Investigação cientométrica sobre aplicações de Redes Neurais em Hipersônica

Ângelo de Carvalho Paulino, Angelo Passaro
Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Instituto de Estudos Avançados

Resumo — As tecnologias hipersônicas desempenham um papel importante para a supremacia do Poder Aeroespacial nos próximos anos. Muitos países empreendem esforços enormes para dominar as complexidades intrínsecas associadas ao voo hipersônico. Essas complexidades abrangem metodologias avançadas de controle e orientação, bem como uma compreensão profunda das não-linearidades inerentes ao escoamento hipersônico, incluindo efeitos de camada limite e química de alta temperatura. O veículo hipersônico deve ser desenvolvido do ponto de vista de um sistema integrado, com o emprego de cálculos computacionais e estruturas otimizadas para a obtenção da viabilidade de um voo seguro e do sucesso da missão. Para tanto, o uso da Inteligência Artificial tem se consolidado como uma valiosíssima ferramenta capaz de tratar diversos problemas relacionados a veículos hipersônicos, sobretudo dadas as características dinâmicas de sua operação que inviabilizam soluções globais meramente analíticas. Este trabalho apresenta uma análise cientométrica das aplicações de Inteligência Artificial à área de Hipersônica — em particular das Redes Neurais — avaliando-se os dados de 244 diferentes publicações relacionadas desde 1993. São apresentadas análises dos principais temas de pesquisa e palavras-chave, principais autores e instituições, cenário mundial das pesquisas em desenvolvimento, bem como tendências identificadas, fazendo-se predições para o andamento das pesquisas nos próximos anos.

I. INTRODUÇÃO

O domínio das Tecnologias Hipersônicas é de suma importância no cenário aeroespacial global, dado o crescente interesse internacional no desenvolvimento de tecnologias de combustão aerotransportada supersônica (SCRAMJETs) para aplicação em Veículos Hipersônicos (VH), seja para aplicações militares, como armas de longo alcance em alta velocidade, que são mais difíceis de serem detectadas e possuem maior capacidade de penetração; seja para aplicações civis, desde o acesso ao espaço até o transporte de carga e passageiros [1]. Testes de voo de motores e veículos têm sido realizados por um grupo seleto de países, incluindo Rússia, China, Estados Unidos, Austrália, Índia, Comunidade Europeia e Brasil [1]–[4].

A Inteligência Artificial (IA), conforme descrito por [5], é um subcampo da ciência da computação altamente influenciado pela ciência cognitiva, filosofia, linguística e matemática, que tem como objetivo construir sistemas que demonstrem alguma inteligência em sua operação ou comportamento. De forma sucinta, [6] afirma que a IA é um framework para descrever a noção de inteligência em sistemas de software ou dispositivos em termos de representação do conhecimento e metodologias de raciocínio. Em outras palavras, [7] afirma que a IA se refere a uma técnica de incorporar inteligência em máquinas, tornando-as capazes de executar tarefas que historicamente requeriam a participação humana.

Hoje, com o avanço e o aumento dos recursos computacionais, problemas mais difíceis e de grande escala são agora tratáveis, e a IA desempenha um papel fundamental no enfrentamento dos principais desafios relacionados ao voo hipersônico, que são muitos e complexos [3], [8], [9]. À medida que a precisão na previsão do desempenho aerotermodinâmico aumenta, os projetos de veículos hipersônicos dependem cada vez mais de métodos computacionais [10]. Assim, o objetivo principal deste trabalho é realizar uma análise cientométrica do histórico e do atual estado da arte da pesquisa envolvendo o uso de IA em aplicações hipersônicas — em particular das Redes Neurais — e facilitar a identificação das principais tendências e projeções de pesquisa, autores, afiliações, países e fontes mais relevantes.

II. METODOLOGIA

A metodologia utilizada para encontrar artigos na área envolve processos análogos aos encontrados em [11]. Em primeiro lugar, o objetivo da pesquisa foi claramente definido, ou seja, realizar uma análise cientométrica da aplicação de Redes Neurais em Hipersônica. Em segundo lugar, para estabelecer condições de contorno, foram escolhidas palavras-chave para o processo de busca, limitando apenas a documentos revisados por pares, visando garantir a qualidade das publicações. O próximo passo foi a definição do Scopus como o banco de dados de busca, devido à sua relevância acadêmica superior, conforme detalhado em [11], [12]. Uma visão geral do processo proposto por [11] pode ser vista na Fig. 1.

A pesquisa foi realizada com termos de busca específicos (Tabela 1) relacionados a Redes Neurais na caixa de consulta "Pesquisar documentos" do Scopus, tanto para "Title Search" quanto para "Author Keywords Search", além dos termos **"AND ("hyperson*" OR "scramjet*" OR "waverider*"))"** para encontrar conteúdo específico sobre Hipersônica. Por exemplo, a consulta completa para o primeiro termo de busca é **"“*adversarial*” AND (“hyperson*” OR “scramjet*” OR “waverider*”))”**, excluindo textos que não estão em inglês. Todos os termos utilizados constam da Tabela 1. Os gráficos apresentados a seguir foram gerados usando o pacote Bibliometrix [13], da linguagem R.

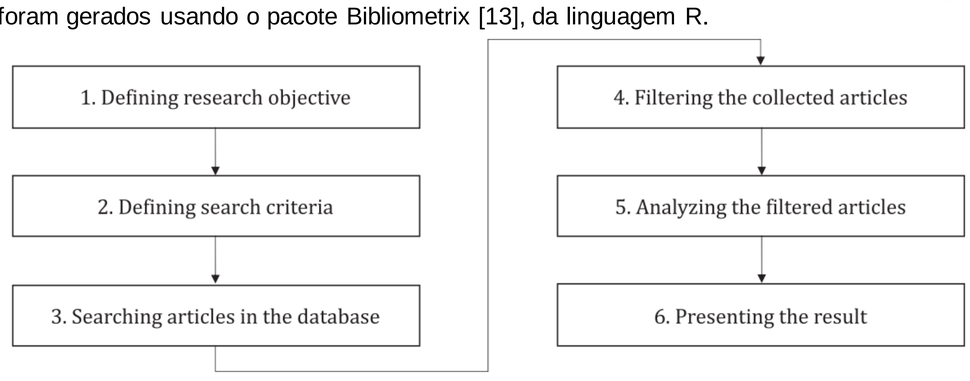

Figura 1 – Processo cientométrico adotado. Fonte: (Pujotomo et al., 2023)

TABELA 1 – TERMOS DE BUSCA

ÁREA DA IA	TERMOS DE BUSCA ESPECÍFICOS	Documentos encontrados	Maior número de citações	Ano do trabalho mais antigo	Ano do trabalho mais recente
Redes Neurais	“*adversarial*”	244	290	1993	2023
	(“*deep*” AND NOT (“deep cavit*”))				
	“generative*”				
	“*neural*”				
	“*radial* basis* function*”				

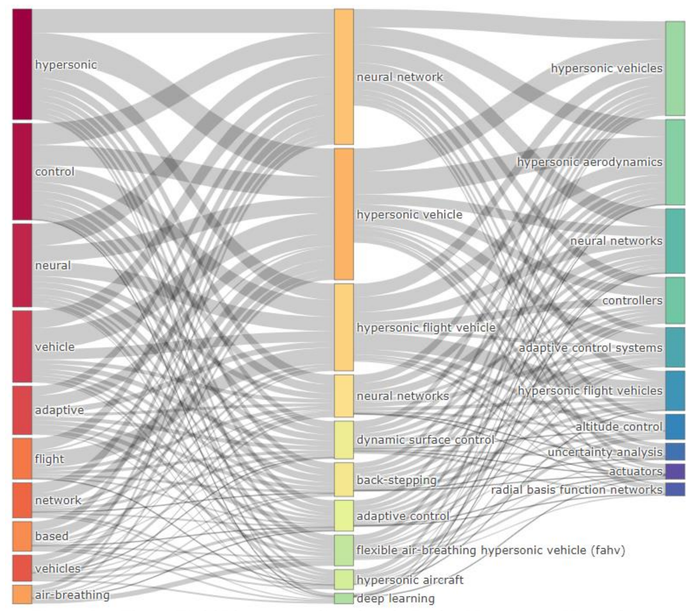

Figura 2 – *Three-Field Plot* para aplicações de Redes Neurais em Hipersônica

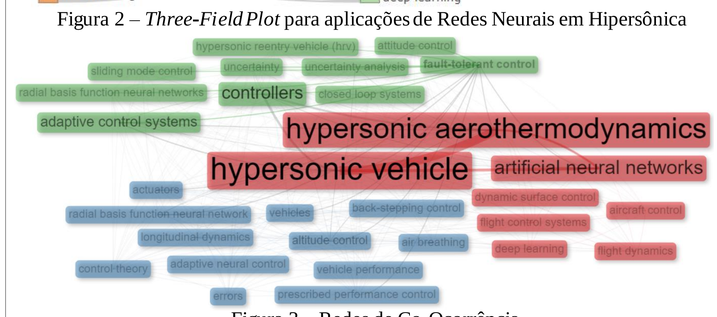

Figura 3 – Redes de Co-Ocorrência

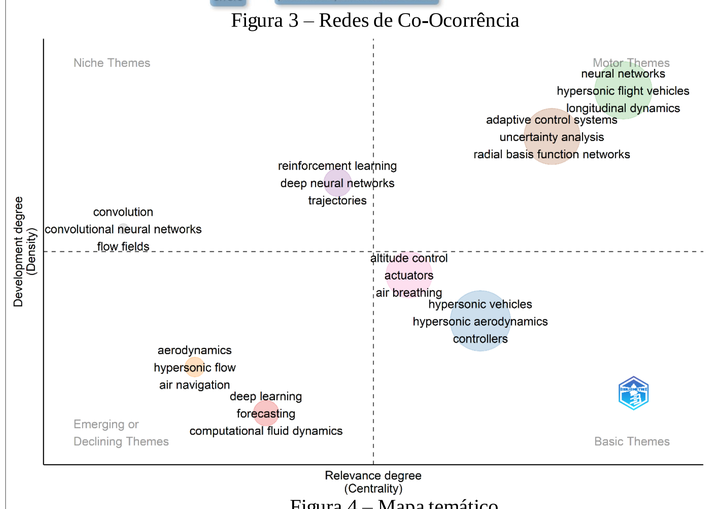

Figura 4 – Mapa temático

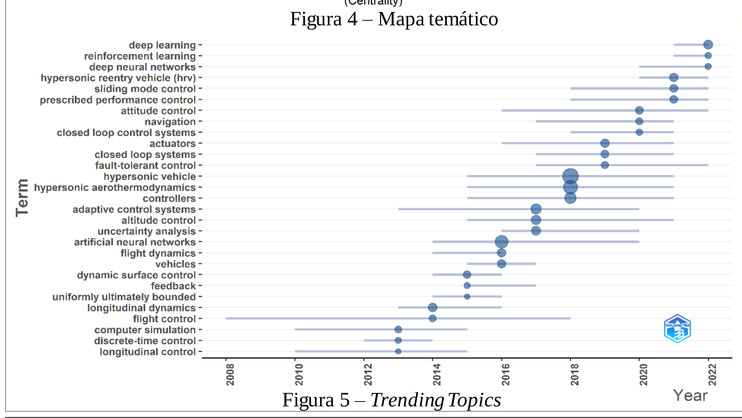

Figura 5 – *Trending Topics*

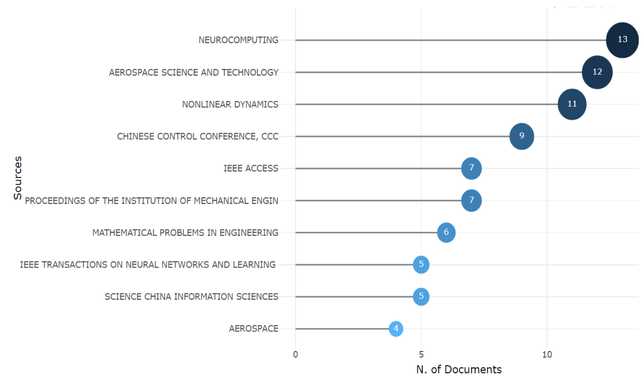

Figura 6 – Principais fontes

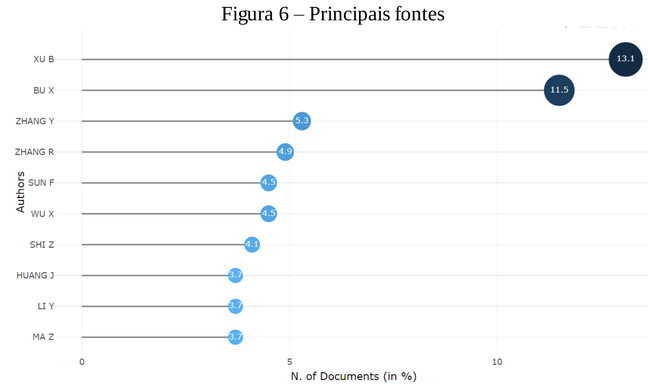

Figura 7 – Principais autores

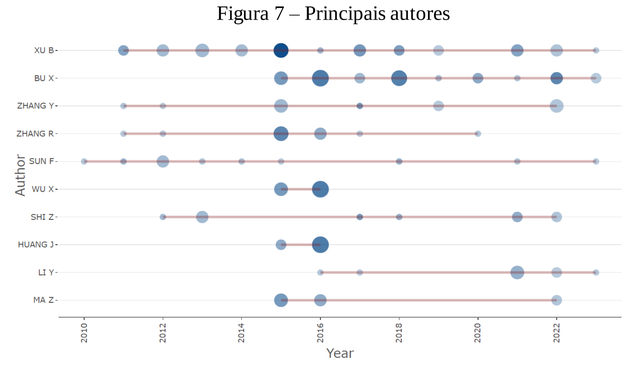

Figura 8 – Produção científica dos principais autores

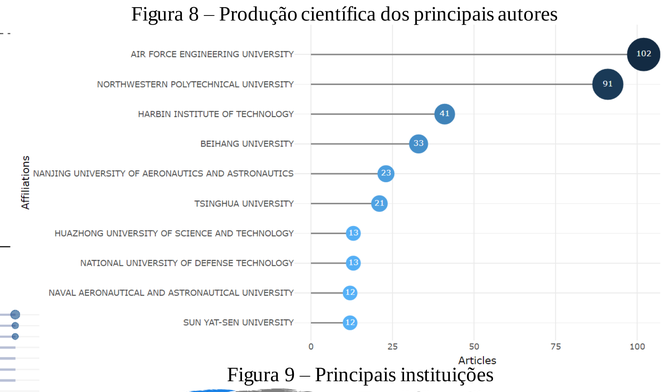

Figura 9 – Principais instituições

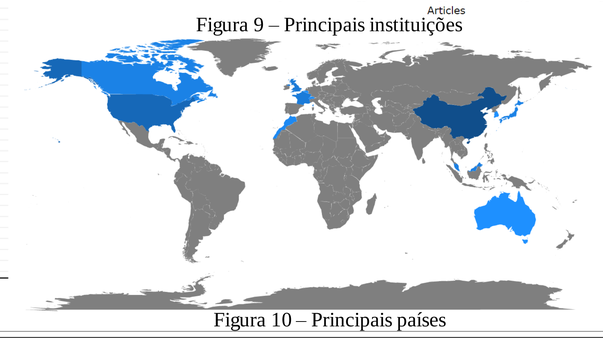

Figura 10 – Principais países

REFERÊNCIAS

[1] R. Speier, G. Nacouzi, C. Lee, and R. Moore, *Hypersonic Missile Nonproliferation: Hindering the Spread of a New Class of Weapons*. Santa Monica, CA: RAND Corporation, 2017. doi: 10.7249/RR2137.

[2] E. T. Curran, “Scramjet Engines: The First Forty Years,” *J. Propuls. Power*, vol. 17, no. 6, pp. 1138–1148, Nov. 2001, doi: 10.2514/2.5875.

[3] D. Sziroczak and H. Smith, “A review of design issues specific to hypersonic flight vehicles,” *Prog. Aerosp. Sci.*, vol. 84, pp. 1–28, Jul. 2016, doi: 10.1016/J.PAEROSCI.2016.04.001.

[4] P. G. P. Toro *et al.*, “Brazilian 14-X Hypersonic Aerospace Vehicle Project,” in *18th AIAA/3AF International Space Planes and Hypersonic Systems and Technologies Conference*, Sep. 2012, no. September, pp. 1–14. doi: 10.2514/6.2012-5851.

[5] F. J. Kurfess, “Artificial Intelligence,” in *Encyclopedia of Physical Science and Technology*, Elsevier, 2003, pp. 609–629. doi: 10.1016/B0-12-227410-5/00027-2.

[6] K. Yeturu, “Machine learning algorithms, applications, and practices in data science,” *Handb. Stat.*, vol. 43, pp. 81–206, Jan. 2020, doi: 10.1016/BS.HOST.2020.01.002.

[7] P. M. Chanal, M. S. Kakkasageri, and S. K. S. Manvi, “Security and privacy in the internet of things: Computational intelligent techniques-based approaches,” in *Recent Trends in Computational Intelligence Enabled Research: Theoretical Foundations and Applications*, Academic Press, 2021, pp. 111–127. doi: 10.1016/B978-0-12-822844-9.00009-8.

[8] R. Chai, A. Tsourdos, A. Savvaris, S. Chai, Y. Xia, and C. L. P. Chen, “Six-DOF Spacecraft Optimal Trajectory Planning and Real-Time Attitude Control: A Deep Neural Network-Based Approach,” *IEEE Trans. Neural Networks Learn. Syst.*, vol. 31, no. 11, pp. 5005–5013, Nov. 2020, doi: 10.1109/TNNLS.2019.2955400.

[9] C. Jing and T. Shuo, “Integrated optimization design of hypersonic cruise vehicle,” in *46th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit*, 2008. doi: 10.2514/6.2008-142.

[10] S. Eyi, K. M. Hanquist, and I. D. Boyd, “Aerothermodynamic design optimization of hypersonic vehicles,” *J. Thermophys. Heat Transf.*, vol. 33, no. 2, pp. 392–406, 2019, doi: 10.2514/1.T5523.

[11] D. Pujotomo, S. A. H. Syed Hassan, A. Ma’aram, and W. Sutopo, “University–industry collaboration in the technology development and technology commercialization stage: a systematic literature review,” *J. Appl. Res. High. Educ.*, vol. ahead-of-p, no. ahead-of-print, Mar. 2023, doi: 10.1108/JARHE-11-2022-0344.

[12] L. Waltman, “A review of the literature on citation impact indicators,” *J. Informetr.*, vol. 10, no. 2, pp. 365–391, May 2016, doi: 10.1016/j.joi.2016.02.007.

[13] M. Aria and C. Cuccurullo, “bibliometrix : An R-tool for comprehensive science mapping analysis,” *J. Informetr.*, vol. 11, no. 4, pp. 959–975, Nov. 2017, doi: 10.1016/j.joi.2017.08.007.