessores ao representar mares e continentes, os nomes conferidos às regiões com base na mitologia permaneceram. Schiaparelli também foi responsável pelas primeiras inferências sobre a ideia da existência de canais (*canali*) na superfície do Planeta Vermelho, por onde correria a água e, ainda, que poderia ter origem artificial, fato superado com os avanços das missões espaciais (*Ibidem*).

A chegada das primeiras sondas espaciais em Marte, em 1965, deu-se início a uma sucessão de missões que culminaram nas atuais descobertas e mapas detalhados. A cartografia, a topografia e características sobre a superfície do planeta vermelho foram sendo reveladas com precisão, ao longo de 60 anos de missões espaciais.

Conforme, Betard & Peulvast (2019), as primeiras imagens capturadas na superfície marciana foram enviadas em 1976, pelas sondas Viking I e II, de locais que haviam sido escolhidos em imagens de baixa resolução fornecidas pelo orbitador Mariner 9. Após o fim de uma grande e inesperada tempestade de poeira, em 1972, as imagens da Mariner 9 revelaram as principais características do planeta, como as distintas formações de terrenos altamente craterados do hemisfério sul e as planícies do hemisfério norte, bem como a presença de grandes vulcões e canyons do Valles Marineris. Os locais de desembarque Viking I e II foram respectivamente Chryse Planitia, na foz do grande complexo de canais de escoamento que corta a parte oriental do planalto de Tharsis, e Utopia Planitia, ambos no hemisfério norte (Figura 14), revelando paisagens desérticas e uma superfície rochosa coberta parcialmente por pequenas dunas.

Figura 14: Mapa de Marte mostrando os locais de pouso das principais sondas marcianas



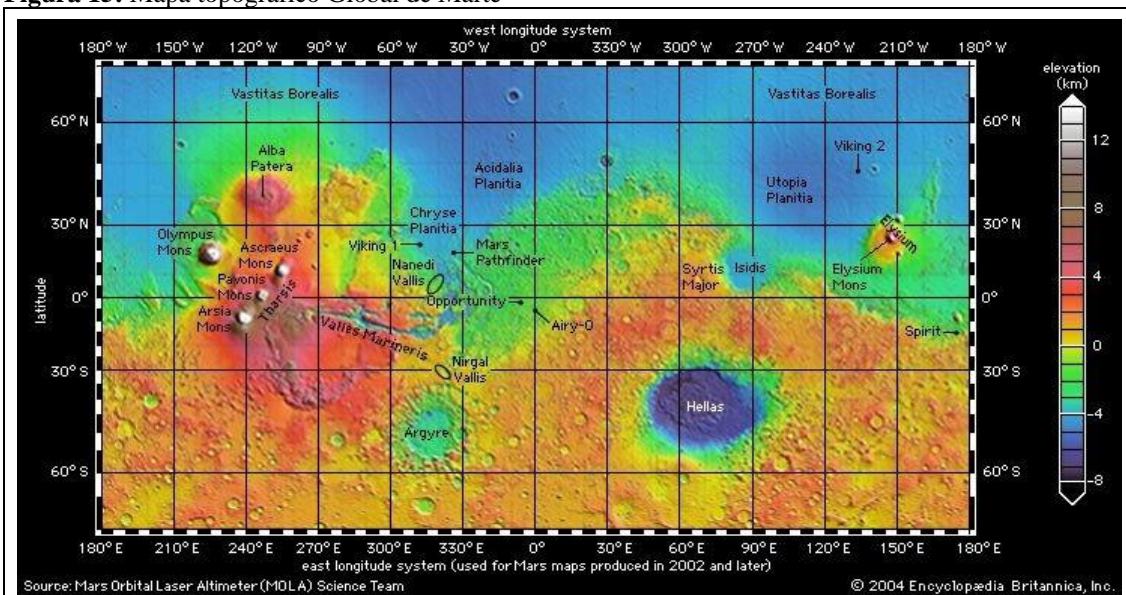
Fonte: Topografia global do MOLA DTM (Mars Orbiter Laser Altimeter – Color Shaded Relief). Imagem NASA/JPL-Caltech/ GSFC

O mapeamento global (baseado em 25.000 imagens), resultante das missões Viking, permaneceu único durante 20 anos, até as missões Mars Global Surveyor (1996), Mars Odyssey (2001) e Mars Express (2003), constituindo a base para o conhecimento da geologia, da geomorfologia e de outras características físicas de Marte, com fotomosaico da superfície, usando a projeção de Mercator e a elaboração de mapas topográficos regionais²³ (BETARD & PEULVAST, 2019).

Dessa maneira, uma visão geral relativamente completa do Planeta Vermelho, já havia sido realizada ainda no início dos anos 2000, servindo de base para as seguintes missões, incluindo imagens multiespectrais, altimetria e mapeamento de alta resolução (as imagens MOC, THEMIS e HRSC de Marte Odyssey e Mars Express, o altímetro MOLA de Mars Odyssey e, em seguida, as imagens de alta resolução das câmeras MRO CTX e HiRISE, desde 2005), que foram utilizados para elaborar modelos altimétricos precisos (MOLA DTM e mapa) (Figura 15). Além dos avanços relacionados aos estudos detalhados de caracterização geológica, geoquímica e morfológica de Marte, em todas as escalas, de sua história e dinâmica, considera-se estes como fundamentais para guiar os melhores locais para exploração *in situ* (idem).

²³ Mapas topográficos detalhados (por exemplo, Valles Marineris, no Quadrilátero Noroeste de Coprates: USGS, 1986), um conjunto completo de “geológico” (na verdade, principalmente morfoestratigráficos) (Peulvast e Vanney, 2002) mapas em 1:15.000.000 (Scott e Tanaka, 1986; Greeley e Guest, 1987; Tanaka e Scott, 1987), vários mapas geológicos regionais, como Valles Marineris (Witbeck et al., 1991) e mais mapas geomorfológicos locais (por exemplo, Peulvast e Masson, 1993; Peulvast et al., 2001). (BETARD & PEULVAST, 2019)

Figura 15: Mapa topográfico Global de Marte



Mapa topográfico global de Marte produzido a partir de dados de altimetria laser de alta resolução coletados pela Mars Global Surveyor até outubro de 2000. Esta projeção de Mercator se estende até as latitudes 70° norte e sul. O relevo topográfico é codificado por cores de acordo com a chave à direita. As principais características selecionadas dos locais de pouso do planeta e da espaçonave são rotuladas. Essa perspectiva demonstra o contraste de relevo entre os hemisférios norte e sul de Marte e o domínio de Tharsis no hemisfério ocidental.

Fonte: Mars Orbiter Laser Altimeter Science Team –

Cortesia: <https://www.britannica.com/place/Mars-planet/Character-of-the-surface>

Nas figuras 14 e 15 se destacam também os sistemas de coordenadas geográficas e altitude zero. Dado que em Marte não há oceanos para estabelecer um nível médio do mar e referenciar as altitudes dos elementos da topografia, a altitude zero, designada por *datum*, foi definida a partir de dados do campo gravitacional, associado à pressão atmosférica de 6.105 mbar à temperatura de 273.16° K. O sistema de coordenadas geográficas tem por referência o equador, definido em relação ao eixo de rotação de Marte e, para a longitude, o meridiano 0°, que passa no centro de uma pequena cratera (500 m de diâmetro), situada dentro de outra, a cratera Airy. A cratera foi escolhida por se encontrar nas imediações do meridiano 0° definido ainda no século XIX por Wilhem Beer e Johann Mädler. Hoje, considera-se que a longitude começa a ser contada para leste, sistema aerocêntrico leste, de acordo com as regras definidas pela *International Astronomical Union (IAU)* e a *International Association of Geodesy (IAG)* (Shieldman et al., 2002). (PAREIRA, 2007 apud SHIELDMAN et al., 2002).

Ainda, antes de conhecermos as estruturas geológicas e geomórficas dispostas no mapa (Figura 15) faz-se necessário o entendimento da nomenclatura atribuída às estruturas topográficas e aos elementos que compõem as paisagens marcianas (Quadro 7), nomenclatura esta que deriva de designações baseadas nas antigas observações feitas

a partir da Terra, isto é, feitas com base nos aspectos relacionados ao albedo. São ainda, escritas em latim e foram estabelecidas oficialmente pela International Astronomical Union (IAU).

Quadro 7: Nomenclatura forma de terreno em Marte

	Designação	Características
Formas Gerais	Terra (Terrae)	Grandes extensões de terreno com morfologia variada (equivalente aos continentes terrestres)
	Régio (Regiones)	Regiões com topografia elevada, incluídas ou não nas Terrae
	Mons (Montes)	Montanhas isoladas, frequentemente de natureza vulcânica
	Planum (Plana)	Planaltos ou planícies elevadas com diferentes origens
	Planitia (Planitiae)	Planícies baixas normalmente associadas a crateras de impacto de grandes dimensões; Zona plana e pouco elevada
	Dorsum	Elevação alongada
	Catena	Cadeia de crateras (de origem tectónico/vulcânica)
Formas Específicas	Vallis (Vallès)	Formas semelhantes à dos vales terrestres, podendo corresponder, a processos genéticos distintos (correntes fluviais, escoadas lávicas de grande extensão ou fossas tectônicas)
	Fossa (Fossae)	Depressões alongadas e profundas de natureza tectônica; Depressão linear, semelhante a um vale de graben.
	Chasma (Chasmata)	Estruturas lineares correspondentes a fossas ou vales com escarpas e interpretadas como estruturas distintivas; Grande desfiladeiro (Cânions)
	Crater (Craters)	Crateras de impacto
	Patera (Paterae)	Crateras profundas e complexas normalmente interpretadas como caldeiras vulcânicas <u>Cratera rasa com os limites ligeiramente elevados e convexos (encontrei descrições de estruturas diferentes)</u>
	Tessera (Tesserae)	Terrenos caóticos com duas ou mais direções de cristas ou fossas anastomosadas, interpretadas como estruturas compressivas (em Marte aparecem no fim dos chamat - depressões profundas, alongadas e de laterais íngremes)
	Tholus	Pequena elevação, isolada, com forma de domo, a maioria são vulcões
	Mensa (pl. mensae)	Zona plana elevada, planalto
	Labyrinthus	Rede de vales que se intersectam
	Vastitas	Extensas planícies

Fonte: Pereira (2007); Correia (2002) compilado de Uchupi e Emery (1993), Mursky (1996), Freedman e Kaufmann (1998) e adaptada por Gomes (2022)

Pelo Mapa Topográfico de Marte (Figura 15) é possível observar que a superfície de Marte está dividida em duas grandes regiões. Ao Sul encontram-se regiões elevadas, assinalada por crateras de impacto, sugerindo terrenos mais antigos. Ao Norte observam-se extensas planícies de pouca elevação e uma superfície mais regular com poucas crateras de impacto. Duas regiões se destacam: Tharsis²⁴ no hemisfério norte, onde se encontra o ponto mais alto de Marte, o monte Olimpo, e a região de Hellas, no hemisfério sul, ponto mais baixo do planeta.

²⁴ A região de Tharsis é uma vasta elevação de origem vulcânica-tectónica, centrada na zona equatorial, entre as longitudes de 220°E e 300°E. Esta região parece ter tido origem em dois episódios de elevação da topografia, um a sul e outro a norte (Smith et al., 1999). Tharsis Montes a sul, forma uma cadeia de três montanhas vulcânicas: Asraeus Mons, Pavonis Mons e Arsia Mons. Ao Norte é mais pequena e cobre aproximadamente a mesma banda de longitudes mas estende-se até ~60°N e é dominada pela estrutura vulcânica de Alba Patera, localizada a 42°N e 252°E (PEREIRA, 2007)

A região de Hellas (Hellas Planitia) domina grande parte do hemisfério sul, com extensão de aproximadamente 2.000 km Leste-Oeste por 1.600 km norte-sul, caracterizando uma enorme depressão provocada pelo impacto de um meteorito há cerca de 4 milhões de anos. Além disso, junto a região do Tharsis, a oeste do hemisfério norte, há uma complexa rede de vales pouco profundos e estreitos, chamada Noctis Labirinthus. Os vales se alargam e “fluem” na direção norte, contactando-se com as zonas planas de Chryse Planitia. Há outros sistemas de vales, sobretudo na fronteira entre as zonas elevadas a sul e as planícies do norte, mas nenhum com as dimensões planetárias de Valles Marineris (PEREIRA, 2007).

No hemisfério norte há ainda uma região chamada Elysium Planitia, supostamente de origem vulcânica, que se eleva acima da Utopia Planitia, e onde se situam algumas montanhas vulcânicas, das quais a maior é o Elysium Mons (15° N e 146° E). Para no hemisfério sul pode-se observar, além da Hellas Planitia, a depressão circular Argyre Planitia (~50° S e 313° E), cortada por falhas/vales radiais de aproximadamente 900 km de diâmetro. Além dos elementos topográficos já mencionados pode-se destacar ainda que no hemisfério norte há três grandes regiões aplainadas: a Amazonis Planitia, a Acidalia Planitia e a Utopia Planitia. Igualmente, no hemisfério sul, dominam os relevos assinalados por crateras de impacto, a exemplo da zona Noachis Terra, área mais densamente craterada (PEREIRA, 2007).

Também deve-se ressaltar o grande sistema de vales que corta a superfície de Marte, inicia na região de Tharsis, percorrendo quase que paralelamente ao equador, entre 0° e ~15° S, ao longo de mais de 5.000 km. Chamado Valles Marineris, é assinalado por grandes variações de altitude, presença de depressões de mais de 5.000 m de profundidade, situada na zona central, a ~300° E, onde fica uma zona de vales mais largos e lineares (PEREIRA, 2007).

Por fim, as regiões polares de Marte, as quais seguem a topografia dos seus respectivos hemisférios. Planum Australe é a zona polar sul e parece ser menos explorada cientificamente, pois dados da região polar norte são mais facilmente encontrados. A zona polar norte, denominada Planum Boreum (plano setentrional ou planalto polar) ocorre dentro da parte central e mais baixa das vastas planícies do norte de Marte. As planícies do norte se formaram muito cedo no tempo marciano e coletaram fluxos vulcânicos e materiais sedimentares oriundos de terras mais altas. O Planum Boreum resultou do acúmulo de partículas de gelo e poeira. Extensos campos de dunas

em crateras, adjacentes ao Planum Boreum, atestam o transporte ativo e recente, além do acúmulo de areia (TANAKA & SCOTT, 1987).

5.2.2 *Processos Geológicos e Geomorfológicos de Marte*

A exploração planetária mostrou que as superfícies dos planetas rochosos e dos seus satélites estiveram sujeitas aos mesmos processos geológicos que a Terra, sendo o vulcanismo, o tectonismo, a erosão e o impacto de meteoros constituintes dos principais processos modeladores da superfície dos planetas telúricos. Os processos geradores de morfologias em planetas telúricos podem ser associados a três categorias principais, de acordo com os processos responsáveis pela sua gênese, e podem atuar em conjunto num mesmo corpo planetário: morfologias endógenas, exógenas e exóticas. As morfologias endógenas são derivadas da ação das forças internas do planeta (tectonismo, plutonismo e vulcanismo), as exógenas são aquelas que derivam da ação dos agentes externos (atores climáticos, erosão, transporte e deposição à superfície) e as exóticas resultam do bombardeamento por meteoroides e cometas (UCHUPI E EMERY 1993; FREEDMAN & KAUFMANN, 1998 apud CORREIA, 2002).

As morfologias exóticas são responsáveis pela formação de todos os planetas telúricos, onde o impacto de grandes meteoros provoca o acréscimo de massa no corpo impactado e alteram as morfologias exóticas da superfície, as quais são controladas pela atmosfera, densidade e composição do corpo que sofreu o impacto. Após a sua formação, sofrem erosão, como por exemplo o Planeta Terra, em que as morfologias exógenas são geradas pela ação dos agentes externos, podendo considerar-se a erosão, transporte e sedimentação, devidas essencialmente à água e ao vento (CORREIA, 2002).

As morfologias endógenas são resultantes dos movimentos de convexão do manto que geram deslocamentos divergentes, convergentes e de translação das placas tectônicas, formando estruturas e morfologias únicas, dinâmica particularmente observada no Planeta Terra. Marte não possui placas tectônicas, sendo as suas estruturas endógenas originadas basicamente por plumas mantélicas cilíndricas. Este planeta expõe uma dicotomia crustal causada por processos endógenos, pelos quais pequenas plumas cilíndricas penetraram a litosfera, formando grandes edifícios vulcânicos, como exemplo, a região Tharsis e Elysium ou, por um impacto gigante de um corpo planetário nos primórdios da sua história. De maneira simplificada, em relação à distribuição das morfologias de Marte, estas foram causadas por 19% endógenas, 37% exógenas e cerca

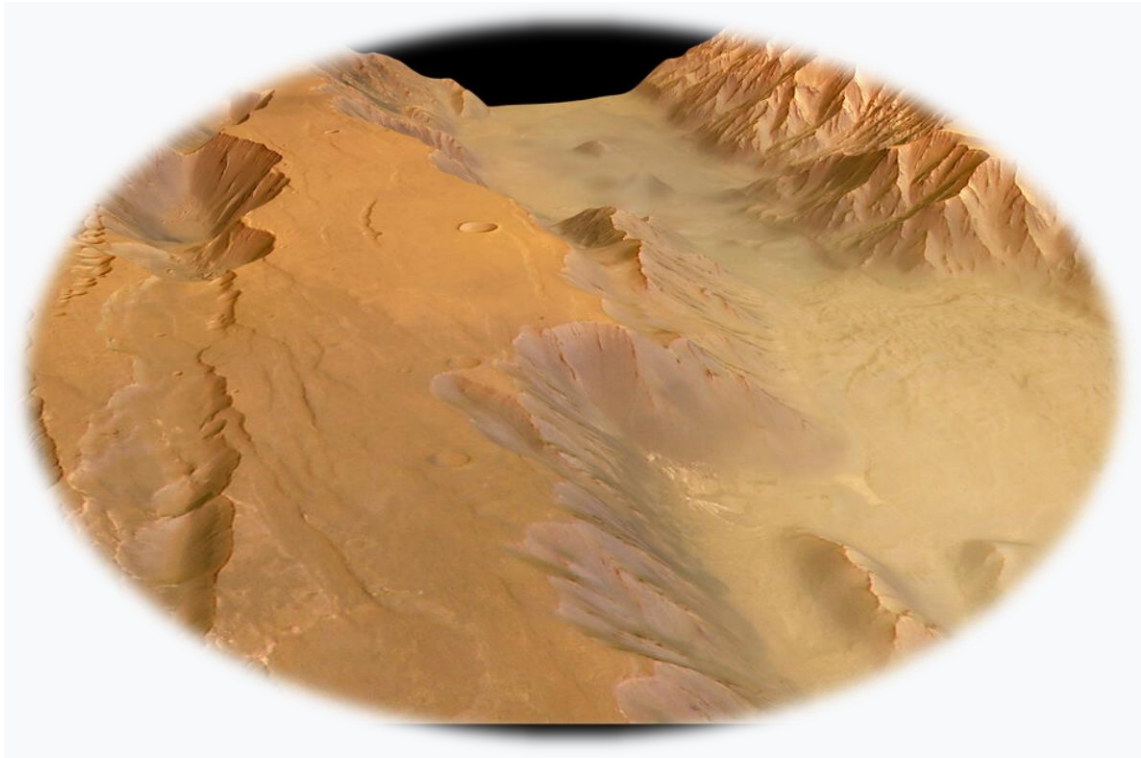
de 44% exóticas (crateras e fusão por impacto). Dinâmica muito distinta do Planeta Terra que sustenta 54% endógenas, 46 exógena e cerca de 2% exóticas, conferindo o planeta telúrico mais complexo e com maior diversidade de morfologias (UCHUPI E EMERY, 1993; FREEDMAN & KAUFMANN, 1998 apud CORREIA, 2002).

Já os processos exógenos produzem uma enorme variedade de morfologias resultantes da ação da água, do vento e gelo, além do movimento de terreno por ação da força da gravidade, que modelam constantemente a paisagem. Planetas que não estão sujeitos à ação água e do vento, os processos exógenos limitam-se à ação da força da gravidade. Há evidências morfológicas em Marte que parecem ter sido provocadas por grandes volumes líquidos, ou seja, processos fluviais de erosão, transporte e sedimentação. Entretanto, a erosão provocada por cursos “d’água” já não atua hoje no Planeta Vermelho, em decorrência das temperaturas extremamente baixas. A ação exógena em Marte fica evidente pela existência das calotas polares, de canais formados por inundações e de redes de vales encaixados entre as regiões de crateras, representando canais de drenagem por onde fluíam os cursos “d’água” originando morfologias resultantes de escoamento, quando o planeta registrava temperaturas mais quente (UCHUPI & EMERY, 1993; FREEDMAN & KAUFMANN, 1998 apud CORREIA, 2002).

Os tipos de morfologia encontradas em Marte podem ser resumidos em Terras Baixas do hemisfério norte: pequena densidade de crateras de impacto; vulcões, planaltos e planícies vulcânicas das regiões de Tharsis e Elysium; Fossas tectônicas a norte da região de Tharsis. Valles Marineris – Zona equatorial de transição: depressão tectônica (falhas normais); Setor Leste – terrenos caóticos. Terras Altas do Hemisfério Sul: grande densidade de crateras de impacto; Depressões de Hellas, Argyre e Isidis (crateras de impacto de grandes dimensões); Presença de alguns vulcões (Tyrrhena Patera); Fossa tectônica de Thaumasia (planalto); Evidências de erosão fluvial e eólica.

Diante do exposto, para revelar a história da superfície de qualquer planeta rochoso, deve-se reconhecer as morfologias e os processos que as originaram, sendo este conhecimento, sobretudo das morfologias terrestres, elementar como expressão de comparação para as morfologias de outros planetas telúricos. Entretanto, neste estudo serão estudadas apenas as estruturas e morfologias eólicas, resultantes de processos exógenos que caracterizam a exogeodiversidade de Marte.

5.2.2.1 Estruturas Eólica resultantes de processos exógenos: uma comparação entre morfologias eólicas dos planetas Terra e Marte



A cena mostra a Região Coprates Chasma e Coprates Catena, 13,5° Sul e 300° Leste, voltada para nordeste (2004) Missão Mars Express

Evidências de mudanças geomórficas em Marte, em escala terrestre, foram reveladas na última década. A identificação, classificação, distribuição e exemplos da atividade superficial aumentaram à medida que mais imagens de alta resolução são adquiridas e disponibilizadas. De acordo com Diniega et al (2021), dentro das condições climáticas atuais de Marte, o vento e o gelo são os condutores dominantes, resultando em grandes avalanches de material em encostas rochosas, arenosas ou de gelo. O transporte de sedimentos arenosos forma campos de dunas e depósitos eólicos de diferentes dimensões (erosão eólica por vento) ou ainda, material de substrato esculpido sob lajes de gelo sublimáveis (agente erosivo gelo).

A capacidade de coleta de dados e observações correlacionadas da atividade superficial e novas formas terrestres associadas às condições ambientais, com naves espaciais sobre ou ao redor de Marte, podem testar a interação superfície-atmosfera e modelos de forma terrestre/evolução fora da Terra. Nesse sentido, Marte se apresenta como um caso base da planetologia comparativa para estudos de processos superficiais do Sistema Solar, para além da Terra (DINIEGA et al, 2021).

Os processos eólicos se devem à ação dos ventos, conferido a qualquer planeta com atmosfera dinâmica e superfície sólida, promovendo a erosão, o transporte e a deposição de sedimentos em grande quantidade de material, que ao se depositarem, produzem morfologias eólicas distintas, conforme o tamanho das partículas, velocidade e direção de ventos.

O aparecimento e desaparecimento de nuvens, observadas pela primeira vez pelo astrônomo italiano Giovanni Schiaparelli em 1877, levou à percepção de que a atmosfera de Marte era dinâmica suficiente para alterar as morfologias em superfície. Essas primeiras observações telescópicas revelaram feições geomorfológicas superficiais que se alteraram com o tempo, contudo a probabilidade de que o vento poderia influenciar no modelado dos terrenos de Marte ficou demonstrado somente com os registros das primeiras sondas não tripuladas. Como foi o caso, da Mariner 9 em 1971, que esperou cerca de um mês em órbita, até que uma tempestade de poeira se dissipasse e permitisse o imageamento, registrando campos de dunas muito semelhantes as que ocorrem nas regiões áridas do planeta Terra. Desde então, os dados disponíveis evoluíram em quantidade e qualidade, sobretudo em resolução, cobertura, localização e alcance espectral, permitindo o reconhecimento de características geomórficas de feições morfológicas, típicas de sistemas eólicos, já conhecidas e não conhecidas anteriormente.

Os processos eólicos que atuaram e que ainda atuam sobre a superfície de Marte desempenham papel expressivo na modelagem do terreno superficial, formando diferentes feições e tipologias de dunas e depósitos em maior e menor escala. A atividade eólica em Marte está sujeita, em linhas gerais, a ação do clima e da dinâmica atmosférica, que por sua vez, comandam os ventos e o transporte de partículas.

Nesse sentido, Pereira (2007) coloca que, em nível de circulação geral, a movimentação do ar em Marte está relacionada com as estações do ano e que a ausência de oceanos faz com que toda a superfície marciana responda rapidamente ao aquecimento solar, uma vez que a rocha sólida é boa condutora de calor.

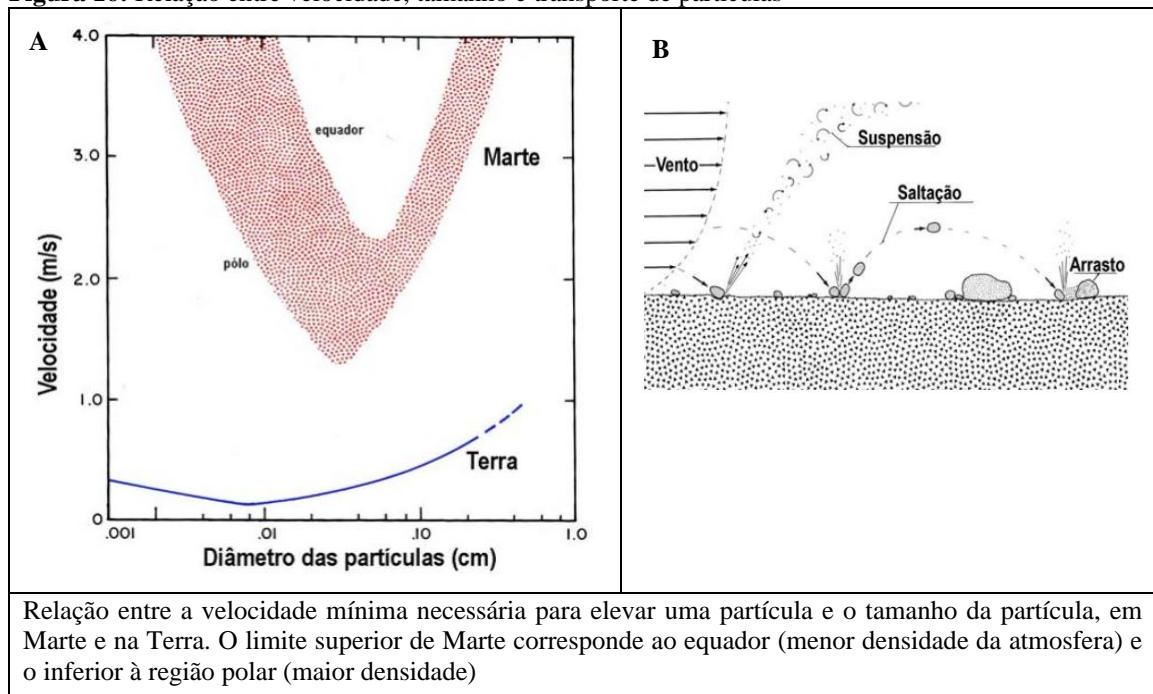
“O ar quente, menos denso, eleva-se no hemisfério de Verão e desce no outro hemisfério. Este movimento é acentuado pelo fato de no hemisfério de Inverno as temperaturas muito baixas sobre o polo levarem à condensação da atmosfera, essencialmente CO₂, que irá engrossar as calotas polares. Como a atmosfera é já por si muito pouco densa, esta condensação provoca uma zona de baixas pressões nas latitudes mais elevadas, originando um gradiente de pressão atmosférica que favorece a circulação em direção ao hemisfério que está na estação de Inverno (PEREIRA, 2007 p.22)”.

“O movimento de nuvens, mostram que os ventos dominantes no hemisfério de Inverno têm uma direção para oeste, com a formação de ciclones e anticiclones. Nos trópicos os ventos dominantes têm uma direção para leste e deslocam-se em direção ao hemisfério de Verão na altura do solstício. Os Invernos são relativamente semelhantes, tanto no hemisfério Sul como no Norte, mas o mesmo já não acontece com os Verões. Quando o hemisfério sul se encontra no Verão ocorrem frequentemente tempestades de pó que podem alterar os padrões de circulação de ar de todo o planeta (PEREIRA, 2007 p.22)”.

Pereira (2007) também considera que a topografia é um dos elementos que mais influencia na formação e na velocidade dos ventos em nível local, em particular em zonas de vertente. Como por exemplo, a temperatura na base do Olympus Mons pode ser a mesma que no seu topo, a mais de 27 km de altitude, devido à rápida resposta da atmosfera ao aquecimento do solo, originando ao redor da montanha um gradiente horizontal de temperatura, provocando ventos fortes que irão soprar em direção ao cume ou à base do Olympus Mons.

Já em relação à capacidade de transporte de partículas pelo vento, Pereira (2007) confere que esta depende da velocidade do vento, de uma constante que relaciona a turbulências do vento e a superfície do solo, a aceleração da gravidade, diâmetro da partícula, da densidade da partícula e atmosférica (Figura 16A).

Figura 16: Relação entre velocidade, tamanho e transporte de partículas



Fonte: Pereira (2007) adaptado de Mutch et al. (1976)

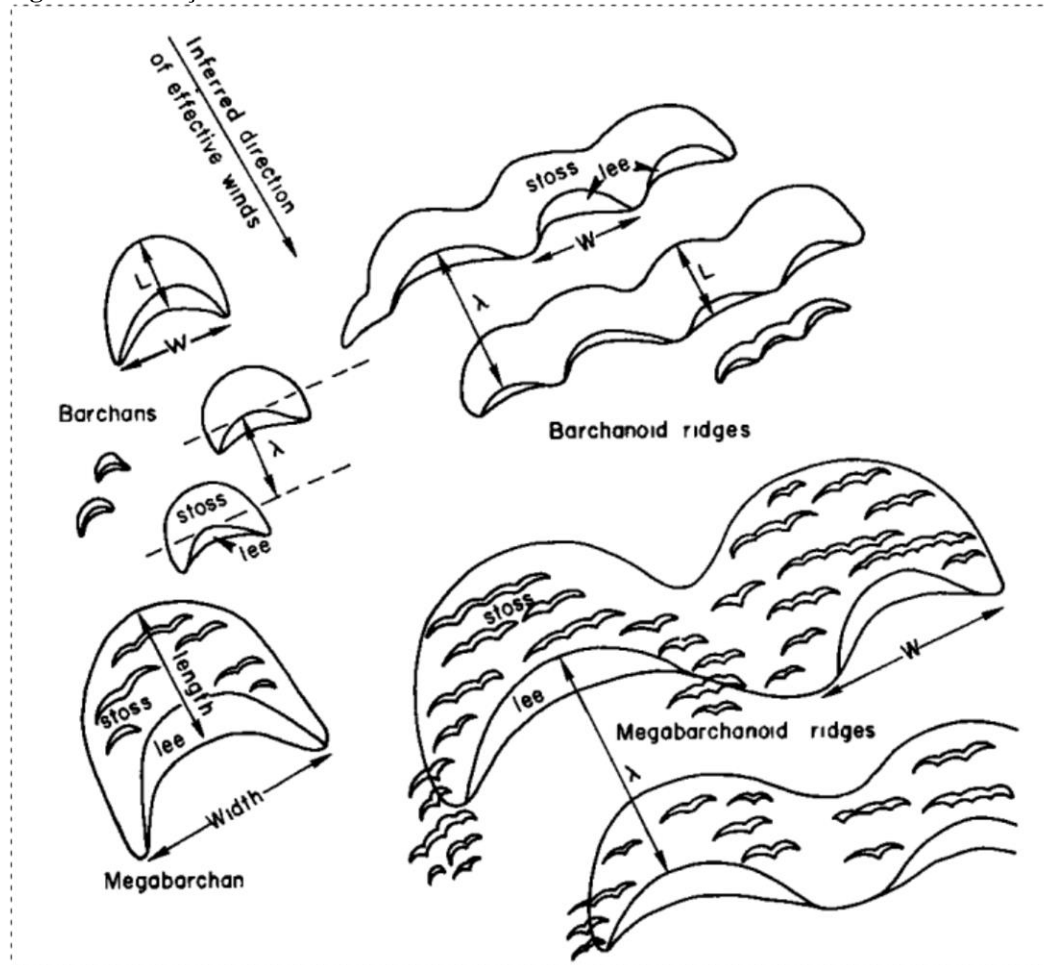
A velocidade inicial necessária para elevar uma partícula do solo aumenta com a gravidade, a densidade e o tamanho da partícula, mas diminui com a densidade da atmosfera. Comparando a capacidade dos ventos na Terra e em Marte, é possível inferir

que as velocidades iniciais de elevação de partículas são superiores em Marte para partículas do mesmo tamanho, mostrando que a menor gravidade não compensa a baixa pressão atmosférica. Deste modo, uma partícula com 0,2 mm em Marte precisa de uma velocidade inicial cerca de 10 vezes superior à da Terra para ser movimentada. No entanto, mesmo nessas condições, o vento em Marte não desloca apenas partículas pequenas, causando as já mencionadas grandes tempestades de poeira, uma vez que a formação de dunas requer partículas do tamanho areia (PEREIRA, 2007).

As morfologias de dunas observadas na superfície de Marte deixam em evidência que processo de transporte de partículas deve ser semelhante as formas de transporte dos grãos em suspensão, saltação e arrasto, observadas na superfície da Terra e, que dependem diretamente da força do vento e tamanho da partícula. De acordo com Pereira (2007), a saltação é o tipo de transporte predominante das areias na Terra e caracteriza-se por um movimento balístico da partícula junto ao solo. O vento tem energia suficiente para elevar a partícula do solo, mas não tem energia suficiente para mantê-la em suspensão, se depositando logo adiante. O impacto da queda põe em movimento mais partículas, criando-se uma nuvem de partículas saltitantes que se estende por alguns centímetros acima do solo (Figura 16B).

A figura 17, ilustra o esboço de formas comuns de dunas crescentes na Terra e convenções para medir largura, comprimento e comprimento de onda. Todas as dunas do tipo crescente são classificadas geneticamente como dunas 'transversais' (formas de leito depositadas por ventos que sopram geralmente transversal aos seus eixos principais). Em um sentido genético, barcanas e megabarcanas isoladas são simplesmente 'dunas transversais isodiamétricas'. O termo duna transversal é comumente usado para cumes de dunas crescentes com segmentos bastante retos; cristas com curvatura pronunciada dos segmentos são denominadas barcanóides ou cristas megabarcanóides. Formas compostas de 0,5 km ou mais de largura, normalmente têm formas de leito secundárias desenvolvidas em suas encostas (BREED, GROLIER & MCCAULEY, 1979).

Figura 17: Esboço de formas comuns de dunas crescentes na Terra



Fonte: Breed, Grolier & McCauley (1979)

Dunas estão entre as características eólicas mais presentes e difundidas de Marte. Sua distribuição morfológica e espacial, sensível a pequenas mudanças nos padrões de circulação de ventos, podem se relacionar aos padrões de erosão e deposição e, fornecer pistas sobre a história sedimentar do terreno que a cerca. A formação de dunas em Marte ocorre quase que por toda a superfície marciana, mas não de maneira homogênea.

Conforme Breed, Grolier & McCauley (1979), corpos dunares são observados com maior concentração em regiões polares (*ergs*²⁵), sobretudo no polo Norte, campos de dunas no interior de crateras e chasmat, sendo as do tipo barcanas e transversais as mais comuns, podendo ainda ser observadas dunas lineares e em estrela. Exibem morfologias muito semelhantes os *ergs* de bacias desérticas e campos de dunas na Terra e, por conseguinte, esta correspondência morfológica implica que a dinâmica da

²⁵ Ergs, são extensas áreas constituídas por dunas longitudinais, altas, largas e paralelas à direção do vento, que se deslocam lentamente. Também conhecido como campos de areia, podem cobrir uma área de 500.000 km² e são encontrados em muitos desertos, como por exemplo, Namíbia e Arábia Saudita.

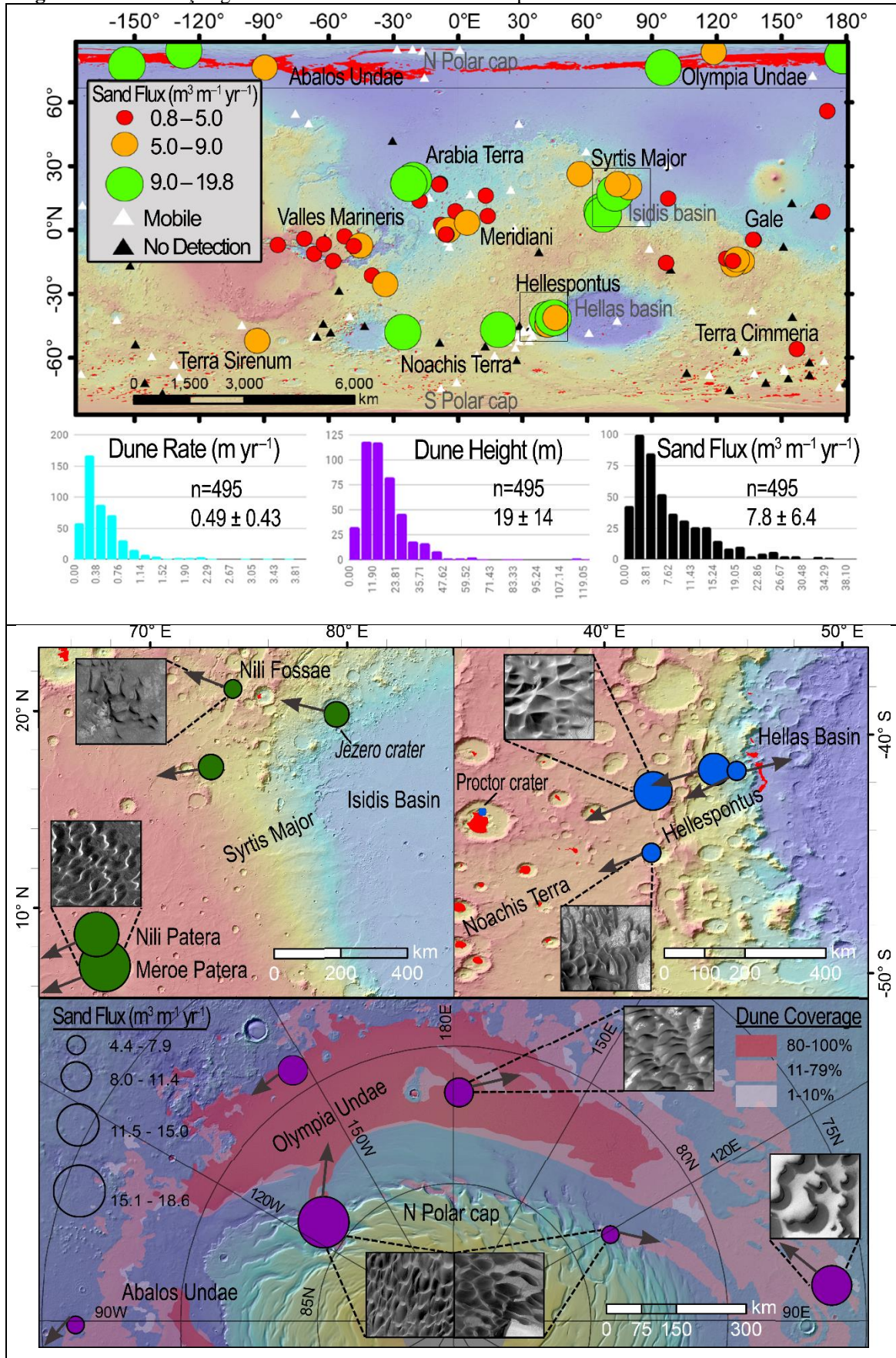
formação de dunas é semelhante nos dois planetas. Padrões uniformes de dunas em áreas de acumulação de areia em Marte, como na Terra, refletem o ajuste de longo prazo das formas eólicas aos regimes de vento, suprimento de areia e variações topográficas. As cristas limítrofes de areia que delineiam as margens de muitos campos de dunas e *ergs* topograficamente controlados na Terra, também ocorrem em Marte.

A figura 18, demonstra a tendência global de mobilidade de areia e campos de dunas e outros parâmetros analisados. O mapa base é o *Mars Orbiter Laser Altimeter* (MOLA), com elevação colorida de +4 (vermelho) a -5 km (azul). Distribuição de campos de dunas, polígonos vermelhos. Três regiões de alto fluxo de areia de Syrtis Major, Hellespontus Montes e o norte polar *erg* (Marte) são delineados em preto. No topo do mapa, medições de fluxo de crista de dunas de areia para 54 campos de dunas - 495 dunas separadas (círculos graduados com baixos [vermelhos], moderados [laranja], e altos valores de fluxo de areia [verde]) – (CHOJNACKI et al, 2019).

A partir da Latitude 65° N, a atividade eólica no Hemisfério Norte é responsável pela formação de vastos campos de dunas circumpolares. Conforme, Breed, Grolier & McCauley (1979), as proporções de escala derivadas de medições de dunas marcianas na latitude 72° N, Longitude 53° S são quase idênticas às proporções de escala para menores em White Sands, Novo México. Em detalhe, dunas barcanas isoladas e dispersas podem mostram afinamento de sedimentos de dunas, em direção à margem sul do *erg* circumpolar norte, indicando um suprimento de areia diminuído e/ou deflação de partes da região por ventos de alta velocidade (Figura 18).

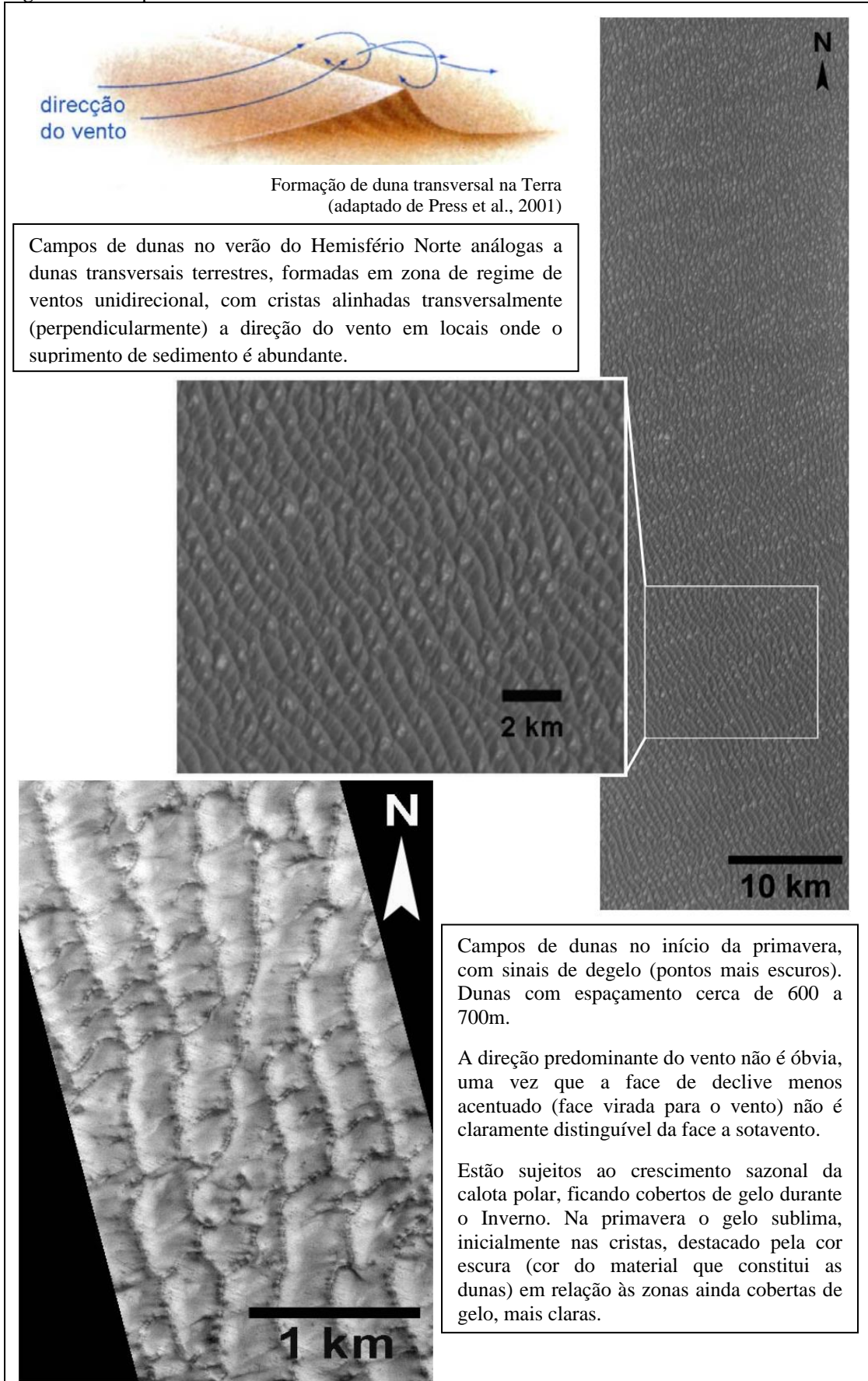
De acordo com Pereira (2007) os campos de dunas ilustrados na figura 19, podem se estender, às vezes continuamente, por centenas de quilômetros e pensa-se que são formados por materiais transportados de latitudes equatoriais, devido ao regime de ventos, para a zona polar. Podem ainda, ser comparados em dimensão aos mares de dunas terrestres ou *ergs*. O maior dos *ergs* terrestres, o Rub'al Khali (Arábia Saudita), tem uma área de 56.0000 km², que corresponde a cerca de metade da área total ocupada pelos campos de dunas polares em Marte, 100.0000 km².

Figura 18: Distribuição global de mobilidade de areia e campos de dunas



Fonte: Chojnacki et al (2019)

Figura 19: Campo de dunas em Vastitas Borealis – Polo Norte de Marte

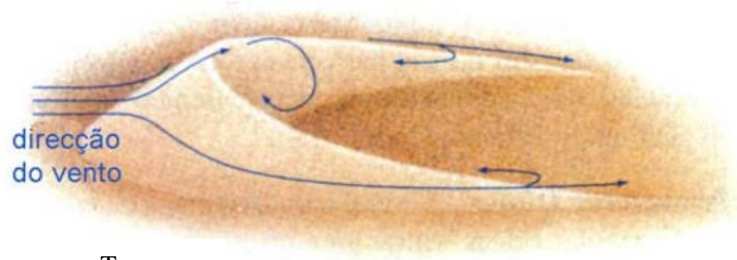


Fonte: Adaptada de Pereira (2007)

Apesar das restrições marcianas na formação de dunas, que incluem ventos de velocidade muito mais alta para mover 'areia' em saltação, a possível inibição do movimento de areia pelo vapor de água absorvido e a sazonalidade de cobertura de gelo no erg circumpolar norte e um suprimento de areia provavelmente escasso no inverno, os campos de dunas do norte polar sejam pelo menos sazonalmente inativos, sobretudo durante o inverno.

Como já mencionado, a formação de dunas em interior de cratera é bastante comum. Campos de dunas, conhecido como Nili Patera, são observados no interior de uma antiga caldeira de um vulcão, situado na região de Syrtis Major (Figura 20). As dimensões das barcanas terrestres variam entre 1 e 30 m de altura e 10 e 300 m de comprimento e largura, sendo que estes valores se relacionam de forma linear. O declive da face a sotavento é cerca de 33°, que corresponde ao ângulo de repouso do depósito de areia solta. Aplicando a informação existente sobre este tipo de dunas na Terra, pode-se presumir que as dunas de Nili Patera foram formadas por um regime de ventos unidirecional proveniente de nordeste, sobre um substrato rochoso e com um suprimento de sedimento escasso (PEREIRA, 2007).

Figura 20: Campos de dunas Nili Patera na região de Syrtis Major

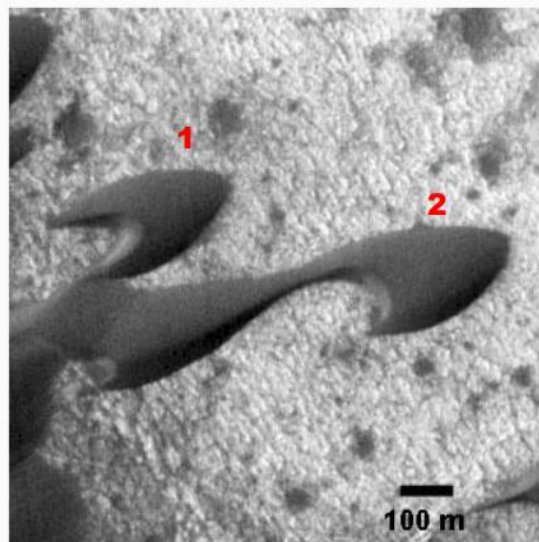
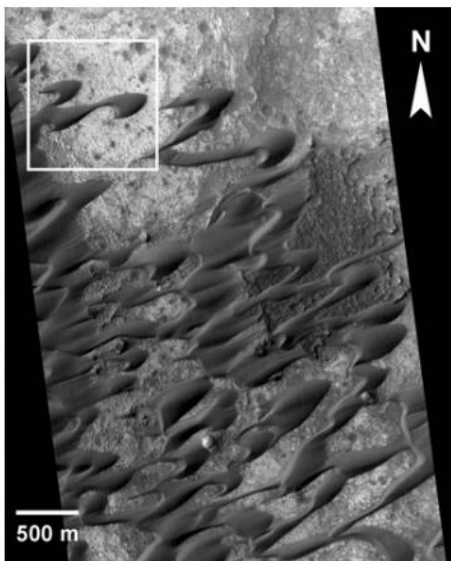
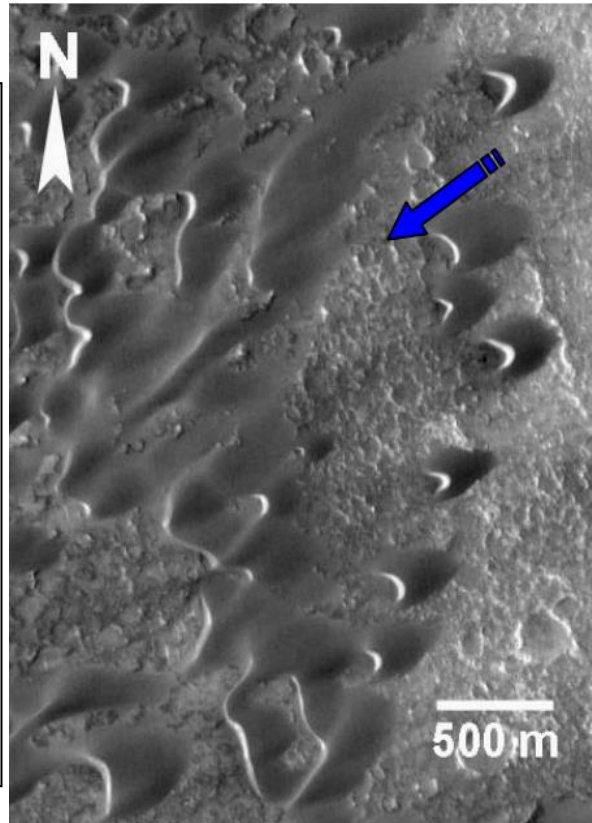


Formação de barcana na Terra
(adaptado de Press et al., 2001).

São dunas constituídas por material de cor escura e têm aspecto de uma crescente, são análogas às dunas barcanas terrestres. Ocorrem dunas isoladas nas margens do campo, mas no seu interior a tendência é a formação de bandas sinuosas.

A região é conhecida por ser uma das regiões mais escuras da superfície de Marte. Na Terra este tipo de dunas se forma sobre solos rochosos em zonas onde o suprimento de areia é escasso e o regime de ventos é unidirecional.

Dunas barcanas apresentam, como todas as dunas, um declive mais suave no lado que está sujeito à ação do vento (barlavento), e um declive acentuado no lado oposto (sotavento). Nas extremidades, a duna curva na direção em que sopra o vento, formando dois braços paralelos que rodeiam a face côncava da duna.

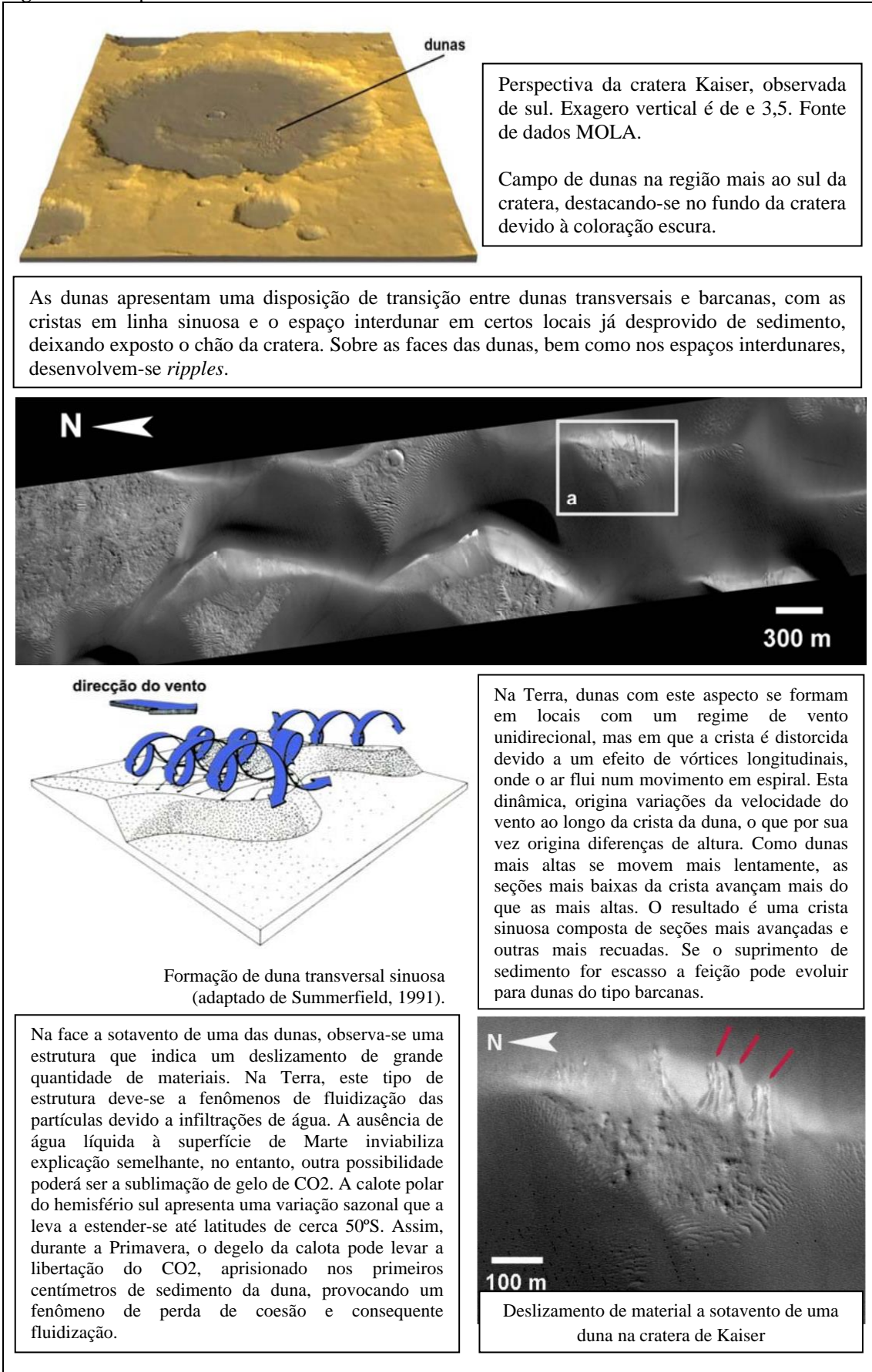


As dunas (1) e (2), com uma dimensão média em relação às restantes do campo de dunas, têm cerca de 233m e 286m de comprimento, por 180 m e 200 m de largura, respectivamente.

Fonte: Adaptada de Pereira (2007)

Campos de duna na cratera Kaiser, coordenadas 46,3°S e 19,2°E, no hemisfério sul em Noachis Terra, é uma cratera de grandes dimensões, com cerca de 200 km por 170 km e uma profundidade de cerca 1.200 m (Figura 21). As dunas desta cratera podem ter sido formadas por ventos de direção, relativamente constante (ventos de leste para o oeste). As feições em *ripples*, que aparecem sobrepostas às dunas e no chão da cratera, serão construídas por material mais facilmente mobilizável, possivelmente mais fino do que o das dunas, e de formação mais recente (PEREIRA, 2007).

Figura 21: Campos de dunas Cratera kaiser em Noachis no Hemisfério Sul

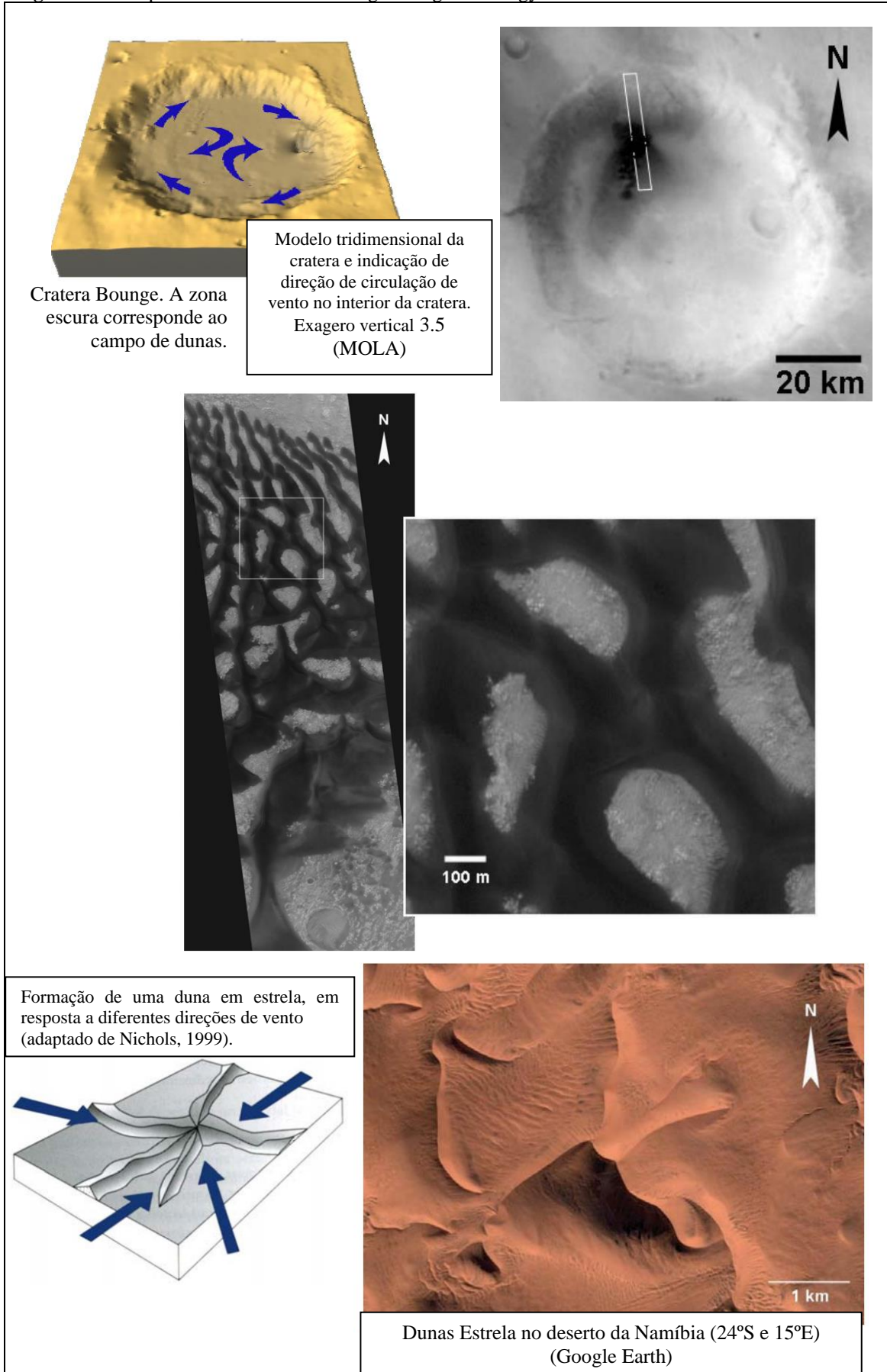


Campos de dunas na cratera, coordenadas 33.8°S e 311.4°E, na região da Argyre Planitia no Hemisfério Sul (Figura 22), possui cerca de 70km de diâmetro e uma profundidade máxima de 1.200 m (MOLA). O campo de dunas localiza-se na zona norte do chão da cratera, a uma profundidade de cerca de 1km, destacando-se pela cor mais escura em relação à zona circundante.

As dunas estão distribuídas de forma pouco ordenada, sem orientação definida, exceto na zona mais a norte onde formam linhas paralelas de direção norte-sul. A quantidade de sedimento disponível deve ser baixa, uma vez que o espaço interdunar se encontra limpo de sedimento, com a superfície rochosa do fundo da cratera exposta. Na zona central e na extremidade sul, as dunas apresentam uma forma análoga à de dunas terrestres conhecidas como dunas em estrela. Na Terra estas dunas se formam em zonas em que o vento não tem uma direção predominante, existindo um complexo regime de ventos, sendo que várias faces da duna sofrem o efeito do vento. As dunas resultantes deste tipo de regime têm uma forma sensivelmente piramidal com alguns braços alongados e irregulares (PEREIRA, 2007).

A formação desta tipologia de duna, no fundo da cratera de Boungé, pode estar relacionada com a circulação do vento no interior da cratera, que em um espaço confinado, cria turbilhões de vento em que os materiais são deslocados de maneira caótica. Na zona perto da parede da cratera a direção do vento deve ser mais constante, daí a regularidade na formação das dunas, enquanto na zona central os regimes de vento se tornam mais complexos, arrastando e depositando as partículas em várias direções (idem).

Figura 22: Campos de dunas Cratera Bounge na região da Argyre Planitia no Hemisfério Sul



Fonte: Adaptada de Pereira (2007)

Como visto, o Planeta Vermelho deve ter uma longa história eólica, na qual sugere-se que, grande parte da areia disponível e, adequada ao movimento de saltação, foi removida e transportada das planícies marcianas, formando extensos campos de dunas (*ergs*) em regiões polares e fundos de crateras, como aqueles encontrados em muitos desertos da Terra, observados na Namíbia e Arábia Saudita.

O vento age como fator erosivo e de transporte, depositando o material em outros locais. Padrões complexos morfológicos e feições eólicas em Marte, como na Terra, possivelmente refletem regimes de ventos localmente complexos. Registros de erosão, de estratigrafia e na morfologia das dunas ou, ainda, na aparente sobreposição de alguns padrões de dunas, preservados em campos de dunas circumpolar norte, podem evidenciar mudanças no regime eólico.

Breed, Grolier & McCauley (1979) estimam que na Terra, a formação de *ergs* consolidados requer 2×10^6 anos ou mais. Por analogia, as enormes dunas de Marte provavelmente exigiram tanto ou mais tempo para se acumularem. A idade de formação não é conhecida, mas podem estender-se a períodos em que as condições climáticas eram possivelmente mais semelhantes às da Terra do que as atuais.

Chojnacki et al (2019) inferem que, de modo geral, as dunas ocorrem próximo de zonas de transição proeminentes de topografia (por exemplo, bacias, calotas polares) e propriedades termofísicas (por exemplo, variações de albedo). As dunas polares do norte produziram os maiores fluxos conhecidos do planeta, impulsionados por ventos catabáticos²⁶ de verão modulados pelo retiro sazonal da capa de CO₂ — processos não conhecidos por afetar dunas terrestres. Em contraste, os campos de dunas do sul (<45° S) são menos móveis, provavelmente como resultado da geada sazonal e da disponibilidade de gelo. Os resultados sugerem que, ao contrário da Terra, características das variabilidades topográficas e termofísicas, em larga escala, desempenham papel dominante na condução de fluxos de areia em Marte.

²⁶ Nome técnico dado a um vento que transporta ar de alta densidade de uma elevação descendo a encosta devido à ação da gravidade.

6 CONSTRUÇÃO DE MATERIAL DIDÁTICO

*‘C’est le temps que tu as perdu pour ta rose qui fait
ta rose si importante’
Antoine de Saint-Exupéry*

Tudo que se sabe atualmente sobre a história dos planetas que compõem o Sistema Solar foi revelado por evidências encontradas e fundamentadas pela observação da superfície dos planetas. A partir dos anos de 1960, com as missões espaciais, assistimos uma verdadeira revolução do conhecimento sobre os planetas e suas luas. O uso de telescópios, sondas, rovers e, recentemente, “helicóptero” vem permitindo a aquisição de dados e informações sobre os planetas vizinhos, telúricos e gasosos, em grande quantidade e qualidade, substancialmente na forma de captura de imagens de alta resolução espectral e espacial.

O conhecimento da superfície dos planetas telúricos, inferido e disseminado através dessas imagens, sobretudo do Planeta Marte, revelam morfologias muito semelhantes ou idênticas às da superfície da Terra. Uma visão geral relativamente completa do Planeta Vermelho já havia sido realizada ainda no início dos anos 2000. Mostrou a imagem de um planeta frio e deserto com características periglaciais e calotas de gelo permanentes, passando por variações sazonais, sob uma fina atmosfera composta predominantemente de CO₂. Revelou uma diversidade de processos e paisagens que podem ser perfeitamente comparadas com as da Terra.

Nesse sentido, as missões orbitais em Marte asseguraram o sucesso das missões de pouso: Pathfinder, com o pequeno rovers Sojourner (1997), os rovers Spirit, Opportunity e Perseverance (2004, 2020), o rovers Curiosity (desde 2012) e os landers Phoenix e Insight (2008 e 2019) e o “helicópteros” Ingenuity (2020). Essas missões não revelaram apenas uma grande variedade de paisagens e morfologias, como leitos de rios, dunas, crateras de impacto etc., mas foi revelado a partir desses locais estudados, em várias latitudes e em superfícies e distâncias, detalhes de estruturas geológicas, como os depósitos estratificados de montes, crateras e vales. Ainda, a última grande descoberta encontrou matéria orgânica em amostras de rocha coletadas em antigo delta de um rio na cratera Jezero, que provavelmente já abrigou um lago e o delta que nele desaguava, evidenciando que em Marte tinha ambientes potencialmente habitáveis há cerca de 3,5 bilhões de anos.

O fato é que o investimento em missões planetárias e o conhecimento gerado a partir destas, tem avançado de maneira rápida e contínua. A divulgação e disseminação deste conhecimento, relacionado ao Sistema Solar e exploração espacial, deverá estimular o interesse de alunos. Entretanto, denota-se uma lacuna na produção de material didático, pois este tema, no âmbito escolar, é tido apenas como conteúdo optativo, podendo ser trabalhado em disciplina como Geografia, Física e Biologia ou, ainda, fica a cargo da preferência do professor que tenha interesse em trabalhar o assunto com os alunos.

A lacuna na produção de material didático relacionado a temática da exploração espacial e suas descobertas pode estar relacionada, de acordo com Correia (2002) a uma deficiência ou ausência de formação nesta área, em nível curricular universitário e/ou programático escolar. O baixo conhecimento sobre esse conteúdo constitui uma barreira para um eficaz ensino deste conteúdo em Geografia. Nesse sentido, é importante que os professores de Geografia tragam para si a responsabilidade de trabalhar o conhecimento associado à evolução da exploração planetária, pois este conhecimento possibilita compreender melhor o Planeta Terra, a sua origem e os seus aspectos evolutivos, no contexto do Sistema Solar e, num sentido mais amplo, do Universo.

Dessa forma, este capítulo tem por finalidade construir uma proposta de material didático e sequência de atividades para o conteúdo programático da disciplina de Geografia, tanto em nível escolar quanto universitário. Contudo, as atividades aqui propostas, podem ser utilizadas por professores de diferentes áreas do conhecimento que, associados aos demais capítulos deste trabalho, pode contribuir para sua própria formação. Assim, serão elaboradas atividades com base no conteúdo apresentado neste trabalho e adaptados dos estudos de Correia (2002).

Para atingir os objetivos de aprendizagem, o conteúdo apresentado e os recursos utilizados, terão uma abordagem não linear, em que as descobertas científicas e os cientistas são especialistas distantes do seu público, passivo e homogêneo. É importante pensar a alfabetização científica com objetivo e como instrumento educacional que possibilita a ampliação do conhecimento de mundo. Nesse sentido, a alfabetização científica pode ser manifestada, também, pela educação formal, transformando o espaço escolar em responsável pela reflexão e promoção do diálogo sobre ciência.

A divulgação científica tem função complementar no ensino, surge para preencher lacunas na educação moderna e ajudar o público a adotar atitude críticas em relação à ciência, devendo-se sempre observar que a popularização científica como instrumento pedagógico, tem seus limites, resumidos pelo fato de ser unidirecional e não interativa, o que pode dar origem a construções pseudocientíficas e pode fortalecer o mito da ciência inacessível, em vez de promover um autêntico equilíbrio na distribuição de conhecimento.

Sendo assim, é preciso atentar ao modelo e à prática de abordagem desenvolvida no espaço escolar, considerando os fundamentos de um modelo de divulgação científica contextual e fluxo de informação não linear, através do conhecimento compartilhado e não apenas comunicado, combinando conhecimento científico com sensibilidade e imaginação para despertar o prazer e o interesse pelo tema abordado.

As atividades propostas possuem componente teórico e prático, basicamente centrado na análise de imagens. O uso de imagens, como instrumento didático na valorização da educação científica, astronomia, planetologia e, sobretudo, para o ensino de Geografia, assume papel importante, uma vez que não é possível trazer o objeto desta ciência – Planeta Marte – para dentro das salas ou mesmo levá-los para uma exploração de campo.

As atividades propõem uma análise da superfície de Marte, a partir de imagens, com base nos processos conhecidos e formas semelhantes na Terra, onde parte dos exercícios remetem para estudos sobre acontecimentos geológicos e geomorfológicos terrestres. As atividades têm como objetivo fornecer, aos alunos e professores, conhecimentos substanciais sobre as morfologias de referência, recorrendo à observação de imagens de algumas estruturas geradas por processos endógenos, exógenos e exóticos, estando a sequência diádica proposta neste trabalho, contemplada nos componentes curriculares da Área de Ciências da Natureza (9º Ano do Ensino Fundamental) e na Área Ciências da Natureza e suas tecnologias em qualquer série do Ensino Médio.

De acordo com a Base Nacional Comum Curricular (BNCC-2019), a Unidade Temática, do Ensino Fundamental, Terra e Universo têm como objetivos do conhecimento o estudo da Composição, estrutura e localização do Sistema Solar no Universo, Astronomia e cultura, Vida humana fora da Terra, Ordem de grandeza

astronômica e Evolução estelar, condizendo perfeitamente com a temática desenvolvida neste trabalho, observando-se as seguintes Habilidades:

- (EF09CI14) Descrever a composição e a estrutura do Sistema Solar (Sol, planetas rochosos, planetas gigantes gasosos e corpos menores), assim como a localização do Sistema Solar na nossa Galáxia (a Via Láctea) e dela no Universo (apenas uma galáxia dentre bilhões).
- (EF09CI16) Selecionar argumentos sobre a viabilidade da sobrevivência humana fora da Terra, com base nas condições necessárias à vida, nas características dos planetas e nas distâncias e nos tempos envolvidos em viagens interplanetárias e interestelares.

Para o Ensino Médio, observa-se a Competência Específica 2: Analisar e utilizar interpretações sobre a dinâmica da Vida, da Terra e do Cosmos para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do Universo, e fundamentar e defender decisões éticas e responsáveis e, a Habilidade (EM13CNT209) que prevê: Analisar a evolução estelar associando-a aos modelos de origem e distribuição dos elementos químicos no Universo, compreendendo suas relações com as condições necessárias ao surgimento de sistemas solares e planetários, suas estruturas e composições e as possibilidades de existência de vida, utilizando representações e simulações, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais (como softwares de simulação e de realidade virtual, entre outros).

6.1 Proposta de Sequência Didática

➤ Atividade 1 – Morfologias da superfície terrestre

Objetivos da atividade:

- 1) Identificar diferentes tipos de morfologias da superfície do Planeta Terra, através da observação de imagem.
- 2) Analisar as características estruturais das morfologias inferindo os processos que as formaram.
- 3) Sugere-se que, nas atividades em que os alunos tenham que ter compreensão de grandes distâncias, o professor faça analogias. Ex.: 300km – distância entre duas cidades conhecidas dos alunos para dar noção de magnitude e de dimensão do objeto estudado.
- 4) Tempo: 30 minutos.

Uma paisagem pode ser identificada e classificada com base na sua forma, isto é, na sua morfologia. A superfície terrestre apresenta morfologias cuja origem se deve a processos endógenos, exógenos e exóticos. O vulcanismo, o tectonismo, as crateras de impacto e a sedimentologia (erosão, transporte e disposição de materiais sedimentares) são os principais processos geológicos e geomorfológicos geradores de morfologias (formas de relevo). O vulcanismo é a elevação, do núcleo para a superfície da Terra, de lava associada a gases, produzindo edifícios vulcânicos e correntes de lava. O tectonismo envolve o movimento de placas tectônicas originando falhas, fraturas, formação de montanhas, bem como sismos. O desgaste dessas estruturas envolve a erosão, o transporte e sedimentação de materiais. Na superfície da Terra, a água (nas suas diversas formas: precipitação, líquida e gelo), o vento, a gravidade e o gelo são os principais agentes de desgaste, ou seja, agentes erosivos.

A – Vulcanismo

Na figura abaixo examine a morfologia do cone de cinzas do Monte Capulin (Novo México)

A depressão no topo do cone refere-se a uma cratera vulcânica



Fonte: <https://www.newmexico.org/listing/capulin-volcano-national-monument/2548/>

Monte Capulin é um monumento nacional e um exemplo de vulcão extinto de cone de cinza e parte do Campo Vulcânico Raton-Clayton. Aberto a visitação, há uma estrada pavimentada ao redor do vulcão que leva os visitantes até o topo e a borda da cratera. As trilhas pavimentadas na cratera e ao redor de sua borda fornecem acesso para explorar o vulcão e vistas de 360° da área circundante. É uma paisagem dramática, um lugar único de montanhas, planícies e céu. Nascido do fogo e das forças exógenas que continuamente remodelam a superfície da Terra, o Vulcão Capulin fornece acesso ao trabalho mais inspirador da natureza. O parque oferece uma variedade de atividades para o visitante. Com quase cinco quilômetros de trilhas, os visitantes podem experimentar lindas e variadas paisagens. É possível explorar as montanhas rochosas do topo do vulcão ou explorar o próprio fluxo de lava de Capulin em sua base.

Questões:

1a - Descreva a forma geral do cone e da cratera.

1b - O que representa a linha branca em espiral que aparece na base do cone, até às margens da cratera.

2a – Vulcões em atividade derramam lava vulcânica pela superfície. Seguindo a corrente de lava ao seu ponto de origem, indique e explique sua fonte provável.

Sugestão de resolução:

1a – O vulcão tem uma base e cratera circular. Os lados/bordas do cone estão desgastados pela erosão.

1b – Uma estrada.

2a – A origem das correntes é, provavelmente, na base do cone de cinzas junto à estrada.

B – Crateras de impacto

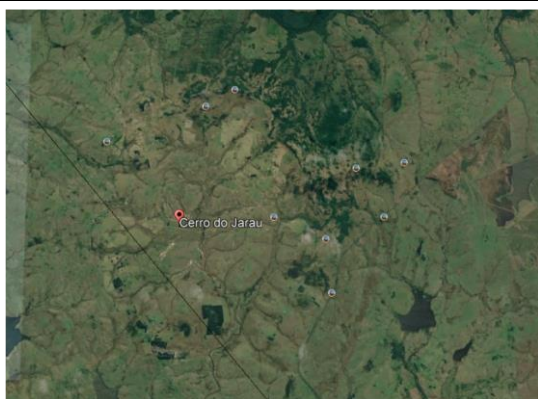
As imagens abaixo mostram a Cratera de Barringer no Arizona, uma vista vertical e uma oblíqua. Já sofreu erosão, mas continua sendo uma das crateras mais bem preservadas na Terra. Surgiu cerca de 50 mil anos, quando um meteoro metálico de 45 a 50 metros colidiu com a Terra a uma velocidade de 40 mil km/h, abrindo um buraco de mais de 1 km de diâmetro.



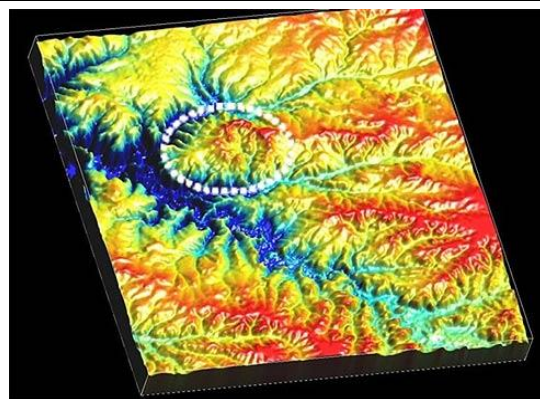
Fonte: Domínio público do Google

A formação geológica do Cerro do Jarau, localizado no município de Quaraí no Rio Grande do Sul, na fronteira do Brasil com o Uruguai, há anos intriga os especialistas. A hipótese mais provável é que a enorme cratera tenha sido formada pela queda de um meteorito no local. Com a descoberta do Jarau, o número de crateras formadas por

impacto de meteorito no Brasil sobe para seis. Além disso, a cratera do Cerro do Jarau é a quarta no planeta formada por rochas basálticas, sedimentares e metamórficas que foram expostas e alteradas pelo impacto do corpo celeste (três dessas crateras estão no Sul do Brasil). Ainda, esse tipo de cratera é bastante comum na superfície de outros corpos planetários, sobretudo em planetas telúricos, mas não na Terra. A análise dos processos de deformação relacionados à formação das crateras basálticas do sul do Brasil pode eventualmente auxiliar na compreensão da evolução da superfície de muitos outros corpos planetários, como a Lua, Marte, Vênus e outros corpos sólidos/rochosos.



Fonte: Imagem Google Earth



Apoio:

- 1) [https://www.apolo11.com/noticias.php?t=Brasil estudo mostra que Cerro do Jarau foi criado por impacto de meteorito&id=20100316-091409](https://www.apolo11.com/noticias.php?t=Brasil%20estudo%20mostra%20que%20Cerro%20do%20Jarau%20foi%20criado%20por%20impacto%20de%20meteorito&id=20100316-091409)
- 2) <https://revistapesquisa.fapesp.br/os-mist%C3%A9rios-de-jarau/>

Questão:

1 – Referente ao impacto de meteoro em superfícies sólidas, descreva a morfologia da Cratera de Barringer.

2 – É possível inferir que a cratera, formada no momento do impacto e que deu origem ao Cerro do Jarau, não está bem preservada, ou seja, já sofreu erosão? Indique os processos erosivos que podem ter atuado no Cerro do Jarau.

Sugestão de resolução:

- 1- A cratera de Barringer no Arizona tem forma arredondada/circular, porém com aparência suavizada. Paredes altas e aparente processo erosivo fluvial. Em relação à cratera do Cerro do Jarau, está bem definida.
- 2- A estrutura do Cerro do Jarau apresenta forma circular. O núcleo central da estrutura está soerguido e tem forma circular. Apresenta feições remanescentes do processo erosivo de uma cratera de impacto gerada pela colisão de um corpo celeste de grandes dimensões e erosão fluvial.

Bibliografia para auxiliar na questão 2:

PHILIPP, Ruy Paulo et al. A estrutura de impacto do Cerro do Jarau, Quaraí, RS. Revista Brasileira de Geociências. Disponível em: <https://pgegeo.igc.usp.br/index.php/rbg/article/view/7784>

C – Tectonismo

O Sul da Califórnia é cortado por muitas falhas, que são visíveis em fotografias e imagens aéreas como estruturas lineares ou ligeiramente curvas, dividindo muitas vezes paisagens distintas. Observe as figuras, uma vista oblíqua da falha de Santo André que formou vales e montanhas e assista o vídeo do link abaixo.

Veja o Vídeo: <https://www.youtube.com/watch?v=T2x1--gj2DA>



Questão: com base na interpretação das figuras e das informações do vídeo, descreva de que forma a falha afetou a morfologia das montanhas geradas pelo encontro das duas placas tectônicas

➤ Atividade 2 – Crateras de impacto

Objetivos da atividade:

- 1) Entender a formação de crateras.
- 2) Destacar a importância das crateras no estudo das superfícies planetárias e na datação relativa das suas morfologias/acontecimentos.
- 3) Tempo: 100 minutos (2 períodos)

Quando meteoritos grandes colidem com planetas formam também grandes crateras de impacto. A Cratera de Barringer no Arizona é a mais famosa cratera de impacto na Terra. Durante o impacto de um meteorito, as rochas que se encontram a maiores profundidades são projetadas para a superfície, revelando a constituição das rochas de zonas mais profundas da crosta. A abundância de crateras numa superfície pode evidenciar a sua idade, pois, quanto maior for o número de crateras, mais antiga é a superfície, como ocorre com a superfície de Marte.

1- Experiência Prática – Formação de crateras

(Cuidado na execução da tarefa)

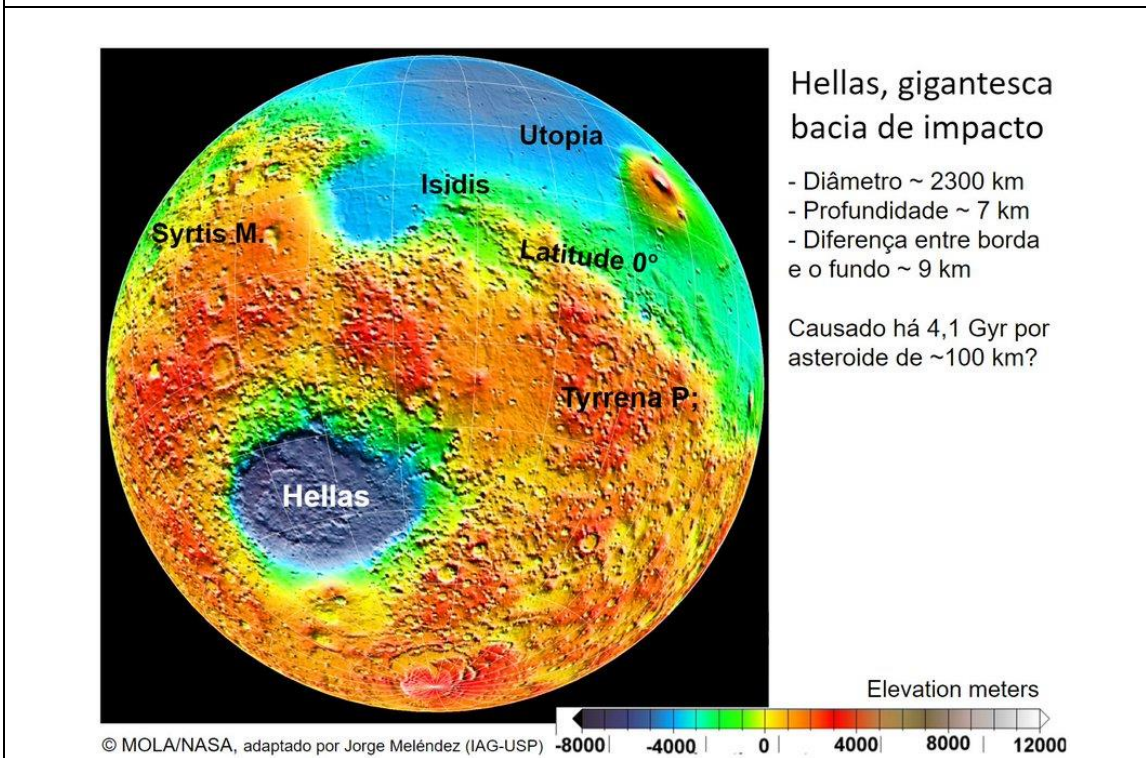
- Construa uma caixa de areia de com 0.5m x 0.5m.
- Aplane a superfície da areia e cubra-a com uma camada de material contrastante mais fino (ex. outro tipo de areia, gesso em pó)
- Coloque mais uma camada de areia, com alguns centímetros.

- Jogue bolas de gude ou outros objetos arredondados, de tamanho diferentes para simular meteoros impactando a superfície. Verifique se o impacto deixou formas semelhantes a crateras de impacto e se é possível observar camadas contrastante.

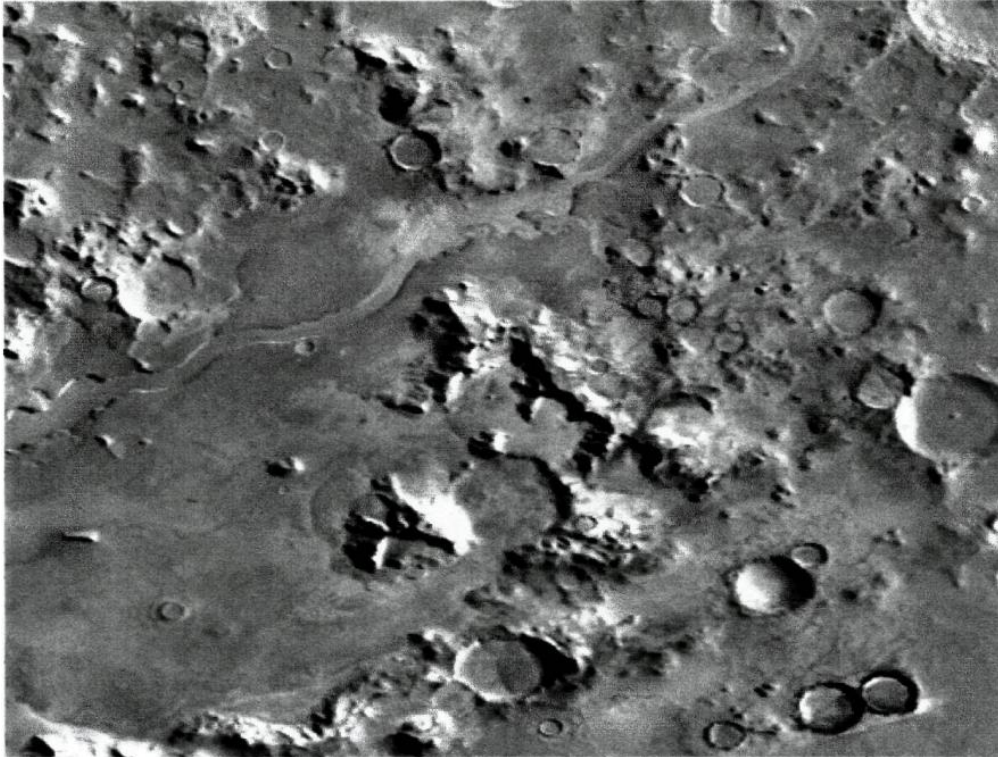
- ☞ Qual a profundidade da cratera?
- ☞ Qual a distância a que foi projetado o material contrastante?
- ☞ Relacione a dimensão do projetil e o seu ângulo de projeção com a forma e dimensão das crateras.
- ☞ Elabore um croqui para registrar as crateras de impacto após o experimento.

Nota: Nesta experiência podem ser usados diferentes tipos de areias e diferentes profundidades de aterros. Diferentes tamanho e pesos de bolas de gude (projéteis). Arremessar de diferentes ângulos. Usando uma máquina para arremessar os projéteis, poder-se-á obter impactos mais intensos e crateras maiores.

A imagem abaixo representa a topografia do Planeta Marte e a grande bacia de impacto Hellas que fica situada no Hemisfério Sul do planeta vermelho.

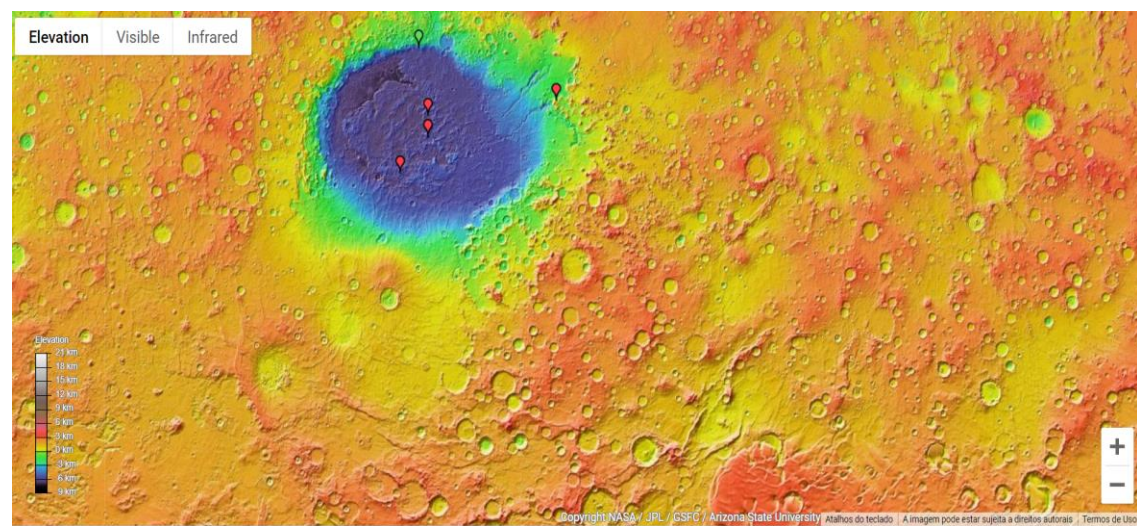


A próxima imagem representa um recorte na região na mesma bacia de impacto. Os impactos em maior número, a direita da imagem, indicam terrenos mais antigos. A água na forma líquida, não existe à superfície de Marte. Indique processos que poderiam ter reestruturado a superfície de Marte, dispensando a ação da água.



“Continente” antigo com crateras, a Leste da Bacia de Hellas em Marte. Esta imagem representa cerca de 300 km de extensão - [Planetary Geology pdf \(nasa.gov\)](#)

Na imagem abaixo identifique e trace as margens das crateras e indique a região com terrenos mais jovens e antigos, de acordo com a contagem de crateras de impacto.



Fonte: Google Mars

DICA: Usar Google Mars como ferramenta dinâmica e interativa de aprendizagem.
<https://www.google.com/mars/>

➤ **Atividade 3 – Idade Relativa de algumas morfologias de Marte**

Objetivos da atividade:

- 1) Determinar a idade relativa de diferentes morfologias de Marte, usando o princípio da sobreposição.
- 2) Tempo: 20 minutos.

Para melhor compreender a origem e a formação de Marte, é importante saber quais os acontecimentos que ocorreram e em que ordem cronológica, isto é, quais as áreas são mais antigas e quais são as mais recentes. Uma forma simples de sequenciar acontecimentos é levar em consideração o princípio da sobreposição. Segundo este princípio, as estruturas mais modernas sobrepõem-se às mais antigas e, logicamente, os acontecimentos mais recentes afetam os mais antigos. Recorrendo ao princípio da sobreposição, ao estudar a superfície de Marte, podemos inferir alguns acontecimentos na história do Planeta Vermelho. Por exemplo, é possível deduzir os acontecimentos que intervieram na formação da área da figura abaixo, que evidencia uma pequena parte da parede do grande sistema de desfiladeiros do Vallès Marineris.

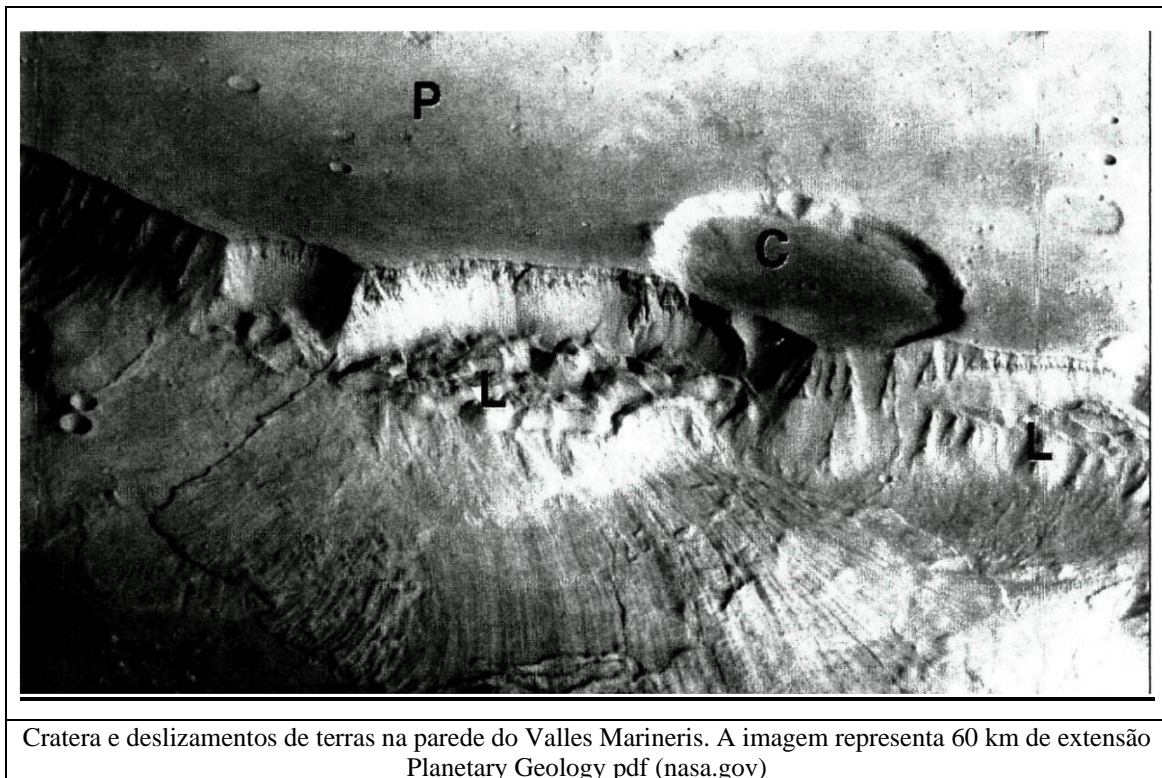


Sugestão para análise da imagem

- 🔍 Quantos escorregamentos de terra existem?
- 🔍 A cratera maior (C) é mais recente que o escorregamento?
- 🔍 Os escorregamentos de terra são mais recentes que as camadas de rocha que estão no topo da parede do canyon?
- 🔍 As crateras menores são mais antigas ou mais recentes que os escorregamentos de terra?

👉 Para construir a história dessa parte do Valles Marineris, siga o procedimento:

- Inicie fazendo uma lista das estruturas que consegue observar, bem como os fenômenos que as geraram.
- Coloque os eventos em ordem cronológica de acontecimentos, dos mais antigos para os mais recentes.

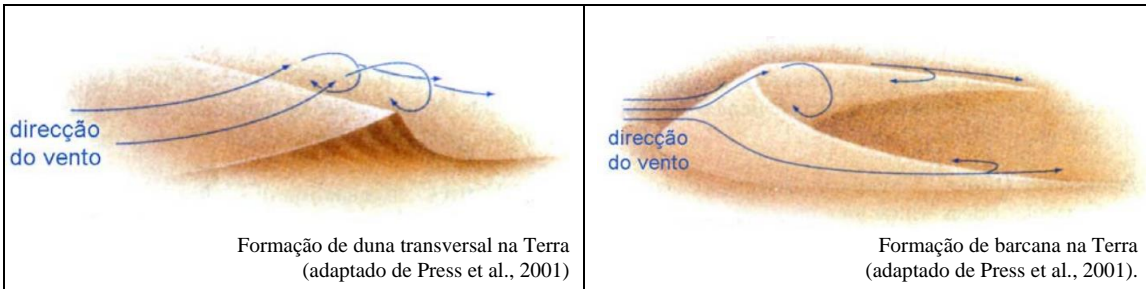


➤ **Atividade 4 – Processos eólicos e morfologias de dunas em Marte**

Objetivos da atividade:

- 1) Identificar tipos de dunas em Marte.
- 2) Tempo: 20 minutos.

A exploração espacial, especialmente das últimas décadas, tem revelado evidências de modificação na paisagem de Marte. A identificação, classificação, distribuição dos fenômenos e dinâmica superficial aumentaram à medida que mais imagens de alta resolução foi sendo adquiridas e disponibilizadas. Os processos eólicos se devem à ação dos ventos, conferido a qualquer planeta com atmosfera dinâmica e superfície sólida, promovendo a erosão, o transporte e a deposição de sedimentos em grande quantidade de material que ao se depositarem produzem morfologias eólicas distintas, conforme o tamanho das partículas, velocidade e direção de ventos. Os processos eólicos que atuaram e, que ainda atuam sobre a superfície de Marte, desempenham papel expressivo na modelagem do terreno, formando diferentes feições e tipologias de dunas e depósitos em maior e menor escala. A atividade eólica em Marte está sujeita, em linhas gerais, a ação do clima e da dinâmica atmosférica, que por sua vez, comandam os ventos e o transporte de partículas.



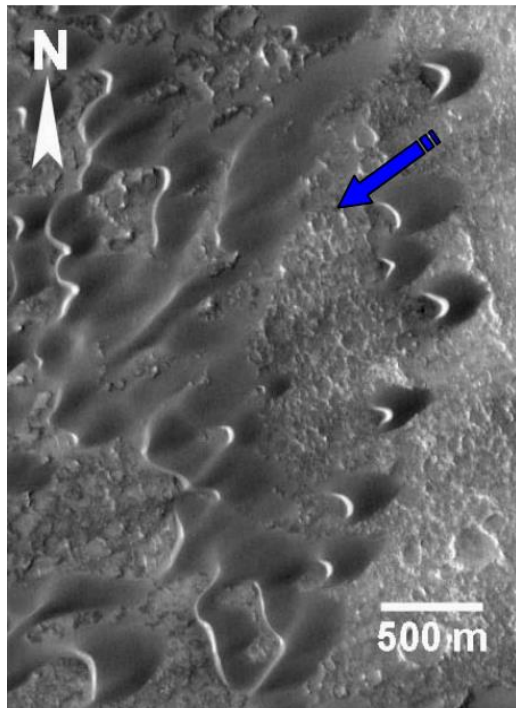
A imagem abaixo mostra um cânion imenso chamado Coprates Chasma em Marte, localizado a 13.4° Latitude Sul e 61.4° Longitude Oeste, parte do sistema de Valles Marineris. A atividade eólica, pelo transporte de partículas de areia e poeiras permite a formação de dunas e estrias na superfície das rochas expostas, contribuindo para a modelação da superfície e modificação da paisagem de Marte.



Fonte: https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Mars_Express/Coprates_Chasma_and_Coprates_Catena

Com base nos modelos de tipos de dunas que ocorrem na Terra, indicados nos exemplos acima, identifique a qual planeta pertence as dunas e, qual o tipo de duna corresponde as imagens abaixo.





Fonte: Pereira (2007)



Sugestão de resolução

Imagem 1: Campos de dunas no fundo de Cratera Endurance, situada na Região de Meridiani Planum análogas a dunas transversais terrestres, formadas em zona de regime de ventos unidirecional, com cristas alinhadas transversalmente (perpendicularmente) a direção do vento, em locais onde o suprimento de sedimento é abundante. Fonte: <https://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA06754>

Imagem 2: Campos de duna do tipo transversal no deserto da Terra - Arabia Saudita. Fonte: <https://focusedcollection.com/pt/237403864/stock-photo-close-view-sand-dunes-desert.html>

Imagem 3: São dunas constituídas por material de cor escura e têm aspecto de uma crescente, são análogas às dunas barcanas terrestres. Ocorrem dunas isoladas nas margens do campo, mas no seu interior a tendência é a formação de bandas sinuosas. A região é conhecida por ser uma das regiões mais escuras da superfície de Marte. Na Terra este tipo de dunas se forma sobre solos rochosos em zonas onde o suprimento de areia é escasso e o regime de ventos é unidirecional. Dunas barcanas apresentam, como todas as dunas, um declive mais suave no lado que está sujeito à ação do vento (barlavento), e um declive acentuado no lado oposto (sotavento). Nas extremidades, a duna curva na direção em que sopra o vento, formando dois braços paralelos que rodeiam a face côncava da duna (PEREIRA, 2007).

Imagem 4: Dunas barcanas terrestre na costa do Oceano Pacífico – Peru.

Fonte: <https://nationalgeographic.pt/natureza/actualidade/1620-navegando-pelas-dunas>

➤ Atividade 5 – Estruturas morfológicas de Marte

Objetivos da atividade:

- 1) Através da observação e análise de imagens de morfologias da superfície de Marte, os alunos identificarão diversos tipos de paisagens e interpretarão os processos geológicos que as originaram.
- 2) Tempo: 100 minutos (2 períodos).

Marte e Terra são semelhantes em muitos aspectos. Os mesmos quatro processos geológicos e geomorfológicos são responsáveis pela modelação do relevo da Terra (sedimentogênese - erosão/transporte/sedimentação, crateras de impacto, tectonismo e vulcanismo) deixaram as suas marcas sobre a superfície de Marte.

O vulcanismo produziu extensas correntes de lava, enormes escudos vulcânicos e planícies de material vulcânico. Marte possui alguns dos maiores vulcões do Sistema Solar, nomeadamente o Monte Olympus, um vulcão enorme, maior que as ilhas do Havai. O Monte Olympus é um dos quatro grandes vulcões que existem na região de Tharsis (3000 km de extensão). Estes vulcões estiveram em erupção, repetidamente, durante vários milhões de anos, crescendo à medida que a lava saía. No cume de cada vulcão são encontradas enormes caldeiras.

O desgaste (erosão/transporte/sedimentação) é o processo geomorfológico dominante, atualmente, em Marte. O movimento de massas, por deslizamento de terras ou queda de material, deve-se à ação da gravidade. A atividade eólica, pelo transporte de partículas de areia e poeiras permite a formação de dunas e estrias na superfície das rochas expostas, contribuindo para a modelação da superfície e modificação da paisagem de Marte.

As baixas temperaturas e pressão atmosférica não permitem que exista, hoje, água líquida à superfície de Marte. Porém, a ação de correntes de água, no passado, foi um importante processo modificador da paisagem. Os sistemas de vales cortam muitos terrenos de crateras e apresentam características análogas aos vales formados pela água na Terra. Permanece, pois, a questão "Para onde foi essa água?". Alguma estará, provavelmente, no interior do solo sob a forma de gelo, enquanto outra escapou para o espaço ao longo do tempo. As capas de gelo polar, constituídas essencialmente por dióxido de carbono (CO₂), contêm alguma água em gelo. Tal como a Terra, Marte tem estações, pelo que as capas de gelo polar diminuem durante o Verão e aumentam durante o Inverno.

Embora Marte não possua placas tectônicas como a Terra, existem muitas estruturas tectônicas que evidenciam a deformação da superfície. A tensão pode ter sido causada pelo levantamento da subsuperfície ou pela adição de massa (pelos fluxos de lava) que aumentaram o peso nessa área. A tensão extensional conduziu à formação de grandes vales como o Vallès Marineris, que é o mais longo sistema de cânions do Sistema Solar.

Tal como nos outros planetas telúricos, são encontradas crateras na superfície de Marte. Em Marte, como em outros planetas, as crateras de impacto são mais recentes que na Terra. O número, o tamanho e a jovialidade das crateras, e a sua relação com outras estruturas geológicas, podem ser usadas para determinar a idade relativa das superfícies do Planeta Vermelho. De maneira geral, as regiões mais antigas possuem maior número de crateras, maiores e mais degradadas que as regiões mais jovens.

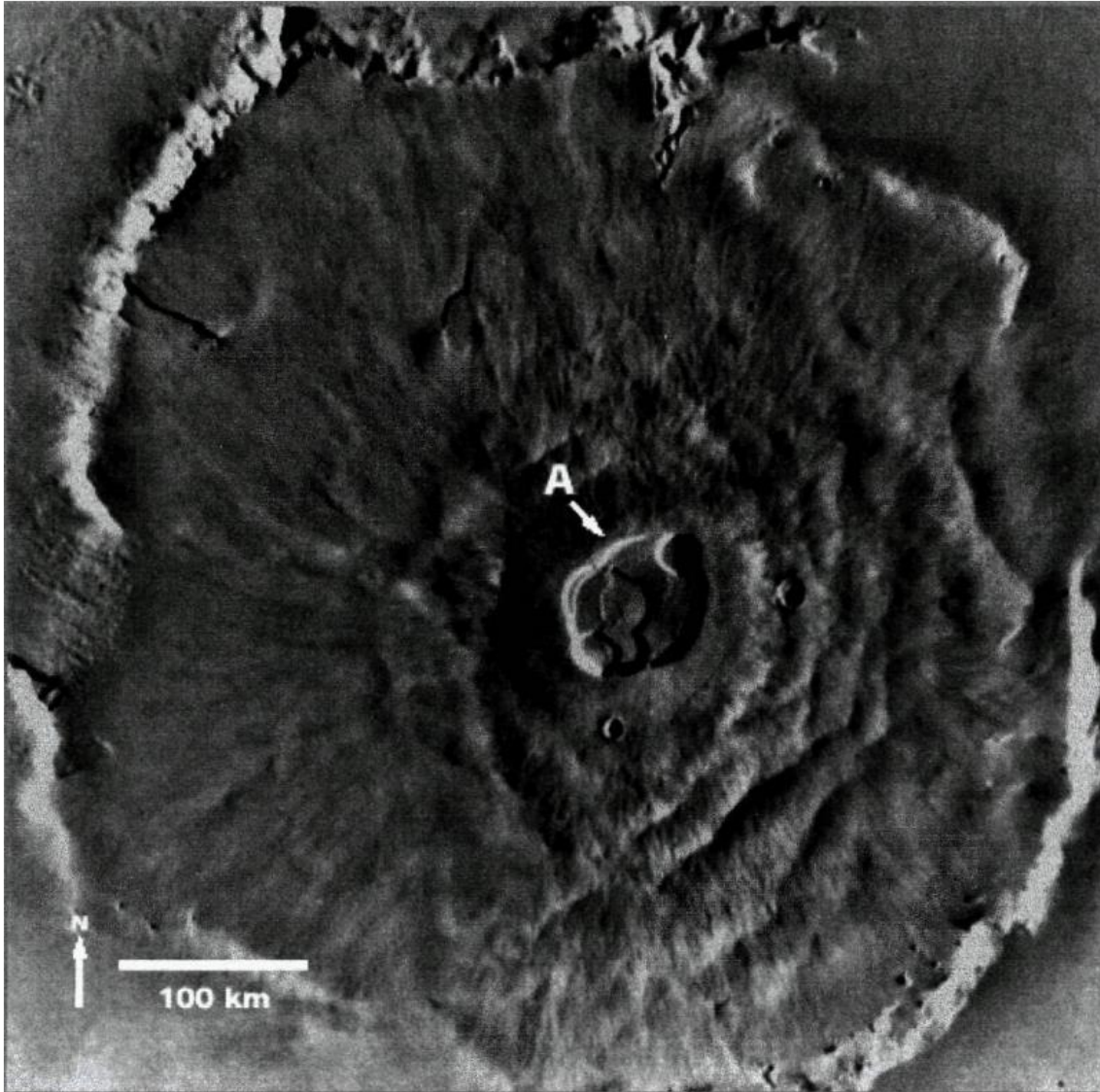
O princípio da sobreposição indica que uma estrutura que cubra outra, mesmo que parcialmente, é mais recente. Por conseguinte, um vale que corte uma cratera terá uma formação posterior à da cratera. As crateras individuais são degradadas ou destruídas, ao longo do tempo, por processos erosivos ou por outras crateras. Assim, uma cratera com margens elevadas e lados escarpados são mais recentes que as crateras menos definidas, mais erodidas e com margens parciais.

Nesse sentido, recorrendo a uma observação pormenorizada de imagens e tendo por base este princípio, podemos determinar a idade relativa das estruturas geológicas e fazer uma sequência histórica dos acontecimentos.

Analise a imagem abaixo e responda

O Monte Olympus é um vulcão em escudo com 600 km de diâmetro, elevado 25 km acima do plano da superfície. À volta da sua base existe uma escarpa com 6 km de altura. No topo possui uma caldeira com 80 km de largura.

- 1) Observe a caldeira (marcada com a letra A) e descreva a sua forma.
- 2) Explique a formação da escarpa à volta do Monte Olympus.



Monte Olympus, vulcão em escudo de Marte. A caldeira tem cerca de 80 km de diâmetro
Planetary Geology pdf (nasa.gov)

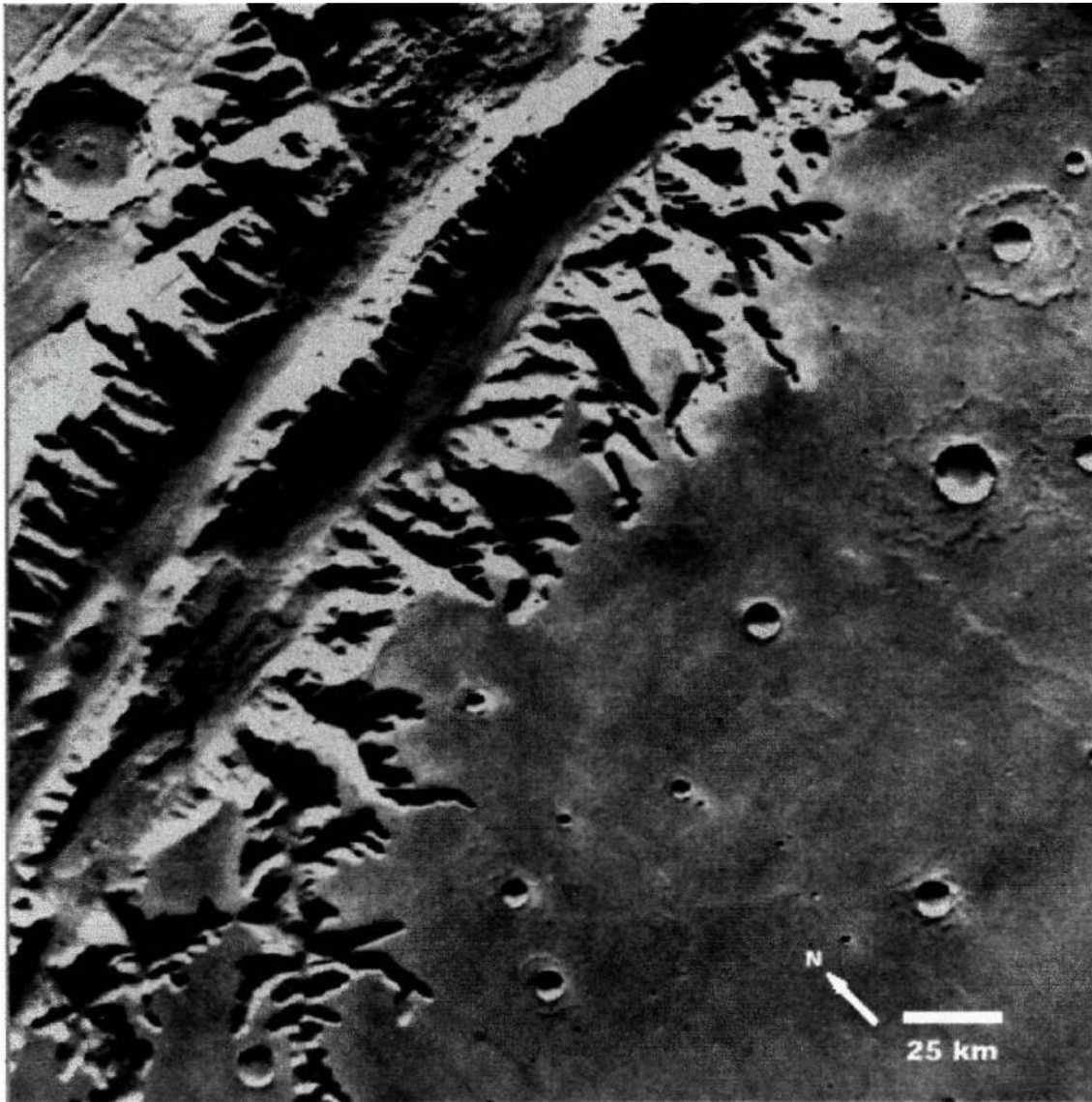
Sugestão de resolução:

- 1) É, aproximadamente, circular, mas com numerosas crateras sobrepostas dentro dela e nas margens.
- 2) As respostas devem incluir erosão e tectonismo (falhas).

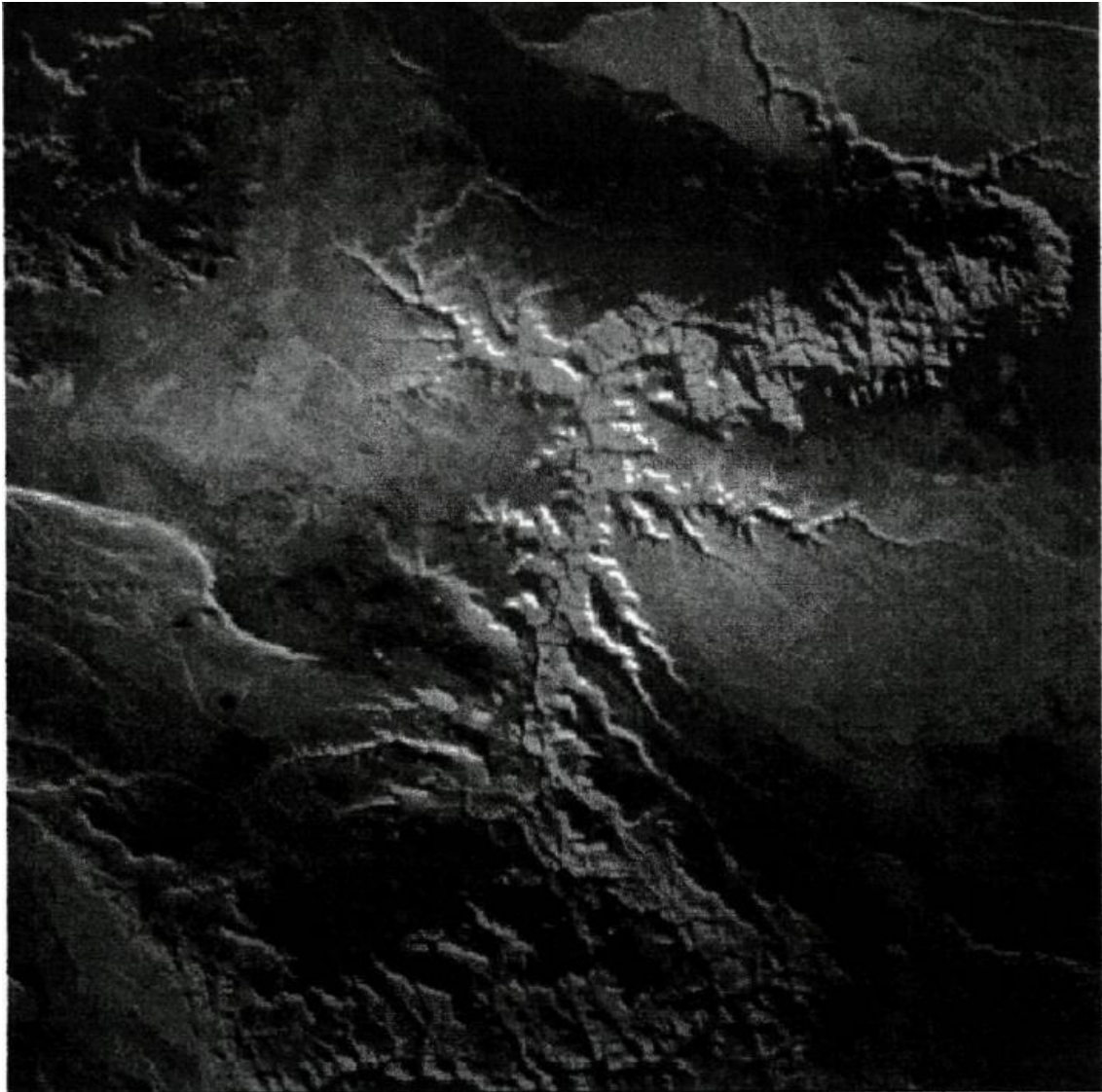
Analise a imagem abaixo e responda

O maior sistema de cânions do Valle Marineris estende-se 4000 km (W-E) ao longo de Marte e 600 km (N-S). Observe o Chasma lus (figura abaixo), o maior cânion de Marte, que se situa a Oeste, na parte final do Valle Marineris. Outros vales menores juntam-se ao chasma principal orientado Leste-Oeste.

- 1) Indique qual dos 4 processos, referidos na introdução, terá sido responsável pela formação do Chasma lus.
- 2) Comparando o tamanho do Chasma lus com o Grand Canyon do Arizona, identifique o maior.
- 3) Chasma lus é, basicamente, reto porque as suas margens acompanham enormes falhas geológicas. No mapa do Grand Canyon do Arizona, trace os canais por onde o rio flui e os cânions. Observe atentamente as figuras e refira:
 - Se algum deles é tão reto como o Chasma lus
 - Se o Grand Canyon está tão curvo como os canyons da parede Sul do chasma lus



Chasma lus, uma parte de Vallès Marineris - Planetary Geology pdf (nasa.gov)



Grand Canyon do Arizona. Tem 1400-1700 m de profundidade, 10-20 km de largura e 260 km de extensão - [Planetary Geology pdf \(nasa.gov\)](#)

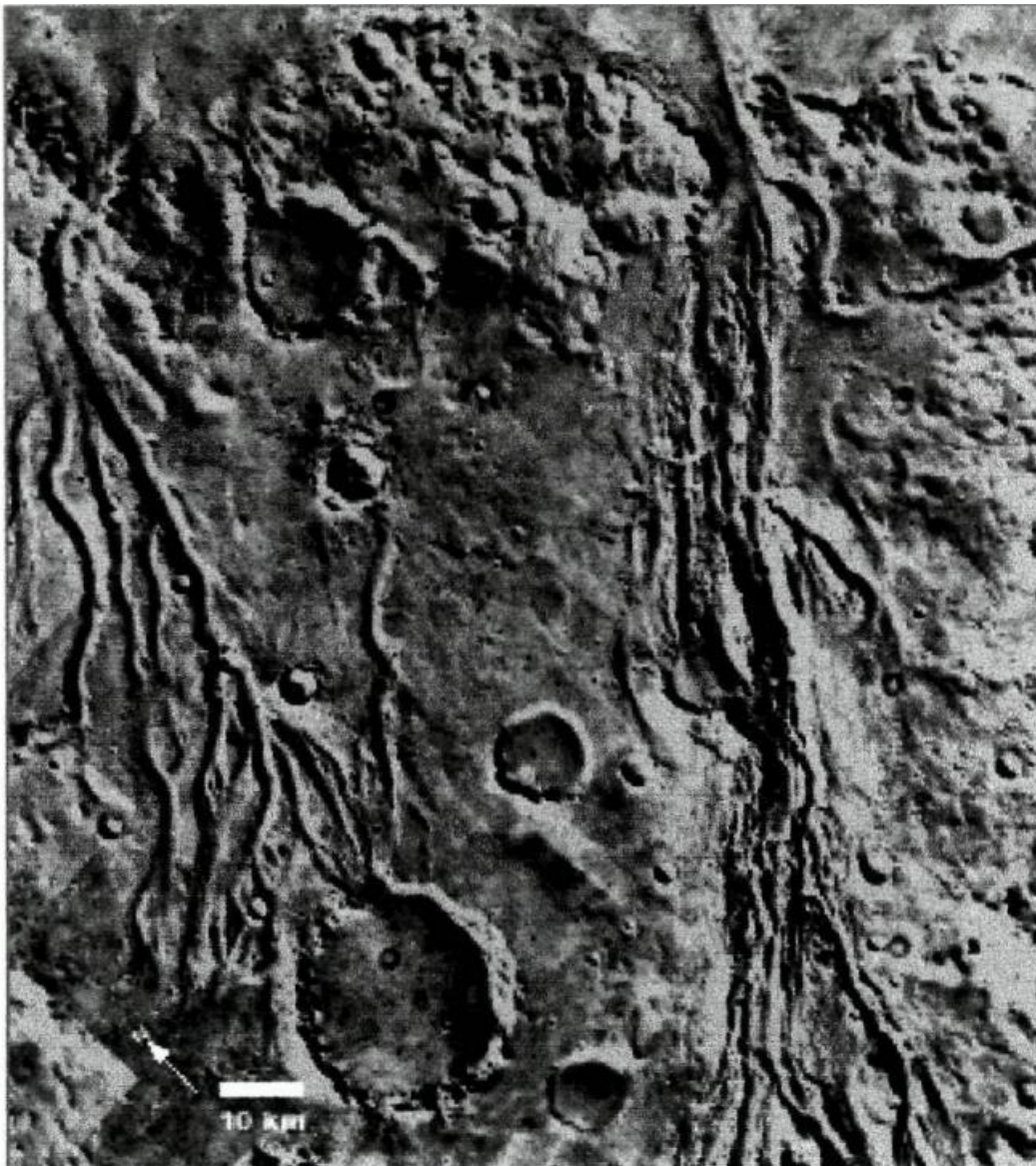
Sugestão de resolução:

- 1- Os penhascos aguçados e diretos, bem como as grandes dimensões sugerem processos tectônicos. As correntes, no lado Sul, indicam modificações por acção do fluxo de água.
- 2- O Chasma lus é várias vezes maior que o Grand Canyon do Arizona.

Analise a imagem abaixo e responda

Os vales a Oeste da planície de Chryse, apresentam uma estrutura ramificada semelhante a alguns sistemas fluviais terrestres.

- 1) Indique em que direção fluiu a água.
- 2) Classifique esta região de Marte como relativamente antiga ou recente, baseado no número e morfologia das crateras
- 3) Determine a idade relativa das crateras e vales, justificando a resposta com base no princípio da sobreposição.



Vales a Oeste da planície de Chryse. A cratera maior tem 28 km de diâmetro
[Planetary Geology pdf \(nasa.gov\)](#)

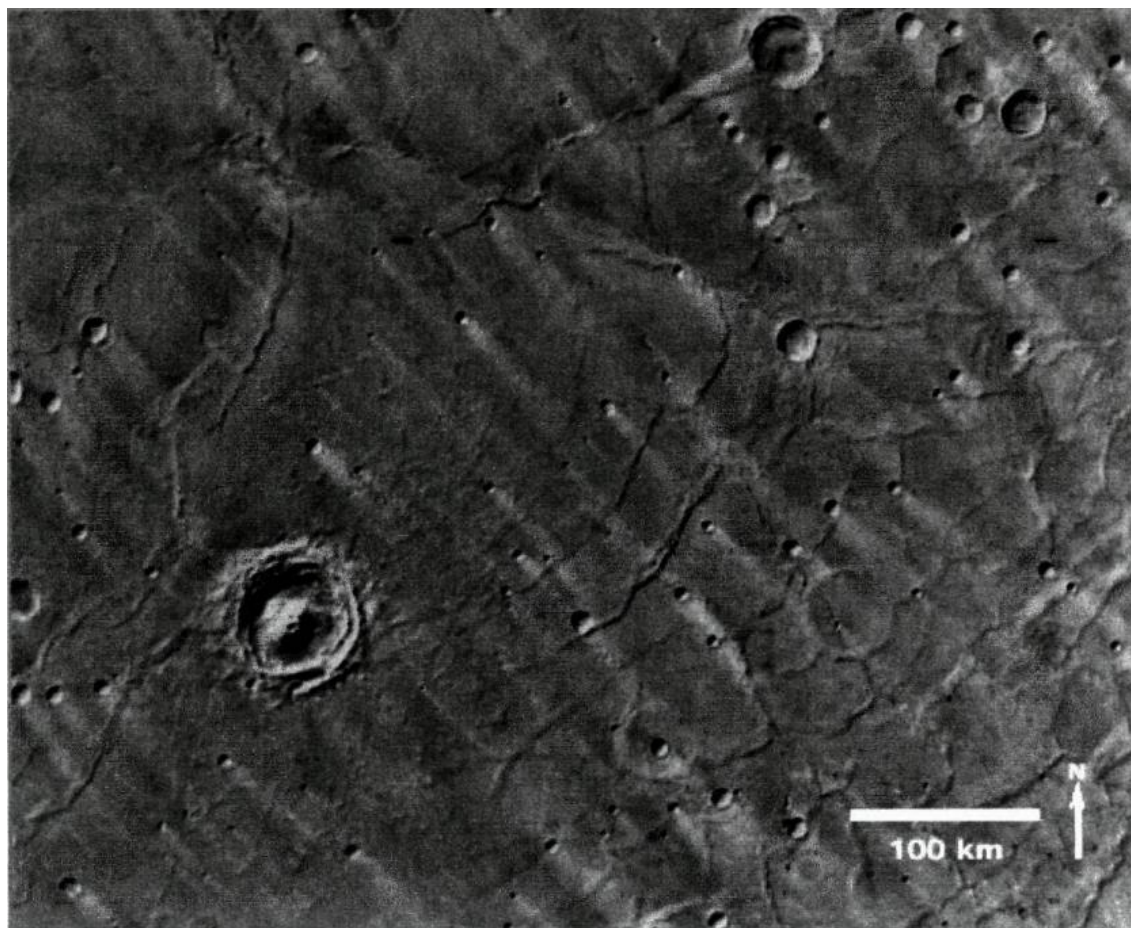
Sugestão de resolução:

- 1- Nordeste (para o topo da figura)
- 2- As crateras são numerosas e degradadas, o que indica tratar-se de uma região relativamente antiga.
- 3- As crateras são mais antigas que os vales, uma vez que estes cortam as margens das crateras. Contudo, existem algumas crateras mais jovens que se sobrepõem aos canais, indicando que estes impactos ocorreram após a formação dos canais.

Analise a imagem abaixo e responda

A região Hesperia no hemisfério Sul, consiste numa planície cravejada de crateras que foram modificadas por processos eólicos. As estrias claras produzidas pelos ventos estão associadas a muitas crateras.

- 1) Descreva a aparência e orientação dessas estrias
- 2) Se as estrias são depósitos de poeiras formadas a partir das crateras, determine a direcção do vento.



Hesperia Planum - [Planetary Geology pdf \(nasa.gov\)](#)

Sugestão de resolução:

- 1- As estrias difusas de material claro são encontradas a SE das crateras
- 2- O vento sopra de NW

Analise a imagem abaixo e responda

Atenção à imagem abaixo!! Patera Apollinaris e a região envolvente. Na modelação de uma paisagem à superfície de um planeta podem atuar os 4 processos geológicos. Nesta questão terão de ser utilizados os conhecimentos adquiridos nas questões anteriores a fim de identificar diferentes tipos de estruturas e descrever os processos geológicos geomorfológicos que as originaram.

- 1) Comparando a Patera Apollinaris (marca A) com o Monte Olympus, determine as semelhanças e diferenças entre eles.
- 2) Identifique os processos que terão formado a Patera Apollinaris. Justifique a resposta.
- 3) Indique os processos que teriam formado a cratera Reuyl (marca B). Justifique a resposta
- 4) O vale Ma'adim é um canal na parte SE da figura, marcado com a letra C. Refira qual dos 4 processos terá formado esta estrutura. Justifique a resposta.
- 5) Relacione o Vale Ma'adim com a cratera Gusev (160 km de diâmetro), marcada com a letra D, no que respeita à origem do material que ocupa o chão da cratera (nota: a região inclina para Norte).
- 6) Baseado nas informações obtidas nas alíneas anteriores, sequencie a ocorrência das estruturas A, B, C e D da figura. Refira as evidências que conduziram a esta resposta.



Patera Apollinaris e região circundante - Planetary Geology pdf (nasa.gov)

Sugestão de resolução:

- 1- Tal como o Monte Olympus, a Patera Apollinaris apresenta estruturas de fluxo radiais e uma escarpa basal. A Patera Apollinaris tem mais crateras, uma enorme estrutura do fluxo em direção a Sul, e uma caldeira menos complexa que a do Monte Olympus. Este último é uma estrutura muito maior.
- 2- Considerando as características descritas na alínea anterior, é o vulcanismo.
- 3- Com base no ejecta e no pico central, a cratera Reuyl formou-se por impacto.
- 4- Os meandros e os canais tributários indicam erosão por fluvial.
- 5- A água que outrora fluiu pelo vale Ma'adim pode ter depositado sedimentos no fundo da cratera Gusev.
- 6- D, A(C), C(A), B
D é uma cratera degradada muito antiga. As correntes de A são modificadas na sua parte Sul pelos sedimentos oriundos da cratera D, devido ao fluxo de água no canal C. Assim, A precede C (este acontecimento é difícil de ver, pelo que os alunos poderão, eventualmente, invertê-los) A cratera B é jovem na aparência - as margens não estão erodidas - e por isso é, provavelmente, muito nova.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Estudos sobre o Planeta Terra estão comprovadamente atrelados a um sistema mais abrangente de corpos celestes e, atualmente, o conhecimento já produzido e disponibilizado, possibilitam estudos comparativos entre os Planetas do Sistema Solar, resultando em descobertas importantes sobre suas diferenças e semelhanças, sobretudo entre os planetas telúricos.

Entre as principais descobertas e similaridades dos planetas rochosos (Mercúrio, Vênus, Terra e Marte) pode-se destacar que todos expõem registros de que foram submetidos a sucessivos estágios de atividade planetária, modificando suas estruturas internas, o que conseqüentemente, alterou as morfologias superficialmente. Ainda estiveram submetidos a pequenos e grandes impactos de meteoros, produzindo crateras de diferentes dimensões em superfície e subsuperfície, muitas obliteradas por processos erosivos. Outras evidências mostram as marcas da atividade vulcânica, que produziu extensas correntes de lava, enormes escudos vulcânicos e planícies de material vulcânico, principalmente no Hemisfério Norte, na região Tharsis, onde fica o Monte Olympus, o maior vulcão do Sistema Solar, maior que as ilhas do Havaí.

Diferente do Planeta Terra, Marte evidencia um enorme número de crateras de impacto. No entanto, assim como o nosso planeta, apresenta sinais da ação erosiva, fluvial e eólica. Os registros mais evidentes de erosão fluvial são percebidos no Valle Marineris, onde se apresentam as morfologias de origem fluvial que sugerem a existência de água líquida em épocas remotas da história do Planeta Vermelho.

Os processos eólicos que atuaram ou, que ainda atuam sobre a superfície de Marte, desempenham papel expressivo na modelagem do terreno, formando tipologias de dunas e depósitos eólicos em maior e menor escala. A formação de dunas ocorre quase que por toda a superfície marciana, mas não de maneira homogênea. Registros eólicos são observados em maior concentração nas regiões polares, sobretudo no polo Norte. Também são encontrados campos de dunas no interior de crateras e *chasmas*, sendo as do tipo *barcanas* e transversais as mais comuns. Exibem morfologias muito semelhantes a *ergs* de bacias desérticas e campos de dunas do nosso planeta e, por conseguinte, esta correspondência morfológica atesta que a dinâmica da formação de dunas é semelhante à Terra.

Nesse sentido, Marte se apresenta como um caso base da planetologia e da astronomia comparativa para estudos de processos e formas superficiais dos planetas do Sistema Solar, além da Terra. Igualmente, há de se considerar que existe um grande potencial sobre a Exogeodiversidade a ser explorado que vem ao encontro de outros tópicos²⁷ curiosos e recorrentes nos questionamentos das gerações recentes e, possíveis de serem abordados nas escolas e universidades, sob o prisma da Divulgação Científica enquanto instrumento para estimular o interesse e prazer pela Ciência e pelo conhecimento.

Assim, neste trabalho também se buscou estabelecer as conexões com o Ensino de Geografia, dada a ausência de material didático sobre a temática, bem como na formação de professores. Desta forma, pensou-se em sugestões de atividades de apoio aos docentes que tenham interesse em abordar o tema em sala de aula. Também, são atividades que podem servir de base para a elaboração de novas ferramentas didáticas e diferentes abordagens, não somente para a Geografia, mas para outras áreas do conhecimento.

Por fim, sugere-se para os trabalhos futuros uma abordagem mais detalhada sobre os processos e as formas derivadas dos processos fluviais, bem como a utilização de imagens mais recentes, já disponibilizadas pelas agências de exploração espacial. Como por exemplo, utilizar imagens adquiridas pela câmera HiRISE (*High Resolution Imaging Science Experiment*) da Missão Mars Reconnaissance Orbiter (2005) que disponibiliza imagens de alta resolução (*Lunar & Planetary Laboratory – LPL/The University of Arizona* - <https://www.uahirise.org/> -). Ainda, para educadores e estudantes que procuram conteúdo atualizado referente ao Sistema Solar e sobre as missões de exploração planetária, a sugestão é acessar o conteúdo disponível no site da NASA <https://www.nasa.gov/stem/foreducators/k-12/index.html> elaborado para fins de Divulgação Científica.

²⁷ Tópicos relacionados ao espaço, astronomia, a vida fora do planeta Terra (astrobiologia), novas invenções e descobertas, genética e corpo humano, o mundo animal, computadores e equipamentos eletrônicos, clima, aquecimento global e mudanças climáticas, meio ambiente são temáticas que estão nos questionamentos das gerações recentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRIL. Nasa divulga o primeiro mapa detalhado do interior de Marte. **Revista Super Interessante**. Disponível em: <https://super.abril.com.br/ciencia/nasa-divulga-o-primeiro-mapa-detalhado-do-interior-de-marte/> Acesso em: setembro 06, 2022 Acesso em: julho 28, 2022.

ASTROMALLORCA – Asociación Astronômica de Mallorca. Curso de Geología de Marte 2021. Disponível em: [Curso de Geología de Marte 2021 | AstroMallorca \(wordpress.com\)](#). Acesso em: setembro 06, 2022.

BAKER, Victor R., HAMILTON, Christophe W., BURR, Devon M., GULICK, Virginia C., KOMATSU, Goro., LUO, Wei., JAMES W. Rice Jr., RODRIGUEZ, J. A. P. Fluvial geomorphology on Earth-like planetary surfaces: Rev. **Geomorphology**, v. 245, 149–182. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.05.002>

BBC News Brasil. Missões para Marte: por que 3 países chegarão ao planeta veremlho quase ao mesmo tempo. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/geral-56009609> Acesso em: setembro 06, 2022

BBC News Mundo. Como será a missão do robô explorador na Nasa que chegará a Marte nesta quinta-feira. **Correio Braziliense**. Disponível em: <https://www.correiobraziliense.com.br/ciencia-e-saude/2021/02/4907327-como-sera-a-missao-do-robo-explorador-da-nasa-que-chega-a-marte-nesta-quinta.html> Acesso em: setembro 06, 2022

BÉTARD, François; PEULVAST, Jean-Pierre. Valuing and representing exogeodiversity: From scientific imagery to artistic imagination. **Géomorphologie**. Vol. 25 nº 3. DOI: <https://doi.org/10.4000/geomorphologie.13412> Disponível em: Valuing and representing exogeodiversity: From scientific imagery to artistic imagination (openedition.org) Acesso em: agosto 20, 2022

BRASIL. Base Nacional Comum Curricular – BNCC. 2019. Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/> Acesso em: outubro 19, 2022

BREED, Carol S.; GROLIER, Maurice J.; MCCAULEY, John F. Morphology and distribution of common ‘sand’ dunes on Mars: Comparison with the Earth. *Journal of Geophysical Research*, V. 84(B14), 1979. Disponível em: doi: <https://doi.org/10.1029/JB084iB14p08183> Acesso em: setembro 21, 2022.

BUENO, Wilson Costa. Comunicação científica e divulgação científica: aproximações e rupturas conceituais. **Informação & Informação** - Londrina, v. 15, n. esp, p. 1 - 12, 2010. Disponível em: <https://www.brapci.inf.br/index.php/article/download/14078> Acesso em: julho 28, 2022.

CALVO HERNANDO, Manuel. Objetivos de la Divulgación de la Ciência. **Chasqui - Revista Latinoamericana de Comunicación**. Núm. 60, 1997, p. 38 a 42. Disponível em: <https://revistachasqui.org/index.php/chasqui/article/view/1153/1182> Acesso em: junho 15, 2022.

CANALTECH. Cinco coisas sobre Marte que a Missão Insight descobriu em 10 meses. Disponível em: <https://canaltech.com.br/espaco/cinco-coisas-sobre-marte-que-a-missao-insight-descobriu-em-10-meses-160936/> Acesso em: setembro 06, 2022

CANALTECH. Exploração de Marte: que condas, rovers e landers já foram enviados para lá. Disponível em: <https://canaltech.com.br/espaco/exploracao-de-marte-que-sondas-rovers-e-landers-ja-foram-enviados-para-la-180134/> Acesso em: setembro 06, 2022

CAÇADOR, Fátima. Missão Mars 2020 partiu há um ano e as descobertas ainda agora começara. Jornal Sapo. **Canal TEKSAPO**. Disponível em: <https://tek.sapo.pt/multimedia/artigos/missao-mars-2020-comecou-ha-um-ano-e-as-descobertas-ainda-agora-comecaram> Acesso em: setembro 06, 2022

CAVALVANTE, Daniele; YUGE, Claudio. Exploração de Marte: que sondas, rovers e landers já foram enviados para lá? **Canaltech**, 2021. Disponível em: <https://canaltech.com.br/espaco/exploracao-de-marte-que-sondas-rovers-e-landers-ja-foram-enviados-para-la-180134/> Acesso em: setembro 06, 2022.

CORREIA, Helena Isabel da Costa. Estrutura e Morfologia dos Planetas Telúricos: o exemplo de Marte. 2002. 181f. Dissertação (Mestrado em Geologia para o Ensino). Departamento de Geologia – Faculdade de Ciências. Universidade do Porto, Portugal, 2007. Disponível em: https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/9821/2/4801_TM_01_C.pdf Acesso em: agosto 15, 2022.

CHASSOT, Attico Inácio. Alfabetização científica: questões e desafios para a educação. 6. ed. Ijuí: Editora Unijuí, 2014, 368p

CHOJNACKI, Matthew; BANKS, Maria E.; FENTON, Lori K.; URSO, Anna C. Boundary condition controls on the high-sand-flux regions of Mars. *Geology* (2019) 47 (5): 427–430. Disponível em: <https://doi.org/10.1130/G45793.1> Acesso em: setembro 21, 2022.

CNN-Brasil. **Nasa encontra matéria organica que indica vida em Marte**. disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/tecnologia/nasa-encontra-materia-organica-que-indica-vida-em-marte/> Acesso em: setembro 23, 2022.

CNN-World. **Perseverance rover finds organic matter “treasure” on Mars**. disponível em: <https://edition.cnn.com/2022/09/15/world/perseverance-rover-mars-images-scn/index.html> Acesso em: setembro 23, 2022.

CNSA – China National Space Administration. **Tianwen-1: China successfully launches probe in first Mars mission**. Disponível em: <http://www.cnsa.gov.cn/english/n6465652/n6465653/c6809882/content.html> Acesso em: setembro 06, 2022

COSTA, Valéria Cristina da; DIAS, André Luiz Nascimento; SILVA, Vanessa Juliana da; FARIA, Marcos Fábio Cardoso de. Grupo De Teatro Universitário Arte (Com)Ciência: Itinerários de Divulgação Científica. **Educação Pública - Divulgação**

Científica e Ensino de Ciências. v1, nº2, junho/2022. Disponível em: <https://doi.org/10.18264/repdcec.v1i2.26> Acesso em: julho 06, 2022

DINIEGA, Serina; BRAMSON, Ali M.; BURATTI, Bonnie; BUHLER, Peter; BURR, Devon M.; CHOJNACKI, Matthew; CONWAY, Susan J.; DUNDAS, Colin M.; HANSEN, Candice J.; MCEWEN, Alfred S.; LAPÔTRE, Mathieu G.A.; LEVY, Joseph; KEOWN, Lauren Mc; PIQUEUX, Sylvain; PORTYANKINA, Ganna; SWANN, Christy; TITUS, Timothy N.; WIDMER, Jacob M. Modern Mars' geomorphological activity, driven by wind, frost, and gravity. *Geomorphology*. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2021.107627> Acesso em: setembro 21, 2022.

EMIRADOS ÁRABES UNIDOS. **Hope Mars** – Disponível em: <https://www.emiratesmarsmission.ae/> Acesso em: setembro 06, 2022

FOLHA DE SÃO PAULO. **Sonda da Nasa produz pela primeira vez “retrato” da estrutura interna de Marte.** Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/ciencia/2021/07/sonda-da-nasa-produz-pela-primeira-vez-retrato-da-estrutura-interna-de-marte.shtml> Acesso em: agosto 11, 2022.

FRANÇA, Andressa de Almeida. *Divulgação Científica no Brasil: espaços de interatividade na Web.* 2015. 268 136f. Dissertação (Mestrado em Ciência, Tecnologia e Sociedade) Universidade Federal de São Carlos - Curso de Pós-graduação em Ciência, Tecnologia e Sociedade, São Carlos, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/7131>

GOMES, Tania Cristina. **Crescimento urbano sobre os compartimentos de relevo no município de Santa Maria – RS.** 2013. 157 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geociências/IGEO, Universidade Federal do Rio Grande do Sul/UFRGS, Porto Alegre, 2013. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/83296>. Acesso em: agosto 03, 2022

GURGEL, Ivã; PIETROCOLA, Maurício. O papel da imaginação no pensamento científico: análise da criação científica de estudantes em uma atividade didática sobre o espalhamento de Rutherford. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física (CBEF)**. v. 28, n. 1: p. 91-122, abr. 2011 DOI: <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2011v28n1p91> Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2011v28n1p91> Acesso em: agosto 11, 2022

HARTMANN, William K.; NEUKUM, Gerhard. Cratering Chronology and the Evolution of Mars. **Space Science Reviews**. 96 (1/4): 165–194, 2001. Disponível em: [doi:10.1023/A:1011945222010](https://doi.org/10.1023/A:1011945222010) Acesso em: setembro 17, 2022.

LANGHI, Rodolfo; NARDI, Roberto. Ensino da astronomia no Brasil: educação formal, informal, não formal e divulgação científica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 31, n. 4, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1806-11172009000400014> Acesso em: agosto 25, 2022

LIBAULT, André. **Os quatro níveis da pesquisa geográfica.** São Paulo: USP, Instituto de Geografia, 1971. 14 p.

LOPES, Julia de Freitas; SILVA, Diomario Jr.; COSTA, Vinícius de Luna Chagas. A divulgação científica e o ensino de Geografia no XVIII Encontro Nacional De Geógrafos In: **I Congresso Latino-americano de Ensino de Geografia, 2021**, Santa Maria. Anais do Congresso Latino-americano de Ensino de Geografia: Resumos dos trabalhos. Araquari: Casa de Hiram, 2021. p. 342-354 Disponível em: [2021_DV e ensino de geografia.pdf](#) Acesso em: agosto 16, 2022

MALIN SPACE SCIENCE SYSTEMS. Mars Global Surveyor Mars Orbiter Camera Image Gallery. Disponível em: [Mars Global Surveyor Mars Orbiter Camera Image Gallery \(msss.com\)](#) Acesso em: setembro 06, 2022

MALIN, M.C.; CARR, M H.; DANIELSON, G. E.; DAVIES, M. E.; HARTMANN, W. K.; INGERSOLL, A. P.; JAMES, P. B.; MASURSKY, H., MCEWEN, A. S.; SODERBLUM, L. A.; THOMAS, P.; VEVERKA, J.; CAPLINGER, M. A.; RAVINE, M. A.; SOULANILLE, T. A.; WARREN, J. L. Early views of the martian surface from the Mars Orbiter Camera of Mars Global Surveyor. **Science**. V. 279, Edição 5.357, 1998. Disponível em: DOI: [10.1126/science.279.5357.1681](#) Acesso em: setembro 17, 2022.

MARQUES, Amanda Cristina Teagno Lopes; MARANDINO, Martha. Alfabetização científica, criança e espaços de educação não formal: diálogos possíveis. **Revista Educação e Pesquisa**. São Paulo, v. 44, e170831, 2018. DOI: [http://dx.doi.org/10.1590/S1678-4634201712170831](#) Disponível em: [http://www.revistas.usp.br/ep/article/view/143528](#) Acesso em: junho 03, 2022

MASSARANI, Luisa; MOREIRA, Ildeu de Castro. Divulgação científica no Brasil: algumas reflexões sobre a história e desafios atuais. In **Pesquisa em divulgação científica: textos escolhidos**. Rio de Janeiro: Fiocruz/COC, 2021. Disponível em: [http://cev.org.br/arquivo/bibliote-ca/4058891.pdf](#). Acesso em: junho 22, 2022.

MEADOWS, Arthur Jack. **A Comunicação Científica na sociedade de risco**. Brasília: Briquet de Lemos/Livros, 1999.

MENDES, Marta Ferreira Abdala. **Uma perspectiva histórica da divulgação científica: a atuação do cientista-divulgador José Reis (1948-1958)**. 2006. 256f. Tese (Doutorado em História das Ciências) – Casa de Oswaldo Cruz – FIOCRUZ Programa de Pós-Graduação em História das Ciências e da Saúde, Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: [*Microsoft Word - Tese Marta Ferreira Abdala \(fiocruz.br\)](#) Acesso em: maio 11, 2022.

MORGAN, Gareth A. ; CAMPBELL, Bruce A. ; CARTER, Lynn M. ; PLAUT, Jeffrey J. ; PHILLIPS, Roger J. 3D Reconstruction of the Source and Scale of Buried Young Flood Channels on Mars. **Revista Science**. Disponível em: [https://www.science.org/doi/pdf/10.1126/science.1234787](#) Acesso em: setembro 10, 2022.

NEVES, Tercia da Karla Moreira. Explorando o Planeta Vermelho: atividades didáticas de comparação de aspectos geográficos entre os planetas Terra e Marte. 2016. 202 f. Dissertação de Mestrado (Mestrado Profissional em Astronomia) – Universidade

Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2016. Disponível em: <http://localhost:8080/tede/handle/tede/466> Acesso em: outubro 06, 2022.

NASA – National Aeronautics and Space Administration. Mariner 8 & 9. Disponível em: <https://mars.nasa.gov/mars-exploration/missions/mariner-8-9/> Acesso em: setembro 01, 2022.

NASA – National Aeronautics and Space Administration. Mars Curiosity Rover. Disponível em: <https://mars.nasa.gov/news/9240/10-years-since-landing-nasas-curiosity-mars-rover-still-has-drive/> Acesso em: setembro 01, 2022

NASA – National Aeronautics and Space Administration. Mars Pathfinder. Disponível em: <https://mars.nasa.gov/mars-exploration/missions/pathfinder/> Acesso em: setembro 01, 2022

NASA – National Aeronautics and Space Administration. Mars Pathfinder. Disponível em: <https://mars.nasa.gov/insight/mission/overview/> Disponível em:

NASA – National Aeronautics and Space Administration. Missão Mars 2020. Disponível em: [Mars 2020 Perseverance Rover - NASA Mars](#) Acesso em: setembro 01, 2022

NASA – National Aeronautics and Space Administration. Perseverance Mars Rover. Disponível em: <https://www.nasa.gov/perseverance> Acesso em: Acesso em: setembro 01, 2022.

NATIONAL GEOGRAPHIC BRASIL. Helicópteros estão revolucionando a busca por vida em Marte. <https://www.nationalgeographicbrasil.com/ciencia/2022/08/helicopteros-estao-revolucionando-a-busca-por-vida-em-marte-veja-como> Acesso em: setembro 06, 2022

OLHAR DIGITAL. Por causa da guerra, ESA anuncia suspensão do programa ExoMars. Disponível em: https://olhardigital.com.br/2022/03/17/ciencia-e-espaco/por-causa-da-guerra-esa-anuncia-suspensao-do-programa-exomars/?fbclid=IwAR3viuww_yYJKm2xs9_nzKrM1-h4u8uzIweuAB5Pj7AgP1jiVzq0FsDphBc Acesso em: setembro 06, 2022

OLHAR DIGITAL. Supermapa mostra vestígio de água em diversas regiões de Marte. Disponível em: <https://olhardigital.com.br/2022/08/24/ciencia-e-espaco/supermapa-mostra-vestigios-de-agua-em-diversas-regioes-de-marte/> Acesso em: setembro 06, 2022
OLIVEIRA FILHO, Kepler de Souza; SARAIVA, Maria de Fátima Oliveira. **Astronomia e Astrofísica**. 4.a. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2017. v. 1. 614p. Disponível em: <http://astro.if.ufrgs.br/livro.pdf> Acesso em: setembro 06, 2022.

PEREIRA, David Rodrigues. Comparação Geomorfológica de algumas estruturas da superfície dos Planetas Marte e Terra. 2007. 96f. Dissertação (Mestrado em Biologia e Geologia – Especialização em Educação). Universidade do Algarve, Portugal, 2007. Disponível em: https://sapiencia.ualg.pt/handle/10400.1/510?locale=pt_PT Acesso em: agosto 15, 2022.

PÉREZ, Daniel Gil; MONTORO, Isabel Fernández; ALÍS, Jaime Carrascosa; CACHAPUZ, António; PRAIA, João. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. *Ciência e Educação (Bauru)* 7 (2) - 2001. <https://doi.org/10.1590/S1516-73132001000200001>

PLU7. Temos um novo mapa da água em Marte e será fundamental para planejar nosso futuro pouco. Disponível em: <https://plu7.com/57528/tecnologia/temos-um-novo-mapa-da-agua-em-marte-e-sera-fundamental-para-planejar-nosso-futuro-pouso/> Acesso em: setembro 06, 2022

PORTO, Cristiane de Magalhães. **A internet e a cultura científica no Brasil. Difusão e cultura científica: alguns recortes**. Salvador: Edufba, 2009 disponível em: <https://books.scielo.org/id/68/pdf/porto-9788523209124-08.pdf> Acesso em: agosto 02, 2022

ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. **Geomorfologia: Ambiente e Planejamento**. 8a ed. São Paulo: Contexto, 2010. 85p.

SARAIVA, Maria de Fátima Oliveira; OLIVEIRA FILHO, Kepler de Souza; MÜLLER, Alexei Machado. Aula 9: Sistema Solar - Propriedades físicas dos planetas. Disponível em: [Aula9-132.pdf \(ufrgs.br\)](#) Acesso em: setembro 06, 2022.

SILVA, Fernando de Freitas; SANTOS, Francisco Kennedy Silva dos; SILVA, Leonardo Lima da; CANÊJO, Valdemira Pereira. A fotografia como recurso mediático no Ensino de Geografia: a Paisagem Urbana em múltiplos olhares e convergências. *Revista de Ensino de Geografia (Recife)*. V.1, n.1 (2018). Disponível em: DOI: <https://doi.org/10.51359/2594-9616.2018.240413> Acesso em: outubro 03, 2022

TANAKA Kenneth L., SCOTT David H. Geologic map of the Polar regions of Mars. *Scientific Investigations Map 3177 - USGS*, 1987. Disponível em: <https://doi.org/10.3133/i1802C> Acesso em: setembro 17, 2022

Tanaka, K Kenneth L. The Stratigraphy of Mars. *Journal of Geophysical Research*. 91 (B13): E139–E158, 1986. Disponível em: [doi:10.1029/JB091iB13p0E139](https://doi.org/10.1029/JB091iB13p0E139) Acesso em: setembro 17, 2022.

TANAKA, K.L., SKINNER, J.A., Jr., DOHM, J.M., IRWIN, R.P., III, Kolb, E.J., FORTEZZO, C.M., PLATZ, T., MICHAEL, G.G., and HARE, T.M., 2014. Geologic map of Mars: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Map 3292, scale 1:20,000,000, pamphlet 43 p., <https://dx.doi.org/10.3133/sim3292>

THE EUROPEAN SPACE AGENCY – ESA. ExoMars Mission – 2022. Disponível em: <https://exploration.esa.int/web/mars/-/48088-mission-overview> Acesso em: setembro 01, 2022

THE EUROPEAN SPACE AGENCY – ESA. **Exomars**. Disponível em: https://www.esa.int/Science_Exploration/Human_and_Robotic_Exploration/Exploration/ExoMars Acesso em: setembro 01, 2022

THE PLANETARY SOCIETY. **Tianwen-1 and Zhurong, China's Mars orbiter and rover.** Disponível em: <https://www.planetary.org/space-missions/tianwen-1> Acesso em: setembro 06, 2022

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY – USGS. **Geologic Map of Mars (2014).** Disponível em: https://pubs.usgs.gov/sim/3292/pdf/sim3292_map.pdf Acesso em: setembro 06, 2022

UOL – Nave chinesa Tianwen-1 tira foto incrível da maior lua de Marte. Disponível em: <https://gizmodo.uol.com.br/nave-chinesa-tianwen-1-tira-foto-incrivel-da-maior-lua-de-marte/> Acesso em: setembro 06, 2022

VOGT, Carlos Alberto. A espiral da cultura científica. *ComCiência*, Campinas, v. 45, 2003. Disponível em: <http://www.comciencia.br/reportagens/cultura/cultura01.shtml> Acesso em: agosto 02, 2022

VOGT, Carlos Alberto; Morales, Ana Paula. Espiral, cultura e cultura científica (editorial). *Revista ComCiência*, Campinas, p. 1 - 4, 05 set. 2017. Disponível em: <https://www.comciencia.br/espiral-cultura-e-cultura-cientifica/> Acesso em: agosto 02, 2022

VOGT, Carlos Alberto. The spiral of scientific culture and cultural well-being: Brazil and Ibero-America”. **Public Understand. Sci.**, 21(1), 2012 p. 4-16. disponível em: http://edcivr.com/wp-content/uploads/2016/09/Vogt_The-spiral-of-scientific-culture_2012.pdf Acesso em: julho 28, 2022

WILLIAMS, Steven H. The Winds of Mars: Aeolian Activity and Landforms - Slide Set. Lunar and Planetary Institute, 1990. Disponível em: <https://www.lpi.usra.edu/publications/slidesets/winds/> Acesso em: setembro 06, 2022

XAVIER, Jhonatan Luan de Almeida; GONÇALVES, Carolina Brandão. A relação entre a divulgação científica e a escola. *Revista ARETÉ*. Manaus, v.7 n.14 - p.182-189, 2014 - ISSN: 1984-7505 Disponível em: [A relação entre a divulgação científica e a escola.pdf](#) Acesso em: agosto 03, 2022