



ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 1/2023

CEZAR AUGUSTO KUZAVA **FRANCO**, Cap Av

Propulsão hipersônica aspirada: uma tecnologia estratégica para o Brasil

Rio de Janeiro

2023

ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 1/2023

CEZAR AUGUSTO KUZAVA **FRANCO**, Cap Av

Propulsão hipersônica aspirada: uma tecnologia estratégica para o Brasil

Trabalho de conclusão de curso apresentado no Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais da Aeronáutica como requisito parcial para aprovação no Curso de Pós-graduação *Lato Sensu* em Liderança com Ênfase em Gestão no COMAER.

Linha de Pesquisa: Ciência, Tecnologia e Inovação

Orientador: Jaqueline de Azevedo Bruno, Ten Cel Int

Rio de Janeiro

2023

CEZAR AUGUSTO KUZAVA **FRANCO**, Cap Av

Propulsão hipersônica aspirada: uma tecnologia estratégica para o Brasil

Trabalho de conclusão de curso apresentado
no Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais da
Aeronáutica.

Aprovado por:

Jaqueline de Azevedo Bruno, Ten Cel Int
EAOAR

Wellington Azevedo dos Santos, Maj Inf
EAOAR

Rio de Janeiro

2023

RESUMO

A FAB desenvolve pesquisas em torno da tecnologia de propulsão hipersônica aspirada há décadas, colocando o Brasil em posição de destaque no cenário internacional. Os conhecimentos desenvolvidos nesse período abrem uma janela de oportunidade para o desenvolvimento de um programa nacional de tecnologia hipersônica, com a possibilidade de elevar o patamar da indústria aeroespacial nacional em uma evolução semelhante à ocorrida com a criação da Embraer. Para viabilizar esse programa, entretanto, se faz necessária a implantação de uma moderna indústria de base, o que depende da interação direta entre a academia e o setor produtivo. Como a FAB é detentora do conhecimento e dos recursos humanos capacitados, esse trabalho defende que a Força Aérea Brasileira deve liderar um programa nacional de desenvolvimento da tecnologia hipersônica, com vistas a consolidar benefícios estratégicos para a Força e para o Brasil. Os argumentos que sustentam essa tese são o desenvolvimento de tecnologia estratégica, capaz de impactar fatores socioeconômicos no país devido ao alto valor agregado especialmente nos produtos da indústria aeroespacial e a elevação da relevância geopolítica do Brasil no cenário internacional. Dessa forma, a atuação da FAB como líder no desenvolvimento nacional da tecnologia hipersônica possibilitará que seja tirado proveito dessa janela de oportunidade, alavancando o Brasil a uma posição de destaque no cenário tecnológico e geopolítico internacional. Extrapolando-se, ainda, que parcerias público-privadas representam uma possibilidade para potencializar o programa nacional de hipersônica sob a liderança da Força Aérea Brasileira, com vistas ao desenvolvimento industrial e militar do país.

Palavras-chave: Hipersônica. Tecnologia. Geopolítica. Desenvolvimento. Indústria.

1 INTRODUÇÃO

O acesso ao espaço representa uma das maiores conquistas já alcançadas pelo homem. Qualquer tecnologia do ramo aeroespacial é dotada de projetos de engenharia de complexidade que impactam direta ou indiretamente o desenvolvimento da sociedade. O legado dos estudos nessa área está presente nas mais variadas áreas do conhecimento, seja no avanço das telecomunicações, sistemas de propulsão ou nos complexos sistemas de controle desenvolvidos, todas áreas de vital importância estratégica no desenvolvimento de uma nação.

Apesar de todos os avanços atingidos, um fator limitante ao lançamento de qualquer carga em órbita ainda é o custo por quilograma de carga útil. No início dos anos 2000 esse custo era da ordem de US\$ 3.500,00 (HICKS; TRIPPENSEE, 1997). Devido à necessidade de se transportar tanques de oxigênio, a carga útil de um foguete espacial acaba representando menos de 4% do seu peso total (HEISER *et al.*, 1994).

Nesse contexto surge a tecnologia de propulsão hipersônica aspirada, que emprega oxigênio atmosférico para a oxidação do combustível, trazendo a possibilidade de redução do peso total do veículo e consequente diminuição do custo para colocar a carga útil em órbita. Junto de um seleto grupo de países, composto por EUA, Rússia, China e Austrália, o Brasil coloca-se como uma das poucas nações a desenvolver pesquisas em busca de um veículo hipersônico que materialize a possibilidade de uso da propulsão aspirada para alcançar o espaço.

Em 2008, pouco mais de um século após Alberto Santos Dumont realizar o primeiro voo de uma máquina mais pesada que o ar, com 30 km/h de velocidade, o Brasil deu os primeiros passos na direção da produção de um veículo capaz de voar a velocidades próximas a número de Mach 10¹ com propulsor do tipo aspirado. O projeto 14-X carrega em seu nome a homenagem ao 14-Bis de Santos Dumont, em conjunto com a letra “X” usualmente atribuída pela NASA aos seus protótipos, o que acabou por tornar-se característica desses veículos ao redor do mundo.

O destaque do Brasil como uma das nações a desenvolver a tecnologia hipersônica nos coloca em condições semelhantes às que antecederam a criação da

¹ O número de Mach é uma forma de expressar a velocidade de voo em termos da velocidade do som. Número de Mach igual a 10 significa que o veículo voa 10 vezes mais rápido que o som.

Embraer em 1969, que elevou o patamar da indústria brasileira, abrindo portas para o desenvolvimento nacional.

De forma semelhante a o que ocorreu na época, é necessário o desenvolvimento de uma moderna indústria de base para suportar um programa nacional de desenvolvimento tecnológico. Nesse contexto, a detenção do conhecimento e de recursos humanos capacitados coloca a Força Aérea Brasileira (FAB) em posição de referência.

Considerando esse cenário, o presente trabalho tem por objetivo demonstrar as razões pelas quais a Força Aérea Brasileira deve liderar um programa nacional de desenvolvimento da tecnologia hipersônica, com vistas a consolidar benefícios estratégicos para a Força e para o Brasil.

O primeiro argumento que sustenta essa tese é o desenvolvimento tecnológico do setor produtivo nacional, com avanços de alto valor agregado na indústria brasileira capazes de impactar fatores sociais e econômicos do país.

Já o segundo argumento repousa sobre a elevação da capacidade militar e relevância geopolítica nacional, colocando o Brasil e a Força Aérea Brasileira em posição de destaque no cenário geopolítico mundial. Esse destaque resulta do domínio de uma tecnologia disruptiva com potencial de gerar assimetria no teatro de operações comparável ao da detenção de armamento nuclear.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Tecnologia Aeroespacial Estratégica

Desde a filosofia grega, a técnica foi alvo de estudos e reflexões, passando por termos e definições variadas ao longo da evolução da civilização e da ciência. Uma visão abrangente do termo “tecnologia” é a de “um conjunto de conhecimentos e informações organizadas, provenientes de fontes diversas” (CATTANI, 1999, p. 250). O consenso epistemológico atual estabelece que a tecnologia é resultado da união da ciência com a técnica, carregando a convicção de que “saber é poder” (OLIVEIRA, 2008).

Mashelkar (2015) desenvolveu uma dissertação que corrobora o aforismo de Oliveira (2008). Em seu trabalho é evidenciada a projeção de poder econômico e político que o desenvolvimento tecnológico pode trazer a uma nação. A consciência

dessa propriedade do domínio tecnológico é fundamental para que o investimento em pesquisa e desenvolvimento seja encarado como uma centelha para a ignição de toda uma cadeia de geração de valor que pode se ramificar em diversos setores produtivos da sociedade.

Malik (2018) desenvolveu estudos que comprovam a existência de uma correlação positiva entre os investimentos em tecnologia militar e o aumento de registros de patentes e exportações de alta tecnologia (com alto valor agregado) nos países da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE). Embora seu trabalho tenha tido como foco a análise de grandezas econômicas, pode-se extrapolar o impacto econômico de seu estudo para outros aspectos de uma nação.

Um fator implícito em seu trabalho é o desenvolvimento industrial necessário para a geração de valor observada no aumento de exportações com alta tecnologia agregada. O avanço industrial não ocorre sem impactar na geração de empregos e capacitação de mão de obra, o que inevitavelmente resultará em um ciclo virtuoso de desenvolvimento humano e econômico do país. Esse ciclo, que pode ser exemplificado pela ramificação da cadeia de geração de valor, será tão maior quanto for o espectro de tecnologias necessárias para a condução de determinado projeto (KUEHL *et al.*, 2017).

Nesse sentido, a produção de uma tecnologia de propulsão hipersônica impacta transversalmente a cadeia produtiva, exigindo o aprimoramento de novos produtos e serviços vinculados à diversas áreas do conhecimento (KUEHNL *et al.*, 2017; WANG *et al.*, 2022), reforçando a tese de que a FAB, como detentora do conhecimento técnico-científico, deve liderar essa implantação no país. Algumas áreas diretamente afetadas pela pesquisa e desenvolvimento de um projeto hipersônico são as de propulsão, comunicações, engenharia de materiais, aerodinâmica, computação, navegação e controle. Ainda podem ser citadas áreas do conhecimento impactadas indiretamente e de relevância para o desenvolvimento de projetos de grande magnitude como a engenharia de sistemas, gestão de projetos e até mesmo gestão de riscos.

A tecnologia de propulsão exige o desenvolvimento de uma vasta gama de variáveis que impactam o motor scramjet, responsável pela combustão supersônica (HEISER *et al.*, 1994). Esses conhecimentos podem ser aproveitados posteriormente não apenas pelas indústrias aeroespacial e bélica, mas também pela automobilística.

A navegação e controle de um veículo hipersônico impõe problemas desafiadores para controlar sistemas instáveis. Os conhecimentos adquiridos nesse campo têm as mais diversas aplicações industriais, passando pela automação de veículos não tripulados até equipamentos eletroeletrônicos e eletrodomésticos.

O desenvolvimento da tecnologia aerodinâmica, por sua vez, é inegável e acompanhado pelo avanço da computação. Esse relacionamento ocorre pois o sistema de equações que regem a aerodinâmica pode ser resolvido apenas por meio de programas (ANDERSON, 1995) de *Computational Fluid Dynamics* (CFD). O voo hipersônico adiciona um desafio computacional ainda maior no campo de CFD, ao exigir que sejam consideradas a decomposição química e a reatividade da atmosfera no escoamento (FRANCO, 2021). Essa tecnologia é controlada por poucos países no mundo e teria vasta aplicação no estudo de escoamentos reativos como o de motores ou turbinas a gás.

Todos esses campos, dentre diversos outros, serão desenvolvidos a patamares da fronteira do conhecimento humano na atualidade, colocando a indústria nacional em posição privilegiada para produção de bens de alto valor agregado competindo com a vanguarda tecnológica mundial. Esse posicionamento impacta positivamente a operacionalidade da FAB, aumentando suas capacidades de combate, e elevará a relevância internacional do Brasil, o que sustenta a necessidade do desenvolvimento do programa nacional liderado pela Força Aérea.

2.2 Potencialidade bélica e geopolítica

Desde a guerra fria, o domínio da capacidade nuclear representa um divisor de águas quando se trata de projeção de poder e capacidade de dissuasão. Entretanto, após a queda do muro de Berlim as grandes potências passaram a travar uma corrida tecnológica em busca do próximo armamento revolucionário. Nesse contexto, as armas hipersônicas vêm ganhando papel de destaque devido às suas características táticas e estratégicas (WONG, 2021).

Dentre as principais categorias de armas hipersônicas destacam-se os *Hypersonic Cruise Missiles* (HCM) e os *Hypersonic Glide Vehicles* (HGV). Considerando-se os mísseis de cruzeiro atuais, como o americano Tomahawk, que é subsônico, o desenvolvimento dos HCM é um grande avanço tático, por meio do transporte de uma cabeça de guerra a alta velocidade. Entretanto, por definição, eles

não passam de uma versão mais rápida de uma arma já existente. Um exemplo dessa tecnologia é o míssil russo *Kinzhal*, empregado em 2022 pela Rússia na guerra da Ucrânia (RUSSIA, 2022). Os HGV, por outro lado, pertencem a uma classe de armas *sui generis*.

Capazes de atingir qualquer alvo no globo em até 2 horas, o poder destrutivo do *Hypersonic Glider Vehicle* reside exclusivamente na alta energia cinética resultante da sua expressiva velocidade, sem a necessidade de ser equipado com cabeças de guerra. Para fins comparativos, um corpo com massa de 1 kg viajando a número de Mach igual a 10 carrega uma quantidade de energia equivalente a 1 kg de TNT. Essa propriedade traz ao teatro de operações a possibilidade de afundar um porta aviões da classe USS-Nimitz sem um único explosivo (WONG, 2021).

Estudos realizados por Terry e Cone (2020) demonstram que essas características aliadas a outras como alta manobrabilidade, velocidade e possibilidade de navegação abaixo da linha de kármán², ainda que não vantajosas para o transporte de ogivas nucleares, tornam o HGV uma arma letal, praticamente impossível de ser interceptada. Sua relevância estratégica levou o Pentágono a classificá-lo no topo da relação de armas capazes de desequilibrar o chamado “MAD”, do inglês, *Mutual Assured Destruction*, que rege o combate entre dois oponentes com mesmo potencial bélico. Nesse contexto, uma arma com as características do HGV fornece uma capacidade bélica capaz de colocar em vantagem até mesmo um oponente militarmente inferior dado seu poder destrutivo e efeito surpresa, característica decisiva no teatro de operações (WONG, 2021).

Considerando a relevância estratégica da detenção dessa tecnologia, o desenvolvimento de um HGV pelo Brasil colocaria o país em uma posição de vantagem estratégica não apenas na América Latina, mas também mundial, em especial no hemisfério sul, onde a Austrália é o único país em fase final de desenvolvimento.

Em dezembro de 2021 o projeto 14-X, desenvolvido pela Força Aérea Brasileira, obteve sucesso nos ensaios em voo realizados para checar sua câmara de combustão (BRASIL, 2021). Os avanços obtidos nas pesquisas desenvolvidas ao longo de décadas corroboram a necessidade de que a FAB assuma a liderança em um

² A linha de Kármán é a fronteira virtual entre a atmosfera terrestre e o espaço, situa-se a 100 km de altitude. Os atuais mísseis intercontinentais precisam subir acima dessa altitude para realizar a navegação até seus alvos.

programa nacional para o desenvolvimento completo desta tecnologia disruptiva com vistas a tirar proveito do seu poder dissuasório e geopolítico que, segundo Wong (2021), Terry e Cone (2020), só é comparável ao da tecnologia nuclear.

3 CONCLUSÃO

A propulsão hipersônica apresenta-se como um avanço tecnológico disruptivo na busca pela redução de custo para o acesso ao espaço. No rol dos países com pesquisas avançadas neste campo, o Brasil figura como único representante da América Latina. Com pesquisas sendo desenvolvidas há décadas, a FAB assume protagonismo semelhante ao visto na criação da Embraer, detendo conhecimento e recursos humanos qualificados.

O desenvolvimento pleno da tecnologia hipersônica em âmbito nacional, entretanto, exige o preparo de uma moderna indústria de base. Nesse contexto a FAB, por dominar o conhecimento técnico-científico, deve liderar um programa nacional de desenvolvimento da tecnologia hipersônica, com vistas a consolidar benefícios estratégicos para a Força e para o Brasil.

Os benefícios da implantação de um programa nacional atingirão a Força Aérea, com impactos estratégicos relevantes em todo o país. Dentre eles destacam-se o desenvolvimento de tecnologias de ponta que alavancarão as capacidades do setor aeroespacial brasileiro, atingindo transversalmente toda a cadeia produtiva nacional, com ganhos em diversas áreas.

Ademais, a potencialidade de aplicação bélica dessa tecnologia colocará o Brasil em um posicionamento geopolítico sem precedentes no cenário internacional, dominando um conhecimento com potencial estratégico militar comparável ao da tecnologia nuclear.

Por fim, extrapola-se, ainda, que a possibilidade de parcerias público-privadas possa potencializar a implantação do programa nacional de hipersônica com a liderança da Força Aérea Brasileira, otimizando a cadeia produtiva brasileira por meio da interação sinérgica entre o Estado e o setor industrial, destacando a imagem da FAB junto à sociedade e elevando o Brasil a um patamar de referência internacional no setor aeroespacial.

REFERÊNCIAS

ANDERSON, J. D. **Computational Fluid Dynamics: the basics with applications**. 2nd. ed. New York: McGraw-Hill Education, 1995.

BRASIL na era da propulsão hipersônica: Projeto 14-X. **Força Aérea Brasileira**, 2021. Disponível em: <https://www.fab.mil.br/noticias/mostra/38356/IND%C3%9ASTRIA%20AEROESPACIAL%20%20-%20O%20Brasil%20na%20era%20da%20Propuls%C3%A3o%20Hipers%C3%B4nica:%20Projeto%2014-X>. Acesso em: 22 fev. 2023.

CATTANI, A. D. **Trabalho e tecnologia: dicionário crítico**. Petrópolis: Vozes, 1999. 250 p.

FRANCO, C. A. K. **Estudo de Desempenho Aerodinâmico de Estabilizador Vertical para Veículo Hipersônico via CFD**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação), Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2021.

HEISER, W. H. *et al.* **Hypersonic Airbreathing Propulsion**. Washington: AIAA, 1994.

HICKS, J. W.; TRIPPENSEE, G. NASA Hypersonic X-Plane Flight Development of Technologies and Capabilities for the 21st Century Access to Space. In: AGARD FUTURE AEROSPACE TECHNOLOGY IN SERVICE TO THE ALLIANCE, 1997, Paris. **Proceedings [...]**. Paris: AGARD, 1997.

KUEHNL, C.; ANDREAS, F.; HOMBURG, C.; STARITZ, M. Toward a Differentiated Understanding of the Value-Creation Chain. **British Journal of Management**, v. 28, n. 3, p. 444-463, 2017.

MALIK, T. H. Defence Investment and the Transformation National Science and Technology: A Perspective on the Exploitation of High Technology. **Technological Forecasting & Social Change**, v. 127. p. 199-208, 2018.

MASHELKAR, R. A. Impact of Science, Technology and Innovation on the Economic and Political Power. **AI & Society**, v. 32, n. 2, p. 243-251, 2017.

OLIVEIRA, E.A. A técnica, a techné e a tecnologia. **Itinerarius Reflectionis**, v. 2, n. 5, jul./dez. 2008.

RUSSIA says it has deployed Kinzhal hypersonic missile three in Ukraine. **Reuters**, 2022. Disponível em: <https://www.reuters.com/world/europe/russia-says-it-has-deployed-kinzhal-hypersonic-missile-three-times-ukraine-2022-08-21/>. Acesso em: 01 mar. 2023.

TERRY, N.B.; CONE, P. P. Hypersonic Technology: An Evolution in Nuclear Weapons? **Strategic Studies Quarterly**, 2020.

WANG, Y. *et al.* Research on Key Technologies of Hypersonic Vehicle. **Journal of Physics: Conference Series**, n. 2183.1, 2022. Disponível em: <https://iopscience->

iop.ez63.periodicos.capes.gov.br/article/10.1088/1742-6596/2183/1/012011. Acesso em: 22 fev. 2023.

WONG, W. K. O. First Strike Hypersonic Weapons: The End of the MAD Doctrine and Peace for Our Time? **Pacific Focus**, v. 36, n. 3, p. 343-379, 2021.