

# VAPOR E RADIAÇÃO: PONDERAÇÕES NO EMPREGO DO CONTROLE DE AVARIAS PARA A SEGURANÇA DO SUBMARINO NUCLEAR BRASILEIRO



Suboficial-ET-SB Marcos Rodrigues da Silva

## RESUMO

Inéditos elementos estarão presentes a bordo do Submarino de Propulsão Nuclear Brasileiro, quais sejam, o vapor e a radiação. Tais componentes são inerentes a esse tipo de propulsão e merecem ponderações sobre algumas problemáticas que devem ser conhecidas e analisadas por toda a tripulação. Esses agentes de riscos exercerão grandes efeitos na condução do controle de avarias a bordo. O assunto é vasto e complexo, por esse motivo o artigo limita-se a apresentar as principais características desses elementos e como eles influenciam na Doutrina do Controle de Avarias e Operação do SN-BR. Motivado pela importância dessas reflexões e sem a pretensão de esgotar a temática, o artigo utiliza uma linguagem simples para a melhor compreensão dos caros leitores.

## 1 INTRODUÇÃO

O vapor e a radiação serão verdadeiros “pagãos” a bordo. A dupla mergulhará pela primeira vez em uma belonave da nossa Força de Submarinos (ForSub), a saber, o Submarino Nuclear Brasileiro (SN-BR). O calor produzido no reator será utilizado para produzir o vapor que fluirá pelas turbinas de propulsão. A radiação será oriunda do material radioativo que constitui o combustível desse reator. Além disso, algumas das *peculiaridades* do submarino (Sb) podem contribuir para a intensificação da severidade de um acidente que envolva liberações de produtos radioativos ou de vapor vivo. É preciso salientar que todos os embarcados deverão ser adestrados e instruídos sobre como lidar com esses novos componentes e com os possíveis eventos que os

envolvam. Esses fatores exercem aspectos relevantes no emprego do controle de avarias e na segurança do submarino. Esse panorama deve estimular um trabalho de coesão entre as Organizações responsáveis pela instrução, adestramento e formação dos envolvidos no controle e operação dessa fantástica belonave. Em virtude da importância dessas ponderações, esse autor recorre aos aprendizados adquiridos na vivência operacional, aos seus estudos na Instituição e, ainda, a pesquisas em publicações ostensivas. Considerando também que a temática é ampla e complexa, o artigo expõe um texto sucinto e de linguagem simples para uma melhor compreensão.

## 2 CONHECENDO A INSTALAÇÃO PROPULSORA NUCLEAR DO SN-BR

O reator do Submarino Nuclear deverá ser semelhante ao que está sendo desenvolvido para o Laboratório de Geração Nucleoelétrica (LABGENE). O laboratório é um protótipo de propulsão nuclear para submarino em terra que visa replicar a *Instalação Propulsora Nuclear* (IPN) do futuro SN-BR. Seu objetivo é a realização de testes de todas as situações de operações cabíveis para a IPN, de forma a validar o seu projeto. Sendo assim, o SN-BR deverá possuir um Reator do tipo PWR (reatores de água pressurizada, na sigla em inglês), sob um projeto de segurança das mais utilizadas e consolidadas internacionalmente. A IPN será estruturada basicamente em três principais Blocos: 40, 30 e 20.

**1. Bloco 40:** é um compartimento estanque que servirá de contenção para todo o material radiativo do submarino. Ele será composto pelo Circuito Primário, onde ocorre o ciclo geração / refrigeração nuclear.

- \* **Primário:** circuito fechado de água pressurizada onde ocorre a geração do calor principal. Constituído pelo vaso do reator contendo as varetas de combustível, onde ocorre a fissão dos átomos de urânio, gerando calor e transferindo para o refrigerante; *Bombas de Circulação Principal (BCP)*, *Pressurizador (PZ)* e o *Gerador de Vapor (GV)*, onde se realiza uma troca de calor entre as águas deste circuito e a do circuito secundário que são independentes entre si, produzindo o vapor principal para as turbinas.
2. **Bloco 30:** previsto para não ser estanque, abrigará o Circuito secundário.
- \* **Circuito Secundário:** é ciclo de conversão vapor / geração elétrica. Nesse ciclo, o vapor gerado no GV é utilizado para realizar trabalho nos Turbo-geradores, gerando energia elétrica para alimentar o *Motor Elétrico Principal (MEP)* e Sistemas Auxiliares do Sb. O vapor, depois de mover a turbina, passa pelo *Condensador*, que é refrigerado pela água do mar através de um circuito independente.
3. **Bloco 20:** comportará o MEP. Diferentemente do protótipo, o SN-BR não prevê possuir o Freio dinâmométrico. Este é usado no protótipo para simular a resistência do mar, fornecendo torque ao Motor. (Figura 1).

A Propulsão Naval deverá dispor dos principais Sistemas de Proteção:

1. **Sistema de Desligamento Rápido do Reator (SCRAM).** Sistema que insere rapidamente e de uma só vez todas as barras absorvedoras de nêutrons no núcleo, fazendo cessarem as fissões. É usado em condições de operação normal e de emergência.
2. **Sistema de Resfriamento de Emergência (SRE).** Possui basicamente duas funções: realizar a remoção de calor de decaimento<sup>1</sup> e reposição de água do reator nas duas condições de operação do reator. Deverá, ainda, possuir a condição de realizar o resfriamento no modo circulação natural. Assim, a água do Primário que resfria o reator circula naturalmente por diferença de densidade, sem a necessidade da BCP.
3. **Sistema de Injeção de Boro (SIB).** Sistema que prevê uma solução de ácido bórico para ser injetada diretamente no refrigerante do reator com o objetivo de realizar seu desligamento. Deverá ser utilizado somente em caso de extrema necessidade; quando o SCRAM falhar.

1 Calor proveniente da desintegração radioativa dos produtos de fissão presentes no combustível nuclear.



Figura 1: Equipamentos Principais LABGENE.

4. **Barreiras de Contenção:** São sucessivas barreiras físicas que servem de contenção segura da radioatividade produzida na fissão nuclear.

Cabe ainda destacar que o reator está sendo projetado para possuir uma importante e exigida segurança intrínseca do ponto de vista de operação e controle. Essa autopreservação é dada por uma propriedade denominada *coeficiente de reatividade negativo*, que, em caso de um superaquecimento, diminui o número de fissões, auxiliando no seu desligamento.

### 3 O VAPOR E SEUS RISCOS NO SUBMARINO

O primeiro elemento, embora já tenha sido muito empregado nas turbinas dos navios da Esquadra, fluirá em meio a um ambiente hermeticamente fechado, criando um potencial de severidade às consequências de um eventual vazamento. Sua utilização na Marinha do Brasil (MB) sempre exigiu cuidados na manipulação e, por mais experiência que tivessem seus marinheiros, infelizmente, ocorreram sinistros que causaram lamentáveis baixas. O vapor será proveniente da troca térmica entre os refrigerantes do circuito Primário e Secundário, realizada no GV, que fornecerá o vapor saturado com aproximadamente cem por cento de título<sup>2</sup> para as turbinas de propulsão e auxiliar. (Figura 2).



Figura 2: Submarinos com propulsão nuclear.

O potencial de risco deve-se ao fato de que a liberação do vapor à alta pressão, para um ambiente de pressão muito menor, como o ambiente interno do submarino, é transformada instantaneamente em vapor superaquecido. Em caso de uma pequena ruptura,

<sup>2</sup> Seu valor varia entre 0 e 100 % e representa a qualidade ou secura do vapor, ou seja, o inverso da umidade.

será invisível a olho nu e capaz de causar queimaduras extensas e profundas em uma pessoa que porventura estiver no compartimento afetado. Semelhantemente, poderá acontecer se a tubulação por onde flui o refrigerante do reator sofrer uma ruptura. Ainda que esteja no estado líquido, o fato de estar com sua temperatura muito acima da sua saturação o transformará em vapor superaquecido também. (Figura 3).

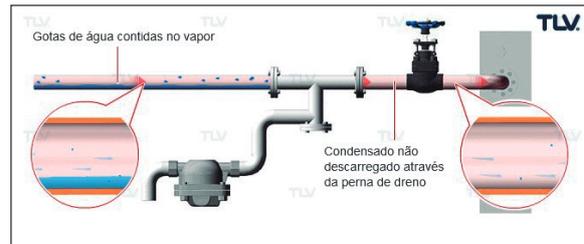


Figura 3: TLV.

A fim de ilustrar esse potencial de risco, recorre-se ao artigo “Acidentes com Submarinos” publicado nesta revista. A obra descreve, entre outros casos, um acidente ocorrido com o submarino nuclear francês, S-604 Émeraude, em março de 1994. O S-604 passava por um alagamento, então o comando deu a ordem de retornar à superfície imediatamente usando toda a potência do reator. Durante a subida, a admissão de água para o resfriamento do condensador principal precisou ser fechada. Isso fez com que a pressão no condensador aumentasse a tal ponto, de atingir o valor de ruptura do seu disco de sobre pressão, liberando vapor saturado para o compartimento de máquinas. Esse fato levou à morte dez militares que estavam no compartimento, incluindo o próprio comandante (LOBO, 2014, p. 109).

### 4 A RADIAÇÃO E SEUS RISCOS NO SUBMARINO

A descoberta da reatividade emitida por certos materiais levou ao desenvolvimento de inúmeras aplicações benéficas para a sociedade em todo o mundo, tais como geração de energia elétrica, tratamento e diagnósticos médicos, entre outros. Em contrapartida, descobriu-se que também poderia causar efeitos biológicos potencialmente danosos. Os efeitos dependem do nível de exposição ou dose recebida, podendo

ser *estocástico*<sup>3</sup> ou *determinístico*<sup>4</sup>. Em termos do tempo de manifestação podem ser imediatos ou tardios. No SN-Br, o material radioativo estará confinado nas pastilhas de combustível do reator e protegido por sucessivas barreiras como revestimento metálico da própria vareta de combustível, refrigerante, contenção e anteparas. As mesmas visam confinar o material e barrar ou atenuar as principais emissões, como alfa ( $\alpha$ ), beta ( $\beta$ ), gama ( $\gamma$ ), nêutrons ( $n$ ). A proteção contra os perigos radiológicos será efetiva se forem tomadas medidas que garantam a integridade das contenções e que os níveis de doses *recebidas pela tripulação sejam mantidos tão reduzidos quanto razoavelmente exequíveis e abaixo dos limites estabelecidos*.

## 5 O CONTROLE DE AVARIAS

Conforme descrito no Manual do Controle de Avarias em Submarinos, a atividade deve ser considerada como assunto de responsabilidade comum a todos de bordo. O seu propósito principal é a manutenção do máximo poder combatente. A bordo existe um grupo designado *Reparo de CAv*, constituído de praças escolhidas para auxiliarem o Encarregado do CAV na realização de fainas e reparos de emergência. Esse grupo é responsável pelas ações de enfrentamento da *Batalha Interna*<sup>5</sup> no submarino. Vencer a batalha interna é um fator fundamental para a sobrevivência do navio. Portanto, o tratamento correto dos novos elementos inseridos em um ambiente estritamente peculiar impõe grandes esforços para a atualização das orientações para o CAv. Tais orientações deverão conduzir os militares a enfrentarem, adequadamente, as já conhecidas e as novas situações de perigo e assim manterem o poder combatente e a operatividade do seu submarino. A presença das fontes radioativas exigirá dos indivíduos

<sup>3</sup> São efeitos em que a probabilidade de ocorrência é proporcional à dose de radiação recebida, sem a existência de limiar (TAUHATA, L. et al., 2013).

<sup>4</sup> São produzidos por doses elevadas, acima do limiar, onde a severidade ou gravidade do dano aumenta com a dose aplicada. (TAUHATA, L. et al., 2013).

<sup>5</sup> Conjunto de ações que visam assegurar, após ocorrência de avarias causadas ou não pelo inimigo, a manutenção e/ou o restabelecimento da integridade da unidade, sua capacidade “combatente e por conseguinte, o cumprimento da missão. Compreende as atividades de combate às fainas de emergência, tais como incêndio, alagamento, socorro etc. (CAAML-1201).

ocupacionalmente expostos (IOE)<sup>6</sup> o entendimento dos fundamentos da Proteção Radiológica (PR) antes de embarcarem. Esse conhecimento é usado na prevenção e execução das atividades afetas à radiação. Eles deverão estar preparados para eventos radiológicos indesejáveis. Necessitarão de meios para mitigar a extensão das exposições devido às movimentações de fontes ou fainas de *descontaminação eventuais*. Precisarão de detectores de radiação, dosímetros, ferramentas especiais e equipamentos de proteção individual (EPI) contra radiação. (Figura 4). Quanto ao trato desses conhecimentos, caberá ao *Centro de Instrução e Adestramento de Aramar* (CIANA) prover a formação dos Operadores do LABGENE, do IPN e a instrução desses futuros tripulantes do SN-BR nos assuntos pertinentes à Proteção Radiológica. (SILVA, 2014, p. 39).



Figura 4: Equipamentos de proteção individual (EPI).

<sup>6</sup> Todo indivíduo sujeito a exposição ocupacional, ou seja, em decorrência do seu trabalho ou treinamento.

## 6 SEGURANÇA DO IPN E DO SUBMARINO – NAVEGAR E COMBATER

Evidentemente que a segurança da “*operação nuclear*” é interdependente da segurança da embarcação propriamente dita, de forma que a perda do controle do reator poderá trazer graves consequências à operação do Sb. Neste sentido, um incêndio ou alagamento poderá colocar em risco o controle da IPN, evidenciando a importância do Controle de Avarias na segurança do submarino de forma geral. Essa caracterização de reciprocidade ou interdependência de segurança é chamada de segurança “*submarino – reator*” (GUIMARÃES, 1997, p. 197-208). Por isso, uma vez dado o alarme, as equipes de intervenção devem chegar ao local imediatamente para extinguir o fogo ou estancar um alagamento. A *Doutrina Operativa* deverá fornecer instruções que assegurem em qualquer condição da IPN que a reação em cadeia possa ser cessada e controlada e que o *calor residual*<sup>7</sup> possa ser seguramente removido.

Extrapolando esses comentários, pode-se considerar os possíveis cenários:

**Cenário 1:** um princípio de alagamento no Sb pode forçar o comandante a ordenar a *superfície em emergência*. A eficiência no combate à avaria pela equipe de reparo determinará essa demanda. Caso contrário, será necessário cumprir os procedimentos de subida com extrema rapidez, prejudicando a observação do quadro tático na superfície. Com isso o Sb ficaria vulnerável à colisão, o que traria riscos à integridade do IPN.

**Cenário 2:** a ocorrência de um acidente de ruptura da tubulação do Primário com grande perda de refrigerante, conhecida por “*Loss of Coolant Agent*” (LOCA). Esse evento causaria o desligamento do reator e o esgotamento do seu vaso para a contenção, análogo a um alagamento em submarinos. Com isso, a energia do Sb ficaria totalmente dependente dos sistemas alternativos, como geradores diesel-elétrico e bateria (que possuem tempos limitados de fornecimento). Um efeito de superfície livre neste compartimento poderia interferir na estabilidade do navio, comprometendo o andamento das operações e da navegação.

Como pode ser visto, seu comportamento como *navio* impõe à Instalação Propulsora suportar as di-

<sup>7</sup> Mesmo após o desligamento do reator, o núcleo continua gerando calor devido ao calor de decaimento.

versas manobras do Sb, ou seja, no *plano horizontal e vertical*. O caráter *combatente* exerce as características mais complexas ao projeto do núcleo do reator, tendo em vista as necessidades de resistir às intempéries das condições táticas e estratégicas. As grandes mudanças de velocidade demandam rápidas variações de potência. Consequentemente, levaria o comandante a exigir o máximo da sua IPN.

## 7 A IMPORTÂNCIA DOS CENTROS DE INSTRUÇÃO E ADESTRAMENTO

Devido aos novos elementos de risco, necessários para o funcionamento da IPN, faz-se mister que os militares atuantes na sua operação dominem os fundamentos da neutrônica e termo-hidráulica para uma operação consciente e segura. Da mesma forma, precisam compreender os inúmeros e complexos sistemas de automação de controle e proteção dessa plataforma tecnológica. Sendo assim, o Centro de Instrução e Adestramento Almirante Áttila Monteiro Aché (CIAMA) – subordinado ao ComForS –, e o CIA-NA, subordinado ao Centro de Industrial de Aramar (CINA), localizado em Iperó (SP), deverão concatenar a atualização das diretrizes pertinentes às Doutrinas de Operação, Segurança e de Controle, de forma que abordem os aspectos relevantes do comportamento dos novos componentes da energia propulsora, bem como os aspectos de projeto construtivo e de seus sistemas e do Sb. Ressalta-se também a importância do acompanhamento sistemático da higidez psicológica dos militares envolvidos pelo Corpo de psicólogos de submarinos.

## 8 CONCLUSÃO

Pode-se concluir que não se trata de um artigo com abordagem alarmista. Como pôde ser visto, a IPN é segura no ponto de vista de projeto. Revela-se tão-somente uma proposta de reflexão. Para isso, demonstra-se como as propriedades nocivas pertinentes aos componentes advindos da Propulsão Nuclear e às características dicotômicas do SN-BR inovam os cenários de condução operativa e do controle de avarias a bordo. A agressividade do vapor ficou evidenciada pelo acidente com o *Émeraude*, exemplificado anteriormente. Sobre o material radioativo, foram ressaltados os riscos à exposição e necessidade de aquisição

de EPIs e dispositivos apropriados para o caso de seu manuseio e monitoração por parte do reparo de Cav. Estes necessitarão de treinamento, pois sua manipulação exige perícia.

Os Cenários 1 e 2 demonstraram como as características navais e militares do SN-BR podem impor ao comandante exigir o máximo da sua instalação propulsora, mesmo que isso possa levar a graves consequências ao reator ou ao submarino.

Todas essas situações podem trazer novidades às atuais filosofias operacionais e de controle da plataforma. Considera-se que essa atualização deverá abordar o caráter dual como um sistema, ajustando e sintetizando os aspectos relevantes da sua segurança física e tática.

Afinal, a despeito dessas considerações, não serão os projetistas que operarão o reator sob os diversos riscos, ainda que remotos, provenientes dos aspectos de navegabilidade e de Vetor combatente do Sb. Por esse motivo, o artigo pondera sobre a importância de se possuir uma tripulação bem instruída nos fundamentos comportamentais de todos os elementos que constituem essa nova tecnologia embarcada. Entende-se que a melhor estratégia contra fainas de emergência é a prevenção. Conhecer as peculiaridades do navio e realizar adestramentos análogos com situações realísticas contribuirá para a preservação global do SN-BR. Isso denota a relevância de se inculcar na personalidade da Organização e nos militares do processo um conjunto de características, pensamentos e atitudes que os levem a priorizar ao máximo os aspectos de segurança em todas as suas ações, os quais refletem nos seus procedimentos rotineiros. Isso deverá implicar no desenvolvimento de uma força-tarefa entre o ComForS e o CINA, representados pelos seus Centros de Instrução.

Destaca-se, quanto a isso, que a história centenária da Força de Submarinos mostra que as operações com suas belonaves são substancialmente seguras e patentes, conferindo-lhes a credibilidade de que com o SN-BR também será assim.

Portanto, a sociedade brasileira pode confiar que a MB continuará preparando seus *marinheiros* para operarem com conhecimento e segurança seus navios e submarinos e, se convocada para “*erguer a clava forte*”, será capaz de empregar sua força e *expertise* com a convicção de que regressará ao seu porto seguro gozando do sentimento de missão cumprida.

## REFERÊNCIAS

GUIMARÃES, L. D. Introdução às instalações propulsoras nucleares navais: conceitos básicos e particularidades. *Revista Marítima Brasileira*, v. 117, n. 07/09, outubro/dezembro, p. 197-208.

LOBO, Thadeu M. O. C. Acidentes com Submarinos. *O Periscópio* (2014, n. 67, p. 109).

SILVA, M. R. (2014). A Importância do CIANA para a Segurança das Instalações Nucleares do Poder Naval. *O Periscópio* (2014, n. 67, p. 39).

TAUHATA, L. et al. Radioproteção e dosimetria: fundamentos. 9. rev. Rio de Janeiro: IRD/CNEN, 2013.