

DO BRASIL À RÚSSIA: SOBERANIA NUCLEAR E GEOPOLÍTICA DA ENERGIA NO SÉCULO XXI

Da descoberta do méson pi por Lattes à autonomia nuclear da Marinha, a energia atômica traça um caminho de soberania brasileira; paralelamente, a ascensão da Rosatom consolida a Rússia como potência geopolítica indispensável, moldando o futuro energético global entre inovação, sanções e diplomacia.

Carlos A. Klomfahs*



Imagem meramente ilustrativa, gerada por inteligência artificial.

INTRODUÇÃO – ODISSEIA DO ÁTOMO: DO CORAÇÃO DA MATÉRIA À SOBERANIA BRASILEIRA E CONTRIBUIÇÃO RUSSA

Imagine que tudo o que você vê – seu celular, as estrelas e até você mesmo – é feito de pequenos “sistemas solares” invisíveis chamados átomos. Mas, diferentemente do nosso sistema solar, o coração do átomo – o núcleo –, guarda segredos e energias tão vastas que mudaram a história da humanidade. A trajetória da energia nuclear, no entanto, não é apenas uma crônica de avanços científicos; ela é um pilar central da projeção de poder global de nações como a Rússia.

Para entender como a corporação estatal russa Rosatom tornou-se uma potência geopolítica incontornável, devemos antes compreender a evolução dessa tecnologia. E essa jornada passa diretamente pelo Brasil, cujos cientistas e militares pioneiros, muitas vezes em colaboração com mentes de origem russa, forjaram as bases da nossa soberania tecnológica e ajudaram a desvendar os mistérios do átomo.

1. O MISTÉRIO DA RADIAÇÃO E O NASCIMENTO DE UM NOVO MUNDO

Tudo começa no final do século XIX, quando cientistas como Henri Becquerel e a lendária Marie Curie perceberam que certas pedras, como o Urânio, emitiam uma energia invisível e constante: a radiação. Até então, acreditava-se que o átomo era uma esfera sólida e indestrutível. Mas a radiação provou o contrário: os átomos podiam se transformar e liberar energia.

Graças ao estudo do eletromagnetismo, os cientistas aprenderam que o átomo tinha cargas elétricas. Ernest Rutherford descobriu que quase toda a massa do átomo estava concentrada em um núcleo minúsculo e positivo. Mas havia um problema: se o núcleo é cheio de prótons positivos e “cargas iguais se repelem”, por que o núcleo não explode? A resposta veio em 1932, quando James Chadwick descobriu o nêutron, uma partícula sem carga que ajuda a manter tudo unido, como uma “cola” atômica.

2. O TOQUE DE GÊNIO BRASILEIRO: CÉSAR LATTES

Aqui entra o Brasil na história.

Se o nêutron era a cola, faltava entender qual era a força que agia entre as partículas. Em 1947, o jovem físico brasileiro César Lattes¹ foi para o Monte Chacaltaya, nos Andes bolivianos, a mais de 5.000 metros de altitude, munido de “placas fotográficas” (emulsões nucleares) para caçar raios cósmicos². Lá, ele codescobriu o Méson Pi (ou Píon), a partícula responsável por transmitir a força nuclear forte³.

Aquela descoberta foi tão monumental que rendeu o Prêmio Nobel de Física de 1950 ao

- 1 **Brasil. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação.** Livro em homenagem a César Lattes é relançado no CBPF. Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas – CBPF, 19 de julho de 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/cbpf/pt-br/assuntos/noticias/livro-em-homenagem-a-cesar-lattes-e-relançado-no-cbpf>.
- 2 **Vieira, C. L. (2014).** Carried by History: Cesar Lattes, Nuclear Emulsions, and the Discovery of the Pion. Physics in Perspective. Disponível em: <http://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2014PhP...16....3V/abstract>.
- 3 **Biblioteca IF – UFRJ.** (s.d.). César Lattes. Disponível em: <http://biblioteca.if.ufrj.br/museu-virtual/levantamento-documental/cesar-lattes/>.

líder do laboratório britânico onde Lattes trabalhava, Cecil Powell. Embora Lattes não tenha recebido o prêmio oficial – apesar de ter sido indicado –, ele se tornou um herói nacional, provando definitivamente que a ciência brasileira operava em classe mundial⁴.

3. OS MESTRES: WATAGHIN E SCHENBERG

Mas Lattes não surgiu do nada. Ele foi aluno de Gleb Wataghin, um físico teórico nascido na Ucrânia (então parte do Império Russo) e naturalizado italiano, que imigrou para o Brasil e foi fundamental na fundação da física moderna na Universidade de São Paulo (USP) na década de 1930⁵. Wataghin trouxe o rigor acadêmico europeu e a paixão pela pesquisa empírica.

Ao seu lado brilhava Mario Schenberg, considerado o maior físico teórico do Brasil. Schenberg colaborou com gigantes da física global, como George Gamow e Enrico Fermi, e ajudou a explicar como as estrelas morrem em explosões de supernovas através do processo de emissão de neutrinos, que ele e Gamow batizaram jocosamente de "Processo Urca" (em alusão ao cassino carioca onde a energia, assim como o dinheiro, desaparecia rapidamente)⁶. Eles mostraram que o Brasil era também um celeiro de mentes científicas brilhantes.

4. A LUTA PELA AUTONOMIA: ALMIRANTES ÁLVARO ALBERTO E OTHON PINHEIRO

A ciência pura é fundamental, mas para um país ser verdadeiramente independente, ele precisa dominar a tecnologia aplicada. O almirante Álvaro Alberto⁷ foi o visionário brasileiro que compreendeu essa máxima. Logo após a Segunda Guerra Mundial, como representante brasileiro na Comissão de Energia Atômica da ONU, ele lutou tenazmente para que o Brasil tivesse acesso à tecnologia de enriquecimento de urânio⁸. Para institucionalizar a pesquisa no país, foi o principal idealizador e primeiro presidente do

4 **Silva, C. P.** (2024). *César Lattes e o Prêmio Nobel: a Lógica do Prestígio*. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/ws34c6cTsmgRZp9HTWFS3Zf/?lang=pt>.

5 **Instituto de Física Gleb Wataghin – UNICAMP**. (s.d.). *A Instituição*. Disponível em: <https://portal.ifi.unicamp.br/a-instituicao>.

6 **Sociedade Brasileira de Física**. (s.d.). *Mário Schenberg*. Disponível em: <https://www.sbfisica.org.br/v1/portalpion/index.php/fisicos-do-brasil/74-mario-schenberg-2>.

7 **Brasil. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação**. "Álvaro Alberto é um tema de extrema importância para a história da ciência e da tecnologia do país". *Museu de Astronomia e Ciências Afins – MAST*, 2 de fevereiro de 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/mast/pt-br/assuntos/noticias/2022/fevereiro/alvaro-alberto-e-um-tema-de-extrema-importancia-para-a-historia-da-ciencia-e-da-tecnologia-do-pais>.

8 **Centro de Memória – CNPq**. (s.d.). *Almirante Álvaro Alberto*. Disponível em: <https://centrodememoria.cnpq.br/alvaro-alberto.html>.

Conselho Nacional de Pesquisas (CNPq), fundado em 1951⁹.

Décadas depois, o almirante Othon Pinheiro¹⁰ da Silva deu o passo definitivo para a autonomia brasileira. Liderando o Programa Nuclear da Marinha entre 1979 e 1994, ele comandou o desenvolvimento de tecnologia 100% nacional para a fabricação de ultracentrífugas¹¹. Essa conquista é vital: a tecnologia de enriquecimento isotópico é guardada a sete chaves pelas potências nucleares. Ao desenvolver nossa própria engenharia em solo nacional (consolidada no Centro Experimental Aramar), o Brasil garantiu a capacidade de produzir combustível para suas usinas nucleares e para o futuro submarino de propulsão nuclear, assegurando soberania tecnológica sem subordinação externa¹².



Trajcetórias nucleares comparadas de Brasil e Rússia (1921–2026). A linha superior representa os marcos científicos e institucionais brasileiros; a linha inferior, a evolução do programa nuclear soviético/russo. Ambas as trajetórias convergem na Cúpula de Energia Nuclear de Paris (2026), com o compromisso conjunto de triplicar a capacidade nuclear global até 2050.

Em suma, a história da física nuclear é uma história de curiosidade e coragem. De Marie Curie a César Lattes, passando por militares patriotas, o recado é claro: a ciência de

9 **Memorial da Democracia.** (s.d.). Criado o Conselho Nacional de Pesquisa. Disponível em: <https://memorialdademocracia.com.br/card/criado-o-conselho-nacional-de-pesquisa>.

10 **Clube de Engenharia.** Almirante Othon Luiz Pinheiro da Silva revê sua trajetória no Memória Oral. 10 de outubro de 2023. Disponível em: <https://portalclubedeengenharia.org.br/almirante-othon-luiz-pinheiro-da-silva-reve-sua-trajetoria-no-memoria-oral/>.

11 **Memória da Eletricidade.** (s.d.). Othon Luiz Pinheiro da Silva. Disponível em: <https://memoriadaeletricidade.com.br/acervo/16290/othon-luiz-pinheiro-da-silva>.

12 **Marinha do Brasil.** (s.d.). CCN – Enriquecimento | CTMSP. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/ctmsp/CCN-enriquecimento>.

fronteira também acontece no Brasil, historicamente enriquecida por intercâmbios com nações como a Rússia. E é exatamente a evolução russa nesse setor que molda a atual geopolítica energética global. E o próximo grande capítulo dessa odisséia pode ser escrito pelos nossos jovens.

5. O LEGADO DE OBNINSK E A ASCENSÃO DA ROSATOM

A trajetória da energia nuclear¹³ na Rússia é um componente intrínseco de sua projeção de poder global. A pesquisa na área da física nuclear na URSS remonta à primeira metade do século XX. Em 1921, foi fundado o Laboratório de Rádio (atual Instituto do Rádio V.G. Khlopin). Em 1939, cientistas soviéticos como Yakov Zeldovich e Yulii Khariton comprovaram a possibilidade de uma reação em cadeia de fissão nuclear no urânio.

O marco inicial da era atômica soviética ocorreu em 25 de dezembro de 1946, quando o reator F-1, localizado no Laboratório nº 2 (atual Instituto Kurchatov) em Moscou, alcançou a primeira reação nuclear em cadeia autossustentável da Europa¹⁴. Esse esforço culminou, em 27 de junho de 1954, na inauguração da Usina Nuclear de Obninsk — a primeira do mundo a fornecer eletricidade de origem nuclear para uma rede comercial civil¹⁵. Esse marco estabeleceu a União Soviética como uma pioneira incontestável.

Todo esse vasto complexo industrial-militar e civil soviético foi herdado e reestruturado. Em 2007, foi criada a Rosatom, uma corporação estatal russa que se transformou em uma gigante geopolítica. Hoje, ela controla todas as etapas do ciclo do combustível nuclear, desde a mineração de urânio até a construção de usinas e o descomissionamento de reatores.

METODOLOGIA DE ANÁLISE

Este artigo foi elaborado por meio de uma análise qualitativa e documental, fundamentada em dados técnicos da Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), relatórios corporativos da Rosatom, dados de mercado do setor energético e publicações acadêmicas sobre a história da física no Brasil. A abordagem foca na intersecção entre inovação tecnológica e estratégia geopolítica, examinando como a Rússia utiliza seu domínio no enriquecimento de urânio, na engenharia de reatores e na diplomacia nuclear como ferramentas para contornar sanções e manter sua influência econômica global.

13 **Rosatom**. *Short history of the Russian nuclear industry*. Site corporativo. Disponível em: <https://rosatom.ru/en/press-centre/short-history-of-the-russian-nuclear-industry/>.

14 **Kurchatov Institute/IAEA**. (s.d.). *F-1 (nuclear reactor)*. Disponível em: [https://en.wikipedia.org/wiki/F-1\(nuclearreactor\)](https://en.wikipedia.org/wiki/F-1(nuclearreactor)).

15 **IAEA**. (2004). *From Obninsk Beyond: Nuclear Power Conference Looks to Future*. Disponível em: <http://www.iaea.org/newscenter/news/obninsk-beyond-nuclear-power-conference-looks-future>.

6. EXCELÊNCIA CIENTÍFICA E CAPITAL HUMANO NUCLEAR

A hegemonia russa no setor nuclear repousa sobre uma base acadêmica e científica de prestígio global. A Rússia é herdeira de uma tradição profunda nas ciências físicas, evidenciada por descobertas como o efeito Cherenkov e a teoria da superfluidez, que renderam prêmios Nobel a nomes como Pavel Cherenkov e Lev Landau.

Esse legado se traduz em um sistema educacional robusto, liderado pela Universidade Nacional de Pesquisa Nuclear (MEPhI)¹⁶, que forma anualmente milhares de engenheiros e físicos especializados. Essa produção constante de capital humano permitiu que a Rússia não apenas acompanhasse as tendências globais, mas liderasse o desenvolvimento da tecnologia de fusão nuclear através do conceito de Tokamak¹⁷, cujo primeiro reator (T-1) foi criado no Instituto Kurchatov na década de 1950¹⁸.

A ESTRUTURA DA ROSATOM

Com sede em Moscou, a Rosatom é uma corporação estatal de estrutura complexa que aglutina mais de 350 empresas e instituições de pesquisa. O impacto econômico da corporação é massivo: em 2024, seu faturamento com exportações ultrapassou US\$ 18 bilhões, impulsionado pela construção de usinas nucleares no exterior e pelo fornecimento de combustível e tecnologias¹⁹. Seu portfólio de pedidos externos de longo prazo superou a marca de US\$ 200 bilhões, consolidando-a como a maior exportadora de tecnologia nuclear do mundo²⁰.

A empresa é estruturada em divisões estratégicas como a TVEL (produção de combustível), a Rosenergoatom (operadora das usinas domésticas) e a Atomstroyexport (engenharia e construção internacional). Atualmente, a Rússia opera dezenas de reatores em seu território e lidera a construção de novas unidades globalmente, em países como Turquia, Egito, Índia e Bangladesh.

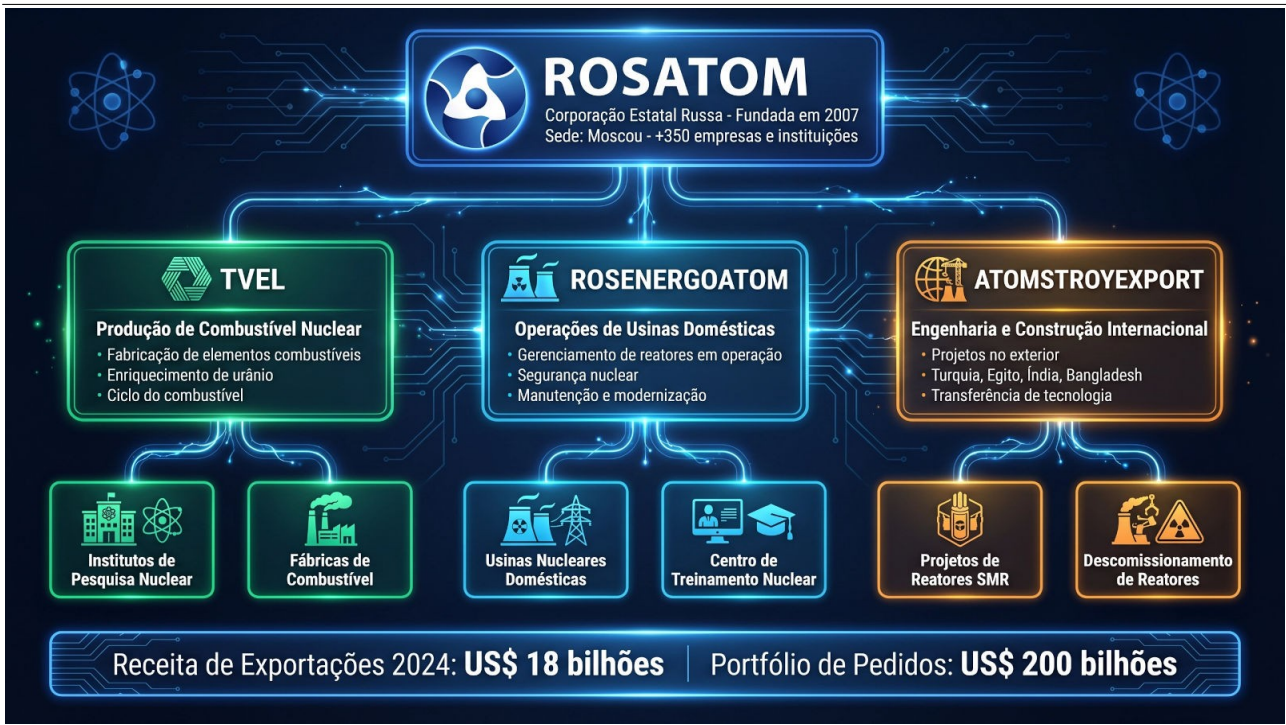
16 **MEPhI**. National Research Nuclear University MEPhI. Site Corporativo. Disponível em: <https://eng.mephi.ru>.

17 **MEPhI**. To the 80th Anniversary of MEPhI: a New Tokamak Is Being Made at the University. National Research Nuclear University MEPhI, 18 de novembro de 2022. Disponível em: <https://eng.mephi.ru/news/120884>.

18 **Russia Beyond**. (2019). Instituto Kurtchátov, o berço da energia nuclear russa. Disponível em: <https://br.rbth.com/ciencia/82471-instituto-kurtchatov-hbo>.

19 **Rosatom Latin America**. (2025). Rosatom cresce em exportações e fecha 2024 com US\$ 200 bilhões em pedidos internacionais. Disponível em: <https://www.rosatom-latinamerica.com/pt/journalist/news/rosatom-cresce-em-exporta-es-e-fecha-2024-com-us-200-bilh-es-em-pedidos-internacionais/>.

20 **TASS**. (2025). Rosatom's overseas orders portfolio above \$200 bln in 2024. Disponível em: <https://tass.com/economy/1912799>.



Estrutura organizacional simplificada da Rosatom. A corporação estatal russa, fundada em 2007, articula mais de 350 empresas e instituições de pesquisa em torno de três divisões estratégicas principais: TVEL (produção de combustível), Rosenergoatom (operações domésticas) e Atomstroyexport (engenharia e construção internacional). Em 2024, a receita de exportações superou US\$ 18 bilhões, com portfólio de pedidos externos acima de US\$ 200 bilhões.



Indicadores econômicos e operacionais da Rosatom em 2024. A receita de exportações (US\$ 18 bilhões) representa apenas a parcela realizada no ano, enquanto o portfólio de pedidos externos (US\$ 200 bilhões) reflete contratos de longo prazo em execução. A participação de 44% na capacidade global de enriquecimento de urânio consolida a corporação como componente sistêmico da segurança energética mundial. Fontes: Rosatom Latin America (2025); TASS (2025); CNN Brasil (2024).

7. EVOLUÇÃO DAS GERAÇÕES DE REATORES RUSSOS

A engenharia russa categoriza seus reatores em gerações que refletem saltos significativos em segurança e eficiência:

- **Geração I e II:** Incluem os reatores pioneiros de Obninsk e os modelos RBMK e VVER-440 iniciais.
- **Geração III:** Representada pelo amplamente exportado VVER-1000.
- **Geração III+:** O estado da arte atual, com o VVER-1200 e o VVER-TOI. Estes incorporam sistemas de segurança passiva avançados, capazes de resfriar o núcleo e operar sem intervenção humana ou energia elétrica externa em caso de emergência.
- **Geração IV:** A fronteira tecnológica. A Rússia já opera comercialmente o reator de nêutrons rápidos BN-800 e desenvolve o projeto BREST-OD-300 (resfriado a chumbo), visando o fechamento total do ciclo do combustível nuclear²¹.



Evolução das gerações de reatores nucleares russos, da Geração I (usina de Obninsk, 1954) à Geração IV (BN-800 e BREST-OD-300). A progressão evidencia saltos significativos em segurança passiva – de sistemas inteiramente dependentes de intervenção humana para reatores capazes de operar em emergências sem energia elétrica externa – e em eficiência energética. A Geração IV representa a fronteira tecnológica atual, com foco no fechamento total do ciclo do combustível e na reciclagem de resíduos nucleares. Elaborado pelo autor com base em dados da World Nuclear Association (2023) e relatórios da Rosatom.

21 **World Nuclear Association.** (2023). *Nuclear Power in Russia*. Disponível em: <https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-o-s/russia-nuclear-power>.

8. O PIONEIRISMO NOS REATORES SMR E A ENGENHARIA DE MINIATURIZAÇÃO

Enquanto o mundo ocidental ainda debate a viabilidade comercial dos Pequenos Reactores Modulares (SMR, *Small Modular Reactors*), a Rússia já os opera com sucesso. O carro-chefe dessa tecnologia é a série RITM-200, que representa o ápice da engenharia de miniaturização.

Originalmente desenvolvidos para a propulsão naval da frota russa de quebra-gelos nucleares de última geração (vital para o domínio da Rota Marítima do Norte no Ártico), esses reatores foram adaptados para uso flutuante, como visto na usina Akademik Lomonosov, e para instalações terrestres remotas. A miniaturização impõe desafios severos que a engenharia russa tem superado:

- **Densidade Térmica e Refrigeração:** Gerar alta potência em volumes reduzidos exige materiais avançados que suportem estresse térmico extremo.
- **Segurança Passiva Compacta:** Integrar sistemas de resfriamento de emergência que não dependam de bombas elétricas em designs de pequena escala.
- **Logística de Combustível HALEU (*High-Assay Low-Enriched Uranium*):** Necessidade de urânio de baixo enriquecimento e alto ensaio para garantir ciclos de operação longos sem recarga.

A GEOPOLÍTICA DAS SANÇÕES E A DEPENDÊNCIA ESTRATÉGICA DOS EUA

Um dos aspectos mais intrigantes e críticos da geopolítica nuclear contemporânea é a resiliência da Rosatom frente às sanções ocidentais impostas após a invasão da Ucrânia em 2022. Enquanto o setor de petróleo e gás russo sofreu embargos severos, o setor nuclear civil permaneceu amplamente blindado durante anos devido a uma dura realidade: a dependência estratégica do Ocidente.

A Rússia controla cerca de 44% da capacidade global de enriquecimento de urânio²². Historicamente, o fluxo de combustível nuclear russo para os Estados Unidos representava cerca de um quarto do consumo das usinas americanas. Somente em maio de 2024, o governo dos EUA sancionou o *Prohibiting Russian Uranium Imports Act*, banindo a importação de urânio russo não irradiado, embora com brechas para isenções até 2028 caso

22 **CNN Brasil.** (2024). *Rússia restringe exportações de urânio enriquecido para os EUA*. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/economia/macroeconomia/russia-restringe-exportacoes-de-uranio-enriquecido-para-os-eua/>.

haja risco de desabastecimento²³.



Distribuição global da capacidade de enriquecimento de urânio por país. A Rússia detém aproximadamente 40% da capacidade mundial, seguida por China (17%), França (12%), EUA (11%), Países Baixos (8%), Reino Unido (7%) e demais países (5%). Essa concentração faz do setor nuclear russo um componente sistêmico da segurança energética global, com poder de barganha estratégico que transcende as sanções impostas após 2022. Fontes: Thunder Said Energy; World Nuclear Association (2023).

Essa legislação forçou os EUA e a Europa a correrem contra o tempo para reconstruir suas próprias cadeias de suprimento, especialmente para o urânio de baixo enriquecimento e alto ensaio (HALEU), essencial para os novos SMRs ocidentais. A capacidade técnica russa provou ser um componente sistêmico da segurança energética ocidental, e o esforço de “desacoplamento” (*de-risking*) exigirá bilhões de dólares e anos de investimento por parte de Washington e Bruxelas²⁴.

INOVAÇÃO SUSTENTÁVEL: O REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS NUCLEARES

Para manter sua liderança, a Rússia também acelera a corrida pelo “fechamento do ciclo do combustível nuclear”. Através do desenvolvimento de combustíveis inovadores como o MOX (Mistura de Óxidos) e o REMIX, a Rosatom consegue reciclar o urânio e o plutônio recuperados do combustível já utilizado.

Reatores de nêutrons rápidos, como o BN-800 na usina de Beloyarsk, transformam resíduos de alta atividade em nova energia. Isso reduz drasticamente o volume e a toxicidade dos

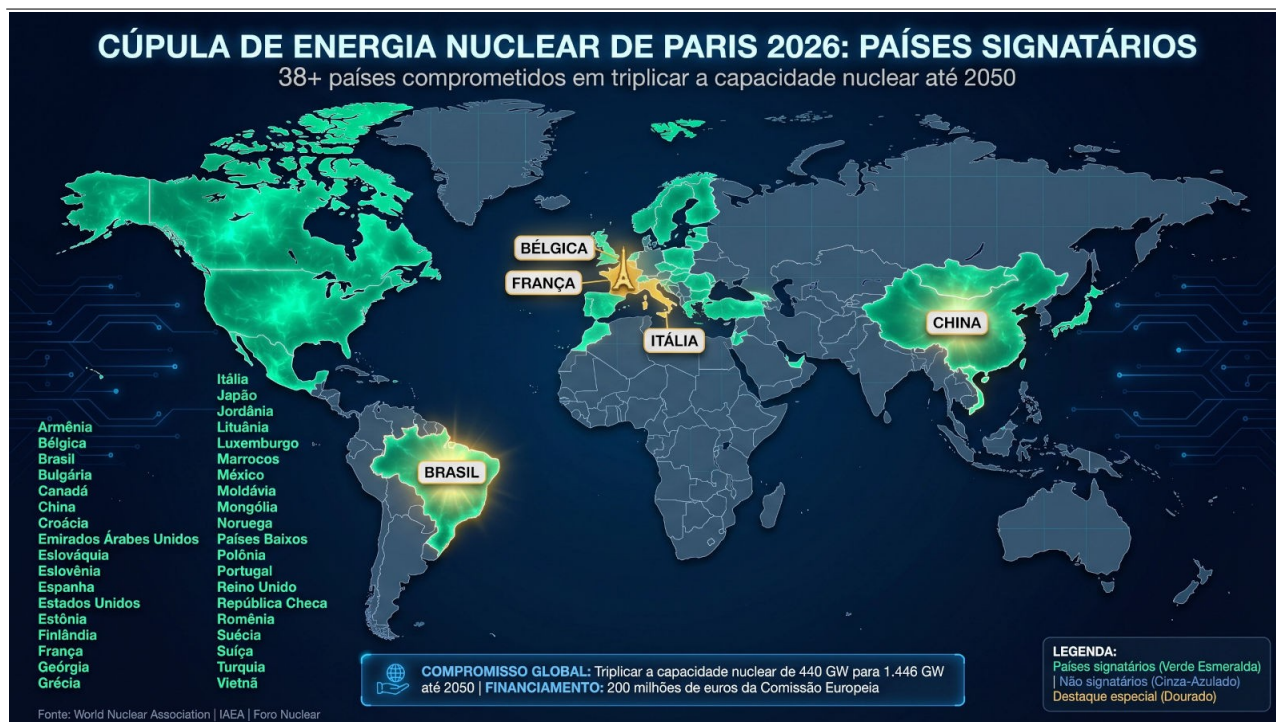
23 **U.S. Department of Energy.** (2024). *Prohibiting Russian Uranium Imports Act*. Disponível em: <https://www.energy.gov/>.

24 **Reuters.** (2024). *US bans Russian uranium imports*. Disponível em: <https://www.reuters.com/>.

dejetos finais, promovendo um “arrasto” positivo no desenvolvimento industrial e posicionando a energia nuclear russa como uma solução de economia circular²⁵.

A CÚPULA DE ENERGIA NUCLEAR DE 2026 EM PARIS

O papel da energia nuclear no combate às mudanças climáticas ganhou força renovada. Em 10 de março de 2026, a segunda Cúpula de Energia Nuclear reuniu líderes globais²⁶ em Paris, coorganizada pela França e pela AIEA²⁷. A conferência visou acelerar o uso da energia nuclear civil²⁸ como solução fundamental de baixo carbono.



signatários da Declaração para Triplicar a Capacidade Nuclear Global até 2050, reafirmada na Cúpula de Energia Nuclear de Paris (10 de março de 2026). Em destaque dourado, os quatro novos signatários que aderiram então – Brasil, Bélgica, China e Itália – e a França, país anfitrião. Os demais 33+ signatários estão indicados em verde-esmeralda. A adesão do Brasil representa um marco negativo para o país na geopolítica nuclear. Fontes: World Nuclear Association; IAEA; Foro Nuclear (2026).

Principais Resultados e Discussões:

- **Compromisso de Expansão:** O Brasil, juntamente com Bélgica, China e Itália, endossou formalmente a Declaração para Triplicar a Energia Nuclear até 2050 (uma iniciativa lançada originalmente na COP28), unindo-se a dezenas de outras nações²⁹ comprometidas

25 **Rosatom.** (s.d.). Closing the nuclear fuel cycle. Disponível em: <https://rosatom.ru/en/>.

26 **IAEA.** Nuclear Energy Summit 2026. Disponível em: <https://www.iaea.org/events/nuclear-energy-summit-2026>.

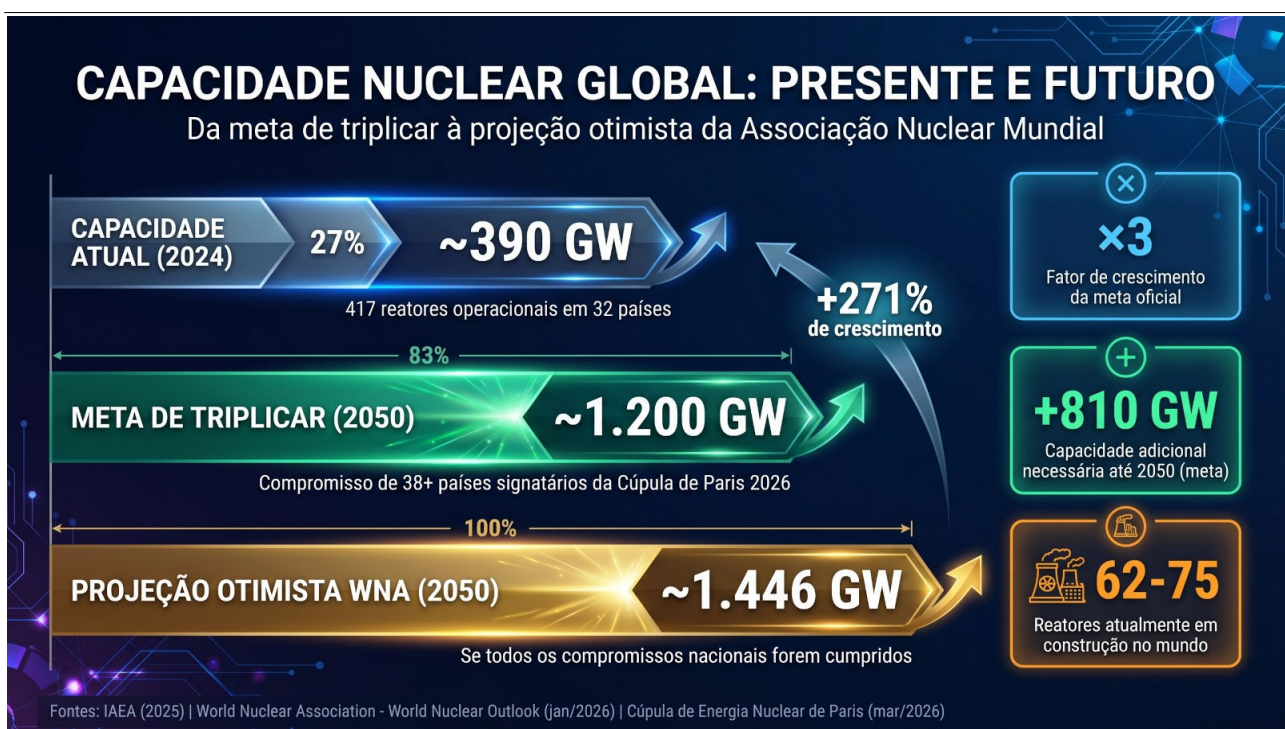
27 **IAEA.** (2026). Nuclear Energy Summit 2026. Disponível em: <http://www.iaea.org/events/nuclear-energy-summit-2026>.

28 **França. Palácio do Eliseu.** Safe and affordable nuclear energy for all. 10 de março de 2026. Disponível em: <https://www.elysee.fr/en/emmanuel-macron/2026/03/10/safe-and-affordable-nuclear-energy-for-all>.

29 **Ministério de Minas e Energia do Brasil.** (2026). Endosso do Brasil à Declaração para Triplicar a Energia Nuclear até 2050. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/endosso-do-brasil-a-declaracao-para-triplicar-a-energia-nuclear-ate-2050-nota-conjunta-MME-MRE>.

em atingir as metas de emissões líquidas zero.

- **Financiamento e Investimento:** A AIEA ampliou as parcerias com instituições financeiras internacionais e a Comissão Europeia anunciou uma garantia de 200 milhões de euros para apoiar o investimento privado em tecnologias inovadoras.
- **Foco Tecnológico:** As discussões enfatizaram os avanços em SMRs, reatores de Geração IV, o uso de Inteligência Artificial nas operações e o papel da energia nuclear no fornecimento de energia ininterrupta para *data centers* e na produção de hidrogênio verde.
- **Segurança e Regulamentação:** os líderes priorizaram operações seguras, segurança de longo prazo dos reatores e a harmonização das normas regulatórias para implantação transfronteiriça, especialmente para SMRs.



Capacidade nuclear global instalada em 2024 (~390 GW, com 417 reatores operacionais) em comparação com a meta de triplicação acordada por 38+ países (~1.200 GW até 2050) e a projeção otimista da Associação Nuclear Mundial (~1.446 GW), caso todos os compromissos nacionais sejam cumpridos. O crescimento necessário para atingir a meta oficial representa um acréscimo de +810 GW, equivalente a mais de duas vezes a capacidade instalada atual. Fontes: IAEA (2025); World Nuclear Association – World Nuclear Outlook (jan. 2026); Cúpula de Energia Nuclear de Paris (mar. 2026).

9. CONQUISTAS E DESAFIOS: O FUTURO DA ROSATOM

As conquistas da Federação Russa no setor nuclear são inegáveis, mas o futuro exige resiliência. O principal desafio é o “arrasto” tecnológico que as sanções internacionais impõem ao desenvolvimento de componentes eletrônicos avançados e de precisão, forçando a Rosatom a uma política de substituição de importações acelerada e à busca por

novos fornecedores na Ásia.

Além disso, a competição com os novos e agressivos projetos de SMRs chineses, somada ao esforço multibilionário dos EUA e da França para revitalizar suas indústrias nucleares, exige que a Rússia mantenha sua excelência técnica e pragmatismo diplomático. Ao dominar a ciência da miniaturização e a arte da reciclagem atômica, a Rússia posiciona-se não apenas como uma superpotência energética, mas como um ator geopolítico que o Ocidente, por mais que tente, ainda encontra imensas dificuldades para isolar na transição global para energias de baixo carbono.

REFERÊNCIAS

BRASIL. MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO. Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas – CBPF. *Divulgação Científica: Livros*.
<https://www.gov.br/cbpf/pt-br/divulgacao-cientifica/livros>.

ABDAN – Associação Brasileira para Desenvolvimento de Atividades Nucleares. Revista Conexão Nuclear, 26.^a Edição. <https://abdan.org.br/revista-conexao-nuclear-download/>.

BRASIL. MARINHA DO BRASIL. *Amazul – Amazônia Azul Tecnologias de Defesa S.A.*
<https://amazul.marinha.mil.br/taxonomy/term/117>.

BRASIL. MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO. Comissão Nacional de Energia Nuclear. *CNEN: Tecnologia nuclear para uma vida melhor*. Publicado em 9 de outubro de 2020 e atualizado em 18 de abril de 2026. <https://www.gov.br/cnen/pt-br>.

BRASIL. EXÉRCITO BRASILEIRO. Instituto Militar de Engenharia – IME. *Programa de Pós-Graduação em Engenharia Nuclear do IME*. <https://www.ime.eb.mil.br/?view=article&id=437:programa-engenharia-nuclear&catid=10>.

**Carlos A. Klomfahs é advogado, especialista em Direito Internacional dos Conflitos Armados e operador de Inteligência. Egresso curso de geopolítica da ECEME e estratégia marítima da Escola de Guerra Naval. É mestrando no Programa de Pós-Graduação em Segurança Internacional e Defesa (PPGSID) da Escola Superior de Guerra.*
