GESEL
Grupo de Estudos do Setor Elétrico
UFRJ

Observatório de Energia Nuclear

Nº 1

3º TRIMESTRE
2022

GESEL
Grupo de Estudos do Setor Elétrico
UFRJ

Observatório de Energia Nuclear Nº1

Editor
Prof. Nivalde de Castro
Subeditores
Bianca Castro
Fabiano Lacombe
Pesquisadores
João Pedro Gomes
Cristina Rosa
Isadora Correa
Pedro Ludovico

Janeiro de 2023

Sumário

Introdução **5**

1. Políticas Públicas e Planos de Governo **6**

1.1. Iniciativas em destaque 13

2. Dinâmica Internacional **14**

3. Inovação Tecnológica **19**

3.1. Iniciativas em destaque 20

4. Empresas **24**

5. Estudos em destaque **29**

5.1. Outros estudos 32

6. Considerações Finais **36**

7. Referências Bibliográficas **37**

Introdução

Os compromissos com as metas de descarbonização são cada vez mais importantes e necessários por duas motivações. A primeira e mais evidente é que os avanços das fontes renováveis na matriz contribuem para a redução das emissões de GEE. A segunda, mais estratégica, garante como uma prioridade máxima das políticas energéticas, qual seja, a segurança energética, uma vez que mais fontes renováveis diminuem a dependência de recursos não renováveis importados.

Todavia, o aumento das fontes renováveis na matriz elétrica por exemplo, trazem outras demandas, como: a necessidade de fontes de energia firmes, ou seja, aquelas cuja decisão de produção esteja sob controle humano, mas que, ao mesmo tempo, não sejam emissoras de GEE. Foi assim que a energia nuclear passou novamente a entrar em pauta, atendendo a esses dois pré-requisitos: fonte de energia confiável e não emissora.

Mais recentemente, a Guerra da Ucrânia deflagrou uma crise energética que desestabilizou os mercados de gás, petróleo e carvão, devido às sanções econômicas impostas à Rússia, com forte elevação e instabilidade dos preços destas commodities. Na linha de frente deste novo e complexo contexto, a Europa se viu obrigada a priorizar a segurança energética, em especial a partir da decisão russa de suspender as exportações de gás natural, forçando, por exemplo, a reativação de usinas nucleares e centrais a carvão.

Neste sentido, o Observatório de Energia Nuclear é feito com base no Informativo Eletrônico de Energia Nuclear e visa contribuir com a sistematização e a divulgação do conhecimento, identificando o papel da energia nuclear para o mundo de hoje, as estratégias e iniciativas para a sua aplicação que estão sendo adotadas nos setores elétricos nacional e internacional, o papel das empresas nesse processo, a dinâmica internacional que envolve a energia nuclear, como tem se dado o progresso tecnológico e por fim, apresentar os principais estudos que discutem essa tecnologia.

Políticas Públicas e Planos de Governo

Devido ao conflito entre Rússia e Ucrânia e as subsequentes sanções à energia russa, diversos países europeus se mobilizam para garantir sua segurança energética. Por isso, a crise na Ucrânia e os crescentes custos de energia forçam uma mudança na opinião pública e uma reformulação política em relação à energia nuclear, uma vez que a União Europeia precisa se dissociar da dependência do petróleo e gás russo.

Deste modo, a falta de fornecimento de gás da Rússia fez a Europa se reaproximar da energia nuclear, incluindo a reincorporação de usinas desativadas, o adiamento do fechamento de outras centrais nucleares, novos programas de financiamento e a possibilidade de novos marcos regulatórios.

O continente asiático também passa por um ressurgimento nuclear, com seus países, com seus países retornando rapidamente para fontes de energia de baixo carbono. Isso acontece devido à aceleração da crise climática, à disparada dos preços da energia e às preocupações com a segurança energética. O Japão, por exemplo, começou a reativar as usinas nucleares que estavam ociosas desde o desastre de Fukushima, em 2011.

Na Coréia do Sul, o recém-eleito presidente Yoon Seok-yeol retomou a construção de dois reatores e estendeu a vida útil daqueles que já se encontram em operação. No caso da China, existem pelo menos 52 reatores nucleares em construção ou em planejamento – mais do que a soma de todos os outros países do mundo – com propostas para criação de mais 150 outros.

Políticas Públicas e Planos de Governo

Por fim, há indícios de uma abertura nuclear em países do continente africano, como Egito e Gana, onde a demanda por licenças e pedidos para construção de usinas se iniciaram.

O Quadro 1 sintetiza as principais políticas públicas de promoção da energia nuclear presentes no mundo inteiro no período de julho a setembro de 2022. As seções em destaque englobam a localização e a descrição das medidas.

Quadro 1: Principais metas, estratégias e políticas adotadas para a energia nuclear no mundo durante o 3º trimestre de 2022.

País	Descrição
Brasil	Medida provisória autorizando a incorporação do setor privado na exploração de minérios nucleares.
Argentina	Novas exigências para a transferência tecnológica em acordo nuclear com a China.
Coréia do Sul	Plano de construção de novos reatores SMRs na cidade industrial de Uljin, no leste do país, nos próximos dois anos.

Políticas Públicas e Planos de Governo

Quadro 1 (continuação): Principais metas, estratégias e políticas adotadas para a energia nuclear no mundo durante o 3º trimestre de 2022.

País	Descrição
Egito	Pedidos para licenças de construção para quatro unidades nucleares e permissão de lançamento de primeiro reator nuclear do país.
Estados Unidos	Projeto de incentivos fiscais para transição de minas de carvão em usinas nucleares.
França	Planos para reincorporar, no inverno, 32 reatores nucleares desativados.
Gana	Planos de construção da primeira usina nuclear do país até 2030, com 15 propostas para reatores grandes e pequenos.
Irã	Propostas para retomar o acordo nuclear chamado Plano de Ação Abrangente Conjunto (JCPOA), incluindo a liberação de bilhões de dólares em fundos iranianos congelados.
Singapura	Relatório de expansão nuclear para 10% da matriz elétrica até 2050.

Políticas Públicas e Planos de Governo

Quadro 1 (continuação): Principais metas, estratégias e políticas adotadas para a energia nuclear no mundo durante o 3º trimestre de 2022.

País	Descrição
Japão	Desenvolvimento de reatores nucleares menores e mais seguros, além do prolongamento da vida útil de reatores existentes.
Reino Unido	Início do processo regulatório para implementação de oito novos reatores SMRs até 2030, com a expectativa da Rolls-Royce receber permissão para desenvolvimento nuclear até 2024 e início da geração até 2029; Inclusão do Modelo de Base de Ativos Regulamentados (RAB) entre os projetos de financiamento para tecnologias nucleares que recebem pagamentos regulados dos fornecedores de eletricidade.

Fonte: Elaboração própria, a partir de IFE Energia Nuclear – Gesel (2022)

África

Egito e Gana despontam como os primeiros países africanos a iniciar seus programas nucleares no século XXI. A Autoridade de Usinas Nucleares egípcia apresentou um pedido para que as autoridades regulatórias forneçam licenças para a ativação de quatro novos reatores na Usina de El Dabaa, entre 30 de junho de 2021 e 29 de junho de 2022, permitindo o lançamento do primeiro reator nuclear do país.

Políticas Públicas e Planos de Governo

Por outro lado, Gana conta com planejamentos para a inauguração de sua primeira usina nuclear até 2030, em conformidade com o seu compromisso de garantir neutralidade de carbono junto ao seu desenvolvimento industrial e crescimento econômico.

Ásia

Um ressurgimento nuclear também está ocorrendo no continente asiático, com diversos países planejando a construção de novas usinas ou desenvolvendo questões relativas à energia nuclear. A Coréia do Sul parte para a combinação de fontes renováveis com a energia nuclear através de pequenos novos reatores, chamados de SMRs. Dessa forma, a campanha já em andamento no país foi acelerada com a expectativa de atingir a neutralidade de carbono até 2050.

O Japão, país que fechou diversas usinas nucleares devido ao acidente de Fukushima, começa a considerar o desenvolvimento de reatores menores e mais seguros. Uma mudança na opinião pública foi forçada pela crise energética ucraniana e o país tem repensado sua política em relação à energia nuclear, inclusive procurando prolongar a vida útil de reatores já existentes.

Políticas Públicas e Planos de Governo

No Irã, é iminente uma nova proposta para retomar o acordo nuclear entre o país e potências ocidentais, incluindo a liberação de bilhões de dólares em fundos iranianos congelados e exportações de petróleo em troca da redução de seu programa nuclear. O país demonstra otimismo em relação a uma versão renovada do acordo de 2015, chamado de Plano de Ação Abrangente Conjunto (JCPOA), a ser realizado em quatro fases ao longo de dois períodos de 60 dias.

Por outro lado, Singapura e Filipinas, países sem energia nuclear estabelecida, apresentam interesses para desenvolvimento de suas indústrias nucleares em consonância com seus planos de descarbonizar suas economias. Em uma discussão ainda em andamento, o prognóstico da cidade-estado asiática está em até 10% de suas necessidades energéticas serem supridas pela energia nuclear ou geotérmica até 2050.

Europa

A falta de fornecimento de gás da Rússia fez a Europa se reaproximar da energia nuclear. A França foi um dos primeiros países a garantir que sua população conte com seus reatores nucleares para fornecer energia e calor no próximo inverno. O país tem apostado nas usinas nucleares para resistir a uma iminente crise energética, enquanto instabilidades na EDF, distribuidora francesa, acometem a matriz elétrica voltada a usinas nucleares em funcionamento, mas com planos de incorporar os 32 reatores – de um total de 56 – para o inverno.

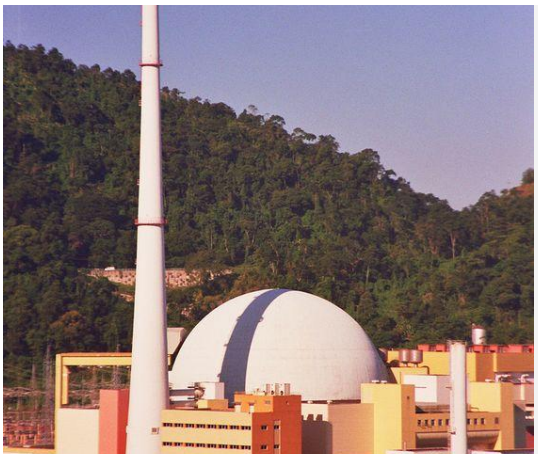
Políticas Públicas e Planos de Governo

Diante do contexto nuclear renovado, o Reino Unido testa um novo modelo de financiamento para uma variedade de novas tecnologias nucleares avançadas e instalações, fornecendo apoio financeiro para atrair investimento privado. Um novo fundo para projetos de combustível nuclear visa reduzir a necessidade de importações, incluindo a compra de 20% da participação da usina de Sizewell C e a implementação de oito novos reatores até 2030, com desenvolvimentos em menor escala se comparados a usinas tradicionais.

Na Polônia, discutem-se propostas dos EUA, França e Coreia do Sul para fornecimento de tecnologias e financiamento para novas usinas nucleares em Varsóvia. Já na Alemanha, a crise energética sem o gás russo trouxe questões sobre o adiamento ou não do fechamento das últimas três usinas nucleares do país, em alternativa ao reinício de usinas de carvão. A última opção tem se mostrado mais vantajosa para a segurança energética do país, desde que haja a manutenção do funcionamento de duas usinas nucleares de prontidão para o inverno, caso seja necessário.

Políticas Públicas e Planos de Governo

Iniciativas em destaque



Brasil

No Brasil, uma revisão do marco regulatório do setor nuclear foi instituída para a incorporação da exploração privada de minérios nucleares, o que permite uma expansão do parque de geração nuclear brasileiro para além do monopólio da União. Além disso, o governo federal ampliou novamente o prazo de retomada das obras de Angra 3 pela Eletronuclear, reeditando as normas estabelecidas para as obras.

Argentina

Na Argentina, por outro lado, há um impasse no acordo com a China para a construção e o financiamento de uma nova usina nuclear de US$ 8 bilhões próxima a Buenos Aires. O que dificultou o acordo foi a exigência da Argentina de que seus engenheiros sejam autorizados a fabricar o combustível para o reator dentro do país, na medida em que tal proposta seria um grande avanço para o programa atômico argentino. Com isso, a Argentina seria o primeiro país autorizado a produzir combustível para um reator chinês.

Estados Unidos

Nos Estados Unidos, um novo projeto de lei econômica tem chamado atenção por seus incentivos 'revolucionários' para o setor de energia nuclear. O projeto afirma um protagonismo no papel das minas de carvão na transição energética, dando prioridade para novas instalações nucleares que estejam localizadas em comunidades com usinas de carvão em processo de fechamento.

Dinâmica Internacional

Iniciativas em destaque

Reunião do comitê permanente de política nuclear Brasil-Argentina

No dia 26 de Julho de 2022, foi realizada uma reunião do Comitê Permanente de Política Nuclear Brasil-Argentina (CPPN), em Buenos Aires, no Palácio San Martín, sede da Chancelaria argentina. Entre os temas tratados no encontro, destacam-se (i) a coordenação de posições para a X Conferência de Exame do Tratado sobre a Não Proliferação de Armas Nucleares (TNP), que teve início em 1º de agosto, em Nova York; (ii) a cooperação em fóruns multilaterais, como a AIEA e o Grupo de Fornecedores Nucleares (NSG, na sigla em inglês); (iii) desafios internacionais referentes à não proliferação nuclear; (iv) a situação atual e os objetivos futuros dos respectivos programas nucleares; (v) o marco institucional da Agência Brasileiro-Argentina para Contabilidade e Controle de Materiais Nucleares (ABACC); e (vi) perspectivas para a cooperação científica, tecnológica e regulatória na área nuclear entre Brasil e Argentina.

Resto do Mundo

Ucrânia: Complicações na usina de Zaporzhzhia

Desde o início do conflito militar entre a Rússia e a Ucrânia, a maior usina nuclear da Europa vem sofrendo ataques e sucessivos impedimentos em suas operações. A usina ucraniana de Zaporzhzhia, com capacidade de 5.700 MW, foi ocupada pela Rússia em março e nos últimos meses a AIEA reporta dificuldades de comunicação e monitoramento da usina.

Em agosto, a Rússia disparou mísseis contra a região de Mykolaiv, no sul da Ucrânia, com pelo menos uma vítima. Conforme os ataques se intensificam em regiões próximas à usina de Zaporzhzhia, as preocupações com a segurança das instalações nucleares aumentam.

Dinâmica Internacional

Três dias antes do ataque em Mykolaiv, a usina foi novamente bombardeada, o que causou danos em seus sistemas de monitoramento. Como nos casos anteriores, Rússia e Ucrânia se responsabilizam mutuamente.

Ataques à usina de Zaporzhzhia ou a regiões próximas causam desde danos mais diretos às instalações até interrupções da conexão entre a planta e o sistema elétrico local, fundamental para manter processos de resfriamento e outras medidas que previnem acidentes nucleares. Segundo a Energoatom, empresa responsável pelas operações nucleares na Ucrânia, no final de agosto a usina de Zaporzhzhia foi desconectada da rede elétrica do país pela primeira vez desde sua inauguração. Os geradores a diesel de *backup* foram ativados após um incêndio em regiões próximas, em razão de o conflito ter prejudicado o fornecimento de energia elétrica para a operação da usina.

Figura 1: Usina de Zaporzhzhia, Ucrânia.

Fonte: Poder 360

Tendo em vista as instabilidades do período, a AIEA solicitou o estabelecimento de uma zona de segurança em torno da usina de Zaporzhzhia. A Agência publicou um relatório no qual afirma que, embora os ataques ainda não tenham causado uma emergência nuclear, os bombardeios em regiões próximas têm motivado constantes ameaças à segurança e à operação de funções críticas da usina.

Dinâmica Internacional

A zona de segurança a ser negociada com o Conselho de Segurança das Nações Unidas cobriria o perímetro das instalações e a própria usina. O diretor-geral da AIEA, Rafael Grossi, esteve na primeira semana de setembro em Nova York para pleitear, junto à ONU, o estabelecimento de medidas para proteger a usina durante a guerra.

Impactos sobre os mercados internacionais se acentuam no terceiro trimestre

Desde o início do conflito da Ucrânia, o urânio registrou altas históricas de preços conforme se intensificam as apostas para a retomada da energia nuclear como saída para os impactos econômicos da guerra. Somente entre o período que cobre meados de agosto até setembro o valor da *commodity* saltou 7%. A tendência de alta verificada no trimestre atual é esperada também para os três meses seguintes e o Bank of America prevê que o preço da libra do urânio pode atingir até US$ 70 ainda este ano.

Gráfico 1: Evolução dos preços do urânio (preço em dólares por libra).

Fonte: Financial Times.

Dinâmica Internacional

A UxC, companhia de análise do combustível nuclear, apontou que o patamar atual de preços do urânio foi revisto pela última vez há uma década. É importante ressaltar que o valor do material apresentava certa recuperação desde o final de 2021, conforme a percepção negativa da energia nuclear no contexto pós-acidente de Fukushima desaparecia. Os benefícios das usinas nucleares enquanto fontes seguras e não emissoras para o fornecimento de energia elétrica se destaca no contexto atual de transição energética, fator que foi reforçado após o início do conflito.

Como mencionado na primeira seção deste Observatório, espera-se que a alta do preço do urânio não enfraqueça as investidas na direção da energia nuclear, devido às consequências da dependência do gás russo evidenciadas durante a guerra. O preço dos contratos futuros de gás natural, em trajetória de intensa elevação em 2022, atingiu em setembro o seu valor máximo: US$ 9,95 por milhão de metros cúbicos (mmbtu). A variação entre o começo de julho e o final de setembro para a *commodity* foi de cerca de 12%, saltando de US$ 5,7 para US$ 6,47.

As tensões nas negociações com o Irã

No final de julho, o Irã anunciou que manterá as câmeras da AIEA desativadas no país. Os dispositivos foram desligados pelo governo iraniano, pois este acredita que os Estados Unidos estariam adiando as negociações indiretas para a retomada do acordo nuclear de 2015. Em agosto, porta-vozes do Teerã enfatizaram que a troca de prisioneiros entre o país e os Estados Unidos era uma questão à parte das negociações por um novo acordo nuclear. A tensão entre os dois países se intensificou, com sucessivos pedidos do governo americano pela libertação de presos iranianos-americanos no país asiático sob alegação de questões de segurança.

Dinâmica Internacional

O acordo de 2015 impunha restrições às atividades nucleares iranianas em troca da suspensão de sanções internacionais. Em 2018, o então presidente Donald Trump suspendeu o acordo, alegando que o Irã possui relações com organizações terroristas e que estaria buscando o desenvolvimento de armamentos nucleares. Em resposta, o Irã violou exigências e restrições de atividades contidas no acordo e as negociações entre os países tem sido bastante conflituosas.

Atualmente, a Europa tem sido a principal mediadora entre o conflito diplomático e divulgou, em agosto, uma proposta de retomada do acordo nuclear que inclui a liberação de bilhões de dólares em fundos iranianos congelados, bem como a ampliação da abertura comercial para exportações de petróleo do Irã. O acordo seria realizado em quatro fases, que estariam completas em 120 dias. A perspectiva é de que as negociações sejam facilitadas nos próximos meses, tendo a própria equipe iraniana responsável pela questão manifestado otimismo.

Inovação Tecnológica

Apesar de todos os pontos positivos, as usinas nucleares de grande porte enfrentam certos desafios, entre os quais a resistência popular pela exposição à radioatividade dos resíduos em caso de desastres. A partir disso, inovações constantes são pensadas para amenizar os obstáculos nucleares. Dentre elas, uma tecnologia "nova" ganha destaque: os *small modular reactors* (SMRs, na sigla em inglês).

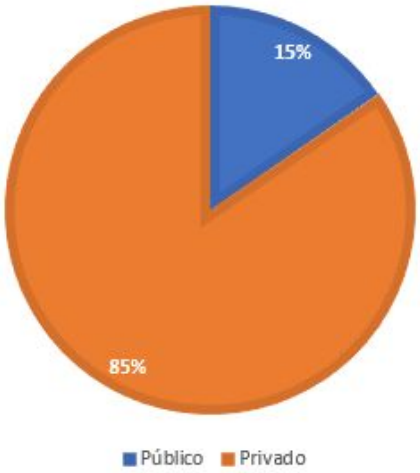
Os SMRs são reatores nucleares avançados com capacidade de energia de até 300 MWe por unidade, o que representa cerca de um terço da capacidade de geração dos reatores nucleares tradicionais. Em resumo, os benefícios dos SMRs, que podem produzir uma grande quantidade de eletricidade de baixo carbono, são:

I. O tamanho, já que os SMRs são fisicamente pequenos e equivalentes uma fração do tamanho de um reator nuclear convencional;
II. A modularidade, a partir da qual é possível que sistemas e componentes sejam montados na fábrica e transportados como uma unidade para o local de instalação; e
III. As funções dos reatores, que apresentam a possibilidade de aproveitar a fissão nuclear para gerar calor e produzir energia.

A partir disso, esta seção procura realizar uma avaliação trimestral da situação tecnológica dos SMRs. Para começar, o Gráfico 1 mostra a diferença entre os investimentos para tecnologia de SMRs derivados do setor privado e do público. Neste caso, observa-se a enorme vantagem do montante de investimentos privados (85%) nos últimos três meses.

Inovação Tecnológica

Gráfico 2: Iniciativas financiadas por investimentos públicos e privados voltados à tecnologia dos SMRs no 3º trimestre de 2022.



Fonte: Elaboração própria, a partir de IFE Energia Nuclear - GESEL (2022).

Iniciativas em destaque

Dentro destas iniciativas, dois movimentos se destacam: (i) a substituição de usinas de combustível fóssil por SMRs; e (ii) o uso de SMRs para aplicações industriais. No caso (i), em webinar da Agência Internacional de Energia Nuclear (AIEA) foi mencionado o reaproveitamento de plantas fósseis com SMRs como um possível negócio para os países que desejam expandir a energia nuclear para diminuir a dependência energética estrangeira. Neste sentido, o método traz os seguintes benefícios: (i) redução das emissões; e (ii) possibilidade de garantir uma transição econômica justa para as comunidades locais. A partir disso, um experimento foi iniciado com a Maryland Energy Administration (MEA) dos EUA concedendo subsídios à X-energy para avaliar os benefícios de reaproveitar uma instalação de geração elétrica a carvão com o pequeno reator modular Xe-100 da X-energy.

Inovação Tecnológica

No caso (ii), algumas parcerias visam o desenvolvimento da aplicação industrial dos SMRs, tendo em vista que a tecnologia pode ajudar a indústria pesada a atingir as metas de mudança climática, a partir do uso de eletricidade limpa e segura, além de vapor de alta temperatura produzido com eficiência por meio da tecnologia nuclear evolutiva para alimentar suas instalações de produção e permitir a descarbonização dos processos industriais.

Fique de olho!

China: Construção do primeiro SMR terrestre comercial

Um pequeno reator modular terrestre está em construção na província de Hainan, no sul da China. O projeto Linglong 1 é o primeiro SMR do tipo autorizado pela IAEA e irá abastecer localidades remotas da região. Cada módulo padrão poderá fornecer uma carga de 100 MW, combinados segundo as necessidades do usuário. A unidade integra componentes comuns em reatores desse tipo, com foco em segurança, mediante o uso de sistemas passivos que entram em ação automaticamente com medidas de prevenção de acidentes. Segundo o engenheiro-chefe do projeto, a Ilha de Hainan costumava a se apoiar em carvão, gás e petróleo para o fornecimento de energia, incorporando elevados custos de transporte desses materiais. Para ele, a construção dos SMRs oferece uma nova opção para geração de energia.

Outras iniciativas

No caso das tecnologias que não estão voltadas para os SMRs, dois tópicos se destacam com duas iniciativas. Por sua vez, cada tecnologia se encontra em uma etapa distinta da cadeia produtiva da energia nuclear, uma diz respeito ao processo de implementação e outra ao descarte de resíduos. Além disso, a maioria das iniciativas ocorrem nos EUA e possuem parcerias com laboratórios nacionais.

Inovação Tecnológica

Quadro 3: Novas tecnologias associadas à cadeia produtiva da energia nuclear.

Tipo de inovação tecnológica	Empresa	Nome da tecnologia	Descrição
Inovação nos processos de funcionamento de uma usina nuclear	Laboratório Nacional de Argonne e Departamento de Energia dos Estados Unidos	Inteligência artificial	Utilização de inteligência artificial como instrumento para permitir que as usinas nucleares tenham uma operação autônoma, melhorando a sua lucratividade e gerando benefício na implementação de conceitos avançados.
Usinas nucleares *offshore*	Atomflot	Usina nuclear flutuante	Início da construção da primeira das quatro usinas nucleares flutuantes para o projeto Cape Nagloynyn, com vistas ao desenvolvimento de mineração no ártico russo.
	Core Power, MIT Energy Initiative e o Idaho National Laboratory	Energia nuclear flutuante *offshore*	O Departamento de Energia dos Estados Unidos preparou fundos de pesquisa para um estudo de três anos sobre o desenvolvimento de geração de energia nuclear flutuante *offshore* no país.
Solução para descarte de resíduos	Laboratório Aspo Hard Rock	Disposição geológica real	A estrutura subterrânea é utilizada para experimentos com dois objetivos: (i) análise de resíduos embalados ou enterrados; e (ii) entendimento de como esses materiais são degradados pelo tempo.
	Idaho National Laboratory	Reator nuclear rápido	Possibilidade do lixo nuclear dos EUA gerar energia para o país através da tecnologia reator nuclear rápido.

Inovação Tecnológica

Quadro 3 (continuação): Novas tecnologias associadas à cadeia produtiva da energia nuclear.

Tipo de inovação tecnológica	Empresa	Nome da tecnologia	Descrição
Inovação no método de enriquecimento de urânio	Silex	Módulo de enriquecimento a laser	Um módulo de enriquecimento a laser será enviado aos EUA para ser implementado nas instalações de demonstração piloto comercial da Global Laser Enrichment.

Fonte: Elaboração própria, a partir de IFE Energia Nuclear - GESEL (2022).

Empresas

Cada vez mais, o setor privado tem se mostrado essencial para o apoio a investimentos ligados à busca da transição energética. Dentro desse contexto, a energia nuclear vem recebendo parte destes investimentos pelas suas características de não emissão de gases do efeito estufa (GEE). Por isso, a presente seção tem como objetivo analisar todas as iniciativas empresariais relacionadas à energia nuclear, voltadas para financiamentos de projetos pilotos, programas de P&D, metas e estratégias. No Quadro 4, encontra-se o compilado dessas iniciativas para os meses de julho, agosto e setembro de 2022.

Quadro 4: Iniciativas empresariais voltadas a temáticas nucleares durante o 3º trimestre de 2022.

Empresa	País	Abrangência	Descrição
Rosatom	Rússia	Regional	Promoção de um projeto para a implementação de uma pequena usina nuclear baseada no reator de água pressurizada (PWR) integral SHELF-M.
	Egito	Nacional	Construção da primeira usina nuclear do país.
Hexagon	EUA	Nacional	Reator modular de próxima geração escolhido para gerar economia de produtividade e auxiliar na construção modular no projeto de *Advanced Small Modular Reatores*.
NuScale	EUA	Nacional	Estratégia de desenvolvimento para a entrega de SMRs, estabelecendo uma nova unidade de negócios VOYGR *Services and Delivery* (VSD).
	EUA	Nacional	Parceria com a Paragon em um projeto de sistema de proteção para SMRs que visa o uso industrial através da assinatura de um contrato de licença, permitindo o uso potencial da plataforma inovadora e avançada *Highly Integrated Protection System* (HIPS).

Empresas

Quadro 4 (continuação): Iniciativas empresariais voltadas a temáticas nucleares durante o 3º trimestre de 2022.

Newcleo	Reino Unido	Nacional	Parceria com a Orano para estudos de viabilidade sobre o estabelecimento de uma mistura de óxidos de plutônio-urânio (MOX) na planta de produção.
Rolls-Royce	Reino Unido	Nacional	Pressão por aprovação antecipada da implantação da tecnologia dos SMRs, anos antes de obter a aprovação de segurança
	Reino Unido	Nacional	Metas e estratégias para o mercado de SMRs voltadas ao seu novo modelo e a seis locais para construir uma nova fábrica, com o objetivo de fabricar até 16 unidades.
	Reino Unido	Nacional	Abertura de uma nova academia de habilidades nucleares para treinar 200 engenheiros todos os anos.
CWMNI Egino	Reino Unido	Regional	Escolha de Trawsfynydd, como local ideal para sediar o primeiro SMR operante do país, defendendo um forte foco na criação de oportunidades sociais e econômicas.
Last Energy	Polônia	Nacional	Acordo com a Enea Group para buscar em conjunto o desenvolvimento dos pequenos reatores modulares de 20 MWe da Last Energy, no país.
SaskPower	Canadá	Nacional	Seleção da unidade GE-Hitachi para sediar seu projeto de SMR.
Vatenfall	Suécia	Regional	Início de um estudo piloto para explorar a construção de SMRs no país, visando o atendimento do aumento da demanda por eletricidade.

Empresas

Quadro 4 (continuação): Iniciativas empresariais voltadas a temáticas nucleares durante o 3º trimestre de 2022.

Framatome	Brasil	Nacional	Aumento da participação no setor nuclear brasileiro.
	Suécia	Nacional	Componente de aço feito em impressora 3D instalado em reator sueco.
OPG e X-energy	Canadá	Nacional	Assinatura de um acordo para buscar oportunidades de implantação de SMRs Xe-100 para aplicações industriais.
ARC e CNL	Canadá	Nacional	Parceria com o objetivo de fabricação de combustível para SMRs.
Dow	EUA	Regional	Anúncio de colaboração com a X-energy para implantar um SMR.
TerraPower	EUA	Nacional	Levantamento de fundo para construção de SMR.
Atomflot	China	Nacional	Início da construção da primeira das quatro usinas nucleares flutuantes para o projeto Cape Nagloynyn, que irá ampliar o desenvolvimento de mineração no ártico russo.
Holtec	EUA	Nacional	Anúncio de aumentos no orçamento de P&D e lançamento de seu primeiro SMR-160 em 2029.
Sylex Systems	Austrália	Nacional	O primeiro módulo de sistema a laser em escala real feito para enriquecimento de urânio desenvolvido pela empresa completou oito meses de testes com sucesso.
Sebrae	Brasil	Nacional	Esforço para aumentar a participação de pequenas empresas no segmento nuclear através do "Projeto de Desenvolvimento das Empresas da Cadeia de Valor do Setor Nuclear", cujo objetivo é apresentar as oportunidades da cadeia produtiva nuclear.

Empresas

Quadro 4 (continuação): Iniciativas empresariais voltadas a temáticas nucleares durante o 3º trimestre de 2022.

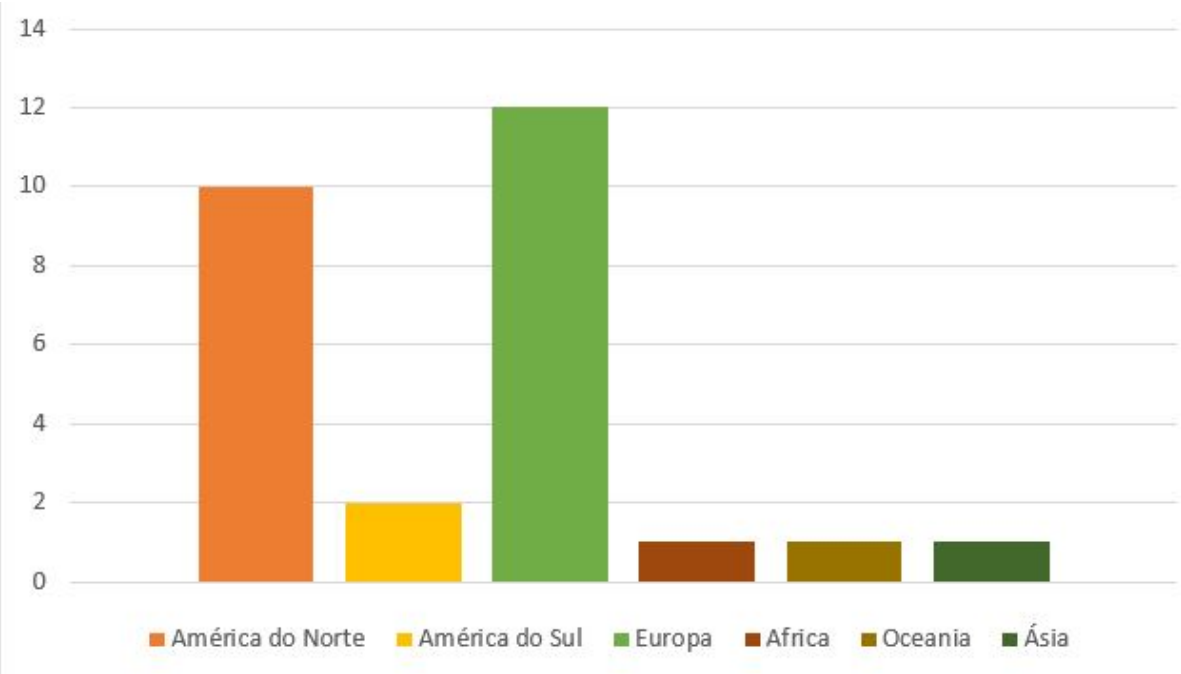
Oklo Inc	EUA	Nacional	Apresentação de um Plano de Projeto de Licenciamento à Comissão Reguladora Nuclear dos Estados Unidos (NRC), descrevendo o seu compromisso de apoiar futuras atividades de licenciamento de reatores.
NNL e Jacobs	Reino Unido	Nacional	Parceria visando a entrega de um ciclo de vida completo para apoiar projetos de renovação de infraestrutura em várias instalações administradas pelo National Nuclear Laboratory (NNL).
EDF	Reino Unido	Regional	Extensão para as usinas nucleares de Hartlepool e Heysham adquirirem a possibilidade de geração de eletricidade além da previsão atual.
Westinghouse	Polônia	Nacional	Assinatura de Memorandos de Entendimento com 22 empresas para a cooperação na potencial construção de reatores AP1000 no país.

Fonte: Elaboração própria, a partir de IFE Energia Nuclear - GESEL (2022).

A partir do levantamento presente no Quadro 4, foi possível mapear e quantificar diversas iniciativas empresariais. As informações presentes no Gráfico 2 apresentam a divisão destas iniciativas por continente. Percebe-se, então, que a Europa é o continente com a maior porcentagem (44%) destas iniciativas, representada pelos países Polônia, Suécia, Rússia e Reino Unido. Em segundo lugar, aparece a América do Norte com 37% de participação empresarial em temáticas nucleares, sendo os Estados Unidos responsável por 70% do território norte-americano.

Empresas

Gráfico 3: Iniciativas empresariais voltadas a temáticas nucleares por continente nos meses de julho, agosto e setembro de 2022.



Fonte: Elaboração própria, a partir de IFE Energia Nuclear - GESEL (2022).

Fique de olho!

Indústria nuclear dos EUA espera expandir produção com novos reatores

A associação comercial dos operadores de usinas nucleares dos EUA apresentou no mês de setembro uma visão para a indústria nuclear. Segundo as concessionárias que são membros do projeto do Instituto de Energia Nuclear, existe a possibilidade de adicionar 90 GW de energia nuclear à rede dos EUA com a maior parte até 2050 traduz em cerca de 300 novos. Além disso, para enfatizar suas perspectivas positivas, a associação afirmou que os operadores das usinas esperam dobrar sua produção nas próximas três décadas. Todavia, a expansão massiva prevista pelas concessionárias depende da funcionalidade, que é muito menor do que os reatores tradicionais. Apesar dessas condições, aponta-se que cerca de duas dúzias de empresas americanas estão desenvolvendo reatores avançados com alguns que devem entrar em operação até o final da década se a tecnologia for bem-sucedida e os reguladores federais aprovarem.

Estudos em destaque

O papel dos Pequenos Reatores Nucleares na Transição Energética: Uma visão a partir de aplicações industriais

Em artigo publicado pelo GESEL no mês de setembro, o uso dos SMRs no processo de descarbonização das cadeias produtivas foi analisado segundo suas múltiplas perspectivas. O trabalho intitulado "O papel dos pequenos reatores modulares na transição energética: Uma visão a partir das aplicações industriais" reforça a importância da energia nuclear nos esforços de redução de GEE. As metas de reduções líquidas de GEE foram estabelecidas no Acordo de Paris em 2015 como resultado da 21ª Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas (COP21). Contudo, estima-se que já na próxima década o aquecimento máximo da temperatura global considerado tolerado será ultrapassado. Nesse contexto, o uso de uma fonte de energia não emissora capaz de manter a confiabilidade e a continuidade da geração ganha relevância na elaboração de políticas públicas, com extensas avaliações dos seus pontos positivos e negativos , sistematizados no Quadro 5, a seguir.

Quadro 5: Vantagens e desvantagens da energia nuclear.

Vantagens	Desvantagens
Ausência de emissão de gases de efeito estufa	Restrições de segurança ambiental (tratamento de resíduos radioativos e extração de urânio)
Baixo custo variável	Preocupação com acidentes nucleares
Alta disponibilidade: aumento da segurança energética	Capacidade de acionamento lento
Pequeno risco no transporte do combustível	Baixa capacidade de variação
Pequena área para implementação	Alto custo de implementação e desmantelamento

Fonte: Zamboni *et al* (2022).

Em particular, os SMRs adicionam aos reatores convencionais as vantagens decorrentes de sua produção modular, padronizada e serial. Ademais, há vantagens comparativas em relação aos grandes reatores convencionais do ponto de vista da segurança, considerando que os SMRs possuem sistemas de segurança passiva capazes de realizar o desligamento automático. Isso permite que os reatores permaneçam frios sem a necessidade de energia externa por mais tempo do que um reator convencional.

As vantagens dos SMRs, contudo, não incluem somente a geração de energia elétrica. É possível ir além com suas aplicações e incluí-los, também, em processos de aquecimento, cogeração, dessalinização da água, produção de vapor de alta qualidade e produção de hidrogênio. Os SMRs permitem, ainda, a substituição de fontes poluentes em áreas isoladas.

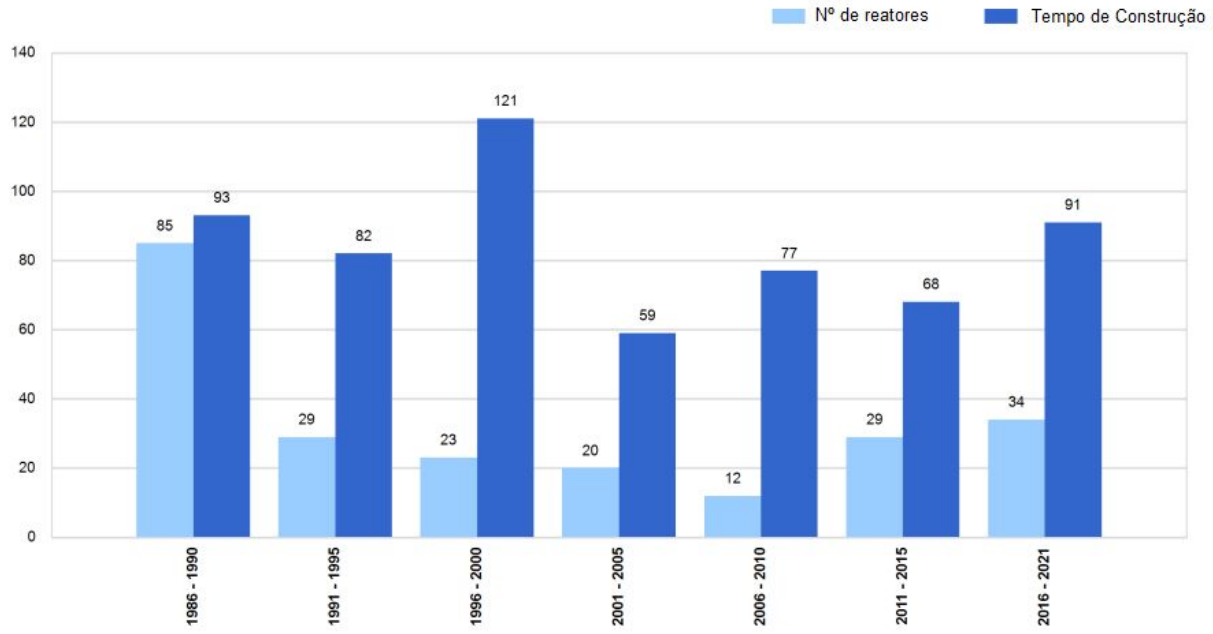
Espera-se que, mediante a perspectiva de uso mais amplo para os pequenos reatores, a sua competitividade cresça, com enorme atuação em aplicações industriais. Desse modo, economias de escopo dos SMRs poderiam ajudar até mesmo a compensar desvantagens de escala em uma análise comparativa com reatores convencionais.

Energia nuclear segue em expansão, mas prazos de construção apontam desafio.

Segundo o relatório da AIEA intitulado "Reatores de Energia Nuclear no Mundo", a energia nuclear forneceu eletricidade de baixa emissão segura e confiável em meio a crises globais. Em evolução, a sua produção anual de eletricidade atingiu o pico da última década, com 2653.3 TWh gerados em 2021. Em dezembro do ano passado, havia 437 reatores nucleares no planeta e os Estados Unidos ocupavam o papel de país líder em quantidade de reatores com 93 unidades. A França aparece em seguida, com 56 reatores, enquanto que China e Rússia possuem 53 e 37 unidades, respectivamente. Juntos, os quatro países possuem cerca de 54% do montante de reatores nucleares do mundo.

No que diz respeito aos reatores construídos por período e seu tempo mediano de desenvolvimento, os dados até o ano passado mostram uma leve alta no número de construções, passando de 29 para 34 unidades. O tempo de construção, contudo, sofreu um significativo aumento, saltando de cinco anos e meio no intervalo de 2011-2015 para sete anos e meio em 2016-2021. Segundo o relatório, a China é o país com maior número de reatores em fase de construção, com 16 unidades, e a Índia ocupa o segundo lugar, com oito unidades.

Gráfico 3: Mediana do tempo de construção de reatores (em meses) *versus* número de reatores por período.



Fonte: AIEA (2022).

O aumento de tempo de construção no contexto de impulsionamento dos SMRs e da demanda por energia nuclear no mundo reforça a necessidade de consolidar as tecnologias mais avançadas de reatores, a fim de evitar atrasos nos projetos. Atualmente, uma das grandes fontes de preocupação acerca da implementação de reatores ao redor do mundo é a maior imprevisibilidade de custos e de prazos se comparados a outras instalações de geração não emissora.

Outros estudos

O Quadro 5 sintetiza os principais estudos voltados para a energia nuclear que foram disponibilizados para o período de julho a setembro de 2022. Com destaque, para o estudo divulgado pelo Breakthrough Institute.

Quadro 5: Publicações sobre energia nuclear divulgadas no 3º trimestre de 2022.

Agência/Empresa/Periódico	Título	Conteúdo
IEA	*"Energia nuclear e Transições Seguras de Energia: Dos desafios de hoje aos sistemas de energia limpa de amanhã"*	Análise das dificuldades enfrentadas pelo investimento nuclear, particularmente nas economias avançadas e nas áreas de custo, desempenho, segurança e gestão de resíduos.
Breakthrough Institute	*"Avançando com a energia nuclear - Avaliando a implantação, o investimento e o impacto no futuro da energia limpa da América"*	Elaboração de modelo nacional de alta resolução do setor elétrico dos Estados Unidos para demonstrar como reatores nucleares avançados podem desempenhar um papel importante, em um plano de menor custo, na transição da rede elétrica inteiramente para fontes de energia limpa até 2050. Assume-se que os primeiros reatores estariam disponíveis para implantação até 2030.
Nature	*"Energia nuclear pode ajudar o mundo democrático a alcançar a independência energética"*	Análise sobre a guerra na Ucrânia, independência energética e energia nuclear. Indica-se que novas tecnologias nucleares são mais práticas e ágeis do que aquelas que existiam quando o fórum da Geração IV foi estabelecido e aborda a importância dos SMRs para proporcionar flexibilidade em termos de projeto e manutenção da planta. Argumenta-se, ainda, que os SMRs poderiam trabalhar lado a lado com a energia verde e preencher lacunas de capacidade.

Quadro 5 (continuação): Publicações sobre energia nuclear divulgadas no 3º trimestre de 2022.

Agência/Empresa/Periódico	Título	Conteúdo
GESEL	*"O papel dos Pequenos Reatores Nucleares na Transição Energética: Uma visão a partir de aplicações industriais"*	Aborda o papel dos SMRs na transição energética, mediante a análise da tecnologia por sua definição, melhorias fornecidas frente às termelétricas nucleares de grande porte e aplicações com ênfase no ramo industrial.
AIEA	*"Reatores de energia nuclear no mundo"*	Quadragésima segunda edição da publicação anual que apresenta os dados mais recentes sobre as unidades de reatores de energia nuclear nos Estados Membros da AIEA. A Série de Dados de Referência nº 2 (RDS-2), contida na publicação, fornece uma comparação detalhada de várias estatísticas até 31 de dezembro de 2021. São incluídos estatísticas gerais sobre reatores nucleares nos Estados Membros da AIEA, dados técnicos sobre reatores específicos que estão planejados, em construção ou em operação, ou que foram desligados ou desativados, e dados de desempenho de reatores que operam nos Estados Membros da AIEA.
AIEA	*"Experiência operacional com centrais nucleares dos Estados-membros"*	Documento da série de relatórios anuais da AIEA sobre a experiência operacional com usinas nucleares em todo o mundo. A análise aborda, além dos dados de desempenho anual e informações sobre interrupções, informações estatísticas sobre a produção de eletricidade e o desempenho geral de usinas nucleares individuais em operação no ano de referência. Além das informações anuais, o relatório inclui um resumo histórico do desempenho durante a vida útil dos reatores individuais e apresenta dados mundiais de desempenho da indústria nuclear.

Quadro 5 (continuação): Publicações sobre energia nuclear divulgadas no 3º trimestre de 2022.

Agência/Empresa/Periódico	Título	Conteúdo
AIEA	*"Marcos no Desenvolvimento de uma Infraestrutura Nacional para Energia Nuclear"*	Apresenta método abrangente para ajudar os Estados-Membros na compreensão dos compromissos e das obrigações associados ao desenvolvimento de um programa nuclear. O objetivo do projeto é permitir um processo de desenvolvimento sólido para um programa nuclear. O programa é dividido em três fases: (i) considerações antes da decisão de lançar um programa de energia nuclear; (ii) trabalhos preparatórios para contratação e construção de uma central nuclear após a tomada de decisão política; e (iii) atividades de contratação, licenciamento e construção da primeira usina nuclear.
NEI	*"Pesquisa de demanda para reatores avançados"*	Pesquisa realizada nos Estados Unidos com 19 membros da concessionária NEI, para monitorar a demanda por novos reatores nucleares com o objetivo de atingir os compromissos de descarbonização nas próximas décadas. São descritos os posicionamentos dos membros consultados acerca de planos para investimentos em SMRs, indicando a magnitude da expansão em capacidade de geração e o número de pequenos reatores nos próximos anos.
Polaris Research	*"Mercado de SMR: Por tamanho, tendências, participação, crescimento, segmentos, análise e previsão do setor – 2030"*	Relatório de pesquisa com uma visão geral detalhada em termos de segmentação por tamanho, compartilhamento, principais *players*, tipo, usuário final e região.

Quadro 5 (continuação): Publicações sobre energia nuclear divulgadas no 3º trimestre de 2022.

Agência/Empresa/ Periódico	Título	Conteúdo
UNECE	*"Neutralidade de Carbono na Região da UNECE: Interação Tecnológica sob o Conceito de Neutralidade de Carbono"*	Relatório que se baseia em uma série de resumos de tecnologia que apoiam diretamente a implementação da neutralidade de carbono. Os SMRs são apresentados como impulsionadores da energia nuclear na busca pela neutralidade de carbono, se implantados com sucesso para complementar os reatores nucleares de grande escala e houver progresso na introdução de infraestrutura de hidrogênio de baixo carbono.

Fonte: Elaboração própria, a partir de IFE Energia Nuclear - GESEL (2022).

Fique de olho!

Breakthrough Institute: SMRs podem contribuir significativamente para a descarbonização da rede até 2050

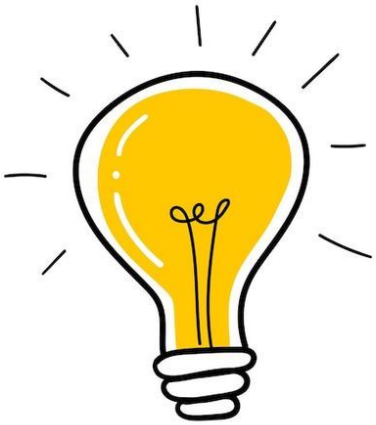
Os SMRs podem desempenhar um papel importante na descarbonização da eletricidade nos EUA, fornecendo energia livre de carbono, equilibrando os recursos solares e eólicos e sendo instalados em carvão fechado e em outras usinas fósseis, de acordo com um estudo divulgado pelo Breakthrough Institute, que estimou que os custos irão diminuir com o aumento da implantação. Porém, há outras barreiras que precisam ser superadas, como leis estaduais que proíbem ou restringem novas usinas nucleares, para permitir a instalação de pequenos reatores em várias regiões geográficas. Essa nova tecnologia, se produzida em escala, pode fornecer de 19 a 48 GW em 2035 nos EUA e atingir até 470 GW em 2050, de acordo com Adam Stein, diretor de Inovação e Energia Nuclear da Breakthrough. No entanto, para que isso aconteça, novas implantações nucleares devem ocorrer entre o final de 2020 e o início de 2030.

Considerações Finais

Os impactos do conflito entre a Rússia e a Ucrânia ainda estão sendo sentidos pelo mundo todo, em decorrência da crise energética e da alta dos preços de energia. Tais impactos têm alterado as perspectivas para o setor energético, forçando o uso da energia nuclear para atender a demanda energética. Diante disso, observa-se uma mudança na rota das políticas energéticas em diversos países, com uma retomada dos investimentos em energia nuclear, principalmente na manutenção das centrais existentes e P&D para reatores de nova geração.

Neste sentido, os pequenos reatores modulares (SMRs, sigla em inglês), mesmo ainda em fase de projeto-piloto, são bastante promissores, contando, atualmente, com 80 iniciativas em 19 países, segundo dados da IEA. Em decorrência de suas características técnicas de não emissão de GEE e de segurança de suprimento, os SMRs tendem a desempenhar um papel importante na geração de energia elétrica de base, no contexto estratégico da transição elétrica.

O acompanhamento sistemático do desenvolvimento energia nuclear por meio do Informativo Eletrônico de Energia Nuclear demonstrou a necessidade de avaliações analíticas periódicas, capazes de identificar, mapear e analisar as principais políticas públicas e planos de governo, a dinâmica internacional, o posicionamento e as estratégias das empresas e o desenvolvimento tecnológico. Desta forma, o Relatório do Observatório de Energia Nuclear espera contribuir para uma maior divulgação do conhecimento referente ao tema e impulsionar debates e estudos acerca de novas estratégias e políticas para esta tecnologia também no Brasil.



Para receber o Informativo de Energia Nuclear, clique aqui.

Para ler os Informativos de Energia Nuclear já publicados, clique aqui.

Referências Bibliográficas

ABC do ABC. Novos bombardeios intensificam preocupações com maior usina nuclear da Europa. 14 de agosto de 2022. Disponível em: https://www.abcdoabc.com.br/brasil-mundo/noticia/novos-bombardeios-intensificam-preocupacoes-maior-usina-nuclear-europa-167792. Acesso em 11 de jan. de 2023.

Al Jazeera. Asia goes nuclear as climate, Ukraine banish memory of Fukushima. 27 de jul. 2022. Disponível em: https://www.aljazeera.com/economy/2022/7/27/asia-goes-nuclear-as-climate-ukraine-banish-memory-of-fukushima. Acesso em 12 set. 2022.

Al Jazeera. Japan signals return to nuclear power to stabilise energy supply. 24 de ago. 2022. Disponível em: https://www.aljazeera.com/news/2022/8/24/japan-signals-return-to-nuclear-power-to-stabilise-energy-supply. Acesso em 15 set. 2022.

Al Jazeera. Iran nuclear deal 'imminent' with crippling sanctions removed. 19 de agosto de 2022. Disponível em: https://www.aljazeera.com/news/2022/8/19/iran. Acesso em: 11 de jan. de 2023.

APNews. MCDERMOTT, J. Nuclear industry hopes to expand output with new reactors. 21 de jun. 2022. Disponível em: https://apnews.com/article/technology-politics-utilities-nuclear-power-climate-and-environment-23357f4087988a9d21fe714e5660838b#:~:text=The%20U.S.%20nuclear%20industry%20is,to%20the%20industry's%20trade%20association. Acesso em: 21 de set. 2022.

Associated Press. Climate bill: could coal communities shift to nuclear? 13 ago. 2022. Disponível em: https://apnews.com/article/climate-bill-nuclear-power-incentives-coal-communities-9f7d0f73385efacd5ce81cf95ebadc54. Acesso em: 21 set. 2022.

BBC. Europe faces tough decisions over nuclear power. 21 de out. 2022. Disponível em: https://www.bbc.com/news/business-63245112. Acesso em: 22 de out. 2022

BREAKTROUGH INSTITUTE. Advancing Nuclear Energy: Evaluating Deployment, Investment, and Impact in America's Clean Energy Future. 6 de julho de 2022. Disponível em: https://thebreakthrough.org/articles/advancing-nuclear-energy-report. Acesso em: 11 de jan. de 2023.

CANAL ENERGIA. O papel dos Pequenos Reatores Nucleares na Transição Energética: Uma visão a partir de aplicações industriais. 19 de setembro de 2022. Disponível em: https://www.canalenergia.com.br/artigos/53224929/o-papel-dos-pequenos-reatores-nucleares-na-transicao-energetica-uma-visao-a-partir-de-aplicacoes-industriais. Acesso em: 11 de jan. de 2023.

CNN. Russian-held Zaporizhzhia nuclear plant disconnected from power grid for second day after nearby fires. 26 de agosto de 2022. Disponível em: https://edition.cnn.com/2022/08/25/europe/ukraine-zaporizhzhia-nuclear-plant-disconnected-intl/index.html. Acesso em 11 de jan. de 2023.

CNN BRASIL. Irã manterá câmeras da AIEA desligadas até que acordo nuclear seja restaurado. 25 de julho de 2022. Disponível em: https://www.cnnbrasil.com.br/internacional/ira-mantera-cameras-da-aiea-desligadas-ate-que-acordo-nuclear-seja-restaurado/. Acesso em 11 de jan. de 2023.

CGTN. Nuclear Energy: China is building world's 1st commercial land-based SMR. 16 de ago. 2022. Disponível em: https://news.cgtn.com/news/2022-08-16/VHJhbnNjcmlwdDY3ODgy/index.html. Acesso em: 16 de set. 2022.

DW. Germany extends lifetime to remaining nuclear plants. 17 de out. 2022. Disponível em: https://www.dw.com/en/germany-extends-lifetime-of-all-3-remaining-nuclear-plants/a-63466196. Acesso em 20 out. 2022.

DW. Japan signals a shift back to nuclear energy. 30 ago. 2022. Disponível em: https://www.dw.com/en/japan-signals-a-shift-back-to-nuclear-energy-11-years-after-fukushima-disaster/a-62970544. Acesso em 12 set. 2022.

Financial Post. NuScale Power and Paragon Sign License Agreement to Make NuScale Reactor Protection System Design Available for Industry Use. 12 de jul. 2022. Disponível em: https://financialpost.com/pmn/press-releases-pmn/business-wire-news-releases-pmn/nuscale-power-and-paragon-sign-license-agreement-to-make-nuscale-reactor-protection-system-design-available-for-industry-use. Acesso em: 16 de set. 2022.

FINANCIAL TIMES. Uranium rallies as energy crisis puts nuclear power in focus. Disponível em: https://www.ft.com/content/ea4a7107-c443-4aa6-a2b8-94d6c55447a2. Acesso em 11 de jan. de 2023.

France24. France to restart all nuclear reactors by winter amid energy crunch. 02 de set. 2022. Disponível em: https://www.france24.com/en/france/20220902-france-to-restart-all-nuclear-reactors-by-winter-amid-energy-crunch. Acesso em 15 set. 2022.

Ghana Business News. Ghana government to announce decision on nuclear plant vendor country and technology. 20 jul. 2022. Disponível em: https://www.ghanabusinessnews.com/2022/07/20/ghana-government-to-announce-decision-on-nuclear-plant-vendor-country-and-technology/. Acesso em 17 set. 2022.

GESEL. IFE Energia Nuclear Nº 8 de 8 de agosto de 2022. 08 de ago. 2022. Disponível em: https://gesel.ie.ufrj.br/ife/ife-energia-nuclear-8/. Acesso em: 16 de set. 2022.

GESEL. IFE Energia Nuclear Nº 9 de 8 de agosto de 2022. 08 de ago. 2022. Disponível em: https://gesel.ie.ufrj.br/ife/ife-energia-nuclear-9/. Acesso em: 16 de set. 2022.

GESEL. IFE Energia Nuclear nº 10 de 17 de agosto de 2022. 17 de ago. 2022. Disponível em:https://gesel.ie.ufrj.br/ife/ife-energia-nuclear-10/. Acesso em: 16 de set. 2022.

GESEL. IFE EN nº 11 de 31 de agosto de 2022. 31 de ago. 2022. Disponível em: https://gesel.ie.ufrj.br/ife/ife-energia-nuclear-11/. Acesso em: 16 de set. 2022.

GESEL. IFE Energia Nuclear nº 12. 19 de set. 2022. Disponível em: https://gesel.ie.ufrj.br/ife/ife-energia-nuclear-12/. Acesso em: 16 de set. 2022.

GESEL. IFE Energia Nuclear nº 13. 03 de nov. 2022. Disponível em: https://gesel.ie.ufrj.br/ife/ife-energia-nuclear-13/. Acesso em: 16 de set. 2022.

IAEA. NUCLEAR SAFETY, SECURITY AND SAFEGUARDS IN UKRAINE. 2022. Disponível em: https://www.iaea.org/sites/default/files/22/09/ukraine-2ndsummaryreport_sept2022.pdf. Acesso em: 11 de jan. de 2023.

IAEA. Nuclear Power Reactor in the World. 2022. Disponível em: https://www.iaea.org/publications/15211/nuclear-power-reactors-in-the-world. Acesso em: 11 de jan. de 2023.

IAEA. LIOU, J. What are Small Modular Reactors (SMRs)?. 04 de nov. 2021. Disponível em: https://www.iaea.org/newscenter/news/what-are-small-modular-reactors-smrs. Acesso em: 10 de set. 2022.

IAEA. WATSON, N., MORELOVA, N. Repurposing Fossil Fuel Power Plant Sites with SMRs to Ease Clean Energy Transition. 16 de jun. 2022. Disponível em: https://www.iaea.org/newscenter/news/repurposing-fossil-fuel-power-plant-sites-with-smrs-to-ease-clean-energy-transition. Acesso em: 16 de set. 2022.

IG Economia. Angra 3: Governo prorroga implementação da usina. 27 jul. 2022. Disponível em: https://economia.ig.com.br/2022-07-27/angra-3-prorrogacao-prazo-implementacao.html. Acesso em: 21 set. 2022.

NEI. OPG and X-energy to deploy Xe-100 SMRs for industrial applications. 14 de jul. 2022. Disponível em: https://www.neimagazine.com/news/newsopg-and-x-energy-to-deploy-xe-100-smrs-for-industrial-applications-9849769. Acesso em: 16 de set. 2022.

POLITICO. Gas crisis reignites Germany's nuclear power debate. Disponível em: https://www.politico.eu/article/gas-crisis-germany-nuclear-power-debate/. Acesso em: 11 de jan. de 2023.

Reuters. China's nuclear outlook is sunny and windy. 6 de set. 2022. Disponível em: https://www.reuters.com/breakingviews/chinas-nuclear-outlook-is-sunny-windy-2022-09-06/. Acesso em 14 set. 2022.

Senado Federal. MP autoriza setor privado a participar da exploração de minérios nucleares. 15 ago. 2022. Disponível em: https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2022/08/15/mp-autoriza-setor-privado-a-participar-da-exploracao-de-minerios-nucleares. Acesso em 17 set. 2022.

UK Gov. Kwarteng advances plans for funding new nuclear projects. 14 de jun. 2022. Disponível em: https://www.gov.uk/government/news/kwarteng-advances-plans-for-funding-new-nuclear-projects-including-sizewell-c. Acesso em 15 set. 2022.

Valor Econômico. Projeto nuclear chinês na Argentina empaca com exigências locais. 19 set. 2022. Disponível em: https://valor.globo.com/mundo/noticia/2022/09/19/projeto-nuclear-chines-na-argentina-empaca-com-exigencias-locais.ghtml. Acesso em 24 set. 2022.

WNN. Construction of Egypt's first nuclear power plant under way. 20 jul. 2022. Disponível em: https://world-nuclear-news.org/Articles/Construction-of-Egypts-first-nuclear-power-plant-u. Acesso em 17 set. 2022.

WNN. Maryland and X-energy examine coal-to-nuclear switch. 15 de jun. 2022. Disponível em: https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Maryland-and-X-energy-to-study-coal-to-nuclear-swi. Acesso em: 16 de set. 2022.

WNN. UK government fund to accelerate nuclear fuel supply. 19 jul. 2022. Disponível em: https://world-nuclear-news.org/Articles/UK-government-fund-to-accelerate-nuclear-fuel-supp. Acesso em 12 set. 2022.

Yonhap News Agency. South Korea to actively use nuclear energy to reach carbon neutrality. 18 jun. 2022. Disponível em: https://en.yna.co.kr/view/AEN20220618000900315. Acesso em 02 set. 2022.

GESEL
Grupo de Estudos do Setor Elétrico
UFRJ

Observatório de Energia Nuclear

Equipe de Pesquisa

Editor: Prof. Nivalde J. de Castro

Subeditores: Fabiano Lacombe
João Pedro S. Gomes

Pesquisadores: Cristina Rosa
Isadora Correa
Pedro Ludovico

fb.com/geselufrj

@geselufrj