



Dinâmica da Inovação na Indústria de Defesa: Evolução Mundial e o Caso Brasileiro

Marcos José Barbieri Ferreira¹;
Peterson Ferreira da Silva²;

Resumo: O tema de pesquisa retoma a percepção da indústria como setor fundamental para promover o desenvolvimento econômico e assegurar a soberania nacional — temática que vem ganhando crescente relevância no atual cenário de acirramento das tensões e conflitos internacionais e de aceleração das transformações tecnológicas. O artigo tem como objetivo central aprofundar a compreensão da dinâmica da inovação na indústria de defesa, à luz das especificidades brasileiras. Inicialmente, apresenta uma breve introdução sobre a evolução da relação entre os avanços produtivos e tecnológicos decorrentes das revoluções industriais e a busca por superioridade militar. Na sequência, analisa a relação bidirecional entre defesa e inovação, demonstrando — por meio de exemplos da literatura técnica e econômica — que inovações em defesa contribuíram para o avanço da estrutura produtiva e tecnológica, no âmbito de um processo de *spin-off*. De outro lado, estudos apontam a crescente relevância do transbordamento de inovações civis para a indústria de defesa, denominado *spin-in* tecnológico. Contudo, essa relação bidirecional não é uniforme, pois, quanto mais estratégicas forem as tecnologias, maiores tendem a ser os custos e as incertezas associados ao seu desenvolvimento, bem como as restrições à sua transferência. Dessa maneira, o Estado nacional desempenha papel determinante, tanto na demanda por produtos estratégicos de defesa — em um mercado praticamente monopsônico — quanto no suporte, na coordenação e no financiamento de todas as etapas do desenvolvimento de tecnologias críticas na área militar. A partir disso, o artigo realiza uma breve análise do caso brasileiro, no qual também se observa que demandas militares proporcionaram avanços relevantes na estrutura produtiva e tecnológica nacional. A metodologia baseia-se em ampla revisão bibliográfica, incluindo trabalhos consolidados nas literaturas de Economia Industrial e Economia de Defesa, que fundamentam a argumentação teórica, além de textos técnicos e documentos históricos que oferecem um conjunto expressivo de exemplos capazes de ilustrar e corroborar a análise proposta. A sistematização dessas informações permite tecer considerações sobre a dinâmica da inovação na indústria de defesa e evidenciar sua contribuição para o desenvolvimento produtivo e tecnológico no âmbito mundial e, em menor proporção, no caso brasileiro.

¹ Professor da Faculdade de Ciências Aplicadas da Universidade Estadual de Campinas (FCA/UNICAMP) e Coordenador do Laboratório de Estudos das Indústrias Aeroespaciais e de Defesa (LabA&D). E-mail: marcosbf@unicamp.br

² Professor da Escola Superior de Defesa (ESD) e da Universidade da Força Aérea (UNIFA). E-mail: petersonsilva@gmail.com

Palavras-chave: Indústria de Defesa; Inovação; Soberania; Mundo; Brasil

Código JEL: L64; O30; L50

Área Temática: 1.1 Dinâmicas industriais setoriais e dos sistemas de produção

Innovation Dynamics in the Defense Industry: Global Evolution and the Brazilian Case

Abstract: This study revisits the view of industry as a fundamental sector for fostering economic development and safeguarding national sovereignty — an issue that has gained increasing relevance amid heightened international tensions and conflicts and the acceleration of technological change. The article’s central objective is to deepen the understanding of innovation dynamics in the defense industry, in light of Brazil’s specificities. It begins with a brief introduction on the historical evolution of the relationship between the productive and technological advances associated with the industrial revolutions and the pursuit of military superiority. It then examines the bidirectional relationship between defense and innovation, showing — through examples from the technical and economic literature — that defense innovations have contributed to advances in the productive and technological structure through a spin-off process. On the other hand, studies point to the growing relevance of the spillover of civilian innovations into the defense industry, known as technological spin-in. However, this bidirectional relationship is not uniform: the more strategic the technologies, the greater the costs and uncertainties associated with their development, as well as the restrictions on their transfer. Accordingly, the national state plays a decisive role both in the demand for strategic defense products — within a largely monopsonistic market — and in supporting, coordinating, and financing all stages of critical technology development in the military domain. Building on this discussion, the article offers a brief analysis of the Brazilian case, in which military demands have also generated relevant advances in the country’s productive and technological structure. The methodology relies on an extensive literature review, including established papers in Industrial Economics and Defense Economics that underpin the theoretical argument, as well as technical texts and historical documents that provide a substantial set of examples to illustrate and corroborate the proposed analysis. Systematizing this evidence enables the article to draw conclusions about innovation dynamics in the defense industry and to highlight its contribution to productive and technological development worldwide and, to a lesser extent, in Brazil.

Keywords: Defense Industry; Innovation; Sovereignty; World; Brazil.

1. Introdução

O avanço produtivo e tecnológico decorrente das revoluções industriais impactou diretamente o desenvolvimento e a produção de novas armas, plataformas e sistemas militares, promovendo ampliação da quantidade e da diversidade de produtos empregados em defesa. Por outro lado, observa-se que a busca pela superioridade militar impulsionou o desenvolvimento tecnológico, contribuindo de maneira decisiva para o avanço das próprias revoluções industriais, como ilustrado na Figura 1 (HARTLEY, 2011; MOWERY, 2009; LICHTENBERG, 1995).



Figura 1 – Ilustração de tecnologias militares em cada Revolução Industrial
Fonte: Elaboração própria.

Observam-se exemplos notáveis ao longo da história, como a estratégia de substituição dos canhões de bronze por canhões de ferro, determinada por Henrique VIII na Inglaterra do século XVI, que revolucionou as fundições e forneceu bases para o surgimento da indústria nos séculos subsequentes (GUILMARTIN, 2024). Outro exemplo é a produção de rifles, que contribuiu de modo significativo para a consolidação da produção industrial em massa nos Estados Unidos (HOUNSHELL, 1984). Inovações ainda mais recentes, como o Sistema de Posicionamento Global por Satélite (GPS) e a Internet, também evidenciam essa dinâmica, revelando a estreita relação entre defesa e inovação.

Essas inovações contribuíram para construção de uma estrutura de defesa capaz de resguardar a soberania e assegurar os interesses nacionais — econômicos, políticos e estratégicos. Por essa razão, equipamentos militares estratégicos precisam ser superiores ou, ao menos, equivalentes aos utilizados por oponentes reais ou potenciais. Ademais, mesmo os meios de defesa menos sofisticados exigem níveis elevados de qualidade e robustez para enfrentar as exigências do emprego militar. Nesse sentido, a demanda por sistemas cada vez mais modernos e resilientes tem levado à crescente incorporação de inovações tecnológicas, muitas delas de caráter disruptivo. Atualmente, por exemplo, satélites oferecem conectividade instantânea e posicionamento global para forças em operação, enquanto a integração de inteligência artificial em drones viabiliza operações progressivamente mais autônomas.

Essa disputa pela superioridade tecnológico-militar entre países tem levado a que a maioria dos equipamentos militares estratégicos se situe sistematicamente na fronteira tecnológica. Consta-se, assim, que a disputa militar é, antes de tudo, uma disputa tecnológica. Em razão disso, o progresso técnico na área de defesa não enfrenta as mesmas limitações impostas a outros setores, uma vez que

novas tecnologias não precisam demonstrar viabilidade econômica. Ainda assim, os crescentes dispêndios com o desenvolvimento e a aquisição de armamentos cada vez mais sofisticados enfrentam a oposição de parcela significativa da sociedade, recolocando de modo recorrente o dilema “Guns vs. Butter” (SACCHI et al., 2025; MARZIAN; TREBESCH, 2025).

2. A Relação Bidirecional entre Defesa e Inovação

As inovações em defesa podem posicionar um país não apenas na vanguarda militar, mas também fornecer bases para o avanço da estrutura produtiva e, conseqüentemente, promover o desenvolvimento. Um exemplo que permite dimensionar a abrangência, a complexidade e a relevância dos *spin-offs* de tecnologia militar para a economia é o caso da produção de armas leves nos Estados Unidos. No século XIX, o Exército norte-americano demandou rifles e especificou a necessidade de padronização e intercambialidade de componentes, resultado que somente foi alcançado após décadas, graças a elevados investimentos públicos e aos esforços de técnicos e empresas envolvidos no processo. Posteriormente, a padronização de partes e o uso de linhas de produção, observados na indústria de rifles, disseminaram-se para outros setores, como a fabricação de ferramentas e de máquinas de costura, alcançando, no início do século XX, o setor automobilístico. Em síntese, a produção de armas leves nos Estados Unidos originou o chamado Sistema Americano de Manufatura — inicialmente conhecido como Prática de Arsenal —, que forneceu as bases para a produção em massa, um dos pilares da Segunda Revolução Industrial (HOUNSHELL, 1984).

Outro exemplo emblemático é o Projeto Manhattan, voltado ao domínio da tecnologia nuclear e à construção das primeiras bombas atômicas durante a Segunda Guerra Mundial. Coordenado pelo Corpo de Engenharia do Exército dos Estados Unidos, o projeto reuniu proeminentes cientistas dos Estados Unidos, do Reino Unido e do Canadá dedicados à pesquisa em energia nuclear — incluindo universidades e laboratórios de ponta — e estabeleceu uma ampla e sigilosa rede de pesquisa científica. O Projeto Manhattan também criou unidades industriais e campos de teste que viabilizaram o desenvolvimento das primeiras bombas nucleares, empregando, em seu auge, mais de 120 mil pessoas (RHODES, 2012). Como legado, o domínio da tecnologia nuclear resultou no desenvolvimento de armamentos de poder destrutivo sem precedentes, de modo que seu controle se tornou uma questão central desde sua emergência. Por outro lado, a energia nuclear também possibilitou avanços relevantes nas áreas de energia e saúde.

Um terceiro exemplo de difusão de tecnologias militares disruptivas é o “ENIAC”, considerado o primeiro computador digital eletrônico do mundo, desenvolvido em 1945 para atender às demandas do Exército dos Estados Unidos (MOWERY, 2009). Na mesma direção, um quarto e último exemplo pode ser extraído de Mazzucato (2014), que mapeou a origem das tecnologias incorporadas a produtos de consumo da empresa estadunidense Apple. Destaca-se que o Departamento de Defesa dos Estados Unidos (DoD) esteve diretamente envolvido — ou por meio de agências a ele vinculadas, em especial a Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) — no desenvolvimento de dez das treze tecnologias presentes em dois dos principais produtos da marca, o iPod e o iPhone, como pode ser observado na Figura 2. Assim, constata-se que políticas voltadas ao desenvolvimento de tecnologias militares contribuíram, ao longo da história, para que diversos países realizassem o catching-up de suas estruturas produtivas e tecnológicas.

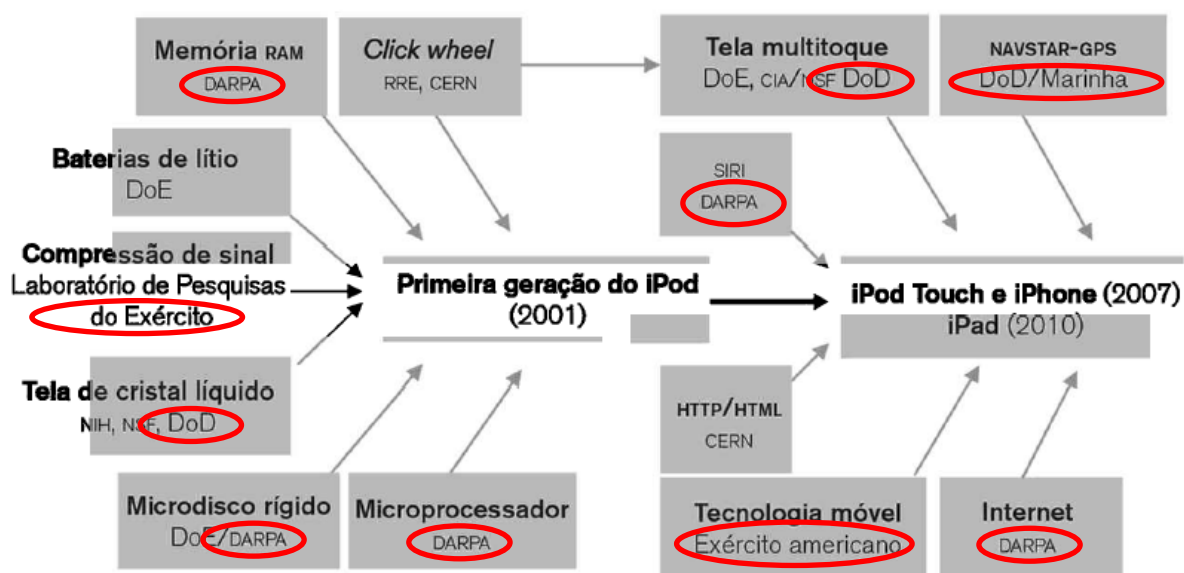


Figura 2 – Origem das tecnologias incorporadas a produtos de consumo da Apple.
Fonte: Adaptado de Mazzucato, 2014.

Contudo, esse fluxo não ocorre em sentido único. Estudos indicam a crescente relevância do transbordamento de inovações civis para a indústria de defesa, denominado *spin-in* tecnológico. Esse movimento intensificou-se com a redução dos orçamentos militares após o fim da Guerra Fria, na década de 1990, combinada à contínua e acelerada evolução das Tecnologias da Informação e Comunicações (TIC) na esfera civil. Observa-se a adoção crescente de soluções tecnológicas comerciais prontas, denominadas *commercial off-the-shelf* (COTS), em equipamentos militares, como forma de reduzir o tempo de desenvolvimento e o custo de produção. Entre as aplicações mais bem-sucedidas dos COTS, destaca-se a incorporação de circuitos integrados padronizados. Constatase, assim, que a sinergia entre inovações militares e comerciais tem sido um importante vetor do desenvolvimento científico e tecnológico, com efeitos relevantes sobre as estruturas produtivas, gerando empregos qualificados e contribuindo para o crescimento econômico.

O avanço produtivo e tecnológico da indústria impulsionou o desenvolvimento e a produção de novas armas, plataformas e sistemas militares, resultando em extraordinária ampliação da quantidade, diversidade e heterogeneidade de produtos empregados em defesa (DUNNE; BRADDON, 2008). Quanto mais estratégicos forem os produtos de defesa, mais críticas tendem a ser as tecnologias neles incorporadas, uma vez que podem conferir vantagem incontestável a seus detentores. Nesse sentido, tecnologias críticas — como espacial, cibernético e nuclear — não podem ser obtidas simplesmente por meio de importações ou de acordos internacionais. Países detentores dessas capacidades procuram evitar que outros alcancem seu domínio, dificultando o acesso ao conhecimento e aos insumos necessários ao desenvolvimento dessas tecnologias, seja por meio do cerceamento tecnológico, seja por via de acordos internacionais restritivos e assimétricos, como o Tratado de Não Proliferação de Armas Nucleares (TNP) (MOREIRA, 2014).

Por outro lado, a importância dos produtos de defesa como instrumentos de garantia da soberania faz com que não estejam submetidos às regras internacionais da Organização Mundial do Comércio (OMC). Essa exceção é relevante não apenas em termos de regulação do comércio internacional, mas, sobretudo, por não restringir políticas industriais direcionadas à aquisição e ao desenvolvimento de produtos de defesa. Por exemplo, ela permite a adoção de cláusulas de contrapartidas (*offsets*) tecnológicas em aquisições internacionais. Portanto, a intervenção estatal na área de defesa não enfrenta as mesmas limitações da legislação econômica internacional aplicadas a outros setores da economia (HARTLEY; BELIN, 2020; ANDERTON, 1995).

3. Indústria de Defesa e Estado Nacional

A indústria de defesa reúne atividades industriais assentadas em diferentes bases técnicas, isto é, congrega distintos setores industriais — como o aeronáutico, o naval, o químico e o de Tecnologias da Informação e Comunicações (TIC), entre outros. Dada a elevada heterogeneidade dos segmentos abarcados pela “indústria de defesa”, o termo tem sido progressivamente substituído, na literatura especializada, por “Base Industrial de Defesa” (GIESTEIRA et al, 2023; DUNNE, 1995). O elemento comum a todos esses produtos (bens e serviços) é o fato de atenderem a um tipo particular de demanda: a demanda do Estado por meios voltados à defesa nacional. Dessa maneira, o mercado de produtos de defesa pode ser classificado como monopsonio, uma vez que o Estado nacional é o principal — senão o único — comprador de meios de defesa.

A demanda do Estado nacional constitui a determinante de última instância da indústria de defesa (GARCIA-ALONSO et al., 2007; HARTLEY, 2007). Mesmo nos casos de exportação, observa-se que foi a demanda doméstica previamente realizada pelo Estado que viabilizou a constituição e o desenvolvimento tecnológico das empresas locais de defesa. Ademais, exportações de equipamentos militares requerem autorização prévia, além de suporte comercial, diplomático e financeiro dos respectivos Estados nacionais para sua efetivação.

Apesar de determinantes para a indústria de defesa, as aquisições públicas de equipamentos militares têm se mostrado insuficientes para promover o desenvolvimento local de produtos estratégicos de defesa. Considerando que esses produtos se situam na fronteira tecnológica e que parcela relevante das tecnologias embarcadas enfrenta restrições à transferência, o domínio de tecnologias críticas torna-se um imperativo para os Estados nacionais. O suporte e o financiamento ao desenvolvimento de tecnologias críticas na área de defesa demandam mais recursos e maior horizonte temporal, além de envolverem riscos elevados — desafios que somente podem ser superados mediante atuação decisiva do Estado.

Por esse motivo, uma série de inovações radicais, cujo impacto se estende por toda a economia, tem origem em programas militares conduzidos por instituições científicas e tecnológicas (ICT) públicas. Entre essas agências, destaca-se a DARPA, vinculada ao DoD dos Estados Unidos. Criada em 1958, em resposta ao lançamento do primeiro satélite artificial pelos soviéticos, a DARPA tem como objetivo desenvolver novas tecnologias para uso militar. Desde então, a agência vem expandindo as fronteiras da ciência e da tecnologia por meio de inovações disruptivas, muitas das quais extrapolaram o âmbito estritamente militar (BONVILLIAN, 2019). Internet, GPS, interface de voz, tecnologia furtiva e robótica avançada figuram entre as inovações total ou parcialmente associadas à DARPA — relevância tal que, recentemente, a revista *The Economist* (2021) a caracterizou como a instituição “que moldou o mundo moderno”.

Um exemplo emblemático da atuação decisiva do Estado no desenvolvimento de tecnologias duais, a partir de investimentos militares, foi a Corrida Espacial das décadas de 1950 e 1960. Essa disputa pela supremacia tecnológica entre URSS e Estados Unidos baseou-se em elevados volumes de recursos públicos investidos em projetos militares estratégicos (MCDUGALL, 1985). O foguete soviético Vostok-K, que possibilitou o primeiro voo espacial tripulado, derivava de um míssil balístico intercontinental (ICBM). Por sua vez, os dois primeiros programas espaciais tripulados norte-americanos, Mercury e Gemini, também utilizaram foguetes desenvolvidos originalmente como ICBMs.

Outra característica relevante do desenvolvimento tecnológico na área de defesa é a atuação ativa do Estado ao longo de todo o processo. As etapas iniciais, nas quais se realizam pesquisas básica e aplicada, são as que apresentam maior grau de incerteza. Para além do risco de fracasso tecnológico, trata-se de um terreno marcado pelo desconhecido, pelo imprevisível e por experimentações capazes de abrir novas possibilidades tecnológicas. A rede de comunicação militar descentralizada ARPANET, iniciada em 1969, por exemplo, forneceu a base técnica necessária para o desenvolvimento da Internet (PALOQUE-BERGÈS; SCHAFER, 2019; MOWERY, 2009). Operada pelos militares durante duas décadas, a ARPANET contou com a participação direta de diversas universidades e centros de pesquisa, entre as quais a Universidade da Califórnia, a Universidade de Utah, o Massachusetts Institute of

Technology e a Rand Corporation. O Projeto Manhattan, mencionado anteriormente, também ilustra esse padrão, pois somente foi viabilizado graças a uma rede de professores, universidades e centros de pesquisa coordenada pelo Exército dos Estados Unidos. Observa-se que essas etapas iniciais são conduzidas por universidades e instituições científicas e tecnológicas (ICT), a partir da demanda e do financiamento das forças armadas (MOWERY, 2009).

Nas etapas intermediárias, sobressai o desenvolvimento de protótipos, que viabiliza a conversão de inovações em produtos de defesa, ainda que com elevada taxa de insucesso. Por essa razão, esse estágio é frequentemente denominado *death valley*, requerendo não apenas elevados volumes de recursos, mas também estreita colaboração e coordenação entre os demandantes das forças armadas e as empresas públicas e privadas responsáveis pela prototipagem e pela produção de séries-piloto. Os protótipos são desenvolvidos com base em especificações estabelecidas pelas forças armadas, usualmente por meio de encomendas tecnológicas, e permitem avaliar o design, o desempenho e o potencial de produção de um novo equipamento militar. Como exemplo, o Bell X-1, primeira aeronave tripulada a superar a velocidade do som, em 1947, possibilitou o domínio da tecnologia supersônica — posteriormente incorporada por empresas aeronáuticas nos projetos de aviões de caça (MACGREGOR, 2022).

As etapas finais, relacionadas ao desenvolvimento, à produção e à comercialização de produtos de defesa, dependem essencialmente das aquisições realizadas pelas forças armadas. Sem a compra de um lote mínimo de produtos estratégicos de defesa, sua efetivação não se torna viável, o que evidencia a importância crucial do Estado como demandante desses equipamentos. Pelo lado da oferta, o Estado também se configura como ator-chave, ao coordenar e financiar a atuação de universidades, instituições científicas e tecnológicas (ICT) e empresas em todas as etapas do desenvolvimento de novas tecnologias militares.

Em síntese, a Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I) — viabilizadas pela ação estatal — desempenham papel central na indústria de defesa, ao contribuir para a salvaguarda de interesses estratégicos e da própria soberania nacional diante de desafios complexos e em constante transformação no mundo contemporâneo, especialmente no contexto atual, marcado pela acelerada evolução tecnológica e pelo acirramento de tensões e conflitos geopolíticos (HENSEL, 2015; MESA, 2020).

4. Defesa e Inovação no Brasil

No Brasil, ainda que em menor escala, observa-se relação semelhante entre a demanda por equipamentos militares e o desenvolvimento produtivo. Historicamente, avanços tecnológicos relevantes da indústria brasileira foram proporcionados pelas demandas de defesa. As Guerras Napoleônicas levaram à transferência da sede do Império Colonial Português, em 1808, para o Rio de Janeiro, resultando na criação de algumas das primeiras empresas industriais brasileiras: a Real Fábrica de Pólvora da Lagoa Rodrigo de Freitas, no Rio de Janeiro, em 1808, e a Real Fábrica de Ferro São João de Ipanema, em Sorocaba, em 1810, considerada a primeira fundição do país, com parte da produção destinada à fabricação de armas (ABIMDE, 2024).

A independência do Brasil, em 1822, somada aos avanços técnicos trazidos pela Revolução Industrial, levou a Marinha do Brasil a demandar, a partir da década de 1840, navios a vapor em substituição aos antigos navios a vela. Nesse contexto, o Arsenal de Marinha da Corte (AMC), no Rio de Janeiro, consolidou-se como o principal polo da indústria naval militar, promovendo a criação de oficinas e estaleiros que também construíam embarcações e prestavam serviços ao Arsenal. Entre esses, destaca-se a Fundação e Estaleiros da Ponta d'Areia, criada em 1844, em Niterói, e adquirida dois anos depois pelo empresário Irineu Evangelista de Sousa, futuro Barão de Mauá. A empresa dedicava-se à produção de navios militares e comerciais, bem como de caldeiras, motores a vapor, cascos metálicos e tubulações. Cumpre observar que algumas embarcações militares relevantes foram produzidas em conjunto pelos dois estaleiros, evidenciando a elevada sinergia existente entre o Estado e as primeiras indústrias locais, ao menos na manufatura de produtos estratégicos de defesa. Muitos desses navios foram empregados na Guerra do Paraguai (1864–1870), com destaque para o encouraçado Tamandaré,

primeira embarcação blindada produzida no Brasil (GOULARTI FILHO, 2011).

A não industrialização do Brasil no século XIX, combinada às tecnologias da Segunda Revolução Industrial, fez com que a indústria nacional de defesa permanecesse restrita a algumas poucas empresas privadas e estatais, fabricantes de armas e munições leves. Por sua vez, o Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro (AMRJ, antigo AMC) limitou suas atividades à manutenção de embarcações militares produzidas no exterior.

O processo de industrialização que avançou na década de 1930, foi acompanhado pela busca de autonomia produtiva na área de defesa. Inicialmente, a política de industrialização por substituição de importações (TAVARES, 1972) levou o governo a implantar novas fábricas militares estatais e a apoiar a instalação de empresas privadas, além de promover a reestruturação e a modernização das empresas já existentes. Destacam-se, nesse contexto, as fábricas estatais de Itajubá e Piquete e as empresas privadas Forjas Taurus e Companhia Brasileira de Cartuchos (CBC), todas concentradas no segmento de armas e munições leves (ABIMDE, 2024).

No mesmo período, buscou-se implantar a indústria aeronáutica no Brasil por meio da criação de duas empresas estatais — a Fábrica do Galeão, criada em 1936, no Rio de Janeiro, e a Fábrica de Aviões de Lagoa Santa, em Minas Gerais, inaugurada em 1944. Em paralelo, a política de industrialização também apoiou iniciativas privadas, com destaque para a Companhia Nacional de Navegação Aérea (CNNA) e a Companhia Aeronáutica Paulista (CAP), criadas, respectivamente, em 1936 e 1942 (SARTI; FERREIRA, 2012). Todas essas empresas se dedicaram à produção de aviões leves, sendo grande parte deles de projetos estrangeiros.

A criação da Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), em 1942 — como contrapartida à entrada do Brasil ao lado dos Aliados na Segunda Guerra Mundial — constituiu um dos pilares do processo de industrialização brasileira, ao fornecer aço, insumo fundamental para o avanço de setores industriais de maior escala e complexidade. Nesse sentido, também viabilizou a futura instalação de empresas de artilharia e veículos militares pesados. Cabe destacar que outra contrapartida negociada com os Estados Unidos foi o financiamento e a transferência de tecnologia para a criação da Fábrica Nacional de Motores (FNM), instalada em Duque de Caxias (RJ), em 1942, com o objetivo de produzir motores aeronáuticos (SARTI; FERREIRA, 2012). O projeto da FNM evidencia a relevância conferida pela política industrial do período à incorporação de setores mais sofisticados na indústria de defesa. Contudo, em 1949, a FNM encerrou suas atividades no setor aeronáutico, redirecionando-se, a partir de então, à produção de caminhões e de seus respectivos motores, consolidando-se como a primeira fabricante do setor automobilístico brasileiro.

No pós-guerra, intensificou-se o interesse das Forças Armadas brasileiras pela tecnologia nuclear, com destaque para a atuação do almirante Álvaro Alberto, que promoveu a criação do Conselho Nacional de Pesquisas (CNPq), em 1951, com apoio do governo Vargas. O objetivo inicial da nova instituição era capacitar o Brasil para o domínio da energia atômica, incentivando pesquisas nas áreas nuclear, de materiais e de tecnologia industrial (MOTOYAMA; GARCIA, 1996). Com o tempo, entretanto, o escopo do CNPq ampliou-se para outras áreas do conhecimento, consolidando-se como a principal instituição de fomento à pesquisa científica e tecnológica do Brasil.

O Programa Nuclear da Marinha (PNM) foi instituído em 1979, consolidando a Marinha do Brasil como protagonista nos esforços nacionais voltados ao domínio da tecnologia nuclear. De acordo com a literatura (MAZZUCATO, 2018), a PNM é uma política indústria orientada a missão, nesse caso, à construção de um submarino de propulsão nuclear com tecnologia nacional. Grande parte das iniciativas desse programa vem sendo realizada em parceria com universidades e centros de pesquisa, com destaque para a Universidade de São Paulo (USP), em cujo campus se localiza a sede do Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo (CTMSP). O domínio do ciclo completo de enriquecimento do urânio foi alcançado em 1987 e, desde então, a Marinha do Brasil passou a atuar no desenvolvimento e na produção de combustível nuclear em parceria com a empresa estatal Indústrias Nucleares do Brasil (INB). No âmbito do PNM, também foi criado o Laboratório de Geração de Energia Núcleo-Elétrica (LABGENE), localizado no complexo industrial de Aramar, Iperó (SP), onde se desenvolve o protótipo de um reator nuclear. Outrossim, as tecnologias nucleares desenvolvidas no contexto do PNM têm apresentado aplicações relevantes em setores civis, como energia, saúde e agricultura (DE OLIVEIRA

ANDRADE, et al, 2018).

A política industrial para o setor de informática (atual setor de TIC) surgiu na década de 1970 para atender a demandas militares, mais especificamente da Marinha do Brasil, que necessitava dominar essa tecnologia a fim de operar, manter e adaptar os sistemas de navegação e combate das modernas fragatas da classe Niterói. Cabe destacar que essas fragatas foram adquiridas de uma empresa britânica, em um total de seis unidades, sendo que as duas últimas foram construídas no AMRJ, em um processo de transferência de tecnologia. Dessa maneira, o esforço tecnológico da Marinha do Brasil no setor de informática também se traduziu em uma política industrial orientada para missão. Nesse contexto, em 1972 surgiu o “Patinho Feio”, computador experimental desenvolvido na USP — considerado o primeiro do Brasil, em resposta a outro projeto similar, denominado “Cisne Branco”, em desenvolvimento na Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), a pedido da Marinha do Brasil. Na sequência, a Marinha do Brasil contratou um consórcio liderado pela USP, em parceria com a Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-RJ), que desenvolveu, em 1974, o “G-10”, o primeiro computador operacional produzido no país. Posteriormente, a tecnologia do G-10 foi utilizada como base para o desenvolvimento do “MC-500”, o primeiro computador comercial brasileiro, produzido pela recém-criada empresa estatal COBRA Computadores e Sistemas Brasileiros S.A., considerada a primeira empresa nacional de informática. Registre-se que foram vendidas cerca de seis mil unidades dos computadores da linha MC-500/530, resultado expressivo para os padrões da época, evidenciando a relevância da dualidade civil-militar para o desenvolvimento tecnológico nacional (GALANTE, 2017).

No início da década de 1970, o Brasil iniciou a implantação do Sistema de Defesa Aérea e Controle do Tráfego Aéreo (SISDACTA), com tecnologia fornecida por empresas francesas. Com a expansão desse sistema para a Região Amazônica, por meio do Projeto do Sistema de Vigilância da Amazônia (SIVAM), foi constituída a Fundação Atech, responsável pela implantação do sistema. Posteriormente, a Fundação Atech conduziu a modernização e a integração de todo o SISDACTA, substituindo os sistemas franceses por soluções desenvolvidas internamente, como os sistemas Sigma e Sagitário. Dessa maneira, a Atech não apenas passou a dominar novas tecnologias críticas, como também superou o lock-in tecnológico proporcionado por um sistema integrado, de escala nacional, baseado em tecnologias estrangeiras. Desde 2013, a Atech integra o grupo Embraer e vem se consolidando como referência no desenvolvimento, implantação e gestão de sistemas integrados complexos em diversas áreas, como logística, segurança pública, energia e mobilidade urbana (JASPER; NUNES, 2022).

A aeronáutica é o setor nacional que melhor simboliza a relação entre capacitação tecnológica militar e desenvolvimento nacional. No pós-guerra, por iniciativa e liderança do então tenente-coronel Casimiro Montenegro Filho, a Força Aérea Brasileira (FAB) criou o Centro Técnico de Aeronáutica (CTA, atual DCTA), em 1946, com o objetivo de alcançar autonomia científica e tecnológica no setor aeronáutico. Dentro da estrutura do CTA foram implantados o Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), em 1950, voltado à formação de engenheiros, e o Instituto de Pesquisas e Desenvolvimento (IPD), em 1953, destinado à realização de pesquisas aplicadas e ao desenvolvimento de protótipos de aeronaves (FERREIRA, 2021). Cabe ressaltar que o CTA foi concebido, desde sua origem, como um centro de excelência em tecnologia aeronáutica e, para tanto, contratou conceituados professores e projetistas internacionais, que contribuíram para capacitar alunos e pesquisadores brasileiros a desenvolver suas próprias aeronaves. Como resultado, diversas empresas de alta tecnologia emergiram como *spin-offs* do CTA, contribuindo para a consolidação da região de São José dos Campos (SP) como o principal polo aeroespacial do país e um dos mais relevantes do mundo.

O principal *spin-off* do CTA é a Embraer, empresa estatal criada em 1969 para viabilizar a produção do avião bimotor Bandeirante, cujo projeto foi desenvolvido no IPD. Desde então, a política industrial para o setor voltou-se à constituição de uma “campeã nacional”, a Embraer, que passou a concentrar todos os projetos aeronáuticos nacionais de interesse da FAB, com exceção dos helicópteros (GOLDSTEIN, 2002). A estratégia consistia em capacitar a empresa em tecnologias aeronáuticas determinantes para o desenvolvimento e a produção de aeronaves. Para isso, o Estado utilizou, de forma ativa, diversos instrumentos de política industrial: encomendas públicas — tanto de tecnologia quanto

de produtos; apoio à pesquisa e desenvolvimento (P&D), por meio do IPD e de recursos não reembolsáveis; formação de profissionais especializados pelo ITA; financiamento da produção; regulação do mercado interno; e apoio às exportações. A privatização, ocorrida em 1994, possibilitou que a Embraer ampliasse sua capacitação comercial e administrativa, além de aprimorar a gestão financeira. Essa combinação de competências técnicas e gerenciais acumuladas, associada ao contínuo suporte de políticas públicas — particularmente em defesa, levou a Embraer a consolidar-se, ao longo do século XXI, como a terceira maior fabricante de aeronaves comerciais, com liderança mundial no segmento de até 130 assentos. Ademais, a empresa possui participação significativa nos segmentos de jatos executivos e aeronaves militares. A partir de 2011, a Embraer passou também a atuar em novos segmentos da área de defesa, como radares, sistemas integrados, satélites e o setor naval, configurando-se como um “conglomerado aeroespacial e de defesa” — estratégia semelhante à adotada por suas congêneres estrangeiras. Na última década, a empresa vem realizando expressivo esforço técnico e financeiro em direção à fronteira tecnológica (FERREIRA, 2021), resultando em inovações disruptivas como o Eve, aeronave elétrica de decolagem e pouso vertical (eVTOL), popularmente conhecida como “carro voador”, cujo protótipo voou em 2025 (ARAUJO, 2025).

Nos exemplos apresentados, constata-se que o desenvolvimento e a produção de equipamentos estratégicos de defesa constituíram um diferencial da atuação do Estado nacional nas distintas fases da industrialização brasileira. Essa busca por autonomia estratégica na área de defesa contribuiu de maneira significativa para o avanço científico e tecnológico da estrutura produtiva nacional. A aeronáutica — exemplo mais emblemático — é o único setor de alta tecnologia da indústria brasileira a apresentar inserção ampla, ativa e superavitária nas cadeias globais de valor, evidenciando a importância do desenvolvimento e da difusão de tecnologias militares para o conjunto da economia.

5. Considerações Finais

A principal característica observada é a relação simbiótica entre inovação e defesa, na qual os avanços técnicos proporcionados pelas revoluções industriais possibilitaram o desenvolvimento de equipamentos militares estratégicos cada vez mais diversos e sofisticados. Em sentido inverso, a disputa pela superioridade militar passou a demandar equipamentos estratégicos progressivamente mais avançados, impulsionando o surgimento de tecnologias disruptivas, muitas das quais resultaram na criação de novos produtos e, até mesmo, de novos setores industriais, contribuindo, assim, para as próprias revoluções industriais.

Atualmente, observa-se o crescimento das aplicações militares de tecnologias civis, em decorrência dos menores custos e prazos associados ao uso de tecnologias com trajetórias consolidadas. Apesar disso, a indústria de defesa permanece de grande importância no processo de inovação, particularmente no que se refere às tecnologias disruptivas que propicia. Isso porque, como apresentado, a demanda por equipamentos militares estratégicos não está submetida à lógica da viabilidade econômica, nem às restrições impostas pelas regras do comércio internacional.

Nesse contexto de tecnologias militares disruptivas, em que custos e incertezas são amplificados, o papel do Estado nacional é decisivo, seja como demandante de produtos estratégicos de defesa — em um mercado praticamente monopsônico, seja como ofertante, por meio do suporte, da coordenação e do financiamento das distintas etapas do desenvolvimento de tecnologias críticas. Em razão disso, a indústria de defesa permanece entre os setores mais mobilizados pelas políticas industriais para impulsionar o avanço em direção à fronteira tecnológica.

O caso brasileiro reproduz, em menor escala, a dinâmica da relação entre inovação e defesa observada em âmbito global. No entanto, a importância secundária atribuída à defesa no país reflete-se na alocação escassa e irregular de recursos para investimentos militares, resultando em um histórico de avanços tecnológicos relevantes, porém pontuais e que não se sustentam ao longo do tempo. A exceção reside na indústria aeronáutica, centrada em sua empresa líder — a Embraer, maior empresa bélica do país —, cujo sucesso e perenidade se apoiam, entre outros fatores, na dualidade tecnológica de seus produtos.

6. Referências Bibliográficas

- ABIMDE -ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE MATERIAIS DE DEFESA E SEGURANÇA. **Base Industrial de Defesa e Segurança: Uma trajetória de desenvolvimento e soberania**. São Paulo: ABIMDE, 2024. Disponível em: www.historiabids.com.br
- ANDERTON, C. H. Economics of Arms Trade. In: HARTLEY, K.; SANDLER, T. (Eds.). **Handbook of Defense Economics**. London: Elsevier Science BV, pp.523-561, 1995.
- ARAÚJO, G. Eve, da Embraer, realiza primeiro voo do protótipo de "carro voador". **CNN Brasil Money**, 19 dez. 2025. <https://www.cnnbrasil.com.br/economia/negocios/eve-da-embraer-realiza-primeiro-voo-do-prototipo-de-carro-voador/>
- BONVILLIAN, W. B.; VAN ATTA, R.; WINDHAM, P. **The DARPA Model for Transformative Technologies: Perspectives on the U.S. Defense Advanced Research Projects Agency**. Open Book Publishers, 2019.
- DE OLIVEIRA ANDRADE, I.; DE FARIAS FRANCO, M. M.; HILLEBRAND, S. G. R. L. Submarino Nuclear Brasileiro: Defesa Nacional e Externalidades Tecnológicas. **IPEA Texto para Discussão 2428**. Brasília/Rio de Janeiro: IPEA, 2018.
- DUNNE, J. P. The Defense Industrial Base. In: HARTLEY, K.; SANDLER, T. (Eds.). **Handbook of Defense Economics**. London: Elsevier Science BV, p. 399-430, 1995.
- DUNNE, J. P.; BRADDON, D. **Economic Impact of Military R&D**. Brussels: Flemish Peace Institute. Oxford Economics: The Economic Case for Investing in the UK Defence Industry. Final Report. Oxford, 2008.
- FERREIRA, M. J. B. Indústria Aeronáutica Brasileira: as especificidades de um modelo nacional de inserção global. In: SARTI, F.; DIEGUES, A. C. (Org.). **Brasil: indústria e desenvolvimento em um cenário de transformação do paradigma tecnoprodutivo**. Curitiba: CRV, 2021.
- GALANTE, A. A Marinha e o desenvolvimento da Informática no Brasil. Rio de Janeiro, Poder Naval, 2017. Disponível em: <https://www.naval.com.br/blog/2017/05/27/marinha-e-o-desenvolvimento-da-informatica-no-brasil/>
- GARCIA-ALONSO, M. D. C.; LEVINE, P.; DUNNE, P. J.; SMITH, R. *Determining the defence industrial base*. **Defence and Peace Economics**, v. 18, n. 3, p. 199-221, 2007. <https://doi.org/10.1080/10242690600924273>
- GIESTEIRA, L.F.; CALIARI, T. & MATOS, P. O. Base Industrial e Sistema Setorial de Defesa: Elementos Conceituais e Proposta de Mensuração. **Revista da Escola de Guerra Naval**, v. 29, p. 377-414, 2023.
- GOLDSTEIN, A. EMBRAER: From national champion to global player. **CEPAL Review**, v. 2002, n. 77, p. 97 – 115, 2002. <https://doi.org/10.18356/be0afe53-en>
- GOULARTI FILHO, A. História Econômica da Construção Naval no Brasil: Formação de Aglomerado e Performance Inovativa. **Revista EconomiA**, v.12, n.2, p.309–336, mai/ago 2011.
- GUILMARTIN, J. F. Military technology. **Encyclopedia Britannica**, Oct. 2024, <https://www.britannica.com/technology/military-technology>
- HARTLEY, K. Economics and defence policy: an overview. In: HARTLEY, Keith. **The Economics of Defence Policy: a New Perspective**. Routledge, 2011.
- HARTLEY, K. The Arms Industry, Procurement and Industrial Policies. In: SANDLER, T.; HARTLEY, K. (Org.). **Handbook of Defense Economics**. London: Elsevier BV, p. 1140–1174, 2007.
- HARTLEY, K.; BELIN, J. The global defence industry. In: HARTLEY, K.; BELIN, J. **The Economics of the Global Defence Industry**. Routledge, 2020.
- HENSEL, N. **The Defense Industrial Base: Strategies for a changing world**. Burlington: Ashgate Publishing Company, 2015.
- HOUNSHELL, D. A. **From the American system to mass production, 1800-1932 : the**

development of manufacturing technology in the United States. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 1984.

JASPER, F. N. H.; NUNES, A. F. Soberania e Controle do Espaço Aéreo: uma visão brasileira. **Revista Tempo no Mundo**, n. 28, p. 345-366, 2022. <https://doi.org/10.38116/rtm28art12>

LICHTENBERG, F. Economics of Defense R&D. In: HARTLEY, K.; SANDLER, T. (Eds.). **Handbook of Defense Economics**. London: Elsevier Science BV, pp. 431-457, 1995.

MACGREGOR, J. How the Bell X-1 Ushered in the Supersonic Age. **Smithsonian Magazine**, Oct. 2022, www.smithsonianmag.com/smithsonian-institution/bell-x1-supersonic-flight-180980765/

MARZIAN, J., TREBESCH, C. How to finance Europe's military buildup? Lessons from history (Report N. 84). **Kiel Policy Brief**, 2025.

MAZZUCATO, M. Mission-oriented innovation policies: challenges and opportunities. **Industrial and Corporate Change**, v. 27, n. 5, p. 803-815, 2018.

MAZZUCATO, M. **O Estado Empreendedor: Desmascarando o mito do setor público vs. Setor privado**. São Paulo: Portfolio-Penguin, 2014.

MCDUGALL, W. A. Sputnik, the space race, and the Cold War. **Bulletin of the Atomic Scientists**, v. 41, n. 5, p. 20-25, 1985. <https://doi.org/10.1080/00963402.1985.11455962>

MESA, A. F. **Os conflitos do futuro: novo cenário para a Indústria de Defesa**. Rio de Janeiro: Coleção Meira Mattos, v.14, n. 51, 2020.

MOREIRA, W. S. Cerceamento e restrições tecnológicas à indústria de Defesa. In: ALMEIDA, P; ACIOLY, L. **Estratégias de defesa nacional: desafios para o Brasil no novo milênio**. Rio de Janeiro: Ipea, 2014.

MOTOYAMA, S.; GARCIA, J. C. V. (Org.) **O Almirante e o novo Prometeu: Álvaro Alberto e a C&T**. São Paulo: Editora UNESP, 1996.

MOWERY, D. C. National security and national innovation systems. **Journal of Technology Transfer**, v. 34, n. 5, p. 455-473, 2009.

PALOQUE-BERGÈS, C; SCHAFER, V. Arpanet (1969–2019). **Internet Histories**, 2019. <https://doi.org/10.1080/24701475.2018.1560921>, 2019.

RHODES, R. **The Making of the Atomic Bomb: 25th Anniversary Edition**. New York: Simon & Schuster, 2012.

SACCHI, S., BUZZELLI, G., DE LA PORTE, C. 'Guns versus butter' in public opinion: the politicization of the warfare-welfare trade-off. **Journal of European Public Policy**, p. 1-27. <https://doi.org/10.1080/13501763.2025.2534663>

SARTI, F.; FERREIRA, M. J. B. Evolução da Indústria Aeronáutica Brasileira Entre as Décadas de 1930 e 1980: estrutura de mercado e capacitação tecnológica. **Revista da UNIFA**, v. 25, n. 31, p. 101-110, 2012. <https://doi.org/10.22480/revunifa.2012.25.710>

TAVARES, M. C. **Auge e declínio da substituição de importações**. In: **Da substituição de importações ao capitalismo financeiro**. Rio de Janeiro: Zahar, 1972.

THE ECONOMIST. **A growing number of governments hope to clone America's DARPA**. v. 439, n. 9248, p. 67–68, 2021.