

APLICAÇÃO DE SALVAGUARDAS A SUBMARINOS NUCLEARES

LEONAM DOS SANTOS GUIMARÃES*
Capitão de Mar e Guerra (RM1-EN)

SUMÁRIO

Introdução
Gestão e salvaguarda do combustível de submarinos nucleares
O complexo cenário da salvaguarda de combustível de
submarino nuclear
A importância dos submarinos nucleares em operações
navais modernas
Princípios fundamentais de salvaguarda de materiais nucleares
Estrutura para salvaguarda do combustível de submarinos nucleares
Relevância da cooperação internacional e dos mecanismos de
compartilhamento de informações
Implementação de salvaguardas
Impacto ambiental das operações de submarinos nucleares, incluindo
a gestão segura de combustível irradiado e resíduos radioativos
Desafios e oportunidades ao garantir a segurança e a
resistência à proliferação
Atual cenário
Conclusão

* Doutor em Engenharia Naval pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo e mestre em Engenharia Nuclear pelo Institut National des Sciences et Techniques Nucléaires da Universidade de Paris XI. Diretor técnico da Associação Brasileira para Desenvolvimento das Atividades Nucleares (Abdan). Colaborador assíduo da *RMB*.

INTRODUÇÃO

O artigo começa com um panorama abrangente sobre a importância dos submarinos nucleares em operações navais modernas, enfatizando suas vantagens estratégicas, resistência e furtividade. Em seguida, investiga os princípios fundamentais da salvaguarda de materiais nucleares, abrangendo a proteção física, o controle e a contabilidade dos materiais e o papel dos tratados e acordos internacionais na regulação de tais atividades.

Uma parte significativa do artigo concentra-se nas características únicas do combustível de submarino nuclear, incluindo sua composição, conteúdo isotópico e ciclo de vida operacional. O estudo aborda os desafios específicos associados à salvaguarda deste combustível específico, tais como a necessidade de monitoramento contínuo, manuseamento remoto e proteção contra roubo ou desvio (CNS, 2021).

O cerne desta pesquisa reside em propor uma estrutura abrangente para salvaguardar o combustível de submarinos nucleares. Esta estrutura integra tecnologias de ponta, tais como sistemas de vigilância avançados, lacres invioláveis e monitoramento remoto, ao mesmo tempo que enfatiza a importância do capital humano em manter a integridade das salvaguardas. Além disso, o artigo discute a relevância da cooperação internacional e de mecanismos de compartilhamento de informações para promover uma cultura global de segurança nuclear (AIEA, 2023).

A implementação das salvaguardas, tal como descrito neste texto, não só con-

tribui para a segurança do combustível de submarinos nucleares, mas também reforça o compromisso com os objetivos de não proliferação. Além disso, destaca a necessidade de minimizar o impacto ambiental das operações dos submarinos nucleares, incluindo a gestão segura do combustível irradiado e dos resíduos radioativos (AIEA, 2019).

A aplicação de salvaguardas ao combustível de submarinos nucleares é uma exploração crítica de desafios e oportunidades para garantir a segurança e a resistência à proliferação deste componente vital do poder naval. Este trabalho ressalta a necessidade de medidas proativas, avanços tecnológicos e colaboração internacional para proteger materiais

nucleares, aumentar a segurança global e manter o uso pacífico da energia nuclear em operações navais (HIRSCH, A. e LISSNER, 1988).

Por fim, apresentamos brevemente o cenário da aplicação de salvaguardas nos programas

nacionais de submarinos nucleares em curso dos Estados sem armas nucleares (NNWS, sigla em inglês) do Tratado de Não Proliferação de Armas Nucleares (TNP), particularmente os casos da Austrália (DOYLE, J. E.; MATTHEWS, 2005) e do Brasil.

GESTÃO E SALVAGUARDA DO COMBUSTÍVEL DE SUBMARINOS NUCLEARES

A gestão e a salvaguarda do combustível de submarinos nucleares surgiram como preocupações críticas no contexto

Os submarinos nucleares oferecem vantagens estratégicas significativas, como resistência operacional, alta velocidade e furtividade

da segurança global, dos esforços de não proliferação e da responsabilidade ambiental devido à convergência de vários fatores e considerações-chaves (MIAN, 2007).

Os submarinos nucleares são componentes essenciais das frotas navais de muitas nações. Eles oferecem vantagens estratégicas significativas, incluindo maior resistência operacional, alta velocidade e furtividade. Dessa forma, desempenham um papel crucial na manutenção da segurança nacional e na proteção dos interesses marítimos. A segurança e a gestão adequada do combustível que alimenta esses submarinos são essenciais para garantir sua contínua prontidão operacional (PHILIPPE, 2014).

Os materiais nucleares utilizados em alguns tipos de combustível de submarinos, como o urânio altamente enriquecido (HEU, sigla em inglês) e o urânio de baixo enriquecimento de alto desempenho (Haleu), são inerentemente sensíveis e podem ser desviados para fins ilícitos. O risco de proliferação, em que estes materiais podem cair nas mãos de Estados fora de controle ou atores não estatais, representa uma grave ameaça à segurança global. Garantir rigorosos controle e contabilidade do combustível de submarinos nucleares é vital para evitar a aquisição não autorizada de materiais nucleares.

Vários tratados e acordos internacionais, incluindo o Tratado de Não Proliferação de Armas Nucleares e a Convenção sobre a Proteção Física dos Materiais Nucleares (CPPNM, sigla em inglês), obrigam os Estados signatários a tomar medidas para salvaguardar os materiais e as instalações nucleares. O cumprimento destes acordos é essencial para manter a estabilidade global e evitar a propagação de armas nucleares (KERR, 2007).

Além das preocupações com segurança e não proliferação, há um reconhecimento crescente da responsabilidade ambiental associada às operações de submarinos nucleares. Manuseamento, armazenamento e descarte seguros do combustível nuclear irradiado e dos resíduos radioativos provenientes de submarinos são essenciais para impedir a contaminação ambiental e minimizar os riscos a longo prazo para os ecossistemas e a saúde humana.

Salvaguardar combustível de submarinos nucleares apresenta desafios únicos devido à natureza específica do combustível, ao seu conteúdo isotópico e aos ambientes operacionais remotos e hostis nos quais os submarinos operam. Gerir e proteger adequadamente este combustível exige tecnologia sofisticada, protocolos rigorosos e pessoal bem treinado.

Numa era de crescente conexão global, as ações tomadas por uma nação ao gerir seu combustível de submarinos nucleares podem ter consequências de longo alcance. Falhas de segurança ou salvaguardas inadequadas em um país podem minar a estabilidade regional e global, enfatizando a necessidade de cooperação e coordenação internacionais.

A gestão e a salvaguarda do combustível de submarinos nucleares tornaram-se preocupações críticas porque se cruzam com as necessidades de segurança nacional, os esforços globais de não proliferação e o compromisso mais amplo com a responsabilidade ambiental. Enfrentar estas preocupações requer uma abordagem multidimensional que inclua a inovação tecnológica, a colaboração internacional e o cumprimento das obrigações legais e éticas para garantir a utilização segura, protegida e responsável da energia nuclear em operações navais.

O COMPLEXO CENÁRIO DA SALVAGUARDA DE COMBUSTÍVEL DE SUBMARINO NUCLEAR

Salvaguardar o combustível de submarinos nucleares é um esforço complexo e multifacetado que requer uma compreensão profunda dos desafios envolvidos, bem como o desenvolvimento de soluções inovadoras para aumentar a segurança e a resistência à proliferação. Esta parte irá investigar o complexo cenário da salvaguarda do combustível de submarino nuclear, abordando os desafios que ela apresenta e propondo algumas soluções inovadoras para os resolver.

Desafios na Proteção de Combustível de Submarino Nuclear

- **Locais Remotos e Isolados:** os submarinos operam em ambientes remotos e muitas vezes hostis, tornando desafiador estabelecer e manter medidas de segurança física em torno das instalações de armazenamento de combustível.

- **Monitoramento Contínuo:** ao contrário de instalações nucleares que se mantêm no mesmo lugar, os submarinos estão em constante movimento. Garantir o monitoramento e o rastreamento contínuos do combustível nuclear enquanto os submarinos estão no mar é um desafio significativo.

- **Riscos de Adulteração e Desvio:** a possibilidade de acesso não autorizado, adulteração ou desvio de materiais nucleares dentro de submarinos representa um risco substancial à segurança.

- **Complexidade Tecnológica:** o combustível de submarinos nucleares é altamente específico e contém isótopos sensíveis, exigindo tecnologia avançada e conhecimentos especializados tanto para o manuseamento como para a salvaguarda.

- **Águas Internacionais:** os submarinos operam em águas internacionais, complicando potencialmente os esforços para aplicar salvaguardas nacionais e internacionais.

Soluções Inovadoras

- **Sistemas de Vigilância Avançados:** desenvolver e implementar sistemas de vigilância avançados, tais como tecnologias de localização por satélite e de detecção remota, pode permitir o monitoramento em tempo real dos submarinos e do seu combustível nuclear, aumentando a segurança.

- **Lacres Invioláveis:** lacres inovadores e com sensores integrados podem ser utilizados para detectar qualquer acesso não autorizado ou adulteração de recipientes de combustível nuclear. Estes lacres podem transmitir alertas às autoridades quando violados.

- **Monitoramento Remoto:** aproveitar tecnologias de monitoramento remoto, incluindo sistemas de comunicação seguros, pode facilitar a supervisão contínua do combustível nuclear, mesmo quando os submarinos estão submersos ou longe da costa.

- **Desenvolvimento do Capital Humano:** é crucial investir no treinamento e na formação do pessoal responsável pelas operações de submarinos nucleares. Garantir uma força de trabalho bem treinada e preocupada com a segurança é a base de segurança e salvaguardas eficazes.

- **Colaboração Internacional:** os esforços de colaboração entre nações com frotas de submarinos nucleares podem levar ao compartilhamento de melhores práticas, informações e tecnologias para aumentar coletivamente a segurança e a resistência à proliferação.

- **Responsabilidade Ambiental:** desenvolver métodos inovadores para armaze-

namento, transporte e descarte seguros de combustível nuclear irradiado e resíduos radioativos provenientes de submarinos é essencial para cumprir as responsabilidades ambientais.

- **Transparência e Comunicação:** incentivar a transparência e a comunicação entre as nações, em relação às suas operações com submarinos nucleares e medidas de salvaguarda, pode criar confiança e promover objetivos de não proliferação.

Salvaguardar o combustível de submarinos nucleares é um desafio complexo, que exige soluções criativas e inovadoras para garantir a segurança e a resistência à proliferação. Enfrentar os desafios únicos dos submarinos, aproveitar tecnologias avançadas, promover a colaboração internacional e manter a responsabilidade ambiental ajuda as nações a reforçarem seu compromisso de proteger os materiais nucleares e manter a estabilidade global numa era de ameaças à segurança em evolução.

A IMPORTÂNCIA DOS SUBMARINOS NUCLEARES EM OPERAÇÕES NAVAIS MODERNAS

Os submarinos nucleares desempenham um papel fundamental em operações navais modernas, oferecendo um leque de vantagens estratégicas, resistência excepcional e furtividade incomparável. Eles são extremamente importantes na guerra naval contemporânea, e os seus atributos únicos moldam significativamente as táticas, as capacidades e a segurança das forças navais em todo o mundo. Este panorama abrangente aborda a importância dos submarinos nucleares em operações navais modernas, destacando suas vantagens estratégicas, resistência e furtividade.

Vantagens Estratégicas

- **Presença Global:** os submarinos nucleares proporcionam às Marinhas a capacidade de projetar poder globalmente. Podem operar em diversas regiões marítimas, desde o oceano até às águas litorais, e permanecer na estação por longos períodos, exercendo influência e dissuasão em todo o mundo.

- **Resposta Rápida:** os submarinos nucleares conseguem se mobilizar de forma rápida e podem responder rapidamente a ameaças ou crises emergentes. Esta agilidade é crucial para manter a segurança marítima e garantir uma reação rápida a potenciais conflitos.

- **Alcance Ilimitado:** ao contrário dos submarinos diesel-elétricos convencionais, que precisam voltar à superfície frequentemente para recarregar suas baterias, os submarinos nucleares têm alcance praticamente ilimitado. Eles podem permanecer submersos por meses ou até anos, o que os torna ideais para missões de longo alcance e longas.

- **Resistência:** a resistência dos submarinos nucleares é uma prova dos seus sistemas de propulsão nuclear. Podem realizar operações contínuas sem necessidade de regressar ao porto para reabastecimento ou manutenção, o que lhes permite manter uma presença persistente nas principais áreas estratégicas.

Resistência Excepcional

- **Operações Subaquáticas Longas:** os submarinos nucleares podem permanecer submersos por longos períodos, aumentando significativamente a sua furtividade e a capacidade de sobrevivência. Essa resistência submersa longa os torna adversários desafiadores de serem detectados e rastreados.

- **Vulnerabilidade Reduzida:** a capacidade de permanecer submersos reduz a vulnerabilidade a ameaças de superfície, tais como mísseis antinavio, e minimiza o risco de detecção por aeronaves inimigas ou meios de reconhecimento.

- **Flexibilidade nas Operações:** a longa resistência dos submarinos nucleares permite um amplo leque de perfis de missão, incluindo coleta de informações, guerra antissubmarina, missões de ataque e dissuasão nuclear estratégica.

Furtividade

- **Vantagem Acústica:** os submarinos nucleares são mais silenciosos do que os seus equivalentes diesel-elétricos, principalmente porque não dependem de motores a diesel barulhentos. Sua discricção acústica os torna excepcionalmente difíceis de serem detectados pelas forças antissubmarinas inimigas, usando sonar passivo.

- **Menor Sinal Térmico:** o uso de reatores nucleares minimiza a necessidade de ventilação de exaustão, reduzindo os sinais térmicos dos submarinos nucleares. Isto aumenta ainda mais a capacidade de evitar a detecção por sistemas de imagem térmica.

- **Baixas Emissões Eletromagnéticas:** os submarinos nucleares emitem sinais eletromagnéticos mínimos, tornando-os menos suscetíveis à detecção pelos dispositivos eletrônicos inimigos e pelos sistemas de guerra antissubmarina.

- **Sensores e Contramedidas Avançadas:** os submarinos nucleares modernos

estão equipados com conjuntos de sensores avançados e contramedidas para melhorar ainda mais a sua furtividade, incluindo tecnologias de silenciamento e sistemas de armadilha.

A capacidade dos submarinos de operar em nível global, responder rapidamente às ameaças emergentes e permanecer submerso por longos períodos proporciona às Marinhas uma ferramenta formidável para manter a segurança marítima, projetar poder e garantir a dissuasão num cenário de segurança complexo e em evolução.

PRINCÍPIOS FUNDAMENTAIS DE SALVAGUARDA DE MATERIAIS NUCLEARES

O submarino nuclear é importante para manter a segurança marítima, projetar poder e garantir a dissuasão num cenário complexo e em evolução

A salvaguarda de materiais nucleares é de suma importância para prevenir o acesso não autorizado, o roubo ou o desvio de materiais e tecnologias nucleares para fins ilícitos. Esta parte irá investigar os princípios

fundamentais da salvaguarda de materiais nucleares, abrangendo a proteção física, o controle e a contabilidade de materiais e o papel dos tratados e acordos internacionais na regulação de tais atividades.

A proteção física é a base das salvaguardas de materiais nucleares, destinada a impedir o acesso não autorizado e a proteger instalações e materiais nucleares contra roubo, sabotagem ou outras atividades maliciosas. Os princípios fundamentais da proteção física incluem:

- **Medidas de Segurança:** ações robustas, tais como vedações perimetrais, controles de acesso, sistemas de vigilância e guardas armados, são im-

plementadas para dissuadir e responder a ameaças potenciais.

- **Ameaça-Base de Projeto:** instalações e materiais são protegidos com base em uma avaliação de ameaças potenciais, conhecida como Ameaça-Base de Projeto (ABP), que leva em consideração fatores como terrorismo, espionagem e ameaças internas (FISHER, J. M.; FERGUSON, 2005).

- **Controles de Acesso:** o acesso restrito a áreas e materiais sensíveis é aplicado, com indivíduos sujeitos a rigorosas verificações de antecedentes e verificação de identidade.

- **Lacres Invioláveis:** o uso de lacres invioláveis e sistemas de detecção de intrusão ajudam a detectar e responder a acessos não autorizados ou adulterações.

- **Controle e contabilidade de materiais (MC&A, em inglês):** envolvem o rastreamento, medição e controle de materiais nucleares ao longo de seu ciclo de vida. Isto é crucial para garantir que os materiais nucleares sejam utilizados para os fins a que se destinam e não sejam desviados para atividades ilícitas. Os princípios-chave do MC&A incluem:

- **Gestão de Inventário:** registros precisos e atualizados de materiais nucleares, incluindo quantidades, localizações e transferências, são mantidos para monitorar o seu paradeiro.

- **Medições e Inspeções:** são realizadas inspeções e medições regulares para verificar a quantidade e a qualidade dos materiais nucleares, garantindo que as discrepâncias sejam prontamente resolvidas.

- **Balanço de Materiais:** os balanços de materiais são calculados para ter em conta quaisquer discrepâncias entre entradas, saídas e inventário no local, proporcionando uma camada adicional de prestação de contas (IPFM, 2022).

- **Análise Forense Nuclear:** no caso de roubo ou desvio, a análise forense nuclear pode ser usada para rastrear a origem dos materiais e identificar os responsáveis.

Os tratados e acordos internacionais desempenham um papel fundamental na regulação da salvaguarda dos materiais nucleares em escala global. Alguns instrumentos internacionais importantes incluem:

- **Tratado de Não Proliferação de Armas Nucleares (TNP):** o TNP obriga os Estados signatários não nucleares a impedir a propagação de armas nucleares e tecnologia de armas nucleares e o desarmamento dos Estados signatários nucleares. Estabelece a Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA) para supervisionar as salvaguardas e verificar o cumprimento com base em acordos específicos assinados com cada país.

- **Tratado de Proibição Total de Testes Nucleares (CTBT, sigla em inglês):** o CTBT visa proibir todas as explosões nucleares, tanto para fins civis como militares. Embora não se concentre apenas nas salvaguardas, contribui para os esforços de não proliferação nuclear.

- **Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA):** a AIEA é a principal organização internacional responsável pela implementação de salvaguardas sobre materiais e instalações nucleares. Ela realiza inspeções e verifica o cumprimento dos acordos de salvaguardas.

- **Salvaguardas de Oferta Voluntária:** os cinco Estados com armas nucleares que são partes no TNP concluíram acordos de salvaguardas de oferta voluntária, pelos quais a AIEA aplica salvaguardas a materiais nucleares em instalações que o Estado ofereceu voluntariamente e que a AIEA selecionou por meio de um acordo de oferta voluntária para verificar se o material nuclear permanece em atividades

pacíficas e não é retirado das salvaguardas, exceto conforme previsto no acordo.

- **Acordos Bilaterais:** muitos países celebram acordos bilaterais com Estados *de jure* com armas nucleares do TNP (Estados Unidos, Rússia, França, Reino Unido e China) e operadores e construtores de submarinos nucleares não signatários do TNP (atualmente apenas a Índia) para regular o uso e a salvaguarda de materiais nucleares fornecidos para fins pacíficos.

Os princípios fundamentais da salvaguarda de materiais nucleares abrangem a proteção física, o controle dos materiais e a contabilidade. Estes princípios são sustentados pelos tratados e acordos internacionais que proporcionam uma estrutura para cooperação e verificação. Ao aderir a estes princípios e obrigações internacionais, as nações contribuem para os esforços globais, impedindo a proliferação de armas nucleares e garantindo a utilização responsável e segura de materiais nucleares.

Características únicas do combustível de submarinos nucleares

A salvaguarda do combustível de submarinos nucleares apresenta um conjunto único de desafios devido às suas características específicas, incluindo a sua composição, conteúdo isotópico e ciclo de vida operacional. Compreender estas características inconfundíveis é crucial para enfrentar os desafios específicos associados à salvaguarda deste combustível altamente sensível.

O combustível de submarinos nucleares normalmente consiste em urânio altamente enriquecido (HEU) ou Haleu (o urânio de baixo enriquecimento de alto desempenho). O HEU é o combustível principal em muitos reatores navais devi-

do à sua alta densidade energética. Diz-se que os Estados Unidos da América (EUA) e o Reino Unido usam HEU com grau de armamento (mais de 90%, estima-se 93,5%) como combustível para submarinos nucleares. É dito que a Rússia usa HEU sem grau de armamento (20-90%). Supõe-se que a Índia utilize a mesma abordagem russa. Diz-se que a França e a China utilizam Haleu (5-20%).

O uso de HEU com grau de armamento é frequentemente criticado nos Estados Unidos (KUPERMAN, A.; HIPPEL, 2021). Em fevereiro de 2020, o Escritório de Não Proliferação Nuclear (DNN, na sigla em inglês) do Departamento de Energia dos EUA divulgou seu relatório, Avaliação Inicial de Conceitos Combustível-Reator para Desenvolvimento de Combustível LEU Avançado, um estudo de triagem para possíveis tipos de combustível e reatores que possam ser relevantes para tirar a propulsão nuclear naval dos EUA da dependência do combustível de urânio altamente enriquecido (HEU). O relatório do DNN foi encomendado a três laboratórios nacionais do Departamento de Energia com experiência em projetos de reatores: Idaho, Oak Ridge e Argonne. Ele acaba recomendando dois tipos de reator e sete combustíveis para futuras investigações na próxima fase de seu trabalho. Estas opções incluem reatores de água pressurizada (PWR, sigla em inglês) e uma série de possíveis combustíveis de urânio de alta densidade e baixo enriquecimento (LEU).

A origem do relatório de 2020 pode ser atribuída a um pedido do Congresso que levou, em 2014, o Gabinete de Reatores Navais (NR, sigla em inglês) a submeter ao Congresso um Relatório sobre Urânio com Baixo Enriquecimento para Núcleos de Reatores Navais. Em

comparação com um relatório sobre o mesmo tema escrito em 1995, o de 2014 foi bastante positivo¹.

HEU e Haleu são normalmente formados por elementos combustíveis compostos por placas de combustível, metálicas ou dispersões Cer-Met (óxido cerâmico em metal) ou Cer-Cer (óxido cerâmico em outro óxido cerâmico) que são projetados para uso específico no núcleo do reator nuclear do submarino. A pureza isotópica do combustível de submarinos nucleares é cuidadosamente controlada para garantir o desempenho e a segurança ideais do reator. Qualquer desvio da composição isotópica desejada pode influenciar a eficiência do combustível. O conteúdo isotópico do combustível também apresenta riscos radiológicos. No caso de danos aos elementos combustíveis, a liberação de materiais radioativos pode ter graves consequências para a saúde e o meio ambiente.

O ciclo de vida operacional de um submarino nuclear possui algumas características específicas, como duração da missão, consumo de combustível, reabastecimento e manutenção. Os submarinos nucleares podem permanecer no mar por longos períodos, variando de vários meses a mais de um ano, dependendo do perfil da sua missão e dos requisitos operacionais. A taxa de consumo de combustível depende

dos requisitos de energia, velocidade e eficiência do reator do submarino. Gerenciar o consumo de combustível e garantir um fornecimento contínuo de energia são cruciais durante missões longas. O reabastecimento e a manutenção periódicos são necessários para substituir os elementos de combustível irradiado e manter o desempenho do reator. Isso normalmente é feito em certas instalações navais.

A salvaguarda do combustível dos submarinos nucleares exige monitoramento contínuo, mesmo quando o submarino está submerso ou longe do porto. Garantir a consciência em tempo real do estado

e da segurança do combustível é um desafio significativo. A necessidade de sistemas e equipamentos de manuseamento remoto é essencial, uma vez que o acesso físico direto ao combustível nuclear é limitado devido a riscos de radiação e questões

de segurança. Impedir o roubo ou o desvio de combustível de submarinos nucleares é fundamental. As medidas de segurança devem ser robustas, incluindo controles de acesso rigorosos, lacres invioláveis e sistemas de vigilância para dissuadir e detectar o acesso não autorizado.

Planos e capacidades eficazes de resposta a emergências são cruciais para resolver quaisquer incidentes ou acidentes que envolvam combustível nuclear, tais como vazamentos ou danos nos elementos

O ciclo de vida de um submarino nuclear possui características específicas, como duração da missão, consumo de combustível, reabastecimento e manutenção

¹ “Trabalhos recentes mostraram que existe potencial para desenvolver um sistema de combustível avançado que poderia aumentar a carga de urânio para além do que é prático hoje, ao mesmo tempo que atende aos rigorosos requisitos de desempenho para reatores navais. O sucesso não está garantido, mas um sistema de combustível avançado pode... permitir usando combustível LEU com menos impacto na vida útil do reator, tamanho e custos de embarcação.”

combustíveis. O descarte seguro do combustível nuclear irradiado e dos resíduos radioativos gerados durante reabastecimento e manutenção é um aspecto crucial da salvaguarda. A gestão ambiental adequada é essencial para mitigar o impacto a longo prazo das operações nucleares.

A salvaguarda do combustível de submarinos nucleares é uma tarefa complexa e altamente especializada devido à sua composição única, ao conteúdo isotópico e ao ciclo de vida operacional. Monitoramento contínuo, manuseio remoto e medidas de segurança robustas são essenciais para proteção contra roubo, desvio e riscos radiológicos. Garantir a gestão segura do combustível dos submarinos nucleares não é apenas crucial para a segurança nacional, mas também para manter a estabilidade global e a responsabilidade ambiental no domínio das operações navais movidas a energia nuclear (JCAE, 1992).

ESTRUTURA PARA SALVAGUARDA DO COMBUSTÍVEL DE SUBMARINOS NUCLEARES

Propor uma estrutura abrangente para salvaguardar o combustível de submarinos nucleares é essencial para garantir a segurança, a não proliferação e a responsabilidade ambiental associadas a este material altamente sensível (NUNN e LUGAR, 2012). Esta estrutura integra tecnologias de ponta com um grande foco no desenvolvimento do capital humano para manter a integridade das salvaguardas. Uma proposta abrangente para essa estrutura engloba sistemas de vigilância avançados, lacres invioláveis e detecção de intrusões, monitoramento e controle remotos, desenvolvimento de capital humano, colaboração internacional, res-

ponsabilidade ambiental e prestação de contas e transparência.

Propõe-se que:

- Implantem sistemas de vigilância de última geração, incluindo rastreamento por satélite, sensores acústicos subaquáticos e capacidades de reconhecimento aéreo, para monitorar os movimentos e atividades de submarinos nucleares em tempo real. Implementem análise de dados avançada e algoritmos de inteligência artificial para processar grandes quantidades de dados de vigilância e identificar padrões suspeitos ou anômalos. Desenvolvam modelos preditivos para antecipar possíveis ameaças ou vulnerabilidades à segurança com base em dados históricos e tendências emergentes.

- Utilizem lacres invioláveis equipados com tecnologia de sensores avançada que possa detectar qualquer acesso não autorizado ou adulteração de recipientes de combustível nuclear ou instalações de armazenamento. Integrem sistemas de detecção de intrusões que forneçam alertas e notificações instantâneas em caso de violações, permitindo resposta e intervenção rápidas. Utilizem autenticação biométrica e sistemas seguros de controle de acesso para garantir que apenas pessoal autorizado possa interagir com o combustível e instalações relacionadas.

- Estabeleçam capacidades de monitoramento remoto para submarinos nucleares, permitindo a supervisão contínua do estado, segurança e condição do combustível, mesmo quando os submarinos estão submersos ou em missões longas. Implementem sistemas de controle remoto que permitam ajustes nos parâmetros do reator, procedimentos de desligamento ou ações de emergência a partir de um local seguro e centralizado. Desenvolvam canais de comunicação seguros com submarinos para troca de dados e execução

de comandos em tempo real, garantindo controle remoto confiável e seguro.

- Priorizem o treinamento e a formação do pessoal envolvido nas operações e salvaguardas de submarinos nucleares, enfatizando a importância dos protocolos de segurança, das melhores práticas e das responsabilidades éticas. Implemente cultura de segurança robusta nas organizações navais, incentivando a comunicação de questões de segurança e promovendo um sentido de dever de salvaguardar os materiais nucleares. Realizem simulações e exercícios regulares de segurança para testar a prontidão e a capacidade de resposta do pessoal em caso de incidentes de segurança ou emergências.

- Promovam a cooperação internacional e o compartilhamento de informações entre nações com frotas de submarinos nucleares para padronizar práticas de salvaguarda e melhorar a segurança global. Colaborem com organizações internacionais, como a

Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), para harmonizar as diretrizes de salvaguarda e garantir o cumprimento dos tratados e acordos internacionais.

- Desenvolvam e sigam protocolos ambientais rigorosos para o armazenamento, transporte e descarte de combustível nuclear irradiado e resíduos radioativos gerados durante reabastecimento e manutenção. Melhorem continuamente as salvaguardas ambientais para minimizar o impacto ecológico das operações de submarinos nucleares.

- Mantenham práticas rigorosas de controle e contabilidade de materiais para

rastrear o combustível nuclear desde a produção até o descarte, com documentação e relatórios completos. Incentivem a transparência na comunicação de incidentes de segurança, quase acidentes e lições aprendidas para promover a melhoria contínua e a mitigação de riscos.

Uma estrutura abrangente para salvar o combustível dos submarinos nucleares deve integrar tecnologias avançadas, enfatizar o desenvolvimento do capital humano e dar prioridade à colaboração internacional e à responsabilidade ambiental. Tal estrutura garante a segurança, a não proliferação e a gestão ambiental associadas aos materiais nucleares, salvaguardando não só os interesses

nacionais, mas também contribuindo para estabilidade e segurança globais.

Enfrentar o desafio de aplicar dispositivos de salvaguarda intrusivos em submarinos discretos, como aqueles movidos por propulsão nuclear, envolve navegar

Para salvaguardar o combustível dos submarinos nucleares, devem-se integrar tecnologias avançadas, capital humano, colaboração internacional e responsabilidade ambiental

numa interação complexa de segurança, compromissos de não proliferação e considerações militares operacionais. A questão central gira em torno de conciliar a necessidade dos submarinos manterem a sua discrição e sigilo operacional com as obrigações internacionais para impedir a proliferação nuclear.

No contexto dos acordos de salvaguarda de combustível para submarinos nucleares (ROCKWOOD, 2021), surgem vários pontos-chave das discussões em torno da salvaguarda de material nuclear em uso militar, especificamente em submarinos nucleares:

- Acordos de Salvaguardas Personalizados: a Agência Internacional de Energia Atômica colabora com os países para desenvolver acordos de salvaguardas personalizados que considerem as circunstâncias únicas de cada país, incluindo os seus programas navais de propulsão nuclear. Estes acordos visam satisfazer os objetivos de verificação técnica da AIEA e, ao mesmo tempo, respeitar as questões de segurança operacional dos submarinos.

- Transparência e Verificação: há ênfase na transparência e na verificação, esperando-se que países como a Austrália demonstrem um alto grau de transparência nas suas relações com a AIEA. Contudo esta transparência não deve comprometer a segurança operacional dos submarinos. Por exemplo, a Austrália, sob o acordo Aukus (Austrália, Reino Unido e Estados Unidos), receberia submarinos com reatores pré-abastecidos com combustível, limitando assim a possibilidade de desvio de material nuclear.

- Suspensão das Salvaguardas para Uso Militar: o TNP e as suas salvaguardas não proíbem completamente o uso militar de material nuclear. As inspeções podem ser suspensas durante o período em que o material nuclear for utilizado para fins militares, desde que o Estado cumpra os controles que impedem o desvio do material para armas nucleares. No caso da Austrália, o combustível para os seus submarinos será fornecido pelos EUA ou pelo Reino Unido e devolvido a eles após a desativação, simplificando o processo de verificação para garantir o não desvio para armas nucleares.

- Estrutura e Acordos Jurídicos: as salvaguardas da AIEA baseiam-se em acordos jurídicos entre a agência e os países individuais. Estes acordos destinam-se a garantir que os materiais nucleares não sejam desviados de usos pacíficos, aceitando

os países estas salvaguardas por meio da celebração de tais acordos. Esta estrutura jurídica fornece a base para a aplicação de salvaguardas aos materiais nucleares, incluindo os utilizados em aplicações militares, como os submarinos nucleares.

Em essência, a abordagem à salvaguarda dos submarinos nucleares enfatiza acordos personalizados que equilibram os objetivos de não proliferação com as necessidades de segurança operacional. Estes acordos baseiam-se fortemente em estruturas e acordos jurídicos internacionais que proporcionam flexibilidade para enfrentar os desafios únicos do uso militar de materiais nucleares, incluindo as características de discrição essenciais dos submarinos.

RELEVÂNCIA DA COOPERAÇÃO INTERNACIONAL E DOS MECANISMOS DE COMPARTILHAMENTO DE INFORMAÇÕES

A cooperação internacional e os mecanismos de compartilhamento de informações desempenham um papel fundamental na promoção de uma cultura global de segurança nuclear. Num mundo cada vez mais interligado, em que os materiais e as tecnologias nucleares correm o risco de proliferação, terrorismo e acesso não autorizado, os esforços de colaboração entre as nações são essenciais para mitigar de forma eficaz estas ameaças. Aqui, discutiremos a relevância e a importância da cooperação internacional e do compartilhamento de informações na construção de uma cultura global robusta de segurança nuclear.

A cooperação internacional é vital para impedir o terrorismo nuclear, uma vez que os terroristas podem explorar

lacunas de segurança em um país para adquirir materiais ou tecnologia nuclear. Os esforços de colaboração podem facilitar a troca de informações, conhecimentos especializados e melhores práticas para identificar e combater ameaças potenciais. Esta abordagem coordenada aumenta as possibilidades de detectar e impedir o terrorismo nuclear antes que ele ocorra.

A gestão segura dos materiais nucleares é uma preocupação global. Os mecanismos de compartilhamento de informações permitem que os países compartilhem conhecimentos sobre os avanços nas tecnologias, práticas e regulamentos de segurança. Esta aprendizagem coletiva ajuda as nações a reforçar a segurança dos seus materiais e de instalações nucleares, reduzindo o risco de roubo ou desvio.

A cooperação internacional é fundamental para manter os compromissos de não proliferação definidos em acordos como o Tratado de Não Proliferação de Armas Nucleares (TNP). Ao compartilharem informações sobre seus programas e atividades nucleares, as nações podem construir confiança e transparência, reduzindo assim as suspeitas sobre potenciais atividades de proliferação.

Os países em desenvolvimento podem não ter os recursos e conhecimentos necessários para estabelecer medidas robustas de segurança nuclear. A cooperação internacional pode envolver programas de orientação, formação e capacitação que ajudem estas nações a melhorar as suas infraestruturas de segurança nuclear. Esta

capacitação não só reforça a segurança de cada nação, mas também contribui para a segurança global.

Em caso de incidentes, acidentes ou emergências nucleares, a cooperação internacional é essencial para uma resposta coordenada e eficaz. O compartilhamento oportuno de informações sobre a situação, o tamanho dos danos e os riscos potenciais permite uma tomada de decisão rápida e bem informada para mitigar as consequências.

A colaboração entre as nações ajuda a padronizar protocolos e diretrizes de segurança. Organizações internacionais, como a AIEA, desenvolvem e divulgam melhores

práticas e diretrizes para a segurança nuclear. A adesão a esses padrões garante consistência e um nível mais alto de segurança em todo o mundo.

A cooperação internacional reforça a ideia de que a segurança nuclear é uma responsabilidade compartilhada.

Ao trabalharem em conjunto, as nações reconhecem o seu compromisso de manter a segurança nuclear como uma prioridade global, promovendo assim uma cultura de responsabilidade e prestação de contas.

As ameaças emergentes no domínio da segurança nuclear, como ataques cibernéticos ou sabotagem, exigem respostas inovadoras e adaptáveis. A cooperação internacional promove a troca de informações sobre a evolução das ameaças e o desenvolvimento de contramedidas eficazes.

A cooperação internacional e os mecanismos de compartilhamento de informações são indispensáveis para promover

A cooperação internacional e os mecanismos de compartilhamento de informações são indispensáveis para uma cultura global de segurança nuclear

uma cultura global de segurança nuclear. Ao transcender as fronteiras nacionais e trabalhar coletivamente, as nações podem proteger melhor os materiais nucleares, impedir a proliferação, responder a emergências e promover um compromisso compartilhado com a utilização responsável e segura das tecnologias nucleares. Esta abordagem colaborativa aumenta a estabilidade global e contribui para a segurança geral das nações e da comunidade internacional.

IMPLEMENTAÇÃO DE SALVAGUARDAS

A implementação de salvaguardas no contexto do combustível de submarinos nucleares não só aumenta a segurança destes materiais altamente sensíveis, mas também reforça o compromisso com os objetivos de não proliferação de várias formas significativas.

As salvaguardas são projetadas para impedir o acesso não autorizado e o desvio de materiais nucleares, incluindo aqueles utilizados no combustível de submarinos nucleares. Ao controlar, monitorar e proteger eficazmente estes materiais, as salvaguardas reduzem o risco de estes materiais caírem em mãos erradas, como terroristas ou Estados fora de controle que pretendam desenvolver armas nucleares. Esta abordagem proativa está alinhada com os objetivos de não proliferação, que procuram impedir a propagação de armas nucleares.

Os mecanismos de salvaguardas exigem que os países forneçam informações sobre as suas atividades, instalações e materiais nucleares a organizações internacionais, como a AIEA. Esta transparência promove a confiança entre as nações e promove a prestação de contas pelos seus programas nucleares. Ela demons-

tra um compromisso com o uso pacífico da energia nuclear e o cumprimento das obrigações de não proliferação.

As salvaguardas envolvem inspeções regulares e atividades de verificação realizadas pela AIEA e outras organizações relevantes. Estas inspeções ajudam a garantir que os países cumpram os seus compromissos de não proliferação e não estejam desviando materiais nucleares para fins ilícitos. A existência de um sistema de verificação robusto funciona como um elemento dissuasor de atividades nucleares clandestinas, reforçando os esforços de não proliferação.

A implementação de salvaguardas requer frequentemente cooperação internacional e colaboração entre países. Compartilhar informações, melhores práticas e conhecimentos especializados na salvaguarda de materiais nucleares contribui para uma cultura global de segurança nuclear e de não proliferação. Os esforços de colaboração fortalecem a capacidade das nações de impedir o uso indevido de materiais nucleares.

Muitas nações são signatárias de tratados e acordos internacionais, como o Tratado de Não Proliferação de Armas Nucleares, que as obriga a buscar o desarmamento e a não proliferação nuclear. A implementação de salvaguardas, incluindo aquelas relacionadas ao combustível de submarinos nucleares, demonstra o compromisso de um país em cumprir as suas obrigações do tratado e em contribuir com os propósitos mais amplos da não proliferação.

As salvaguardas não se concentram apenas em proteger os materiais nucleares, mas também em minimizar o risco do seu desvio ou roubo. Ao reduzir estes riscos, as salvaguardas ajudam a impedir a proliferação de armas nucleares e o surgimento de novos Estados com armas nucleares.

Isto está alinhado com o propósito central dos esforços de não proliferação.

Uma abordagem transparente e responsável à salvaguarda de materiais nucleares, incluindo aqueles utilizados em operações navais, cria confiança entre as nações. Esta confiança é essencial para o sucesso de negociações diplomáticas, dos acordos de controle de armas e dos esforços mais amplos para promoverem a paz e a segurança internacionais.

A implementação de salvaguardas para o combustível de submarinos nucleares é essencial para garantir a sua segurança e, ao ser feita, reforça o compromisso com os propósitos de não proliferação. Ao salvaguardar eficazmente estes materiais, as nações não só protegem os seus próprios interesses de segurança, mas também contribuem para os esforços globais destinados a impedir a propagação de armas nucleares, aumentando assim a paz e a estabilidade internacionais.

IMPACTO AMBIENTAL DAS OPERAÇÕES DE SUBMARINOS NUCLEARES, INCLUINDO A GESTÃO SEGURA DE COMBUSTÍVEL IRRADIADO E RESÍDUOS RADIOATIVOS

Minimizar o impacto ambiental das operações de submarinos nucleares é imperativo para garantir uma gestão responsável da energia nuclear e para proteger o ambiente marinho e a saúde humana. Este imperativo abrange vários aspectos fundamentais, incluindo a gestão segura do combustível irradiado e dos resíduos radioativos. Aqui, destacaremos a importância destas medidas.

Os submarinos nucleares operam nos oceanos, onde os ecossistemas marinhos são altamente vulneráveis às perturbações ambientais. Qualquer liberação acidental

ou manuseamento incorreto de materiais radioativos pode ter consequências graves e duradouras para a vida marinha, zonas de pesca e ecossistemas.

As tripulações de submarinos nucleares estão expostas a riscos de radiação durante o serviço. A gestão adequada de materiais radioativos e a adesão aos protocolos de segurança são essenciais para salvaguardar a saúde e o bem-estar dos submarinistas.

O descarte e a gestão seguros dos resíduos radioativos e do combustível irradiado são cruciais para impedir a contaminação do ambiente marinho. Garantir que os materiais radioativos estejam contidos e isolados do meio ambiente é fundamental.

As nações que operam submarinos nucleares devem aderir a normas e acordos internacionais relacionados com o descarte de resíduos radioativos e de combustível nuclear irradiado. A conformidade com essas normas ajuda a manter a segurança e a proteção ambiental global.

Alguns materiais radioativos permanecem perigosos por milhares de anos. A salvaguarda contra os riscos ambientais a longo prazo das operações de submarinos nucleares requer estratégias cuidadosas de planeamento, contenção e descarte.

Acidentes ou incidentes envolvendo submarinos nucleares, embora raros, podem levar à liberação de substâncias radioativas no meio ambiente. Devem existir planos de resposta e medidas de emergência eficazes para mitigar tais eventos.

Manter a confiança do público é essencial. Transparência, prestação de contas e práticas ambientais responsáveis nas operações de submarinos nucleares ajudam a reduzir as preocupações e a garantir o apoio público para estas atividades militares (BUNN, M.; HOLDREN, 1999).

Os esforços de pesquisa e desenvolvimento devem focar na expansão de tecnologias avançadas para gestão, transporte e descarte seguros de materiais radioativos. Inovações podem levar a soluções mais eficazes e ecológicas.

Antes de lançar submarinos nucleares em novas regiões ou de realizar exercícios de treinamento, devem ser realizadas avaliações exaustivas do impacto ambiental para avaliar os riscos potenciais e desenvolver estratégias de mitigação.

A colaboração entre nações com frotas de submarinos nucleares é fundamental para compartilhar as melhores práticas e conhecimentos sobre a minimização dos impactos ambientais. Esforços conjuntos podem levar ao desenvolvimento de salvaguardas ambientais padronizadas.

Minimizar o impacto ambiental das operações de submarinos nucleares, incluindo a gestão segura do combustível irradiado e dos resíduos radioativos, é um imperativo moral, ecológico e global. Ao aderir a protocolos de segurança rigorosos, acordos internacionais e práticas ambientais responsáveis, as nações podem garantir que o uso da energia nuclear em operações navais seja conduzido de uma forma que proteja o meio ambiente, preserve os ecossistemas marinhos e mantenha o bem-estar das gerações futuras.

DESAFIOS E OPORTUNIDADES AO GARANTIR A SEGURANÇA E A RESISTÊNCIA À PROLIFERAÇÃO

A aplicação de salvaguardas ao combustível de submarinos nucleares exige uma análise crucial dos desafios e oportunidades envolvidos na garantia da segurança e da resistência à proliferação deste componente vital do poder naval. Esta análise é crucial para abordar de

forma abrangente as complexidades e os riscos potenciais associados ao combustível de submarinos nucleares. A seguir, discutiremos detalhadamente de por que tal análise é imperativa.

O combustível de submarinos nucleares, muitas vezes o urânio altamente enriquecido (HEU), possui características únicas que o diferenciam de outros materiais nucleares. Essas características incluem conteúdo isotópico, composição e ciclo de vida operacional. A salvaguarda desse combustível específico exige uma compreensão profunda destas características.

A salvaguarda do combustível de submarinos nucleares apresenta um conjunto complexo de desafios de segurança devido à natureza das operações navais. Estes desafios incluem a necessidade de monitoramento remoto, garantindo segurança contínua mesmo durante missões longas, e a necessidade de proteger o combustível em águas internacionais.

A ameaça de acesso não autorizado, roubo ou desvio de combustível de submarinos nucleares é uma preocupação significativa. Se estes materiais caírem em mãos erradas, poderiam ser potencialmente utilizados para fins nefastos, incluindo o desenvolvimento de armas nucleares ou o terrorismo radiológico.

A proliferação de materiais nucleares é um risco de segurança global. Salvaguardas eficazes são cruciais para impedir o uso indevido ou o desvio de combustível de submarinos nucleares, de acordo com objetivos mais amplos de não proliferação e acordos internacionais, como o Tratado de Não Proliferação de Armas Nucleares.

A gestão segura do combustível nuclear irradiado e dos resíduos radioativos gerados durante operações navais é um aspecto vital da salvaguarda do combustível dos submarinos nucleares. Negligenciar a responsabilidade ambiental pode levar a

consequências ecológicas a longo prazo e prejudicar o ambiente marinho.

Os avanços na tecnologia, incluindo sistemas de vigilância, lacres invioláveis e monitoramento remoto, oferecem oportunidades para aumentar a segurança do combustível de submarinos nucleares. Explorar esses avanços tecnológicos é essencial para ficar à frente das crescentes ameaças à segurança.

A colaboração internacional entre nações com frotas de submarinos nucleares é crucial para estabelecer práticas comuns de salvaguarda, compartilhar melhores práticas e garantir a transparência nas operações. Essa cooperação reforça o compromisso com a segurança global e os objetivos de não proliferação.

Lidar com a segurança e a resistência à proliferação do combustível de submarinos nucleares não é apenas uma preocupação técnica, mas também uma questão de percepção pública e de prestação de contas. Garantir uma gestão transparente e responsável destes materiais promove a confiança do público nas operações navais.

Uma análise crucial dos desafios e das oportunidades na aplicação de salvaguardas ao combustível de submarinos nucleares é essencial para lidar de forma abrangente com as questões complexas que envolvem a segurança e a resistência à proliferação destes materiais. Ao fazer esta análise, as potências navais podem efetivamente melhorar a segurança global, mitigar os riscos de proliferação e manter o uso responsável da energia nuclear em operações navais, minimizando, ao mesmo tempo, o impacto ambiental.

ATUAL CENÁRIO

O tema da aplicação de salvaguardas ao combustível de submarinos nucleares, com foco na garantia da segurança e da re-

sistência à proliferação, envolve uma interação complexa de regulamentos, acordos e considerações técnicas internacionais.

Um aspecto central desta discussão é a aplicação das salvaguardas da Agência Internacional de Energia Atômica, particularmente no contexto da transferência militar-militar de material nuclear para programas submarinos (ELN, 2023). Argumentou-se que não deveria haver exclusão automática das salvaguardas para materiais nucleares simplesmente porque são utilizados em atividades militares. A ênfase está em garantir que a não aplicação de salvaguardas seja tão limitada quanto possível, abrangendo todos os processos fora do uso real de material nuclear relevante no submarino, tais como enriquecimento, fabricação de combustível, armazenamento, transporte, reprocessamento e descarte.

A abordagem da AIEA sobre a inclusão de salvaguardas no projeto de instalações de armazenamento de combustível irradiado, conhecidas como “salvaguardas desde o projeto” (SBD, sigla em inglês), é outro aspecto crucial para garantir a segurança e a não proliferação de materiais nucleares. As SBD visam facilitar a implementação eficaz das exigências de salvaguardas existentes, considerando estas exigências no início do processo de projeção de instalações nucleares.

Austrália, Reino Unido e Estados Unidos

A aplicação de salvaguardas ao programa de submarinos nucleares Aukus (Austrália, Reino Unido e Estados Unidos) é um assunto complexo e altamente técnico, que exige uma compreensão diferenciada das normas internacionais de não proliferação nuclear, dos detalhes específicos do acordo Aukus e dos aspectos técnicos da

tecnologia de submarinos nucleares. O pacto Aukus, acordo de segurança entre a Austrália, o Reino Unido e os Estados Unidos anunciado em setembro de 2021, envolve o fornecimento de submarinos nucleares à Austrália. Este acordo tem implicações significativas para a não proliferação e salvaguardas nucleares. Os seguintes pontos são pertinentes ao acordo Aukus (CARLSON, 2021):

- **Natureza da Tecnologia Nuclear em Submarinos:** os reatores nucleares utilizados em submarinos são projetados para propulsão e não para a produção de armas nucleares. No entanto, eles usam HEU com grau de armamento, que pode ser transformado em arma. Isto exige salvaguardas rigorosas para garantir que o HEU não seja desviado para fins não pacíficos.

- **Compromissos de Não Proliferação Nuclear da Austrália:** a Austrália é um Estado sem armas nucleares (NNWS), parte do Tratado de Não Proliferação de Armas Nucleares. Como tal, o país é obrigado a manter um programa nuclear civil exclusivamente para fins pacíficos e sob salvaguardas internacionais. A aquisição de submarinos nucleares coloca a Austrália numa posição única, uma vez que terá de demonstrar que as suas novas capacidades não estão sendo utilizadas para fins militares proibidos, como o desenvolvimento de armas nucleares.

- **Salvaguardas e Supervisão Internacionais:** a AIEA desempenha um papel crucial na implementação de salvaguardas. A Austrália, juntamente com o Reino Unido e os EUA, deve trabalhar em estreita colaboração com a AIEA para desenvolver uma estrutura que garanta que o programa de submarinos cumpra os compromissos de não proliferação. Isto pode envolver inspeções regulares, monitoramento e mecanismos de verificação.

- **Implicações Regionais e Globais:** o lançamento de submarinos nucleares pela Austrália poderá ter implicações significativas para as dinâmicas de segurança regional, particularmente na região do Indo-Pacífico. São necessários transparência e diálogo para responder a quaisquer preocupações levantadas pelos países vizinhos e para impedir qualquer escalada de corridas armamentistas regionais.

- **Salvaguardas Tecnológicas e Operacionais:** além da supervisão internacional, existem também salvaguardas técnicas e operacionais que são parte integrante do programa. Estas incluem manuseamento e contabilização seguros de materiais nucleares, medidas de proteção física e protocolos de segurança para impedir acidentes ou uso não autorizado.

- **Estruturas Jurídicas e Políticas:** os parceiros Aukus precisarão desenvolver estruturas jurídicas e políticas robustas que se alinhem com as normas internacionais e os acordos bilaterais. Isto inclui medidas legislativas e regulatórias que regem o uso, transferência e descarte de materiais e tecnologia nucleares.

A aplicação de salvaguardas ao programa de submarinos nucleares Aukus é um aspecto crucial da sua implementação. Ela requer uma abordagem equilibrada sobre as questões de não proliferação, permitindo ao mesmo tempo que a Austrália melhore as suas capacidades de defesa. Garantir a conformidade do programa com as normas internacionais de não proliferação nuclear e manter a transparência é essencial para mitigar quaisquer tensões regionais e para reforçar a segurança nuclear global.

O estado do programa de submarinos nucleares Aukus é marcado por avanços significativos nos aspectos técnicos e estratégicos do programa, juntamente a negociações em curso e ao envolvimento

com a AIEA para garantir a conformidade com as normas internacionais de não proliferação nuclear. O progresso do programa faz parte de uma iniciativa estratégica mais ampla que visa melhorar as capacidades militares e tecnológicas das nações Aukus.

De acordo com as últimas informações disponíveis, as negociações entre os parceiros Aukus e a AIEA estavam progredindo, com foco em garantir a conformidade com as normas de não proliferação nuclear.

Em relação ao Programa de Submarinos Nucleares Aukus:

- **Progresso do Programa de Submarinos Nucleares:** os parceiros Aukus fizeram progressos significativos no desenvolvimento e implementação do programa de submarinos nucleares. Isso inclui o estabelecimento de oportunidades de formação e treinamento para o pessoal da Marinha Real australiana, aumento do treinamento na indústria e preparativos para a iniciativa Submarine Rotational Force-West na Austrália. A primeira venda de submarinos americanos da classe *Virginia* para a Austrália está prevista para o início da década de 2030, com a entrega do primeiro SSN-Aukus construído na Austrália, no início da década de 2040.

- **Compromisso com os Padrões de Não Proliferação:** os parceiros Aukus reiteraram o seu compromisso de manter os mais elevados padrões de não proliferação nuclear. Este compromisso é crucial, pois envolve o uso de submarinos nucleares por um Estado sem armas nucleares (Austrália) sob o Tratado de Não Proliferação de Armas Nucleares.

- **Negociações Bilaterais com a AIEA:** a Austrália iniciou negociações bilaterais com a AIEA. Estas negociações estão focadas na organização de salvaguardas sob o Artigo 14 do Acordo de Salvaguardas

Abrangentes da Austrália. O resultado destas negociações será fundamental para determinar como o Programa Aukus se alinha com as normas globais de não proliferação.

- **Foco em Salvaguardas e Supervisão:** a ênfase nestas discussões é estabelecer uma estrutura robusta de salvaguardas e supervisão. Isto é essencial para garantir que o material e a tecnologia nucleares utilizados nos submarinos não sejam desviados para fins não pacíficos.

- **Estruturas Legislativas e Regulatórias:** as negociações estão sendo conduzidas no contexto das respectivas obrigações e dos compromissos jurídicos internacionais dos parceiros, enfatizando os aspectos jurídicos e regulatórios da transferência e utilização de tecnologia nuclear. Estão em curso discussões para garantir o apoio legislativo nos três países para garantir o sucesso do Aukus. Isto engloba a introdução de legislação no Parlamento australiano para estabelecer uma estrutura para a segurança nuclear, incluindo um regulador de segurança nuclear independente.

- **Aspectos Tecnológicos:** os submarinos Aukus incorporarão tecnologia de propulsão dos EUA, com reatores fornecidos pela Rolls Royce Submarine LTD. para submarinos SSN-Aukus do Reino Unido e da Austrália. Os parceiros também estão desenvolvendo um sistema de combate conjunto para estes submarinos.

- **Escopo Maior do Acordo Aukus:** além do programa de submarinos, o acordo Aukus também abrange avanços em outras áreas tecnológicas, incluindo capacidades cibernéticas, inteligência artificial, tecnologias quânticas e outras capacidades submarinas. Estes aspectos visam melhorar as capacidades conjuntas e a interoperabilidade entre as nações Aukus.

As negociações entre os parceiros Aukus e a AIEA dão uma grande ênfase

à adesão às normas internacionais de não proliferação nuclear e ao estabelecimento de um sistema de salvaguardas transparente e eficaz. O resultado destas negociações terá implicações significativas para o regime de não proliferação e para o futuro funcionamento do programa de submarinos Aukus.

Brasil

A aplicação de salvaguardas ao programa nacional de submarino nuclear do Brasil envolve uma interação complexa de normas internacionais de não proliferação, interesses de segurança nacional e inovação tecnológica. Este tópico pode ser dividido em diversas áreas-chave: o contexto do programa nuclear do Brasil, a natureza das salvaguardas internacionais e os desafios e considerações específicos na aplicação dessas salvaguardas a um programa de submarino nuclear.

A busca do Brasil por um programa nacional de submarino nuclear faz parte de seu desenvolvimento mais amplo de tecnologia nuclear, que inclui a geração pacífica de energia e a defesa nacional. Como signatário do Tratado de Não Proliferação Nuclear e membro da Agência Internacional de Energia Atômica, o Brasil se comprometeu a usar a tecnologia nuclear para fins pacíficos e a impedir a propagação de armas nucleares. É um caso único de um país que proíbe aplicações nucleares não pacíficas pela sua Constituição Federal.

A aplicação de salvaguardas ao programa de submarino nuclear do Brasil apresenta, portanto, desafios únicos:

- **Preocupações com Segurança Nacional:** os submarinos muitas vezes incorporam tecnologia militar sensível. O Brasil, como outros países com programas semelhantes, pode estar relutante em

fornecer acesso total aos seus submarinos devido a preocupações com a segurança.

- **Tecnologia de Dupla Utilização:** a tecnologia nuclear para submarinos pode ser de dupla utilização, o que significa que tem aplicações civis e militares. A salvaguarda dessa tecnologia exige um equilíbrio entre os regimes de não proliferação e os legítimos interesses de defesa do Estado.

- **Desafios Técnicos:** monitoramento e verificação no contexto de um submarino apresentam desafios técnicos, uma vez que o uso operacional de submarinos envolve mobilidade e períodos de inacessibilidade.

- **Negociações Jurídicas e Diplomáticas:** o estabelecimento de uma estrutura para salvaguardas em uma embarcação militar envolve negociações jurídicas e diplomáticas complexas entre Brasil, AIEA e, potencialmente, outros atores internacionais. Isto inclui definir a extensão do acesso dos inspetores e a natureza dos mecanismos de supervisão.

A aplicação de salvaguardas ao programa nacional de submarino nuclear do Brasil representa uma área diferenciada das relações internacionais e da tecnologia nuclear. É necessário equilíbrio delicado entre a adesão às normas internacionais de não proliferação e o respeito pela segurança e soberania nacionais. O sucesso desses esforços depende de abordagens transparentes e cooperativas que reconheçam as complexidades da tecnologia nuclear e os diversos interesses da comunidade global na manutenção da paz e da segurança.

O estado da aplicação de salvaguardas ao programa nacional de submarino nuclear do Brasil é uma questão multifacetada e em evolução, marcada pelas políticas nucleares de longa data do Brasil e pelos desenvolvimentos recentes em suas negociações com organismos internacionais.

O Brasil tem sido um ator importante na tecnologia nuclear, desenvolvendo

capacidades que abrangem todo o ciclo do combustível nuclear, incluindo extração, conversão e enriquecimento de urânio e produção de energia nuclear. O programa nuclear do país tem componentes civis e militares, sendo a Marinha do Brasil responsável pelas tecnologias de enriquecimento de urânio. A busca do Brasil por um submarino nuclear remonta a 1979 e tem sido parte de seu propósito mais amplo de modernizar sua economia e aumentar sua influência internacional. A Marinha do Brasil tem trabalhado com a empresa francesa Naval Group para adquirir tecnologia para construção de submarinos de propulsão convencional e projeto de sistemas não nucleares de submarinos nucleares.

Em termos de compromissos internacionais, o Brasil é signatário de vários tratados e acordos que enfatizam o uso pacífico da energia nuclear, incluindo o Tratado sobre a Proibição de Armas Nucleares na América Latina e no Caribe (Tlatelolco) e o Tratado de Não Proliferação Nuclear. O Acordo Quadripartite entre Brasil, Argentina, AIEA e ABACC (Agência Argentino-Brasileira de Contabilidade e Controle de Materiais Nucleares) descreve a aplicação de salvaguardas abrangentes a materiais e instalações nucleares em ambos os países.

A abordagem do Brasil ao seu programa de submarino nuclear envolve o uso de urânio de baixo enriquecimento, que não é adequado para o desenvolvimento de armas. No entanto, devido ao ciclo de combustível nuclear militar nacional do Brasil, incluindo instalações de enriquecimento, existem preocupações sobre os riscos de proliferação. O governo brasileiro iniciou consultas com a AIEA para aplicar procedimentos especiais para garantir o não desvio de materiais nucleares utilizados na propulsão naval.

Este processo de consulta é significativo, pois pode levar à celebração de acordos técnicos complementares com a AIEA, o que marcaria um grande desenvolvimento nas salvaguardas nucleares internacionais.

As negociações entre o Brasil e a AIEA poderiam ter implicações significativas para o regime de salvaguardas da ABACC e para os esforços internacionais de não proliferação de forma mais ampla. O resultado dessas conversas poderá influenciar a ordem nuclear global, potencialmente levando a acordos de salvaguardas inovadores que equilibrem a utilização pacífica da tecnologia nuclear com questões de não proliferação.

A aplicação de salvaguardas ao programa de submarino nuclear do Brasil está em uma fase de negociação e desenvolvimento ativos. O histórico de desenvolvimento da tecnologia nuclear do país, combinado com os seus objetivos estratégicos e obrigações internacionais, torna esta uma questão complexa na interseção da segurança nacional, inovação tecnológica e dos esforços globais de não proliferação.

De acordo com as últimas informações disponíveis, o estado das negociações entre o Brasil e a AIEA em relação à aplicação de salvaguardas ao programa de submarino nuclear do Brasil é marcado por discussões contínuas e complexidades inerentes à natureza única do programa do Brasil.

A iniciativa do Brasil de desenvolver um submarino nuclear, que faz parte dos seus objetivos militares estratégicos mais amplos, exigiu negociações com a AIEA para garantir que o programa esteja alinhado com os padrões internacionais de não proliferação. Os principais aspectos dessas negociações incluem:

- Procedimentos Especiais para Salvaguardas: o Brasil iniciou consultas com a AIEA para a aplicação de procedimentos

especiais para garantir o não desvio de materiais nucleares destinados à propulsão naval. Este passo é fundamental, pois envolve o estabelecimento de uma estrutura que se alinhe com as obrigações do Brasil sob tratados internacionais, como o Tratado de Não Proliferação Nuclear e acordos regionais. Esses procedimentos especiais proporcionariam à AIEA uma autoridade de inspeção mais abrangente, aumentando a transparência e a confiança no programa nuclear do Brasil.

- **Preocupações com o Ciclo de Combustível Nuclear Nacional:** a posse pelo Brasil de um ciclo de combustível nuclear militar nacional, incluindo instalações de conversão e enriquecimento de urânio, torna as negociações mais complexas. O país planeja utilizar urânio de baixo enriquecimento nos seus submarinos, o que normalmente não é adequado para o desenvolvimento de armas. No entanto a existência destas instalações levanta preocupações de proliferação, exigindo salvaguardas rigorosas.

- **Papel da ABACC:** a Agência Argentino-Brasileira de Contabilidade e Controle de Materiais Nucleares também desempenha papel importante no processo de salvaguarda devido ao Acordo Quadripartite entre Brasil, Argentina, AIEA e ABACC. O resultado das negociações do Brasil com a AIEA poderia influenciar o regime de salvaguardas da ABACC.

- **Implicações Globais:** as negociações e os seus resultados estão sendo observados de perto, pois têm implicações mais amplas para a ordem nuclear global. Elas poderiam levar ao desenvolvimento de acordos de salvaguardas inovadores que lidem com os desafios da não proliferação no contexto do uso militar da tecnologia nuclear para fins pacíficos.

- **Natureza Única do Programa do Brasil:** diferente de outros países, como

a Austrália sob o acordo Aukus, o Brasil está seguindo um caminho inteiramente nacional para o seu programa de submarino nuclear, que inclui o desenvolvimento de ciclos de combustível nuclear civis e militares. Este aspecto único acrescenta outra camada de complexidade às negociações.

Estas negociações representam um momento significativo nas relações nucleares internacionais, destacando o equilíbrio entre a segurança nacional, o avanço tecnológico e a adesão às normas globais de não proliferação. O resultado dessas discussões provavelmente estabelecerá precedentes para futuros acordos e políticas relacionadas a submarinos nucleares em Estados sem armas nucleares.

CONCLUSÃO

Este artigo apresenta uma análise minuciosa e crítica da aplicação de salvaguardas ao combustível de submarinos nucleares, destacando o complexo cenário de desafios e oportunidades associados à garantia da segurança e da resistência à proliferação deste componente vital do poder naval.

As características únicas do combustível de submarinos nucleares, incluindo a sua composição, conteúdo isotópico e ciclo de vida operacional, apresentam desafios de segurança distintos. Estes desafios exigem soluções inovadoras, tais como sistemas de vigilância avançados, lacres invioláveis e monitoramento remoto, para proteger eficazmente estes materiais contra acesso não autorizado, roubo ou desvio. Além disso, o artigo enfatiza a importância de um componente de capital humano robusto na manutenção da integridade das salvaguardas, sublinhando a importância de uma força de trabalho bem treinada e consciente da segurança.

Além disso, a análise sublinha as implicações mais amplas da salvaguarda do combustível de submarinos nucleares, incluindo o seu papel vital na manutenção dos objetivos de não proliferação, no impedimento do uso indevido de materiais nucleares e na garantia da responsabilidade ambiental. O compromisso com práticas de gestão seguras, comunicação transparente e conformidade com tratados e acordos internacionais é fundamental para promover uma cultura global de segurança nuclear e não proliferação.

À medida que navegamos num cenário de segurança em evolução, caracterizado pelo surgimento de ameaças e avanços tecnológicos contínuos, fica claro que salvaguardar combustível de submarinos nu-

cleares não é apenas um esforço técnico, mas uma questão de importância global. O uso responsável da energia nuclear em operações navais requer uma abordagem abrangente que integre tecnologias de ponta, medidas proativas e colaboração internacional.

Na busca pela segurança e estabilidade globais, salvaguardar o combustível de submarinos nucleares continua a ser um imperativo compartilhado pelas nações com capacidades navais. Ao enfrentar os desafios, abraçar as oportunidades e manter os princípios da segurança, da não proliferação e da responsabilidade ambiental, reforçamos o nosso compromisso com o uso responsável e seguro da energia nuclear, contribuindo para um mundo mais seguro e protegido para todos.

CLASSIFICAÇÃO PARA ÍNDICE REMISSIVO:

<ADMINISTRAÇÃO>; Precauções de Segurança; Programa Nuclear; Segurança;
<ARTES MILITARES>; Submarino;
<CIÊNCIA E TECNOLOGIA>; Política Nuclear; Segurança; Submarino; Submarino Nuclear;
<FORÇAS ARMADAS>; Poder Nuclear; Submarino Nuclear;
<POLÍTICA>; Política Nuclear;
<RELAÇÕES INTERNACIONAIS>; Acordo;
<SISTEMAS>; Sistema de Propulsão Nuclear; Sistema de Segurança;

REFERÊNCIAS

- BUNN, M.; HOLDREN, J. P. “Managing Military Uranium and Plutonium in the United States and the Former Soviet Union”. *Science*, vol. 284, nº 5.419, 1999, pp. 1.491-1.492.
- CARLSON, J. “IAEA Safeguards, the Naval Loophole and the Aukus Proposal”, Vienna Center for Disarmament and Non-Proliferation, 2021. Disponível em: <https://vcdnp.org/iaea-safeguards-the-naval-loophole-and-the-aukus-proposal/>.
- CNS Middlebury Institute of International Studies at Monterey. “Reducing Risks from Naval Nuclear Fuel”. James Martin Center for Nonproliferation Studies, 2021. Disponível em: <https://www.nonproliferation.org/>.

- DOYLE, J. E.; MATTHEWS, J. S. T. “Safeguarding Nuclear Materials”. *Scientific American*, vol. 291, nº 5, 2004, pp. 76-83.
- ELN – European Leadership Network. “Naval nuclear propulsion and IAEA safeguards: A view from the PrepCom”. European Leadership Network, 2023. Disponível em: <https://www.europeanleadershipnetwork.org>.
- FISHER, J. M.; FERGUSON, C. D. “The Four Faces of Nuclear Terrorism”. Center for Nonproliferation Studies, 2005.
- HIRSCH, A.; LISSNER, H. R. “The Security Implications of Naval Nuclear Propulsion”. *International Security*, vol. 13, nº 2, 1988, pp. 116-154.
- IAEA – International Atomic Energy Agency. “IAEA Safeguards to Prevent Nuclear Proliferation”. IAEA, 2019.
- IAEA – International Atomic Energy Agency. “Nuclear safeguards explained”, 2023. Disponível em: <https://www.iaea.org/topics/safeguards-explained>.
- IPFM – International Panel on Fissile Materials. “Global Fissile Material Report 2021: Nuclear Weapon and Fissile Material Stockpiles and Production”. IPFM, 2022.
- JCAE – Joint Committee on Atomic Energy. “Management and Disposition of Naval Reactor Plants”. U.S. Government Printing Office, 1992.
- KERR, K. “Nuclear Weapons: The Reliable Replacement Warhead Program”. *Congressional Research Service*, 2007.
- KUPERMAN, A.; HIPPEL, F. “US study of reactor and fuel types to enable naval reactors to shift from HEU fuel”. IPFM, 2021. Disponível em: https://fissilematerials.org/blog/2020/04/us_study_of_reactor_and_f.html.
- MIAN, Zia *et al.* “Securing the Bomb 2007: Securing All Nuclear Materials in Four Years”. *Project on Managing the Atom*. Belfer Center for Science and International Affairs, Harvard Kennedy School, 2007.
- NUNN, S.; LUGAR, R. “Nunn-Lugar Cooperative Threat Reduction Program: A Historical Overview”. *Arms Control Today*, vol. 42, nº 1, 2012, pp. 6-11.
- PHILIPPE, S. “Bringing law to the sea: safeguarding the naval nuclear fuel cycle”. *Bulletin of the Atomic Scientists*, 2014. Disponível em: <https://thebulletin.org/2014/09/bringing-law-to-the-sea-safeguarding-the-naval-nuclear-fuel-cycle/>.
- ROCKWOOD, L. “The Australia-UK-U.S. Submarine Deal: Submarines and Safeguards”. *Arms Control Today*. December, 2021. Disponível em: <https://www.armscontrol.org/act/2021-12/features/australia-uk-us-submarine-deal-submarines-safeguards>.