

Exploração Espacial com Robôs

Ana Carolina de Lima Angelo

Instituto Federal São Paulo (IFSP), Cubatão, SP, Brasil

Jonatas Fernandes Alves Ferreira

Instituto Federal São Paulo (IFSP), Cubatão, SP, Brasil

Marly Nascimento Salles Passos

Instituto Federal São Paulo (IFSP), Cubatão, SP, Brasil

Julia Nascimento Salles Passos

Universidade Santa Cecília (UNISANTA), Santos, SP, Brasil

Resumo: A exploração espacial foi intensificada nas últimas décadas, sendo seu auge durante a Guerra Fria. No entanto, fatores como radiação extrema, distância, falta de oxigênio, baixa pressão e temperaturas baixas dificultam a exploração direta pelos seres humanos. Com o crescimento da robótica e da automação esta problemática tem sido resolvida. O artigo proposto tem como foco o estudo da robótica em explorações espaciais, abrangendo um breve histórico da robótica nesse cenário e explorando o conceito de sondas veiculares.

Palavras-chave: Sonda. Exploração Espacial. Robô. Automação.

Abstract: Space exploration has been intensified in recent decades, being at its peak during the Cold War. However, factors such as extreme radiation, distance, lack of oxygen, low pressure and low temperature make direct exploration by humans difficult. With the growth of robotics and automation, this problem has been solved. The proposed article focuses on the study of robotics in space exploration, covering a brief history of robotics in this scenario and exploring the concept of vehicle probes.

Keywords: *Space Probe. Space Exploration. Robot. Automation.*

INTRODUÇÃO

Apesar da teoria de foguetes espaciais ter sido previamente concebida por Konstantin Tsiolkovsky, Robert Goddard e Hermann Oberth ao longo da primeira metade do século XX, a história da exploração espacial teve sua ascensão real e astronômica com a Guerra Fria entre os Estados Unidos e a União Soviética, que culminou na Corrida Espacial mais especificamente (NASA, 1966). Com a competição acirrada entre as duas potências, que teve como estopim o lançamento do primeiro satélite artificial em órbita em 1957 — o soviético Sputnik — vários avanços tecnológicos foram alcançados em um curto período.

Em questão de tripulação, as primeiras naves espaciais contavam com a presença de animais cosmonautas, a fim de provar que era possível organismos

vivos sobreviverem nas condições adversas do espaço. Laika, a Husky siberiana a tripular o Sputnik 2 — lançado no mesmo ano que o primeiro satélite —, foi o animal mais icônico e lembrado a passar pela órbita da Terra (TATE, 2013).

Não tardou para os humanos tripularem essas naves. O primeiro humano a orbitar a Terra, Yuri Gagarin, realizou tal façanha a bordo da cápsula espacial Vostok 1 em 1961 (AEB, 2004). O programa Apollo da agência espacial americana levou os primeiros humanos ao solo da Lua em 1969, com o uso da espaçonave batizada de Apollo 11.

Entretanto, independente da possibilidade de sobrevivência humana, os efeitos da radiação extrema, distância, falta de oxigênio, baixa pressão e temperaturas baixas fazem com que a exploração do espaço seja relativamente limitada. Nesse sentido, o uso da robótica entra na equação como uma alternativa mais barata e confiável para realizar pesquisas científicas no espaço, visto que um robô, como um telescópio espacial ou um rover, pode suportar ditas condições extremas por vários meses.

Logo, a exploração espacial pode ser compreendida como os esforços do ser humano para alcançar o conhecimento a respeito de corpos celestes e qual a melhor forma de exploração para o benefício da humanidade. Neste cenário, uma das tecnologias empregadas são as sondas espaciais — naves sem tripulação que realizam experimentos no espaço.

Portanto, este artigo busca estudar a robótica no contexto da exploração espacial, com foco nas sondas espaciais veiculares.

DESENVOLVIMENTO

Uma sonda espacial é um objeto sem piloto e sem tripulação que é enviado para além da órbita da Terra para fins de pesquisa e medição científica. Para cada tipo de exploração, existe um tipo de sonda: sobrevoo, aterrissagem, orbital e veicular — ou sondas flyby, lander, orbiter e rover, respectivamente. A sonda de sobrevoo se aproxima de um corpo celeste e tira fotos e análises com suas antenas

e sensores. A orbital acompanha a órbita de um planeta ou cometa para coletar informações, funcionando essencialmente como um satélite artificial. A sonda de aterrissagem simplesmente pousa na superfície do astro objetivo e realiza análises de modo estacionário, às vezes carregando consigo uma espécie de jipe robótico espacial: uma sonda veicular (AMORIM, 2015). Nos primórdios da exploração espacial, sondas de impacto também eram comuns, ou seja, objetos arremessados da Terra que impactavam o corpo celeste de destino (SADDIQI, 2002).

Para serem controladas e corretamente tirar medições que podem ser enviadas de volta à Terra, essas sondas possuem telemetria, sendo assim podem ser controladas remotamente (CORLEY, 2009). Entretanto, para funcionar corretamente nas áreas e horas que o telecontrole não age, essas sondas precisam de um nível de automação, o que as caracterizam como um termo mais abrangente e genérico: espaçonaves robóticas (ELLERY, 2004).

A primeira espaçonave considerada robótica e telemétrica a ser lançada ao espaço pelo humano decolou em julho de 1951, carregando os cães Dezik e Tsygan. Após um voo suborbital sobre a Terra, os cães sobreviveram e se tornaram os primeiros organismos a visitarem o espaço (SADDIQI, 2003).

A partir de então, os objetivos foram se tornando cada vez mais altos e, para tal, a complexidade e redundância dos sistemas também se expandiram. Exemplos de espaçonaves robóticas importantes enviadas ao espaço foram: as do programa Pioneer, cujas naves exploraram o sistema solar e foram os primeiros objetos humanos a saírem do sistema solar e transmitirem dados; Venera, que gravou imagens e sons da superfície de Vênus; Apollo, que levou humanos à Lua; Telescópio Hubble, que tirou fotos do universo; Viking, composto pelos dois primeiros robôs a aterrissarem em Marte; Ônibus Espacial, que se resumiu em modelos de espaçonaves que poderiam ser reutilizadas e assistiram em eventos importantes, como envio do Hubble ao espaço e construção da Estação Espacial Internacional (ISS, em inglês) (SIDDIQI, 2003).

Muito mais que o interior de espaçonaves, telescópios, landers e rovers, a robótica está amplamente presente no espaço sideral. Além das designações já mencionadas, existem duas que exemplificam o escopo das funções robóticas no

espaço: ROV (Remotely Operated Vehicle ou, em português, Veículo Controlado Remotamente) e o RMS (Remote Manipulator System ou, em português, Sistema de Manipulador Remoto) (NASA, 1992). As sondas sem tripulação são exemplos de ROVs, utilizadas em locais hostis para um humano. A primeira nave robótica que decolou com dois cães era considerada uma ROV. Na Terra, elas podem ser utilizadas em situações como no vazamento radioativo em Chernobyl (O'LEARY et al, 2015) e Fukushima (LUIZ, 2019). Já os robôs do tipo RMS são os mais comuns e são utilizados na Terra em processos de manufatura industrial — são braços robóticos manipuláveis por controladores. No espaço, os braços robóticos são notados na Estação Espacial Internacional (ISS, sigla em inglês), por meio do Canadarm2 — braço robótico disponibilizado pela agência espacial canadense, que auxilia os astronautas em tarefas como manutenção, transporte de cargas e acoplamento de naves e módulos visitantes. O Canadarm2 tem sete graus de liberdade, com três juntas na área do ombro, uma na área do cotovelo e outras três na área do pulso (CSA, 2019).

As sondas veiculares, por conceito próprio, representam a mais clara junção dos conceitos da robótica, além de serem o tipo de sonda espacial em voga.

História das Sondas Veiculares (Rovers)

O programa Lunokhod (Andarilho da Lua, em português) foi a primeira iniciativa de sondas veiculares para exploração espacial. Inicialmente concebido nos anos 60, o programa originou o primeiro robô controlado remotamente a pousar fora do Planeta Terra — no caso, na Lua. Lunokhod 1, que pousou no satélite natural em 1970, era alimentada por um painel solar e atingia a velocidade de 100 m/h (ou 0,0278 m/s). Suas oito rodas eram controladas independentemente, com duas velocidades de ré e duas de avanço. Contava com um velocímetro, um penetrômetro, sistemas de imagem, detector de radiação, refletor de laser e um espectrômetro de raios X. Um mês depois, Lunokhod 2 pousou na Lua, com instrumentos adicionais — um magnetômetro, um fotodetector e um fotômetro —, além de melhorias no sistema de tração das oito rodas. Tornou-se a última rover do programa a sair da órbita terrestre (SIDDIQ, 2002). Eventualmente, o modelo

Lunokhod foi utilizado no desastre da usina de Chernobyl (O'LEARY, 2015). Foi o primeiro e único programa de rovers a explorar a Lua, até a China chegar ao satélite natural em 2013, com o robô Yutu (Coelho de Jade) (CLARK, 2016).

Os esforços de exploração espacial se concentraram em Marte por décadas. O planeta, cuja atmosfera é composta majoritariamente por CO₂ e as temperaturas oscilam de 20°C no verão a -140°C no inverno, é um importante objeto de investigação tanto devido ao funcionamento dos ciclos geobiológicos internos e externos, quanto pelas condições de habitabilidade. Desde 1996, a NASA desempenha o papel mais incisivo do cenário, proeminente no cenário desde o projeto Mars Pathfinder (Desbravador de Marte, em português).

Em 1997, o programa Mars Pathfinder teve seu primeiro rover a pousar em outro planeta, juntamente com um aterrissador. Apesar do aparelho ser planejado como uma espécie de protótipo para simulação real, previsto para durar apenas algumas semanas, o rover permaneceu operacional por três meses, tempo acima do planejado. Durante a missão, o robô veicular sucedeu em analisar o planeta vermelho e testar, com sucesso, tecnologias que serviram de base para acessórios de outros rovers. (GOLOMBEK et al, 1999). Notavelmente, o airbag usado na missão tornou-se referência para rovers consequentes e, então, foi implementado em dois após a missão de 1997.

O próximo programa da NASA dedicado ao uso de rovers para exploração espacial foi o Mars Exploration Rovers 2004 (Sondas veiculares de exploração de Marte, em português). Como parte do programa, foram criadas sondas idênticas — Spirit e Opportunity — que pousaram no planeta vermelho no ano homônimo. A missão resultou em várias informações valiosas que permitiram um melhor entendimento do funcionamento de Marte, como indícios da presença de água líquida no passado do planeta (SQUYRES et al, 2006).

Como ambos os robôs eram mais robustos que o antecessor, com mais instrumentos de medição e resiliência, a missão perdurou por anos: a comunicação com o Spirit foi perdida apenas em 2010, enquanto o Opportunity durou até 2018 (MOTA, 2019).

Por enquanto, o rover Curiosity, lançado em 2011, é a sonda veicular mais avançada a pousar em Marte. Embora não seja a única sonda presente no planeta, ainda se destaca das mais recentes por contar com uma plethora de instrumentos científicos para exploração do planeta vizinho da Terra, além de ser consideravelmente maior que seus antecessores. Antes do lançamento, pesava 899 kg (NASA, 2020), consideravelmente superior aos 174 kg do Spirit e Opportunity (NASA, 2003). Devido ao tamanho superior, o design dos airbags para aterrissagem foi revisto, detalhe que abriu portas para uma ideia descartada durante o desenvolvimento do Sojourner: o Sky Crane, um robô responsável por aterrissar o rover—pendurado ao Sky Crane por cordas de nylon—na superfície do planeta, com o uso de propulsores (COHEN, 2012).

Com o intuito de analisar o solo e as rochas de Marte com mais profundidade, foi projetado um braço robótico, com 5 graus de liberdade e 5 juntas (cada uma acoplada a um atuador rotativo): no punho, pulso, cotovelo, na elevação do ombro e do ombro azimute. Azimute e elevação são nomes dados a parâmetros de eixos em coordenadas esféricas — o primeiro diz respeito ao ângulo da horizontal (ou eixo x), enquanto a elevação se refere ao ângulo da vertical (ou eixo y) (MELLO, 2016). Os atuadores associados a todas essas juntas são apresentados na figura abaixo:

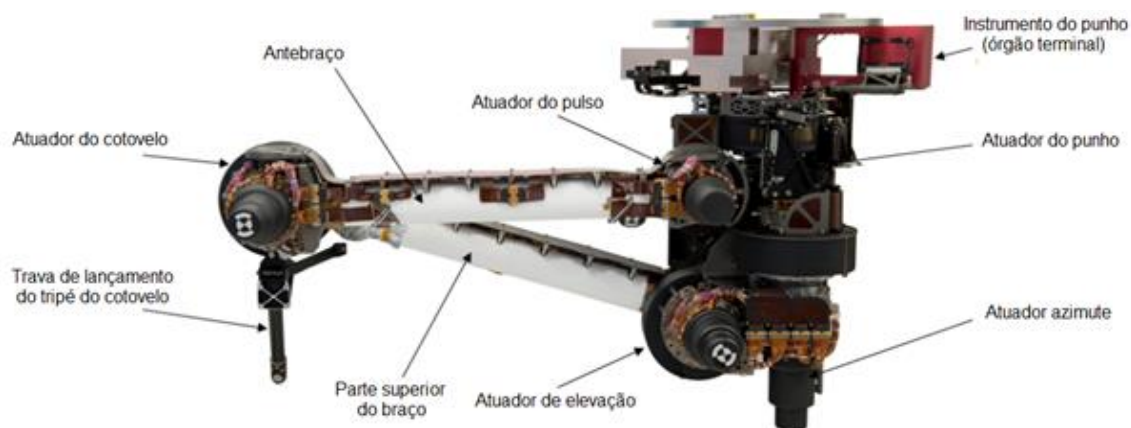


Figura 1: Disposição do braço robótico do veículo Curiosity (Fonte: adaptado de BILING et al, 2011).

No punho, conectam-se alguns dos múltiplos instrumentos que acompanham o rover, como a furadeira. O braço é parte do sistema de coleta de amostras e armazenamento do Curiosity (que será explicado com maiores detalhes a seguir), visto que o sucessor deste rover, o Perseverance, possui o mesmo sistema, mas com um nível de automação superior — aprimorando as possibilidades de coletar amostras.

ESTADO DA ARTE

A partir de 2020, a NASA começou a planejar a aterrissagem do rover Perseverance em Marte (Perseverança, em português). Com tecnologia, design e dimensões moderadamente semelhantes às do Curiosity, o robô conta com as tecnologias espaciais mais condizentes com o estado-da-arte atual e pousou no planeta em 18 de fevereiro de 2021, na cratera de Jezera (NASA Mars, 2021). Oficialmente, o Perseverance pesa cerca de 1025 quilogramas e conta com níveis superiores de automação e robustez.

O Perseverance foi acompanhado pelo drone Ingenuity (Engenhosidade), conhecido como o primeiro veículo a voar em outro planeta e projetado para auxiliar o veículo-robô a sondar o território marciano (CHANG, 2021). Outro companheiro, o robô Sky Crane, específico para a função de aterrissagem no planeta vermelho, também retorna do projeto do Curiosity (WALL, 2021). A função do novo rover é explorar rochas, testar tecnologias inovadoras e buscar vestígios de vida antiga.

Apesar de todos os rovers serem controlados remotamente da Terra, o Perseverance tem um sistema de auto piloto e outro de navegação autônoma, semelhante aos sistemas encontrados em carros autônomos, que auxiliam na direção e no desvio de obstáculos e tornam o sistema menos dependente do

comando terrestre. Esse auto piloto é chamado de Terrain Relative Navigation (Navegador Relativo de Terreno) e inclui um grupo de sensores que amparam o robô na descida até o planeta a ser explorado — grupo denominado como MEDLI2 (tradução literal da sigla: Instrumentação de Entrada, Descida e Aterrissagem em Marte 2). Na figura abaixo, podemos visualizar uma ilustração do Perseverance e o módulo do drone juntos, com alguns pontos destacados:

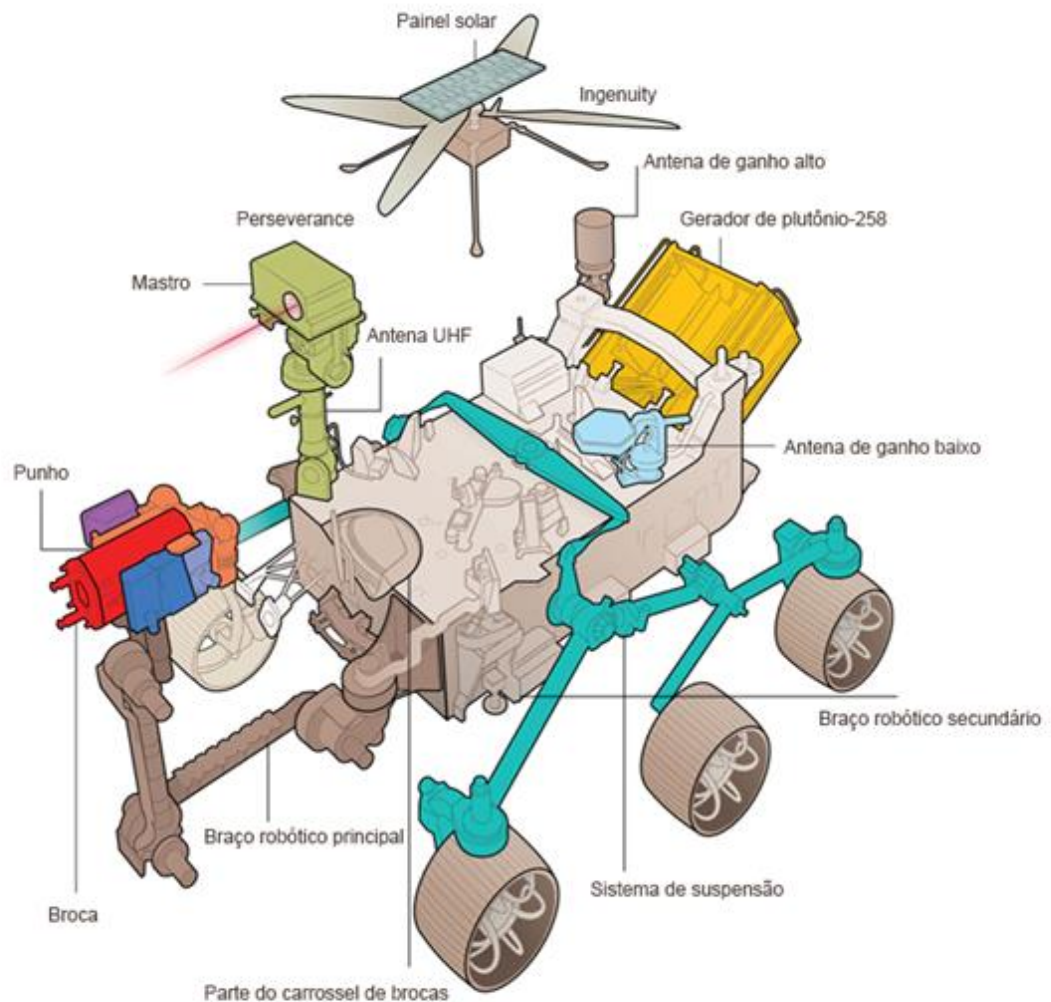


FIGURA 2: Detalhes do Perseverance (adaptado de <https://www.nytimes.com/interactive/2020/science/mars-perseverance-tianwen-hope.html>)

As rodas do Curiosity apresentam diversos buracos e marcas, criados durante os passeios marcianos sob rochas pontiagudas, que serviram como pano de fundo para as rodas reforçadas do Perseverance, feitas com alumínio fortificado e diâmetro maior. As rodas ainda recebem apoio do sistema de suspensão — outra herança do Curiosity —, permitindo que o veículo ande com velocidade máxima de 4,2 centímetros por segundo.

O mastro contém uma grande parte dos instrumentos de medição e câmeras melhorado do Curiosity, como a Mastcam-Z para capturar imagens panorâmicas e a SuperCam para analisar a composição química e mineralogia. A antena é composta por três: uma antena UHF (Frequência Ultra Alta) de 400 MHz para comunicação com a Terra, uma de ganho baixo omnidirecional e outra de ganho alto unidirecional.

O rover por completo é acionado eletricamente pelo mesmo gerador do Curiosity: um Gerador Termoelétrico de Multi-Missão Radioisotópica (sigla MMRTG, em inglês), que funciona a base do calor gerado pelo decaimento radioativo do isótopo plutônio-238 (NASA, 2020).

Adicionalmente, planeja-se uma coleta de amostras do solo de Marte selecionadas pelo Perseverance à Terra, o que não foi feito até hoje. Como as análises feitas em terras marcianas são improváveis de terem a mesma precisão que testes terrestres, é importante transportar amostragens de volta a fim de entender as condições marcianas com mais profundidade.

A exemplo da Lua, as melhores e mais estudadas amostras coletadas foram aquelas feitas por mãos humanas (SPUDIS, 2008). Independentemente do fato que robôs conseguiram ir mais longe em sua exploração do universo, foram incapazes de realizar trabalhos manuais com a mesma destreza e criatividade de um humano.

Para contornar o problema, considerou-se a implementação da automação. Foram instalados três pequenos robôs no veículo, no qual dois são braços — demonstrando maior complexidade que os braços do Curiosity. Na frente do chassi do novo rover de Marte da NASA, foi acoplado um braço robótico principal de 2,1 metros de comprimento, que é alimentado por cinco motores elétricos em cada

junta, criando movimentação rotativa em cada uma e totalizando cinco graus de liberdade. Suas juntas estão localizadas no: punho, pulso, cotovelo, na elevação do ombro e do ombro azimute — assim como no braço do rover Curiosity. No punho do braço principal, encontram-se instrumentos de medição e sensores, câmeras de alta definição e uma furadeira de impacto que permite furar superfícies mais rígidas.

Entre os instrumentos de medição e sensores, a torre possui um sensor que emite um alerta toda vez que o braço encosta no chão, a modo de prevenir danos. O aparelho foi nomeado SHERLOC e a câmera, WATSON, projetada para procurar sinais de água. Além disso, o sistema conta com o sensor PIXL, para analisar a possibilidade de vida microbiana em rochas por litoquímica de raios-X.

Há um segundo robô para comandar a operação de coleta de amostras: um bit carousel (ou carrossel de brocas) com nove brocas de diferentes configurações para abranger vários tipos de rochas e solo, seja para colher amostras ou furar o solo. O carrossel de brocas dispõe da broca apropriada para a furadeira do outro braço e, em caso de coleta de amostra, o braço principal se acopla ao carrossel que direciona a amostra para armazenamento em tubo.

Um braço secundário de meio metro de comprimento, o SHA ou Sample Handling Arm (Braço Manejador de Amostras), localizado na parte inferior do Perseverance, termina a operação. Assim, a amostra é encaminhada para o módulo de armazenamento ou de documentação do rover, para selamento hermético em tubo e assim evitar a contaminação da amostra. O braço secundário deposita a amostra conforme dados do sistema de reconhecimento de imagens, processo ilustrado na figura 3. O sistema integrado de braços robóticos é conhecido como Sample Caching System (Sistema de Armazenamento de Amostras).

O grupamento é adaptado de acordo às condições climáticas de Marte e, basicamente, transforma o Perseverance em um robô com as mesmas capacidades de análise e coleta que um geólogo humano (NASA, 2020).



FIGURA 3: Detalhe da parte inferior do Perseverance, onde o braço robótico secundário coleta a amostra, que é o componente destacado em amarelo, do carrossel (NASA, 2020).

Apesar da grande repercussão do Perseverance, não foi o único veículo-robô que chegou a Marte em 2021. O rover Tianwen-1 (Perguntas para o céu, traduzido literalmente do chinês) do programa espacial chinês pousou no planeta vermelho no mesmo período que o Perseverance, em fevereiro de 2021. Por sua vez, o Tianwen-1 conta com 13 instrumentos de medição para investigar Marte (WAN et al, 2020).

Outro dispositivo previsto para decolar da Terra rumo a Marte pertence à organização espacial federal russa, Roscosmos, em colaboração com a agência espacial europeia. O rover, nomeado Rosalind Franklin, foi projetado com o objetivo inovador de acessar a sub-superfície marciana, com o uso de uma furadeira como órgão terminal. O lançamento estava planejado para 2020, mas tanto a necessidade de mais testes técnicos quanto a pandemia de COVID-19 adiaram os planos iniciais, prorrogando a data para 2022 (EXOMARS, 2020).

CONCLUSÃO

O trabalho apresentado visou abordar a problemática da exploração espacial, que engloba inúmeras dificuldades, tais como: radiação extrema, distância, falta de oxigênio, baixa pressão e baixas temperaturas.

Neste âmbito, os avanços tecnológicos da robótica em conjunto com a automação oferecem soluções práticas para as adversidades e apontam novas perspectivas de implementação. Entre as mais recentes possibilidades, os Rovers se destacam. Como são sondas veiculares capazes de suportar atmosferas inóspitas, conseqüentemente, tornam-se uma opção não apenas viável como também adequada para a realização de pesquisas referentes à exploração espacial.

Sendo assim, este artigo evidenciou e esclareceu a importância da robótica e da automação associada à exploração espacial, apresentando um histórico de como ambos solucionaram os problemas existentes na exploração de terrenos espaciais, o que resultou não apenas em mais conhecimento a respeito do funcionamento de Marte, como também proporcionou avanços tecnológicos de sondas e satélites.

REFERÊNCIAS

ACKERMAN, E. Robonaut and Astrobee Will Work Together on Space Station. Spectrum IEEE. 2019. Disponível em: <<https://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/space-robots/robonaut-and-astrobee-to-will-work-together-on-iss>>

ACKERMAN, E. Russian Humanoid Robot to Pilot Soyuz Capsule to ISS This Week. Spectrum IEEE. 2019. Disponível em: <<https://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/space-robots/russian-humanoid-robot-to-pilot-soyuz-capsule-to-iss-this-week>>

AEB. A TERRA É AZUL YURI GAGARIN. Agência Espacial Brasileira. 2011. Disponível em: <<http://portal-antigo.aeb.gov.br/a-terra-e-azul-yuri-gagarin/>>

AMORIM, B. Sondas Espaciais. InVivo Fiocruz. 2015. Disponível em: <<http://www.invivo.fiocruz.br/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?inford=1155&sid=9>>

BILING, P. A. R., FLEISHNER, R. MARS SCIENCE LABORATORY ROBOTIC ARM. European Space Mechanisms and Tribology Symposium. 2011.

CHANG, K. NASA's Mars Helicopter Achieves First Flight on Another World - The experimental Ingenuity vehicle completed the short but historic up-and-down flight on Monday morning. THE NEW YORK TIMES. 19 de abril de 2021.

CLARK, S. China's Yutu rover dies on the moon. 2016. Space Flight Now. Disponível em: <<https://spaceflightnow.com/2016/08/04/chinas-yutu-rover-dies-on-the-moon/>>.

COHEN, D. 2012. The Sky Crane Solution. NASA – Appel Knowledge Services. Disponível em: <<https://appel.nasa.gov/2012/07/31/the-sky-crane-solution/>>

CORLEY, A. M. The Reality of Robot Surrogates. IEEE Spectrum. 2009. Disponível em: <<https://spectrum.ieee.org/robotics/humanoids/the-reality-of-robot-surrogates>>

CSA. Canadarm2's Data Sheet. Canadian Space Agency. 2019. Disponível em: <<https://www.asc-csa.gc.ca/eng/iss/canadarm2/data-sheet.asp> >

ELLERY, A. Space Robotics: What is a Robotic Spacecraft? International Journal of Advanced Robotic Systems. 2004.

ExoMars. N° 6–2020: ExoMars to take off for the Red Planet in 2022. Agência Espacial Europeia. 2020. Disponível em: <http://www.esa.int/Newsroom/Press_Releases/ExoMars_to_take_off_for_the_Red_Planet_in_2022>

GOLOMBEK, M.P., et al. Overview of the Mars Pathfinder Mission' Launch through landing, surface operations, data sets, and science results. JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, v. 104, n. E4, p. 8523-8553. 1999.

HAMILTON, C. J. Introdução a Marte. UFRGS. 1997. <<https://www.if.ufrgs.br/ast/solar/portug/mars.htm>>

LUIZ, A. Toshiba cria robô capaz de explorar reator da usina nuclear de Fukushima. Tecmundo. Disponível em: <<https://www.tecmundo.com.br/mercado/138300-toshiba-cria-robo-capaz-explorar-reator-usina-nuclear-fukushima.htm>>

MELLO, M. S. V. Análise de Desempenho e Melhorias em Robô Manipulador. 2016. TCC UnB. Disponível em: <https://bdm.unb.br/bitstream/10483/14944/1/2016_MarconiSilvaVazDeMello_tcc.pdf>

MOTA, R. NASA dá adeus ao rover Opportunity após 15 anos de missão. Canal Tech. 2019. Disponível em: <<https://canaltech.com.br/espaco/nasa-se-prepara-para-dar-adeus-ao-rover-opportunity-132761/>>

NASA. Mars Curiosity Rover. NASA Mars. 2020. Disponível em: <<https://mars.nasa.gov/msl/spacecraft/rover/summary/>>

NASA. Mars Exploration Rover Launches Press Kit. NASA. 2003. Disponível em: <<https://www.space.com/17963-mars-curiosity.html>>

NASA. NASA Facts - Robots in Space (NF-165 / 7-91). 1992. Editado em 2011. NASA. Disponível em: <https://er.jsc.nasa.gov/seh/robots_in_space.htm>

NASA. Robonaut R2. Disponível em: <<https://robonaut.jsc.nasa.gov/R2/>>

NASA. The Extraordinary Sample-Gathering System of NASA's Perseverance Mars Rover. 2020. Disponível em: <<https://www.nasa.gov/feature/jpl/the-extraordinary-sample-gathering-system-of-nasas-perseverance-mars-rover>>

NASA Mars. Touchdown! NASA's Mars Perseverance Rover Safely Lands on Red Planet. NASA Mars. 2021. Disponível em: <<https://mars.nasa.gov/news/8865/touchdown-nasas-mars-perseverance-rover-safely-lands-on-red-planet/>>

O'LEARY, B. L. CAPELOTTI, P. J. Archaeology and Heritage of the Human Movement into Space. Springer. 2015.

SIDDIQ, A. A. Deep Space Chronicle: A Chronology of Deep Space and Planetary Probes 1958-2000. NASA, 2002.

SIDDIQI, A. A. Sputnik and the Soviet Space Challenge: The Soviet Space Race with Apollo. P. 96. University Press of Florida. Gainesville, Florida, EUA. 2003.

SLAKEY, F. SPUDISH, P. D. Robots vs. Humans: Who Should Explore Space? Scientific American. Disponível em: <<https://www.scientificamerican.com/article/robots-vs-humans-who-should-explore/>>

SQUYRES, S. W., et al. Overview of the Opportunity Mars Exploration Rover Mission to Meridiani Planum: Eagle Crater to Purgatory Ripple. JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, v. 111, n. E12S12. 2006.

SWENSON JR., L. S. GRIMWOOD, J. M. ALEXANDER, C. C. This New Ocean: A History of Project Mercury (The NASA History Series). National Aeronautics and Space Administration. Scientific and Technical Information Division. Office of Technology Utilization. Washington, DC. 1966.

TATE, K. Cosmic Menagerie: A History of Animals in Space (Infographic). Space.com. 2013. Disponível em: <<https://www.space.com/20648-animals-in-space-history-infographic.html>>. Acesso em 25 de setembro de 2020.

WALL, M. NASA's Perseverance rover watched as its sky crane crashed on Mars (photo). SPACE. 2021. Disponível em: <<https://www.space.com/mars-perseverance-rover-photo-sky-crane-crash>>

WAN, W.X., WANG, C., LI, C.L. China's first mission to Mars. Nature Astronomy 4, 721. 2020.