

A Riqueza do Urânio como Fonte de Energia Limpa Por que não incluir nas Propostas e Programas para 2023 do MME?

Autores: Leonam dos Santos Guimarães, Luiz Roberto Bezerra e Marcelo Gomes da Silva

Este artigo expressa as opiniões dos autores, não representando necessariamente a opinião institucional da FGV.

A utilização do urânio como fonte de energia limpa na matriz energética para a geração elétrica tem sido uma opção estratégica em 33 países. As 436 usinas nucleares em operação no mundo representam 391 GW instalados e geram cerca de 10% de toda a eletricidade produzida no mundo. A essa significativa frota de usinas, se somam 58 usinas em construção (60GW), a maioria na Ásia – Extremo Oriente, mas também na Europa, América do Norte e África.

O Brasil detém a sexta maior reserva de urânio do mundo, tendo prospectado apenas uma parte do seu território. Essas reservas abundantes conferem a vantagem competitiva estratégica de autossuficiência do país, permitindo a sua exploração tanto para a produção de energia elétrica doméstica quanto para a exportação do excedente desse recurso sob a forma de concentrado de urânio (*yellow cake*), hexafluoreto de urânio natural e enriquecido, óxido de urânio e urânio metálico. Além do país não depender de importação, a exportação de urânio e outros produtos relacionados à indústria nuclear pode trazer benefícios econômicos significativos, fortalecendo a balança comercial brasileira e podendo gerar parcerias internacionais e colaborações científicas para impulsionar o desenvolvimento tecnológico e industrial do setor nuclear nacional. Neste particular, é importante destacar que apenas 3 países: EUA, Rússia e Brasil possuem grandes reservas de urânio, domínio tecnológico do processo de fabricação de combustível e experiência na construção e operação de usinas nucleares, requisitos necessários para atingir a plena autossuficiência. Entretanto, a capacidade de produção do Brasil ainda é insuficiente e requer investimentos em sua expansão para atender plenamente a demanda e gerar excedentes exportáveis.

Neste contexto, vamos explorar o racional das vantagens e pontos positivos da utilização do urânio para a geração de energia elétrica no Brasil, com o objetivo de demonstrar que investir nessa utilização é uma estratégia importante a ser considerada no Plano Decenal de Expansão de Energia para o Brasil avançar em direção a uma matriz energética mais *segura*, diversificada, resiliente, limpa e sustentável.

Evolução Tecnológica da Segurança Nuclear. A evolução tecnológica da segurança nuclear tem sido um ponto chave na utilização do urânio para a

geração de energia elétrica. Os reatores de última geração utilizados nas usinas nucleares modernas são projetados com múltiplas barreiras blindadas de segurança e sistemas passivos de proteção avançados que praticamente eliminam a dependência de fontes externas e, em consequência, a possibilidade de acidentes nucleares, com destaque para os sistemas de resfriamento e para os sistemas de monitoramento em tempo real. O Brasil é signatário de acordos internacionais, como o Tratado de Não Proliferação Nuclear, o que reforça o compromisso com a segurança nuclear e a não proliferação de armas nucleares. As atividades de regulamentação e fiscalização do setor nuclear são exercidas pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), que estabelece normas rígidas de segurança e fiscalização.

Gestão Segura de Resíduos Radioativos. O Brasil possui firme compromisso de gestão de resíduos nucleares, seguindo os padrões internacionais de segurança, investindo em pesquisas para o desenvolvimento de tecnologias avançadas de tratamento e armazenamento de resíduos nucleares e implementando cada vez mais a eficiência do programa, essencial para garantir a proteção do meio ambiente natural e social. Compete à CNEN a responsabilidade pela fiscalização e estabelecimento de diretrizes para o armazenamento, transporte e descarte desses materiais. Destaca-se que o país possui instalações apropriadas para o armazenamento temporário de resíduos radioativos, além de estar permanentemente aprimorando as soluções de longo prazo para o descarte final.

Disponibilidade e segurança energética. As usinas nucleares apresentam excelente *Disponibilidade e Fator de Capacidade* (ambos superiores a 90%), o que significa que produzem energia plenamente durante 90% do ano, contribuindo decisivamente para a segurança eletroenergética do SIN. Destaca-se que a abundância das reservas de urânio promove a autossuficiência desta fonte de energia no país, agregando importante valor à segurança energética. Este conceito de segurança energética, ou seja, a disponibilidade dos recursos energéticos no país ou em nações amigas ganhou especial relevância diante dos recentes conflitos geopolíticos do leste europeu.

Inércia e crescimento das fontes de energia intermitentes. A inércia elétrica é a capacidade de um sistema de energia de manter a frequência estável durante flutuações de carga, característica importante para garantir a confiabilidade do fornecimento de eletricidade. As usinas nucleares, ao operarem de maneira contínua, fornecem uma contribuição significativa para a inércia elétrica do sistema, tornando-o mais estável e resiliente a variações de demanda e eventos imprevistos. O crescimento da fatia das fontes de energia renovável intermitentes na matriz energética, com a agregação ao sistema de aerogeradores eólicos com baixa inércia e de usinas solares que não possuem inércia, requer a presença de máquinas rotativas com inércia elevada, como o turbo gerador de uma usina nuclear que contribui significativamente para a estabilidade eletroenergética do sistema elétrico face a oscilações transitórias da rede, mantendo a frequência do sistema dentro de padrões adequados.

Controle de Tensão e Geração de Potência Reativa. As usinas nucleares possuem a virtude de dar suporte para o controle de tensão, requisito essencial para a operação segura da malha de transmissão do SIN, fornecendo potência reativa de forma controlada, contribuindo para a estabilidade das tensões e evitando problemas como flutuações e quedas de energia.

Proximidade dos Centros de Carga. A possibilidade de instalação de usinas relativamente próximas aos centros de carga contribui para evitar perdas em transmissão, trazendo alívio no carregamento dos sistemas de transmissão, redução do congestionamento nas interligações entre subsistemas e maior segurança em casos de contingências.

Baixo Custo Variável Unitário (CVU). Devido ao seu baixo custo variável unitário (CVU), as usinas nucleares são uma das fontes preferenciais para despacho, contribuindo de forma significativa para menores custos de operação do SIN.

Resiliência a fatores climáticos. As usinas nucleares são pouco afetadas por eventos meteorológicos extremos. Mesmo as usinas instaladas ao longo de rios são virtualmente imunes a grandes variações de vazões nos mesmos. Esse fato agrega um importante benefício ao sistema elétrico nacional, fortemente dependente de regimes hidrológicos, ajudando a torná-lo mais seguro face a mudanças climáticas. A proximidade das usinas aos centros de carga aumenta, também a segurança do suprimento em caso de contingências no sistema de transmissão causadas por fatores climáticos (vendavais, queimadas, etc).

Baixa Emissão de Gases de Efeito Estufa e “Pegada Ecológica”. A figura 1 apresenta a geração de gases causadores de efeito estufa das diversas fontes de energia, considerando todo o ciclo de vida da instalação e do combustível.

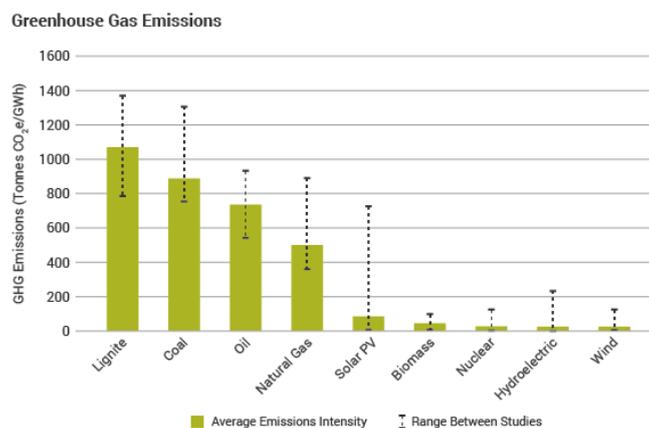


Figura 1 - Emissões de gases de efeito estufa em todo o ciclo, por fonte¹

Conforme pode ser observado, comparada a fontes de energia mais poluentes, como as usinas termelétricas a gás natural, carvão ou óleo combustível, a utilização do urânio para a geração de energia elétrica contribui

¹ Fonte: WNA, Comparison of Lifecycle Greenhouse Gas Emissions of Various Electricity Generation Sources, 2011.

significativamente com o contexto global em que a redução das emissões de gases de efeito estufa é uma prioridade para mitigar as mudanças climáticas. Essa característica torna a energia nuclear uma opção importante para a transição energética e para a busca de uma matriz energética limpa e mais sustentável.

Densidade Energética. Por sua elevada potência instalada, alto fator de capacidade e reduzida área ocupada, as usinas nucleares apresentam elevada densidade energética, traduzidos em MW instalados por m² (vide Figura 2 a seguir). Isso a torna uma importante fonte com reduzidos impactos ambientais, “pegada ecológica” e uso do solo.

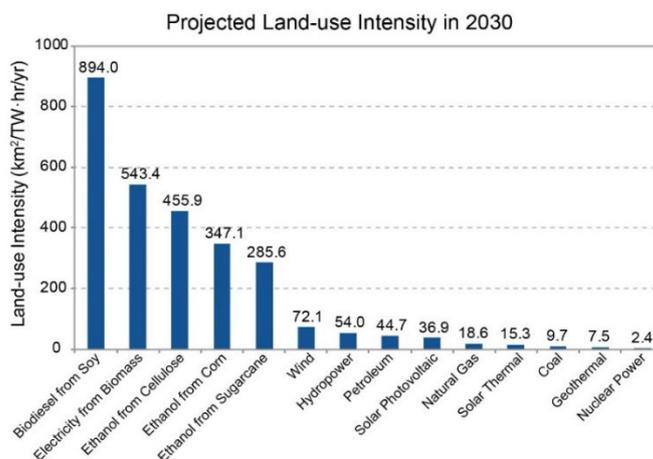


Figura 2: Uso do solo em diferentes fontes de energia²

Perspectivas de aplicações além da geração elétrica. A utilização do urânio para a produção de calor de processo em alta temperatura apresenta perspectivas promissoras em várias áreas, incluindo a indústria, a produção de hidrogênio, a dessalinização e o aquecimento residencial e comercial. Senão, vejamos...

Produção de Calor de Processo a Alta Temperatura para a Indústria. A indústria requer calor de alta temperatura para uma variedade de processos, como produção de aço, refino de metais, fabricação de cerâmica e vidro. O urânio pode ser utilizado como fonte de calor em reatores nucleares de alta temperatura (HTRs), capazes de fornecer temperaturas superiores às alcançadas pelos combustíveis fósseis. A aplicação do urânio nesses processos industriais permite uma produção eficiente, sustentável e de baixa emissão de carbono. Além disso, a utilização de calor de processo a alta temperatura proveniente do urânio pode melhorar a eficiência energética dos processos industriais, reduzindo o consumo de combustíveis fósseis e as emissões de gases de efeito estufa.

Produção de Hidrogênio. O hidrogênio é uma alternativa promissora como vetor energético limpo e sustentável. A produção de hidrogênio a partir do urânio pode

² Fonte: Energy Sprawl or Energy Efficiency: Climate Policy Impacts on Natural Habitat for the United States of America, Robert McDonald et al 2009.

ser realizada por meio de processos termoquímicos, como a decomposição de água por meio de reações nucleares de alta temperatura, que podem propiciar um rendimento superior no processo de eletrólise.

Dessalinização. A dessalinização da água do mar é uma necessidade em muitas regiões do mundo com escassez de água doce. O urânio pode ser aplicado na dessalinização por meio de reatores nucleares de alta temperatura, que fornecem calor para processos de evaporação e destilação, possibilitando a produção de água potável a partir de fontes salinas. Isso contribui para a segurança hídrica, especialmente em regiões costeiras, e reduz a dependência de fontes de água doce limitadas.

Aquecimento Residencial e Comercial. O urânio pode ser empregado no aquecimento de ambientes residenciais e comerciais. Reatores nucleares de alta temperatura podem fornecer calor para sistemas de aquecimento central, substituindo fontes de aquecimento convencionais, como combustíveis fósseis, contribuindo para a redução das emissões de gases de efeito estufa e para a transição para uma matriz energética mais limpa.

Benefícios socioeconômicos

Como um grande empreendimento de alta tecnologia, uma série de externalidades advém do projeto, construção, comissionamento, operação comercial, extensão de vida útil e descomissionamento de usinas nucleares.

Geração de emprego e renda. A implantação de usinas nucleares gera um número expressivo de novos empregos de qualidade, diretos, indiretos e induzidos, não apenas na sua fase de construção, mas durante toda a vida útil das mesmas. Uma usina de 1.000 MW gera aproximadamente 1.200 empregos diretos, em sua maioria de nível superior ou técnico especializado. A estes, somam-se os empregos indiretos e induzidos, que segundo estudo da FGV são 2,4 vezes o número de empregos diretos. Uma central nuclear com seis usinas gera, assim, 7.200 empregos diretos e mais de 17.000 empregos indiretos e induzidos.

Vetor de desenvolvimento regional. As usinas nucleares em sua fase operacional demandam formação de técnicos e profissionais de nível superior em diversas especialidades. Como verificado em Angra dos Reis, a instalação das usinas ocasionou a abertura de universidades e cursos técnicos. Pode-se dizer que a primeira leva de operadores das usinas nos anos 70 e 80 veio de outros centros e que atualmente cada vez mais os operadores são originários da própria região.

Alavancagem do PIB durante a fase de construção. Os expressivos recursos investidos na construção de usinas nucleares, que têm um índice de nacionalização superior a 65%, trazem efeitos multiplicadores na economia local, regional e nacional. Um estudo realizado pela FGV para a Eletronuclear em 2015, aponta que os investimentos realizados revertem no PIB segundo um

multiplicador de 2,27. Ou seja, cada R\$ 1,00 investido na construção agrega R\$ 2,27 ao PIB nacional.

Arrecadação de impostos. As usinas nucleares são importantes fontes de arrecadação de impostos municipais, estaduais e federais, tanto pela efetiva geração de energia quanto pela atividade econômica induzida na região.

Contrapartidas socioambientais e inserção regional. As usinas nucleares participam ativamente do desenvolvimento das comunidades no seu entorno, através de programas de ação social, cultural, convênios com as municipalidades para obras de infraestrutura, saneamento saúde e educação, participação de seus empregados em programas comunitários, e de voluntariado, etc. O exemplo de Angra dos Reis, Paraty e Rio Claro, municípios vizinhos à Central Nuclear de Angra dos Reis mostra o quanto a Eletronuclear contribuiu e continua contribuindo para o desenvolvimento da região.

Fortalecimento da Indústria e Desenvolvimento Tecnológico

A utilização do urânio para a geração de energia elétrica fortalece a indústria nuclear e impulsiona o desenvolvimento tecnológico no Brasil. O setor nuclear demanda investimentos em pesquisa, desenvolvimento e infraestrutura, estimulando a inovação tecnológica em diversas áreas. Isso inclui o desenvolvimento de reatores mais eficientes e seguros, a melhoria na gestão de resíduos radioativos e o avanço de tecnologias relacionadas à medicina nuclear e aplicações industriais. A expansão da indústria nuclear gera empregos qualificados e promove o desenvolvimento científico, fortalecendo a infraestrutura tecnológica do país. Além disso, a expertise acumulada no setor nuclear pode ser aproveitada em outros campos, como a *produção de radioisótopos e radiofármacos* para diagnóstico e tratamento médico, contribuindo para a saúde e bem-estar da população, bem como a elevação do tempo de *conservação dos alimentos*, prevenindo o brotamento e retardando a maturação.

A indústria nuclear mundial caminha na direção dos pequenos reatores modulares, SMR da sigla em inglês, devido a inúmeras vantagens que apresentam em termos de investimentos iniciais e prazo de implantação, implicando em menores riscos financeiros para os projetos. O Brasil tem um importante potencial de vantagens competitivas já que desenvolve a instalação de propulsão para os futuros submarinos nucleares de nossa Marinha, o que inclui a cadeia logística para produção desses reatores de pequeno porte.

Benefícios Geopolíticos

A importância da implantação de usinas nucleares no âmbito da Política Nuclear Brasileira apresenta os seguintes aspectos importantes sob o ponto de vista geopolítico:

Alavancagem do Programa Nuclear Brasileiro. A construção e operação de usinas nucleares aporta à PNB relevantes benefícios, dentre os quais: a preservação das capacidades nacionais de construção, operação e manutenção de usinas de geração nuclear; das expertises relacionadas ao licenciamento, regulação e fiscalização de usinas desta natureza; e das competências afetas à segurança nuclear e à proteção física de instalações nucleares. Esses benefícios se baseiam, sobretudo, na importante ação de contínua formação e fixação do capital humano no setor nuclear brasileiro.

Manutenção do segmento industrial dedicado. A construção de usinas traz importantes impactos positivos no segmento industrial do setor nuclear brasileiro. Destacam-se nesse ponto a “Indústrias Nucleares Brasileiras” (INB) e a “Nuclebrás Equipamentos Pesados” (NUCLEP). A INB possui o monopólio nacional para a fabricação do combustível nuclear e a NUCLEP detém a experiência para fabricação de importantes equipamentos para usinas de geração nuclear.

Potencialização do segmento industrial convencional. Setores da indústria convencional, de máquinas e equipamentos, são diretamente beneficiados por um programa de construção de novas usinas. Os elevados requisitos tecnológicos e os altos padrões de qualidade demandados pela indústria nuclear são fatores de desenvolvimento e qualificação do parque industrial brasileiro. Um programa continuado de construção de usinas justifica investimentos em tecnologia, qualificação e desenvolvimento por parte da indústria brasileira, como ocorrido na fase de construção de Angra 2.

Aproveitamento econômico das reservas de urânio brasileiras. A continuidade do programa de construção de usinas permitirá o aproveitamento econômico dessa riqueza natural, em benefício de toda a sociedade brasileira.

Conclusão

Em suma, conclui-se que a utilização do urânio para a geração de energia elétrica no Brasil apresenta inúmeros benefícios significativos em termos de economia, estabilidade energética, redução de emissões, desenvolvimento tecnológico sustentável, transição e segurança energética.

Sendo assim, não dá para entender o porquê do Ministério de Minas e Energia (MME) não ter incluído a expansão da utilização do urânio para a geração de energia elétrica nas Propostas e Programas para 2023 apresentados na Comissão de Minas e Energia da Câmara dos Deputados em 03/05/2023.

Diante do exposto, acreditamos que o MME revisará o Plano Decenal de Expansão de Energia, sem deixar de fora os investimentos necessários para ampliar a capacidade de produção de combustível para atender à demanda, com isto, reconhecendo a importância estratégica de incluir a utilização da riqueza da reserva nacional do urânio para o Brasil progredir em direção a uma matriz energética mais segura, diversificada, resiliente, limpa e sustentável.