Autora / Author: Sheila Torquato Humphreys

Título: *Transumanismo, neurotecnologia e modificação humana: limites éticos da interligação homem-máquina na exploração espacial*

Title: *Transhumanism, neurotechnology, and human enhancement: ethical boundaries of human-machine integration in space exploration*

Resumo

A exploração espacial contemporânea encontra-se à beira de uma transformação paradigmática, impulsionada pela convergência entre as capacidades humanas e os sistemas inteligentes. A incorporação progressiva de interfaces não convencionais — como comandos de voz, gestos e sinais neurais — está redefinindo os parâmetros da interação homem-máquina em contextos extraterrestres. Com a redução substancial dos custos operacionais proporcionada pelos lançadores reutilizáveis, projetos como o Artemis, da NASA, visam não apenas o retorno à superfície lunar, mas também a construção da estação orbital Gateway como plataforma para missões tripuladas a Marte na década de 2030.

Nesse novo horizonte, as limitações fisiológicas humanas impõem obstáculos significativos à autonomia operacional em ambientes extremos. A complexidade e a duração das futuras missões — marcadas por autossuficiência, isolamento prolongado e comunicação com atraso em relação à Terra — tornam obsoletos os atuais modelos de suporte terrestre em tempo real, como os observados na Estação Espacial Internacional. Em resposta, os habitats espaciais exigirão níveis crescentes de automação, embora a supervisão e a tomada de decisão humanas continuem sendo fundamentais. O ponto central dessa integração estará na interface entre o operador humano e os sistemas inteligentes.

Nesse cenário, as interfaces cérebro-computador (BCIs) surgem como uma tecnologia estratégica, permitindo, entre outras aplicações, o controle remoto de robôs em ambientes de alto risco por meio de comandos neurais diretos. No entanto, a adoção dessa tecnologia levanta questões sensíveis no campo da privacidade cognitiva, da segurança cibernética, da autonomia decisional e da integridade psíquica. Tais desafios apontam para a necessidade urgente de integrar a análise das políticas públicas de saúde — especialmente aquelas voltadas à saúde ocupacional e mental em ambientes extremos — ao planejamento e à regulação das missões espaciais.

Será imprescindível revisar e adaptar marcos normativos e estratégias de saúde existentes para garantir proteção integral aos indivíduos submetidos a contextos de modificação tecnológica intensiva, como os que envolvem BCIs. Isso requer o desenvolvimento de políticas intersetoriais que articulem bioética, segurança cibernética, neurotecnologia e medicina aeroespacial, com ênfase na prevenção de riscos, no consentimento informado contínuo e na preservação da dignidade humana. O futuro da presença humana no espaço dependerá, em grande medida, da nossa capacidade de antecipar tais desafios e de formular, em tempo oportuno, estruturas jurídicas e políticas de saúde robustas e

responsivas, capazes de assegurar os direitos fundamentais dos indivíduos tecnologicamente aprimorados.

Abstract

Contemporary space exploration stands on the threshold of a paradigmatic transformation driven by the convergence of human capabilities and intelligent systems. The progressive incorporation of non-conventional interfaces — including voice commands, gestures, and neural signals — is reshaping the parameters of human–machine interaction in extraterrestrial contexts. With the substantial reduction in operational costs enabled by reusable launch vehicles, projects such as NASA's Artemis aim not only to return humans to the lunar surface but also to construct the Gateway orbital station as a platform for crewed missions to Mars in the 2030s.

In this new horizon, the physiological limitations of the human body impose significant constraints on operational autonomy in extreme environments. The complexity and duration of future missions — characterized by self-sufficiency, prolonged isolation, and delayed communication with Earth — render current real-time ground-based support models, as used on the International Space Station, increasingly obsolete. In response, space habitats will demand higher levels of automation, even as human oversight and decision-making remain indispensable. The critical nexus of this integration will be the interface between the human operator and intelligent systems.

Within this scenario, brain–computer interfaces (BCIs) emerge as a strategic technology, enabling, among other applications, the remote control of robots in high-risk environments through direct neural commands. However, the adoption of this technology raises sensitive issues concerning cognitive privacy, cybersecurity, decisional autonomy, and psychological integrity. These concerns underscore the urgent need to integrate the analysis of public health policies — particularly those related to occupational and mental health in extreme environments — into the design, implementation, and regulation of space missions.

It will be essential to review and adapt existing regulatory frameworks and health policy strategies to ensure comprehensive protection for individuals subjected to technologically intensive environments such as those involving BCIs. This calls for the development of intersectoral policies that bridge bioethics, cybersecurity, neurotechnology, and aerospace medicine, with a focus on risk prevention, dynamic informed consent, and the preservation of human dignity. The future of human presence in space will depend, to a great extent, on our ability to anticipate these challenges and to formulate timely, robust, and responsive legal and health policy frameworks capable of safeguarding the fundamental rights of technologically augmented individuals.