



Bruxelas, 2.7.2025
COM(2025) 363 final

**COMUNICAÇÃO DA COMISSÃO AO PARLAMENTO EUROPEU E AO
CONSELHO**

Estratégia para uma Europa Quântica: a Europa Quântica num mundo em mudança

A Europa Quântica num mundo em mudança

1.1 Introdução

A Europa é um continente quântico¹. Desde os precursores emblemáticos, como Max Planck, Albert Einstein, Niels Bohr e Erwin Schrödinger, até aos atuais pioneiros e laureados com o Prémio Nobel, como Theodor Haensch, Albert Fert, Serge Haroche, Anton Zeilinger, Alain Aspect e Anne L’Huillier, a Europa é desde sempre o palco da ciência quântica.

Os progressos na ciência quântica representam alguns dos desenvolvimentos mais transformadores da história tecnológica. O Relatório Draghi² refere-se à tecnologia quântica como a próxima inovação pioneira no domínio da computação, que poderá criar novas oportunidades para a competitividade industrial e a soberania tecnológica da UE.

Encontramo-nos hoje num ponto de viragem, uma vez que a corrida mundial para dominar as tecnologias quânticas está a acelerar, indo além dos laboratórios e entrando em aplicações do mundo real. Desde *scanners* de imagiologia por ressonância magnética (IRM) nos cuidados de saúde e avanços importantes no setor da energia, até sensores gravimétricos para geofísica e navegação, comunicações seguras e computação quântica para resolver problemas complexos na logística e nas finanças, estas inovações começam a reconfigurar as principais indústrias e infraestruturas sociais.

As tecnologias quânticas também têm um potencial de dupla utilização³, o que as torna úteis tanto para aplicações de defesa como para aplicações de segurança nacional, impulsionando assim o interesse estratégico dos principais intervenientes públicos e privados.

Neste contexto, a UE identificou a tecnologia quântica como uma tecnologia crítica⁴ na sua Estratégia de Segurança Económica⁵ e no Livro Branco Conjunto — Preparação da defesa europeia 2030⁶.

Os primeiros esforços de industrialização em grande escala estão atualmente em curso em todo o mundo, em especial nos EUA, impulsionados por investimentos privados maciços de empresas de alta tecnologia, e na China, sustentados em grande medida por financiamento público.

A Europa alcançou progressos notáveis em matéria de excelência científica quântica: possui a maior concentração de talentos quânticos do mundo e ocupa o primeiro lugar a nível mundial no número de publicações científicas. A UE tem também um dos maiores ecossistemas de empresas quânticas em fase de arranque⁷. Cerca de um terço das empresas quânticas do mundo

¹ As tecnologias quânticas aplicam os princípios da mecânica quântica para executar tarefas que são impossíveis de resolver ou resolvidas de forma altamente ineficiente pelas tecnologias tradicionais. Os principais domínios das tecnologias quânticas incluem a computação e simulação quânticas, a deteção quântica e a comunicação quântica.

² [Relatório Draghi sobre o Futuro da Competitividade da UE](#).

³ Para efeitos da presente estratégia, entende-se por **potencial de dupla utilização** a capacidade das tecnologias quânticas para servir tanto fins civis como fins de segurança/defesa. A expressão é aqui utilizada num sentido mais lato e prospetivo do que o termo jurídico «produtos de dupla utilização» na aceção do Regulamento (UE) 2021/821 relativo ao controlo das exportações.

⁴ [Recomendação \(UE\) 2023/2113 da Comissão, de 3 de outubro de 2023, relativa a domínios tecnológicos críticos para a segurança económica da UE, visando a realização de uma nova avaliação dos riscos com os Estados-Membros](#).

⁵ JOIN(2023) 20 final; <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:52023JC0020>.

⁶ [Livro Branco Conjunto — Preparação da defesa europeia 2030 | SEAE](#).

⁷ [McKinsey & Company, Quantum Technology Monitor — April 2024](#).

estão sediadas na UE⁸, e os fornecedores da UE fornecem quase metade dos componentes de *hardware* e *software* utilizados em computadores quânticos⁹.

No entanto, a Europa **registra atualmente um atraso na conversão das suas capacidades de inovação e do seu potencial futuro em verdadeiras oportunidades de mercado**. Consequentemente, ocupa à data apenas o terceiro lugar a nível mundial no depósito de patentes para a computação, deteção e comunicação quânticas¹⁰.

Além disso, **os esforços da Europa continuam fragmentados entre os Estados-Membros e as agências de financiamento nacionais e regionais**. Nos últimos cinco anos, a UE e os Estados-Membros investiram mais de 11 mil milhões de EUR em tecnologias quânticas. Embora vários Estados-Membros tenham desenvolvido as suas próprias estratégias e roteiros nacionais, a coordenação insuficiente conduziu a uma duplicação de esforços, a uma utilização ineficiente dos recursos e a uma concorrência crescente pelo talento. Esta situação pode comprometer a capacidade da UE para criar massa crítica e escala, abrandando o processo de comercialização e, em última análise, limitando o desenvolvimento de uma capacidade industrial europeia competitiva a nível mundial e de um mercado quântico europeu unificado.

Por outro lado, **embora a Europa desempenhe um papel de liderança no empreendedorismo quântico em fase inicial, o seu ecossistema emergente carece atualmente de apoio financeiro sustentável e de perspetivas de mercado suficientes**. A Europa também carece de utilizadores precoces da tecnologia quântica entre os grandes intervenientes industriais, privando os ecossistemas emergentes de empresas em fase de arranque de perspetivas de mercado suficientes.

Com base na Bússola para a Competitividade¹¹, que inclui o setor das «tecnologias quânticas» entre os principais setores tecnológicos que serão importantes para a economia de amanhã¹², a presente iniciativa apresenta, em forte alinhamento com as partes interessadas do setor quântico¹³, uma estratégia abrangente para assegurar que a Europa mantém uma posição de liderança na corrida mundial às referidas tecnologias. Ao apoiar o desenvolvimento desta tecnologia com potencial de dupla utilização na UE, a presente estratégia contribuirá igualmente para a aplicação das recomendações da Estratégia para uma União da Preparação¹⁴, do Relatório Niinistö¹⁵, do Livro Branco Conjunto — Preparação da defesa europeia 2030¹⁶, da Estratégia de Segurança Interna ProtectEU¹⁷ e da Estratégia Digital Internacional para a UE¹⁸.

⁸ Lewis, A., Scudo, P., Cerutti, I., Travagnin, M., Marcantonini, C. *et al.*, *Future Directions for Quantum Technology in Europe* (não traduzido para português), Serviço das Publicações da União Europeia, Luxemburgo, 2025, JRC141050. Previsto para meados de julho.

⁹ [Banco Europeu de Investimento — A Quantum Leap in Finance \(2022\)](#) (não traduzido para português).

¹⁰ Ver a nota de rodapé 8.

¹¹ [Bússola para a Competitividade — Comissão Europeia](#).

¹² A Estratégia Europeia em matéria de Segurança Económica e a Recomendação da Comissão conexa de 3 de outubro de 2023 incluem as tecnologias quânticas entre os domínios tecnológicos críticos.

¹³ Conforme expresso nas respostas ao convite à apresentação de contributos lançado antes da publicação da Estratégia para uma Europa Quântica: [Estratégia da UE para as Tecnologias Quânticas](#). As partes interessadas manifestaram a opinião de que a Estratégia para uma Europa Quântica deve acelerar a transição do laboratório para a fábrica, sem negligenciar o papel capital da investigação fundamental, expandir as infraestruturas quânticas pan-europeias existentes e desenvolver uma mão de obra qualificada e formada em tecnologias quânticas. Salientam igualmente a importância de aumentar as capacidades de produção da União e de eliminar os obstáculos financeiros, regulamentares e administrativos que limitam ou atrasam o crescimento das empresas em fase de arranque até se tornarem empresas maduras e rentáveis no mercado único.

¹⁴ [Preparação — Comissão Europeia](#).

¹⁵ Relatório Niinistö https://commission.europa.eu/document/download/5bb2881f-9e29-42f2-8b77-8739b19d047c_en?filename=2024_Niinisto-report_Book_VF.pdf.

¹⁶ Ver a nota de rodapé 6.

¹⁷ [Commission presents ProtectEU Internal Security Strategy — Comissão Europeia](#).

¹⁸ [Comunicação Conjunta «Estratégia Digital Internacional para a UE», de 5 de junho de 2025](#).

1.2 Europa Quântica: visão e quadro estratégico de execução

A Europa está muito bem posicionada para liderar a revolução quântica em curso. Existe uma visão e esta consiste em transformar a Europa numa potência industrial quântica e num líder do mercado mundial no domínio das tecnologias quânticas, com base numa liderança científica sustentada.

A visão estratégica da UE tira partido dos seus pontos fortes: investigação de craveira mundial, excelência científica, uma base dinâmica de empresas em fase de arranque e uma forte estrutura de investimento público. Estes pilares fundamentais são essenciais para combater a fragmentação, acelerar a implantação industrial e assegurar a autonomia estratégica em matéria de tecnologias quânticas.

Para concretizar esta visão, a estratégia centra-se em cinco domínios interligados:

- **Domínio 1 — Investigação e inovação:** consolidar a excelência em toda a Europa para liderar a ciência quântica e a sua transformação industrial.
- **Domínio 2 — Infraestruturas quânticas:** desenvolver polos de infraestruturas sustentáveis, moduláveis e coordenados para apoiar a produção, a conceção e o desenvolvimento de aplicações.
- **Domínio 3 — Reforço do ecossistema quântico da UE:** assegurar as cadeias de abastecimento e a industrialização das tecnologias quânticas através de investimentos em empresas em fase de arranque e em fase de expansão.
- **Domínio 4 — Tecnologias quânticas espaciais e com potencial de dupla utilização (segurança e defesa):** integrar capacidades quânticas seguras e soberanas nas estratégias da Europa em matéria de espaço, de segurança e de defesa.
- **Domínio 5 — Competências quânticas:** criar uma mão de obra diversificada e de craveira mundial através de sistemas e programas de educação e formação flexíveis e coordenados e promover a mobilidade de talentos em toda a UE.

Os cinco domínios estratégicos são apoiados por uma abordagem de execução inteligente. Conforme descrito mais abaixo, na secção 3.1, «Principais componentes de execução da Estratégia para uma Europa Quântica», a abordagem basear-se-á num ciclo iterativo de desenvolvimento tecnológico ao longo do ciclo de vida que ligará continuamente as descobertas científicas quânticas a aplicações do mundo real e ao mercado, resultando num impacto económico a curto e longo prazo. Esta abordagem de execução ajudará a atrair os principais utilizadores industriais e públicos, assegurando o acesso ao mercado e a sustentabilidade do ecossistema quântico emergente da UE.



Figura 1: Cinco domínios estratégicos para a Europa Quântica

Em complemento do ciclo de vida da execução, a UE estabelecerá um quadro de governação estratégica para supervisionar e facilitar o progresso.

A estratégia baseia-se na Declaração Europeia sobre as Tecnologias Quânticas de 2023¹⁹, que marcou um passo político fundamental, alinhando os Estados-Membros em torno de prioridades comuns e dos valores europeus. Baseia-se igualmente nas conclusões dos grupos de trabalho de peritos de todos os Estados-Membros da UE²⁰, criados sob a coordenação do Grupo de Coordenação das Tecnologias Quânticas²¹.

2 Domínios estratégicos da Europa Quântica

2.1 Domínio 1: investigação e inovação na Europa Quântica

A base de investigação quântica da Europa, apoiada por vários programas nacionais e da UE, criou uma base científica sólida. Nos últimos cinco anos, a UE investiu quase 2 mil milhões de EUR em tecnologias quânticas, complementados por mais de 9 mil milhões de EUR de financiamento público adicional dos Estados-Membros. Estes fundos apoiaram a investigação e a educação quânticas, a criação de polos nacionais quânticos e de centros híbridos de supercomputadores quânticos clássicos, a indústria da tecnologia quântica e parcerias internacionais.

Apesar do financiamento significativo a nível nacional e da UE, a investigação quântica da Europa continua fragmentada entre os Estados-Membros e os instrumentos, o que resulta em duplicações, lacunas em domínios prioritários e concorrência por talentos escassos. Sem coordenação e sem uma ênfase clara nas prioridades estratégicas comuns, a Europa ficará aquém das suas ambições quânticas.

Por conseguinte, a Comissão propõe uma **Iniciativa de Investigação e Inovação Europa Quântica** específica. Esta iniciativa terá por objetivo alinhar os esforços da UE e dos Estados-Membros em torno de uma agenda comum de investigação, tecnologia e inovação. Centrará os esforços em temas comuns e definirá metas comuns para assegurar a coerência, evitar sobreposições e criar massa crítica.

Esta iniciativa será estruturada em torno das seguintes fases principais de atividade:

- **Descobrir:** apoiar ações de investigação fundamental, desenvolvimento tecnológico e inovação nos domínios da computação, comunicação e deteção quânticas.
- **Do laboratório à fábrica:** continuar a investir na construção das infraestruturas de computação, comunicação e deteção quânticas mais avançadas, em *hardware* quântico e tecnologias facilitadoras pertinentes, bem como em linhas-piloto e ferramentas de conceção de ponta para apoiar a industrialização e o desenvolvimento de ecossistemas.
- **Aplicar e utilizar:** apoiar o desenvolvimento de aplicações em setores públicos e industriais essenciais, assegurando a tradução dos progressos científicos em todos os domínios quânticos em aplicações e impacto no mundo real.

Para além do que precede, a iniciativa incluirá igualmente investimentos na atração de talentos e no desenvolvimento de competências, a fim de assegurar uma futura mão de obra industrial quântica bem formada.

A Iniciativa de Investigação e Inovação Europa Quântica será executada através de um quadro de governação a nível da UE, que será definido na futura proposta de ato legislativo sobre as

¹⁹ <https://digital-strategy.ec.europa.eu/pt/library/european-declaration-quantum-technologies>.

²⁰ <https://digital-strategy.ec.europa.eu/pt/library/shaping-european-strategy-quantum-technology-main-orientations-and-recommendations>.

²¹ <https://ec.europa.eu/transparency/expert-groups-register/screen/expert-groups/consult?lang=pt&groupID=3931>.

tecnologias quânticas. Entretanto, o mandato da Empresa Comum EuroHPC²² será alargado através de uma alteração do seu regulamento de base, assegurando uma coordenação sem descontinuidades com os programas Horizonte Europa, Europa Digital, Espaço e Defesa, bem como com outros instrumentos de financiamento.

- Alterar o Regulamento Empresa Comum EuroHPC a fim de alargar o seu mandato a todas as tecnologias quânticas e, numa primeira fase, transferir as atuais atividades quânticas de I&I do pilar 2 do Horizonte Europa para a Empresa Comum [terceiro trimestre de 2025]
- Apresentar a proposta de ato legislativo sobre as tecnologias quânticas [2026]

2.2 Domínio 2: infraestruturas da Europa Quântica

A UE está atualmente a investir em grandes iniciativas em matéria de infraestruturas quânticas, como os sistemas de computação quântica no âmbito da Empresa Comum EuroHPC e a infraestrutura de comunicação quântica segura EuroQCI²³ no âmbito do Programa Conectividade Segura da União IRIS²⁴, bem como em plataformas de deteção avançadas. A UE está também a investir em várias linhas-piloto no âmbito da Empresa Comum dos Circuitos Integrados²⁵ para preparar a industrialização das tecnologias quânticas na Europa.

Estas infraestruturas quânticas financiadas por fundos públicos são um facilitador estratégico da ambição quântica da Europa. Proporcionam acesso a sistemas e plataformas quânticos de ponta que, de outro modo, continuariam fora do alcance da maioria das partes interessadas e utilizadores europeus do setor quântico devido aos elevados custos de desenvolvimento e acesso, à complexidade técnica ou à necessidade de serviços específicos, como a comunicação segura. Oferecem um banco de ensaio para a inovação, um terreno de formação para talentos e um espaço para a indústria, as PME e os investigadores experimentarem, compreenderem e moldarem o desenvolvimento de novas tecnologias quânticas. São essenciais para acelerar a adoção de tecnologias quânticas, reforçar a capacidade industrial e assegurar que os benefícios quânticos são amplamente distribuídos em toda a União.

Numa perspetiva de futuro, a UE manterá e expandirá os seus investimentos em infraestruturas quânticas públicas nos domínios da **computação e simulação**, das **comunicações** e da **deteção**, como se explica a seguir.

2.2.1 Computação e simulação quânticas

A computação quântica tem potencial para revolucionar a nossa capacidade de resolver problemas complexos de otimização da computação muito além do alcance até dos sistemas de computação de alto desempenho (HPC) mais potentes. Espera-se que o seu impacto seja catalisador em vários domínios, nomeadamente na simulação farmacêutica e química, o que poderá permitir a descoberta de novos medicamentos e substâncias químicas. No domínio da energia, a computação quântica pode ajudar a descobrir novos materiais para baterias ou supercondutores de alta temperatura. Oferece também perspetivas muito promissoras de melhorias em domínios como a logística e as finanças. Além disso, os computadores quânticos podem resolver os referidos problemas de uma forma muito mais eficiente do ponto de vista energético do que os supercomputadores clássicos. Em vez de substituir os sistemas de HPC, os computadores quânticos irão complementá-los, atuando como aceleradores para impulsionar o desempenho global da solução de computação e produzindo resultados muito mais

²² [REGULAMENTO \(UE\) 2021/1173 DO CONSELHO](#) que cria a Empresa Comum para a Computação Europeia de Alto Desempenho.

²³ [Iniciativa «Infraestrutura Europeia de Comunicação Quântica» \(EuroQCI\) | Construir o futuro digital da Europa.](#)

²⁴ [IRIS² | Conectividade Segura — Comissão Europeia, Regulamento \(UE\) 2023/588.](#)

²⁵ [Regulamento \(UE\) 2023/1782 do Conselho](#) que cria a Empresa Comum dos Circuitos Integrados.

rapidamente e de uma forma muito mais eficiente do ponto de vista energético. A tecnologia quântica é também cada vez mais utilizada a par e em apoio da IA. Por exemplo, a tecnologia quântica pode acelerar o treino de modelos de IA, ao passo que a IA contribui para a correção de erros quânticos, aumentando a fiabilidade global do sistema.

A computação quântica encontra-se atualmente numa fase determinante: embora existam processadores quânticos de pequena escala, o principal desafio a nível mundial é passar para computadores quânticos plenamente operacionais que possam demonstrar definitivamente a vantagem da computação quântica. O principal desafio neste momento consiste em construir máquinas de maior dimensão que possam proporcionar uma clara vantagem quântica²⁶ em comparação com os computadores clássicos. Nos próximos cinco a 10 anos, a capacidade dos computadores quânticos para resolver problemas do mundo real aumentará consideravelmente. É por esta razão que a UE e os seus Estados-Membros, bem como outros intervenientes importantes — desde a Austrália, o Canadá, a China, o Japão, a Coreia do Sul, o Reino Unido, até aos EUA — estão a investir fortemente em tecnologias quânticas que visam a liderança na revolução quântica²⁷. Estão atualmente a ser desenvolvidas várias plataformas de computação quântica, cada uma delas baseada numa abordagem tecnológica diferente²⁸. O quadro 1 enumera os computadores quânticos fornecidos por empresas com sede em diferentes regiões do mundo.

Plataforma tecnológica	Supercondutores	Barreiras iónicas	Átomos frios	Fotónica	Qubits de spin
 Máquinas da UE	 17	 6	 8	 5	 3
 Máquinas do Reino Unido	4	6	0	5	2
 Máquinas dos EUA	26	7	4	2	0
 Máquinas do Canadá	13	0	0	1	0
 Máquinas da China	2	0	0	0	0
 Máquinas do RDM ²⁹	1	0	0	1	3

Quadro 1: Panorama dos fornecedores de computação e simulação quânticas

²⁶ OCDE (2025), «[A Quantum Technologies Policy Primer](#)». A *vantagem quântica* refere-se ao momento em que um computador quântico desempenha uma tarefa específica de forma mais eficiente, mais rápida, com maior exatidão ou com menos energia do que os melhores supercomputadores clássicos possíveis. Este marco assinala uma demonstração prática da superioridade da computação quântica para determinados problemas computacionais, ainda que apenas em domínios restritos.

²⁷ Por exemplo, a Iniciativa Quântica Nacional dos EUA (<https://www.quantum.gov/>); o Roteiro quântico da China para 2030; a Estratégia de Tecnologia e Inovação Quânticas do Japão (https://www8.cao.go.jp/cstp/english/strategy_r08.pdf); a Estratégia Quântica Nacional da Austrália (<https://www.industry.gov.au/sites/default/files/2023-05/national-quantum-strategy.pdf>); a Estratégia Quântica Nacional do Canadá (<https://ised-isde.canada.ca/site/national-quantum-strategy/en/canadas-national-quantum-strategy>); a Estratégia Quântica Nacional do Reino Unido <https://www.gov.uk/government/publications/national-quantum-strategy>.

²⁸ Exemplos representativos de plataformas de computação incluem circuitos supercondutores, iões aprisionados, átomos neutros, fotónica, diamantes ou qubits de spin. Cada um deles apresenta vantagens e desafios de engenharia distintos em termos de escalabilidade computacional, fidelidade e coerência.

²⁹ Resto do mundo.

Através de programas nacionais e da iniciativa emblemática da UE para as tecnologias quânticas³⁰, a Europa está a desenvolver todas as principais tecnologias de computação quântica, conforme acima ilustrado. Estes esforços conduziram a protótipos funcionais, a conjuntos de ferramentas de *software* e a várias empresas derivadas (*spin-offs*) de tecnologia profunda. Além disso, através da Empresa Comum EuroHPC, a Europa já está a implantar os seus primeiros protótipos de sistemas de computação quântica em vários Estados-Membros (ver figura 2). Esta implantação precoce serve dois objetivos fundamentais: apoia a emergência de uma indústria quântica europeia autónoma, soberana e competitiva, criando um mercado precoce para os fornecedores de *hardware* e *software*, ao mesmo tempo que permite o desenvolvimento do mercado interno através do aumento do número e da escala dos casos de utilização e dos utilizadores.

A Europa também permitiu a hibridação precoce dos computadores quânticos com a HPC, alcançando assim a meta da Década Digital da UE de dispor de um primeiro computador com aceleração quântica em 2025³¹. Trata-se de um marco estratégico: apoia o ecossistema europeu de *hardware* quântico, promove a emergência de casos de utilização industrial e lança as bases para sistemas híbridos mais avançados — tudo isto contribui para o objetivo a longo prazo de alcançar uma plena capacidade de computação quântica até 2030. Esta hibridação permitirá também que as fábricas europeias de IA³² utilizem computadores quânticos, contribuindo desta forma para a consecução dos objetivos do Plano de Ação para um Continente da IA³³.

Numa perspetiva de futuro, a Iniciativa de Investigação e Inovação Europa Quântica continuará a apoiar atividades coordenadas para acelerar a transição dos atuais dispositivos quânticos da primeira geração para máquinas plenamente operacionais. O objetivo é colocar a Europa em posição de adquirir computadores quânticos da próxima geração, essencialmente junto de fornecedores da UE, alargando progressivamente estas plataformas para atingir cerca de 100 qubits com erros corrigidos³⁴ por sistema até 2030 — uma meta alinhada com os roteiros da indústria para alcançar uma vantagem computacional significativa. **Até 2035, a Europa pretende tornar-se o primeiro continente a atingir uma escala de milhares de qubits com erros corrigidos por plataforma, um limiar considerado necessário para resolver problemas do mundo real.**

A consecução deste marco representará um ponto de viragem na vantagem quântica³⁵ prática e colocará a Europa numa posição de líder mundial no domínio da computação quântica. Além disso, reforçará o desenvolvimento das empresas europeias de computação quântica e ajudará a promover o desenvolvimento e a implementação de aplicações de utilizadores pioneiros, reforçando simultaneamente a autonomia tecnológica da União.

³⁰ [Página inicial da iniciativa emblemática para as tecnologias quânticas | Quantum Flagship.](#)

³¹ As plataformas híbridas quânticas/HPC estão a integrar processadores quânticos com sistemas de HPC clássicos para permitir o coprocessamento precoce, funcionando os processadores quânticos como aceleradores de computação dos supercomputadores tradicionais. Três plataformas híbridas, em França, na Alemanha e na Finlândia, estão atualmente operacionais no âmbito da EuroHPC e das infraestruturas nacionais. Até ao final de 2025, a hibridação será a norma em todas as instalações europeias de computação quântica, consolidando uma conquista significativa.

³² [Fábricas de IA | Construir o futuro digital da Europa.](#)

³³ [Continente da IA — Comissão Europeia.](#)

³⁴ Os computadores quânticos atuais estão a produzir resultados que ainda não são totalmente exatos (os cálculos quânticos continuam a ser propensos a erros significativos). Por conseguinte, a aplicação de uma correção eficaz de falhas, que resultará em qubits com erros corrigidos (ou seja, as unidades de processamento de um computador quântico) capazes de fornecer resultados computacionais precisos, constitui um marco importante para qualquer futuro computador quântico plenamente operacional.

³⁵ Ver a nota de rodapé 26.

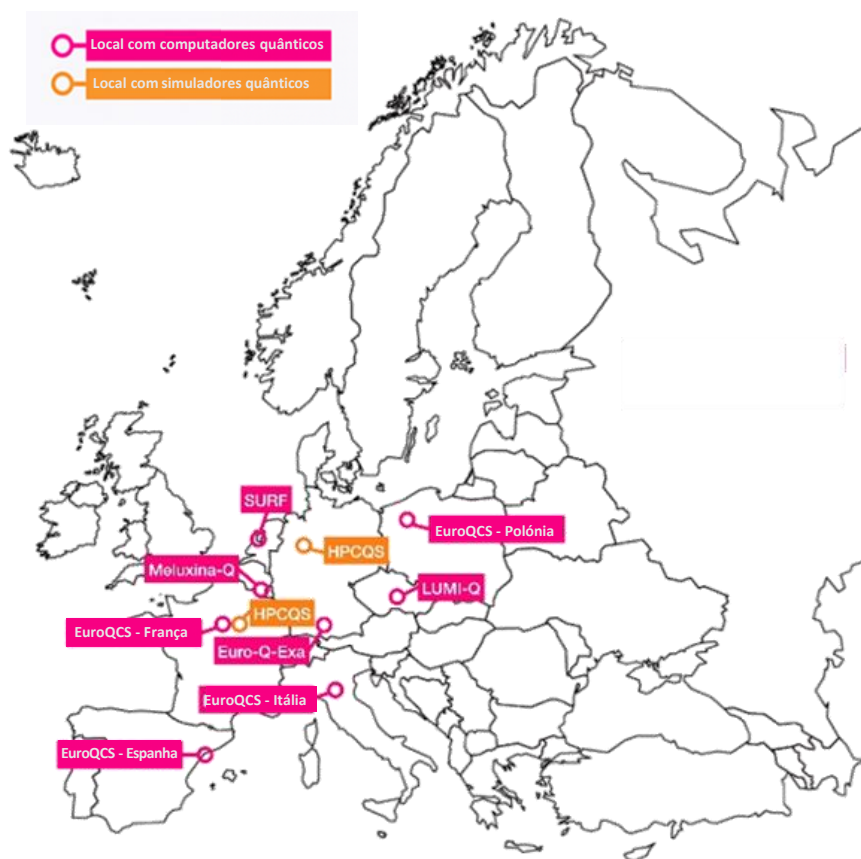


Figura 2: Mapa dos supercomputadores, computadores e simuladores quânticos da EuroHPC

Ao mesmo tempo, a **Europa continuará a investir em simuladores quânticos**³⁶, que podem imitar o comportamento de um sistema quântico utilizando *hardware* menos complexo. Estes simuladores quânticos já estão a permitir descobertas no domínio da ciência dos materiais, da química quântica e da física fundamental. A Europa está na vanguarda do desenvolvimento e da implantação destas plataformas, que deverão produzir resultados valiosos mais cedo do que os computadores quânticos universais devido a requisitos de *hardware* menos exigentes.

Será desenvolvido um **roteiro da UE para a computação e simulação quânticas**, estabelecendo parâmetros de referência claros e um processo de monitorização para acompanhar o progresso tecnológico e a maturidade dos diferentes tipos de plataformas quânticas. O roteiro permitirá avaliar regularmente quais deles estão mais avançados ou são mais promissores a longo prazo. Esta abordagem baseada em dados concretos orientará as decisões estratégicas da Europa e ajudará a dar prioridade aos futuros investimentos públicos na computação quântica.

- Publicar o roteiro da UE para a computação e simulação quânticas [2026]
- Aumentar o número e a capacidade dos sistemas de computação quântica da EuroHPC [a partir de 2026] e criar um quadro de monitorização da computação quântica [2026]

³⁶ PASQuanS2: [Programmable Atomic Large-scale Quantum Simulation 2 — SGA1](#) (não traduzido para português) | [PASQuanS2.1](#) | [Projeto](#) | [Ficha informativa](#) | [HORIZONTE](#) | [CORDIS](#) | [Comissão Europeia](#).

2.2.2 Comunicações quânticas

A comunicação quântica permite a transmissão ultrassegura de dados, protege infraestruturas críticas e salvaguarda informações sensíveis contra futuras ciberameaças facilitadas pela tecnologia quântica³⁷. Permite igualmente estabelecer as redes de comunicações quânticas necessárias para interligar dispositivos quânticos, como sensores e computadores, numa «**Internet quântica**». Graças ao seu potencial de dupla utilização, apoia tanto as aplicações civis (por exemplo, a proteção das transações financeiras e a segurança das redes públicas) como as necessidades de defesa (por exemplo, comunicações seguras para operações militares e de segurança nacional). Através de iniciativas como a **EuroQCI**³⁸ e a **Internet Quântica**, a UE está a construir infraestruturas de comunicação quântica plenamente autónomas e fiáveis, que protegerão os fluxos de dados críticos, as comunicações públicas seguras e as infraestruturas críticas, e reforçarão a segurança interna da Europa, em consonância com a estratégia ProtectEU³⁹.

A Iniciativa EuroQCI

A Iniciativa EuroQCI desenvolve uma infraestrutura de comunicação quântica segura que abrange toda a UE, incluindo os seus territórios ultramarinos. Faz parte da Iniciativa IRIS² da União e será composta por um segmento terrestre assente em redes de comunicações de fibra ótica que ligam sítios estratégicos a nível nacional e transfronteiriço e por um segmento espacial baseado em satélites.

A iniciativa está a avançar rapidamente, sendo que 26 Estados-Membros estão atualmente a implantar redes nacionais de comunicações quânticas terrestres, que também serão utilizadas para testar um satélite de comunicação segura baseada na distribuição de chaves quânticas (*Eagle 1*), cujo lançamento está previsto para 2026 e que será o primeiro demonstrador em órbita europeu.

Estas redes de comunicações quânticas terrestres estão a ser utilizadas para implementar e testar a distribuição de chaves quânticas em ambientes reais. Os projetos-piloto incluem a transmissão segura de dados médicos entre hospitais, a comunicação cifrada entre instituições governamentais e ligações de distribuição de chaves quânticas para infraestruturas críticas, como os centros de controlo da rede elétrica. Estão a demonstrar de que forma a distribuição de chaves quânticas pode salvaguardar os serviços públicos essenciais e as operações nacionais.

Para apoiar esta implantação, a UE está a tirar partido de uma cadeia de abastecimento plenamente europeia de componentes, dispositivos e sistemas quânticos⁴⁰. Está também a ser implantada uma instalação abrangente de ensaio e avaliação da distribuição de chaves quânticas, que oferece ambientes de pré-certificação para componentes de distribuição de chaves quânticas e prepara a sua integração em sistemas de ponto a ponto e arquiteturas de rede⁴¹.

Além disso, esta atividade está estreitamente relacionada com as políticas de cibersegurança da UE, como a Diretiva SRI 2, a próxima revisão do Regulamento Cibersegurança e o roteiro da ENISA para a criptografia à prova de computação quântica, a fim de assegurar que as infraestruturas de comunicação, deteção e computação quânticas adotam medidas de segurança

³⁷ A ameaça que o computador quântico representa para os atuais protocolos criptográficos.

³⁸ [Iniciativa «Infraestrutura Europeia de Comunicação Quântica» \(EuroQCI\) | Construir o futuro digital da Europa.](#)

³⁹ [Commission presents ProtectEU Internal Security Strategy — Comissão Europeia.](#)

⁴⁰ Estas tecnologias incluem geradores quânticos de números aleatórios, fontes e detetores quânticos de fóton único, módulos de distribuição de chaves quânticas baseados em entrelaçamento e plataformas integradas adequadas para telecomunicações. A cadeia de abastecimento é certificada ao abrigo do Programa Conectividade Segura da UE [Regulamento (UE) 2023/588].

⁴¹ Esta instalação permite uma caracterização rigorosa, testes de segurança e um apoio precoce à normalização, em estreita consonância com as atividades do ETSI — *Quantum Key Distribution* www.etsi.org/technologies/quantum-key-distribution.

defensivas, controlos da integridade da cadeia de abastecimento e capacidades de resposta a incidentes desde o início.

Outras regiões líderes estão também a investir em capacidades quânticas terrestres e espaciais seguras. A China, por exemplo, demonstrou a distribuição de chaves quânticas espaço-solo e desenvolveu mais de 2 000 km de ligações terrestres seguras intercidades⁴². Os EUA, por seu lado, estão a investir fortemente em bancos de ensaio quânticos na Internet e em parcerias com laboratórios nacionais, mas ainda não lançaram um programa de comunicação segura federado à escala continental. O modelo europeu, que integra segmentos terrestres e de satélites através da IRIS², e com base nos princípios da segurança desde a conceção e nos componentes controlados pela UE, posiciona a UE na vanguarda do desenvolvimento de redes quânticas de confiança.

No período 2025-2035, a UE continuará a expandir a Iniciativa EuroQCI.

Em primeiro lugar, no período 2025-2030, a UE **implantar**á **ligações quânticas terrestres transfronteiriças que ligam os Estados-Membros**, bem como estações terrestres que ligam os segmentos terrestres da EuroQCI aos satélites EuroQCI para a distribuição de chaves quânticas baseadas no espaço. Desta forma, até 2030, será criada uma primeira rede experimental de comunicações terrestres e espaciais seguras totalmente interligada na UE.

Em segundo lugar, **a UE facilitará a aceitação pelo mercado e a certificação da segurança**. Continuará a apoiar o desenvolvimento, a maturidade e a implantação de tecnologias e protocolos de comunicação quântica⁴³, bem como a sua integração regular na EuroQCI. O segmento espacial EuroQCI será também modernizado para fornecer serviços terrestres e espaciais seguros de distribuição de chaves quânticas de ponto a ponto, que serão gradualmente integrados na próxima geração de serviços espaciais IRIS². A infraestrutura global da EuroQCI será certificada ao abrigo de um regime harmonizado da UE para garantir a confiança e a conformidade.

A Iniciativa Internet Quântica

A Iniciativa Internet Quântica complementa a EuroQCI, preparando a futura geração de redes quânticas. Estabelece as bases para a computação e deteção quânticas distribuídas e para a partilha ultrassegura de dados.

A Europa já definiu uma especificação de arquitetura completa para uma rede de Internet quântica e demonstrou a criação de redes quânticas à escala metropolitana⁴⁴. Foram iniciados quadros de casos de utilização e está em curso a construção de ecossistemas com o lançamento do Fórum Tecnológico da Aliança para a Internet Quântica (QIA)⁴⁵, o primeiro fórum aberto mundial dedicado à Internet quântica. A Europa já assistiu também à criação das suas primeiras empresas derivadas industriais e aos primeiros lançamentos de produtos no âmbito da Internet quântica, assinalando a rápida transferência de tecnologia para a indústria neste domínio.

A Iniciativa de Investigação e Inovação Europa Quântica apoiará a evolução tecnológica da Internet quântica⁴⁶ e assegurará a interoperabilidade entre as diferentes plataformas de

⁴² Através da sua rede dorsal Pequim-Xangai e do programa de satélites *Micius*, agora sucedido pelo *Jinan-1*.

⁴³ Exemplos dessas tecnologias incluem memórias óticas de nova geração, de longa duração e alta-fidelidade, essenciais para o funcionamento de repetidores quânticos, bem como a construção e demonstração de repetidores quânticos plenamente operacionais que ligam redes metropolitanas, testados tanto em laboratório como em condições reais.

⁴⁴ A iniciativa foi bem-sucedida no *entrelaçamento* de dois nós de rede quântica operados de forma independente, separados por 10 km de fibra ótica. De igual modo, registaram-se avanços tecnológicos com o desenvolvimento de *hardware* de Internet quântica, incluindo tecnologias de repetidores quânticos e nós de repetidores quânticos, bem como avanços em pilhas de *software* quântico. <https://quantuminternetalliance.org/>.

⁴⁵ <https://quantuminternetalliance.org/>.

⁴⁶ Exemplos: escalabilidade da memória quântica, distribuição de entrelaçamento robusta e desenvolvimento de uma pilha de *software* de rede quântica.

computação subjacentes. Em 2026, apoiará o lançamento de uma instalação-piloto para a Internet quântica europeia, que permitirá testar componentes essenciais à prova de computação quântica e casos de utilização precoce, serviços seguros de tecnologia quântica em nuvem, computação distribuída e ambientes de validação avançados, estabelecendo uma ponte entre a investigação e a implantação antes do pleno funcionamento. O objetivo é **implantar uma rede de comunicações quânticas seguras plenamente operacional até 2030, como primeiro passo para uma Internet quântica federada**. Tal contribuirá igualmente para posicionar a UE na vanguarda da normalização internacional neste domínio. Paralelamente, uma vez que o avanço da computação quântica representa riscos para a segurança das nossas comunicações⁴⁷, a UE e os seus Estados-Membros estão agora a aplicar a **Recomendação sobre criptografia pós-quântica**⁴⁸ e acabaram de publicar um **roteiro**⁴⁹ para a transição para a criptografia pós-quântica.

- Implantar a primeira rede experimental de comunicações quânticas terrestres e espaciais seguras interconectadas na UE [até 2030]
- Publicar um roteiro das comunicações quânticas [2026]
- Lançar uma instalação-piloto para a Internet quântica europeia [2026]

2.2.3 Detecção quântica

A deteção quântica utiliza propriedades quânticas para medir características físicas com sensibilidade e precisão sem precedentes, ultrapassando significativamente as capacidades dos sensores clássicos⁵⁰. Tem um enorme potencial em muitos domínios distintos, desde os cuidados de saúde, as alterações climáticas ou a monitorização dos recursos hídricos subterrâneos até à segurança, defesa e espaço ou navegação.

A iniciativa emblemática da UE para as tecnologias quânticas desempenhou um papel de liderança na promoção das tecnologias de deteção quântica, desde a ciência básica até à investigação impulsionada por aplicações. Estão já a ser testados protótipos funcionais em ambientes reais, o que demonstra a liderança da Europa tanto na inovação dos sensores como na preparação do terreno para a implantação e adoção industriais em aplicações com potencial de dupla utilização.

Gravímetros quânticos

A UE está atualmente a desenvolver uma **rede de gravímetros quânticos móveis e fixos**⁵¹, que permitem a deteção de elementos de subsuperfície localizados até várias dezenas de quilómetros abaixo do solo, incluindo reservatórios de água, jazidas de gás, recursos minerais, câmaras de magma ou infraestruturas enterradas. São particularmente valiosos para

⁴⁷ Por exemplo, num conceito conhecido como «armazenar agora, decifrar mais tarde», os agentes criminosos já acumulam informações cifradas, como bases de dados roubadas, ficheiros protegidos ou dados de comunicações, e guardam-nas com vista à sua posterior decifragem com computadores quânticos para fins maliciosos. Ver, por exemplo: [The Second Quantum Revolution: the impact of quantum computing and quantum technologies on law enforcement](#) (relatório de 2024 da Europol).

⁴⁸ [Recomendação da Comissão sobre um roteiro para a execução coordenada da transição para a criptografia pós-quântica | Construir o futuro digital da Europa](#).

⁴⁹ Este roteiro especifica os algoritmos à prova de computação quântica, as normas de desenvolvimento e os sistemas de certificação que devem ser desenvolvidos para proteger as informações sensíveis e as infraestruturas críticas. [A UE reforça a sua cibersegurança com criptografia pós-quântica | Construir o futuro digital da Europa](#).

⁵⁰ Por exemplo, as vantagens da deteção quântica em relação às técnicas de deteção tradicionais incluem: maior sensibilidade de deteção de quantidades físicas, como campos magnéticos, temperatura, gravidade, etc., maior exatidão e precisão das medições e melhor resolução.

⁵¹ «Taking atom interferometric quantum sensors from the laboratory to real-world applications», *Nature Reviews Physics*, 1, 731-739. <https://doi.org/10.1038/s42254-019-0117-4>.

monitorizar as alterações subterrâneas ao longo do tempo, apoiar aplicações em geologia e geografia física (incluindo cartografia subsuperficial e alerta precoce de sismos), ciência climática (por exemplo, rastreio da perda de glaciares e do esgotamento das águas subterrâneas), prevenção de perigos naturais, engenharia civil e aplicações estratégicas no domínio da defesa e da proteção civil, como a deteção de estruturas subterrâneas artificiais e a monitorização de infraestruturas críticas.

No âmbito da iniciativa emblemática para as tecnologias quânticas, nos próximos três a cinco anos, será implantada em toda a Europa uma rede de gravímetros terrestres, que será complementada por gravímetros instalados em plataformas de alta altitude. Em paralelo, a UE tenciona lançar um primeiro **voo experimental de gravimetria**⁵² espacial quântica após 2030. Será igualmente explorada a integração da gravimetria quântica nas missões de acompanhamento da IRIS². Estes esforços poderão preparar o caminho para uma rede em larga escala de gravímetros terrestres, aéreos e espaciais para efeitos de observação da Terra, apoiando tanto a investigação científica como as aplicações estratégicas, incluindo as que possuem potencial de dupla utilização.

Imagiologia por ressonância magnética quântica (IRM quântica)

No domínio dos diagnósticos médicos, a investigação da UE abriu caminho à imagiologia melhorada pelas tecnologias quânticas, utilizando sensores quânticos para medir sinais magnéticos ao nível molecular. Estes sistemas são altamente promissores na medicina de precisão e nos cuidados de saúde personalizados, acelerando a deteção do cancro e das doenças neurodegenerativas e modernizando as infraestruturas de diagnóstico da Europa.

Em 2025, no âmbito da iniciativa emblemática para as tecnologias quânticas, a UE apoiará a criação da **Infraestrutura-Piloto Europeia de IRM Quântica**⁵³ em vários Estados-Membros. Esta infraestrutura permitirá a validação clínica de sistemas de IRM melhorados pelas tecnologias quânticas⁵⁴ e proporcionará um acesso aberto a centros de investigação acreditados, hospitais e parceiros industriais para testar protótipos de imagiologia quântica aprovados. Ao integrar ferramentas de análise baseadas na IA, a infraestrutura reforçará a exatidão do diagnóstico, apoiará uma intervenção mais precoce e ajudará a reduzir os custos globais dos cuidados de saúde. Com o tempo, esta rede será progressivamente alargada a outros Estados-Membros.

A Iniciativa de Investigação e Inovação Europa Quântica continuará também a financiar o desenvolvimento em I&D de sensores de IRM quântica e a sua integração nas infraestruturas de investigação no domínio da saúde pública, preparando o caminho para uma maior industrialização.

Para além do que precede, a UE continuará a apoiar a investigação em **sensibilidade aumentada e novos contrastes de imagiologia** que permitirão novas capacidades de diagnóstico, por exemplo, em neurologia (como perturbações da conectividade cerebral na fase inicial da doença de Alzheimer) ou oncologia (como a deteção do cancro através da imagiologia metabólica).

A fim de reforçar o seu posicionamento e planeamento estratégicos no domínio das tecnologias de deteção quântica e das infraestruturas de metrologia e ensaio, **a UE desenvolverá um roteiro europeu coordenado para a deteção, medição e ensaio quânticos** e apoiará os esforços de normalização pertinentes em colaboração com os institutos de metrologia e os Estados-Membros. Um dos principais objetivos será também assegurar a autonomia estratégica

⁵² <https://carioqa-quantum Pathfinder.eu/>: liderado pela CNES, pela DLR e pela Airbus.

⁵³ *Quantum-enhanced and AI-powered metabolic MRI Diagnostics*.

⁵⁴ Serão implantados como ensaios clínicos controlados ao abrigo do Regulamento Dispositivos Médicos da UE.

européia através de cadeias de abastecimento seguras e conformes para componentes e sistemas de detecção críticos.

- Implantar um sistema distribuído de gravímetros em toda a Europa [a partir de 2026]
- Publicar um roteiro de detecção quântica [2026]
- Criar uma infraestrutura-piloto europeia de IRM quântica e alargá-la a toda a Europa [a partir de 2025]

2.3 Domínio 3: o ecossistema da Europa Quântica

Um ecossistema quântico dinâmico, interligado e robusto é fundamental para a capacidade a longo prazo da Europa de desenvolver e implantar tecnologias quânticas em grande escala. Atualmente, o ecossistema quântico europeu abrange cerca de 70 empresas em fase de arranque e de expansão, investidores em tecnologia profunda, organizações de investigação e inovação, polos nacionais de competências e cadeias de abastecimento industriais. **No entanto, este ecossistema continua a ser muito frágil.** É dominado por **pequenas empresas em fase de arranque e em fase de expansão que enfrentam obstáculos significativos ao crescimento: fluxos de receitas instáveis, acesso limitado ao capital de expansão e procura industrial limitada** a curto prazo. Além disso, a UE carece de fornecedores de *hardware* quântico em grande escala e de utilizadores finais de referência capazes de catalisar a procura e acelerar a adoção industrial. Esta fragilidade estrutural limita tanto o investimento privado como a emergência de cadeias de abastecimento críticas.

Sem uma intervenção coordenada e vias acessíveis para oportunidades reais de mercado, muitas destas empresas em fase de arranque correm o risco de desaparecer ou de se deslocar para ecossistemas mais favoráveis fora da Europa.

Com vista a apoiar este ecossistema, a Europa deve tomar medidas decisivas para promover a industrialização, expandir os intervenientes promissores, assegurar cadeias de abastecimento estratégicas, desenvolver mercados-piloto, proteger os ativos estratégicos e formar a próxima geração de profissionais da quântica.

2.3.1 Do laboratório à fábrica e à industrialização

O mercado mundial das tecnologias quânticas ainda está a emergir. Dos atuais 2-3 mil milhões de EUR, prevê-se que atinja os 155 mil milhões de EUR até 2040⁵⁵. Este crescimento prospetivo requer uma estratégia de industrialização coordenada e unificada da UE que permita às empresas europeias tirar partido da oportunidade que se avizinha.

Os **circuitos integrados quânticos** são o principal facilitador subjacente à industrialização quântica e ao desenvolvimento do mercado. No entanto, atualmente, a sua evolução encontra-se numa fase comparável à dos semicondutores há 30 ou 40 anos, sendo que a maioria dos dispositivos quânticos atuais são, em grande parte, de conceção proprietária e, em grande medida, feitos à mão.

A Europa deve avançar rapidamente para o primeiro fabrico de circuitos integrados quânticos em grande escala e de baixo custo, utilizando, tanto quanto possível, processos compatíveis com os processos de microeletrónica e fotónica ou desenvolvendo novos processos sempre que necessário. Esta abordagem permitirá tirar partido das infraestruturas de semicondutores existentes, reduzir os custos e acelerar o tempo de colocação no mercado de dispositivos e circuitos integrados quânticos.

Neste sentido, a UE **lançará em breve as suas primeiras seis linhas-piloto quânticas através da Empresa Comum dos Circuitos Integrados**, em conformidade com o Regulamento dos

⁵⁵ [McKinsey, Quantum Technology Monitor, 2024.](#)

Circuitos Integrados⁵⁶. Com um financiamento conjunto da UE e dos Estados-Membros de 40 a 50 milhões de EUR por linha-piloto, estas apoiarão a prototipagem precoce, a validação da conceção e o desenvolvimento de processos, incentivando simultaneamente os casos de utilização prática através da estreita colaboração com a indústria. Estas seis linhas-piloto irão expandir a base estabelecida pelas linhas-piloto experimentais da iniciativa emblemática para as tecnologias quânticas⁵⁷, transformando-as em linhas-piloto industriais.

Nos próximos três a cinco anos, estes esforços permitirão à Europa continuar a amadurecer e consolidar tecnologias e processos quânticos e outras tecnologias e processos facilitadores, antes de construir as primeiras fundições quânticas, por volta de 2030. A fim de apoiar o planeamento da plena industrialização e a sua aplicação, e em consonância com a Bússola para a Competitividade da UE, **a Comissão publicará um roteiro em grande escala para a industrialização dos circuitos integrados quânticos em 2026.**

Uma vez que as instalações e bibliotecas de conceção são fundamentais para qualquer ecossistema de circuitos integrados quânticos, a UE lançará **uma instalação de conceção quântica** no âmbito da Empresa Comum dos Circuitos Integrados. A instalação funcionará em paralelo com a plataforma de conceção baseada na nuvem da indústria de semicondutores e estará ligada às linhas-piloto quânticas.

A interoperabilidade técnica e novas normas serão igualmente necessárias para facilitar a industrialização quântica. Por conseguinte, em 2026, a UE publicará **um roteiro europeu das normas quânticas** e, juntamente com os Estados-Membros, apoiará a participação ativa das partes interessadas do setor nos organismos de normalização europeus e internacionais.

2.3.2 Reforço e expansão do ecossistema quântico europeu emergente

Para que o ecossistema quântico europeu se expanda verdadeiramente, serão postas em prática as seguintes medidas:

Em primeiro lugar, **criar uma rede centralizada à escala europeia de bancos de ensaio quânticos de livre acesso**. As tecnologias quânticas dependem de sistemas e laboratórios altamente sensíveis⁵⁸, tecnicamente complexos e extremamente onerosos. Tal torna impraticável para a maioria dos intervenientes, especialmente as PME e as empresas em fase de arranque, construir ou manter essas instalações de forma independente. A fim de alargar o acesso a instalações de ensaio, equipamento específico e possibilidades de experimentação, as instalações-piloto existentes da iniciativa emblemática para as tecnologias quânticas estão a ser transformadas numa rede centralizada à escala europeia de bancos de ensaio quânticos de livre acesso. Estas instalações proporcionarão aos criadores, às empresas em fase de arranque, às PME e aos investigadores serviços e acesso para testar, validar e comparar os seus dispositivos quânticos⁵⁹. Tal acelerará a transição do protótipo para o mercado e apoiará os esforços de certificação, que são essenciais para a emergência de cadeias de abastecimento fiáveis e a confiança dos clientes em todos os setores.

Em segundo lugar, **expandir os polos de competências quânticas**. Estes polos já estão integrados em ecossistemas de inovação nacionais e regionais em vários Estados-Membros. São centros regionais que fornecem infraestruturas e serviços partilhados, ligando simultaneamente os intervenientes da investigação e da indústria. A Iniciativa de Investigação e Inovação Europa Quântica apoiará a expansão e a ligação em rede destes polos a fim de abranger toda a UE, incluindo nos Estados-Membros que ainda não dispõem dos mesmos. Os polos de competências quânticas atuarão como centros de especialização distribuídos, servindo

⁵⁶ (UE) 2023/1781: [Regulamento dos Circuitos Integrados | Construir o futuro digital da Europa](#).

⁵⁷ [QU-PILOT](#) e [QU-TEST](#).

⁵⁸ Estes incluem, entre outros, ambientes ultralimpas, refrigeração criogénica, sistemas de vácuo e eletrónica de controlo de precisão, etc.

⁵⁹ Em consonância com a futura [Estratégia Europeia para as Infraestruturas de Investigação e Tecnologia](#).

de tecido conjuntivo do ecossistema quântico para ligar as empresas em fase de arranque, os investigadores e os parceiros industriais a infraestruturas, linhas-piloto e instalações de conceção em toda a União. Promoverão a colaboração⁶⁰ e a coerência em todos os domínios estratégicos quânticos — desde a investigação até à industrialização, passando pelo desenvolvimento de competências. À semelhança dos Polos Europeus de Inovação Digital, os polos de competências quânticas oferecerão serviços adaptados aos pontos fortes regionais, mas integrados na cooperação pan-europeia, impulsionando a mesma.

Em terceiro lugar, **promover mecanismos de proteção da propriedade intelectual (PI)** que as empresas quânticas possam utilizar para assegurar o controlo estratégico das principais inovações e evitar a saída de ativos críticos.

Em quarto lugar, **acelerar a adoção industrial das tecnologias quânticas**. A UE implementará uma abordagem coordenada para promover utilizadores pioneiros tanto no setor público como no setor privado. Neste contexto, **os contratos públicos serão um instrumento fundamental para impulsionar a adoção precoce e criar as primeiras oportunidades de mercado**. A Empresa Comum EuroHPC já está a apoiar a aquisição dos primeiros computadores quânticos através de contratos públicos. Além disso, a Comissão apoiará regimes de contratação pública orientados para a inovação que permitam aos hospitais, aos operadores de infraestruturas, aos serviços públicos críticos e às agências governamentais atuar como clientes-piloto de soluções baseadas em tecnologias quânticas. Tal será apoiado por incentivos financeiros e quadros de implantação adaptados aos organismos públicos que estejam preparados para assumir o papel de pioneiros. Ao posicionar os **Estados-Membros como primeiros compradores institucionais de tecnologias quânticas europeias**, será enviado um sinal forte aos mercados e investidores, apoiando assim o desenvolvimento do ecossistema e a viabilidade comercial.

Em quinto lugar, **ligar as empresas em fase de arranque quânticas às empresas europeias**. Tal será essencial para a expansão do mercado das empresas em fase de arranque. A Comissão, em cooperação com o ecossistema quântico⁶¹, lançará desafios setoriais específicos, em especial nos setores aeroespacial, automóvel, energético, da indústria transformadora, da logística e dos produtos farmacêuticos, a fim de incentivar os grandes intervenientes industriais a tornarem-se parceiros estratégicos de codesenvolvimento e utilizadores pioneiros.

Por último, um ecossistema quântico em crescimento exigirá um afluxo de talentos específicos. Este aspeto é aprofundado na secção 2.5 *infra*.

2.3.3 Investimento em empresas quânticas em fase de arranque e em fase de expansão

Embora o financiamento pré-semente e em fase de lançamento esteja amplamente disponível a partir de fontes públicas, a Europa atrai apenas 5 % do financiamento privado mundial no setor quântico, em comparação com mais de 50 % recolhido pelos EUA. Este défice de financiamento é particularmente acentuado em fases posteriores do desenvolvimento⁶², apresentando o risco de as empresas em fase de arranque da UE poderem ser adquiridas por investidores não europeus, com potenciais perdas em matéria de propriedade intelectual, tecnologias críticas, soberania tecnológica e talentos.

Por conseguinte, os fundos de investimento, incluindo os fundos privados apoiados pelo Estado, serão incentivados a atrair investimentos substanciais de capital para o desenvolvimento de tecnologias quânticas. Estes incluem o apoio do Fundo do Conselho

⁶⁰ Em conformidade com as regras *anti-trust* pertinentes da UE, como as Orientações de 2023 sobre a aplicabilidade do artigo 101.º do TFUE aos acordos de cooperação horizontal, conforme aplicável.

⁶¹ Consórcio Europeu da Indústria Quântica [Página inicial — QuIC](#).

⁶² [The Future of European Competitiveness — A Competitiveness Strategy for Europe](#) (não traduzido para português).

Europeu da Inovação (CEI)⁶³ e da Iniciativa dos Campeões Tecnológicos Europeus do Grupo do Banco Europeu de Investimento (BEI)⁶⁴, bem como garantias de primeiras perdas e regimes de coinvestimento adaptados através do InvestEU.

A Estratégia Europeia para as Empresas em Fase de Arranque e as Empresas em Fase de Expansão, adotada em maio de 2025⁶⁵, anunciou a criação do **Fundo Europeu para Empresas em Fase de Expansão** como parte do Fundo do CEI, a fim de mobilizar fundos privados significativos e realizar investimentos diretos em capitais próprios em setores estratégicos como as tecnologias quânticas. A Estratégia Europeia para as Empresas em Fase de Arranque e as Empresas em Fase de Expansão também oferece soluções específicas destinadas a facilitar o acesso das empresas inovadoras em fase de arranque e em fase de expansão ao financiamento, aos contratos públicos, aos mercados, aos serviços e aos talentos.

Além disso, tal como proposto na revisão intercalar da política de coesão⁶⁶, as autoridades de gestão podem aproveitar a oportunidade, com o apoio de incentivos e flexibilidades, para reafetar fundos a investimentos, entre outras prioridades, nos objetivos da Plataforma de Tecnologias Estratégicas para a Europa (STEP). A Comissão insta os Estados-Membros e as regiões, aquando da reprogramação no âmbito da revisão intercalar, a centrarem-se em empresas revolucionárias e inovadoras, ajudando as empresas que contribuem para os setores estratégicos e as cadeias de valor da Europa, como as tecnologias quânticas.

Por último, no contexto da União da Poupança e dos Investimentos⁶⁷, a Comissão apresentará medidas que abordarão a fragmentação do mercado único dos serviços financeiros e eliminarão os obstáculos aos investimentos transfronteiras sem descontinuidades na UE, nomeadamente em capital de risco, que é fundamental para o desenvolvimento de tecnologias quânticas. A UE irá, nomeadamente, estimular os investimentos em capitais próprios por parte de investidores institucionais, simplificar as regras de cotação na aplicação da lei relativa à admissão à cotação, propor medidas de apoio às saídas para os investidores em empresas privadas, explorar, com o BEI, potenciais iniciativas que visem atrair investimento privado para capital de risco e de crescimento, e eliminar os obstáculos aos procedimentos fiscais nacionais⁶⁸.

2.3.4 Reforço da segurança da cadeia de abastecimento

Um ecossistema quântico dinâmico, apoiado por cadeias de abastecimento resilientes, é essencial para reforçar a segurança económica da Europa. Embora a abertura de longa data da UE ao comércio, ao investimento e à investigação tenha sido e continue a ser de importância fundamental para o desenvolvimento do ecossistema quântico da Europa, também coloca alguns desafios. Por um lado, as empresas e os investigadores quânticos europeus dependem e beneficiam em grande medida do fluxo contínuo de aprovisionamento proveniente de fontes fiáveis. Por outro lado, existe o risco de estas cadeias de abastecimento poderem ser utilizadas como armas. Por conseguinte, é essencial identificar e abordar vulnerabilidades críticas na cadeia de abastecimento quântica europeia, a fim de atenuar os riscos decorrentes da dependência excessiva da UE em relação a fontes não europeias. O levantamento dos riscos e o acompanhamento de perto da evolução do ecossistema quântico emergente são, por

⁶³ Entre 2021 e 2024, o CEI já consagrou cerca de 350 milhões de EUR para promover o crescimento de empresas em fase de arranque no domínio da tecnologia quântica. Estão previstos investimentos adicionais do CEI em empresas quânticas em fase de expansão de até 30 milhões de EUR por empresa, na sequência do convite à apresentação de propostas STEP Scale Up do CEI no âmbito da Plataforma de Tecnologias Estratégicas para a Europa.

⁶⁴ *Fund of Funds to Support European Tech Champions*.

⁶⁵ https://research-and-innovation.ec.europa.eu/strategy/strategy-research-and-innovation/jobs-and-economy/eu-startup-and-scaleup-strategy_en?prefLang=pt.

⁶⁶ Comunicação «Uma política de coesão modernizada: revisão intercalar», COM(2025) 163.

⁶⁷ *União da Poupança e dos Investimentos — Comissão Europeia*.

⁶⁸ Respeitando simultaneamente as regras pertinentes em matéria de auxílios estatais, conforme aplicáveis.

consequente, uma parte essencial da abordagem europeia para a construção de um panorama europeu de tecnologia profunda quântica saudável, seguro e competitivo.

No âmbito da Estratégia Europeia em matéria de Segurança Económica⁶⁹, bem como do Observatório das Tecnologias Críticas⁷⁰, e em estreita cooperação com as partes interessadas e os Estados-Membros, **a Comissão está a realizar uma avaliação dos riscos das tecnologias quânticas à escala da UE para identificar as vulnerabilidades da cadeia de abastecimento**, tendo em conta, em especial, os materiais, os componentes e as tecnologias essenciais. O objetivo destas avaliações é identificar dependências estratégicas, potenciais estrangulamentos e vulnerabilidades sistémicas na cadeia de abastecimento de tecnologias quânticas, desde materiais raros até componentes de precisão, sistemas eletrónicos de controlo e pilhas de *software*. As conclusões servirão de base para a elaboração de medidas de atenuação específicas, incluindo a diversificação dos fornecedores, o reforço da capacidade de produção europeia e a criação de parcerias com países fornecedores no âmbito da Estratégia Global Gateway, bem como mecanismos de partilha de riscos. Os primeiros resultados estão previstos para 2026. Além disso, o papel que as tecnologias quânticas desempenham na garantia da segurança e da ordem pública da UE reflete-se nos debates sobre as iniciativas em curso e futuras relativas aos investimentos provenientes do estrangeiro ou realizados no estrangeiro, bem como no contexto dos controlos das exportações.

Com base nas conclusões acima expostas, o futuro **ato legislativo sobre as tecnologias quânticas** continuará a apoiar o reforço do ecossistema quântico e, de um modo mais geral, os esforços de industrialização acima referidos, incentivando os Estados-Membros e as empresas, os investidores e os investigadores a investir em instalações de produção (piloto), apoiando estas atividades no âmbito de iniciativas de grande escala a nível da UE ou de esforços nacionais ou regionais.

- Criar seis novas linhas-piloto de produção quântica no âmbito da Empresa Comum dos Circuitos Integrados para expandir as tecnologias do laboratório para o mercado [2025]
- Publicar um roteiro da industrialização dos circuitos integrados quânticos [2026]
- Lançar uma instalação de conceção quântica [2026]
- Publicar um roteiro europeu das normas quânticas [2026]
- Alargar a rede de polos de competências quânticas [2026]
- Realizar e finalizar avaliações à escala da UE das vulnerabilidades da cadeia de abastecimento [2025-2026]

2.4 Domínio 4: tecnologias quânticas espaciais e de dupla utilização (segurança e defesa)

As tecnologias quânticas têm potencial de dupla utilização. Por conseguinte, são essenciais para reforçar tanto a competitividade da Europa como a sua autonomia estratégica em matéria de espaço, segurança e defesa. Os recentes progressos nas tecnologias quânticas prometem grandes benefícios para a defesa e a segurança, incluindo comunicações ultrasseguras, deteção avançada no campo de batalha e logística otimizada. No entanto, podem também representar riscos se os adversários ganharem uma vantagem tecnológica. Para tirar pleno partido do seu potencial, atenuando simultaneamente estes riscos, serão essenciais medidas políticas e de supervisão proativas, bem como uma estreita coordenação com os principais parceiros, como a Agência Europeia de Defesa.

⁶⁹ JOIN(2023) 20 final; <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:52023JC0020>. Esta estratégia abrange igualmente avaliações dos riscos no que diz respeito à segurança tecnológica e às fugas tecnológicas, para as quais as tecnologias quânticas são, até à data, um dos quatro domínios prioritários.

⁷⁰ https://defence-industry-space.ec.europa.eu/eu-space/eu-observatory-critical-technologies_en?prefLang=pt.

Tecnologias quânticas no espaço

As tecnologias quânticas oferecem oportunidades estrategicamente significativas para as missões espaciais europeias. As tecnologias de comunicação quântica segura já estão incorporadas nas principais iniciativas espaciais da UE, incluindo a EuroQCI/IRIS² e a missão de exploração do gravímetro espacial quântico. As atividades espaciais da UE abrangem igualmente o avanço dos sistemas de navegação por inércia quântica, incluindo protótipos baseados em sensores óticos quânticos no âmbito do Programa Galileo, para posicionamento autónomo em ambientes em que os sistemas de navegação global (GNSS) tenham sido intencionalmente desativados ou adulterados. Prevê-se que estes protótipos sejam testados a bordo dos satélites Galileo nos próximos anos, a fim de avaliar o seu potencial de implantação operacional. Paralelamente, estão também a ser avaliados relógios quânticos para futuras atualizações do Galileo. A computação quântica deverá também melhorar a engenharia espacial através de capacidades computacionais avançadas, nomeadamente para melhorar a compreensão humana do universo. Um elevado número de aplicações espaciais baseadas em tecnologias quânticas tem também um grande potencial para fins militares e de informação.

Em conjunto, estas tecnologias quânticas prometem progressos significativos em termos de estabilidade temporal, precisão e resiliência, reforçando a autonomia estratégica da Europa em matéria de navegação por satélite. A fim de continuar a explorar o potencial da computação quântica no espaço, a Comissão alargará o atual quadro de cooperação com a Agência Espacial Europeia (AEE) para desenvolver conjuntamente **um roteiro da tecnologia quântica espacial** e assegurar a complementaridade e a sincronização das atividades quânticas relacionadas com o espaço.

Tecnologias quânticas para a segurança e a defesa

O potencial de dupla utilização das tecnologias quânticas significa que os seus avanços podem também trazer benefícios significativos para aplicações estratégicas de segurança e defesa. Por exemplo, a computação quântica pode transformar radicalmente as estratégias de defesa, permitindo uma tomada de decisões mais rápida e ajudando a resolver desafios operacionais e logísticos complexos. Pode também ajudar a conceber novos materiais de qualidade militar ou a proteger informações sensíveis contra ciberameaças.

Tudo indica que a computação quântica transformará aplicações essenciais de segurança e defesa, como as simulações de fluxos de fluidos a temperaturas extremas, dinâmicas de combustão ou a descoberta de materiais resistentes ao calor. As tecnologias de deteção quântica oferecem capacidades críticas para a defesa, incluindo gravimetria, magnetometria e navegação por inércia altamente precisas. Estes sensores permitem a deteção de estruturas subterrâneas, a localização submarina e a deteção avançada de ameaças. Ao mesmo tempo, as comunicações quânticas, em especial a distribuição de chaves quânticas, asseguram o intercâmbio ultrasseguro de informações entre redes terrestres e de satélite, protegendo os dados militares e informações contra a espionagem ou futuras ciberameaças possibilitadas pela tecnologia quântica. Por conseguinte, tanto as tecnologias de deteção como as tecnologias de comunicação são fatores fundamentais para a autonomia estratégica e a superioridade operacional da Europa em contextos de defesa e segurança.

Intervenientes mundiais como os EUA⁷¹ e a China estão a investir fortemente em aplicações espaciais e militares quânticas, incluindo a navegação independente do sistema mundial de navegação por satélite (GNSS), as comunicações terrestres e por satélite seguras, o sistema

⁷¹ Iniciativa de avaliação comparativa quântica: <https://www.darpa.mil/research/programs/quantum-benchmarking-initiative>.

LiDAR quântico⁷² e os radares quânticos melhorados. As tecnologias quânticas também começaram a influenciar alianças e quadros de cooperação mais amplos⁷³.

Na UE, vários Estados-Membros⁷⁴ já incluem investimentos nos seus programas de defesa para o desenvolvimento de tecnologias quânticas preparadas para a defesa, como sensores de átomos frios, sensores de diamante ou computadores quânticos, e estão a explorar casos de utilização, como a sincronização avançada, o posicionamento sem GNSS e a cartografia dos fundos marinhos.

A fim de reforçar as oportunidades de investimento em tecnologias de defesa de dupla utilização e críticas no âmbito dos programas da UE, a Comissão apresentou recentemente uma proposta⁷⁵ que altera o âmbito dos instrumentos pertinentes existentes. A Comissão adotou igualmente medidas para alavancar tecnologias com potencial de dupla utilização, incluindo tecnologias quânticas, para a defesa, por exemplo através de ações ao abrigo do Fundo Europeu de Defesa e do seu Programa Europeu de Inovação no domínio da Defesa (EUDIS).

A premissa subjacente a todas estas atividades é que a Europa assegure que os desenvolvimentos quânticos continuem a ser acessíveis, seguros e isentos de regulamentação em matéria de exportação de países terceiros, mantendo simultaneamente o alinhamento com os objetivos europeus em matéria de defesa e segurança.

A UE e a OTAN também reconhecem as tecnologias quânticas como facilitadores essenciais para a recolha de informações, a vigilância, a navegação e a segurança das infraestruturas. Em 2024, a OTAN lançou a Comunidade Quântica Transatlântica com a ambição de se tornar uma aliança preparada para as tecnologias quânticas. A Comissão e a OTAN participam nas tecnologias quânticas no âmbito do diálogo estruturado UE-OTAN sobre tecnologias emergentes e disruptivas.

A **Estratégia Europeia de Segurança Interna ProtectEU**, bem como o Fundo Europeu de Defesa, identificam as tecnologias quânticas como um domínio fundamental para garantir a segurança e a vantagem tecnológica da UE a longo prazo. As tecnologias quânticas são também mencionadas no **Livro Branco Conjunto — Preparação da defesa europeia 2030** como tendo capacidade para perturbar e transformar as abordagens tradicionais da guerra. O livro branco anuncia que a Comissão contribuirá para avanços, iniciativas e programas quânticos relevantes para o **Roteiro Tecnológico Europeu do Armamento**. Tal acelerará a transformação da defesa, mobilizando o investimento em capacidades tecnológicas avançadas de dupla utilização na UE, tanto a nível nacional como privado.

Para orientar estes esforços, **a Comissão desenvolverá, até 2026, um roteiro específico das tecnologias de deteção quântica nos setores espacial e da defesa**, alinhando as prioridades entre as comunidades civis, de segurança e de defesa. Tal ajudará a coordenar os investimentos em sensores quânticos da próxima geração, nomeadamente para a gravimetria, a navegação e a deteção avançada de ameaças.

⁷² Um LiDAR quântico é um sistema de deteção e telemetria por luz que utiliza propriedades quânticas, como o entrelaçamento, para aumentar a sensibilidade e a exatidão na deteção de alvos e na estimativa de alcance para além dos limites clássicos.

⁷³ Por exemplo, *BRICS And Quantum Computing*.

⁷⁴ Por exemplo, em França (programa PROQCIMA sobre sensores quânticos para a defesa — <https://quantique.france2030.gouv.fr/acces-aux-marches/programme-proqcima>), na Alemanha (comunicação e deteção quânticas no âmbito do BMBF), em Itália (sensores de átomos frios para navegação sem GNSS), na Áustria (relógios quânticos e sensores de inércia) e na Finlândia (sistemas portáteis de deteção quântica para utilização na defesa).

⁷⁵ [COM\(2025\) 188, de 22.4.2025](#): Proposta de Regulamento do Parlamento Europeu e do Conselho que altera os Regulamentos (UE) 2021/694, (UE) 2021/695, (UE) 2021/697, (UE) 2021/1153, (UE) 2023/1525 e (UE) 2024/795 relativo ao incentivo, no âmbito do orçamento da UE, aos investimentos relacionados com o setor da defesa, a fim de implementar o plano ReArm Europe.

Paralelamente, a partir de 2026, a UE lançará iniciativas de absorção de tecnologias (*spin-in*) para acelerar a adoção de inovações quânticas civis em aplicações de segurança e defesa. Estas iniciativas irão ligar empresas de ponta e grupos de investigação a intervenientes no domínio da defesa, ajudando a encurtar os ciclos de desenvolvimento e reforçando a vantagem tecnológica da Europa em **capacidades com potencial de dupla utilização**.

- Assinar um acordo de cooperação com a AEE para a elaboração de um roteiro da tecnologia quântica espacial [segundo trimestre de 2025]
- Elaborar um roteiro das tecnologias de deteção quântica nos setores espacial e da defesa [2026]
- Contribuir para o Roteiro Tecnológico Europeu do Armamento [quarto trimestre de 2025]
- Lançar iniciativas de absorção de tecnologias para envolver as empresas civis e o meio académico no desenvolvimento de aplicações de defesa [a partir de 2026]

2.5 Domínio 5: competências quânticas

A Europa desenvolveu uma base sólida de talentos académicos quânticos. A União Europeia tem o maior número de diplomados em domínios relevantes para a tecnologia quântica a nível mundial em relação à sua população, com mais de 110 000 licenciados⁷⁶ anualmente em física, TIC, engenharia e disciplinas conexas. De acordo com a Agenda Estratégica de Investigação e Indústria 2030⁷⁷ da iniciativa emblemática para as tecnologias quânticas, a Europa tem mais de 40 programas de mestrado especializados em tecnologias quânticas e engenharia quântica. No entanto, tal continua a ser insuficiente para satisfazer a procura prevista das empresas em fase de arranque e da indústria da UE, que enfrentam uma grande escassez de profissionais com competências aplicadas pertinentes. A escassez é mais crítica nos domínios aplicados⁷⁸, incluindo a engenharia de *software* quântico, a integração de sistemas e a cibersegurança quântica, atrasando a trajetória de comercialização para as empresas em fase de arranque e em fase de expansão sediadas na UE.

No âmbito da União das Competências⁷⁹, a Comissão está a adotar várias iniciativas para fazer face à escassez de competências, incluindo as relacionadas com as tecnologias quânticas. A Comissão criará, em 2026, uma **Academia Europeia de Competências Quânticas** virtual, que servirá de ponto de contacto central único, dando visibilidade à formação disponível em tecnologias quânticas e oportunidades de aplicação prática em todos os níveis de ensino. No âmbito desta iniciativa, a Comissão promoverá a colaboração com o meio académico, as instituições de formação, a comunidade de investigação e os parceiros da indústria para conceber e executar programas educativos e módulos de formação autónomos através de uma abordagem interdisciplinar. Os programas incluirão currículos comuns dos níveis da CITE 7 (mestrado ou equivalente) ou 8 (doutoramento ou equivalente) conducentes a um diploma, que utiliza o Sistema Europeu de Transferência e Acumulação de Créditos (ECTS). Tais programas serão promovidos por feiras de estudo virtuais e por programas de bolsas de estudo.

Além disso, a fim de promover competências orientadas para o futuro, a Comissão facilitará o desenvolvimento de programas de estudo europeus inovadores, nomeadamente em setores estratégicos e domínios tecnológicos fundamentais como os das tecnologias quânticas, potencialmente através de um diploma/rótulo europeu baseado em critérios comuns.

Em consonância com o objetivo da União de Competências de atrair e reter talentos mundiais, a Academia apoiará igualmente sistemas de bolsas de estudo quânticas que permitirão que

⁷⁶ «Global Comparison of STEM Education» | SpringerLink.

⁷⁷ Strategic Research and Industry Agenda 2030 (Quantum Flagship): <https://qt.eu/media/pdf/Strategic-Research-and-Industry-Agenda-2030.pdf>.

⁷⁸ IQM-State-of-Quantum-2025.pdf, RAND Europe: *Quantum's Future Workforce Needs More Than Physicists*.

⁷⁹ COM(2025) 90 final.

doutorandos altamente qualificados da UE e de países terceiros, bem como jovens profissionais que vivem fora da UE, trabalhem na UE.

A fim de intensificar e divulgar as suas atividades, a Academia desenvolverá práticas de comunicação e sensibilização. Estas incluirão, nomeadamente, uma página Web específica de acesso que funcionará como um **Portal de Talentos Quânticos**, integrada na Plataforma para as Competências e o Emprego na Área Digital, módulos «Teach-the-Teacher» para formadores universitários e do ensino secundário, a fim de alcançar a literacia quântica no ensino precoce, e a partilha de boas práticas com os Estados-Membros e países terceiros elegíveis.

A ação de sensibilização da Academia virtual terá por objetivo sensibilizar o público, bem como melhorar a compreensão social, a confiança e a participação política informada no domínio das tecnologias quânticas. Importa salientar que as suas atividades de comunicação e sensibilização do público contribuirão também para reforçar a diversidade e colmatar a significativa disparidade de género ainda existente na mão de obra quântica da Europa⁸⁰.

Embora a Academia virtual represente um primeiro passo importante, a visão a longo prazo é criar múltiplas academias interligadas com uma distribuição geográfica alargada a toda a UE, ligadas tanto aos polos de competências quânticas como aos centros de competências em semicondutores, a fim de multiplicar a sua eficácia.

Paralelamente, no âmbito do Programa Europa Digital⁸¹, a Comissão apoiará um projeto-piloto para um **programa de aprendizagem quântica**, a fim de preparar uma reserva de especialistas em quântica formados em projetos do mundo real e prontos a (re)integrar o mercado de trabalho da UE. Serão também introduzidos programas de «regresso» para profissionais. Além disso, a fim de criar novos círculos virtuosos entre o meio académico e a indústria, a Comissão desenvolverá, a partir de 2026, **concursos europeus de competências digitais avançadas**, que envolverão os jovens na cocriação de soluções baseadas nas tecnologias quânticas para os principais desafios sociais e industriais e promoverão um pensamento criativo e inovador.

Uma vez que a tecnologia evolui rapidamente, as exigências de competências dos perfis profissionais ligados às tecnologias quânticas também se desenvolvem e mudam. Por conseguinte, será igualmente essencial um acompanhamento contínuo das necessidades dos prestadores de ensino e formação e das necessidades da indústria, bem como da procura no mercado de trabalho. No âmbito da União das Competências, o Observatório Europeu de Informações sobre Competências acompanhará a evolução atempada das necessidades de competências em setores estratégicos na Europa.

O Conselho Europeu da Inovação lançará igualmente, em 2025, um programa-piloto para **investigadores em residência em empresas em fase de arranque de tecnologias quânticas**. Esta ação facilitará a colocação específica de investigadores em linha com as necessidades específicas das empresas de elevado crescimento, através de uma plataforma dedicada que liga os investigadores a empresas inovadoras em fase de arranque e em fase de expansão.

Por último, a Comissão lançará um **programa europeu de mobilidade de talentos quânticos** para impulsionar a mobilidade laboral internacional e o desenvolvimento de competências entre a UE, os Estados-Membros e os países parceiros, incluindo bolsas para doutorados e profissionais em início de carreira no domínio das tecnologias quânticas de países terceiros, mantendo e apoiando simultaneamente a mão de obra existente para evitar a fuga de cérebros. A fim de atrair, desenvolver e reter investigadores quânticos de excelência a nível internacional, a Comissão irá também testar a ação Marie Skłodowska-Curie «**MSCA Escolher a Europa**», que abrangerá igualmente, entre outros, os investigadores quânticos.

⁸⁰ Existem desequilíbrios de género significativos no ensino superior e nas carreiras no domínio das CTEM. Ver o relatório *She Figures 2024* (não traduzido para português).

⁸¹ <https://digital-skills-jobs.europa.eu/en/opportunities/funding/digital-2025-skills-08-quantum-academy-step-sectoral-digital-skills-academies>.

- Criar a Academia Europeia de Competências Quânticas [2026]
- Lançar concursos europeus de competências digitais avançadas no domínio quântico [a partir de 2026]
- Lançar um programa-piloto para investigadores em residência em empresas em fase de arranque de tecnologias quânticas [2025]
- Lançar o programa europeu de mobilidade de talentos quânticos [a partir de 2026]

3 Quadro estratégico de execução para a Europa Quântica

3.1 Principais componentes de execução da Estratégia para uma Europa Quântica

O domínio quântico europeu apresenta características únicas: as tecnologias quânticas continuam, em grande medida, a ser emergentes, com muitos dos seus componentes principais — tanto de *hardware* como de *software* — ainda numa fase inicial de maturidade. O seu desenvolvimento através de um percurso tradicional e linear, desde a ciência fundamental até ao mercado, exigiria 10 a 15 anos. A fim de acelerar o processo, será aplicada a seguinte **lógica de execução adaptada do ciclo de vida da tecnologia**, que integrará estreitamente a investigação, a inovação, as infraestruturas e a criação do mercado inicial num ciclo contínuo.

Uma abordagem baseada no ciclo de vida é particularmente vital no ecossistema europeu, uma vez que ainda existem obstáculos científicos e de engenharia significativos⁸² em todos os domínios quânticos, que devem ser ultrapassados e convertidos em tecnologias tangíveis. A Europa deve não só resolver estes problemas, mas também transitar rapidamente as soluções daí resultantes para aplicações prontas para o mercado antes de os concorrentes mundiais garantirem uma posição dominante estratégica.

Para fazer face aos obstáculos científicos e de engenharia, a Iniciativa de Investigação e Inovação Europa Quântica (descrita na secção 2.1 *supra*) apoiará:

- **esforços específicos em matéria de ciência e tecnologia (C&T)** centrados na resolução dos atuais desafios essenciais em matéria de C&T que limitam os progressos em todos os domínios quânticos. Estas questões serão tratadas principalmente através de convites de abordagem descendente em matéria de C&T, que complementam os habituais convites de abordagem ascendente nesta matéria,
- **atividades de investigação e inovação disruptivas do mercado, bem como ações orientadas para o amadurecimento de tecnologias quânticas e facilitadoras específicas.** O objetivo é reduzir os riscos associados à inovação quântica e acelerar a transferência de descobertas de investigação importantes para adoção industrial.

Além disso, e para reforçar o que precede, será aplicada a seguinte abordagem:

Um mecanismo «Grande Desafio»

Os Grandes Desafios Quânticos servirão de instrumentos estratégicos para resolver problemas de tecnologia quântica bem definidos e de elevado impacto. Estes Grandes Desafios foram concebidos para reunir cientistas, utilizadores industriais, fabricantes, integradores e intervenientes das tecnologias quânticas e facilitadoras, num esforço coordenado semelhante em termos de ambição e estrutura ao das iniciativas anteriores orientadas para missões.

⁸² Exemplos desses obstáculos incluem, na computação quântica, sistemas escaláveis de correção de erros quânticos, interligações quânticas para arquiteturas modulares e eletrónica de controlo criogénica; na comunicação quântica, repetidores quânticos de longa distância, distribuição de entrelaçamento agnóstica em termos de dispositivos e redes seguras e sem nós de confiança; e, na deteção quântica, gravímetros miniaturizados e implantáveis, sistemas de IRM quântica de alta resolução e sensores de inércia para navegação independente do GNSS.

Centrar-se-ão em empresas em fase de arranque e em fase de expansão individuais, a fim de apoiar na aplicação do seu roteiro tecnológico revolucionário através de um processo de desenvolvimento competitivo e colaborativo. Um Grande Desafio reunirá os utilizadores pioneiros industriais e investigadores para codesenvolver soluções quânticas críticas e moduláveis. A participação dos utilizadores pioneiros industriais é essencial para que as empresas em fase de arranque satisfaçam os requisitos industriais e validem as suas tecnologias em ambientes industriais. Se for caso disso, os intervenientes no setor da defesa, incluindo os Ministérios da Defesa e as empresas de defesa, podem participar como utilizadores finais em Grandes Desafios específicos.

As empresas em fase de arranque e em fase de expansão selecionadas para o Grande Desafio beneficiarão de um conjunto combinado de instrumentos (subvenções, capital próprio, empréstimos ou outros instrumentos de financiamento misto). Os intervenientes financeiros públicos e privados serão envolvidos desde o início, a fim de assegurar o alinhamento com os objetivos estratégicos de investimento e maximizar o impacto.

Entre 2025 e 2027, a Comissão, juntamente com o Banco Europeu de Investimento e os Estados-Membros, testará pelo menos dois Grandes Desafios deste tipo. O primeiro centrar-se-á em sistemas de computação quântica tolerantes a falhas capazes de resolver problemas industriais complexos; o segundo visará os sistemas de posicionamento, navegação e tempo (PNT) baseados em tecnologia quântica para ambientes em que os sistemas globais de navegação por satélite não funcionam. Sob reserva do financiamento disponível, podem seguir-se Grandes Desafios adicionais, por exemplo na imagiologia médica melhorada com tecnologia quântica (IRM quântica) para apoiar o diagnóstico precoce de doenças e na medicina personalizada.

Uma abordagem do ciclo de vida das tecnologias

Todos os esforços acima referidos serão apoiados por uma **abordagem do ciclo de vida das tecnologias, que integra os cinco domínios estratégicos da Estratégia para uma Europa Quântica** num processo de desenvolvimento coordenado e iterativo que permita uma iteração contínua entre descoberta, desenvolvimento, ensaio e implantação.

As infraestruturas públicas quânticas e as linhas-piloto da Europa apresentadas na secção 2.2 *supra* são fundamentais para este modelo. Estas instalações funcionam como ponte entre a investigação e a industrialização. A sua construção, manutenção e expansão proporcionam as bases físicas e organizativas essenciais para reforçar e cultivar todo o ecossistema quântico. Podem ajudar a traduzir a investigação em aplicações práticas, fornecendo os bancos de ensaio, as instalações e as redes necessários para testar, validar e expandir os avanços da investigação. Servem também de excelentes espaços de experimentação para atrair talentos e desenvolver aplicações práticas e casos de utilização. Por último, ajudam as empresas em fase de arranque e as PME no domínio quântico a obterem acesso às mais recentes plataformas tecnológicas e instalações laboratoriais, onde podem continuar a desenvolver os seus protótipos e prepará-los para a implantação industrial. A rede federada de polos de competências quânticas funcionará ainda como catalisador desta abordagem virtuosa do ciclo de vida, ligando organizações de investigação, empresas em fase de arranque, empresas em fase de expansão, grandes empresas industriais e fornecedores de infraestruturas, criando assim pontes entre intervenientes científicos e industriais.

A fim de assegurar um ciclo de vida sólido e adequado à sua finalidade, serão definidos indicadores-chave de desempenho (ICD), o acompanhamento dos marcos e a avaliação comparativa com as tecnologias existentes.

Por último, este modelo integrado alinha as estratégias da UE e dos Estados-Membros, centrando os investimentos em objetivos comuns e criando ciclos coordenados de retorno de

informação. Evita duplicações, cria massa crítica e reforça a influência global da Europa na configuração do desenvolvimento e da implantação de tecnologias quânticas.

4 Cooperação internacional

Num contexto de crescente incerteza geopolítica e dos seus impactos diretos no investimento e no panorama comercial a nível mundial, a Europa deve proteger os seus interesses, mantendo simultaneamente a sua abertura e dialogando proativamente com parceiros de confiança. Esta noção reflete-se numa série de políticas recentes da UE, incluindo a sua Estratégia Digital Internacional e a sua estratégia em matéria de segurança económica.

Os parceiros prioritários incluem países que partilham as mesmas ideias, em especial aqueles com os quais a UE já está a coordenar questões de política tecnológica e comercial no âmbito, por exemplo, de acordos de comércio livre, conselhos de comércio e tecnologia⁸³ ou parcerias digitais⁸⁴. A Comissão tenciona alargar esta cooperação com iniciativas que abrangem programas de investigação conjuntos, convites à apresentação de propostas coordenados, intercâmbio de conhecimentos especializados, acesso recíproco a infraestruturas, quadros de propriedade intelectual alinhados e preparação de normas quânticas globais. Além disso, unirá esforços em aplicações quânticas concretas no âmbito de políticas setoriais, por exemplo para o desenvolvimento de novos materiais. Neste contexto, a UE já começou a executar projetos conjuntos de investigação e inovação no domínio das tecnologias quânticas com o Japão, a República da Coreia e o Canadá.

A UE colaborará igualmente com os ecossistemas quânticos emergentes em rápido crescimento, que representam oportunidades económicas para as empresas da UE, oferecem um impulso competitivo à indústria quântica da UE a nível mundial e proporcionam uma via para as empresas quânticas europeias diversificarem as parcerias e reduzirem as dependências. Esta abordagem orientará as parcerias bilaterais e multilaterais, baseadas em valores comuns, na confiança mútua e na complementaridade das capacidades e dos mercados, assegurando simultaneamente níveis adequados de proteção dos interesses da UE em domínios estratégicos.

Além disso, a UE reforçará a sua presença quântica nas instâncias internacionais de normalização, nos diálogos comerciais e nas alianças quânticas multilaterais⁸⁵.

Em tudo o que precede, a Comissão trabalhará em estreita cooperação com os Estados-Membros para estabelecer um Quadro Europeu de Cooperação Internacional Quântica coerente que identifique os países prioritários e os domínios de colaboração estruturada. Apoiará igualmente iniciativas diplomáticas conjuntas e o desenvolvimento de posições europeias comuns sobre tecnologias quânticas, garantindo que a voz da Europa seja amplificada na definição da governação mundial e da ética na inovação quântica.

- Alargar e lançar novas iniciativas de cooperação bilateral e multilateral com países que partilham as mesmas ideias [a partir de 2025]
- Trabalhar com os Estados-Membros sobre um Quadro Europeu de Cooperação Internacional Quântica [a partir de 2025]

5 Governação

Uma governação forte e inclusiva a nível da UE é essencial para orientar, coordenar e acompanhar a execução da Estratégia para uma Europa Quântica, promovendo a participação

⁸³ Com os EUA e a Índia.

⁸⁴ Com o Canadá, o Japão, Singapura e a Coreia do Sul.

⁸⁵ Na Cimeira do G7 de junho de 2025, os dirigentes reconheceram o potencial transformador das tecnologias quânticas e comprometeram-se a impulsionar o investimento, a promover uma cooperação mundial de confiança e a reforçar os laços entre os institutos nacionais de medição através de um grupo de trabalho conjunto do G7. Ver: [Kananaskis Common Vision for the Future of Quantum Technologies](#).

de toda a União, tanto através do envolvimento de todos os Estados-Membros e de representantes de todos os tipos de partes interessadas do domínio quântico, como também assegurando o equilíbrio de género.

Em primeiro lugar, um **Conselho Consultivo de Alto Nível**, que reunirá os principais cientistas quânticos e peritos em tecnologia europeia, fornecerá orientações estratégicas independentes sobre a execução da Estratégia para uma Europa Quântica.

Em segundo lugar, um **quadro de cooperação estruturada com os Estados-Membros** contribuirá para assegurar uma execução coerente em todos os programas nacionais e a nível da UE, coordenar os progressos anuais do ciclo de vida nos cinco domínios estratégicos e acompanhar a evolução da segurança e da resiliência das cadeias de abastecimento quânticas e dos seus componentes críticos. Um **grupo de peritos específico** provenientes de todos os Estados-Membros⁸⁶ já se encontra operacional e será estreitamente envolvido nos futuros trabalhos do Conselho de Administração da Empresa Comum EuroHPC, uma vez alterado o regulamento da Empresa Comum.

Por último, a Comissão continuará a manter uma interação estreita com toda a comunidade quântica europeia, incluindo o meio académico, as empresas em fase de arranque, os intervenientes industriais e as partes interessadas no domínio da inovação, bem como os seus representantes.

6 Conclusões

As tecnologias quânticas encontram-se num ponto de viragem. A UE estabeleceu-se como líder mundial no domínio da investigação quântica e firmou os alicerces para uma base industrial competitiva. No entanto, a corrida mundial para dominar as tecnologias quânticas está a acelerar. As nações líderes estão a intensificar o investimento público, a coordenar estratégias nacionais e a consolidar os processos de transferência da investigação para a indústria, a fim de alcançar a soberania tecnológica e uma vantagem económica. O potencial de dupla utilização das tecnologias quânticas pode também reforçar as suas capacidades de segurança e defesa. Ao mesmo tempo, o investimento privado está a tornar-se o fator decisivo entre o sucesso e o fracasso. Para que a Europa se mantenha competitiva, defina os valores subjacentes à inovação quântica e colha plenamente os benefícios económicos, de segurança e outros decorrentes da sua liderança intelectual, deve agir com urgência, clareza e unidade.

Chegou o momento de a Europa liderar. Esta estratégia não é o ponto de chegada, mas sim um quadro evolutivo — um plano em movimento — para o futuro quântico da Europa. Exige o empenho coletivo da UE, dos Estados-Membros, da indústria, do meio académico e da sociedade civil em geral. Se for bem-sucedida, as tecnologias quânticas impulsionarão a próxima revolução tecnológica e apoiarão a competitividade da UE, e a Europa estará na vanguarda, moldando-a segundo os seus próprios termos.

⁸⁶ [Grupo Europeu de Coordenação das Tecnologias Quânticas constituído por representantes dos Estados-Membros.](#)

APÊNDICE

Resumo das ações da Estratégia para uma Europa Quântica

Domínio 1: Iniciativa de Investigação e Inovação Quântica
• Alterar o Regulamento Empresa Comum EuroHPC a fim de alargar o seu mandato a todas as tecnologias quânticas e, numa primeira fase, transferir as atuais atividades quânticas de I&I do Horizonte Europa para a Empresa Comum [terceiro trimestre de 2025] • Apresentar a proposta de ato legislativo sobre as tecnologias quânticas [2026] • Testar dois Grandes Desafios Quânticos (sistemas de computação quântica tolerantes a falhas e sistemas quânticos de PNT) [2025-2027]
Domínio 2: infraestruturas da Europa Quântica
• Publicar o roteiro da UE para a computação e simulação quânticas [2026] • Aumentar o número e a capacidade dos sistemas de computação quântica da EuroHPC [a partir de 2026] • Criar um quadro de monitorização da computação quântica [2026] • Implantar a primeira rede experimental de comunicações quânticas terrestres e espaciais seguras interconectadas na UE [até 2030] • Publicar um roteiro das comunicações quânticas [2026] • Lançar uma instalação-piloto para a Internet quântica europeia [2026] • Implantar um sistema distribuído de gravímetros em toda a Europa [a partir de 2026] • Publicar um roteiro de deteção quântica [2026] • Criar uma infraestrutura-piloto europeia de IRM quântica e alargá-la a toda a Europa [a partir de 2025]
Domínio 3: o ecossistema da Europa Quântica
• Criar seis novas linhas-piloto de produção quântica no âmbito da Empresa Comum dos Circuitos Integrados [2025] • Lançar uma instalação de conceção quântica [2026] • Publicar um roteiro da industrialização dos circuitos integrados quânticos [2026] • Publicar um roteiro europeu das normas quânticas [2026] • Alargar a rede de polos de competências quânticas [2026] • Realizar e finalizar avaliações à escala da UE das vulnerabilidades da cadeia de abastecimento [2025-2026]
Domínio 4: tecnologias quânticas espaciais e com potencial de dupla utilização (segurança e defesa)
• Assinar um acordo de cooperação com a AEE para a elaboração de um roteiro da tecnologia quântica espacial [segundo trimestre de 2025] • Elaborar um roteiro das tecnologias de deteção quântica nos setores espacial e da defesa [2026] • Contribuir para o Roteiro Tecnológico Europeu do Armamento [quarto trimestre de 2025] • Lançar iniciativas de absorção de tecnologias para envolver as empresas civis e o meio académico no desenvolvimento de aplicações de defesa [a partir de 2026]
Domínio 5: competências quânticas
• Criar a Academia Europeia de Competências Quânticas [2026] • Lançar concursos europeus de competências digitais avançadas no domínio quântico [a partir de 2026] • Lançar um programa-piloto de investigadores em residência em empresas em fase de arranque de tecnologia quântica [2025] • Lançar o Programa Europeu de Mobilidade Quântica [a partir de 2026]

Cooperação internacional
• Lançar iniciativas de cooperação bilateral e multilateral [a partir de 2025] • Trabalhar com os Estados-Membros para estabelecer um Quadro Europeu de Cooperação Internacional Quântica [a partir de 2025]