XXI ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
14 a 16 de outubro de 2026 | Goiânia-Brasil
DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8755

Clima da Cratera Marciana Jezero: Criação de arquivo climático EPW para aplicações em Engenharia Espacial

Climate of the Martian Jezero Crater: Development of an EPW File for Space Engineering Applications

Lucas Dáion Carvalho
Universidade Federal de Viçosa | Viçosa | Brasil | lucas.daion@ufv.br
Ericson Gonçalves dos Santos
Universidade Federal de Viçosa | Viçosa | Brasil | ericson.goncalves@ufv.br
Maria Vitória de Carvalho Chermont
Universidade Federal de Viçosa | Viçosa | Brasil | maria.chermont@ufv.br
Isabelly Camille Caetano
Universidade Federal de Viçosa | Viçosa | Brasil | isabelly.caetano@ufv.br
Gabriel Resende de Bortoli
Universidade Federal de Viçosa | Viçosa | Brasil | gabriel.bortoli@ufv.br
Caio de Carvalho Lucarelli
Universidade Federal de Viçosa | Viçosa | Brasil | caio.lucarelli@ufv.br
Matheus Menezes Oliveira
Universidade Federal de Viçosa | Viçosa | Brasil | matheus.menezes@ufv.br

Resumo

Esse estudo apresenta uma metodologia para a criação de um arquivo climático da cratera Jezero, no planeta Marte, para simulações no *EnergyPlus*. Os autores analisaram o clima com base em dados do *rover Perseverance* durante a missão *Mars* 2020. O recorte temporal abrange os sóis de 1 a 687, cerca de um ano marciano. Os resultados mostram potencial para uma melhor compreensão dos cenários térmicos, energéticos e ambientais no âmbito da arquitetura espacial, principalmente quando aplicados a estudos voltados à viabilização da ocupação do planeta. O estudo justifica-se pela necessidade de compreender e contornar as características extremas do clima marciano, que impõem desafios à colonização humana.

Palavras-chave: Cratera Jezero. Clima Marciano. Arquivo Climático. *EnergyPlus*. Simulação.

Abstract

This study presents a methodology for generating a weather file for the Jezero Crater on Mars, specifically formatted for EnergyPlus simulations. The authors analyze climate parameters using data collected by the Perseverance rover during the Mars 2020 mission. The temporal scope spans suns 1 to 687, which corresponds to approximately one Martian year. The results demonstrate the potential to enhance the understanding of thermal, energetic, and environmental scenarios within spatial architecture, particularly when applied to feasibility studies for future Martian colonization. The study's justification lies in the need to understand and mitigate the extreme characteristics of the Martian climate, which pose significant challenges to potential future human habitation.

Keywords: Jezero Crater. Martian Climate. Weather File. EnergyPlus. Simulation.

Como citar:

CARVALHO, L.; SANTOS, E.; CHERMONT, M.; CAETANO, I.; BORTOLI, G.; LUCARELLI, C.; OLIVEIRA, M. Clima da Cratera Marciana Jezero: Criação de arquivo climático EPW para aplicações em Engenharia Espacial. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 21, 2026, Goiânia. **Anais**... Goiânia: ANTAC, 2026.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8755

INTRODUÇÃO

Marte é o quarto planeta do Sistema Solar, localizado a aproximadamente 227 milhões de quilômetros do Sol e a cerca de 54,6 milhões de quilômetros da Terra, sendo um de seus vizinhos espaciais. Um ano marciano tem duração de 687 dias terrestres, enquanto um dia em Marte dura aproximadamente 24 horas e 37 minutos. O planeta apresenta inclinação do eixo de rotação de cerca de 25° em relação ao plano orbital, valor próximo ao da Terra (23,5°), o que resulta em dias com duração semelhante [1].

Devido à maior excentricidade de sua órbita, Marte possui quatro estações bem definidas, com durações distintas. O calendário marciano é dividido em 12 meses, cada um correspondendo a 30° de longitude solar (L_s) (Quadro 1). A primavera no Hemisfério Norte ocorre durante o afélio (período de maior distância orbital do Sol), sendo assim a estação mais longa (193,3 dias), seguida pelo verão (178,6 dias), pelo outono (142,7 dias) e pelo inverno (154 dias), este último ocorrendo próximo ao periélio (período de menor distância orbital do Sol).

Quadro 1: Caracterização dos meses marcianos

Nº do mês	L_s início	L_s fim	Sol início	Sol fim	Duração (sóis)	Marcos sazonais (para o Hemisfério Norte)
1	0	30	0	61,2	61,2	Equinócio de primavera
2	30	60	61,2	126,6	65,4	_
3	60	90	126,6	193,3	66,7	Afélio em Ls = 71
4	90	120	193,3	257,8	64,5	Solstício de verão
5	120	150	257,8	317,5	59,7	_
6	150	180	317,5	371,9	54,4	_
7	180	210	371,9	421,6	49,7	Equinócio de outono; tempestades de poeira
8	210	240	421,6	468,5	46,9	_
9	240	270	468,5	514,6	46,1	Periélio em Ls = 251
10	270	300	514,6	562	47,4	Solstício de inverno
11	300	330	562	612,9	50,9	_
12	330	360	612,9	668,6	55,7	Término da temporada tempestades de poeira

Fonte: Forget et al. [2]; Millor et al. [3]; traduzido e adaptado pelos autores

MISSÃO MARS 2020

A missão *Mars* 2020 é uma missão não tripulada destinada à exploração de Marte, com o objetivo de investigar evidências de vida microbiana prévia e avaliar a habitabilidade do planeta. O local de pouso foi definido nas coordenadas 18,44° N e 77,45° E, na cratera Jezero, uma região que abrigou um lago em um passado remoto, quando havia água líquida na superfície marciana, o que motivou a escolha do sítio de estudo. O *rover Perseverance* foi enviado para coletar e analisar amostras, além de transmitir dados para a Terra, enquanto o drone *Ingenuity* realizou o primeiro voo autônomo controlado em outro planeta [4].

Em 18 de fevereiro de 2021, o *rover Perseverance* pousou com sucesso na cratera Jezero e, até 2024, acumulou 1.047 dias de medições. Nesse contexto, a exploração de Marte representa um avanço importante não apenas para a ciência planetária, mas também para as perspectivas de estabelecimento humano, uma vez que a obtenção

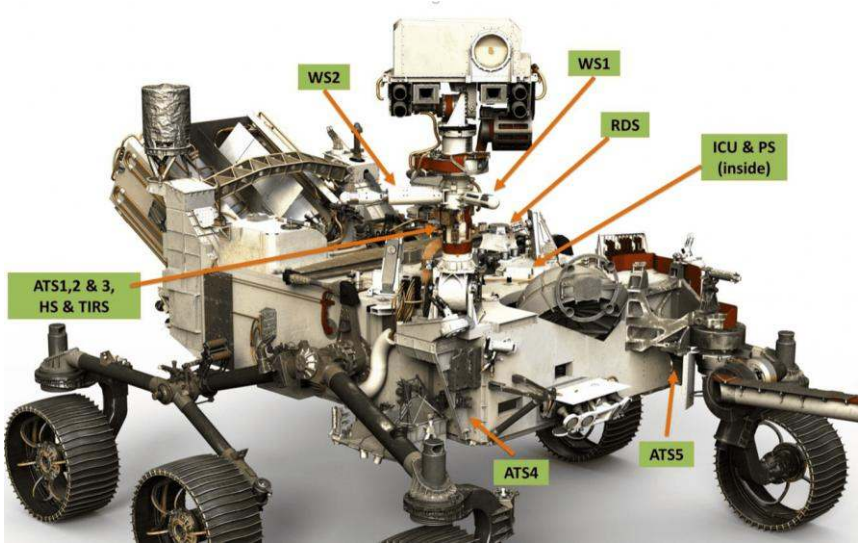
de dados ambientais *in loco* permite compreender com maior precisão as condições climáticas marcianas [4] [5].

O ambiente marciano caracteriza-se por baixas temperaturas, grande variabilidade térmica e baixa densidade atmosférica, e a coleta sistemática desses dados é fundamental para reduzir as incertezas associadas ao projeto de sistemas e à sobrevivência humana nesse ambiente extremo [6] [7].

SENSORES MEDA

O *Mars Environmental Dynamics Analyzer* (MEDA) é um conjunto de sensores ambientais embarcado no *rover Perseverance*, responsável por monitorar variáveis atmosféricas na camada inferior da atmosfera marciana, como temperatura do ar, pressão, umidade, radiação, poeira e ventos (Figura 1) [6]. Os dados são coletados com uma frequência de amostragem entre 1 e 2 Hz (de uma a duas medições por segundo), por meio de sensores idênticos posicionados em diferentes elevações. Essa configuração é essencial para captar o perfil vertical das variáveis analisadas, permitindo a caracterização térmica da cratera de Jezero em escala microclimática [8].

Figura 1: *Rover Perseverance* com destaque para os sensores ambientais embarcados MEDA



Fonte: NASA/JPL-Caltech [9]

A medição do fluxo solar (descendente e refletido) e do fluxo térmico infravermelho (descendente e ascendente) é realizada em 8 bandas, do UV ao infravermelho próximo [6]. Esses dados ajudam a entender a troca de calor entre a atmosfera e a superfície marciana, informações que, em uma simulação térmica, definem quanta energia solar atinge a superfície e quanta é reemitida pelo solo [8].

Além dos parâmetros térmicos, os sensores de umidade (HS) fornecem registros da presença de vapor de água na atmosfera, evidenciando o ciclo hidrológico noturno, uma vez que a umidade é baixa durante o dia [6] [8]. O sistema conta ainda com levantamentos precisos de ventilação, medindo a velocidade e a direção do vento em mais de uma altura, captando o comportamento tridimensional da ventilação [6]. O Quadro 2 apresenta um resumo das propriedades de cada sensor.

Quadro 2: Caracterização dos sensores ambientais MEDA do *rover Perseverance*

Sensor	Unidade	Função Principal
Air Temperature Sensor (ATS)	*(°C)*	Mede a temperatura do ar em duas alturas (0,85 m e 1,45 m), caracterizando o perfil térmico próximo à superfície.
Pressure Sensor (PS)	*(Pa)*	Mede a pressão atmosférica e as variações associadas a fenômenos como os demônios de poeira.
Humidity Sensor (HS)	*(%)*	Mede a umidade relativa local e a temperatura do sensor, permitindo estimar a quantidade de vapor de água.
Radiation and Dust Sensor (RDS)	*(W/m^2)*	Monitora a radiação solar e as propriedades da poeira (opacidade, tamanho e distribuição); inclui a *SkyCam* para observação atmosférica.
Thermal Infrared Sensor (TIS)	*(°C)*	Mede a temperatura de brilho do solo e a temperatura do ar, bem como a radiação térmica e o albedo.
Wind Sensor (WS)	*(m/s^2) e (°)*	Mede a velocidade, a direção e os componentes horizontal e vertical do vento com dois braços para reduzir as interferências do *rover*.

Fonte: Os autores com base em NASA/JPL-Caltech [9]

Para viabilizar assentamentos humanos, é fundamental que essas informações sejam sistematizadas em formatos compatíveis com ferramentas de análise e de projeto, o que, segundo Lagarde e Matko [10], é um aspecto pouco explorado nos bancos de dados atuais. Embora modelos matemáticos globais e análises de missões anteriores forneçam dados brutos sobre Marte, este estudo pretende consolidar medições mais recentes e aplicá-las especificamente à elaboração de um arquivo prático de engenharia.

Nesse contexto, a criação de arquivos climáticos torna-se uma etapa essencial, pois organiza variáveis como a temperatura do ar, a radiação solar e o vento em séries temporais estruturadas. Esses arquivos são amplamente utilizados em simulações termoenergéticas, permitindo avaliar o desempenho ambiental de edificações, testar estratégias de condicionamento e orientar decisões projetuais voltadas à eficiência energética e à habitabilidade.

Assim, a elaboração de arquivos climáticos confiáveis constitui um elo entre os dados coletados pelas missões exploratórias e o desenvolvimento de soluções para a ocupação humana em Marte. Diante disso, o presente artigo tem como objetivo desenvolver um arquivo climático no formato EPW (EnergyPlus Weather Data Format)[1] representativo para a região da cratera Jezero, com base em dados da missão *Mars 2020*, visando à sua aplicação em simulações termoenergéticas voltadas ao planejamento de assentamentos humanos no planeta.

METODOLOGIA

Para sua utilização em simulações ambientais, os autores realizaram um processo de tratamento de dados, envolvendo a filtragem das séries temporais, a seleção das

[1] O formato EPW é amplamente utilizado para simulações termoenergéticas na Terra e é estruturado em uma matriz fixa de 8.760 horas, que representa um ano civil. Para viabilizar o uso no EnergyPlus, a série original marciana foi adaptada intencionalmente para este período reduzido de 365 dias.

variáveis de interesse, o recorte temporal e a conversão de unidades para padrões compatíveis com aplicações termoenergéticas.

Esse processamento foi desenvolvido no ambiente *Python*, por meio das bibliotecas *Pandas* e *NumPy*, o que permite organizar e estruturar os dados em séries consistentes. Em seguida, os dados tratados foram reorganizados em um formato compatível com o EPW, que consiste em uma estrutura padronizada de 8.760 registros horários anuais, contendo variáveis meteorológicas como temperatura do ar, umidade relativa, pressão atmosférica, velocidade do vento e componentes da radiação solar.

SELEÇÃO DE DIAS PARA SIMULAÇÃO

Um ano marciano corresponde a aproximadamente 1,88 anos terrestres. Para adequação ao formato de arquivos climáticos terrestres, foi selecionado um subconjunto representativo a partir de um conjunto maior de dados temporais. Com o objetivo de garantir a representatividade sazonal, os dados foram inicialmente divididos em quatro subconjuntos correspondentes às estações marcianas, organizados por ordem temporal de "sóis" (dias marcianos).

Em cada estação, composta por 'n' dias disponíveis, foi necessária a seleção de um subconjunto reduzido de 'm' dias, proporcional à duração de um ano terrestre ($m \leq n$), preservando a distribuição temporal original dos dados [10]. Para isso, adotou-se um procedimento de amostragem uniforme baseado na interpolação linear de índices, a fim de garantir um espaçamento regular ao longo da série temporal. O método de amostragem foi concebido para cobrir, de forma contínua, as tendências médias de cada uma das quatro estações. A seleção dos índices i_k foi definida pela Equação 1:

Dado um conjunto ordenado de n sóis e um número desejado m de dias, os índices selecionados são:

$$i_k = \mathrm{round}\left(\frac{(k-1)}{(m-1)} \cdot (n-1)\right), \quad k = 1, \ldots, m \qquad (1)$$

Onde: i_k *= índice selecionado correspondente ao k-ésimo dia;*
k *= posição na amostra (1 a m);*
m *= número de dias desejados;*
n *= número total de dias disponíveis na estação;*
$\mathrm{round}(\cdot)$ *= função de arredondamento para o inteiro mais próximo;*

Para exemplificação, considere n = 8 e m = 4. A aplicação da equação resulta nos índices 0, 2, 5 e 7, distribuídos de forma aproximadamente equidistante ao longo da série temporal.

Devido às limitações numéricas associadas às operações de ponto flutuante e às regras de arredondamento computacional, podem ocorrer redundâncias ou colisões de índices. Para corrigir esse efeito, os autores implementaram um procedimento de pós-processamento que verifica duplicidades e ajusta automaticamente os valores duplicados, garantindo a unicidade dos registros selecionados e a consistência da amostragem final.

CÁLCULO DA RADIAÇÃO SOLAR

Os dados de radiação obtidos pelo *Mars Environmental Dynamics Analyzer* não são diretamente compatíveis com o formato EPW, sendo necessária uma etapa de conversão de unidades, agregação temporal e modelagem física. Enquanto o *MEDA* registra radiação em bandas espectrais (UV, visível e infravermelho), o EPW utiliza componentes integrados de radiação global horizontal, radiação direta normal e radiação difusa horizontal [6] [10]. A radiação global horizontal (T) foi estimada a partir dos dados do sensor *Radiation and Dust Sensor (RDS)*, adotando-se seus registros como aproximação do fluxo incidente total.

A separação entre as componentes direta e difusa não é fornecida pelo instrumento, o que requer modelagem radiativa. Esse procedimento gerou uma série horária consistente de radiação solar, utilizada para preencher as variáveis radiométricas do arquivo EPW. A estimativa da irradiância solar na superfície de Marte foi realizada com base nos modelos computacionais desenvolvidos pela NASA para arranjos fotovoltaicos [11] [12], conforme a Equação 2:

A irradiância espectral So no topo da atmosfera (S) é determinada em função da distância instantânea entre o Sol e o planeta:

$$S = \frac{So}{d^2} \qquad (2)$$

Onde: S_O*=590 W/M é a constante solar marciana na distância média de 1,524 unidades astronómicas (UA), sendo uma unidade astronómica a distância entre a Terra e o Sol.*
d = é a distância Sol-Marte (aproximadamente 1,524 UA);

Já a radiação direta (B) é obtida pela aplicação da Lei de Beer-Lambert (Equação 3) [11] [13]:

$$B = S * cos\,\theta z * e^{-\frac{\tau}{cos\,\theta z}} \qquad (3)$$

Onde: τ *= profundidade óptica de poeira da atmosfera (tau), sendo adotada para este estudo como uma constante (*τ *= 0,5);*
ϑz *= ângulo zenital solar, para todo* $\vartheta z < 90°$*;*

Para a geometria solar, foi utilizado o pacote SPICE *(Spacecraft Planet Instrument C-matrix Events)* via biblioteca *Python Spiceypy*, com *kernels NAIF* (naif0012.tls, pck00010.tpc e de440.bsp), permitindo calcular a posição do Sol em relação a Marte e o θz em resolução horária [14] [15]. Quando disponíveis, os autores utilizaram os valores medidos pelo *MEDA*; caso contrário, o θz foi obtido por meio de cálculos orbitais.

A radiação difusa (D) é calculada por meio de relações exponenciais e geométricas que consideram o espalhamento causado pelos aerossóis (poeira e nuvens de gelo), seguindo a conservação de energia, em que T = B + D. Para o período noturno (θz ≥ 90°), todas as componentes radiativas são consideradas nulas (B = D = T = 0). Para este estudo, foi adotada a premissa de que 20% da radiação direta normal é espalhada de

forma isotrópica, utilizando uma aproximação clássica que converte parte da energia que seria perdida por atenuação em radiação difusa que atinge a superfície, obtendo-se assim a radiação difusa (D) [11], conforme mostrado na Equação 4:

$$D = B * 0{,}2 \quad (4)$$

Essa abordagem não considera a variação do caminho óptico associado ao ângulo zenital da radiação difusa; trata-se de uma simplificação metodológica. Assim como a utilização do τ (tau) constante na Equação 3, que desconsidera fatores sazonais do clima marciano, como períodos prolongados de tempestades de areia [11].

RESULTADOS E DISCUSSÃO

SÓIS SELECIONADOS

A Tabela 1 apresenta o número de dias de medição disponíveis e o intervalo médio entre os dias-sol que compõem o índice dos dados analisados. O conjunto final totaliza 365 dias e 8760 horas e compõe o arquivo EPW, com subconjuntos representativos de cada estação.

Tabela 1: Seleção representativa de dias para criação do EPW

Estação marciana	Faixa de sóis	Sóis disponíveis	Sóis selecionados	Intervalo médio entre dados
Primavera	0–182	168	102	1,65
Verão	183–360	164	99	1,66
Outono	361–503	131	79	1,66
Inverno	504–656	153	85	1,80

Fonte: Os autores

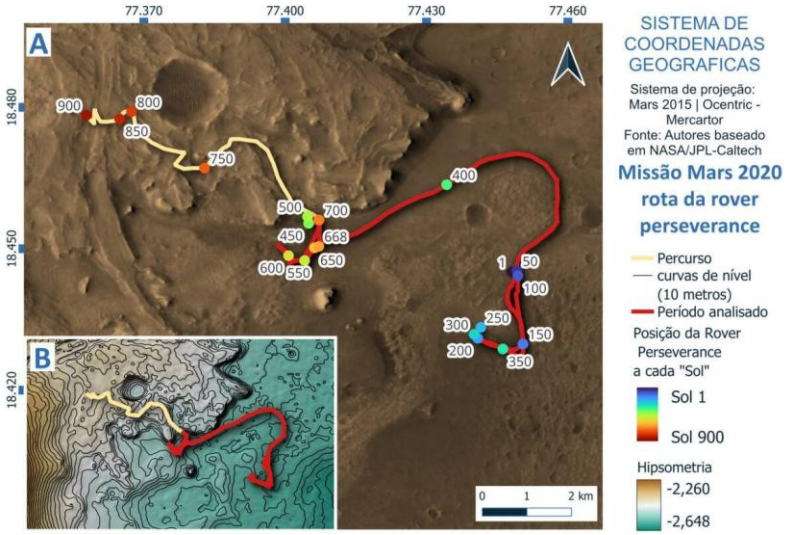
REPRESENTATIVIDADES DOS DADOS SELECIONADOS

Os dados climáticos não foram obtidos em um único ponto, uma vez que um dos objetivos do *rover* era coletar amostras de Marte em diferentes locais, tanto dentro quanto fora da cratera de Jezero. O deslocamento realizado pela *Perseverance* durante o período de medição analisado totalizou 22,73 km (Figura 2), registrado pelo equipamento a partir da movimentação em relação ao ponto de pouso do *rover* (18,44° N; 77,45° E). Em módulo, a distância entre o primeiro dia da missão e o dia 668 (primeiro ano marciano de missão) totalizou 4,37 km.

Após a confecção do EPW via *Ladybug Tools*, os autores compararam o comportamento térmico ao longo de um ano completo com o observado em períodos adaptados a um ano terrestre.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8755

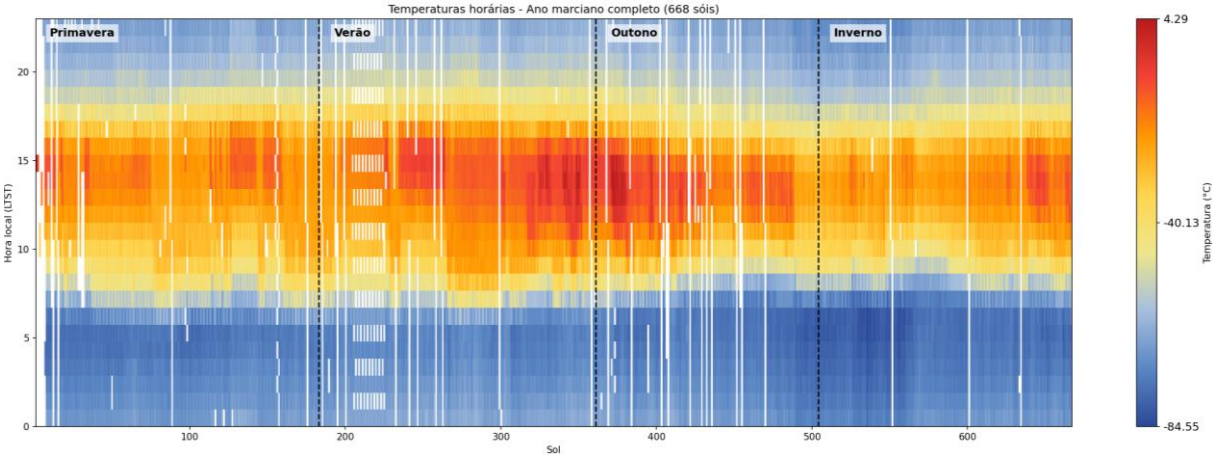
Figura 2: Percurso do *rover Perseverance* na missão *Mars 2020*; (a) percurso dos primeiros 900 sóis; (b) percurso do *rover* com destaque para a topografia



Fonte: Os autores, adaptado de *NASA/JPL-Caltech [9]*

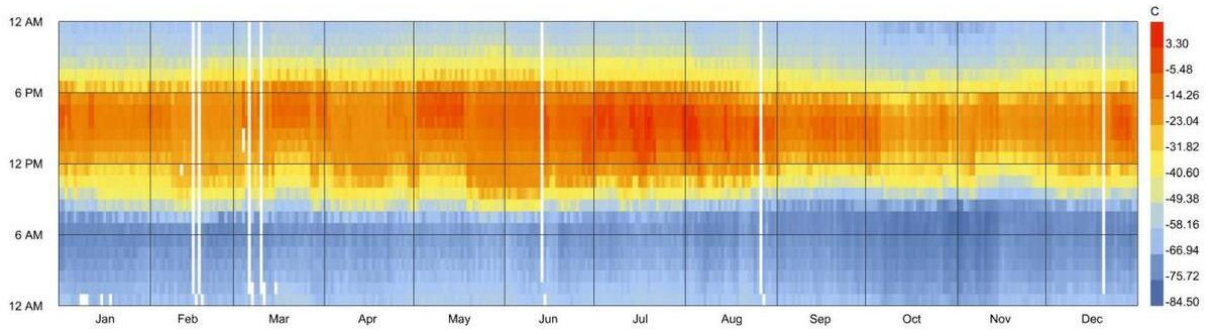
É possível perceber uma similaridade sazonal, com concentração de calor entre o verão e o outono (Figuras 4 e 5). O comportamento diário apresentou amplitude térmica média de 58,69 °C, com extremos variando de -84,54 °C a 4,28 °C. Tal variação é esperada devido à expressiva influência das marés térmicas em Marte, fenômeno impulsionado pela absorção de radiação pelo CO_2 e por partículas de poeira suspensas [1] [16], somada à intensa troca convectiva de calor com a superfície [8] [1].

Figura 4: Temperaturas horárias de um ano marciano completo



Fonte: Os autores

Figura 5: Temperaturas horárias recortadas para 365 dias

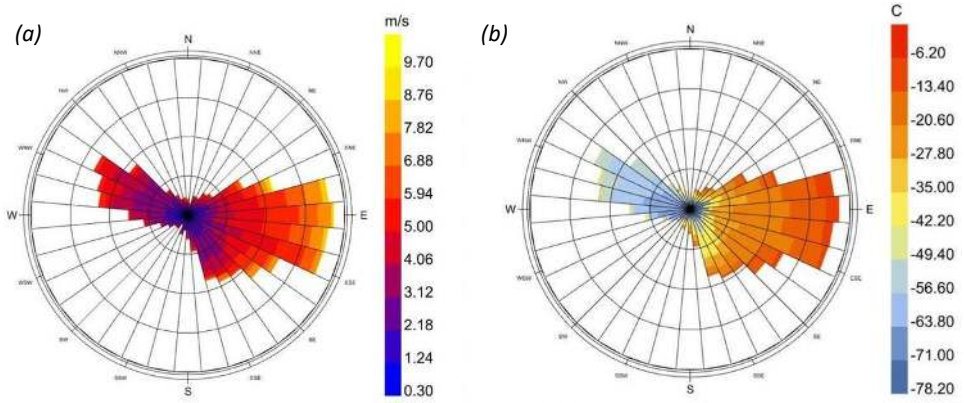


Fonte: Os autores

Em relação à umidade relativa, os dados estruturados refletiram o ciclo hidrológico típico da cratera Jezero. Observou-se um comportamento inversamente proporcional à temperatura: picos expressivos de umidade relativa durante o período noturno (alcançando valores elevados devido ao forte resfriamento e à proximidade do ponto de saturação/geada) e valores próximos de zero ao longo do dia marciano.

A análise de ventilação indica uma inversão predominante de leste para noroeste, com ventos de cerca de 10 m/s (Figura 6a). Essa dinâmica é impulsionada pelo ciclo diário de aquecimento e pela topografia das escarpas da cratera de Jezero. Durante o dia, o aquecimento da superfície torna o ar menos denso, gerando correntes ascendentes de leste (ventilação anabática), com temperaturas de até -6,20 °C. À noite, a rápida perda de calor esfria o ar, que se torna mais denso e desce a encosta sob a força da gravidade proveniente do noroeste (ventilação catabática) [17], atingindo temperaturas inferiores a -50 °C (Figura 6b).

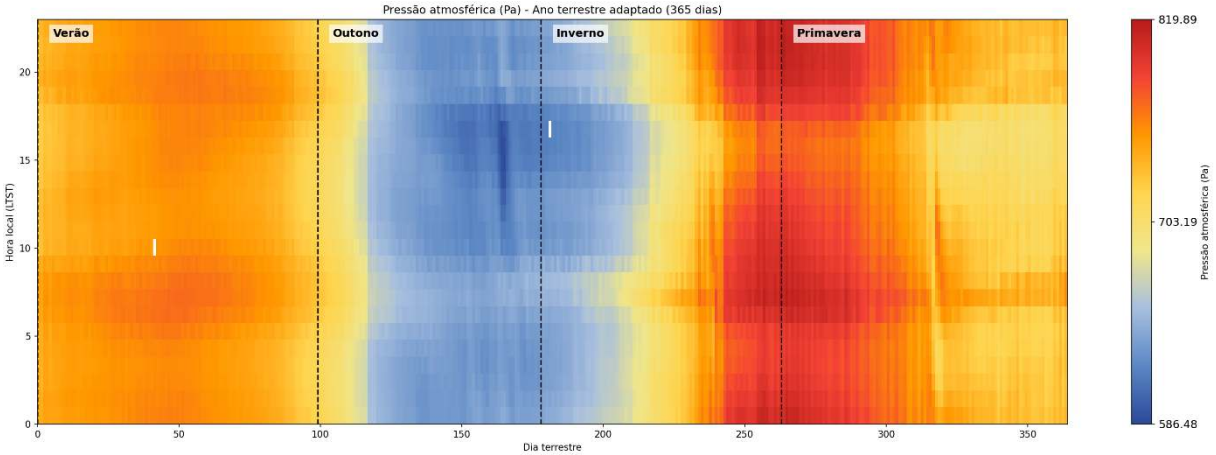
Figura 6: (a) Velocidade dos ventos dos primeiros 315 sóis; (b) Direção dos ventos



Fonte: Os autores

Uma limitação deste estudo é a restrição dos dados aos 315 primeiros sóis da missão. A coleta foi interrompida devido a danos no sensor de vento (WS), causados pelas severas condições climáticas locais. Portanto, para pesquisas futuras, recomenda-se a interpolação ou simulação das medições faltantes para representar integralmente um ano marciano [10].

Figura 7: Pressão atmosférica, dados horários recortados para 365 dias



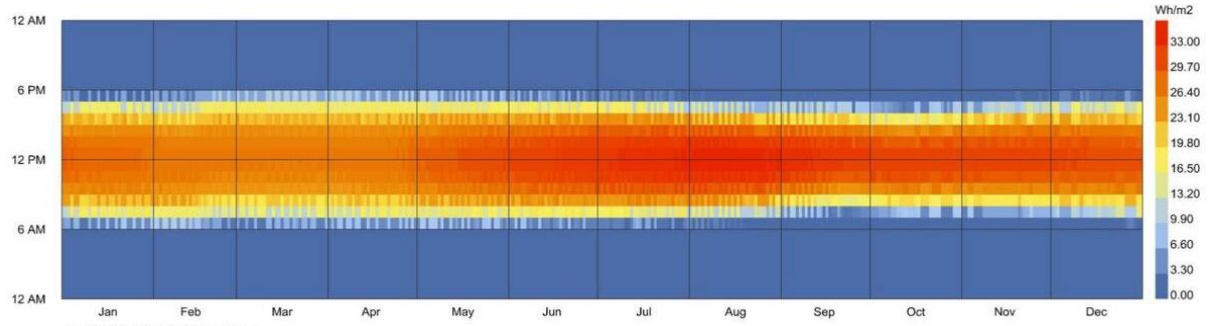
Fonte: Os autores

Apesar do deslocamento vertical de 67,98 metros, a variação de pressão barométrica (de 586,48 Pa a 819,98 Pa) no período corresponde ao ciclo sazonal de CO_2, que, ao congelar nos polos no inverno, reduz a pressão atmosférica e sublima durante a primavera/verão, aumentando-a (Figura 7) [1] [6].

RADIAÇÃO SOLAR

A irradiância solar na superfície de Marte equivale a aproximadamente 43% do fluxo solar na Terra. Essa atenuação exige precisão no dimensionamento de arranjos fotovoltaicos, que devem compensar a menor densidade energética e a interferência da poeira atmosférica [11] [10]. O Balanço de Energia de Superfície (SEB) também é fortemente afetado: devido à baixa inércia térmica do solo, ocorrem trocas de calor rápidas que geram amplitudes térmicas diárias superiores a 50 °C na cratera. No *design* arquitetônico, conhecer a radiação permite otimizar as aberturas para equilibrar a entrada de luz natural e a proteção contra radiação nociva [18]. Nesse estudo, os resultados para a cratera Jezero mostraram que a radiação global horizontal atingiu picos de 185 Wh/m² e mínimos de 18,5 Wh/m², enquanto a componente direta variou entre 16,50 Wh/m² e 165 Wh/m², e a componente difusa manteve-se entre 3,3 Wh/m² e 33 Wh/m². Tais variáveis mostraram-se condizentes com a relação T=B+D e confirmaram o intenso espalhamento atmosférico por meio de aerossóis, fornecendo dados fundamentais para futuras simulações termoenergéticas (Figura 8).

Figura 8: Radiação global horizontal adaptada ao calendário terrestre



Fonte: Os autores

CONCLUSÃO

Esse artigo cumpriu o objetivo de desenvolver um arquivo climático no formato EPW para a cratera de Jezero, utilizando dados da missão *Mars 2020*, visando viabilizar simulações termoenergéticas para futuros assentamentos humanos. O processamento e a modelagem radiativa permitiram estimar as componentes solares necessárias, superando as incompatibilidades dos dados originais. A análise microclimática destacou a forte influência da topografia local, evidenciada pelos ciclos de ventilação anabática e catabática.

Apesar dos avanços, o estudo apresenta limitações. A adoção de uma profundidade óptica de poeira (τ) constante na modelagem simplifica a difusão solar e desconsidera a sazonalidade marciana, como as tempestades prolongadas. Adicionalmente, danos físicos nos sensores limitaram os dados de vento aos primeiros 315 dias, impedindo a cobertura de um ano marciano completo.

Para trabalhos futuros, recomenda-se o refinamento do modelo radiativo, incorporando parâmetros variáveis de turbidez, e a aplicação de interpolação estatística ou de modelos climáticos para suprir os dados faltantes de ventilação. Espera-se que o arquivo gerado sirva de base para avaliar o desempenho ambiental de protótipos de assentamentos humanos, de sistemas de suporte à vida e de estratégias passivas de habitabilidade em Marte.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – Código de Financiamento 001; do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) 406426/2022-8; e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) APQ-02622-23. Além de apoiado pelo Programa Ibero-Americano de Ciência e Tecnologia para o Desenvolvimento – CYTED (através da Rede TRAPECIO).

Durante a preparação deste artigo, o segundo autor utilizou o Gemini como apoio à revisão textual e aprimoramento da redação acadêmica. Após a utilização da ferramenta, os autores revisaram e editaram o conteúdo conforme necessário e assumem total responsabilidade pelo conteúdo do artigo publicado.

REFERÊNCIAS

[1] HABERLE, R. M.; CLANCY, R. T.; FORGET, F.; SMITH, M. D.; ZUREK, R. W. (Ed.). **The Atmosphere and Climate of Mars.** Cambridge: Cambridge University Press, 2017.

[2] FORGET, François *et al*. Improved general circulation models of the Martian atmosphere from the surface to above 80 km. **Journal of Geophysical Research: Planets**, v. 104, n. E10, p. 24155-24175, out. 1999. Disponível em: https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1999JGR...10424155F/abstract. Acesso em: 2 jun. 2026.

[3] MILLOUR, E. *et al*. The Mars Climate Database (version 5.3). *In*: SCIENTIFIC WORKSHOP: “FROM MARS EXPRESS TO EXOMARS”, 2018, Madrid. **Abstracts [...]**. Madrid: ESA-ESAC; IAA-CSIC, 2018. p. 1-2. Disponível em: https://www.cosmos.esa.int/documents/1499429/1583871/Millour_E.pdf. Acesso em: 2 jun. 2026.

[4] FARLEY, K. A. et al. **Mars 2020 Mission Overview**. Space Science Reviews, v. 216, n. 142, 2020. DOI: https://doi.org/10.1007/s11214-020-00762-y.

[5] SILVESTRE, G. R. **Introdução aos aspectos geológicos do planeta Marte: implicações para a possibilidade de colonização humana**. Cadernos de Astronomia, v. 4, n. 1, 2023.

[6] RODRIGUEZ-MANFREDI, J. A. et al. **The Mars Environmental Dynamics Analyzer, MEDA. A Suite of Environmental Sensors for the Mars 2020 Mission**. Space Science Reviews, v. 217, n. 48, 2021. DOI: https://doi.org/10.1007/s11214-021-00816-9.

[7] HARRI, A.-M. et al. **Perseverance MEDA Atmospheric Pressure Observations—Initial Results. Journal of Geophysical Research:** Planets, v. 129, n. 2, 2024. DOI: https://doi.org/10.1029/2023JE007880.

[8] RODRIGUEZ-MANFREDI, J. A. et al. **The diverse meteorology of Jezero crater over the first 250 sols of Perseverance on Mars.** Nature Geoscience, v. 16, n. 1, p. 19-28, 2023. DOI: https://doi.org/10.1038/s41561-022-01084-0.

[9] PLANETARY DATA SYSTEM (EUA). Atmospheres Node. **Mars 2020 Perseverance MEDA Data**. [S. l.: s. n., s.d.]. Disponível em: https://pds-atmospheres.nmsu.edu/data_and_services/atmospheres_data/PERSEVERANCE/meda.html. Acesso em: 2 jun. 2026.

[10] LAGARDE, T.; MATKO, L. **Human outpost creation using multiple data sets and computational design.** In: 51st International Conference on Environmental Systems (ICES-2022-181), 10-14 jun. 2022, St. Paul, Minnesota.

[11] APPELBAUM, J.; FLOOD, D. **Solar Radiation on Mars.** Cleveland: NASA Lewis Research Center (NASA-TM-102299), 1989.

[12] APPELBAUM, J.; FLOOD, D.; NORAMBUENA, M. **Solar radiation on Mars: Tracking photovoltaic array.** Cleveland: NASA Lewis Research Center (NASA-TM-106700), 1994.

[13] VICENTE-RETORTILLO, Á. et al. **A model to calculate solar radiation fluxes on the Martian surface. Journal of Space Weather and Space Climate**, v. 5, p. A33, 2015. DOI: https://doi.org/10.1051/swsc/2015035

[14] NAIF. An Overview of SPICE. **NASA's Observation Geometry System for Space Science** Missions, abril 2023. Disponível em: https://naif.jpl.nasa.gov.

[15] MORA SOTOMAYOR, L. Mars 2020 **MEDA Archive Bundle Software Interface Specification (SIS). Version 3.0.** Centro de Astrobiología (CSIC-INTA), 2021.

[16] SAVIJÄRVI, H. et al. Effects of CO2 and dust on present-day solar radiation and climate on Mars. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 131, n. 611, p. 2907-2922, 2005.

[17] NEWMAN, C. E. et al. Multi-model Meteorological and Aeolian Predictions for Mars 2020 and the Jezero Crater Region. **Space Science Reviews**, v. 217, n. 20, 2021.

[18] HÄUPLIK-MEUSBURGER, S.; BISHOP, S. **Space Habitats and Habitability**. Cham: Springer International Publishing, 2021.