



BRASIL NUCLEAR

Informativo da Associação Brasileira
de Energia Nuclear
Ano 30 • Número 57 • Outubro 2024



INAC 2024

debate o papel da energia
nuclear na transição
energética

VIDA LONGA PARA ANGRA 1

Usina está pronta para
operar por mais 20 anos

Editorial	3
Não existe transição energética sem energia nuclear	
Entrevista	4
Ma Ran, Song Danrong e Deng Huidong, executivos da empresa chinesa CNNC	
Capa	9
XI Inac debate o papel da energia nuclear na transição energética	
Indústria	15
Angra 1 está pronta para operar por mais 20 anos com segurança e confiabilidade	
Meio Ambiente	17
Material radioativo de ocorrência natural na exploração petrolífera: como isto aconteceu?	
Pesquisa	19
A importância da Ciência e da Tecnologia no desenvolvimento da sociedade	
Fonte energética	21
Setor nuclear brasileiro: É agora ou nunca!	

Presidente da Aben
Carlos Freire Moreira

Conselho Editorial
Carlos Henrique C. Mariz - Aben
Edson Kuramoto - Aben
Francisco Rondinelli - Cnen
Márcia Flores - Aben
Paulo Ribas - Aben
Olga Mafrá - Aben
Olga Simbalista - Aben

Editora
Vera Dantas

Colaborador
Bernardo Barata

Edição de Arte
IG+ Comunicação Integrada

Brasil Nuclear é uma publicação da Associação Brasileira de Energia Nuclear - Aben
Rua Candelária, 65 • 14º andar • Centro Rio de Janeiro • RJ • CEP: 20091-906
Tel: (55 21) 2266 0480 • 2588 7000 • Ramal 4721
aben@aben.org.br • www.aben.org.br

Não existe transição energética sem energia nuclear

A despeito de o Brasil ter uma das matrizes elétricas mais limpas do planeta, com predominância da energia hidráulica, é preciso debater no país, de maneira firme, a transição energética em prol da preservação do meio ambiente. Este é um assunto que tem dominado a agenda global há algum tempo e também amplamente debatido na última edição da XI International Nuclear Atlantic Conference - Inac 2024, realizada em maio, na cidade do Rio de Janeiro. Com a sociedade contemporânea moldada em um atual modelo de vida eletrointensivo, que aumentará ainda mais nas próximas décadas, com a expansão de campos como a Inteligência Artificial (IA), centros de processamento de dados (data centers) e criptoativos, é inexequível realizar a transição energética sem a ampla expansão da geração nuclear, que não só garante eletricidade firme, constante e de base, como também segura, limpa (praticamente não emite gases de efeito estufa) e de tecnologia consolidada.

Com a expansão de campos como a Inteligência Artificial, data centers e criptoativos, é inexequível realizar a transição energética sem a ampla expansão da geração nuclear

Sob a ótica econômica, o estudo apresentado em fevereiro deste ano pela Fundação Getúlio Vargas (FGV) revela os efeitos econômicos positivos gerados pelos investimentos em energia nuclear no Brasil. Esse trabalho aponta que, para cada R\$ 1 bilhão investido na nucleoeletricidade, são gerados 22,5 mil empregos no país, a maioria de alto nível, e há um acréscimo de R\$ 2 bilhões no PIB nacional, além de um aumento de R\$ 3,1 bilhões na produção do país. Cumpre ressaltar que a energia nuclear não recebe subsídios como outras fontes de energia, sobretudo as renováveis.

Cabe destacar também que Centrais Nucleares são fatores de indução de desenvolvimento socioeconômico, pois movimentam as economias locais, regionais e nacional. Utilizando Angra 3 como referência, não existe hoje no Estado do Rio de Janeiro nenhum empreendimento de tamanha magnitude. Com potência instalada de 1.405 MW, a usina será capaz de produzir cerca de 12 milhões de MWh/ano, o suficiente para atender 4,5 milhões de pessoas, ocupando um espaço de apenas 0,08 km². Comparativamente, fontes diferentes gerando 1.405 MW ocupam áreas de 40 km² (solar fotovoltaica), 125 km² (hidrelétrica) e 400 km² (eólica).

Esta edição da **Brasil Nuclear** apresenta as discussões realizadas na Inac 2024 não apenas sobre transição energética, mas também acerca do tema central "Energia Nuclear: Garantindo Energia, Saúde e Alimentação", o desafio de construir um Programa de Estado para as atividades nucleares brasileiras, inovação, cooperação internacional, reatores nucleares avançados, pequenos reatores modulares (SMR) e aplicações pacíficas da energia nuclear nos mais diversos campos. O leitor também confere um balanço da Conferência e o histórico desde sua criação, há 22 anos.

Em uma entrevista exclusiva, executivos da empresa China National Nuclear Corporation (CNNC) revelam a visão em médio e longo prazo que têm para o setor nuclear latinoamericano e questões públicas e regulatórias - a China, vale ressaltar, é o país que mais constrói centrais nucleares no mundo, em um total de 29, segundo a Agência Internacional de Energia Atômica - AIEA. Também comentam sobre tecnologias nucleares avançadas, como os SMR, um tema intensamente debatido em recente workshop realizado em parceria entre a Casa Viva Eventos, Aben, Amazul e Marinha do Brasil - a segunda edição já está programada e ocorrerá nos dias 25 e 26 de novembro, no Rio de Janeiro.

Nesta Brasil Nuclear, ainda temos artigos de especialistas sobre a extensão de vida de Angra 1, com segurança e confiabilidade, materiais radioativos de ocorrência natural no campo de exploração de petróleo, a importância da ciência e da tecnologia no desenvolvimento da sociedade e o contexto de urgência para a expansão do setor nuclear brasileiro considerando a geopolítica mundial.

Uma boa leitura a todos!

A CNNC pode investir em energia nuclear e outros projetos na América Latina

A CNNC está aberta a investir em países da América Latina. Além do investimento direto, a empresa chinesa pode oferecer serviços de EPC, incluindo financiamento, através de bancos parceiros, que pode cobrir até 85% do custo total. De acordo com os executivos da empresa, essa colaboração se estenderia a vários campos da indústria nuclear, incluindo energia, aplicações não-energéticas, ciclo do combustível nuclear, gerenciamento de resíduos radioativos e segurança de radiação, bem como fabricação de equipamentos. Em uma ampla entrevista à **Brasil Nuclear**, os executivos Ma Ran, representante geral do CNNC America Representative Office, Song Danrong, engenheiro-chefe do projeto ACP100 SMR, e Deng Huidong, especialista em processamento de urânio e diretor do International Cooperation Center, abordaram temas como reatores de quarta geração e novas práticas ecológicas de mineração e beneficiamento de urânio. Também anteciparam que em 2025 entrará em operação comercial o ACP100SMR, primeiro reator multipropósito modular de pequeno porte em construção no mundo.

Qual é a visão da CNNC para o desenvolvimento do setor nuclear na América Latina nos próximos dez ou 20 anos?

Ma Ran - A China National Nuclear Corporation (CNNC) é a espinha dorsal do setor de ciência e tecnologia nuclear da China, a principal força no desenvolvimento e construção nuclear e a única empresa da Fortune 500 com uma cadeia completa do setor nuclear. A CNNC dá grande importância à cooperação com parceiros latinoamericanos e tem se empenhado profundamente na região há muitos anos. No espírito do respeito mútuo e da cooperação em que todos saem ganhando,

a CNNC está disposta a se unir aos parceiros latinoamericanos para colaborar em toda a cadeia produtiva em vários campos da indústria nuclear, incluindo energia nuclear, aplicações não-energéticas, desenvolvimento de recursos de urânio, ciclo de combustível nuclear, gerenciamento de resíduos radioativos e segurança de radiação, bem como fabricação de equipamentos.

A CNNC tem o compromisso de compartilhar experiências e melhores práticas nessas áreas e contribuir com mais tecnologia, produtos e soluções chineses para ajudar os países da região na transição para a energia limpa, no enfrentamento das mudanças climáticas, na busca do desenvolvimento industrial e na criação de mais oportunidades de emprego.

A CNNC planeja investir em novas usinas nucleares ou em pequenos projetos, como os reatores modulares de pequeno porte (SMRs), na América Latina?



A energia nuclear, como fonte de energia limpa escalável, é uma ferramenta fundamental para a transição da China rumo a uma matriz energética mais limpa e de baixo carbono.

Ma Ran

Ma Ran - A CNNC permanece aberta para investir em energia nuclear e outros projetos em países da América Latina. No entanto, dada a escala significativa do investimento em energia nuclear, um ambiente político e econômico estável no país parceiro é um pré-requisito. Além disso, é necessário um forte apoio político em áreas como estabilidade da taxa de câmbio, a gestão de câmbio, garantias soberanas e contratos de compra de energia (PPA em inglês).

Além do investimento direto, a CNNC pode oferecer serviços de EPC juntamente com soluções de financiamento correspondentes para os proprietários de projetos. Com base nas políticas de nossos bancos parceiros, o financiamento pode cobrir até 85% do investimento total, o que significa que o proprietário do projeto forneceria apenas 15% do capital inicial.

Como a CNNC vê o papel da energia nuclear na transição energética e na redução das emissões de carbono?

Ma Ran - De uma perspectiva global, a transição energética e o processo de neutralidade de carbono em todos os países ainda têm um longo caminho a percorrer. Devido à sua natureza intermitente e instável, as fontes de energia limpa, como a eólica, a solar e a hidrelétrica, ainda não podem substituir totalmente os combustíveis fósseis. A energia nuclear, como uma fonte segura e eficiente de energia de base, oferece operação estável e confiável com longos ciclos de reabastecimento, o que a torna adequada para lidar com a carga na base da rede elétrica e fornecer os recursos necessários de acompanhamento de carga. Ela pode substituir significativamente os combustíveis fósseis como fonte de energia de carga de base. Aumentar a proporção de energia nuclear no mix de energia é benéfico para a segurança da rede elétrica e para melhorar a capacidade da rede de acomodar uma grande proporção de energia renovável intermitente, como a energia eólica e solar. Como resultado, a energia nuclear desempenhará um papel crucial na transição energética e nos esforços de descarbonização na China e no mundo.

A China estabeleceu metas nacionais para atingir o pico de emissões de carbono antes de 2030 e alcançar a neutralidade de carbono antes de 2060. A energia nuclear, como fonte de energia limpa escalável, é uma ferramenta fundamental para a transição da China rumo a uma matriz energética mais limpa e de baixo carbono. Por exemplo, a tecnologia nuclear HPR1000, com uma capacidade instalada de 1160 MWe, gera quase 10 bilhões de kWh de eletricidade limpa por ano, atendendo às necessidades anuais de eletricidade de 1 milhão de pessoas em um país moderadamente desenvolvido. Ao mesmo tempo, reduz o consumo de 3,12 milhões de toneladas de carvão padrão e diminui as emissões de dióxido de carbono em 8,16 milhões de toneladas, o equivalente ao plantio de 70 milhões de árvores. Durante todo o ciclo do projeto, ela pode criar mais de 30 mil empre-

gos locais. Isso demonstra que o desenvolvimento em larga escala da energia nuclear é de grande importância para impulsionar a transformação energética global e atingir as metas de neutralidade de carbono.

Como a CNNC está trabalhando para superar as questões públicas e regulatórias relacionadas à energia nuclear na América Latina?

Ma Ran - O medo tem origem no desconhecido, e as preocupações e os temores do público com relação à energia nuclear são compreensíveis. A China enfrentou oposição semelhante quando começou a desenvolver a energia nuclear. Para lidar com as preocupações do público e promover o desenvolvimento da energia nuclear, a CNNC empreendeu esforços nas seguintes áreas:

1. Aumento da conscientização pública - Para combater os mal-entendidos e a falta de conhecimento sobre a tecnologia nuclear, a CNNC lançou campanhas educativas extensivas. Essas campanhas incluem o uso de meios de comunicação, jornais e exposições do setor nuclear para promover o entendimento. A CNNC organiza dias abertos em usinas nucleares, visitas industriais e outras atividades para explicar ao público como a energia nuclear funciona, sua segurança, benefícios ambientais e comparações com outras formas de energia.
2. Aumentar a participação pública - No planejamento e implementação de projetos de energia nuclear, a CNNC considera plenamente as opiniões e preocupações do público. Ela reúne a opinião pública por meio de audiências, pesquisas e outros meios, e reflete essas opiniões em projeto para aumentar o reconhecimento e o apoio do público aos projetos nucleares.
3. Fortalecimento das normas de segurança - Tanto o governo chinês quanto as empresas nucleares dão grande ênfase às regulamentações de segurança nuclear. Elas garantem que o projeto, a construção e a operação de projetos de energia nuclear atendam ou excedam os padrões internacionais e os requisitos de segurança. O objetivo é reduzir o risco de incidentes nucleares por meio de uma rigorosa supervisão de segurança e aumentar a confiança do público na segurança da energia nuclear.
4. Aumentar a cooperação internacional - A CNNC fortalece o intercâmbio e a cooperação com organizações nucleares internacionais e outros países. Por um lado, ao aprender com as experiências e tecnologias avançadas internacionais, a CNNC aprimora sua tecnologia nuclear e suas capacidades de gerenciamento. Por outro lado, a CNNC também demonstra as conquistas da energia nuclear da China para a comunidade global de forma aberta e transparente.



É improvável que os SMRs substituam completamente os grandes reatores, mas eles podem complementar significativamente o mix de energia em cenários específicos.

Song Danrong

Os SMRs substituirão os grandes reatores nucleares do mundo?

Song Danrong - Quanto à possibilidade de os SMRs substituírem os grandes reatores, isso depende de vários fatores:

1. **Economia:** Os SMRs tendem a custar mais por unidade do que os reatores de grande porte, mas podem apresentar vantagens econômicas em alguns casos, quando são levados em conta seus recursos de implantação flexível e o investimento inicial mais baixo.
2. **Flexibilidade:** Os SMRs podem ser construídos em uma área geográfica menor, adequada para áreas com populações pequenas ou baixa demanda de energia. Eles também podem adicionar módulos conforme necessário para expandir a capacidade, proporcionando maior flexibilidade.
3. **Segurança:** Os projetos de SMR incorporam recursos de segurança inerentes, como sistemas de segurança passiva, que reduzem o risco de erros humanos e acidentes.
4. **Apoio político:** O grau de apoio dos governos aos SMRs também afeta suas perspectivas. Alguns países estão desenvolvendo e planejando ativamente a implantação de SMRs como parte da energia limpa.
5. **Aceitação pública:** É mais provável que os SMRs obtenham apoio das comunidades locais do que as grandes instalações nucleares, devido à sua escala menor e ao impacto potencial limitado.
6. **Prontidão técnica:** Os projetos de SMR atualmente no mercado estão em diferentes estágios de desenvolvimento, mas são necessárias mais validações técnicas e aprovações regulatórias para alcançar aplicações comerciais em larga escala.

Em geral, é improvável que os SMRs substituam completamente os grandes reatores, mas eles podem complementar significativamente o mix de energia em cenários específicos. É muito provável que no futuro o setor de energia nuclear veja a coexistência de reatores grandes e pequenos.

Como a CNNC vê o papel dos pequenos reatores modulares na diversificação da matriz energética global? Além disso, quais são os principais desafios para a comercialização e a ampla adoção desses reatores?

Song Danrong - A tecnologia ACP100 SMR, desenvolvida pela CNNC, é o primeiro reator modular de pequeno porte, multipropósito, terrestre e comercial em construção no mundo. Espera-se que o projeto de demonstração em Hainan comece a operar comercialmente em 2025, liderando o progresso mundial. Com uma capacidade instalada de 125 MWe, a unidade pode gerar até 1 bilhão de kWh de eletricidade limpa por ano, o suficiente para atender às necessidades de 520 mil residências em países moderadamente desenvolvidos. Isso equivale à redução do consumo de 350 mil toneladas de carvão padrão e ao corte das emissões de dióxido de carbono em 880 mil toneladas, o que é comparável ao plantio de 7,5 milhões de árvores. Além disso, espera-se que sejam criados cerca de 10 mil empregos diretos e indiretos.

A CNNC acredita que os SMRs desempenham um papel importante na diversificação de energia. Aqui estão várias funções importantes que os SMRs desempenham na diversificação de energia:

1. **Maior flexibilidade** - Os SMRs são projetados para serem montados como blocos de construção, o que significa que podem ser facilmente adicionados ou removidos, dependendo das necessidades de energia.
2. **Implantação rápida** - Devido ao seu pequeno tamanho e pré-fabricação, os SMRs podem ser instalados e colocados em serviço em um curto espaço de tempo, desempenhando seu papel de responder rapidamente às mudanças na demanda de energia.
3. **Apoio à integração de energia renovável** - Os SMRs podem compensar as fontes de energia renovável intermitentes, como eólica e solar, para garantir uma operação estável da rede.
4. **Armazenamento de energia térmica** - Alguns projetos de SMR permitem o armazenamento de energia do

calor gerado, aumentando ainda mais sua capacidade como fonte de energia renovável.

5. Redução da emissão de carbono - Os SMRs, como uma fonte limpa de eletricidade de carga base, podem ajudar a reduzir a dependência de combustíveis fósseis e diminuir as emissões de gases de efeito estufa.
6. Aumento da segurança energética - Os SMRs podem ser implantados pelo território nacional, reduzindo a necessidade de importação de energia, aumentando assim a independência energética.
7. Redução da concentração de riscos - Os SMRs podem ser implantados de forma distribuída em comparação com as grandes usinas nucleares, reduzindo o impacto de um único ponto de falha.
8. Fornecimento de energia remoto - Os SMRs são adequados para fornecer uma fonte de alimentação estável a áreas remotas ou pequenas comunidades, especialmente em regiões com infraestrutura subdesenvolvida.
9. Outros - Além da geração de energia, os SMRs também podem ser usados para dessalinização da água do mar, aquecimento industrial e outros fins civis.

Em resumo, graças à flexibilidade, adaptabilidade, segurança e confiabilidade, os SMRs têm vantagens significativas na diversificação de energia e podem promover a sustentabilidade e a resiliência do sistema de energia em vários níveis. No entanto, também existem desafios para o desenvolvimento de SMRs:

1) Economia

- Custo unitário: Os SMRs podem custar mais por unidade de capacidade do que os reatores maiores, principalmente devido à falta de economias de escala.
- Dificuldades de financiamento: Apesar de um investimento inicial menor para um projeto SMR em comparação com as grandes usinas nucleares tradicionais, ainda existem dificuldades de financiamento, especialmente para empresas startups.

2) Prontidão técnica

- Ciclo de validação: Os novos projetos de SMR exigem uma longa validação e testes de segurança antes de serem aprovados pelas autoridades regulatórias.

A operação dos reatores “pebble bed” confirma as previsões econômicas anteriores?

Ma Ran - Os reatores modulares “pebble bed” resfriados a gás de alta temperatura (HTRs em inglês) oferecem vantagens significativas, incluindo segurança inerente, tecnologia avançada, capacidade flexível e adaptabilidade ambiental. Com o avanço das aplicações comerciais e a realização

de construção modular e em larga escala, espera-se que o custo dos HTRs diminua substancialmente, aumentando sua viabilidade econômica. Além disso, os HTRs podem substituir usinas elétricas a carvão desativadas, revitalizando as instalações de locais industriais e fornecendo serviços abrangentes de energia limpa, como aquecimento, fornecimento de vapor e produção industrial de hidrogênio.

Com base no desempenho do projeto de demonstração de HTR da CNNC em Shidao Bay, na província de Shandong, os HTRs cumpriram as previsões econômicas originais. No entanto, atualmente, quando os HTRs são usados somente para geração de eletricidade, seu custo e sua economia não são vantajosos em comparação com os reatores de água pressurizada. Portanto, nossos planos futuros visam a reduzir ainda mais os custos, por meio da construção modular e em larga escala e, também, pela integração com fontes de calor industriais, produção de hidrogênio e outras aplicações, possibilitando o uso comercial em larga escala.

O desenvolvimento do reator de quarta geração usando tório e metal líquido resfriado visa produzir hidrogênio pelo processo de alta temperatura?

Ma Ran - Os reatores nucleares de quarta geração englobam tecnologias como reatores “molten salt” à base de tório, reatores resfriados a metal líquido e reatores modulares “pebble bed” resfriados a gás de alta temperatura, todos com potencial para produzir hidrogênio. Uma das principais vantagens desses reatores avançados é sua capacidade de operar em temperaturas mais altas do que os reatores de água pressurizada. Esse recurso de alta temperatura é crucial para os métodos termoquímicos de produção de hidrogênio, como o “ciclo enxofre-iodo”, que exige temperaturas acima de 800°C.

Na China, o HTR desenvolvido de forma independente foi comissionado com sucesso e colocado em operação comercial em dezembro de 2023. As pesquisas sobre reatores “molten salt” à base de tório (TMSRs em inglês) e reatores resfriados por metal líquido avançaram para o estágio de projeto de demonstração. Tomando o HTR como exemplo, ele tem características como segurança inerente, altas temperaturas de saída do reator, alta eficiência de conversão termoelétrica, construção modular, adaptabilidade a redes de pequeno e médio porte e amplo potencial de aplicação. Esses recursos garantem que não ocorrerá fusão do núcleo em nenhuma condição de acidente e podem atender aos requisitos de fonte de calor para várias aplicações, incluindo purificação de etanol, processamento químico de sal, petroquímica, produtos químicos de carvão e produção de hidrogênio. Isso demonstra a utilização eficiente e versátil da energia nuclear, ressaltando a importância dos reatores de quarta geração nos futuros sistemas de energia de baixo carbono.

Além disso, em meados de agosto de 2024, o governo chinês aprovou o projeto CNNC Xuwei (Fase I), que inclui dois



O Projeto Nacional de Demonstração de Urânio Nº 1 é um modelo de práticas ecológicas e digitais que desafia o paradigma convencional da mineração subterrânea

Deng Huidong

reatores HPR1000 de 1200 MWe e um HTR de 600 MWe. Essa será a primeira usina nuclear do mundo a acoplar HTRs com reatores de água pressurizada, adotando de forma inovadora um modelo de operação colaborativa com “reator nuclear - conjunto turbina-gerador - sistema de aquecimento”. Essa planta nuclear (NPP em inglês) tem como foco principal o fornecimento de aquecimento industrial e a geração de eletricidade. Depois de concluída, a usina fornecerá vapor industrial de alta qualidade e baixo teor de carbono em grande escala para a base petroquímica de Lianyungang, um dos principais centros industriais da China. Espera-se que o projeto forneça 32,5 milhões de toneladas de vapor industrial por ano e atinja uma capacidade máxima de geração de energia de mais de 11,5 bilhões de kWh.

Conte-nos sobre a mineração e o beneficiamento de urânio na China. E quanto ao seu último e maior projeto de produção de urânio (Bacia de Ordos)?

Deng Huidong - Em 12 de julho de 2024, a construção do Projeto Nacional de Demonstração de Urânio Nº 1 da CNNC, o maior projeto de capacidade de produção de urânio natural da China, foi iniciada na cidade de Ordos, Região Autônoma da Mongólia Interior. Os principais indicadores do projeto de demonstração de urânio foram classificados entre os melhores do mundo. Uma vez concluído, o projeto será o maior produtor de urânio natural do país, estabelecendo um novo padrão de excelência em construção e incorporando uma abordagem ecológica, custo-benefício, inteligente e altamente eficiente para a produção de urânio.

O Projeto Nacional de Demonstração de Urânio Nº 1 é o ponto culminante de mais de três décadas de pioneirismo da China na mineração de urânio por lixiviação *in situ*. É um modelo de práticas de mineração ecológicas e digitais. O projeto usa um processo avançado de mineração por

lixiviação com $\text{CO}_2 + \text{O}_2$ que desafia o paradigma convencional de mineração subterrânea, eliminando a necessidade de trazer o minério para a superfície para processamento, aumentando assim a eficiência e reduzindo o impacto ambiental. A solução de lixiviação para mineração de urânio opera em um sistema de ciclo fechado, e a oficina de produção hidrometalurgia opera de forma silenciosa e automatizada, criando um novo método de mineração e beneficiamento de urânio que apresenta emissão zero de resíduos, nenhum dano ecológico e redução sustentável de carbono.

Ao mesmo tempo, o projeto também integrará tecnologias avançadas, como automação, controle remoto centralizado e análise de big data, o que pode proporcionar “controle em tela única e mineração de urânio com um único botão a milhares de quilômetros de distância” e “visualização de recursos, operação e análise inteligentes e mineração precisa de recursos”.

Seria possível estabelecer cooperação entre a CNNC e a Aben para promover recursos humanos em energia nuclear, por meio de cursos, treinamentos, seminários, reuniões e visitas a usinas nucleares?

Ma Ran - A Aben é um parceiro-chave para a CNNC na região da América Latina, servindo como uma ponte vital entre a CNNC e a indústria nuclear brasileira. A Aben tem prestado uma assistência inestimável no desenvolvimento dos negócios da CNNC no Brasil e no fortalecimento das conexões com o setor nuclear brasileiro. Sempre valorizamos nosso relacionamento com a Aben e estamos ansiosos para aprimorar ainda mais nossa ampla cooperação. Em relação à pergunta, também temos o prazer de promover o desenvolvimento de recursos humanos locais no setor nuclear brasileiro por vários meios, incluindo cursos, programas de treinamento, seminários, conferências e visitas a usinas nucleares.

XI Inac debate o papel da energia nuclear na transição energética

Bernardo Barata

Tendo como tema “Energia Nuclear: Garantindo Energia, Saúde e Alimentação”, foi realizada de 6 a 10 de maio, no Rio de Janeiro, a *XI International Nuclear Atlantic Conference - Inac 2024* (Conferência Internacional Nuclear do Atlântico), maior e mais importante evento do setor nuclear do Hemisfério Sul.

Promovido pela Associação Brasileira de Energia Nuclear (Aben), a Conferência foi realizada na Escola de Guerra Naval (EGN) e, no último dia, na Comissão Nacional de Energia Nuclear (Cnen). A cerimônia de abertura contou com um vídeo em português gravado pelo diretor-geral da Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), Rafael Grossi, enaltecendo o papel das novas gerações e das mulheres na área nuclear, o sucesso da cooperação com o Brasil, as aplicações pacíficas da energia nuclear e a importância da Inac.

A mesa de abertura foi composta pelas seguintes autoridades: o presidente da Aben, Carlos Freire Moreira; a coordenadora-geral da Inac, Maria de Lourdes Moreira; o presidente da Cnen, Francisco Rondinelli Junior; o diretor da EGN, contra-almirante Gustavo Calero Garriga Pires; o diretor-presidente da Eletronuclear, Raul Lycurgo Leite; o contra-almirante Humberto Moraes Ruivo, representando o diretor da Secretaria Naval de Segurança Nuclear e Qualidade (SecNSNQ), almirante de esquadra Petronio Augusto Siqueira de Aguiar; o diretor-geral de Desenvolvimento Nuclear e Tecnológico da Marinha, almirante de esquadra Alexandre Rabello de Faria; o presidente do Conselho Empresarial de Energia Elétrica da Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro (Firjan), Antônio Carlos Vilela, representando o presidente da Firjan, Eduardo Eugenio Gouvêa Vieira; a diretora de Popularização da Ciência, Tecnologia e Educação Científica do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), Juana Nunes, representando o secretário de Ciência e Tecnologia para o Desenvolvimento Social (Sedes/MCTI), Inácio Arruda; e o deputado federal Reimont Santa Barbara (PT-RJ).

A cerimônia ainda contou com a assinatura de um Acordo de Cooperação Técnica entre a Universidade Federal Fluminense (UFF) e a Aben, com a finalidade de capacitação de desenvolvimento de recursos humanos e de pesquisas específicas. Em seguida, ocorreu a abertura da XI Expolnac, mostra de serviços e produtos das empresas do setor nuclear brasileiro e internacional.

A Inac 2024 ainda abrangeu o XXIII Encontro de Física de Reatores e Termohidráulica (Enfir), o XVI Encontro de Aplica-

ções Nucleares (Enan), o VIII Encontro da Indústria Nuclear (Enin), a X Junior Poster Technical Sessions (sessão de pôsteres para estudantes de graduação) e o III Prêmio dos Embaixadores Nucleares da Aben.

O tema central da Inac 2024, “Energia Nuclear: Garantindo Energia, Saúde e Alimentação”, foi debatido em mesa-redonda coordenada pelo 1º vice-presidente da Aben, Antônio Müller, e com a participação do diretor de Comercialização de Energia, Projetos Estratégicos e Estudos de Mercado da ENB-Par, Wander Azevedo, do diretor de Radioproteção e Segurança Nuclear da Cnen, Alessandro Facure, do coordenador técnico nuclear da Amazul, Leonardo Dalaqua, do presidente da Sociedade Brasileira de Medicina Nuclear (SBMN), Rafael Lopes, e da consultora da Associação Brasileira de Desenvolvimento das Atividades Nucleares (Abdan), Patricia Wieland. O painel discutiu amplamente o papel que a fonte nuclear pode exercer na medicina/saúde, agricultura, geração de energia, indústria e meio ambiente, visando a descarbonização. Após o painel, foi feita uma homenagem, por meio de vídeo com fotos antigas, a um dos pioneiros na construção de Angra 1, fundador e primeiro presidente da Eletronuclear, o engenheiro Ronaldo Arthur Cruz Fabricio.

Adversidades e Oportunidades

Um dos pontos altos das discussões realizadas na Inac 2024 foi a mesa-redonda sobre Adversidades e Oportunidades para a Transição para uma Energia Sustentável: Explorando Tecnologias Nucleares, coordenada pelo assessor da Diretoria Executiva da Amazul, Leonam dos Santos Guimarães. O encontro reuniu Francisco Rondinelli (Cnen), Bento Albuquerque (ex-ministro de Minas e Energia), Nelson Leite (World Energy Council - WEC



Brasil), Adriano Pires (CBIE), Giovani Machado (EPE), José Mauro Esteves (Agência Nacional de Mineração - ANM) e Amilcar Guerreiro (Cepel).

O presidente da Cnen, Francisco Rondinelli, externou preocupação com a intensa queima de combustíveis fósseis, a exploração predatória de recursos naturais e o desflorestamento. Ele destacou que considera desperdício de recursos públicos interromper as obras de construção de Angra 3 e que a fonte nuclear poderia crescer no Brasil de modo a ocupar uma capacidade de geração equivalente à da Hidrelétrica Binacional de Itaipu – em sua visão, a fatia nuclear na matriz elétrica do país seria ideal na faixa de 10% a 12%.

O economista Adriano Pires mencionou as várias transições energéticas que já ocorreram no mundo, pontuando que a atual, diferentemente das anteriores – motivadas pela busca de maior eficiência energética –, ocorre prioritariamente em virtude de questões ambientais. Desse modo, esclareceu que “não se pode olhar o preço da energia em si, mas o atributo de cada fonte e o fator de capacidade” e assinalou a importância de buscar segurança energética atrelada ao acesso à energia por parte das camadas de baixa renda. Esse novo ciclo de expansão da energia nuclear proporcionará inovações trazendo soluções alternativas aos modelos de geração tradicionais.

Giovani Machado, da EPE, abordou a infraestrutura nuclear no país e os desafios de escalada de custos e cronogramas não atingidos. Ele discorreu sobre a geração nuclear no contexto de segurança energética, sustentabilidade do sistema e descarbonização e a possibilidade de ser usada em outros mercados, notadamente nos de carbono, calor industrial e hidrogênio.

José Mauro Esteves dos Santos, ex-presidente da Cnen, assinalou as seguintes oportunidades na transição energética no cenário nacional: utilização das reservas brasileiras de urânio, melhoria da cadeia de suprimentos do setor nuclear, volta da formação de recursos humanos para a área nuclear e benefícios para a formação técnica e científica no setor nuclear.

Amilcar Guerreiro, do Cepel, mencionou que as preocupações sobre o aumento do consumo de eletricidade e do custo de energia e a importância da segurança energética levam a questões sobre se estão disponíveis recursos energéticos suficientes, se existem soluções tecnológicas disponíveis para garantir a acessibilidade e se a confiabilidade e a resiliência do sistema podem ser garantidas. Desse modo, a energia nuclear pode ter espaço nesse contexto.

Por sua vez, o engenheiro eletricista e nuclear Nelson Leite destacou que a descarbonização deve ser o meio de atingir a segurança energética ancorada na eletrificação, defendeu a precificação dos atributos de cada fonte de energia e enfatizou três premissas a serem consideradas na

transição energética: segurança energética, sustentabilidade ambiental e acessibilidade.

A mesa-redonda O Estado Atual de Novos Reatores da América Latina abordou o Reator Multipropósito Brasileiro (RMB), a parceria entre Marinha do Brasil e Ipen/Cnen para o domínio da tecnologia de propulsão nuclear e o Laboratório de Geração de Energia Nucleoelétrica (Labgene) – protótipo em terra e em tamanho real do reator que será utilizado no primeiro submarino convencionalmente armado com propulsão nuclear.

A mesa-redonda sobre o desafio de construir um programa de Estado para as atividades nucleares brasileiras, que teve como moderador Marcelo Gomes (Eletronuclear), contou com a participação de Francisco André Barros Conde (Gabinete de Segurança Institucional da Presidência da República – GSI/PR), João Leal (Secretaria de Estado de Energia e Economia do Mar - Seenemar/RJ), Alessandro Facure (DRS/Cnen) e John Forman (consultor). Essa plenária foi marcada pelos obstáculos e desafios a serem superados para a construção de um Programa Nuclear, o histórico do Programa Nuclear Brasileiro (PNB), as atuais atividades conduzidas pelo Comitê de Desenvolvimento do Programa Nuclear Brasileiro (CDPNB), e as ações executadas pelo Governo do Rio de Janeiro para fomentar o setor nuclear, uma vez que o estado é um polo de atividades e de empresas da área.

O encerramento da Inac 2024 foi realizado no auditório da Cnen. No total, foram oito apresentações, sendo duas para cada um dos seguintes blocos temáticos, sucessivamente: Inovação (Daniela Archila, da diretoria de Pesquisa e Desenvolvimento - DPD/Cnen, e Luciana Carvalheira, do Instituto de Engenharia Nuclear - IEN/Cnen), Cooperação Internacional (Joana Azambuja, da DPD/Cnen, e Niklaus Wetter, do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - Ipen/Cnen), Gestão do Conhecimento (Daniele Monegalha, do Instituto de Radioproteção e Dosimetria - IRD/Cnen, e Daniela Villa Flor Montes Rey Silva, do Laboratório de Poços de Caldas - Lapoc/Cnen) e Jovens Cientistas/Liderança (Giovanna Machado, do Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste - Cetene, e Gabryele Moreira, da Women in Nuclear - WiN Brasil).

A mesa-redonda de encerramento foi composta pela coordenadora-geral da Inac, Maria de Lourdes Moreira; o presidente da Aben, Carlos Freire; o presidente da Cnen, Francisco Rondinelli; e o diretor de Pesquisa e Desenvolvimento da Cnen, Wilson Calvo. A *chair* da Inac, que foi agradecida com uma placa de agradecimento da Aben pelo presidente Freire, comentou que os quatro principais tópicos da Conferência foram a importância da retomada das obras de construção de Angra 3, a transferência de tecnologia, a formação de pessoal e empregabilidade e a reposição de recursos humanos no setor nuclear.

Premiações

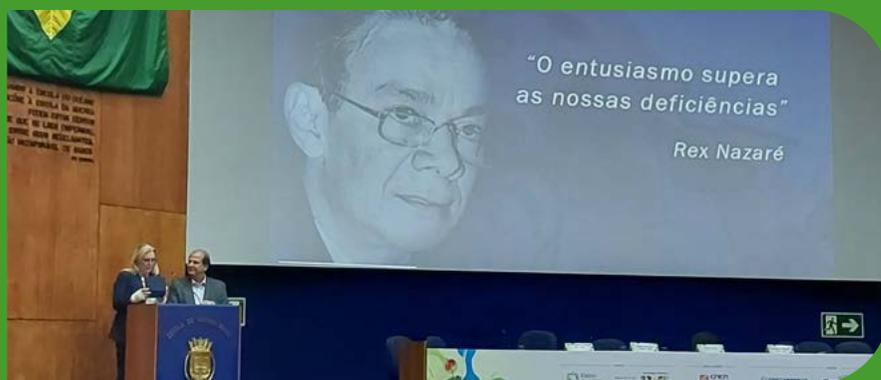
A 3ª edição do Projeto Embaixadores Nucleares da Aben elegeu as seguintes equipes vencedoras: categoria graduação - Monitores Nucleares, formada por João Vítor Cavalcanti da Silva, Luís Augusto Costa de Lira Carvalho e Mariana Nunes Wanderley Braga; categoria pós-graduação - Minuto Nuclear, formada por Cássio Feitosa Trajano da Silva, Rafael Fernandes Rodrigues e Vinícius Cardoso Brum; e categoria professor - Atômica, formada por Wallace Vallory Nunes (professor), Joana Batista Soares e Karine Lima de Carvalho.

A 10ª Mostra Inac de Iniciação Científica aprovou 87 resumos estendidos, sendo 66 da área do Enan, 15 da área do Enfr e seis da área do Enin, cuja apresentação foi efetuada no formato e-poster.

Evento CNNC

Horas antes da realização da cerimônia de abertura da Inac 2024, ocorreu o evento paralelo "Nuclear for a Better Life", organizado em conjunto pela patrocinadora platina China National Nuclear Corporation (CNNC) e a Aben. Com o objetivo de

promover o intercâmbio de informações tecnológicas da área nuclear e experiências em desenvolvimento industrial, o seminário contou com palestras sobre o panorama das atividades nucleares na China e no Brasil, pequenos reatores modulares (Small Modular Reactors – SMRs), Pesquisa & Desenvolvimento (P&D), ciclo do combustível nuclear e produção de elementos combustíveis, mineração de urânio e metalurgia, produção de yellowcake, aplicações nucleares e irradiação na área de saúde, entre outros temas.



Fotos: Cláudio Braz

Momentos de emoção

Duas homenagens proporcionaram momentos de grande emoção aos participantes da Inac 2024. O primeiro momento foi a homenagem prestada, através de videoconferência, ao professor, físico nuclear brasileiro e ex-presidente da Cnen Rex Nazaré Alves, que liderou, com maestria, os esforços da Comissão Nacional de Energia Nuclear durante o acidente

radiológico de césio-137 ocorrido em Goiânia, em 1987.

Outro emocionante momento ocorreu durante a homenagem à pesquisadora e professora do Ipen/Cnen Margarida Mizue Hamada, que faleceu no dia 24 de junho de 2023, aos 68 anos. Grande entusiasta da área nuclear e com relevante trajetória na área docente, notadamente no Programa de Tecnologia Nuclear da Pós-Gradua-

ção do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, a doutora e química industrial exerceu, por diversas vezes, o cargo de chair do Enan, que sempre fez parte do escopo da Conferência, bem como ajudou a organizar edições da Inac e compôs diretorias da Aben. Foi exibido um vídeo com depoimentos de amigos, colegas do Ipen e sua sobrinha, a quem a considerava uma segunda mãe.

Shaping Tomorrow's Energy

The world & Westinghouse working together to create a carbon-free future

www.westinghousenuclear.com



XI Inac tem ampla participação de especialistas internacionais

Bernardo Barata

Fazendo jus ao nome Conferência Internacional Nuclear do Atlântico, a Inac 2024 reuniu proeminentes especialistas e autoridades estrangeiras entre os palestrantes, apresentadores de trabalhos e patrocinadores. A participação de palestrantes internacionais foi sendo construída nos 22 anos de existência do evento. Alguns especialistas são convidados pelos coordenadores dentro da programação, mas há também a participação voluntária de inscritos internacionais. Por sua vez, ficou no passado a ideia de as empresas internacionais da área nuclear terem apenas representantes no Brasil ou na América Latina. Essas empresas, atualmente, possuem um corpo de especialistas da área nuclear que se deslocam para apresentações ou até discussões específicas e exposições que ocorrem em grandes congressos, como ocorreu na Inac 2024.

Entre as instituições internacionais, a Inac 2024 contou com a participação do Laboratório Nacional de Idaho (INL), um dos grandes laboratórios nacionais dos EUA, que se destaca por se orientar, entre outras atividades, a pesquisas e a testes de reatores avançados. O cientista chefe do Complexo de Materiais e Combustíveis do INL, Abdul R. Dulloo, ministrou uma palestra sobre o panorama de reatores nucleares avançados nos Estados Unidos e os desafios de custo e cronograma para sistemas inovadores. Em sua visão, é preciso considerar a capacidade instalada necessária para atender necessidades específicas (micro, pequenos ou grandes reatores nucleares) e a construção em escala será utilizada para reduzir custos de capital. Salientou que os tamanhos dos reatores se alinham às necessidades de cada aplicação, citando a produção de calor industrial, dessalinização e as gerações de eletricidade e hidrogênio.

O pesquisador do INL participou também da mesa-redonda “SMR – Projetos em Andamento, Oportunidades e Desafios para um Futuro Próximo”, coordenada por Daniel Palma, da diretoria de Radioproteção e Segurança Nuclear (DRS/Cnen). Abdul Dulloo discorreu sobre a variedade de projetos de SMRs existentes nos EUA e enfatizou que aquele país precisa intensificar as parcerias público-privadas e demonstrações, aperfeiçoar o processo de licenciamento, melhorar a cadeia de suprimentos e valor e estabelecer políticas para permitir condições de concorrência equitativas.

A fabricação de combustível nuclear foi abordada por outro especialista do INL, o engenheiro metalúrgico Adrian R. Wagner. Em sua apresentação, ele abordou os tipos de combustível de alta densidade de urânio, oportunidades



Foto: Bruno de Lima

para fabricação avançada e técnicas envolvendo altas energias e processamento de luz digital.

Professor da Universidade do Texas (EUA), Sheldon Landsberger, que já é conhecido da Inac, abordou a “Ocorrência de materiais radioativos naturais na exploração de petróleo”. A radioatividade no setor de exploração de petróleo e gás e os materiais radioativos de ocorrência natural (Norm, na sigla em inglês) são conhecidos por todos, entretanto continuamente se ignora os efeitos dessas radiações, seja em nível dos trabalhadores, seja por contaminação do maquinário pelo acúmulo de lamas.

O professor Sheldon enfatizou que a química e a radioquímica de espécies radioativas em produtos residuais de petróleo são muito complexas, diferentemente de quaisquer outras matrizes ambientais, e que as suposições típicas sobre o equilíbrio radioativo não são válidas, sendo necessárias metodologias analíticas confiáveis para determinar os níveis de atividade para seu descarte e da proteção radiológica e ambiental.

Uma entidade sempre presente na Inac é a Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA). O fato se deve aos vários acordos entre o Brasil e a entidade nas áreas de Cooperação Técnica (Medicina, Agricultura, Indústria e Meio Ambiente), Proteção Radiológica, Segurança Nuclear, Salvaguardas e outras. Além da participação por vídeo na sessão de abertura do diretor-geral Rafael Grossi (foto acima), teve sucesso de público a palestra de Danas Ridikas, que discorreu sobre as atividades da Agência em suporte às pesquisas com fontes de nêutrons referindo-se tanto aos mais novos reatores de pesquisa como aos aceleradores.

Palestras de pesquisadores da Rosatom, Tecnatom/Westinghouse e CNNC, que informaram os panoramas dos principais projetos e atividades conduzidas por essas entidades, despertaram grande interesse de público.

Conferência internacional dá uma nova dimensão ao setor nuclear brasileiro

Vera Dantas

Em agosto de 2002, o Brasil sediou pela primeira vez um grande evento nuclear internacional, a International Nuclear Atlantic Conference (Inac). Tendo como tema “A Retomada da Opção Nuclear”, a Conferência, promovida pela Associação Brasileira de Energia Nuclear (Aben), reuniu no Rio de Janeiro, durante seis dias, renomados especialistas brasileiros e internacionais, além de autoridades, políticos e formadores de opinião. Para organizar um evento de tamanha dimensão, foi montado um comitê formado por personalidades como: André Maiseau, presidente do Conselho Mundial de Trabalhadores Nucleares (Wonuc); Ivan Chupilkin, cônsul da Rússia no Brasil; Roberto Hojman, presidente do conselho-diretor da Comissão Chilena de Energia Nuclear, e Dario Jinchuk, chefe do departamento de Relações Bilaterais da Comissão Nacional de Energia Atômica (Cnea) da Argentina.

A Conferência reuniu outros tradicionais eventos promovidos pela Aben, como o IX Congresso Geral de Energia Nuclear (Cgen), o XIII Encontro de Física de Reatores e Termohidráulica (Enfir) e o VI Encontro Nacional de Aplicações Nucleares (Enan). Outro destaque da Inac 2002 foi a Exponuc, realizada no Forte de Copacabana e que contou com a participação de empresas e entidades brasileiras e estrangeiras.

Tradição

A realização de congressos e encontros que discutem o panorama da energia nuclear, além de temas técnicos e aplicações é uma tradição da Aben. Um dos eventos que se destacaram no período pré-Inac foi o V Cgen, realizado em agosto de 1994, que teve como tema central a retomada do Programa Nuclear Brasileiro.

Em 1997, o XII Enfir e o IV Enan, realizados na cidade mineira de Poços de Caldas, contaram com a presença de especialistas de 20 países, como o diretor do Instituto de Físico-química da Academia Russa de Ciências, Alexei Picaev e o norte-americano Glenn Now, uma das maiores autoridades em detectores de radiação.

Em 2000, a Aben deu um importante passo para a criação da Inac dois anos depois, ao unificar o Cgen, o Enan e o Enfir – esses eventos, no entanto, mantiveram suas identidades e características próprias. Realizado no Rio de Janeiro e tendo como tema “Futuro Nuclear: Refletindo para Construir”, o evento contou com um ato em prol da retomada das obras de Angra 3, que recebeu o apoio de diversas autoridades públicas.

Trajetória de sucesso

A segunda edição da Inac foi realizada em setembro de 2005, em Santos (SP). Apesar da conjuntura desfavorável, marcada pelo adiamento de projetos, o evento foi considerado um sucesso, com a apresentação de mais de 700 trabalhos técnicos, a realização de três fóruns, a participação de convidados internacionais e um número recorde de inscrições.

A Inac 2007 contou com cerca de 1200 participantes e a apresentação de 800 trabalhos científicos, de um total de 1.200 inscritos. O tema “A energia nuclear e os desafios energéticos do século XXI” buscava estabelecer um diálogo entre os diferentes segmentos da área de energia, como hidroeletricidade, gás, carvão e fontes alternativas.

Uma demonstração da importância da Inac junto à comunidade internacional foi a cobertura realizada pelas revistas internacionais Progress in Nuclear Energy, International Journal of Nuclear Energy Science and Technology e Science and Technology of Nuclear Installations. Além de terem programado edição especial para o XV Enfir, as três revistas convidaram os autores a submeter os seus trabalhos para publicação.

Participaram do XV Enfir especialistas internacionais como o físico italiano Francesco D’Auria; o consultor e ex-diretor executivo do Centro de Energia Sustentável da Universidade de Columbia Jonathan Schrag; o professor Hiroshi Sekimoto, do Tokyo Institute of Technology; o engenheiro Jean François Babelot, do Institute for Transuranium Elements-Karlsruhe-Germany e o president da Excel Services Corporation, Donald R. Hoffmann.

O VIII Enan contou com palestras de pesquisadores nacionais e internacionais, como Eric Marchioni, da Université Louis Pasteur, da França; Olgun Güven, da Hacettepe University, da Turquia; e Geir Anton Johansen, da University of Bergen, na Noruega.

Em um ano marcado pelo acidente de Fukushima, o desempenho da Inac 2011, realizada em Belo Horizonte, surpreendeu os organizadores: auditórios lotados, palestras e debates de alto nível, 1290 participantes inscritos, 979 trabalhos apresentados em palestras e pôsteres e mais de 8 mil visitantes nas exposições marcaram que bateu o recorde de público em relação às quatro edições anteriores.

Tendo como tema “Nuclear Energy: New Jobs for a Better Life”, a Inac 2011 recebeu trabalhos técnicos de 22 países e contou, também, com a participação de representantes



Os palestrantes estrangeiros Peter Bode, John Bennett, Sheldon Landsberger e Bernard Faucher na Inac 2011

de instituições internacionais de pesquisa, como o holandês Peter Bode, ganhador do Prêmio Hevezy Medal Award 2011, o australiano John Bennett, da Australian Nuclear Science and Technology Organization, o português Manoel Alonso, da Association Euratom-IST, e o norte-americano Shannon M. Bragg-Sitton, do Idaho National Laboratory. Especialistas das principais empresas mundiais do setor nuclear, como Areva, GDF Suez, GE Hitachi e Westinghouse apresentaram palestras no II Enin.

A Inac 2015 teve como tema “O Programa Nuclear Brasileiro: Política de Estado para um Desenvolvimento Sustentável”. A Aben levou para o evento delegações de países com programas nucleares bem-sucedidos, como China, Coreia, França e Estados Unidos, para apresentar à comunidade como ocorreram os seus desenvolvimentos.

Durante a Inac 2017, realizada em Belo Horizonte (MG), a vogal da Aben Alice Cunha da Silva lançou o “Embaixadores Nucleares”, um projeto de comunicação do Programa de Aceitação Pública (Apub) da Aben, voltado para estudantes de graduação e pós-graduação interessados em dialogar com o público sobre a tecnologia nuclear, aumentando o alcance das informações do setor em todo o país. Os projetos deveriam ter relação com os objetivos globais da Organização das Nações Unidas (ONU) para o desenvolvimento sustentável, ajudando a mostrar que o uso e o desenvolvimento da tecnologia nuclear ajuda a alcançar tais metas.

A Inac 2019, realizada de 21 a 25 de outubro de 2019 em Santos (SP), teve como tema “Nuclear New Horizons: Fueling our Future” e discutiu a energia nuclear como fonte geradora de desenvolvimento industrial e social, emprego, tecnologia, crescimento estratégico e econômico, contribuindo para as metas ambientais nos países e regiões onde atua.

A Inac 2021, que teve como tema “Menos Impacto do Carbono na Natureza e mais Qualidade de Vida”, foi realizada em formato virtual, devido à pandemia. No entanto, o novo formato, segundo a pesquisadora Margarida Hamada, coordenadora do XV Enan, possibilitou aumentar o número de mesas redondas e palestras de especialistas nacionais e internacionais. Dentre eles estavam Anatoly Rosenfeld, da University of Wollongong (Austrália), Eduardo Yukihiro, do Paul Sherrer Institute (Suíça) e Oswaldo Baffa, da Universidade de São Paulo (USP).

Em 2024, a Inac voltou ao formato presencial.

Balço da XI Inac

A maior Conferência do setor nuclear do Hemisfério Sul reuniu 1.074 pessoas entre os inscritos, convidados, expositores, exibidores e autoridades, e 530 trabalhos acadêmicos (resumos expandidos) submetidos. Entre os coordenadores, apoiadores, patrocinadores e palestrantes, a Inac 2024 congregou entidades como: Laboratório Nacional de Idaho (EUA); Universidade do Texas (EUA); Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA); Eletronuclear; Comissão Nacional de Energia Nuclear (Cnen); China National Nuclear Corporation (CNNC); Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP); Rosatom - corporação estatal de energia nuclear da Rússia; Amazônia Azul Tecnologias de Defesa S.A. (Amazul); EBSE - Engenharia de Soluções; Westinghouse; Sciofix - Instrumentação científica; Diamante Energia; Agência Brasileiro-Argentina de Contabilidade e Controle de Materiais Nucleares (Abacc); Holtec International; Helgeson Scientific Services; Empresa Brasileira de Participações em Energia Nuclear e Binacional S.A (ENBPar); GLP Laboratórios; Eckert & Ziegler; Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo (CTMSP); Grupo O Dia Comunicação; Instituto de Engenharia Nuclear (IEN/Cnen); Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (Ipen/Cnen); Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ); Indústrias Nucleares do Brasil (INB); Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq); Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp); Marinha do Brasil; Universidade de São Paulo (USP); Petrobras; Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES); e Sociedade Brasileira de Medicina Nuclear (SBMN).

Os coordenadores da Conferência foram: Maria de Lourdes Moreira (Inac 2024), Frederico Antonio Genezini (XXIII Enfir), Carmen Cecilia Bueno (XVI Enan), João da Silva Gonçalves (VIII Enin), Marcelo Gomes da Silva (VIII Enin co-chair), Graciete S. de Andrade e Silva (Jr Poster), Leonardo G. de Andrade e Silva (Jr Poster co-chair), Ricardo C. Barros (Jr Poster co-chair), Katia Lanes (ExpoINAC), Olga Y. Mafra (Embaixadores Nucleares), Márcia Flores (Logística) e Ricardo Ferreira Ribeiro (tesoureiro).

Angra 1 está pronta para operar por mais 20 anos com segurança e confiabilidade

Programa contínuo de melhoria tecnológica desenvolvido nos últimos anos pela Eletronuclear habilita a extensão da vida útil da usina

Marcelo Gomes

Em todo o mundo, as usinas nucleares estão se aproximando do final de sua vida útil inicial. A idade média dos reatores norte-americanos está acima de 40 anos, e cerca de 90% dos reatores europeus têm mais de 30 anos de operação. Com isso, a questão da extensão da vida útil dessas usinas tem ganhado destaque nas estratégias dos operadores nucleares.

A crescente demanda das sociedades por energia limpa colocou a energia nuclear novamente no protagonismo da transição energética. A Agência Internacional de Energia (AIEA), organismo vinculado à Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico (OCDE), coloca a energia nuclear como fundamental para viabilizar essa transição. Sem a energia firme e despachável das usinas nucleares, a entrada de fontes com alta variabilidade como eólica e solar fica bastante prejudicada, mesmo considerando os recentes progressos no armazenamento de energia. Assim, a extensão da vida das usinas em operação vem assumindo um papel de destaque na transição para uma matriz elétrica livre de emissões.

Em termos empresariais, a extensão da vida útil faz todo o sentido, pois usinas nucleares são instalações cuidadosamente mantidas, com excelente desempenho operacional, e cujo investimento na construção encontra-se amortizado após décadas de operação. Não é por menos que em todo mundo mais de 100 usinas já tiveram suas licenças iniciais estendidas, em especial nos Estados Unidos e Europa. Em

muitos casos essa extensão vem acompanhada de aumento de potência instalada, obtido principalmente pela troca de seções das turbinas.

A lógica fundamental dos processos de extensão de vida é que uma usina nuclear tem poucos componentes que podem efetivamente limitar sua vida útil. Válvulas, bombas, sistemas de controle podem ser mantidos em condições ideais, reparados ou substituídos por componentes mais modernos. Essencialmente, apenas o vaso de pressão do reator e a estrutura da contenção são insubstituíveis, determinando, assim, a vida da usina.

Com tantos processos de extensão de vida concluídos com sucesso, podemos assegurar que a indústria nuclear desenvolveu padrões e procedimentos para assegurar a continuidade da operação em plenas condições de segurança e desempenho.

Aqui no Brasil, nossa primeira usina nuclear, Angra 1, está chegando ao final de sua licença inicial de 40 anos, que deverá expirar em dezembro desse ano. Angra 1 foi adquirida da empresa norte-americana Westinghouse sob a forma de *turn key*, como um pacote fechado, que não previa transferência de tecnologia por parte dos fornecedores. No entanto, a experiência acumulada pela Eletronuclear em todos esses anos de operação comercial, com indicadores de eficiência que superam os de muitas usinas similares, permite que a empresa tenha, hoje, a capacidade de realizar um programa contínuo de melhoria tecnológica e incorporar os mais recentes avanços da indústria nuclear.

**SAFELY POWERING
OUR CLEAN ENERGY FUTURE**

HOLTEC
INTERNATIONAL



SMR-300™
SMALL MODULAR REACTOR



www.smrlc.com

Angra 1 tem 640 MW de potência e entrou em operação comercial em 1985. Após um início conturbado, quando apresentou problemas em alguns componentes, a usina firmou-se entre as melhores da sua classe, tendo gerado, em 2023, 4,78 milhões de MWh, com um Fator de Carga de 88,24%, equivalentes a 322 dias por ano a plena potência.

Antecipando-se ao término da licença inicial da usina, a Eletronuclear estabeleceu como um dos seus principais projetos institucionais a obtenção da renovação da licença de Angra 1 e, por consequência, a sua operação por vinte anos adicionais. Na indústria nuclear internacional esse processo recebe o nome Long Term Operation (LTO).

Desta forma, ao longo dos últimos anos, a Eletronuclear vem desenvolvendo estudos e projetos com o objetivo de viabilizar a solicitação da extensão da licença de operação de Angra 1 por mais 20 anos. Podemos destacar, dentre outros, a troca dos geradores de vapor da usina, em 2009. Foi uma operação bastante complexa, por se tratar de componentes de grande porte, e que durou cerca de cinco meses. Além dessa troca, uma série de atividades como a aplicação de sobre camada de solda – conhecida como *weld overlay* – nos bocais do pressurizador, a troca da tampa do vaso de pressão do reator e a substituição dos transformadores elétricos principais foram realizadas. Também foram implementados alguns programas, como o gerenciamento da obsolescência, bem como inspeções e manutenção de estruturas de concreto.

Em 2019, a Eletronuclear formalizou junto à Comissão Nacional de Energia Nuclear (Cnen) o pedido de extensão da vida útil e, desde então, vem trabalhando junto ao regulador nuclear para assegurar a concessão da extensão. De comum acordo entre a empresa e a Cnen, a abordagem de renovação da licença está sendo desenvolvida em conformidade ao documento regulatório 10 CFR 54 Requirements for Renewal of Operating Licenses for Nuclear Power Plants da Nuclear Regulatory Commission dos EUA. Adicionalmente, foram atendidos os requisitos das Notas Técnicas da Cnen NT-CGRC 007/18 - Regulatory Requirements for Long Term Operation for Nuclear Power Plants Rev. 0 e NT-CGRC 008/18 - Regulatory Requirements for Ageing Management in Nuclear Power Plants Rev. 0.

A Eletronuclear contratou a Westinghouse, projetista original de Angra 1, para desenvolver a Avaliação Integrada da Planta (IPA) e as Avaliações de Envelhecimento Dependentes de Tempo (TLAAs), que se constituem na espinha dorsal do processo de renovação de licença de usinas nucleares.

Estão, também, sendo implementados os projetos de modernização e atualização técnica de sistemas, estruturas e componentes de Angra 1 necessários à sua operação durante o período de operação de longo prazo (LTO). O desenvolvimento e implementação dos projetos associados à extensão de vida útil de Angra 1 estão orçados em, aproxi-

madamente, 400 milhões de dólares. Para obtenção desses recursos, estão em andamento negociações com bancos de fomento assim como captações junto a bancos nacionais para assegurar os investimentos de curto prazo.

Um passo fundamental para possibilitar a operação da usina por esse período estendido foi o desenvolvimento da Unidade de Armazenamento a Seco (UAS), para o armazenamento do combustível irradiado após seu consumo no reator. Esse projeto incluiu alterações em Angra 1, de forma a permitir a manipulação e retirada dos combustíveis das piscinas de combustível usado, e seu acondicionamento em vasos próprios para seu transporte até a UAS.

No final de 2023, a Eletronuclear submeteu à Cnen a terceira Reavaliação Periódica de Segurança da usina. Trata-se de um processo repetido a cada dez anos de operação, visando demonstrar que a usina segue operando com segurança e confiabilidade.

Entre os itens analisados neste documento, estão o desempenho de segurança, planejamento de emergência e impacto radiológico no meio ambiente, sistema de gerenciamento e cultura de segurança, qualificação de equipamentos e o uso da experiência de outras usinas. Este documento é uma das bases do processo de licenciamento pela Cnen.

Ainda em 2024, de 4 a 13 de junho, Angra 1 recebeu a Missão SALTO (Safety Aspects of Long Term Operation) da Agência Internacional de Energia Atômica, para realizar uma avaliação global de segurança, que abordou diretamente a estratégia e os elementos-chave para uma operação estendida (LTO) segura das centrais nucleares. Foram abrangidas áreas como organização das atividades de gestão do envelhecimento e LTO, definição do escopo, programas da planta e programa de ações corretivas, gestão do envelhecimento de ESC mecânicos, elétricos e de I&C e de estruturas civis e gestão de recursos humanos, competências e conhecimento para LTO. Esta Missão SALTO foi precedida de três missões anteriores preparatórias: a primeira em 2013, a segunda em 2018 e a terceira em 2022. Os resultados obtidos desta missão foram altamente positivos, conforme avaliação da própria AIEA.

Ao longo de 2024 a Eletronuclear vem interagindo de forma intensa com a Cnen, prestando os necessários esclarecimentos técnicos e cumprimento de exigências, para os quais conta com o apoio técnico da Amazul.

Com a conclusão do processo de licenciamento, Angra 1 estará pronta para operar por pelo menos mais 20 anos, gerando energia limpa, livre de emissões de gases causadores de efeito estufa.

Marcelo Gomes
é assessor de Ciência, Tecnologia, Inovação
e Expansão da Geração da Eletronuclear

Material radioativo de ocorrência natural na exploração petrolífera: como isto aconteceu?

Sheldon Landsberger

Introdução

Os dois primeiros artigos sobre material radioativo de ocorrência natural (NORM na sigla em inglês) no setor da exploração petrolífera talvez tenham sido publicados em 1904 e 1906, respetivamente. Um deles intitulava-se "Um gás radioativo proveniente do petróleo bruto"⁽¹⁾ e o outro, "Sobre a radioatividade de óleos minerais e gases naturais"⁽²⁾.

O público tem uma ideia equivocada sobre as utilizações do petróleo. Nos EUA, por exemplo, a produção de eletricidade a partir do petróleo geralmente não é mais do que poucos por cento. A destilação do petróleo bruto, que é cerca de 40%-45% por barril, permite produzir uma série de gases para a produção de termoplásticos em materiais como o teflon, o vinil e o nylon, plásticos termofixos em resina epóxi, borracha vulcanizada e jangadas insufláveis, cera de parafina em lápis de cera e velas, vários produtos farmacêuticos, fertilizantes, pneus e uma série de outros

produtos domésticos de uso corrente. Os outros aproximadamente 50% do petróleo são usados para transporte. Em 2023, a produção de petróleo do Brasil, como é dominada pela Petrobras, era de 4,28 milhões de barris diários e ocupava a sétima posição mundial⁽³⁾ - cerca de 100 milhões de barris de extração diária de petróleo em todo o mundo, provenientes de exploração terrestre e no alto-mar. Assim, a produção de petróleo no Brasil é um componente crucial da sua economia⁽⁴⁾.

No entanto, a extração de petróleo também levou à liberação de quantidades muito elevadas de radioatividade proveniente das cadeias de decaimento do ²³⁸U e do ²³²Th, como se pode ver na Figura 1 e na Figura 2⁽⁵⁾. Ao longo de milhões de anos, o ²³⁸U e o ²³²Th, que são insolúveis, permanecem nas formações terrestres, enquanto o ²²⁶Ra (t_{1/2} = 1630 anos) e o ²²⁸Ra (t_{1/2} = 5,8 anos) são solúveis e são atraídos pelo petróleo, aumentando substancialmente as concentrações de radioatividade.

Figura 1 - Cadeia de decaimento do ²³⁸U

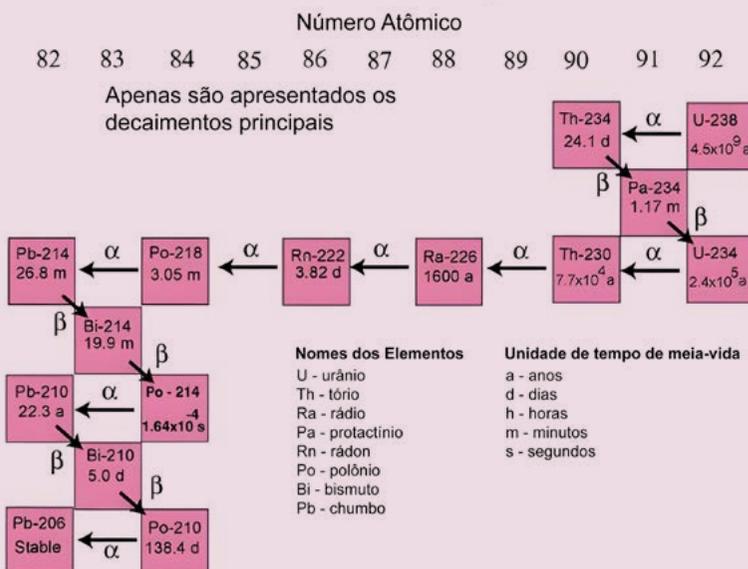


Figura 2 - Cadeia de decaimento do ²³²Th

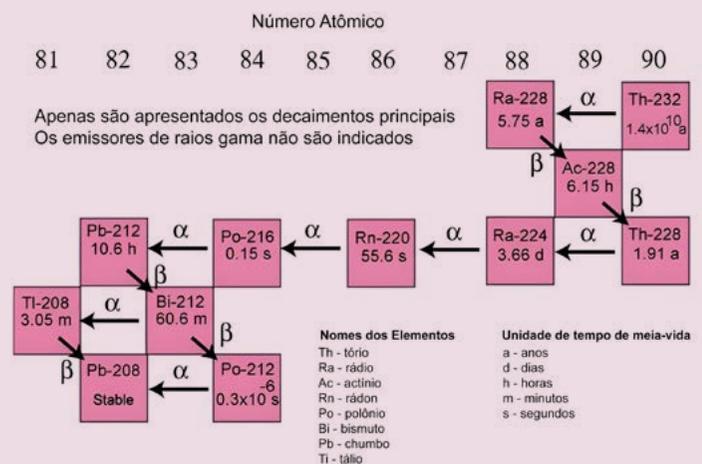


Figura 3 - Tubo de óleo com incrustações de NORM

Embora ^{226}Ra e ^{228}Ra sejam as principais preocupações ambientais e ecológicas, todos os produtos filhos e netos subsequentes são também significativamente elevados nas medições de radioatividade.

Os resíduos radioativos da exploração petrolífera podem ser encontrados na forma de incrustações endurecidas dentro dos tubos (como se vê na Figura 3)⁽⁶⁾, lodo em separadores de óleo ou resíduos de aterros⁽⁷⁾ (como se vê na Figura 4) e água produzida. A exploração de petróleo em alto-mar pode levar à acumulação de radioatividade nas diversas áreas do ambiente marinho⁽⁸⁾.

As concentrações de radioatividade expressas em Bq/kg nos resíduos de vários produtos de petróleo podem variar em ordens de magnitude para água produzida, incrustações endurecidas e lodo de ^{226}Ra , ^{228}Ra e ^{210}Pb , dependendo das características geofísicas das formações e dos processos de extração. O monitoramento de radiação α , β e γ interna e externa em amostras de ar, água, incrustações, lodo e solo é fundamental para oferecer boas práticas de física da saúde. Vários grupos modelaram as taxas de dose dos trabalhadores da área⁽⁹⁻¹²⁾. O gás radônio (^{222}Rn) é também uma preocupação, especialmente quando os trabalhadores se encontram em estruturas fechadas.

Conclusões

A química e a radioquímica de espécies radioativas nos resíduos de produtos de petróleo são muito complexas, diferente de qualquer outra matriz ambiental, com a adição da radiação. Os pressupostos típicos sobre equilíbrio não são válidos e são necessárias metodologias analíticas confiáveis para determinar os níveis de atividade radioativa para o descarte dos resíduos de petróleo e cumprir os regulamentos em relação à física da saúde.

Figura 4 - Tubo de perfuração de petróleo contaminado e resíduos de campos petrolíferos

Referências

- Burton, E. F. (1904). "A Radioactive Gas from Crude Petroleum" University of Toronto Studies, Physical Science Series, páginas 35-44. <https://www.canadiana.ca/view/oocihm.88105/1>
- McLennan, J. C. (1906). "On Radioactivity of Mineral Oils and Natural Gases" Transactions of the International Electrical Congress, St. Louis, USA (1906), páginas 399-422. <https://archive.org/stream/transactionsint06conggooog#page/n406/mode/2up/search/McLennan>
- <https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.php?id=709&t=6>
- <https://www.encyclopedie-energie.org/en/oil-in-brazil-evolution-of-exploration-production/>
- <https://www.epa.gov/radiation/radioactive-decay>
- <https://gavin-lish-rkcw.squarespace.com/new-blog/2018/7/16/offshore-oil-well-decommissioning-including-naturally-occurring-radioactive-material-disposal>
- <https://www.desmog.com/2021/04/22/lotus-llc-radioactive-fracking-waste-disposal-texas/>
- Ahmad, F., Morris, K., Law, G. T. W., Taylor, K. G., S. Shaw, S., (2021) Fate of radium on the discharge of oil and gas produced water to the marine environment. 273, 129550.
- Torres, L., Yadav, O., Khan, E. (2018). Risk Assessment of human exposure to Ra-226 in oil produced water from the Bakken Shale. Sci Total Environ. 626, 867-874
- Wang, S., Landsberger, S. (2016). MCNP modeling of NORM in the oil and gas industry, J. Radioanal. Nucl. Chem. 309, 367-371.
- Hamlat, M.S., Kadi, H., Fellag, H. (2003). Precipitate containing NORM in the oil industry: modeling and laboratory experiments. Appl. Radiat. Isotop. 59, 95-99.
- <https://centerforcoalfieldjustice.org/radiation-resource/>

Sheldon Landsberger

é professor da Universidade do Texas em Austin (EUA)

A importância da Ciência e da Tecnologia no desenvolvimento da sociedade

Helen J. Khoury

A ciência e a tecnologia desempenham papéis fundamentais no desenvolvimento das sociedades contemporâneas. São atividades transversais que permeiam todas as áreas. A compreensão de sua importância é essencial para o crescimento sustentável e a competitividade de qualquer nação.

A Sociedade demanda soluções para os problemas relacionados à melhoria da qualidade de vida, ao desenvolvimento econômico, desafios ambientais e segurança. A interação entre ciência e tecnologia, não apenas responde a essas necessidades, mas também promove a inovação e o desenvolvimento sustentável. A pesquisa científica fornece o conhecimento fundamental e a compreensão teórica necessária para o desenvolvimento de novas tecnologias que contribuirão para a solução dos problemas. A aplicação prática das tecnologias gera dados e informações que podem levar a novas perguntas e investigações científicas. Esse ciclo de retroalimentação entre a ciência e a tecnologia permite a melhoria contínua das soluções existentes e o desenvolvimento de novas abordagens para enfrentar diversos desafios.

No Brasil, embora haja um potencial significativo para avanços da ciência e tecnologia, diversos desafios impedem um progresso mais acelerado e eficaz. Este texto explora alguns dos principais obstáculos enfrentados pelo país no caminho para um desenvolvimento científico e tecnológico mais robusto.

O principal desafio do Brasil na área de ciência, tecnologia e inovação tem sido a descontinuidade na elaboração e implementação de uma política de longo prazo. É preciso um planejamento de longo prazo e a definição de metas que possibilitem a definição de áreas prioritárias de pesquisa, a alocação eficiente de recursos e a criação de um ambiente propício à inovação. A atividade científica no Brasil é marcada por dificuldades estruturais tais como:

- Instabilidade ou falta de financiamento para pesquisa,
- Baixa remuneração dos pesquisadores
- Dificuldades na Infraestrutura
- Desconhecimento por parte da população de como se faz ciência no país e os benefícios da atividade científica para o desenvolvimento nacional.

Financiamento insuficiente

Um dos principais desafios para o desenvolvimento científico e tecnológico no Brasil é a instabilidade econômica e as variações no orçamento para ciência e tecnologia, que contribuem para um ambiente de incerteza que dificulta o planejamento e a execução de projetos de qualidade. Os investimentos em pesquisa e desenvolvimento (P&D) têm sido historicamente baixos em comparação com padrões internacionais. No Brasil, 1,2% do PIB é investido em P&D, enquanto essa taxa chega a 2,5% entre países ricos (OCDE) e a 4,6% na Coreia do Sul, por exemplo. Além disso, o percentual de participação do setor privado é muito pequeno no investimento à ciência e tecnologia. A falta de recursos financeiros limita a capacidade das instituições de pesquisa de adquirir equipamentos modernos, contratar pessoal qualificado e manter projetos de longo prazo.

Um bom Sistema de CT&I exige que todos os seus elos estejam fortes e conectando:

- i. agentes públicos (com seus incentivos via programas e regulamentos);
- ii. agentes de conhecimento (com a formação de pessoas e o desenvolvimento de tecnologias);
- iii. agentes de fomento (com recursos para a estruturação do sistema);
- iv. agentes empresariais (com investimentos, absorção de pessoas, absorção e desenvolvimento de tecnologias, e oferta de bens/serviços);

Formação e retenção de talentos

O Brasil enfrenta dificuldades na formação e retenção de talentos científicos. Apesar de ter um número significativo de instituições de ensino superior e centros de pesquisa, há uma defasagem significativa entre o número de profissionais formados, com o mestrado e doutorado, e o número com empregos formais. A figura 1 mostra o resultado de um levantamento realizado pela Capes no período de 2009 a 2021 que apresenta a variação do número de titulados na pós-graduação e os com empregos formais. Observa-se pelo gráfico a grande defasagem no número com empregos formais em relação ao número de formados. Uma das causas desta defasagem é a falta de sinergia entre a academia e o setor produtivo. Muitas vezes, a pesquisa acadêmica não está alinhada com as necessidades do mercado, e a transferência de tecnologia é limitada. Estabelecer parcerias mais eficazes en-

tre universidades, centros de pesquisa e empresas pode impulsionar a inovação e garantir que os avanços científicos tenham aplicações práticas e comerciais.

Para os jovens cientistas o percurso acadêmico é repleto de desafios. As oportunidades para os bolsistas de pós-doutoramento são limitadas e os valores das bolsas desatualizados, além de falta de benefícios formais de emprego. É um ponto que vem sendo discutido atualmente pelos órgãos de fomento, mas com certeza não é de fácil solução. Outro ponto a destacar é a fuga de cérebros, onde pesquisadores e profissionais altamente qualificados buscam oportunidades no exterior, reduzindo o capital humano disponível para o desenvolvimento científico e tecnológico no país.

Gostaríamos de destacar algumas propostas para a reflexão e a contribuição na formação de recursos humanos qualificados no país.

1. **Investir** em Educação e Pesquisa, **atualizar** o Currículo e promover a Formação continuada para **adequação às demandas** do mercado de trabalho. Os cursos de pós-graduação devem incluir temas como gestão de projetos, empreendedorismo etc. de modo a preparar os alunos para o mercado de trabalho. A cultura de inovação no Brasil ainda está em desenvolvimento. Incentivar uma mentalidade voltada para a inovação e o empreendedorismo é crucial para fomentar um ambiente mais dinâmico e criativo.
2. Estimular a **colaboração efetiva entre academia, indústria e empresas**.
3. Valorização de talentos: **estratégias para mitigar a migração**.
4. Aprimorar o ambiente de negócios para estimular a **Inovação**, reduzir a **burocracia** e promover Investimentos em Pesquisa e Desenvolvimento.
5. **Promover a formação continuada após a conclusão do ensino superior**: A oferta de programas de formação continuada é uma estratégia valiosa para atualizar os profissionais aos cenários de constante mudança e das novas demandas que surgem.
5. **Educação Pública sobre Ciência e progresso desde a Educação Básica**: É preciso promover a conscientização pública sobre a importância da ciência e tecnologia para construir uma sociedade informada e engajada, que compreenda os benefícios da ciência para a qualidade de vida e o progresso social.
6. A divulgação científica é fundamental para a Socialização do conhecimento científico com a sociedade, motivando novos estudantes, melhorando o ensino

e a formação de professores do ensino médio e contribuindo para que a sociedade compreenda a importância dos investimentos na pesquisa, ciência, tecnologia e inovação.

Políticas públicas e planejamento

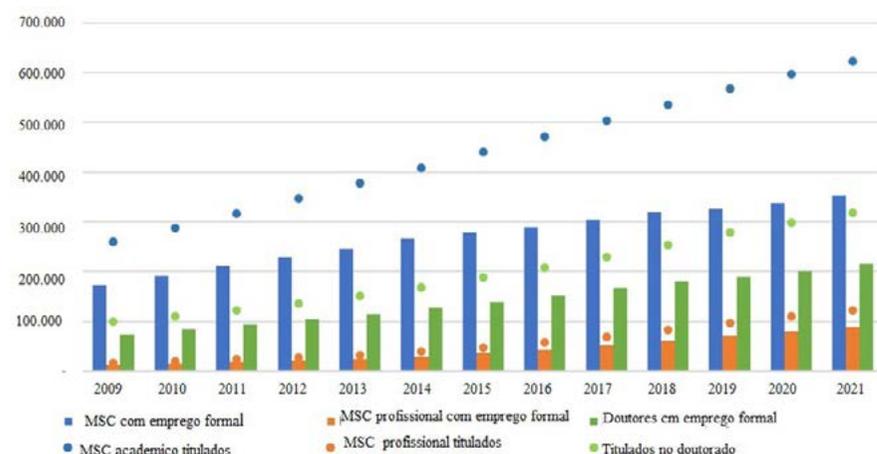
A criação e implementação de políticas públicas eficazes para ciência e tecnologia são essenciais para enfrentar os desafios mencionados. É necessário um planejamento estratégico de **longo prazo** que inclua **metas claras, avaliação de desempenho e mecanismos de ajuste**. Políticas que promovam a cooperação internacional e a participação em redes globais de pesquisa também podem ajudar a superar limitações locais e ampliar o impacto da pesquisa brasileira.

Conclusão

A ciência e a tecnologia são pilares para o desenvolvimento da sociedade e essenciais para o desenvolvimento econômico e social do país. Superar os desafios relacionados ao financiamento, infraestrutura, formação de talentos, burocracia, conexão com o setor produtivo, cultura de inovação e políticas públicas é fundamental para criar um ambiente mais propício à pesquisa e à inovação. A adoção de estratégias integradas e a promoção de uma colaboração mais eficaz entre diversos setores podem ajudar a enfrentar esses desafios e a impulsionar o desenvolvimento científico e tecnológico no Brasil. É fundamental a divulgação junto à sociedade das atividades de pesquisa e dos impactos na vida cotidiana dos cidadãos. Quando a população entende os benefícios da pesquisa científica, ela é mais propensa a apoiar iniciativas que financiam a ciência e incentivam a inovação. A divulgação científica não só informa, mas também educa a população sobre o método científico e a importância do pensamento crítico.

Helen Khoury
é diretora Científica da Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (Facepe).

Figura 1- Número de titulados e de empregados formais entre os titulados no mestrado acadêmico, profissional e doutorado, a partir de 1996 até o ano de referência, 2009-2021. Fonte: Capes Coleta Capes 1996-2012 e Plataforma Sucupira 2013-2021 (Capes, MEC); e RAIS 2009-2021. Elaboração do CGEE.



Setor nuclear brasileiro: É agora ou nunca!

João da Silva Gonçalves

Nada mais atual do que se falar de economias sustentáveis, transição energética, energia e/ou matriz energética limpa, descarbonização, efeito estufa e as mudanças climáticas do planeta. Contudo, através de todas as calamidades atuais acontecendo em todos os continentes, estamos vendo acontecer, na prática, a confirmação das previsões de que nosso planeta Terra alcançará até mais 3° C de temperatura atmosférica. Enchentes e inundações, escassez de chuvas, redução do caudal e/ou esgotamento de rios, degelo das grandes geleiras e grandes incêndios passaram a fazer parte das manchetes e do cotidiano de nossas vidas, sem que haja uma ação coordenada mundial “eficaz” para se tentar reverter tal situação. Digo “eficaz” para valer, pois, nestes últimos 30 anos, todas as edições das COPs ainda não conseguiram mobilizar os países signatários no sentido de uma ação integrada e cooperativa, com adequada tratativa às soberanias e políticas internacionais, com a urgência que a causa planetária requer. O que o leitor pode estar se perguntando é o que tem tudo isto a ver com o setor nuclear brasileiro. E, mais ainda, por que é “Agora ou Nunca”? Explico a seguir.

O Brasil possui entre a 6ª e a 8ª reserva de urânio mundial, com apenas um terço de seu território adequadamente prospectado. Segundo informes atuais do Serviço Geológico do Brasil (SGB), os dados de prospecção estão completamente desatualizados e as técnicas e modelos mais modernos poderão modificar, de forma significativa, o panorama das reservas¹ deste mineral (Figura 1).

A equivalência energética de uma única pastilha de urânio enriquecido produzida pelas Industrias Nucleares do Brasil S/A, empresa pública responsável por exercer o monopólio previsto em nossa Constituição referente às atividades de produção industrial do ciclo do combustível nuclear, pode ser descrita como: uma pastilha de urânio enriquecido do reator de Angra 2, de um centímetro de diâmetro e de altura (com massa de ~7,0g), é equivalente em energia a 980 quilos de carvão ou 461 litros (cerca de três barris) de petróleo ou 16.800 pés cúbicos de gás natural. Ou seja, os combustíveis nucleares à base de urânio produzem energia limpa de altíssima densidade e, como o Brasil poderá alcançar a liderança nas reservas de urânio se retomar a prospecção, nosso país certamente faz parte do solução global de descarbonização das economias, independentemente de possuir uma das matrizes energéticas mais limpas do planeta (de base hídrica, eólica, de bio massa e, ainda tímidamente, também nuclear).

Figura 1 – Principais áreas de reservas de urânio atuais



Fonte: INB

Tabela - Reservas de urânio

Depósitos	Reservas [t U ₃ O ₈]		
	Medidas e Indicadores	Inferidas	TOTAL
Caetité	51.520	35.569	87.089
Santa Quitéria	75.010	4.614	79.624
Outros	39.500	26.600	66.100
TOTAL	166.030	66.783	232.818
Potencial de Mineralização:	Pitinga/AM: 150.000 t U ₃ O ₈		
	Rio Cristalino/PA: 150.000 t U ₃ O ₈		

Por outro lado, dominamos industrialmente o ciclo do combustível nuclear, faltando apenas a implantação da segunda etapa da produção, no âmbito do ciclo do combustível nuclear, qual seja a produção do gás hexafluoreto de urânio. Tanto a INB quando a Marinha do Brasil, através de sua planta de demonstração Usex, detêm a tecnologia necessária para esta implantação, que na INB, pelas palavras e liderança do presidente Aduino Seixas, já tem reiniciados os estudos para retomada deste importante projeto estratégico, suspenso em 2017, o qual poderá produzir até 4.000 t UF₆. Outra readequação nas capacidades produtivas industriais da INB é a continuidade dos investimentos na expansão modular da atividade de enriquecimento de urânio através do projeto de implantação da nova usina comercial de enriquecimento, Uceu, com capacidade de suportar os reatores da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto (reatores Angra 1, 2 e, em futuro próximo, Angra 3).

Mas, para tudo acontecer, necessitamos do urânio, e já. Assim, várias ações têm sido tomadas para a revitalização e a expansão da produção mineral em Caetité/BA e para a conclusão da fase inicial de licenciamento nuclear e ambiental do projeto de Santa Quitéria, Fortaleza/CE, este com potencial de fornecer uma produção de concentrado que pode alcançar até 2.300 t U₃O₈ anuais. O cronograma atual indica início da produção em 2028, havendo o adequado andamento das atividades do consórcio INB/Fosnor na produção de urânio consorciada à produção de compostos fosfatados para a produção de fertilizantes.

Com a expansão da produção nacional de combustíveis nucleares para o novo reator de Angra 3, a demanda mundial para o novo mercado de reatores pequenos e de aplicação modular (em inglês Small Modular Reactors – SMR), e ainda, com a implantação do Reator Multipropósito Brasileiro (RMB), necessário para mitigar a reduzida produção nacional de radiofármacos e a deficiência de suporte aos desenvolvimentos científicos modernos das aplicações nucleares, temos um gigantesco, possível e viável novo programa nuclear, com enormes desafios pela frente. Isto tudo, suportado pelo aumento atual do preço no mercado internacional da agora *commodity* urânio e dos serviços de conversão para produção de hexafluoreto de urânio, necessários à alimentação das plantas de enriquecimento, respectivamente US\$ 164,00/kg U₃O₈ e US\$ 71,00/kgU como UF₆ (base Outubro/2024).

São mais de 30 novos grandes reatores e os primeiros SMR's, que têm sido anunciados pelos diversos países que entenderam o potencial de fornecimento de energia limpa que, no futuro próximo, só a fonte nuclear pode proporcionar. Esta ampliação mundial na frota de reatores, aliada à extensão de vida daqueles em operação, tem feito enorme pressão nos preços de mercado do urânio e dos serviços de conversão. Não se espera que esta situação mude nos pró-

ximos dez anos, em especial também devido aos efeitos da guerra entre Rússia e Ucrânia, onde o primeiro tem sofrido diversas sanções que poderão afetar a logística de fornecimento de urânio e seus serviços, uma vez que a Rússia é um dos grandes atores no mercado nuclear.

Em resumo, o setor nuclear brasileiro necessita de algo em torno de R\$ 40 bilhões em investimentos (inferência do autor) aplicados nos próximos oito a dez anos para consolidar a posição das diversas frentes acima citadas, industriais e das aplicações da tecnologia nuclear, para dar energia de base para o Brasil, auxiliar no processo descarbonização das economias mundiais, consolidar a produção mineral nacional de urânio, com o fornecimento de concentrado e/ou serviços de conversão, além de avançar no desenvolvimento das aplicações nucleares (na medicina, agricultura, ciência e tecnologia e indústria).

A participação e protagonismo do setor nuclear do Brasil, em certos campos desta fonte de energia e tecnologias, só terão lugar se pudermos estabelecer um programa de Estado, com estabilidade regulatória, negocial, comercial e de planejamento de longo prazo firme e previsível, de forma que a cadeia de suprimentos, processos logísticos, formação de recursos humanos e consolidação de parcerias tecnológicas possam ter lugar muito em breve. Deve ser ressaltado que o setor nuclear, por característica própria, é plenamente alinhado ao atual conceito ESG (em inglês Environmental, Social and Governance), ampliando a sustentabilidade e gerando benefícios sociais, ao meio ambiente e a governança empresarial onde é fortemente desenvolvido (veja exemplo de países como a França, EUA, EAU, China, Japão, Coreia do Sul, dentre outros); logo, na contramão do preconceito de uns poucos mal informados quanto a ser uma atividade perigosa e poluente.

Com esta constelação de fatores mundiais, a confirmação da crise ambiental em escala planetária e o realinhamento do entendimento mundial da fonte nuclear como agente fornecedor de energia limpa, segura e perene, necessária ao desenvolvimento e ampliação da sustentabilidade das nações e grande coadjuvante na cura ambiental do planeta, podemos, categoricamente, afirmar:

É agora ou nunca!

João da Silva Gonçalves
é superintendente de Licenciamento e
Engenharia na INB S/A

¹ Reserva mineral: parte economicamente e legalmente lavrável de um recurso mineral medido e/ou indicado, cuja viabilidade técnico-econômica da lavra tenha sido demonstrada por meio de estudos técnicos adequados que incluam a aplicação de fatores modificadores (adaptado de ANM resolução 94, 07/02/2022). Disponível em link https://antilegis.antt.gov.br/action/ActionDatalegis.php?acao=detalharAto&tipo=RES&numeroAto=00000094&seqAto=000&valorAno=2022&orgao=ANM/MME&nomeTitulo=codigos&desItem=&desItemFim=&cod_modulo=420&cod_menu=7145.



2º SEMINÁRIO MÚLTIPLAS APLICAÇÕES DA ENERGIA NUCLEAR E DAS RADIAÇÕES

2º Workshop “SMR Brasileiro – Uma Proposta”

Aplicações do SMBR, Licenciamento, Financiamento e Aceitação Pública

Dias 25 e 26 de novembro 2024

Sociedade dos Engenheiros e Arquitetos do Estado do Rio de Janeiro– SEAERJ

Rua do Rússel, N° 01, Glória – Rio de Janeiro



Casa Viva

INFORMAÇÕES

WORKSHOPSMBR24@GMAIL.COM
INSCRICAO.PLANEJA@GMAIL.COM
TEL: (21) 3301-3208 / 99699-1954

INSCRIÇÕES ABERTAS

WWW.EVENTOSCASAVIVA.COM.BR

A ELETRONUCLEAR ESTÁ PRONTA PARA VIVER O FUTURO.

Que a Eletronuclear gera eletricidade limpa, sem emitir gases de efeito estufa, você já sabe. Mas o que talvez ainda não saiba é que mais energia está sendo produzida para que toda a sociedade viva os avanços do futuro sem abrir mão da sustentabilidade.

Na prática, isso significa que a operação de Angra 1 está se preparando para produzir por mais 20 anos e que a conclusão de Angra 3 irá aumentar ainda mais nossa capacidade de geração de energia limpa.



veja o amanhã em eletronuclear.gov.br

  @eletronuclear



MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA

