UFSM

InterAção

ISSN 2357-7975
ACESSO ABERTO

IA., Santa Maria, v. 17, n. 3, e98717, p. 1-38, 2026 • https://dx.doi.org/10.5902/2357797598717
Submissão: 07/09/2026 • Aprovação: 14/09/2026 • Publicação: 02/10/2026

Artigos Dossiê

Autonomia tecnológica e tecnologias quânticas na defesa: o caso brasileiro

Technological autonomy and quantum technologies in defense: the Brazilian case

Jarbas Alfeu de Paula Júnior[I]

[I]Escola de Comando e Estado-Maior do Exército, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

Resumo

O artigo investiga como o Brasil organiza capacidades e cooperação em tecnologias quânticas aplicáveis à Defesa, com o objetivo de construir autonomia tecnológica prospectiva, isto é, antes que padrões internacionais, cadeias de suprimento e dependências estratégicas se cristalizem. Este manuscrito adota um desenho qualitativo, exploratório e explicativo, embasado em análise documental de fontes públicas e em reconstrução processual de um caso nacional estruturado em quatro subdivisões de análise. Nesse sentido, examina o Projeto Córtex e o Departamento de Ciência e Tecnologia do Exército (DCT), o Programa 09 do FNDCT, o QuIIN, a infraestrutura QuantumTec, o Mapa de Tecnologias Quânticas da RNP e as Redes Rio e Hermes Quânticas. A Índia e a África do Sul são mobilizadas exclusivamente como contrastes contextuais. A pesquisa demonstra a formulação de uma agenda pública e a emergência de uma arquitetura institucional, sem permitir afirmar autonomia de sistema ou de emprego. O argumento central sustenta que o Brasil reúne condições iniciais para uma autonomia seletiva por antecipação, cuja consolidação dependerá de converter a pauta governamental em conhecimento absorvido, protótipos, testes, integração, propriedade intelectual, cadeia produtiva, demanda e sustentação.

Palavras-chave: Tecnologias quânticas; Autonomia tecnológica; Sul Global; Defesa; Tríplice Hélice

Artigo publicado por InterAção sob uma licença CC BY-NC-SA 4.0.

Abstract

This article analyzes how Brazil organizes capabilities and alliances in quantum technologies applicable to defense, aiming at the construction of prospective technological autonomy — that is, before international standards, supply chains, and strategic dependencies become entrenched. It adopts a qualitative, exploratory, and explanatory design, based on document analysis of public sources and a qualitative process reconstruction of a national case with four analytical subunits. It examines the Córtex Project, the Brazilian Army's Department of Science and Technology (DCT), FNDCT Program 09, QuIIN, the QuantumTec infrastructure, the RNP Map of Quantum Technologies, and the Rio and Hermes Quantum Networks. India and South Africa serve solely as contextual contrasts. The study evidences the formulation of a public agenda and the emergence of an institutional architecture, without claiming system-level or operational autonomy. The central argument is that Brazil exhibits initial conditions for selective autonomy through anticipation, whose consolidation will depend on turning agenda into absorbed knowledge, prototypes, testing, integration, intellectual property, a productive chain, demand, and sustainment.

Keywords: Quantum technologies; Technological autonomy; Global South; Defense; Triple Helix

1 INTRODUÇÃO

As tecnologias quânticas alteram o horizonte temporal da política de ciência, tecnologia e inovação e de Defesa. A computação, as comunicações e o sensoriamento quânticos apresentam estágios de maturidade distintos e permanecem num período de transição entre o laboratório e a aplicação prática. (SUTER et al., 2026; TERZIS; TEN OEVER; VAN HOBOKEN, 2026; VAN DEVENTER et al., 2022).

A ausência de aplicabilidade de soluções quânticas em escala, nesse momento, não significa irrelevância estratégica. Os Estados que anteciparem requisitos, formação de capital humano, controle de interfaces críticas e participarem da padronização e diversificação de fornecedores criarão margens de decisão futuras que Estados passivos não terão. O problema central não é exatamente o estabelecimento desses sistemas quânticos, é o timing. O fato de entrar tardiamente nesse nicho de *Deep techs* pode significar aceitar dependências definidas por terceiros. Por outro lado, ingressar cedo demais pode levar ao dispêndio de recursos em projetos sem resultados tangíveis.

O Brasil, como potência média, combina uma base científica de relativo vulto, industrialização considerável, restrições orçamentárias e a necessidade de cooperação

internacional sem subordinar suas prioridades estatais a parceiros mais poderosos. O desafio estratégico é discernir quais competências devem ser nacionais, quais podem ser adquiridas por cooperação sem comprometer a liberdade de ação e quais gerariam as vulnerabilidades mais críticas. Essa questão conecta as inovações quânticas aos debates sobre *self-help*, autonomia, interdependência armada e inovação militar (WALTZ, 1979; FARRELL; NEWMAN, 2019; EDLER; BLIND; KROLL; SCHUBERT, 2023).

O artigo utiliza a expressão "Sul Global" como categoria comparativa, não como uma delimitação geográfica. O conceito serve para entender trajetórias de países com inserção assimétrica no âmbito tecnológico internacional, sem desconsiderar a pluralidade de recursos, as escolhas institucionais e as modalidades de cooperação que caracterizam esses Estados, como, por exemplo, a Índia e a África do Sul. (ACHARYA, 2014).

A seleção do caso brasileiro buscou base empírica. Em dezembro de 2025, o DCT divulgou a assinatura de um acordo entre o Exército Brasileiro e o Governo do Paraná para o Projeto Córtex, envolvendo autoridades civis e militares, universidades e representantes do setor produtivo em iniciativas de inteligência artificial (IA), cibersegurança, tecnologias quânticas, formação especializada, centros de pesquisa e incubação de *startups*. A comunicação institucional do Exército Brasileiro associa a parceria à soberania tecnológica e à segurança digital (BRASIL, 2025b).

No recorte adotado, do ano de 2021 até o ano de 2026, o Córtex não configura capacidade quântica operacional. A documentação disponível demonstra cooperação formalizada e orientação política, mas não informa orçamento específico, maturidade tecnológica, protótipos, testes ou resultados de emprego (BRASIL, 2025b). Por esse motivo, o artigo distingue intenção, formalização institucional, pesquisa, demonstração, adoção e capacidade sustentada, todas categorias que não são intercambiáveis.

O Programa 09 do Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT) reforça esse alinhamento ao articular, em um único instrumento, autonomia em Defesa, navegação de veículos não tripulados, sensoriamento, consciência

situacional, IA, cibersegurança, robótica e tecnologias quânticas. Esse programa reconhece a dependência de redes satelitais estrangeiras como vulnerabilidade a reduzir e registra riscos tecnológicos, de pessoal, de infraestrutura, de demanda e de orçamento (BRASIL, 2025c).

O artigo sustenta que o Brasil dispõe de uma pauta governamental em formação e voltada à autonomia tecnológica prospectiva, buscando construir *know-how* antes que padrões, cadeias de desenvolvimento e dependências quânticas se consolidem internacionalmente. O artigo examina em que medida essa agenda se converte em capacidades institucionais, científicas e industriais aptas a preservar soberania futura, sem afirmar operacionalidade concreta.

A pergunta de pesquisa é: como o Brasil está organizando capacidades e parcerias para construir autonomia tecnológica prospectiva em inovações quânticas aplicáveis à Defesa, e que dimensões dessa autonomia são efetivamente demonstradas pelos documentos disponíveis?

A proposição analítica é condicional: a presença articulada de agenda pública, instituições, financiamento, aparato técnico-científico e iniciativas industriais é compatível com uma orientação de antecipação tecnológica. Essa orientação, contudo, apenas se converte em independência quando gera conhecimento que pode ser absorvido, requisitos operacionais, protótipos, testes, propriedade intelectual, demanda, integração sistêmica e sustentação ao longo do ciclo de vida.

Quatro eixos estruturam a contribuição do estudo:

1. Trata as tecnologias quânticas como processo de formação de capacidades, não como evento de aquisição.

2. Distingue soberania tecnológica de autarquia e de produção nacional integral.

3. Interpreta o DCT como elo entre requisito estratégico, pesquisa, engenharia, avaliação e sustentação, ou seja, ligação entre Defesa, academia e indústria.

4. Aplica o modelo da Tríplice Hélice para examinar as relações entre governo, academia e indústria no incipiente ecossistema quântico brasileiro.

O trabalho organiza-se em dez seções. Após a introdução, apresentam-se as tecnologias quânticas como fronteira estratégica aberta, discutem-se autonomia, *self-help*, interdependência armada, soberania tecnológica e Tríplice Hélice. Posteriormente, explicitam-se o método e o desenho da pesquisa e reconstrói-se a formação institucional da capacidade quântica brasileira. As seções subsequentes avaliam dimensões de autonomia, discutem oportunidades e riscos da estratégia de antecipação, examinam o significado de soberania no caso de uma potência média e extraem implicações para política pública e pesquisa, encerrando com as considerações finais.

2 TECNOLOGIAS QUÂNTICAS COMO FRONTEIRA ESTRATÉGICA ABERTA

O campo da quântica trata de tecnologias disruptivas que exploram propriedades da física quântica para processar informação, transmití-la ou realizar medições de alta precisão. O artigo distingue os campos da computação, comunicação e sensoriamento porque essas áreas apresentam trajetórias de maturidade, modelos industriais e aplicações de Defesa distintos (OECD, 2025; VAN DEVENTER et al., 2022).

A computação quântica pode oferecer vantagens em tarefas específicas, mas sua viabilidade prática depende de superar tolerância a falhas, ruído, escalabilidade e a demonstração de vantagem sobre estruturas clássicas. A ameaça mais documentada é a futura capacidade de quebrar sistemas criptográficos de chave pública e isso não decorre de laboratórios ou algoritmos experimentais isolados, mas de computadores quânticos tolerantes a falhas em escala (SUTER et al., 2026; NATIONAL SCIENCE AND TECHNOLOGY COUNCIL, 2024).

A comunicação quântica, por sua vez, abrange a distribuição quântica de chaves (QKD), transmissão segura e conexão entre sistemas. O QuIIN (*Quantum Industrial Innovation*), centro de tecnologia de ponta sediado em Salvador e coordenado pelo Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial e Centro Integrado de Manufatura e Tecnologia (SENAI CIMATEC), desenvolve pesquisa em protocolos CV-QKD, hardware

fotônico e pós-processamento (EMBRAPII, s.d.). Esse esforço conecta ciência, engenharia e indústria, mas, com base nas fontes, não se pode concluir que haja infraestrutura nacional implantada ou integração com sistemas militares.

O sensoriamento quântico busca maior precisão na medição de aceleração, rotação, campos magnéticos, gravidade e tempo. Uma de suas aplicações mais relevantes em nível militar e estratégico é a navegação com menor dependência de sistemas *Global Navigation Satellite System* (GNSS). A relevância é tamanha que o *National Institute of Standards and Technology* (NIST), dos Estados Unidos (EUA), discute sensores atômicos para medir aceleração e rotação. A *National Quantum Initiative*, também dos EUA, relaciona esse domínio a vulnerabilidades de posicionamento e o Reino Unido realizou testes de voo sem dependência de GNSS, ainda em caráter demonstrativo (NIST, 2026; NATIONAL SCIENCE AND TECHNOLOGY COUNCIL, 2024; UNITED KINGDOM, 2024).

A existência dessas possibilidades não as converte de modo automático em capacidade efetiva. Um sensor quântico precisa ser miniaturizado, calibrado, integrado a sistemas inerciais e de comando e controle (C2), testado em ambiente operacional e sustentado por energia, processamento, software, manutenção e pessoal especializado. A transição da bancada de laboratório ao campo é longa e difícil.

Atualmente, o sensoriamento quântico surge como área relativamente mais avançada. A computação permanece predominantemente experimental e mantém a possibilidade de aplicação militar incerta. A comunicação quântica combina testes de protocolo, desenvolvimento de componentes e implantação inicial de infraestrutura (SUTER et al., 2026). Para o Brasil, essa configuração abre espaço para resultados mais concretos em sensores, instrumentação, metrologia e comunicação segura, sem dispensar o investimento em competências transversais.

A disputa por padrões tecnológicos nessas tecnologias de fronteira excede a dimensão técnica. Atores que participam da definição dessas novidades influenciam interoperabilidade, certificação, propriedade intelectual e trajetórias de mercado. Para

um Estado de recursos intermediários, como o nosso, a participação antecipada em domínios críticos pode ampliar a margem de decisão no longo prazo, mesmo quando o domínio completo de cadeias de produção ainda for inviável (TERZIS; TEN OEVER; VAN HOBOKEN, 2026; VAN DEVENTER et al., 2022).

A Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) enquadra as tecnologias quânticas como campo que requer políticas integradas de pesquisa, capacitação de pessoal, infraestrutura, inovação, governança e adoção (OECD, 2025). A interseção desse nicho com Segurança e Defesa deve ser analisada sem reduzir o aspecto científico puramente a aplicações militares e nem mesmo presumir que toda pesquisa baseada nesses comportamentos subatômicos produzam emprego operacional imediato.

Conclui-se parcialmente que é aceitável afirmar que uma fronteira de P&D ainda aberta oferece ao Brasil oportunidades de seleção de áreas de atuação, mas não elimina os riscos, principalmente o de entrar cedo demais ou tarde demais. Nesse ínterim, a comparação com Índia e África do Sul revela que a antecipação assume formas institucionais distintas no Sul Global, seja como missão nacional, consórcio acadêmico financiado pelo Estado, arranjo de agentes ligados à Defesa, ciência, indústria e governos subnacionais. Ressalta-se a importância de tratar essas trajetórias de Índia e África do Sul como contrastes, não como modelos.

3 AUTONOMIA TECNOLÓGICA, *SELF-HELP* E PODER DISTRIBUÍDO EM REDE

3.1 *Self-help* sem autarquia

O realismo estrutural de Kenneth Waltz parte da premissa de que, em um sistema internacional anárquico, nenhuma autoridade central supranacional garante a segurança dos Estados. Nesse contexto, cada Estado precisa organizar capacidades compatíveis com sua sobrevivência, considerando a possibilidade de depender de si

mesmo quando parceiros se tornarem indisponíveis ou hostis (WALTZ, 1979). A ideia de *self-help* é útil para analisar tecnologias quânticas porque evidencia os riscos de confiar integralmente em alianças e cooperação internacional.

O *self-help*, contudo, não é sinônimo de autarquia, ou seja, órgão que presta serviços públicos em nome do Estado e é ligado a ele, embora não faça parte da administração pública. Porém, torna-se condição necessária identificar quais dependências são toleráveis, quais podem ser diversificadas e quais, se exploradas, retirariam a liberdade de ação.

O artigo desenvolve a noção de autonomia como capacidade de manter autonomia seletiva (absorver tecnologia, substituir fornecedores críticos, operar sob condições adversas e decidir o momento e a modalidade de cooperação), aproveitando uma fase em que as trajetórias tecnológicas nesse ramo ainda são negociáveis.

O Brasil enfrenta restrições orçamentárias, de escala, de capital humano e de infraestrutura que tornam mais plausível essa autonomia seletiva, concentrada em identificação de requisitos, integração, instrumentação, software, metrologia, ensaios, protocolos, formação e sustentação (OLIVEIRA; AZEVEDO; ARAÚJO-MOREIRA, 2025).

A dimensão temporal da autonomia, de forma geral, é frequentemente subestimada. Uma dependência tolerável no presente pode tornar-se crítica quando uma tecnologia assumir controle de função essencial ou em contexto de tensão. Antecipar-se busca mitigar esse risco por meio de ativos construídos antes que a urgência elimine as opções disponíveis, aspecto que podemos observar no cenário global mais recente.

3.2 Potências médias e autonomia seletiva

O Brasil pode ser classificado como potência média não apenas por indicadores materiais, mas pelo padrão de atuação internacional que combina recursos modestos (em relação às grandes potências), com possibilidade de articular relações, mobilizar instituições multilaterais e atuar em segmentos estratégicos específicos.

Keohane discutiu os dilemas de Estados menores e a forma como a influência pode derivar de coalizões e estratégias de cooperação (KEOHANE, 1969), o que, por si só, é insuficiente para definir potência média. Para este conceito, são mais adequadas formulações que distinguem potências médias tradicionais e emergentes e examinam a combinação entre recursos, diplomacia e esferas de atuação (JORDAAN, 2003; COOPER; HIGGOTT; NOSSAL, 1993).

A posição de potência média favorece uma lógica de inserção estratégica e autonomia seletiva na proporção em que permite selecionar áreas de interesse, formar consórcios, mobilizar universidades e negociar acesso a mercados e conhecimentos, sempre com vistas à capacidade de absorção, controle de requisitos e alternativas mínimas de fornecimento. O êxito não depende de fechar completamente o sistema nacional, mas de evitar conexões unilaterais, pouco transparentes ou estruturalmente insubstituíveis.

3.3 Interdependência armada e gargalos tecnológicos

Farrell e Newman demonstram que redes globais de interdependência podem gerar relações assimétricas com consequências coercitivas. Estados em posições centrais nessas redes (financeiras, informacionais ou econômicas) podem explorar dois mecanismos: o efeito panóptico, que permite monitorar fluxos de informação, e o efeito *chokepoint*, que confere controle sobre pontos de estrangulamento (FARRELL; NEWMAN, 2019). A análise desloca a pergunta de "quem fabrica o produto?" para "quem controla a rede, o padrão, o ponto de passagem, o dado, a atualização, a certificação ou o componente insubstituível?"

A lente analítica proposta é mais restrita: redes de posicionamento, comunicação, nuvem, componentes fotônicos, software e padrões podem tornar-se vulnerabilidades quando condicionadas por decisões políticas, restrições comerciais ou assimetrias de conhecimento estruturalmente difíceis de superar. Destaca-se que a transposição da teoria da interdependência armada ao domínio quântico requer

cautela, já que a dependência de GPS, por exemplo, não se converte automaticamente em interdependência armada tal como Farrell e Newman a formulam.

O Programa 09 do FNDCT fornece uma ponte documental entre essas dimensões. O texto do Programa relaciona autonomia em navegação para veículos não tripulados, sensoriamento, consciência situacional, domínio de aplicações quânticas e segurança e mais, trata reconhecidamente o assunto como questão de política tecnológica e de Defesa (BRASIL, 2025c).

3.4 Soberania tecnológica

A soberania tecnológica precisa escapar de duas armadilhas diametralmente opostas. A primeira é uma visão globalista neoliberal que presume que mercados e cooperação sempre produzirão acesso confiável a tecnologias críticas. A segunda é uma visão autárquica neorrealista que supõe ser sempre preferível produzir domesticamente, independentemente de custo, qualidade ou escala.

Edler, Blind, Kroll e Schubert propõem compreender a soberania tecnológica como a liberdade de decisão estatal convertida na capacidade de fornecer tecnologias críticas ou obtê-las de diferentes regiões sem dependência de poder estrutural (EDLER; BLIND; KROLL; SCHUBERT, 2023).

Essa definição trata a soberania como meio, não como fim. Importações, joint ventures, pesquisa internacional e adesão a padrões globais são compatíveis com liberdade desde que o país preserve meios de avaliar, adaptar, substituir e negociar.

O artigo adota quatro dimensões analíticas, sem convertê-las em escala numérica. A autonomia de agenda refere-se à capacidade de definir problemas, prioridades e requisitos. A autonomia de conhecimento envolve pesquisadores, laboratórios, métodos, publicações e propriedade intelectual, bem como a capacidade de absorver e reproduzir conhecimento ao longo do tempo. A autonomia de sistema diz respeito à integração, ao software, às interfaces, aos testes, à certificação e à sustentação de sistemas reais. A autonomia de emprego existe quando a capacidade está incorporada por uma organização usuária, funciona em condições operacionalmente relevantes e pode ser mantida ao longo de seu ciclo de vida.

Quadro 1 - Matriz de análise das dimensões de autonomia

Dimensão analítica	Pergunta central	Evidências procuradas	O que não é suficiente
Agenda	Quem define o problema, as prioridades e os requisitos?	Termos de referência, requisitos, prioridades orçamentárias, decisões e acordos	Declaração genérica sobre inovação ou soberania
Conhecimento	O país produz, absorve e reproduz conhecimento?	Laboratórios, equipes, projetos, publicações, propriedade intelectual, transferência e aprendizagem	Existência isolada de universidade, startup ou laboratório
Sistema	O país controla integração, interfaces e sustentação?	Protótipos, software, interfaces, padrões, ensaios, certificação e manutenção	Montagem, compra ou teste controlado sem integração
Emprego	A capacidade foi validada, incorporada e permanece disponível?	Validação pelo usuário, doutrina, treinamento, testes relevantes, disponibilidade e ciclo de vida	Demonstração de laboratório ou anúncio de parceria

Fonte: Autor (2026)

A matriz torna a análise graduada e mais próxima da realidade. Um país pode exibir organização de agenda e base de conhecimento sem dispor de autonomia de sistema ou de emprego. Essa soberania tecnológica, nesse enquadramento, não é uma dicotomia de ter ou não ter de forma definitiva, mas depende do alinhamento entre conhecimento, recursos, integração e efetiva possibilidade de decisão autônoma.

3.5 Tríplice Hélice e governança multinível

A Tríplice Hélice de Etzkowitz e Leydesdorff oferece uma lente para examinar como universidade, indústria e governo produzem inovação por meio de comunicação, negociação e convergência institucional (ETZKOWITZ; LEYDESDORFF, 2000). O modelo não deve ser aplicado como simples checklist de instituições presentes em uma organização. A utilidade para observação e análise depende de evidenciar relações, fluxos de recursos, decisões compartilhadas, aprendizagem e resultados verificáveis nas interfaces entre os três domínios.

No caso brasileiro, o DCT (Exército Brasileiro) e o Governo do Estado do Paraná situam-se na esfera governamental, embora atuem em níveis e posições institucionais diferentes. Essa distinção é tratada como governança multinível e diferenciação interna normal do Estado, não como anomalia. A esfera acadêmica inclui universidades, institutos de pesquisa e laboratórios e a industrial abrange empresas privadas e fornecedores especializados.

O DCT ocupa a posição institucional compatível com a função de tradução entre requisito militar, pesquisa, engenharia, avaliação e sustentação. A análise, entretanto, não pressupõe que essa tradução tenha ocorrido em todos os projetos examinados. Para sustentar tal afirmação, seria necessário documentar amplamente os requisitos, fluxos de recursos, protótipos, ensaios, propriedade intelectual, certificação, doutrina e manutenção associados a iniciativas específicas.

O Córtex e as redes quânticas são, portanto, examinados como arranjos de interação entre governo, academia e indústria inseridos em governança multinível. A presença de atores de esferas distintas é condição de possibilidade e não prova de integração. A integração efetiva só seria plenamente reconhecida se fosse acompanhada por vínculos, fluxos de recursos, decisões ou resultados documentados.

4 MÉTODO E DESENHO DA PESQUISA

A pesquisa adota um desenho qualitativo, exploratório e explicativo em sentido delimitado, buscando explicar como um planejamento e uma arquitetura institucional podem ser identificados a partir de documentos públicos, sem o objetivo de estimar efeitos causais, medir desempenho físico de física quântica e nem estabelecer causalidade definitiva. O objeto é a formação institucional de capacidades e alianças associadas à autonomia tecnológica prospectiva e seletiva em tecnologias quânticas vinculadas à Defesa (BOWEN, 2009; BEACH; PEDERSEN, 2019).

O recorte temporal cobre os últimos cinco anos do processo brasileiro de formação dessa agenda e arquitetura institucional (período de 2021 a 2026). O Projeto

Córtex funciona como ponto de partida empírico por expor a aproximação entre Exército, Governo do Paraná, academia e setor produtivo em torno dessa vertente tecnológica específica (quântica).Assim, esse projeto não é tratado como causa das demais iniciativas nem como sinônimo do ecossistema nacional.

As subdivisões analíticas da proposta são quatro: (a) governança e tradução institucional, observadas no DCT e no Córtex; (b) formulação e financiamento, observados no Programa 09 do FNDCT; (c) base científica, inovação industrial e visibilidade do ecossistema, observadas no QuIIN, no QuantumTec e no Mapa de Tecnologias Quânticas da RNP; e (d) demonstração de comunicação quântica, observada nas Redes Rio e Hermes. Essas subdivisões foram escolhidas por representarem dimensões distintas do processo de formação de capacidade e não por constituírem uma cadeia já comprovada. A análise verifica convergências, lacunas e rupturas entre elas.

A Índia e a África do Sul não são tratadas como casos equivalentes nem submetidas ao mesmo protocolo analítico. As iniciativas desses Estados no campo quântico funcionam como contrastes de contexto para situar diferentes formas de organização desse campo do conhecimento no Sul Global, sem produzir generalização comparativa ou inferência de superioridade brasileira (INDIA, 2026; SOUTH AFRICAN QUANTUM TECHNOLOGY INITIATIVE, s.d.).

A base de fontes documentais é pública e intencional, reunindo atos e documentos de política pública, páginas e comunicados de órgãos governamentais, centros de competência e infraestruturas científicas, registros públicos de projetos e redes, literatura acadêmica e fontes internacionais empregadas para contextualização técnica e comparativa. A coleta foi encerrada em junho de 2026. A bibliografia incluída identifica atores, objetivos, competências, instrumentos, riscos, linhas de pesquisa, eventos, testes ou resultados. Outrossim, materiais institucionais e anúncios corporativos são utilizados para documentar declarações e relações formais, não como evidência automática de eficácia operacional (BOWEN, 2009).

A seleção das fontes combinou buscas pelos nomes de programas, instituições, projetos e tecnologias com enfoque em termos como autonomia, soberania, Defesa, tecnologias quânticas, navegação, sensoriamento, veículos não tripulados e segurança. O procedimento foi complementado pela leitura de referências cruzadas nos documentos centrais, para reduzir o risco de excluir fontes relevantes que não utilizassem o vocabulário de autonomia. O objetivo não foi construir um universo estatisticamente representativo, mas reunir evidências públicas pertinentes à análise e à pergunta de pesquisa proposta.

A análise seguiu quatro etapas. Primeiro, os documentos foram identificados, arquivados e lidos conforme autoria, data, finalidade, proximidade com o evento e tipo de afirmação. Em seguida, foram classificados por função: definição de missão, norma ou diretriz, acordo de cooperação, instrumento de financiamento, infraestrutura, formação de ecossistema, demonstração técnica ou descrição de aplicação. Depois, cada evidência foi associada às quatro dimensões de autonomia, sem pressupor que a presença de uma dimensão implique automaticamente as demais.

Na quarta etapa e última, as afirmações foram distinguidas entre fato institucional, declaração normativa, inferência analítica e hipótese ou possibilidade futura. Separou-se ainda evidência de formalização, evidência de atividade e evidência de resultado. Quando uma fonte institucional apresentava apenas intenção, objetivo ou previsão, o texto não a utilizou para afirmar eficácia. A ausência de informação pública foi tratada como limitação, não como prova de inexistência da capacidade.

A interpretação confronta a explicação principal de formação inicial de uma pauta nacional de autonomia por antecipação com três hipóteses rivais, introduzidas de modo parcimonioso.

A primeira é a hipótese de política simbólica, que trata a linguagem de soberania e autonomia de forma a conferir legitimidade a projetos sem compromissos materiais correspondentes e reais. A segunda é a hipótese de política científica ou industrial civil na qual as iniciativas poderiam decorrer sobretudo de objetivos de pesquisa, inovação e desenvolvimento regional, com associação posterior à Defesa. A terceira é a hipótese de emulação ou expansão burocrática, cujas instituições poderiam adotar

formatos e vocabulários internacionais para atrair recursos ou ampliar competências, sem coordenação palpável entre projetos.

As hipóteses rivais não são apresentadas como explicações plenamente testadas. Funcionam como contrastes interpretativos que evitam confundir convergência discursiva com estratégia integrada.

O resultado da estratégia metodológica é uma reconstrução processual e exploratória: uma narrativa documentada da evolução (positiva ou não) entre planejamento de diretrizes governamentais, articulação institucional, financiamento, infraestrutura material, conhecimento, demonstração, integração e emprego. Essa reconstrução tentou identificar onde as referências sustentam uma conclusão, onde oferecem apenas indícios e onde a cadeia permanece interrompida. O artigo pretende assim entregar um diagnóstico de formação de capacidade. (BEACH; PEDERSEN, 2019).

4.1 Transparência metodológica e uso de inteligência artificial

O artigo utilizou a ferramenta de inteligência artificial Manus AI como apoio à formatação, à padronização editorial, à pesquisa exploratória de fontes, à organização inicial do material bibliográfico e à revisão linguística. A seleção final, a leitura, a verificação da existência e pertinência das fontes, a interpretação dos documentos, a análise, as decisões metodológicas e argumentativas permanecem sob responsabilidade do autor. A inteligência artificial não gerou dados, não substituiu fontes primárias, não produziu evidências empíricas e não determinou as conclusões do estudo.

5 A CONSTRUÇÃO INSTITUCIONAL DE UMA CAPACIDADE QUÂNTICA BRASILEIRA

5.1 O Projeto Córtex como ponto de entrada empírico

O Projeto Córtex configura-se como iniciativa de cooperação entre o Exército Brasileiro e o Governo do Paraná. A nota institucional do DCT registra a assinatura do acordo em 15 de dezembro de 2025, com a presença de autoridades civis e militares, universidades e representantes do setor produtivo (BRASIL, 2025b). O projeto prevê

ações em inteligência artificial, cibersegurança e tecnologias quânticas, formação de profissionais especializados, criação de centros de pesquisa e desenvolvimento de incubadoras de startups.

O Córtex não é apresentado como aquisição de equipamento, mas como arranjo de formação, pesquisa, inovação e segurança — formato compatível com um campo que demanda infraestrutura, pesquisadores, componentes, software e integração. Na análise, essa iniciativa aparece como ponto de partida para observar o surgimento de diretrizes em nível governamental e a formulação de parceria, sem pressupor que o ecossistema nacional esteja subordinado ao projeto ou que este sintetize todas as iniciativas em curso.

O Córtex deve ser interpretado a partir de uma dimensão que considere o fator tempo. A documentação disponível permite observar a formalização do acordo, a intenção de formação de capacidade e a participação de atores civis e militares, mas não resultados operacionais. O Quadro 2 a seguir deve ser lido como classificação da evidências extraídas do referencial bibliográfico e não como avaliação de desempenho do projeto.

Tabela 2 – Dimensões do Projeto Córtex

Elemento documentado no Córtex	**Dimensão indicada**	**Tipo de evidência existente**
Acordo entre Exército e Governo do Paraná	Agenda e governança	Formalização direta da cooperação
Participação de universidades e setor produtivo	Articulação potencial de conhecimento e inovação	Participação institucional; integração efetiva não demonstrada
Inclusão de inteligência artificial, cibersegurança e tecnologias quânticas	Definição de áreas prioritárias	Agenda declarada diretamente na fonte
Formação de profissionais e centros de pesquisa	Construção potencial de conhecimento	Objetivo formal; resultado ainda não demonstrado
Incentivo a startups	Ampliação potencial da base industrial	Instrumento anunciado; eficácia não observável no corpus
Uso do termo soberania tecnológica	Enquadramento político	Declaração institucional; não demonstra resultado operacional

Fonte: Autor (2026)

Pode-se observar que o Córtex oferece indícios de cooperação e de planejamento estatal, de forma mais direta, e indícios mais indiretos sobre conhecimento, sistema e emprego. Essa distribuição não constitui julgamento negativo do projeto, tão somente expressa aquilo que a documentação pública permite afirmar no período de tempo considerado.

5.2 O DCT como integrador

O papel do DCT excede em muito o de participante administrativo no Córtex. A missão oficial desse departamento é entregar soluções científico-tecnológicas necessárias à implementação de capacidades para o Exército, em conformidade com políticas, planejamentos e diretrizes estratégicas (BRASIL, 2024). Entre as competências do órgão estão: planejar e dirigir atividades de ciência, tecnologia e inovação; articular parcerias com a administração pública, a academia e a indústria; gerir conhecimento, prospecção e propriedade intelectual; desenvolver e nacionalizar Sistemas e Materiais de Emprego Militar (SMEM); realizar avaliações técnicas e operacionais; desenvolver software; entregar estruturas de comando e controle; prover logística de comunicações e guerra eletrônica; integrar o setor cibernético em nível nacional; e preparar recursos humanos (BRASIL, 2024).

Esse conjunto de competências posiciona o DCT para exercer a função de mediação entre problema estratégico, requisito militar, pesquisa, engenharia, avaliação e sustentação. A análise não afirma, contudo, que tal tradução tenha ocorrido plenamente no domínio quântico. Para isso, seria necessário documentar requisitos, decisões, protótipos, ensaios, certificação e doutrina associados a projetos específicos para sustentar essa conclusão.

A noção de tradução e integração recusa uma visão linear da inovação, P&D. Na Defesa, a demanda pode orientar a pesquisa, a avaliação pode modificar requisitos, a indústria pode revelar limites de fabricação e a doutrina pode estabelecer condições de emprego. Essas participações, feedbacks e interações são expectativas analíticas que precisam ser demonstradas caso a caso e não presumidas a partir da missão geral do DCT.

No domínio quântico, o DCT pode ser especialmente relevante como órgão de prospecção, teste e aprendizagem, sobretudo porque o usuário militar pode precisar de orientação sem GPS em contexto de conflito sem saber, a priori, qual sensor, protocolo ou arquitetura oferecerá maior confiabilidade. No entanto, não se pode afirmar tacitamente, com base na pesquisa que essa função já tenha sido exercida de forma integrada nos projetos considerados.

A missão do DCT também conecta a perspectiva de autonomia à Base Industrial de Defesa (BID). É importante lembrar que nacionalizar não equivale a fabricar uma carcaça ou realizar montagem final. Nacionalização real envolve controlar partes críticas do projeto, manter pessoal capaz de corrigir falhas, acessar documentação técnica, atualizar software quando necessário, obter ou substituir componentes e sustentar o sistema ao longo de seu ciclo de vida. A competência institucional do DCT para modernizar, nacionalizar, avaliar e manter materiais é alinhada a essa visão de ciclo de vida, sem que isso constitua prova de realização em sistemas quânticos específicos (BRASIL, 2024).

5.3 O FNDCT e a formulação explícita do problema

O Programa 09 do FNDCT é a evidência documental mais sólida da existência de um plano explícito de independência tecnológica na política pública examinada. O próprio título do programa (Promoção da Autonomia Tecnológica na Área da Defesa) eleva o entendimento de autonomia à condição de objetivo formal. A missão do programa é promover capacidade e autonomia em C&T em áreas críticas para Defesa e segurança, priorizando tecnologias transversais e ligações interinstitucionais capazes de superar os obstáculos estruturais do país (BRASIL, 2025c).

O documento trabalha com possibilidade de guiamento, controle e navegação para veículos não tripulados, sensoriamento remoto, consciência situacional e conecta inteligência artificial, Defesa, cibersegurança, tecnologias quânticas e robótica a áreas nuclear, energética e espacial (BRASIL, 2025c).

Essa combinação situa as propriedades quânticas em uma arquitetura mais ampla, na qual navegação, sensoriamento, cibersegurança, inteligência artificial, materiais, software, dados, redes e energia se complementam. O documento, contudo, formula uma proposta transversal, o que impede a atribuição dos recursos ou resultados do programa exclusivamente ao subcampo quântico.

O objetivo de apoiar autonomia em relação a redes satelitais estrangeiras não afirma que o Brasil terá uma alternativa quântica plenamente operacional. Indica, antes de tudo, preocupação com a liberdade de operar caso redes externas sejam negadas, degradadas ou politicamente condicionadas. A navegação quântica é uma possível linha de resposta, assim como sensores redundantes, navegação inercial, sinais alternativos e algoritmos de fusão de dados.

O FNDCT explicita, no entanto, a natureza incerta da política ao categorizar que o risco tecnológico é classificado como alto porque projetos de pesquisa, desenvolvimento e inovação de alta tecnologia podem não alcançar seus objetivos ou gerar soluções ineficientes. O documento menciona restrições associadas a patentes, controles comerciais e protecionismo, além de riscos ligados à falta de pessoal e da demanda, entre outros. A efetividade depende da validação da necessidade pelo solicitante, da disponibilidade de orçamento e da prioridade política atribuída (BRASIL, 2025c).

O documento reconhece que uma tecnologia só se fixará no setor privado se houver demanda suficiente para sustentá-la. Exige-se, portanto, uma trajetória que conecte projeto, usuário, aquisição, escala e continuidade, sem a qual o investimento permaneceria no domínio experimental.

O termo de referência prevê vigência de 60 meses e investimentos projetados de R$ 1 bilhão no período de 2025 a 2029. Esse valor refere-se ao programa em sua totalidade, em todas as áreas. O artigo utiliza esse termo como constatação da linha temporal e da orientação política, não como medida de financiamento quântico específico. O período plurianual reforça que competências quânticas não se constroem em ciclos anuais.

5.4 Infraestrutura científica, inovação industrial e observação do ecossistema

O Córtex e o DCT devem ser compreendidos em um ecossistema mais amplo. O *Quantum Industrial Innovation* (QuIIN), coordenado pelo SENAI CIMATEC, representa uma camada de inovação industrial e comunicação quântica cujas linhas de CV-QKD abrangem protocolos, hardware fotônico e pós-processamento (EMBRAPII, s.d.). Pode-se verificar a existência de uma intenção de desenvolvimento, mas não em escala produtiva, contratação militar ou integração sistêmica.

O QuantumTec é o laboratório do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas vinculado ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (CBPF/MCTI) e representa a camada de infraestrutura científica. Em junho de 2025, foram inaugurados laboratórios dedicados à pesquisa em computação quântica, simulações físicas avançadas e aplicações de inteligência artificial na ciência básica (IBICT, 2025). A iniciativa não comprova a aplicação militar nem integração com o DCT, mas documenta infraestrutura potencialmente relevante para produzir e caracterizar dispositivos e para formar pesquisadores com competência técnica qualificada.

O Mapa das Tecnologias Quânticas no Brasil, desenvolvido pela Rede Nacional de Ensino e Pesquisa (RNP), possibilita a observação do ecossistema. A plataforma organiza e visualiza pesquisadores, grupos, projetos e empresas com foco em tecnologias quânticas aplicadas (ABREU; VASSOLER; FARIAS, 2026). Essa ferramenta pode apoiar a formulação de políticas públicas ao tornar competências e lacunas parcialmente visíveis.

A consciência situacional do setor não equivale a integração. Para que observação se converta em coordenação efetiva, seria necessário acompanhar vínculos de financiamento, patentes, protótipos, níveis de maturidade tecnológica, contratos, resultados de teste e decisões de continuidade. O mapeamento é condição potencial de coordenação, mas não sua demonstração.

Mazzucato argumenta que o Estado pode atuar como empreendedor, agente de risco e indutor de novos mercados, indo além do papel de regulador ou corretor de

falhas de mercado (MAZZUCATO, 2014). Aplicada ao caso, a proposição orienta uma pergunta empírica: os instrumentos públicos brasileiros apenas anunciam prioridades ou assumem riscos, financiam trajetórias e constroem demanda capaz de sustentar a inovação? Uma análise breve da documentação da pesquisa mostra que existe orientação pública, mas ainda não permite avaliar sua execução em profundidade.

5.5 As Redes Rio e Hermes Quânticas: comunicação, teste e Defesa

A Rede Rio Quântica apresenta interação entre instituições de pesquisa, Defesa e indústria. Em desenvolvimento desde 2021, a rede conecta por fibra óptica laboratórios da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio), do Instituto Militar de Engenharia (IME), da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e do CBPF.

A Universidade Federal Fluminense (UFF) participa por enlace aéreo com o CBPF, cruzando a Baía de Guanabara com lasers e telescópios. O objetivo é testar protocolos de distribuição quântica de chaves e desenvolver tecnologias nacionais. A fonte registra financiamento de aproximadamente R$ 7 milhões provenientes do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), da Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (Faperj), da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp), da Financiadora de Estudos e Projetos (Finep) e do MCTI (ICTP-SAIFR, s.d.).

A arquitetura da Rede Rio é relevante para a análise da Tríplice Hélice porque aproxima governo (como financiador e organizador de política), universidades e institutos (como produtores de conhecimento e infraestrutura) e indústria (por meio do QuIIN, do desenvolvimento de hardware, de protocolos e de fornecedores especializados). A rede documenta interação potencialmente produtiva e a formalização dos vínculos, porém, não basta para provar transferência de tecnologia, escala ou incorporação a sistemas de Defesa.

A Rede Hermes Quântica, coordenada pelo IME e orientada ao setor de Defesa, permite observar um estágio técnico adicional. Em nota de novembro de 2025, o IME

informou a ativação de equipamento capaz de realizar o ciclo completo de um canal de distribuição quântica de chaves. O teste inicial ocorreu em laboratório, com bobinas de fibra óptica equivalentes a 40 km e equipamentos adquiridos da empresa suíça ID Quantique. A fonte indica como etapas seguintes um enlace real IME–CBPF de 1,7 km e uma conexão futura IME–PUC-Rio de aproximadamente 8 km, além de associar a iniciativa ao projeto Quantum II da Finep/MCTI (IME, 2025).

A distinção entre níveis técnicos é analiticamente decisiva. O teste em laboratório demonstra que protocolo e equipamento operam em condições controladas. O enlace real testa perdas, estabilidade, instalação e operação em infraestrutura física. A rede metropolitana examina a interoperabilidade entre instituições. O emprego militar, porém, exigiria requisitos operacionais específicos e validação pelo usuário finalístico. A documentação demonstra avanço experimental e infraestrutura em desenvolvimento e não uma rede quântica militar operacional, domínio de componentes ou soberania de comunicação. Cabe registrar que embora não haja estrutura operacional neste momento, existe a intenção e as condições técnicas para o desenvolvimento científico continuado.

5.6 O papel da política de Defesa e da política de ciência e tecnologia

A atualização da Política Nacional de Defesa e da Estratégia Nacional de Defesa em 2025 fornece o marco normativo recente para situar as iniciativas examinadas no conjunto das políticas nacionais, distinguindo menções diretas a tecnologias quânticas de inferências do pesquisador (BRASIL, 2025a).

O caso brasileiro evidencia governança distribuída. O DCT articula capacidades militares, o MCTI estrutura instrumentos científicos e de financiamento, a Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial (Embrapii) organiza centros de inovação, os governos estaduais mobilizam ecossistemas regionais, as universidades produzem conhecimento e as empresas buscam convertê-lo em produtos e serviços. Essa dispersão reúne competências, mas gera, simultaneamente, risco de fragmentação e descontinuidade.

Estudos recentes diagnosticam a fragmentação institucional e propõem um roadmap até 2035 (OLIVEIRA; AZEVEDO; ARAÚJO-MOREIRA, 2025). O presente artigo dialoga com essa contribuição anterior, mas percorre outra vertente analítica. Ao invés de um roteiro normativo, reconstrói a formação de uma agenda de autonomia prospectiva a partir de documentos de governança, financiamento, infraestrutura e demonstração. A contribuição está em distinguir formalização, atividade e capacidade, e em examinar a função potencial do DCT sem pressupor integração efetiva.

6 DA AGENDA À CAPACIDADE: AVALIAÇÃO CRÍTICA DAS DIMENSÕES DE AUTONOMIA

6.1 Autonomia de agenda

A dimensão de agenda é a mais claramente demonstrada, mas requer precisão descritiva. O que a pesquisa evidencia é adequação de prioridades, não autonomia plena. O Brasil dispõe de documentos e instituições que situam as tecnologias quânticas como relevantes para Defesa, segurança e inovação. O FNDCT emprega o vocabulário de autonomia tecnológica e conecta tecnologias quânticas a navegação, sensoriamento, veículos não tripulados e cibersegurança (BRASIL, 2025c). O Córtex associa soberania tecnológica à cooperação entre Exército, governo estadual, universidades e setor produtivo (BRASIL, 2025b). O DCT detém competências formais compatíveis com planejamento, articulação, avaliação e nacionalização (BRASIL, 2024).

O desenho de planejamento estatal pode orientar recursos, formação, contratação e expectativas. O FNDCT transforma vulnerabilidades potenciais em problema de política pública ao incluir navegação, sensoriamento e tecnologias quânticas, O Córtex reúne atores e procura constituir uma comunidade de capacidade. Esses são potenciais indicadores de orientação e formalização em estágio embrionário. A conversão em uma agenda efetivamente autônoma requer orçamento específico, contratos, metas, controle e continuidade.

6.2 Autonomia de conhecimento

A base de conhecimento está demonstrada num nível intermediário. A existência do QuantumTec, do QuIIN e do Mapa da RNP documenta infraestrutura, linhas de pesquisa, atores e projetos (EMBRAPII, s.d.; IBICT, 2025; ABREU; VASSOLER; FARIAS, 2026). A missão do DCT contempla gestão de conhecimento, prospecção, propriedade intelectual e formação de pessoal (BRASIL, 2024). O FNDCT prevê projetos com Instituições de Ciência e Tecnologia (ICTs) e empresas, publicações, patentes, programas de computador, licenciamento e transferência de tecnologia como indicadores de impacto (BRASIL, 2025c). Esses elementos evidenciam capacidade potencial e instrumentos de construção, mas ainda não absorção consolidada.Os laboratórios podem permanecer isolados, equipamentos envelhecem e patentes podem não chegar ao produto.

A cooperação internacional pode acelerar a aprendizagem desde que o país saiba o que absorve, disponha de capacidade para fazê-lo e controle propriedade intelectual, dados e conhecimento de manutenção. Os dados sustentam a existência de uma base em formação, sem permitir mensurar sua estabilidade, reprodução ou conversão industrial.

6.3 Autonomia de sistema

A autonomia de sistema é a dimensão menos demonstrada. O DCT possui competências para avaliação, nacionalização, software, comando e controle e logística, o que não prova a existência de sistema quântico desenvolvido, testado ou integrado (BRASIL, 2024). A QuIIN e o QuantumTec documentam linhas de hardware, pós-processamento e infraestrutura científica (EMBRAPII, s.d.; IBICT, 2025). As Redes Rio e Hermes registram testes de QKD em laboratório e enlaces físicos em desenvolvimento, porém isso não configura rede militar operacional, domínio de componentes, interoperabilidade certificada ou sustentação de ciclo de vida (ICTP-SAIFR, s.d.; IME, 2025). A conclusão deve permanecer no nível de formação de capacidade, sem avançar para afirmações de sistema ou emprego.

6.4 Autonomia de emprego

A autonomia de emprego também não está demonstrada. Não foram encontrados documentos públicos no período considerado (2021-2026), documentação suficiente sobre sistema de navegação quântica incorporado ou sensor quântico empregado em missão. No campo da comunicação, há evidência de ativação de canal QKD e de enlaces metropolitanos em teste ou planejamento. Pode-se afirmar que não há rede militar validada em ambiente operacional, com doutrina, disponibilidade, segurança e manutenção asseguradas (ICTP-SAIFR, s.d.; IME, 2025). As avaliações futuras deverão observar testes em ambiente adequado, maturidade tecnológica, treinamento, doutrina, disponibilidade, manutenção, integração e continuidade. O valor militar final dependerá de requisitos concretos de peso, consumo, precisão, latência, distância e confiabilidade.

7 A ESTRATÉGIA DE ANTECIPAÇÃO: OPORTUNIDADES E RISCOS

7.1 O significado de agir antes do estabelecimento de padrões

A interpretação de antecipação não é pressuposto de que o Brasil precise prever qual tecnologia vencerá. O diferencial é construir opções enquanto as trajetórias nos domínios quânticos ainda estão em negociação, mediante pesquisa em diferentes plataformas, participação em normatização, formação de pessoal, testes de componentes, desenvolvimento de software e criação de demanda pública. Nas fontes analisadas, essa ação antecipatória é tratada como hipótese interpretativa compatível com a existência de iniciativas anteriores à consolidação de padrões e aplicações militares, mas não se pode tratar como fato comprovado em todos os elos da cadeia.

A antecipação também pode reduzir a incerteza quando laboratórios e protótipos permitem descobrir o que funciona, quais componentes são críticos, quais requisitos são realistas e quais dependências são aceitáveis ou inegociáveis. Para

que essa afirmação deixe de ser normativa, projetos precisam registrar resultados de aprendizagem e decisões tomadas com base em testes.

A padronização é um campo estratégico nesse contexto. Se os padrões internacionais de comunicação, vocabulário, testes e interoperabilidade ainda estão sendo negociados, a participação brasileira pode reduzir o risco de o país tornar-se apenas consumidor tardio de tecnologias definidas por outros. O fato de participar de grupos de normalização não exige dominar todas as tecnologias, mas requer conhecimento técnico, instituições representativas e interesse de longo prazo sustentado (TERZIS; TEN OEVER; VAN HOBOKEN, 2026; VAN DEVENTER et al., 2022).

7.2 A janela de oportunidade para um Estado médio

Retoma-se a ideia de que uma fronteira aberta em tecnologia de ponta pode beneficiar Estados de recursos intermediários ao permitir escolha de segmentos, combinação de ciência pública com empresas e cooperação, e entrada antes da consolidação dos padrões, citados anteriormente. A janela, porém, é limitada pelo poder de mercado de grandes potências, pelo acesso a componentes críticos e pela tendência à securitização do ramo quântico das ciências. Esse quadro pode mobilizar recursos, mas também restringir cooperação internacional e gerar expectativas desproporcionais em relação às capacidades reais (SUTER et al., 2026).

7.3 A posição brasileira na inovação quântica do Sul Global

A inserção do Brasil no Sul Global não transforma o artigo em ranking de tecnologias quânticas. O conceito serve para contextualizar trajetórias de países que enfrentam restrições assimétricas de capital, infraestrutura, propriedade intelectual e acesso a componentes, mas podem construir capacidades por meio de políticas públicas, pesquisa, indústria e cooperação. A Índia, a África do Sul e o Brasil exibem escalas, instrumentos e configurações institucionais distintas (INDIA, 2026; SOUTH AFRICAN QUANTUM TECHNOLOGY INITIATIVE, s.d.; ACHARYA, 2014).

A Índia oferece um contraste de maior formalização programática. A National Quantum Mission, aprovada em 2023 para o período 2023-24 a 2030-31, dispõe de orçamento declarado de ₹6.003,65 crore (mais de 60 bilhões de rúpias indianas) e articula quatro hubs temáticos, quais sejam: computação, comunicação, sensoriamento e metrologia, materiais e dispositivos. Entre seus objetivos oficiais estão magnetômetros atômicos, relógios atômicos de precisão, comunicação segura por satélite e redes quânticas (INDIA, 2026).

A escala declarada de 152 pesquisadores de 43 instituições, distribuídos por 17 estados e duas unidades territoriais, aponta para um desenho mais centralizado e quantificado do que aquele documentado publicamente no caso do Brasil (INDIA, 2026). Essa diferença, contudo, não deve ser convertida em juízo de superioridade, dado que os indicadores e as fontes disponíveis nos dois casos não são equivalentes.

A África do Sul, por sua vez, oferece um contraste baseado em consórcio acadêmico e formação de ecossistema. A *South African Quantum Technology Initiative* (SA QuTI), financiada pelo *Department of Science, Technology and Innovation*, do governo sul-africano, reúne seis universidades, três centros principais e três centros emergentes, com programas em computação, comunicação, metrologia, sensoriamento e imageamento e o objetivo declarado de criar ambiente de pesquisa internacionalmente competitivo e desenvolver uma indústria quântica local (SOUTH AFRICAN QUANTUM TECHNOLOGY INITIATIVE, s.d.).

Os contrastes apontam uma configuração brasileira própria, sem que isso implique superioridade. O Brasil combina instrumentos de Defesa, centros especializados, infraestrutura científica, redes de comunicação quântica, financiamento federal e articulação regional. O que torna o caso interessante, pensando em análise, é a presença explícita da ideia e da intenção de autonomia tecnológica, navegação, sensoriamento, cibersegurança e veículos não tripulados em um programa de Defesa, articulada à conexão entre DCT, Córtex e instrumentos civis. Essa combinação não autoriza, porém, classificar o Brasil como líder ou como detentor de soberania quântica operacional.

A comparação contextual também impede que a tese de antecipação seja apresentada como exclusividade brasileira. Os países do Sul Global podem buscar áreas específicas, formação de pessoal, participação da definição de padrões e preservação de capacidade de absorção. A questão não é qual país possui o maior programa, mas que tipo de estratégia tecnológica nacional cada estrutura de governança busca construir e quais gargalos impedem a conversão dessa orientação em capacidade efetiva.

7.4 Capacidade doméstica e cooperação internacional

A autonomia prospectiva e seletiva combina capacidade doméstica e redes externas confiáveis. A cooperação, importação e consórcios são compatíveis com autonomia quando há múltiplos fornecedores, domínio de interfaces, treinamento local, propriedade intelectual negociada e capacidade de manutenção. Os acordos formais não garantem transferência porque é necessário saber quem define o projeto, quem controla os resultados e dados, quem realiza a manutenção e quem responde pelo período pós-financiamento. A documentação do Córtex ainda não permite avaliar esses pontos (BRASIL, 2025b). A QuIIN, o QuantumTec, as Redes Rio e Hermes e o Mapa da RNP serão mais relevantes se suas atividades se converterem em relações, projetos e investimentos de longo prazo (EMBRAPII, s.d.; IBICT, 2025; ABREU; VASSOLER; FARIAS, 2026; ICTP-SAIFR, s.d.; IME, 2025).

7.5 O risco do tecno-otimismo

A linguagem de soberania pode incentivar tecno-otimismo que defende a crença de que o avanço tecnológico é a principal força para resolver os maiores problemas da humanidade e melhorar a qualidade de vida. Um laboratório, uma parceria ou um anúncio pode ser apresentado como prova de que o país entrou na corrida quântica. Essa narrativa confunde pura presença com capacidade. A inovação militar depende de organização, doutrina, treinamento, orçamento, manutenção, interoperabilidade e decisão de emprego — não apenas de novidade tecnológica (ROSEN, 1991; GILLI; GILLI, 2019).

O risco simétrico é o tecnopessimismo que enxerga o avanço tecnológico com desconfiança, ceticismo ou preocupação, destacando os seus impactos negativos, riscos e efeitos colaterais para a sociedade. A dependência de componentes estrangeiros pode ser interpretada como fracasso absoluto, ignorando ganhos de integração, aprendizagem de requisitos e capacidade de negociação. Para um país de recursos limitados, autonomia seletiva e incompleta ainda pode produzir efeitos estratégicos relevantes.

A avaliação por camadas pode ser a resposta metodológica a esse dilema. A busca por explicitar o que cada evidência permite afirmar evita tanto exageros quanto depreciações injustificadas das capacidades existentes. O Brasil pode apresentar desenho institucional, base científica e competência experimental sem demonstrar, no entanto, fabricação de componentes críticos, integração sistêmica ou efetividade quântica operacional. Essa conclusão não é contraditória e apenas distingue níveis de capacidade e indica onde investir, onde cooperar e onde aceitar dependência como custo tolerável.

7.6 Segurança, Defesa e debate público

O artigo também distingue Defesa de segurança. Saint-Pierre alerta para os efeitos conceituais e políticos de tratar os termos como equivalentes (SAINT-PIERRE, 2011). As tecnologias quânticas têm aplicações militares, econômicas, civis e científicas. Uma política de Defesa pode impulsionar competências de uso dual, mas não deve absorver toda a política científica nem suprimir o debate sobre riscos, direitos, transparência e distribuição de benefícios.

A teoria da securitização é pertinente para examinar esse processo. Buzan, Wæver e de Wilde demonstram como questões se transformam em ameaças de segurança e como essa transformação pode autorizar medidas excepcionais (BUZAN; WÆVER; DE WILDE, 1998). Booth acrescenta a preocupação de que segurança seja pensada em relação à emancipação e à proteção de pessoas e não apenas ao fortalecimento do aparato estatal (BOOTH, 1991).

Os conceitos relacionados à Defesa e segurança não negam a importância da autossuficiência tecnológica. Na verdade, funcionam como controle analítico contra a expansão ilimitada da linguagem de ameaça. A dependência do Global Position System (GPS), a vulnerabilidade criptográfica e a competição quântica são problemas reais, mas suas respostas precisam ser proporcionais, testáveis e justificáveis publicamente. A defensável soberania tecnológica não deve operar como justificativa automática para segredo, aquisições sem avaliação ou concentração institucional não supervisionada alinhada a um processo de securitização imediato.

8 DISCUSSÃO: O BRASIL ESTÁ CONSTRUINDO SOBERANIA QUÂNTICA?

A resposta depende do significado atribuído a soberania. Se soberania implica produzir internamente todos os componentes, controlar todas as cadeias produtivas, operar sistemas quânticos militares e dispensar completamente parceiros externos, as evidências disponíveis não sustentam essa conclusão. Não foram encontrados elementos comprobatórios suficientes sobre autonomia de sistema ou de emprego, e qualquer afirmação nesse sentido seria prematura ou até mesmo leviana.

A soberania entendida como preservação de agência pública e construção de capacidades para reduzir dependências unilaterais, permite uma resposta mais favorável, embora mereça ser qualificada. O FNDCT formula autonomia tecnológica como objetivo formal, inclui tecnologias quânticas, navegação e sensoriamento, reconhece bloqueios internacionais e prevê arranjos entre ICTs e empresas (BRASIL, 2025c). O DCT detém competências institucionais para orientar pesquisa, articular indústria, avaliar, nacionalizar e formar pessoal (BRASIL, 2024). Esses elementos demonstram orientação normativa e capacidade institucional potencial — não realização.

O Córtex mobiliza cooperação interinstitucional em tecnologias quânticas (BRASIL, 2025b). A QuIIN, QuantumTec, as Redes Rio e Hermes e o Mapa da RNP indicam infraestrutura, atores e atividades em diferentes estágios de maturidade

(EMBRAPII, s.d.; IBICT, 2025; ABREU; VASSOLER; FARIAS, 2026; ICTP-SAIFR, s.d.; IME, 2025). A existência de componentes complementares não demonstra, por si só, que estejam integrados em uma arquitetura operacional.

A conclusão mais sustentável é que o Brasil dispõe de uma pauta de desenvolvimento científico formal e de uma arquitetura institucional em desenvolvimento e compatíveis com a construção de autonomia tecnológica prospectiva. A autonomia efetiva exige resultados demonstráveis, integração sistêmica, manutenção, substituição de fornecedores e liberdade de emprego. Em perspectiva comparada, o Brasil oferece um caso analiticamente relevante sobre como um Estado de recursos intermediários organiza capacidades em uma fronteira tecnológica aberta.

As iniciativas analisadas são compatíveis com uma orientação de autonomia por antecipação porque buscam agir antes que certas dependências, padrões e aplicações se consolidem. O FNDCT formula alternativas antes de uma eventual negação de redes de navegação. O Córtex reúne atores antes de a cibersegurança quântica estar madura. A QuIIN, QuantumTec e as Redes Rio e Hermes desenvolvem competências antes de existir mercado ou arquitetura militar plenamente definidos (BRASIL, 2025b; BRASIL, 2025c; EMBRAPII, s.d.; IBICT, 2025; ICTP-SAIFR,2025; IME, 2025).

O ponto central do artigo é interpretativo no sentido de que a antecipação é uma leitura plausível da orientação documentada, mas não é um resultado comprovado.

A interpretação também reformula a noção de tempo em política tecnológica. Em áreas maduras, o atraso costuma ser medido em anos de produção e participação de mercado. No caso tecnologias quânticas, pode ser aferido em padrões não influenciados ou estabelecidos, competências não formadas, dados não controlados, fornecedores não diversificados e requisitos não definidos. Um país pode parecer próximo em número de projetos e ainda estar distante em capacidade de integração.

Os dados do estudo apontam quatro gargalos. O primeiro é a coordenação: o ecossistema possui múltiplos integrantes, mas exige maior coordenação da arquitetura nacional. O segundo é a demanda: o FNDCT reconhece que, sem validação pela Força e orçamento, a tecnologia pode não se fixar no setor produtivo (BRASIL, 2025c). O

terceiro é a absorção: pesquisa, indústria e Defesa precisam compartilhar problemas e conhecimentos, não basta assinar acordos. O quarto é a continuidade: os projetos quânticos exigem projeções temporais que extrapolam ciclos políticos, mas dependem de financiamento e prioridades sujeitas a mudanças governamentais.

Quadro 3 - Estágio da evidência pública sobre capacidades quânticas no Brasil

Dimensão	Evidência brasileira	Avaliação no recorte
Agenda e formulação	FNDCT, Córtex e documentos de Defesa	Demonstrada no plano normativo
Governança e articulação	DCT, cooperação com Paraná e participação institucional	Formalização documentada e integração efetiva não demonstrada
Infraestrutura científica	QuantumTec e redes de pesquisa	Infraestrutura e linhas de pesquisa demonstradas e resultados militares não demonstrados
Inovação industrial	QuIIN e participação empresarial	Linhas de hardware e protocolos demonstradas; escala produtiva não demonstrada
Comunicação quântica	Redes Rio e Hermes; testes QKD e enlaces em desenvolvimento	Competência experimental com infraestrutura promissora e emprego militar não demonstrado
Padrões e interoperabilidade	Debate internacional em consolidação	Oportunidade aberta e participação brasileira que precisa ser documentada
Navegação sem GNSS	Objetivo do FNDCT e agenda internacional	Relevante como problema; e capacidade brasileira não demonstrada
Sensoriamento quântico	Linha estratégica e pesquisa global	Potencial estratégico e emprego brasileiro não demonstrado
Capacidade de sistema	Não há resultado público suficiente no corpus	Não demonstrada
Continuidade	Programa de 60 meses e previsão 2025–2029	Prevista no desenho, execução e orçamento que dependem de confirmação

Fonte: Autor (2026)

A tabela não deve ser lida como classificação definitiva nem como mensuração de desempenho no aspecto físico. Pode-se inferir o estágio da evidência pública. O resultado central é mostrar que a política brasileira avançou mais no planejamento e na formação institucional do que na comprovação de capacidade de sistema e de emprego.

9 IMPLICAÇÕES PARA POLÍTICA PÚBLICA E PESQUISA

A primeira implicação é traduzir autonomia em requisitos verificáveis. Cada projeto deve declarar quais dependências pretende reduzir, quais continuará aceitando, quais componentes são críticos, qual nível de maturidade espera alcançar, quem será o usuário, como ocorrerá a avaliação e qual será o plano de sustentação. A inexistência dessa tradução faz com que a soberania permaneça como conceito político sem poder de orientação operacional.

A segunda é priorizar as capacidades transversais. A disputa simultânea de todas as plataformas de computação quântica pode estar além das possibilidades brasileiras. Possivelmente, desenvolver competências em sensores, fotônica, metrologia, controle, software, criptografia pós-quântica, integração e testes é mais factível e pode servir a diferentes missões, gerando transbordamentos civis relevantes (spin in).

A terceira implicação diz respeito ao fortalecimento do papel do usuário militar. O DCT e o Exército devem participar desde a compreensão do problema até a avaliação operacional, sem transformar a pesquisa básica em simples fornecedora de equipamento. Os requisitos precisam ser suficientemente concretos para orientar a indústria e suficientemente abertos para permitir inovação. A demanda deve abranger testes, manutenção, treinamento e atualização, não somente aquisição.

A quarta implicação é desenvolver indicadores que meçam além do número de projetos e publicações, mas que mensurem protótipos testados, níveis de maturidade tecnológica, patentes com exploração efetiva, transferência de tecnologia, empresas sobreviventes, participação de componentes críticos, disponibilidade, formação de operadores, interoperabilidade e resultados em ambiente relevante. O próprio FNDCT prevê indicadores de patentes, software, licenciamento, projetos com empresas e publicações (BRASIL, 2025c). O desafio agora está em articulá-los a resultados de Defesa mensuráveis.

10 ASPECTOS CONCLUSIVOS

A análise documental responde afirmativamente, mas de forma qualificada, à pergunta sobre a existência de uma agenda brasileira de autonomia tecnológica em tecnologias quânticas. O Programa 09 do FNDCT articula autonomia, navegação, sensoriamento, cibersegurança e tecnologias quânticas (BRASIL, 2025c). O Córtex reúne Exército, governo estadual, academia e setor produtivo nessa agenda (BRASIL, 2025b).

O DCT detém competências que o colocam em posição institucional compatível com a articulação entre pesquisa, indústria, avaliação, nacionalização, software, comando e controle, logística e formação (BRASIL, 2024). QuIIN, QuantumTec e as Redes Rio e Hermes demonstram que a construção de capacidade depende de um ecossistema científico e industrial, não apenas de uma instituição militar (EMBRAPII, s.d.; IBICT, 2025; ABREU; VASSOLER; FARIAS, 2026; ICTP-SAIFR, s.d.; IME, 2025). O artigo, contudo, não afirma que esses elementos já operem como sistema integrado.

A tese central não é que o Brasil tenha alcançado soberania quântica. A pesquisa não demonstra sistemas quânticos militares em operação, navegação quântica embarcada, rede de comunicação quântica de Defesa ou domínio de cadeias completas de componentes. O resultado mais sólido é que o Brasil formulou uma pauta estratégica e iniciou a construção de competências antes da consolidação de parte dos padrões, das cadeias de suprimento e das dependências quânticas.

A antecipação é interpretada como estratégia adequada para um país de recursos intermediários porque preserva opções futuras por meio de autonomia seletiva, cooperação e domínio de integração, sem prometer autarquia (WALTZ, 1979; FARRELL; NEWMAN, 2019; EDLER; BLIND; KROLL; SCHUBERT, 2023). Destaca-se que a afirmação é uma interpretação da orientação documentada, não uma demonstração causal definitiva.

O avanço dependerá da passagem entre os níveis de diretrizes, conhecimento, protótipo, teste, aquisição, emprego e sustentação. Se a cadeia for interrompida, a

soberania permanecerá retórica e se for completada em partes não planejadas, poderá gerar autonomia seletiva inconsistente, sem autonomia plena. O diagnóstico produzido aqui tem seu mérito precisamente em indicar onde a evidência atual é mais forte e onde persistem lacunas a preencher.

A contribuição do caso reside na tensão entre recursos limitados e fronteira tecnológica aberta. Em vez de comparar o Brasil a uma escala abstrata de liderança tecnológica, o artigo o situa diante de trajetórias contextuais do Sul Global e identifica a forma de liberdade decisória que a política brasileira procura construir.

Por fim, o Córtex, o DCT, as Redes Rio e Hermes e os instrumentos correlatos devem ser avaliados pela conversão de cooperação em conhecimento absorvido, de testes em sistemas funcionais e de infraestrutura em liberdade de ação sustentável, permitindo a constatação de agenda governamental em construção como principal resultado aplicado do artigo.

REFERÊNCIAS

ABREU, Diego; VASSOLER, Gabriel; FARIAS, Fernando. **Mapa das Tecnologias Quânticas no Brasil**: Plataforma de Observação do Ecossistema Nacional. Anais do I Simpósio Brasileiro de Computação e Comunicação Quânticas, 2026. DOI: 10.5753/sbccq.2026.23309. Disponível em: https://sol.sbc.org.br/index.php/sbccq/article/view/43266. Acesso em: 10 ago. 2026.

ACHARYA, Amitav. Global International Relations (IR) and Regional Worlds: A New Agenda for International Studies. **International Studies Quarterly**, v. 58, n. 4, p. 647–659, 2014. DOI: 10.1111/isqu.12171. Disponível em: https://academic.oup.com/isq/article/58/4/647/1807850. Acesso em: 16 jun. 2026.

BEACH, Derek; PEDERSEN, Rasmus Brun. **Process-Tracing Methods**: Foundations and Guidelines. 2. ed. Ann Arbor: University of Michigan Press, 2019. DOI: 10.3998/mpub.10072208.

BOOTH, Ken. Security and emancipation. **Review of International Studies**. 1991;17(4):313-326 DOI: 10.1017/S0260210500112033.

BOWEN, Glenn A. Document Analysis as a Qualitative Research Method. **Qualitative Research Journal**, v. 9, n. 2, p. 27–40, 2009. DOI: 10.3316/QRJ0902027.

BRASIL. EXÉRCITO BRASILEIRO. DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Missão, Visão e Valores**. 8 maio 2024. Disponível em: https://www.dct.eb.mil.br/institucional/missao-visao-e-valores. Acesso em: 09 jun. 2026.

BRASIL. 2025a. **Decreto nº 12.725, de 18 de novembro de 2025**. Aprova a Política Nacional de Defesa, a Estratégia Nacional de Defesa e o Livro Branco de Defesa Nacional. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2025/decreto/D12725.htm. Acesso em: 13 mai. 2026.

BRASIL. 2025b. EXÉRCITO BRASILEIRO. DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Exército Brasileiro e Governo do Paraná firmam Acordo de Cooperação Técnica para o Projeto Córtex. 22 dez. 2025**. Disponível em: https://www.dct.eb.mil.br/noticias/exercito-brasileiro-e-governo-do-parana-firmam-acordo-de-cooperacao-tecnica-para-o-projeto-cortex. Acesso em: 21 jun. 2026.

BRASIL. 2025c. MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO**. Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico**. Termo de Referência — Programa 09: Promoção da Autonomia Tecnológica na Área da Defesa. **Documento SEI nº 12888871, 2025**. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/fndct/paginas/planejamento/programas-estruturantes-e-mobilizadores/TR_Programa_09_readaDefesa.pdf. Acesso em: 12 jun. 2026.

BUZAN, Barry; WÆVER, Ole; DE WILDE, Jaap. **Security**: A New Framework for Analysis. Boulder: Lynne Rienner, 1998.

COOPER, Andrew F.; HIGGOTT, Richard A.; NOSSAL, Kim Richard. **Relocating Middle Powers**: Australia and Canada in a Changing World Order. Vancouver: UBC Press, 1993.

EDLER, Jakob; BLIND, Knut; KROLL, Henning; SCHUBERT, Torben. Technology sovereignty as an emerging frame for innovation policy: defining rationales, ends and means. **Research Policy**, v. 52, n. 6, 104765, 2023. DOI: 10.1016/j.respol.2023.104765. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.respol.2023.104765. Acesso em: 14 ago. 2026.

EMBRAPII. Centro de Competência E**mbrapii em Tecnologias Quânticas (QuIIN — SENAI CIMATEC)**. [s.d.]. Disponível em: https://embrapii.org.br/centro-competencia/centro-de-competencia-embrapii-em-tecnologias-quanticas-quiin-senai-cimatec/. Acesso em: 16 jun. 2026.

ETZKOWITZ, Henry; LEYDESDORFF, Loet. The dynamics of innovation: from National Systems and "Mode 2" to a Triple Helix of university–industry–government relations. **Research Policy**, v. 29, n. 2, p. 109–123, 2000. DOI: 10.1016/S0048-7333(99)00055-4.

FARRELL, Henry; NEWMAN, Abraham L. Weaponized interdependence: how global economic networks shape state coercion. **International Security**, v. 44, n. 1, p. 42–79, 2019. DOI: 10.1162/ISEC_a_00351. Disponível em: https://doi.org/10.1162/ISEC_a_00351. Acesso em: 25 ago. 2026.

GILLI, Andrea; GILLI, Mauro. Why China Has Not Caught Up Yet: Military-Technological Superiority, Systems Integration, and the Challenges of Imitation, Reverse Engineering, and Cyber-Espionage. **International Security**, v. 43, n. 3, p. 141–189, 2019. DOI: 10.1162/isec_a_00337. Disponível em: https://doi.org/10.1162/isec_a_00337. Acesso em: 25 mai. 2026.

IBICT. 2025. **CBPF inaugura Laboratórios de Tecnologias Quânticas e de Inteligência Artificial para a Física**. 17 jun. 2025. Disponível em: https://www.gov.br/ibict/pt-br/central-de-conteudos/noticias/2025/junho/cbpf-inaugura-laboratorios-de-tecnologias-quanticas-e-de-inteligencia-artificial-para-a-fisica. Acesso em: 06 jun. 2026.

ICTP-SAIFR. **Especial Quântica – Comunicação quântica – Brasil**. 14 jul. 2025. Disponível em: https://outreach.ictp-saifr.org/quantica-comunicacao-quantica-brasil/. Acesso em: 19 jul. 2026.

INDIA. DEPARTMENT OF SCIENCE AND TECHNOLOGY. **National Quantum Mission (NQM)**. New Delhi, atualização de 21 maio 2026. Disponível em: https://dst.gov.in/national-quantum-mission-nqm. Acesso em: 22 ago. 2026.

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA. **IME ativa canal quântico pioneiro e avança rumo à Internet Quântica no Brasil**. 12 nov. 2025. Disponível em: https://www.ime.eb.mil.br/home/noticias/ime-internet-quantica-no-brasil. Acesso em: 16 jul. 2026.

JORDAAN, Eduard. The concept of a middle power in international relations: distinguishing between emerging and traditional middle powers. **Politikon**, v. 30, n. 1, p. 165–181, 2003. DOI: 10.1080/0258934032000147282.

KEOHANE, Robert O. Lilliputians' dilemmas: small states in international politics. **International Organization**, v. 23, n. 2, p. 291–310, 1969. DOI: 10.1017/S002081830003160X.

MAZZUCATO, Mariana. **O Estado Empreendedor**: desmascarando o mito do setor público vs. o setor privado. Tradução de Elvira Serapicos. São Paulo: Portfolio-Penguin/Companhia das Letras, 2014.

NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY. **Turning atoms into waves to measure gravity and acceleration**. 2026. Disponível em: https://www.nist.gov/quantum-information-science/quantum-sensing-explained/turning-atoms-waves-measure-gravity-and. Acesso em: 24 ago. 2026.

NATIONAL SCIENCE AND TECHNOLOGY COUNCIL. SUBCOMMITTEE ON QUANTUM INFORMATION SCIENCE. **National Quantum Initiative**: Supplement to the President's FY 2025 Budget. 2024. Disponível em: https://www.quantum.gov/wp-content/uploads/2024/12/NQI-Annual-Report-FY2025.pdf. Acesso em: 22 jul. 2026.

OECD. A quantum technologies policy primer. **OECD Digital Economy Papers**, n. 371, 2025. DOI: 10.1787/fd1153c3-en. Disponível em: https://doi.org/10.1787/fd1153c3-en. Acesso em: 17 jul. 2026.

OLIVEIRA, Thays Felipe David de; AZEVEDO, Carlos Eduardo Franco; ARAÚJO-MOREIRA, Fernando M. Tecnologias quânticas na defesa do Brasil: desafios, oportunidades e roadmap. **Revista Brasileira de Estudos de Defesa**, v. 13, n. 1, e026007, p. 1–37, 2025. DOI: 10.26792/rbed.v13i1.75486. Disponível em: https://rbed.abedef.org/rbed/article/view/75486. Acesso em: 16 jul. 2026.

ROSEN, Stephen Peter. **Winning the Next War: Innovation and the Modern Military**. Ithaca: Cornell University Press, 1991. Disponível em: https://cornellpress.cornell.edu/book/9780801481963/winning-the-next-war/. Acesso em: 12 mai. 2026.

SAINT-PIERRE, Héctor Luis. "Defesa" ou "segurança"? Reflexões em torno de conceitos e ideologias. **Contexto Internacional**, v. 33, n. 2, p. 407–433, 2011. Disponível em: https://www.scielo.br/j/cint/a/7hYQwTNRzvcqfr9dqMd3PKJ/. Acesso em: 16 ago. 2026.

SOUTH AFRICAN QUANTUM TECHNOLOGY INITIATIVE. **SA QuTI**: Driving Quantum Technologies, [s.d.]. Disponível em: https://saquti.org/. Acesso em: 19 jul. 2026.

SUTER, Viktor; PÖHLMANN, Gina; MA, Charles; MECKEL, Miriam. Quantum technologies and geopolitics: comparing parliamentary rhetoric. **EPJ Quantum Technology**, v. 13, art. 10, 2026. Publicado online em 19 dez. 2025. DOI: 10.1140/epjqt/s40507-025-00456-w. Disponível em: https://doi.org/10.1140/epjqt/s40507-025-00456-w. Acesso em: 16 jul. 2026.

TERZIS, Petros; TEN OEVER, Niels; VAN HOBOKEN, Joris. "Scale Quantum, not bureaucracy": policy logics and geopolitical anxieties in the standardization of quantum technologies. **Journal of Standardisation**, v. 5, 2026. DOI: 10.59490/jos.2026.8497. Disponível em: https://doi.org/10.59490/jos.2026.8497. Acesso em: 28 ago. 2026.

UNITED KINGDOM. **Un-jammable quantum tech takes flight to boost UK's resilience against hostile actors**. 13 maio 2024. Disponível em: https://www.gov.uk/government/news/un-jammable-quantum-tech-takes-flight-to-boost-uks-resilience-against-hostile-actors. Acesso em: 22 jul. 2026.

VAN DEVENTER, Oskar et al. Towards European standards for quantum technologies. EPJ **Quantum Technology**, v. 9, art. 33, 2022. DOI: 10.1140/epjqt/s40507-022-00150-1. Disponível em: https://doi.org/10.1140/epjqt/s40507-022-00150-1. Acesso em: 09 jun. 2026.

WALTZ, Kenneth N. **Theory of International Politics**. Reading, Mass.: Addison-Wesley Publishing Company, 1979. 251 p.

Autoria

1 Jarbas Alfeu de Paula Júnior

Graduação em Ciências Militares pela Academia Militar das Agulhas Negras; Mestre em Ciências Militares pela Escola de Aperfeiçoamento de Oficiais; Pós-graduação em Cibersegurança e Gestão da Defesa pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS); Integrante do Laboratório de Ciências Militares; Oficial do Exército Brasileiro; Doutorando em Ciências Militares do Instituto Meira Mattos
https://orcid.org/0009-0009-1502-2943 • jarbas.alfeu@gmail.com

Como citar este artigo

PAULA JÚNIOR, J. A. Autonomia tecnológica e tecnologias quânticas na defesa: o caso brasileiro. **InterAção**, Santa Maria, v. 17, n. 3, e98717, p. 1-38, 2026. DOI 10.5902/2357797598717. Disponível em: https://dx.doi.org/10.5902/2357797598717. Acesso em: dia mês abreviado. ano.