



REVISTA CIENTÍFICA ACERTTE

ISSN 2763-8928

PERSPECTIVAS SOBRE A CONSTRUÇÃO DE REATORES NUCLEARES NO BRASIL

PERSPECTIVES ON THE CONSTRUCTION OF NUCLEAR REACTORS IN BRAZIL

PERSPECTIVAS SOBRE LA CONSTRUCCIÓN DE REACTORES NUCLEARES EN BRASIL

Flavia Paladino Biaty¹, Arthur Pires Julião², Patricia Andrea Paladino³, Gaianê Sabundjian⁴

e511285

<https://doi.org/10.63026/acertte.v5i11.285>

PUBLICADO: 11/2025

RESUMO

Este artigo analisa as perspectivas para a construção de reatores nucleares no Brasil, considerando o contexto tecnológico, regulatório e energético, bem como os desafios e potencialidades que impactam a expansão do setor. A energia nuclear é apresentada como uma alternativa estratégica frente à crescente demanda por fontes de baixo carbono e maior segurança no suprimento energético. A partir de uma abordagem qualitativa, com base em revisão da literatura e análise documental, são discutidos os avanços da tecnologia nuclear, incluindo os Reatores Modulares de Pequeno Porte (*Small Modular Reactors* - SMRs), os aspectos técnicos e regulatórios da construção de usinas, e o panorama atual da energia nuclear no Brasil. O estudo aponta que, apesar do potencial nacional, entraves institucionais, custos elevados e resistência social ainda limitam o avanço do setor. Conclui-se que os SMRs representam uma oportunidade promissora, especialmente se acompanhados de um marco regulatório atualizado, planejamento estratégico e coordenação entre governo, indústria e sociedade. Este trabalho integra um projeto de pesquisa voltado à estimativa dos custos ambientais de usinas nucleares brasileiras, contribuindo para o desenvolvimento de uma base científica que apoie decisões sustentáveis no setor.

PALAVRAS-CHAVE: Energia Nuclear. *Small Modular Reactors* - SMRs. Planejamento Energético.

ABSTRACT

This article analyzes the prospects for the construction of nuclear reactors in Brazil, considering the technological, regulatory, and energy contexts, as well as the challenges and potential that influence the sector's expansion. Nuclear energy is presented as a strategic alternative in response to the growing demand for low-carbon sources and greater energy supply security. Based on a qualitative approach, drawing on literature review and document analysis, the study discusses advances in nuclear technology, including Small Modular Reactors (SMRs), technical and regulatory aspects of plant construction, and the current landscape of nuclear energy in Brazil. The findings indicate that, despite the country's potential, institutional barriers, high costs, and public resistance continue to limit the

1 Bacharel em Ciências Atuariais pela Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo (FEA-USP). Tecnóloga em Análise e Desenvolvimento de Sistemas pela Faculdade de Tecnologia de São Paulo (FATEC-SP). Formação Pedagógica - Licenciatura em Matemática. Técnica em Eletrotécnica pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP Campus São Paulo). Doutorado Direto em andamento pelo Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares de São Paulo (IPEN-USP).

2 Bacharel em Matemática Pura pelo Instituto de Matemática e Estatística da USP (IME-USP). Bacharel em Física para Pesquisa pelo Instituto de Física da USP (IF-USP). Mestre em Matemática Pura pelo Instituto de Matemática e Estatística da USP (IMEUSP). Professor Pleno III da Faculdade de Tecnologia de São Paulo (FATEC-SP).

3 Arquiteta e Urbanista (FAU-USP). Tecnóloga em Construção Civil (FATEC-SP). Licenciada em Matemática (IME-USP). Arte-educadora - Belas Artes. Mestrado, Doutorado e Pós doutorado em Ciências pelo Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares de São Paulo (IPEN - USP). Professora Pleno III da Faculdade de Tecnologia de São Paulo (FATECSP). Professora do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP Campus São Paulo) - DCM Matemática.

4 Bacharel e Licenciada em Física pela Pontifícia Universidade Católica de São Paulo (PUC-SP). Mestre em Tecnologia Nuclear pelo Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN-USP) e Doutora em Engenharia Mecânica pela Escola Politécnica de São Paulo (POLI-USP). Tecnologista Senior do IPEN/CNEN.

©2025. Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.



REVISTA CIENTÍFICA ACERTTE

ISSN 2763-8928

PERSPECTIVAS SOBRE A CONSTRUÇÃO DE REATORES NUCLEARES NO BRASIL
Flavia Paladino Biaty, Arthur Pires Julião, Patricia Andrea Paladino, Gaianê Sabundjian

sector's progress. The study concludes that SMRs represent a promising opportunity, particularly when supported by an updated regulatory framework, strategic planning, and coordination between government, industry, and society. This work is part of a broader research project aimed at estimating the environmental costs of Brazilian nuclear power plants, contributing to the development of a scientific foundation to support sustainable decision-making in the sector.

KEYWORDS: Nuclear Energy. Small Modular Reactors - SMRs. Energy Planning.

RESUMEN

Este artículo analiza las perspectivas para la construcción de reactores nucleares en Brasil, considerando el contexto tecnológico, regulatorio y energético, así como los desafíos y potencialidades que impactan en la expansión del sector. La energía nuclear se presenta como una alternativa estratégica frente a la creciente demanda de fuentes de bajo carbono y una mayor seguridad en el suministro energético. A partir de un enfoque cualitativo, basado en la revisión de la literatura y el análisis documental, se discuten los avances en tecnología nuclear, incluidos los Reactores Modulares Pequeños (Small Modular Reactors - SMRs), los aspectos técnicos y regulatorios de la construcción de plantas y el panorama actual de la energía nuclear en Brasil. El estudio señala que, a pesar del potencial nacional, las barreras institucionales, los altos costos y la resistencia social aún limitan el avance del sector. Se concluye que los SMRs representan una oportunidad prometedora, especialmente si están acompañados por un marco regulatorio actualizado, planificación estratégica y coordinación entre el gobierno, la industria y la sociedad. Este trabajo forma parte de un proyecto de investigación más amplio orientado a estimar los costos ambientales de las plantas nucleares brasileñas, contribuyendo al desarrollo de una base científica que respalde decisiones sostenibles en el sector.

PALABRAS-CLAVE: Energía Nuclear. Reactores Modulares Pequeños. Planificación Energética.

1 INTRODUÇÃO

A transição para fontes alternativas de energia deve considerar os princípios da sustentabilidade, com foco na redução dos impactos ambientais causados pelos combustíveis fósseis. Diante do agravamento do efeito estufa, da escassez de recursos naturais e das mudanças climáticas, torna-se urgente adotar matrizes energéticas mais limpas e de menor impacto ambiental (GÉLIO; CÉSAR, 2021). A tecnologia nuclear se apresenta como uma opção energética vantajosa, principalmente por sua capacidade de produzir grande quantidade de energia a partir de uma pequena quantidade de recursos primários, por meio dos reatores nucleares de potência (TOLMASQUIM, 2016).

No cenário atual mundial de maior consumo energético e crescentes preocupações com questões ambientais, a energia nuclear pode ser considerada uma alternativa energética, principalmente para reduzir as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), uma vez que é uma fonte de energia de baixo carbono. Além disso, a energia nuclear é uma opção complementar para compensar a variabilidade de fornecimento de fontes alternativas, como a eólica e a solar (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2020).

O Brasil possui vantagens para expansão da área nuclear, pois domina a tecnologia do combustível, conta com experiência na construção e operação de reatores e tem perspectivas para o crescimento do setor com base em sua política nuclear. Além disso, possui recursos significativos de urânio (U_3O_8), na ordem de 244.788 toneladas em reservas já prospectadas, e um potencial de mais de 300 mil toneladas na Região Norte do país (INDÚSTRIAS NUCLEARES DO BRASIL, 2022).



REVISTA CIENTÍFICA ACERTTE

ISSN 2763-8928

PERSPECTIVAS SOBRE A CONSTRUÇÃO DE REATORES NUCLEARES NO BRASIL
Flavia Paladino Biaty, Arthur Pires Julião, Patricia Andrea Paladino, Gaianê Sabundjian

Apesar de suas vantagens, ainda existem alguns desafios para sua expansão em território nacional. Isso inclui a comunicação e conscientização sobre o tema, superação de questões institucionais, legais e regulatórias, garantia de segurança, expansão da vida útil e definição das regras de descomissionamento com base nas experiências internacionais (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2020).

Nesse contexto, compreender as perspectivas de construção de novos reatores nucleares, especialmente diante do surgimento de tecnologias como os Reatores Modulares de Pequeno Porte (*Small Modular Reactors* - SMRs), é essencial para orientar decisões estratégicas e subsidiar políticas públicas. Além disso, essa análise é fundamental para fornecer bases científicas mais sólidas para a avaliação da sustentabilidade da energia nuclear no Brasil. Assim, o estudo se justifica pela sua relevância para o planejamento energético nacional, para o debate público e para o avanço de pesquisas na área.

O objetivo geral deste artigo é, portanto, analisar as perspectivas atuais para a construção de reatores nucleares no Brasil, levando em conta os aspectos tecnológicos, regulatórios e energéticos, bem como os principais desafios e potencialidades que condicionam a expansão do setor nuclear no país. Como objetivo específico, buscou-se revisar e sintetizar a literatura sobre o tema, com ênfase nas tendências, experiências e lições que possam ser aplicadas ao contexto brasileiro. Nesse sentido, o problema de pesquisa que orienta este estudo é: quais são as perspectivas atuais para a construção de reatores nucleares no Brasil, considerando as potencialidades tecnológicas disponíveis e os desafios institucionais, regulatórios e sociais que influenciam a expansão do setor?

Este trabalho faz parte de um projeto de pesquisa em andamento, cujo objetivo final é desenvolver um programa para o cálculo dos custos ambientais de usinas nucleares brasileiras e futuros SMRs.

2 MÉTODO

Este artigo foi desenvolvido a partir de uma abordagem qualitativa, baseada em pesquisa bibliográfica e revisão da literatura, visando atingir o objetivo proposto. A escolha dessa metodologia se justifica pela necessidade de compreender o contexto que influencia o desenvolvimento do setor nuclear, bem como os desafios relacionados à sua sustentabilidade.

A pesquisa baseou-se em fontes relevantes do setor, incluindo relatórios e publicações de órgãos governamentais nacionais e internacionais, notícias do setor, além de estudos acadêmicos e institucionais de referência sobre o tema.

Essa estrutura permitiu uma compreensão integrada das condições que influenciam o futuro da energia nuclear no Brasil, considerando tanto suas potencialidades quanto às limitações para sua consolidação como fonte estratégica na matriz elétrica nacional.



REVISTA CIENTÍFICA ACERTTE

ISSN 2763-8928

PERSPECTIVAS SOBRE A CONSTRUÇÃO DE REATORES NUCLEARES NO BRASIL
Flávia Paladino Biaty, Arthur Pires Julião, Patrícia Andrea Paladino, Gaianê Sabundjian

3 CARACTERÍSTICAS DOS PROJETOS NUCLEARES

Os reatores nucleares de potência, responsáveis pela geração nuclear em escala comercial, têm como finalidade a geração de energia elétrica. Seu funcionamento é conceitualmente similar às usinas termelétricas convencionais, seguindo o Ciclo de Rankine, na qual o aquecimento de vapor à alta pressão aciona uma turbina, que gerará eletricidade a partir da rotação de seu eixo. A particularidade da geração termonuclear está na geração de calor a partir das fissões nucleares do material combustível (FGV ENERGIA, 2016).

Os dados mais recentes indicam que a energia nuclear corresponde a 9,2% da matriz elétrica mundial, frente ao conjunto de todas as fontes utilizadas unicamente para a geração de eletricidade (Empresa de Pesquisa Energética, 2025). Até o fim de 2023, 2.545,5 TWh foram produzidos por meio de 413 reatores de potência em operação, em 35 países ao redor do mundo, com uma capacidade instalada de 371,5 GW(e) (INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 2024).

Os reatores mais tradicionais são, predominantemente, do tipo térmico, e que utilizam a água como refrigerante e moderador, sendo eles: os reatores de água pressurizada (Pressurized Water Reactors - PWR), os reatores de água pesada pressurizada (Pressurized Heavy-Water Reactor - PHWR) e os reatores de água fervente (Boiling Water Reactors - BWR).

Há também reatores térmicos refrigerados a gás e moderados a água, conhecidos como Light Water Graphite Reactors (LWGR), e aqueles refrigerados a gás e moderados a grafite, os Gas-Cooled Reactors (GCR). Outro tipo amplamente conhecido são os reatores rápidos, que podem ser também regeneradores, ou seja, convertem material fértil em material físsil, denominados Fast Breeder Reactors (FBR). Apesar da variedade de modelos, aproximadamente 74% dos reatores comerciais em operação no mundo são do tipo PWR. Este é, inclusive, o tipo de reator que existe no Brasil.

Outra forma de classificar os reatores é por meio de gerações, na qual há incorporação de características de segurança dos projetos. Essa classificação reflete a constante evolução dos projetos das usinas, que visam aperfeiçoar a segurança e reduzir o custo e o tempo de construção. Atualmente, os reatores de Geração II são os mais comuns em operação, e de acordo com seus projetos, sua vida útil era de 40 anos, porém muitos estão tendo extensão de vida por mais 20 anos (FGV ENERGIA, 2016).

Conforme os projetos evoluíram, a partir da Geração III+ houve uma mudança de paradigma na indústria nuclear. O foco deixou de ser o aumento de escala de potência gerada e passou a ser o desenvolvimento de reatores modulares. Devido ao alto custo dos reatores, observou-se que a redução de escala poderia tornar os projetos nucleares mais viáveis. É nesse contexto que se apresentam os SMRs como uma alternativa para a expansão nuclear e a diversificação da matriz elétrica.

Os SMRs representam uma inflexão na trajetória tradicional do setor nuclear, historicamente orientado para reatores de grande porte e para ganhos de escala. Esses novos modelos priorizam unidades menores, concebidas para produção em série, apoiadas em atributos como simplificação de design, padronização, modularização e montagem em fábrica. Essa lógica econômica encontra respaldo em experiências consolidadas em setores como o naval e o aeronáutico, nos quais os



REVISTA CIENTÍFICA ACERTTE

ISSN 2763-8928

PERSPECTIVAS SOBRE A CONSTRUÇÃO DE REATORES NUCLEARES NO BRASIL
Flavia Paladino Biaty, Arthur Pires Julião, Patricia Andrea Paladino, Gaianê Sabundjian

benefícios da produção seriada já foram amplamente demonstrados (NUCLEAR ENERGY AGENCY, 2023).

Entretanto, os altos custos de investimento são ainda um desafio para a expansão do setor como um todo, assim como a resistência da opinião pública, especialmente quanto à segurança operacional. Acidentes como os de Three Mile Island (1979), Chernobyl (1986) e Fukushima (2011) reforçaram essa percepção negativa, embora tenham levado ao aprimoramento de protocolos de segurança. Quanto aos demais obstáculos, espera-se que os avanços tecnológicos ao longo das próximas décadas contribuam para superá-los (TOLMASQUIM, 2016).

Por outro lado, embora apresente um elevado custo de investimento inicial, o custo de produção de energia nuclear é mais barato do que as fontes alternativas. Ainda, em comparação com as hidrelétricas, sua implantação pode ser feita em áreas menores e é possível manter a fonte de geração mais próxima do centro de carga, o que permite uma redução nos custos de transmissão (FGV ENERGIA, 2019).

Além disso, embora nenhuma fonte esteja totalmente livre de emissões, nos últimos 50 anos, o uso de energia nuclear evitou a emissão de mais de 60 Gt de dióxido de carbono (CO₂) advindas de outras fontes de geração de energia, principalmente fósseis (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2019).

4 CONSTRUÇÃO DE USINAS NUCLEARES

A fase de construção de um reator nuclear de potência ocorre em diversas etapas, incluindo ações e obras de engenharia civil, mecânica e elétrica, demandando uma infraestrutura adequada. Para ilustrar este processo e sua dimensão, na Figura 1 é apresentada a situação da usina de Angra 3, durante sua construção.

Segundo a International Atomic Energy Agency (2015) a etapa de construção inclui os processos de fabricação e montagem dos componentes, a execução de obras civis e arquitetônicas, bem como a instalação e testes de componentes e equipamentos.

Figura 1 – Construção da usina de Angra 3



Fonte: Eletronuclear, 2024.



REVISTA CIENTÍFICA ACERTTE
ISSN 2763-8928

PERSPECTIVAS SOBRE A CONSTRUÇÃO DE REATORES NUCLEARES NO BRASIL
Flavia Paladino Biaty, Arthur Pires Julião, Patricia Andrea Paladino, Gaianê Sabundjian

Os custos associados a essa etapa vêm se elevando continuamente, impulsionados pela demanda por tecnologias avançadas e sistemas cada vez mais complexos. Além disso, é nesse momento que ocorre maior interação com o público e cresce a necessidade de mão de obra altamente qualificada (International Atomic Energy Agency, 2016).

Ainda que seja complexo determinar exatamente o ponto em que a fase de construção se encerra e tem início a operação efetiva, é necessário que todos os sistemas estejam devidamente instalados e testados conforme as licenças concedidas pelo órgão competente. A etapa de construção precede o processo de comissionamento da usina, fase em que ocorre a transição para uma operação segura e estável, conforme ilustrado na Figura 2.

Figura 2 – Atividades durante o ciclo de vida de uma usina nuclear



Fonte: Traduzido de International Atomic Energy Agency, 2020.

A fase de construção requer, como pré-requisitos, uma base legal, governamental e regulatória consolidada, além da atuação de empresas qualificadas e experientes e da obtenção das autorizações necessárias. Antes do início das obras, devem ser avaliadas questões de infraestrutura, como a escolha do local, o planejamento das rotas de transporte, as condições de acomodação da força de trabalho e o suprimento de recursos essenciais. Também é necessário considerar as características específicas do terreno, incluindo os limites de área autorizados e as medidas de proteção ambiental, com ênfase na mitigação de riscos ecológicos e na gestão de resíduos (INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 2015).

No Brasil, o processo de licenciamento ocorre, de forma resumida, em três etapas principais: aprovação do local, concessão da licença de construção e autorização para operação. A norma da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) CNEN NE 1.04 regulamenta o licenciamento de instalações nucleares e aplica-se às atividades relacionadas à escolha do local, à construção e à autorização de funcionamento dessas instalações. De acordo com essa norma, o início da construção



REVISTA CIENTÍFICA ACERTTE

ISSN 2763-8928

PERSPECTIVAS SOBRE A CONSTRUÇÃO DE REATORES NUCLEARES NO BRASIL
Flávia Paladino Biaty, Arthur Pires Julião, Patrícia Andrea Paladino, Gaianê Sabundjian

é caracterizado pelo lançamento do concreto das fundações ou pela implantação de qualquer parte definitiva da planta (BRASIL, 2002).

Para a aprovação do local e do licenciamento são exigidas informações minuciosas do empreendimento, que contemplam as características gerais de projeto e de operação da instalação proposta, que incluem distribuição de população, vias de acesso existentes e propostas, características de utilização das cercanias e distâncias aos centros de população, características físicas do local, incluindo sismologia, meteorologia, geologia e hidrologia. Outros fatores relevantes nesse documento abrangem a análise preliminar do potencial de influência do meio ambiente em decorrência da construção da instalação (BRASIL, 2002).

Além da viabilidade técnica do projeto, os requisitos de segurança também devem ser atendidos para licenciamento da construção de uma instalação nuclear. Para requerer a licença de construção é mandatório ter o Plano Preliminar de Proteção Física (PPPF) e o Relatório Preliminar de Análise de Segurança (RPAS). Assim, a construção só pode ocorrer após a aprovação do RPAS, enquanto a autorização para operação é concedida somente após a aprovação do Relatório Final de Análise de Segurança (RFAS) (BRASIL, 2002).

Para o licenciamento ambiental, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA, 2022) é o órgão governamental responsável pela liberação de atividades que possam causar impactos ambientais significativos, inclusive de empreendimentos que utilizem energia nuclear (IBAMA, 2022).

5 USINAS NUCLEARES NO BRASIL

No Brasil, todas as usinas nucleares estão localizadas na Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto (CNAAA), na região de Itaorna - Angra dos Reis (RJ). O local foi escolhido devido suas características físicas relevantes como a proximidade do mar e a abundância de água, permitindo seu resfriamento. Além disso, a região oferece facilidade de transporte, baixa densidade demográfica, geologia e sismicidade adequadas e proximidade com o centro de demanda (ELETRONUCLEAR, 2019).

As usinas Angra 1 e Angra 2, ambas em operação, utilizam reatores PWR com capacidades de 640 MW(e) e 1.350 MW(e), fornecidos respectivamente pela Westinghouse e pela Siemens/KWU, tendo iniciado suas operações comerciais em 1985 e 2001. Angra 3, ainda em construção, segue a mesma tecnologia, com potência projetada de 1.405 MW(e) e sistema originalmente da Siemens/KWU (atual Framatome), sem previsão de entrada em operação (ELETRONUCLEAR, 2025).

A construção da CNAAA foi iniciada na década de 1970, em uma região que já dispunha de outras indústrias de grande porte. Em seu início, principalmente na construção da primeira usina em 1972, o projeto foi considerado benéfico para a população, principalmente em relação ao desenvolvimento da região, com o fluxo de trabalhadores da construção civil, levando inclusive à construção de colégios e postos de atendimento médico para os moradores da região (SILVA, 2009).



REVISTA CIENTÍFICA ACERTTE

ISSN 2763-8928

PERSPECTIVAS SOBRE A CONSTRUÇÃO DE REATORES NUCLEARES NO BRASIL
Flávia Paladino Biaty, Arthur Pires Julião, Patrícia Andrea Paladino, Gaianê Sabundjian

Mais recentemente, o cenário da energia nuclear no Brasil passa por um processo de reestruturação institucional e de renovação tecnológica. A criação da Autoridade Nacional de Segurança Nuclear (ANSN), em 2025, desvinculou as funções de regulação e fiscalização antes concentradas na CNEN, fortalecendo a segurança, a transparência e a credibilidade do setor. Entre as principais frentes de desenvolvimento destacam-se a retomada das obras de Angra 3, as medidas para extensão da vida útil de Angra 1 e o avanço de novas tecnologias, como os SMRs e microrreatores, cuja adoção requer atualização do marco legal e regulatório (GALDINO, 2025).

Embora o Plano Nacional de Energia 2050 (PNE-2050) projete a expansão de 8 a 10 GW na capacidade nuclear brasileira nas próximas décadas, a definição dos locais para futuras usinas permanece incerta. Desde 2009, a Eletronuclear, em parceria com a COPPE/UFRJ, conduz estudos para identificação de áreas adequadas à instalação de um novo complexo nuclear (BARROS et al., 2021). Paralelamente, o Ministério de Minas e Energia (MME) e o Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL) desenvolvem análises complementares para seleção de potenciais locais, ainda em andamento (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2022).

Barros et al. (2021), ao analisar potenciais áreas para a implantação de um novo complexo nuclear no Brasil, identificaram 40 sítios que atendem aos critérios de exclusão e de evitação aplicáveis à instalação de usinas nucleares. Entre eles, o município de Itacuruba, em Pernambuco, foi apontado como a alternativa mais adequada para o próximo empreendimento, considerando-se inicialmente a implantação de uma unidade de 1.100 MW(e), em um local com capacidade para acomodar até seis reatores. Embora o estudo tenha sido orientado para reatores de grande porte, a região apresenta características que também poderiam favorecer a instalação de plantas baseadas em SMRs.

No que se refere especificamente à implantação de SMRs no Brasil, Chagas (2023) destaca que a Associação Brasileira para Desenvolvimento Nuclear (ABDAN) mantém negociações com a Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) e com a Diamante Energia visando à substituição de usinas termelétricas a carvão por reatores modulares de pequeno porte. O projeto-piloto em análise prevê sua implantação no Complexo Termelétrico Jorge Lacerda, em Santa Catarina, com a intenção de estabelecer um modelo replicável para a desativação de outras unidades termelétricas até 2040.

6 PERSPECTIVAS FUTURAS

No contexto das perspectivas futuras, observa-se uma crescente demanda energética global, intensificada sobretudo pelo avanço da Quarta Revolução Industrial e pelas exigências das tecnologias associadas à Inteligência Artificial (IA). Segundo projeções da Goldman Sachs (2025), a demanda energética de datacenters deverá aumentar em mais de 160% até 2030, em relação aos níveis registrados em 2023. Diante desse cenário, a energia nuclear tem se consolidado como uma alternativa estratégica. Em 2024, empresas líderes do setor tecnológico firmaram contratos que totalizam mais de 10 GW em potencial de nova capacidade nuclear, incluindo usinas de grande porte e SMRs (GOLDMAN SACHS, 2025).



REVISTA CIENTÍFICA ACERTTE

ISSN 2763-8928

PERSPECTIVAS SOBRE A CONSTRUÇÃO DE REATORES NUCLEARES NO BRASIL
Flávia Paladino Biaty, Arthur Pires Julião, Patrícia Andrea Paladino, Gaianê Sabundjian

Como exemplo desse movimento, nos Estados Unidos, o Google firmou parceria com a Elementl Power para o desenvolvimento de três usinas nucleares avançadas, cada uma com capacidade de 600 MW(e) (THE ASSOCIATED PRESS, 2025). A Amazon, por sua vez, anunciou investimentos em SMRs com o objetivo de garantir o suprimento energético necessário à expansão de sua infraestrutura digital (ST. JOHN; MCDERMOTT, 2024). Destaca-se, ainda, o acordo firmado entre a Microsoft e a Constellation Energy para a reativação da usina de Three Mile Island, integrado à estratégia da empresa para assegurar a disponibilidade energética demandada por suas operações digitais (SMYTH, 2024).

Já no Brasil, a energia nuclear representava 2% da matriz elétrica em 2023 (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2025). Segundo especialistas, uma maior participação na matriz representaria mais segurança e confiabilidade de fornecimento para o país (Ministério de Minas e Energia, 2020).

O Plano Nacional de Energia 2050 (PNE 2050) indica que, embora os projetos mais recentes de reatores nucleares no Brasil tenham se concentrado em tecnologias PWR de segunda geração, a partir de 2030 novos empreendimentos poderão incorporar alternativas como os SMRs e os reatores de quarta geração, desde que essas soluções alcancem maturidade tecnológica e competitividade (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2020).

Entretanto, a construção da usina de Angra 3, iniciada há mais de 40 anos e atualmente com 66% de suas obras concluídas, permanece paralisada, gerando debates entre diferentes setores. Enquanto movimentos contrários defendem a descontinuidade do empreendimento, especialistas do setor argumentam que sua retomada pode fortalecer a segurança energética nacional (LESSA, 2025).

De acordo com Pires (2025), o debate sobre a expansão da energia nuclear no Brasil ainda é relativamente restrito quando comparado ao observado em outras regiões do mundo, onde a tecnologia tem recebido novo impulso diante das demandas por descarbonização e segurança energética.

Ainda assim, tecnologias emergentes, como os SMRs, despontam como alternativas promissoras, especialmente para o atendimento energético de regiões isoladas e para a diversificação da matriz elétrica. Nos últimos anos, o país tem sinalizado interesse crescente nesse segmento, incluindo iniciativas de cooperação internacional voltadas ao desenvolvimento e à implementação dessas soluções inovadoras (Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2025; Monteiro, 2025).

CONSIDERAÇÕES

A análise das perspectivas para a construção de reatores nucleares no Brasil evidencia um cenário marcado simultaneamente por potencial significativo e desafios estruturais. O país reúne condições técnicas favoráveis à expansão nuclear, incluindo domínio do ciclo do combustível, experiência operacional consolidada e reservas expressivas de urânio, além de um contexto internacional que recoloca a energia nuclear no centro das estratégias de descarbonização e segurança energética.



REVISTA CIENTÍFICA ACERTTE

ISSN 2763-8928

PERSPECTIVAS SOBRE A CONSTRUÇÃO DE REATORES NUCLEARES NO BRASIL
Flávia Paladino Biaty, Arthur Pires Julião, Patrícia Andrea Paladino, Gaianê Sabundjian

Contudo, a concretização desse potencial depende da superação de limitações institucionais, regulatórias e sociopolíticas que historicamente têm dificultado o avanço do setor. A paralisação prolongada de Angra 3 ilustra de forma emblemática essas fragilidades, ao mesmo tempo em que reforça a necessidade de planejamento de longo prazo, estabilidade regulatória e articulação entre governo, indústria e sociedade.

Nesse contexto, tecnologias emergentes como os SMRs apresentam-se como alternativas capazes de diversificar a matriz elétrica, ampliar a flexibilidade de implantação e atender demandas regionais específicas. As iniciativas recentes de cooperação internacional e o interesse crescente de empresas brasileiras e autoridades governamentais sinalizam um possível crescimento no desenvolvimento do setor nuclear nacional. No entanto, a efetiva adoção dessa nova geração de reatores dependerá do amadurecimento tecnológico, de modelos de financiamento adequados e de um marco regulatório atualizado.

Diante desses fatores, a expansão nuclear no Brasil deve ser compreendida como um processo cujo avanço depende de coordenação institucional, comunicação pública eficaz e alinhamento a práticas internacionais de segurança e sustentabilidade. Embora o setor apresente potencial estratégico para diversificar a matriz elétrica e reforçar a segurança em um cenário de crescente demanda, impulsionado, entre outros fatores, pela expansão de aplicações intensivas em energia, como a inteligência artificial, é importante reconhecer que, até o momento, não há indícios concretos de progressos significativos. As iniciativas anunciadas configuram mais expectativas do que trajetórias efetivamente consolidadas. Ainda assim, essas limitações não invalidam o papel da energia nuclear; ao contrário, reforçam a necessidade de planejamento consistente e decisões estruturadas para que o país possa transformar possibilidades em resultados concretos.

Por fim, ressalta-se que a compreensão aprofundada das etapas de construção, operação e descomissionamento de usinas nucleares, incluindo seus custos ambientais, é fundamental para embasar decisões de longo prazo. Nesse sentido, o presente artigo integra um projeto de pesquisa mais amplo, em desenvolvimento, voltado à estimativa dos custos ambientais de usinas nucleares brasileiras e de futuros SMRs. Espera-se que esse esforço contribua para ampliar a base de conhecimento nacional e apoiar políticas públicas e estratégias voltadas a uma expansão nuclear sustentável, segura e eficiente.

REFERÊNCIAS

BARROS, Carlos Federico *et al.* **A localização de sítios nucleares baseado no modelo EPRI Siting Guide e o desenvolvimento de uma nova central nuclear: uma oportunidade: processo de seleção de sítios nucleares.** Rio de Janeiro: Eletronuclear, 2021.

BRASIL. COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **CNEN NE 1.04:** Licenciamento de instalações nucleares. Resolução CNEN 15/02. Rio de Janeiro: CNEN, 2002.

CHAGAS, Celso. **Abdan prepara estudos para substituir termelétricas a carvão por reatores nucleares.** Disponível em: <https://energiahoje.editorabrasilenergia.com.br/abdan-prepara-estudos-para-substituir-termeletricas-a-carvao-por-reatores-nucleares/>. Acesso em: 25 out. 2023.



REVISTA CIENTÍFICA ACERTTE

ISSN 2763-8928

PERSPECTIVAS SOBRE A CONSTRUÇÃO DE REATORES NUCLEARES NO BRASIL
Flavia Paladino Biaty, Arthur Pires Julião, Patricia Andrea Paladino, Gaianê Sabundjian

ELETRONUCLEAR. **Angra 3**. Disponível em: <https://www.eletronuclear.gov.br/Nossas-Atividades/Paginas/Angra-3.aspx>. Acesso em: 28 maio 2024.

ELETRONUCLEAR. **Nossas atividades**. Rio de Janeiro: Eletrobras Eletronuclear, 2025. Disponível em: <https://www.eletronuclear.gov.br/Nossas-Atividades/Paginas/default.aspx>. Acesso em: 9 maio 2025.

ELETRONUCLEAR. **Relatório Ambiental Simplificado (RAS)**. Angra dos Reis: Bourscheid, 2019.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Matriz energética**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 17 jan. 2023.

FGV ENERGIA. **Boletim de conjuntura do setor energético**. Rio de Janeiro: FGV, 2019.

FGV ENERGIA. **Caderno de energia nuclear**. Rio de Janeiro: FGV, 2016. Disponível em: <https://fgvenergia.fgv.br/publicacao/caderno-de-energia-nuclear>. Acesso em: 17 jan. 2023.

GALDINO, Emanuel. **O cenário da energia nuclear no Brasil, segundo 2 autoridades**. Disponível em: <https://www.nexojornal.com.br/expresso/2025/10/16/energia-nuclear-brasil-cenario-oportunidades>. Acesso em: 20 out. 2025.

GÉLIO, Lucas Gomes; CÉSAR, Francisco Ignácio Giocondo. Energia solar: um estudo sobre o futuro da geração de energia elétrica. **Revista Científica Acertte**, v. 1, n. 5, p. e1534, 1 nov. 2021.

GOLDMAN SACHS. **Is nuclear energy the answer to AI data centers' power consumption?** Disponível em: <https://www.goldmansachs.com/insights/articles/is-nuclear-energy-the-answer-to-ai-data-centers-power-consumption>. Acesso em: 13 maio 2025.

IBAMA. **Sobre o licenciamento ambiental federal**. 2022. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/laf/sobre-o-licenciamento-ambiental-federal>. Acesso em: 3 mar. 2023.

INDÚSTRIAS NUCLEARES DO BRASIL. **Recursos**. Disponível em: <http://www.inb.gov.br/Nossas-Atividades/Ur%C3%A2nio/Recursos>. Acesso em: 1 nov. 2022.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Climate change and nuclear power 2020**. Vienna: IAEA, 2020. Disponível em: <https://www.iaea.org/publications/14725/climate-change-and-nuclear-power-2020>. Acesso em: 6 mar. 2023.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Construction for nuclear installations**. IAEA Safety Standards Series n. SSG-38. Vienna: IAEA, 2015.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Decommissioning of nuclear installations**. Disponível em: <https://www.iaea.org/topics/decommissioning>. Acesso em: 2 maio 2022.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Nuclear power reactors in the world**. Vienna: IAEA, 2024. Disponível em: <https://www.iaea.org/publications/15748/nuclear-power-reactors-in-the-world>. Acesso em: 8 nov. 2024.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Nuclear power in a clean energy system**. Paris: IEA, 2019. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/nuclear-power-in-a-clean-energy-system>.

LESSA, Runa. **Decisão sobre conclusão das obras de Angra 3 é adiada mais uma vez pelo governo**. Disponível em: <https://oglobo.globo.com/economia/noticia/2025/02/18/decisao-sobre-conclusao-das-obras-de-angra-3-e-adiada-mais-uma-vez-pelo-governo.ghtml>. Acesso em: 13 maio 2025.



REVISTA CIENTÍFICA ACERTTE

ISSN 2763-8928

PERSPECTIVAS SOBRE A CONSTRUÇÃO DE REATORES NUCLEARES NO BRASIL
Flavia Paladino Biaty, Arthur Pires Julião, Patricia Andrea Paladino, Gaianê Sabundjian

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO. **Brasil e China assinam acordos em C&T, energia nuclear e na área espacial.** Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/noticias/2025/05/brasil-e-china-assinam-acordos-em-c-t-energia-nuclear-e-na-area-espacial>. Acesso em: 13 maio 2025.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **MME e Cepel estudam locais para implementação de novas usinas nucleares no Brasil.** Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/mme-e-cepel-estudam-locais-para-implementacao-de-novas-usinas-nucleares-no-brasil>. Acesso em: 30 out. 2023.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Plano Nacional de Energia 2050 (PNE 2050).** Brasília: MME; Empresa de Pesquisa Energética, 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Energia-2050>. Acesso em: 15 ago. 2022.

MONTEIRO, Renan. **Rosatom, da Rússia, vai firmar parceria com Brasil sobre pequenos reatores nucleares, diz Silveira.** Disponível em: <https://www.estadao.com.br/economia/negocios/rosatom-russia-parceria-brasil-pequenos-reatores-nucleares-silveira/>. Acesso em: 13 maio 2025.

NUCLEAR ENERGY AGENCY. **The NEA Small Modular Reactor Dashboard.** Paris: NEA, 2023. Disponível em: https://www.oecd-neo.org/jcms/pl_78743/the-nea-small-modular-reactor-dashboard?details=true. Acesso em: 22 nov. 2023.

PIRES, Adriano. **A energia nuclear voltou a ser protagonista.** Disponível em: <https://www.poder360.com.br/opiniao/a-energia-nuclear-voltou-a-ser-protagonista/>. Acesso em: 13 maio 2025.

SILVA, Gláucia. Expertise e participação da população em contexto de risco nuclear: democracia e licenciamento ambiental de Angra 3. **Dados**, v. 52, p. 770–805, 2009.

SMYTH, Jamie. Sam Altman-led nuclear start-up signs major AI power supply deal. **Financial Times**, 18 dez. 2024.

ST. JOHN, Alexa; MCDERMOTT, Jennifer. Amazon, Google make dueling nuclear investments to power data centers with clean energy. **AP News**, 16 out. 2024.

THE ASSOCIATED PRESS. Google partners with Elementl Power on nuclear energy sites as power demand for AI grows. **AP News**. Disponível em: <https://apnews.com/article/google-elementl-nuclear-power-artificial-intelligence-2bd4282af728e16446bdcefe97d37873>. Acesso em: 13 maio 2025.

TOLMASQUIM, Maurício T. **Energia termelétrica: gás natural, biomassa, carvão, nuclear.** Rio de Janeiro: EPE, 2016.