

OPINIÃO

SMR e a descarbonização da indústria siderúrgica

Autores: Vinicius Botelho, Luiz Roberto Bezerra, Celso Cunha e Leonam dos Santos Guimarães

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

SMR (abreviatura de *Small Modular Reactor*) é a grande aposta da indústria nuclear para a descarbonização profunda da economia mundial que será necessária num horizonte de 30 anos. O recente artigo publicado na FGV Energia, intitulado: “*Implantação de SMR em sítios de descomissionamento de termoelétricas a carvão*”¹, revelou as virtudes desses avançados reatores nucleares, desenvolvidos a partir de 1950 para equipar os submarinos nucleares, que possibilitam a extensão de aplicação para atender a necessidade de oferta de geração de energia limpa e sustentável e apontou o estágio de evolução dessa tecnologia no Brasil, especificamente no âmbito da Amazônia Azul Tecnologias de Defesa – AMAZUL.

Pois muito bem. No contexto de transição energética, os **SMR** são capazes de promover segurança energética, confiabilidade de suprimento, flexibilidade, modularidade e, ainda, realizar essas atividades sem emissões de gases de efeito estufa (GEE). Devem, portanto, serem inseridos como prioridade de análise da expansão integrada do setor energético. Os **SMR** enquadram-se no atendimento a esses múltiplos requisitos e devem ser compreendidos a partir de uma ótica de suas múltiplas aplicações além da geração elétrica e dos benefícios decorrentes.

No mundo, diversas instituições públicas e privadas, em conjunto com a Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), têm trabalhado para consolidar e viabilizar a extensão de aplicação dessa tecnologia ainda nesta década. Com mais de 70 projetos de **SMR** em desenvolvimento em 18 países – dos quais se destacam a Rússia, China, Reino Unido, Estados Unidos, Canadá, Argentina e Japão –, estima-se que, com o

¹ [Implantação de SMR em sítios de descomissionamento de termoelétricas a carvão](#)

ganho de competitividade econômica, os **SMR** conquistem um papel cada vez mais importante na promoção da transição energética global em busca do “*net zero*”.

Small Modular Reactor e a cogeração

Visto como um avanço promissor das tecnologias de energia nuclear, os **SMR** incorporam inovações tecnológicas que permitem o seu dimensionamento de acordo com as necessidades específicas, dada a característica de modularidade, possibilitando a instalação em áreas remotas, sem acesso à rede elétrica.

Os **SMR** podem ser projetados para atender uma faixa de operação de 10 a 300 MWe e sua aplicação vai além do suprimento confiável de energia elétrica, pois operam em elevadas temperaturas que podem ser aproveitadas como cogeração em aplicações industriais. No caso dessas aplicações, classificadas como não elétricas, o calor de alta temperatura funciona como um insumo para produção de hidrogênio ou então para processos industriais em setores, como a siderurgia, cimento, e mineração, contribuindo para a descarbonização e para a eficiência energética, inclusive quanto ao seu potencial de utilização para a aclimação dos ambientes industriais.

SMR e suas aplicações na indústria

Os **SMR**, quando utilizados para suprir demandas elétricas e fornecer simultaneamente calor, promovem elevados ganhos eficiência energética global, como também a redução das emissões de GEE em setores industriais intensivos em energia. A redução das perdas de calor e a maximização do uso de calor útil tornam o **SMR** uma fonte adequada para atender o atual cenário de crescente preocupação com a sustentabilidade e com as mudanças climáticas.

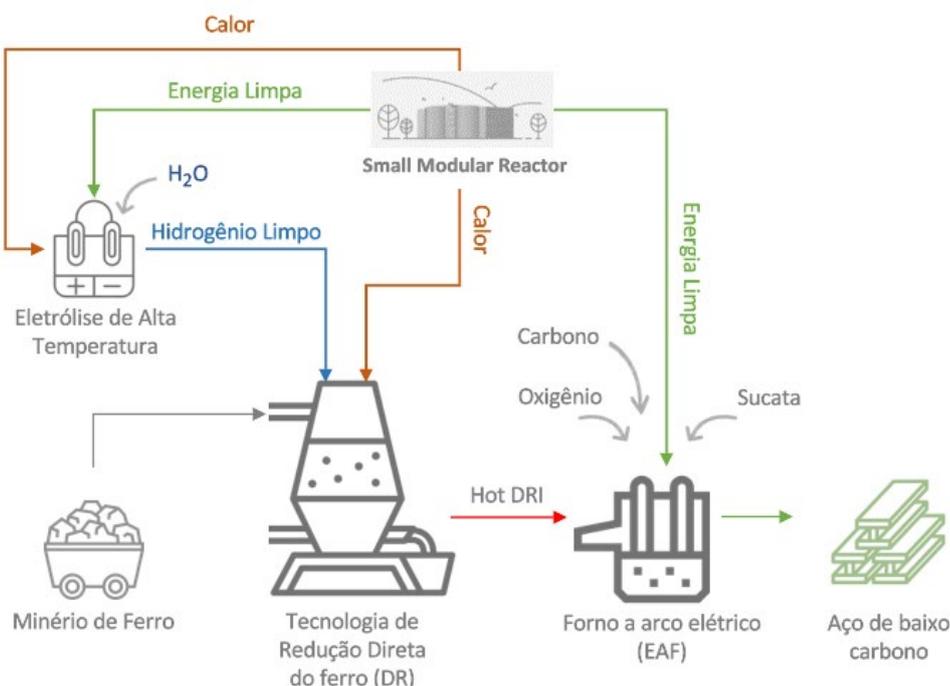
Logo, destaca-se que, em indústrias intensivas em energia, como a siderúrgica, existem promissoras perspectivas de descarbonização com a aplicação **SMR**.

Nessa, o principal processo de produção de aço bruto é realizado em um alto-forno com elevadas temperaturas e, normalmente, utiliza a redução do minério de ferro em aço fundido com a carvão ou a coque, que estão entre os principais vilões da emissão de CO₂. Há também o processo de produção siderúrgica realizado em fornos a arco que consomem grande quantidade de energia elétrica, bem como requererem elevadas temperaturas que demandam o consumo significativo de energia térmica, muitas vezes proveniente da queima de combustíveis fósseis.

Por ser uma grande emissora de CO₂, contribuindo com aproximadamente 8% das emissões do setor energético em 2022, a indústria siderúrgica, em especial, pode se valer do potencial de múltiplos usos dos **SMR** para a descarbonização de seus processos. Além disto, considerando que atualmente um dos caminhos mais promissores, capaz de contribuir com mais de 95% de redução de emissões, é a produção do aço via rota tecnológica H₂-DRI-EAF², que utiliza a redução direta do ferro com hidrogênio produzido a partir da eletrólise, neste caso utilizando a tecnologia de alta temperatura, associada a um forno de arco elétrico.

A Figura 1 a seguir ilustra a utilização do **SMR** para fornecer energia limpa e de calor de alta temperatura para contribuir, simultaneamente, com a produção de hidrogênio por eletrólise de alta temperatura e com a produção de aço bruto pela rota H₂-DRI-EAF.

Figura 1 - Utilização do **SMR** no processo de produção de hidrogênio de aço bruto pela rota H₂-DRI-EAF



Fonte: Elaboração própria.

O Brasil, que é membro da AIEA desde 1957, possui a 7^a maior reserva de urânio do mundo e, por dominar a tecnologia de enriquecimento para aplicações energéticas, pode viabilizar oportunidades de novas aplicações utilizando novas tecnologias de energia nuclear, bem como contribuir com avanços a nível mundial.

² Sigla do inglês, **H₂-Direct Reduced Iron – Electric Arc Furnace** (em português: *Redução direta do ferro com H₂ – Forno a Arco Elétrico*)

Salienta-se que, apesar do elevado potencial a ser explorado de fontes renováveis variáveis (FRV), como eólica e solar, a oportunidade da diversificação da matriz energética com SMR pode contribuir tanto para a segurança de suprimento do sistema elétrico brasileiro, como também para a descarbonização do setor energético, notadamente de indústrias intensivas em energia.

A propósito, o recente artigo publicado na FGV Energia, intitulado: “*O potencial do hidrogênio verde para descarbonização da siderurgia e as oportunidades para o Brasil no futuro mercado de green steel*”³, destacou que o Brasil, por ser um relevante player na produção de aço bruto, precisará adequar sua produção atendendo aos requisitos de emissões impostos pelo seu principal importador, a União Europeia.

Nunca é demais lembrar que o Brasil dispõe de uma das maiores reservas de urânio do mundo, tema este abordado no artigo publicado na FGV Energia, intitulado: “*A Riqueza do Urânio como Fonte de Energia Limpa: Por que não incluir nas Propostas e Programas para 2023 do MME?*”⁴. Sendo assim, é importante destacar que há perspectivas de aumento da quantidade de enriquecimento de urânio, haja vista que a Indústria Nucleares Brasileiras (INB) está em processo de expansão para atendimento da demanda de urânio enriquecido das usinas de Angra I, II, III (futuramente) e poderá ampliar ainda sua produção em caso de desenvolvimento de novas aplicações.

Tendo em vista o exposto, conclui-se que a extensão de aplicação dos **SMR** é, sem dúvida, o avanço na fronteira de expansão a ser explorado pela a indústria nuclear brasileira, considerando a evolução tecnológica, a garantia dos padrões de segurança e proteção, o atendimento de requisitos ambientais, bem como a perspectiva de viabilidade econômica e ganho de competitividade dos **SMR**.

³ [O potencial do hidrogênio verde para descarbonização da siderurgia e as oportunidades para o Brasil no futuro mercado de green steel](#)

⁴ [A Riqueza do Urânio como Fonte de Energia Limpa: Por que não incluir nas Propostas e Programas para 2023 do MME?](#)

AUTORES



Vinicius Botelho é engenheiro eletricitista formado pela UFTM, mestrando em Sistemas de Energia Elétrica no Programa de Engenharia Elétrica da COPPE/UFRJ e Pesquisador da FGV Energia. Tem experiência em assuntos do setor elétrico, com ênfase em energias renováveis, armazenamento de energia, planejamento energético e economia do hidrogênio. Atuou por 3 anos como pesquisador do Grupo de Estudos do Setor Elétrico (GESEL) onde desenvolveu pesquisas nas temáticas de armazenamento de energia, sistemas isolados e hidrogênio verde, atuando em projetos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) e de consultoria.



Luiz Roberto Bezerra é Mestre em Engenharia Elétrica pela COPPE/UFRJ. Pós-Graduado pela Universidade Cândido Mendes (MBA em Gestão Empresarial) e pelo IBMEC/RJ (MBA Executivo em Finanças). Possui graduação em Engenharia Elétrica pela PUC/RJ. Assessor do Diretor da FGV Energia e Coordenador de Pesquisa do Setor Elétrico da FGV Energia desde fevereiro de 2014. Membro titular do Corpo de Árbitros na Câmara FGV de Conciliação e Arbitragem (desde 2018). Coordenador de projetos de pesquisa aplicada (P&D), com foco em energias renováveis complementares, recursos energéticos distribuídos, smart grid, eficiência energética, sustentabilidade, arranjos produtivos locais, economia circular e economia compartilhada.



Celso Cunha é engenheiro eletricitista, possui MBA em Análise de Sistemas de Informação, Gestão de Negócios e Conservação de Energia. É mestre em Engenharia de Sistemas e Computação pela UFRJ. Tem uma extensa carreira em cargos públicos como Secretário das Prefeituras de Niterói, Nova Iguaçu e Paracambi. Foi Diretor Comercial da NUCLEP. Participou também da Fundação do Planetário da Cidade do Rio de Janeiro, e desde 2017 é Presidente da Associação Brasileira para o Desenvolvimento das Atividades Nucleares – ABDAN. É também Conselheiro da Federação das Associações do Setor Elétrico - FASE, do Conselho de Desenvolvimento Econômico da Federação das Indústrias do Estado do Rio e do Conselho de Administração da Empresa de Pesquisa Energética do Brasil (EPE).



Leonam dos Santos Guimarães é Doutor em Engenharia Naval e Oceânica pela USP, Mestre em Engenharia Nuclear pela Universidade de Paris XI, e Capitão-de-Mar-e-Guerra da reserva do Corpo de Engenheiros da Marinha, a qual serviu por 30 anos. Foi CEO da Eletronuclear de 2017 a 2022, onde atualmente é Coordenador do Comitê Estatutário de Acompanhamento do Projeto da Usina Termonuclear Angra 3 (COANGRA). É membro do Grupo Permanente de Assessoria em Energia Nuclear do Diretor Geral da Agência Internacional de Energia Atômica – AIEA, membro do Conselho de Representantes da World Nuclear Association – WNA. Foi Presidente da Seção Latino Americana da Sociedade Nuclear Americana e foi Diretor Técnico- Comercial da Amazônia Azul Tecnologias de Defesa SA – AMAZUL, na sua criação, e Coordenador do Programa de Propulsão Nuclear do Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo – CTMSP.

MANTENEDORES FGV ENERGIA

OURO



PRATA

