

## SÍNTESE DE DOCTRINA DE SEGURANÇA PARA PROJETO E OPERAÇÃO DE SUBMARINOS NUCLEARES

Leonam dos Santos Guimarães\*  
Hernani Luiz Brinati\*\*  
Jorge Pinheiro da Costa Veiga\*

\* Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo (CTMSP)  
Av. Professor Lineu Prestes 2242, Cidade Universitária, São Paulo, SP, Brasil  
e-mail: 132@ctmsp.mar.mil.br

\*\* Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP)  
Departamento de Engenharia Naval  
Av. Professor Mello Moraes 2373, Cidade Universitária, São Paulo, SP, Brasil

### RESUMO

*Este artigo apresenta um resumo de uma tese de doutorado de mesmo título. Esta tese propôs-se a organizar e sistematizar uma Doutrina de Segurança Global aplicável a futuros Submarinos Nucleares de Ataque (SNA) nacionais, considerando tanto os aspectos nucleares quanto os navais. Esta doutrina tem a forma de um conjunto de princípios básicos, critérios gerais, requisitos específicos e procedimentos de verificação do projeto e de inspeção da construção e operação, que garantam um alto padrão de segurança a esta classe de navio de guerra. Com ela, pretende-se constituir uma base consistente e coerente sobre a qual a Autoridade de Segurança Nuclear, considerando os Objetivos de Segurança propostos, possa avaliar a aceitabilidade dos riscos associados ao Ciclo de Vida do SNA, tomando assim suas competentes decisões quanto ao licenciamento do submarino.*

A afirmação de que uma instalação industrial é, simultaneamente, muito perigosa e muito segura, pode não ser necessariamente contraditória. Através de padrões de segurança tão altos quanto razoavelmente praticáveis, é possível garantir que um processo potencialmente muito perigoso seja objetivamente seguro, i.e os riscos a ele associados sejam socialmente aceitáveis.

A segurança não é absoluta. Na vida cotidiana faz-se uma série de julgamentos relativos, muitos deles inconscientes, sobre os perigos associados às possibilidades de conduzir uma determinada atividade de um modo ou de outro, como também sobre as conseqüências indesejadas que podem ser incorridas, caso não seja tomada nenhuma ação de segurança.

### ABSTRACT

*The paper presents an abstract of a doctor thesis with the same title. This doctor thesis intended to organize and to systematize a Global Safety Doctrine applicable to future national Nuclear Attack Submarines (SSN) considering both nuclear and naval aspects. This doctrine has the form of a set of basic principles, general criteria, specific requirements, design verification process and procedures for construction and operation inspection, aiming the assurance of a high level of safety pattern to these warships. Consequently, the doctrine would form a consistent and coherent basis for Nuclear Safety Authority (NSA) evaluate the social acceptability of SSN life cycle risks, considering the proposed Safety Objectives, and contributing to NSA competent decisions on submarine licensing.*

As experiências individuais de cada pessoa, assim como o conhecimento das experiências vividas por outrem, tanto positivas como negativas, são um fator determinante dos julgamentos relativos, sendo um meio fundamental para se ganhar confiança nas decisões e atingir efetivas melhorias na segurança.

Estas idéias simples aplicam-se, integralmente, à avaliação, manutenção e melhoria da segurança dos Submarinos Nucleares de Ataque (SNA), que devem atender às necessidades operativas da Marinha sem induzir, devido às peculiaridades de sua Instalação Propulsora Nuclear (IPN), riscos inaceitáveis para a tripulação, o pessoal de apoio logístico em terra, o público em geral e o meio ambiente.

Um navio é um veículo que opera de maneira autônoma em um ambiente que apresenta riscos que devem ser controlados. Esta realidade torna-se ainda mais crítica no caso de submarinos, onde o ambiente possui três dimensões. Estes riscos podem ser classificados em três categorias: acidentes internos, que podem rapidamente assumir proporções graves devido ao ambiente; riscos externos específicos ao ambiente; e riscos operativos associados ao caráter militar, no caso de navios de guerra e submarinos.

A natureza dos riscos apresentados pela IPN de um SNA, assim como pelas instalações de apoio logístico em terra que lhe são associadas, não são fundamentalmente diferentes daqueles associados às atividades nucleares civis de natureza similar. Existem entretanto algumas diferenças altamente relevantes, que devem ser consideradas quando estas são comparadas às instalações nucleares de potência estacionárias:

- O inventário de produtos radioativos presentes num SNA é significativamente menor do que aquele de um reator de potência eletronuclear, na razão direta das potências térmicas envolvidas (50-100Mwth para reatores navais, 1800-3600 Mwth para reatores eletronucleares). A grosso modo, isto implica que, considerando-se cenários acidentais similares, as conseqüências radiológicas seriam da ordem de 50 vezes inferiores para um SNA, quando comparado com uma central nuclear.
- O ambiente "móvel" naval induz uma fonte de agressões sobre a IPN sem paralelo com o ambiente "estacionário" em terra de uma central nuclear. Estas potenciais agressões devem ser levadas em consideração, sobretudo em situações de operação do submarino dentro de instalações portuárias e nas proximidades da costa. Isto implica incluir na base de projeto carregamentos significativamente mais rigorosos que os utilizados para uma central nuclear, que não é submetida à mesma diversidade e intensidade de agressões.
- As restrições impostas pela arquitetura naval limitam a variedade de soluções viáveis para o arranjo físico da instalação. A IPN torna-se então extremamente compacta, dificultando a segregação de equipamentos, suportação de tubulações e interposição de barreiras anti-mísseis, anti-fogo e para proteção contra efeitos dinâmicos de ruptura de tubulações. De forma a evitar a propagação de agressões e falhas em modo comum, torna-se portanto necessária uma análise detalhada de suas conseqüências,

cuja complexidade é seguramente maior do que as análises equivalentes para uma central nuclear, cuja arquitetura "civil" não impõe tais limitações.

- Um reator de propulsão é projetado para funcionar como um seguidor de carga que, pelas características da missão do navio, é extremamente variável. Isto implica suportar transitórios bruscos e freqüentes sem desligamento. Consequentemente, as margens de projeto, construção e operação normal são significativamente maiores do que aquelas usualmente adotadas para centrais nucleares, de modo a permitir que estes transitórios sejam operacionais, i.e. não impliquem em desligamento da IPN.
- Um SNA no mar só se encontra em segurança com respeito aos diversos riscos operativos e de navegação se ele puder dispor rapidamente da energia fornecida pela IPN. Isto posto, se a continuidade da geração de energia não for assegurada, em particular por razões ligadas à segurança nuclear, a manobrabilidade do navio, e portanto sua própria segurança naval, pode ser gravemente afetada. Pode-se então considerar que a segurança da IPN depende da segurança da plataforma-navio do SNA, que por sua vez depende da disponibilidade da instalação nuclear.

Comparando os conceitos de Segurança Naval e de Segurança Nuclear, que devem ser conciliados de forma a otimizar a segurança global de um SNA, tornando os riscos associados à sua operação socialmente aceitáveis, pode-se identificar as seguintes similaridades: mesmo objetivo, i.e. evitar conseqüências indesejadas à vida humana; presença de uma abordagem analítica; a necessidade de desenvolver normas regulamentares em resposta a eventos inesperados e anteriormente não considerados nas análises.

Entretanto, é também identificada uma diferença básica de abordagem, que deve ser conciliada em uma abordagem de segurança única para um navio dotado de propulsão nuclear, consistente com a segurança da tripulação, do público e do meio ambiente: a Segurança Naval enfatiza a capacidade de sobrevivência do navio como meio de atingir seu objetivo; e a Segurança Nuclear, por outro lado, tem sua ênfase principal colocada sobre a integridade do reator e, complementarmente, sobre a integridade das barreiras físicas que contêm os produtos radioativos em caso de ocorrência de acidentes, como meio de atingir seu objetivo.

Esta abordagem unificada deve considerar que os submarinos poderão situar-se em três domínios de operação distintos: Normal; Anormal, no qual o navio somente operará involuntariamente (avaria, agressão externa, erro humano), sendo o objetivo retornar a uma condição segura; e Acidental, para o qual não se preconiza uma operação propriamente do navio, sendo o objetivo nesta situação a execução de procedimentos de salvaguarda ou de emergência para tornar aceitáveis as conseqüências do acidente.

Assim, uma Doutrina de Segurança para Submarinos Nucleares de Ataque deverá considerar que:

*O submarino deve ser projetado, construído e operado de forma a ser dotado de características intrínsecas e de meios complementares suficientes para garantir que, na presença das três categorias de riscos:*

- I. *a possibilidade da operação normal do navio evoluir para o domínio anormal seja extremamente reduzida;*
- II. *a partir de uma condição de operação anormal, o navio possa retornar o mais rápido possível a uma condição segura;*
- III. *na ocorrência de acidentes, a máxima prioridade seja dada à proteção da vida humana; isto requer que as conseqüências dos acidentes para o próprio navio sejam minimizadas, de modo a proteger sua tripulação, o público e o meio ambiente.*

Esta doutrina estabelecerá que o submarino (note-se que não somente o reator mas o submarino como um sistema que inclui o reator), deve ser projetado, construído e operado de forma a não ocorrerem liberações descontroladas de materiais radioativos. Isto implica que a integridade da plataforma-navio será de importância primária, pois a sobrevivência do submarino será em si mesmo o fator mais importante para a segurança da IPN e para a contenção e confinamento de materiais radioativos. Em situações de risco iminente, a continuidade da operação da IPN deverá ser possível, mesmo que isto possa implicar em aumento dos riscos residuais de danos à IPN, de forma a evitar conseqüências graves para a plataforma-navio e garantir a Segurança Global do SNA.

Esta necessidade deriva do fato incontestável de que um submarino governável,

ainda que com uma IPN com alguns danos, é intrinsecamente mais seguro do que um submarino com um reator íntegro mas desligado, logo com a propulsão principal indisponível. Isto não quer dizer, sob nenhuma hipótese, que a segurança da IPN deva deixar de ser considerada importante, nem que não deva ser analisada detalhadamente, ou que não existam situações nas quais a segurança da IPN preceda a segurança da plataforma-navio.

Obviamente, um submarino em situações extremas, pousado inerte no fundo do mar com o reator desligado em estado seguro é uma situação mais favorável, em termos de liberação de produtos radioativos, do que um submarino, nas mesmas condições, mas com o Circuito Primário ou a estrutura de Contenção rompidos. Portanto, se o funcionamento da IPN além das condições normais previstas em suas especificações técnicas não garantir o salvamento do submarino (logo também da própria IPN), o reator deverá ser compulsoriamente desligado.

Da constatação destes fatos, decorre que a segurança de um SNA fundamenta-se na otimização do conjugado disponibilidade x seguridade. Esta otimização é alcançada através de soluções de compromisso, derivadas de análises do tipo custo/benefício.

Para a maioria dos engenheiros navais e submarinistas, esta premissa deve parecer óbvia. Entretanto, a efetiva percepção da diferença que isto implica com respeito ao fundamento de otimização exclusiva da seguridade aplicado às instalações nucleares estacionárias nem sempre deve parecer evidente para os técnicos de outras áreas envolvidos com o projeto, construção, operação e licenciamento dos Submarinos Nucleares de Ataque.

Com base na experiência operacional de submarinos, navios de guerra de superfície e navios mercantes nucleares até o presente, pode-se afirmar que é muito pouco provável que o comandante venha a realmente enfrentar uma situação onde tenha que decidir entre a IPN e o plataforma-navio e sua tripulação.

Entretanto, esta possibilidade existe e será justamente a aplicação de uma doutrina de segurança adaptada a estas circunstâncias ao longo de todas as fases da vida útil do SNA que poderá reduzir a probabilidade de que uma tal decisão venha um dia a ter que ser tomada. Um profundo entendimento desta doutrina e das conseqüências de sua aplicação, de modo a retirar o submarino de uma situação de risco iminente,

ainda que aceitando algum dano no reator e seus sistemas, é de fundamental importância para a segurança dos SNA, entendidos como um sistema integrado naval/nuclear.

Considerando tanto os aspectos nucleares quanto os navais, a tese propôs-se então a organizar e sistematizar uma Doutrina de Segurança Global aplicável a futuros SNA nacionais que atenda a estas premissas.

A doutrina proposta tem a forma de um conjunto de Princípios Básicos, Critérios Gerais, Requisitos Específicos e Procedimentos de verificação do projeto e de inspeção da construção e operação, que propõe-se a garantir um alto padrão de segurança a esta classe de navio de guerra. Com ela, pretende-se constituir uma base consistente e coerente sobre a qual a Autoridade de Segurança Nuclear possa avaliar a aceitabilidade dos riscos associados ao Ciclo de Vida do SNA, tomando assim suas competentes decisões quanto ao licenciamento do submarino.

Entendendo-se segurança como percepção social de riscos, foram discutidos o detalhamento, as interpretações, as derivações e as aplicações tecnológicas deste conceito básico em três contextos específicos: a disciplina de aplicação geral denominada Segurança de Funcionamento de Sistemas Industriais (*Reliability – Availability – Maintainability - Safety*); a Segurança de Instalações Nucleares "Estacionárias", em especial de reatores de potência eletronucleares; a Segurança Naval, que engloba tanto a Segurança Marítima (segurança da navegação, salvaguarda da vida humana no mar), típica de condições normais de paz, como a Capacidade de Sobrevivência (*Survivability*), típica das condições de guerra ou conflito.

Com base nesta discussão inicial, foi feita, em seguida, uma primeira abordagem global à Segurança da Propulsão Nuclear, onde foram sintetizadas as aplicações do conceito básico nestes três contextos, ressaltando-se sua fundamentação na otimização do conjugado disponibilidade x segurança.

Os Princípios Básicos de Segurança foram, a partir desta síntese, adaptados às particularidades da propulsão nuclear de SNA. Os Princípios Básicos incluem os Objetivos Gerais de Segurança, assim como os Princípios de Gerenciamento, Princípios de Defesa em Profundidade e Princípios Técnicos que orientam como estes objetivos poderiam ser alcançados.

Em seguida foram propostos Critérios Gerais de Segurança para o projeto da IPN e de

suas interfaces com a plataforma-navio do SNA. Os Critérios Gerais incluem Critérios de Probabilidade de ocorrência e Critérios de Gravidade de conseqüências para a disponibilidade do SNA, para a tripulação, para o pessoal de apoio em terra, para o público em geral e para o meio ambiente.

Estes critérios foram associados formando Critérios de Risco, que constituem os Objetivos Detalhados de Segurança ODS. Os ODS são diferenciados em função da gravidade das conseqüências de um cenário operacional, e quantificados com o objetivo de fixar os conjugados Frequência Anual de Ocorrência FAO x conseqüências máximas aceitáveis, sendo definidos com relação a posições geográficas típicas:

- I. submarino atracado ou fundeado em porto civil (próximo a aglomerações humanas);
- II. submarino atracado ou fundeado em base naval (distante de aglomerações humanas);
- III. submarino operando em águas costeiras; e
- IV. submarino operando em águas oceânicas.

Pretende-se que, com base nestes ODS desenvolvidos seja futuramente constituída, pela ASN, uma base objetiva sobre a qual a aceitabilidade dos riscos associados ao Ciclo de Vida do SNA possa ser avaliada.

Foram ainda desenvolvidos Critérios para determinação das Condições de Processo da Instalação Nuclear CPIN e Situações Operacionais do Submarino SOS postuladas para análise de segurança pelos Critérios de Risco e Critérios de Projeto determinísticos, que orientam o desenvolvimento do projeto integrado do conjunto de sistemas que compõem o SNA e que garantem a adequação da segurança aos Princípios Básicos qualitativos.

Os Requisitos Específicos de segurança aplicáveis ao projeto de estruturas, componentes e sistemas da plataforma-navio do SNA, da IPN e instalações de máquinas, derivados dos Critérios Gerais foram, a seguir, desenvolvidos, englobando ainda os aspectos de Garantia da Qualidade, Proteção Radiológica, Operação, Inspeções e Testes. Os Requisitos Específicos constituem regras quantitativas que determinam o projeto individual das partes integrantes do SNA, e que asseguram que os sistemas individuais do submarino, quando integrados, atendam aos Critérios Gerais.

Foram propostas diretrizes para o estabelecimento de uma regulamentação do processo de licenciamento dos SNA pela Autoridade de Segurança Nuclear (ASN) e dos procedimentos de verificação da segurança do projeto e de fiscalização da construção e operação associados, e discutidos o conteúdo e a organização do Relatório de Análise de Segurança (RAS), documento básico deste processo, finalizando-se assim o desenvolvimento da estrutura da Doutrina de Segurança proposta.

À ASN caberá, no futuro, implementar a regulamentação e controle das atividades relacionadas ao Ciclo de Vida do SNA, de forma a garantir, perante a sociedade brasileira, que os riscos a elas associadas são aceitáveis. Pretende-se que a Doutrina de Segurança desenvolvida pela presente tese e proposta para aplicação aos SNA nacionais, que se espera estarem operacionais no início do próximo século, venha a constituir uma efetiva contribuição para um eficaz e eficiente desempenho desta missão constitucional.

Esta ASN, com jurisdição sobre os SNA, deverá ser estabelecida com base num modelo organizacional similar àquele praticado para a ASN com jurisdição sobre as instalações nucleares

estacionárias de natureza civil. Poderá, dentro de um escopo ampliado para além dos SNA, constituir um Autoridade de Segurança Nuclear Militar ASNM, distinta da ASN civil, sendo responsável pela regulamentação e controle de todas as atividades nucleares afetas ao Ministério da Defesa, que se encontra, em 1999, sendo implantado pelo Governo Brasileiro.

#### BIBLIOGRAFIA

1. GUIMARÃES, L.S., Síntese de Doutrina de Segurança para Projeto e Operação de Submarinos Nucleares, tese de doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo EPUSP, São Paulo, Brasil, 1999.
2. GUIMARÃES, L.S., Conception des Réacteurs de Propulsion Navale, projet de fin d'études, cours d'ingénieur atomique, Institut National des Sciences et Techniques Nucléaires INSTN, Université de Paris XI, Saclay, França, 1993.
3. GUIMARÃES, L.S., Modernas Tendências no Projeto de Submarinos, dissertação de mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo EPUSP, São Paulo, Brasil, 1991.