

# A BUSCA DE GRANDEZA (IV)\*

**ELCIO DE SÁ FREITAS**  
Vice-Almirante (Ref<sup>2</sup> -EN)

---

## SUMÁRIO

- Projeto *versus* Construção
  - Breve retrospecto*
  - Comparação*
- Construção: Preparação de equipes e construção na Alemanha
  - Garantia de Qualidade na construção de submarinos*
  - Preparação de equipes do Arsenal e da DEN*
  - Sistema de Garantia de Qualidade da construção na Alemanha*
  - Sistema de Garantia de Qualidade de construção da HDW*
  - O BWB*
  - Ação do BWB nos fabricantes de equipamentos e na HDW*
  - Treinamento da equipe do Arsenal na HDW*
  - Treinamento da equipe de Garantia de Qualidade da DEN no BWB*
  - Provas de mar do Submarino Tupi na Alemanha*
- Construção: produção de submarinos IKL no Brasil
  - A decisão de fabricar as seções do casco resistente na Nuclep*
  - Fabricação e Garantia de Qualidade na Nuclep*
  - Preparação da infraestrutura do Arsenal*
  - Fabricação e Garantia de Qualidade no Arsenal*
  - Retaguarda técnica*
  - Corte circunferencial do casco resistente*
- Programa Permanente de Projeto e Construção de Submarinos

---

\* Matéria em continuação à série publicada no 3º trimestre de 2006, 2º trimestre de 2007 e no 1º trimestre de 2011.

O Almirante Elcio serviu na Diretoria de Engenharia Naval de dezembro de 1981 a agosto de 1990, tendo sido seu diretor de dezembro de 1984 a agosto de 1990.

## PROJETO VERSUS CONSTRUÇÃO

## Comparação

### Breve retrospecto

As décadas de 1980/1990 foi parte da etapa marcante no desenvolvimento da Marinha iniciada nos anos de 1970 com as fragatas classe *Niterói*, mas interrompida após a última fragata. Pouco depois voltamos a progredir: aqui projetamos e construímos o Navio-Escola (NE) *Brasil* e as corvetas classe *Inhaúma*, projetamos navios de patrulha oceânicos de 1.200 toneladas, embora tendo que abandonar esse projeto, e realizamos a fase de concepção e a preliminar do primeiro projeto nacional de submarino — o SNAC-I —, cancelado logo no limiar do período de estagnação iniciado em 1988. A partir daí, a marcha do progresso rapidamente se reduziu, e lutamos para consolidar pelo menos dois dos seus marcos principais: a construção das corvetas classe *Inhaúma* em estaleiro civil e a construção de quatro submarinos de projeto alemão no Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro (AMRJ). Também reprojetoamos as corvetas classe *Inhaúma* a partir da experiência operativa obtida com essas corvetas, todas elas equivalentes a um único protótipo [2]. Esse reprojeto gerou a corveta *Barroso*, primeiro navio de guerra não protótipo de projeto e construção nacional em todo o período republicano. Ele foi um passo histórico, tardio e indispensável para a evolução técnica da Marinha e para qualquer país que aspire à grandeza. Requer outros na mesma direção.

**A construção também é importante. Mas o poder real reside no projeto e nos financiamentos. Grandes nações chegam a abdicar da construção, mas nunca do projeto**

Em qualquer produto importante, civil ou militar, a construção é o que mais atrai a atenção. É nela que se concentram o interesse e o entusiasmo de quase todas as pessoas. Vendo-se algo complexo que se constrói, pensa-se que o país “domina essa tecnologia”. Não se percebe que a construção é apenas a parte visível de um *iceberg* técnico-financeiro e, como tal, responsável por apenas uma pequena parte do todo. Também não se percebe que, sem a parte imersa, a parte visível afundaria até que dela restasse um volume insignificante. A construção também é importante. Mas o poder real reside no projeto e nos financiamentos. Grandes nações chegam a abdicar da construção, mas nunca do projeto. Vender projeto é vender dependência e reter a parte cérebro-intensiva do produto. Financiamentos geralmente direcionam decisões sobre escolha e compra de sistemas, componentes e apoio logístico. A este último

corresponde boa parte do custo total de aquisição e operação do produto durante toda a sua vida útil. Isso é válido para qualquer sistema complexo, civil ou militar.

Para construir no país um produto até então importado, normalmente compra-se o seu projeto, importam-se todos ou quase todos os sistemas e equipamentos nele previstos, pagam-se licenças de fabricação, empregadas repetitivamente, e ignoram-se todas ou quase todas as dificuldades que devem ser vencidas para projetá-lo, especificar e obter seus sistemas e equipamentos e planejar e montar seu apoio logístico.

Os gastos no exterior que se economizam são apenas os de fabricação, fração do custo total. Também se geram empregos e se melhoram as técnicas de produção, o nível da mão de obra direta e os métodos de administração. Esse procedimento é útil para iniciar-se uma fase de desenvolvimento. Mas não permite ir além. Por isso mesmo, ainda hoje não somos capazes de projetar submarinos, embora tenhamos construído quatro no Brasil.

**A importância de construir no País é limitada, a não ser que a construção seja parte de um plano para progressivamente dominarmos e aperfeiçoarmos todo o ciclo criativo de um produto, mediante engenharia de projeto e inovação tecnológica,** bases do “milagre japonês” após a Segunda Guerra Mundial. Mas isso demanda longo tempo e esforços inteligentes e contínuos. Tem que se transformar em hábito. Tem que ser um exercício incessante.

Nossos navios de guerra foram sempre construídos no exterior, ou então no Brasil com projeto e assistência técnica do exterior. Portanto, a tendência histórica nacional é a de subestimar a importância do projeto, perpetuar dependências, limitar nosso progresso tecnológico e enfrentar dificuldades de apoio logístico que poderiam ser evitadas ou minoradas.

No Brasil, consideramos que a construção é a meta a ser alcançada e que será relativamente fácil projetar quando assim decidirmos. Em geral, desconhecemos a importância do projeto e suas relações de causa e efeito com o sistema técnico-científico e a base industrial no País e no exterior. Acima

de tudo, desconhecemos o longo tempo e a tenaz e contínua vontade indispensáveis para estabelecer essas relações.

### **CONSTRUÇÃO: PREPARAÇÃO DE EQUIPES E CONSTRUÇÃO NA ALEMANHA**

Mesmo ficando longe da meta de projetar e construir submarinos no Brasil, a construção dos IKL-1400 e do *Tikuna* foi uma etapa marcante no desenvolvimento técnico da Marinha.

Para bem construir submarinos é necessário dispor de organização e corpo técnico em duas áreas: a da construção propriamente dita e a da Garantia de Qualidade da construção. Para ambas, a Marinha preparou-se cuidadosamente. A base para a preparação foi o primeiro e único de nossos submarinos

IKL-1400 construído na Alemanha.

#### ***Garantia de Qualidade na construção de submarinos***

Garantia de Qualidade (GQ) é um conceito amplo que comporta várias definições. Cada definição focaliza mais um determinado aspecto. Garantia de Qualidade é um sistema técnico-administrativo para controlar e minimizar riscos na produção e futura operação de um produto, maximizar a probabilidade de ele ter o desempenho desejado e aumentar a eficiência na sua obtenção.

O sistema técnico-administrativo voltado para a Garantia de Qualidade denomina-se Sistema de GQ ou Sistema de Qualidade.

**Mesmo ficando longe da meta de projetar e construir submarinos no Brasil, a construção dos IKL-1400 e do *Tikuna* foi uma etapa marcante no desenvolvimento técnico da Marinha**

Ele abrange vários níveis das organizações envolvidas na fabricação de um produto.

Quanto mais complexo for um produto e maiores forem os riscos na sua operação, mais elaborado deve ser o Sistema de Garantia de Qualidade para sua obtenção. Submarinos são produtos de alta complexidade técnica e elevados riscos operacionais. É essencial aplicar-se um sólido Sistema de GQ à sua obtenção.

Na década de 1970, obtivemos fragatas e submarinos construídos na Inglaterra e fragatas construídas no Arsenal. Nas construções na Inglaterra, aplicou-se o Sistema de GQ formulado e operado pelos ingleses, a nós cabendo apenas as funções de cliente, em que certamente pudemos ser muito mais ativos no estaleiro construtor das fragatas, pois lá dispúnhamos de equipes de engenheiros e técnicos do Arsenal em treinamento para construí-las também no Brasil. Ao construí-las aqui, utilizamos os métodos ingleses e sua assistência técnica. Elevamos nossa capacidade em construção naval militar e no setor de GQ de estaleiro, mas não chegamos a estruturar no Brasil dois outros setores importantes de Garantia de Qualidade: o do cliente e o de um órgão independente e especializado em GQ. Na Inglaterra, esse terceiro setor pertencia ao Departamento de Defesa do Reino Unido. O mesmo ocorria e ocorre na Alemanha.

### ***Preparação de equipes do Arsenal e da Diretoria de Engenharia Naval (DEN)***

Para construir os submarinos IKL-1400 no Brasil nas décadas de 1980/1990, a Marinha

cuidadosamente planejou e preparou o necessário corpo técnico. A construção do primeiro dos IKL-1400 na Alemanha serviu como escola, semelhantemente ao que se fizera na década de 1970 para construir as fragatas no Brasil. Também de modo semelhante, a Marinha valeu-se dos melhores técnicos e operários de que o Arsenal dispunha, em geral remanescentes da construção das fragatas. E ainda seguindo o método empregado para construir as fragatas, manteve engenheiros no Grupo de Fiscalização e Recebimento de Submarinos na Alemanha. No entanto, a construção de submarinos exige cuidados redobrados para garantir a qualidade de materiais, equipamentos,

processos e pessoal. Na Alemanha, essa Garantia de Qualidade era feita em três níveis, a cargo de órgãos independentes entre si: o estaleiro alemão Howaldt Deutsch Werft (HDW), o cliente (no caso, o Grupo de Fiscalização e Recebimento de Submarinos na Alemanha – GFRSA) e o BWB

(Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung, Entwicklung, Erprobung von Wehrmaterial), um ramo da Diretoria-Geral de Armamentos do Ministério da Defesa da Alemanha, notável organização para técnicas de fornecimento, desenvolvimento e provas de sistemas e materiais de defesa.

No Brasil, o Arsenal teria que assumir as funções de GQ correspondentes às do estaleiro HDW, e para isso contaria com os seus engenheiros e operários treinados na Alemanha como estagiários ou como integrantes do GFRSA. As funções de GQ a nível de cliente teriam que ser assumidas somente pela tripulação do submarino, agora desfalcada dos engenheiros e técnicos do GFRSA que então estariam incorpora-

**Quanto mais complexo for um produto e maiores forem os riscos na sua operação, mais elaborado deve ser o Sistema de Garantia de Qualidade para sua obtenção**

dos à equipe do estaleiro construtor, o Arsenal. Não se previa nenhum órgão para desempenhar no Brasil as funções de GQ a cargo do BWB na Alemanha. Se o próprio BWB fosse contratado para atuar no Brasil, aumentariam nossos gastos em moeda estrangeira e deixaríamos de adquirir capacidade indispensável a esse empreendimento e a outros ainda mais complexos. Por outro lado, a Divisão de Garantia de Qualidade da DEN se estruturara continuamente desde o início da construção do NE *Brasil*. Devidamente informado, o diretor-geral do Material da Marinha determinou que quatro engenheiros civis e um engenheiro militar da Divisão de Garantia de Qualidade da DEN fossem treinados no BWB. Além disso, um dos oficiais dessa Divisão fez parte do GFRSA durante dois anos.

Após mais de dez anos atuando nas obtensões do NE *Brasil* e das corvetas no Arsenal, das corvetas na Verolme, do Navio-Transporte (NT) *Marajó* na Ishibrás e dos primeiros IKLs brasileiros no Arsenal, a Divisão de Garantia de Qualidade da DEN foi extinta, tal como a Divisão de Apoio Logístico. A causa determinante foi o contínuo êxodo de engenheiros, resultante de salários e perspectivas profissionais progressivamente piores. Dos cinco elementos da DEN treinados e com experiência em GQ de submarinos, somente dois ainda estavam em serviço na Marinha em 2007.

Setenta e nove profissionais do Arsenal foram treinados no estaleiro alemão HDW. Desses, apenas 13, com idade média próxima à da aposentadoria, estavam ainda em atividade em 2008 [8]. Obstáculos a contratações de pessoal, êxodo por baixos salários e ausência de novas construções impediram a manutenção e a renovação paulatina desse corpo técnico altamente especializado. Seu desempenho foi excelente. Acompanhou atentamente todas as tarefas que teria que realizar mais tarde e

para cada uma gerou relatórios técnicos importantes para a construção no Brasil.

Engenheiros e técnicos dos órgãos da Marinha responsáveis pelos sistemas de armas e comunicações também estagiaram na Alemanha. Com seus colegas do Arsenal e da DEN — incluindo os que compunham o GFRSA —, formaram o núcleo do corpo técnico que aqui construiu três submarinos IKL-1400 e o Submarino *Tikuna*, com um mínimo de assistência técnica estrangeira, apesar das inevitáveis perdas por demissões que se agravaram com a desmobilização iniciada já no início da década de 1990.

### ***Sistema de Garantia de Qualidade da construção na Alemanha***

Para aumentar a eficiência do treinamento na Alemanha, vários dos engenheiros militares e civis realizaram cursos intensivos de idioma alemão ainda no Brasil. Saber alemão era importante para melhor apreender as técnicas e obter informações sobre a construção do submarino e de seus materiais e equipamentos. A língua contratual era o inglês, mas os operários da HDW e de seus fornecedores só falavam alemão e eram uma fonte valiosa de informações que nem sempre se podiam obter por outros meios. Em alguns casos, conseguiam-se informações ouvindo os comentários e a livre troca de ideias entre eles.

O Sistema de GQ adotado na construção de nosso submarino na Alemanha baseava-se nas normas da Organização do Tratado do Atlântico Norte (Otan), as AQAP (Allied Quality Assurance Publications), criadas para obter meios militares. Delas originaram-se as normas ISO da série 9000, que se disseminaram no meio civil.

Como documento básico para Garantia de Qualidade da construção, utilizou-se o PDNP (“Plan der Nachweisprüfungen”) —

o nosso Índice de Inspeções, Ensaios, Testes e Provas, com algumas informações adicionais relevantes, como a relação de subcontratados e a classificação AQAP dos sistemas de qualidade de cada um deles.

### ***O Sistema de Garantia de Qualidade da construção da HDW***

Na HDW, o Sistema de GQ da construção tinha três setores distintos: FAT (Factory Acceptance Tests), HAT (Harbour Acceptance Tests) e SAT (Sea Acceptance Tests). O setor de FAT subdividia-se em FAT na HDW e FAT nas subcontratadas. Porém os inspetores de FAT da HDW eventualmente compareciam às fábricas de subcontratadas para inspeções similares às que realizavam na HDW (pintura, inspeção dimensional, inspeção de soldas etc.) ou para suprir alguma deficiência de pessoal do setor FAT da HDW para as subcontratadas.

O setor FAT da HDW subdividia-se em cinco grupos tradicionais: estrutura; pintura; máquinas e equipamentos mecânicos; máquinas e equipamentos elétricos; e eletrônica. Além desses, havia um grupo específico para medição de ruído e vibração emitidos por cada equipamento. Quase todos os componentes do setor FAT eram técnicos de 2º grau, normalmente operários que ascenderam à condição de mestre e depois à de inspetor.

O setor FAT da HDW era realmente independente da produção. Em alguns casos ele alertou nossos engenheiros sobre serviços insatisfatórios resultantes de tentativas de reduzir o tempo de construção.

Um mesmo inspetor de FAT da HDW comparecia à maioria das inspeções e testes nas subcontratadas. Provavelmente formara-se em eletricidade, mas havia adquirido prática nas outras disciplinas, comparecendo sempre aos mesmos testes, nas mesmas subcontratadas. Além dele, havia

mais um ou dois especialistas que se encarregavam dos FAT de sistemas de armas (normalmente fabricados em França, EUA e Inglaterra). A não ser os especialistas, os demais técnicos eram de nível médio (técnicos de 2º grau).

No setor HAT da HDW atuavam os seus inspetores de HAT e de SAT, além de representantes dos fabricantes.

Diferentemente do que ocorria no setor FAT, no setor SAT da HDW havia uma grande quantidade de inspetores, todos, ou quase todos, de nível superior. Ele assim se subdividia: características marinheiras (curva de giro, *crash down*, velocidade máxima etc.); máquinas e equipamentos mecânicos; máquinas e equipamentos elétricos; eletrônica; sistemas de armas; e comunicações.

Contratualmente, os documentos de GQ elaborados pela HDW tinham que ser aprovados pelo BWB e pelo GFRSA. A aprovação do BWB geralmente era automática, pois ele já trabalhava com os procedimentos da HDW há muito tempo. Porém os engenheiros do GFRSA normalmente solicitavam que os documentos fossem mais detalhados, para terem a necessária base a futuras exigências e para aperfeiçoar os formulários de teste que usariam nas construções no Brasil. A HDW emitia procedimentos lacônicos, considerando que todos os participantes já “tinham no sangue” o que estava omitido. Mas é claro que essa suposição não era válida para nós, os principais interessados, empenhados em daí prosseguir com a máxima autonomia possível.

Além das inspeções e testes contratuais da HDW, a serem presenciados e aprovados pelo BWB e o GFRSA, a HDW realizava inspeções e testes prévios. A eles compareciam também os engenheiros e técnicos do Arsenal, do Centro de Armamento da Marinha e do Centro de Eletrônica da Marinha, que registravam suas observações em relatórios técnicos.

## O BWB

O BWB é um ramo da Diretoria-Geral de Armamentos do Ministério da Defesa da Alemanha. Juntamente com o IT-AmtBW (Bundesamt für Informationsmanagement und Informationstechnik der Bundeswehr), dedicado à administração de informações e tecnologia de informações, o BWB representa o setor de armamento do governo alemão abaixo do nível ministerial.

O BWB é a maior autoridade técnica na Alemanha, responsável por assegurar que os sistemas e equipamentos das Forças Armadas alemãs tenham a mais avançada tecnologia. Algumas

de suas tarefas principais são desenvolvimento, testes e obtenção de material de defesa, além de gestão de projetos de pesquisa e tecnologia. Ele as executa mediante contratos com a indústria e também por seus próprios meios. Como um “agente de compras”

central do Ministério da Defesa, o BWB é um importante cliente público.

Com sede em Koblenz, o BWB tem agências em várias cidades do país e dispõe de sete centros técnicos e três institutos de pesquisa, além do Arsenal Naval, com instalações para manutenção e reparos de navios da Marinha de Guerra em Wilhelms-haven e Kiel.

### *Ação do BWB nos fabricantes de equipamentos e na HDW*

Em cidades com maior concentração de fabricantes e fornecedores de material bélico, o BWB mantém escritórios de inspeção. Para inspeções em outros países, ele

tem convênios com os respectivos órgãos oficiais de inspeção da Otan.

Na HDW, o BWB mantinha um escritório com um grupo de inspetores e abrangia desde a inspeção de recebimento de materiais e equipamentos no estaleiro até as provas de cais e de mar. Estas últimas eram realizadas na cidade dinamarquesa de Skagen, no Mar do Norte, pois no Mar Báltico, onde fica a HDW, a profundidade máxima não ultrapassa 60 metros.

Ao chegarem na HDW, os materiais e equipamentos eram inspecionados na presença de um inspetor do BWB para verificar sua integridade e confirmar o recebimento da docu-

mentação pertinente (manuais e documentos de inspeções e testes de FAT). Após a inspeção de materiais ou equipamentos, eles iam para o paiol de armazenagem.

O BWB inspecionava os locais de armazenagem, para verificar se suas condições atendiam aos requisitos especifica-

dos nas normas DIN e nas normas militares complementares. Durante o período de armazenamento, comparecia a inspeções periódicas de manutenção (troca de absorvedores de umidade, giro de 45° dos eixos das máquinas rotativas, medição de temperatura, verificação das resistências de aquecimento, rastreabilidade e inspeções e testes por amostragem, principalmente de elastômeros (calços flexíveis e acoplamentos flexíveis de redes etc.), conforme estabelecido nos procedimentos correspondentes.

Antes da montagem e instalação de equipamentos e componentes a bordo, o BWB presenciava várias atividades: testes por amostragem de cabos elétricos, elastôme-

**O BWB é a maior autoridade técnica na Alemanha, responsável por assegurar que os sistemas e equipamentos das Forças Armadas alemãs tenham a mais avançada tecnologia**

ros, juntas de dilatação e anéis retentores; inspeção visual de buchas e mancais; análise de óleos e lubrificantes; e funcionamento parcial em bancadas.

Após inspecionar um material ou equipamento, o inspetor do BWB assinava o formulário de inspeção ou teste correspondente, registrava a existência ou a ausência de não conformidades e autorizava, ou não, a instalação a bordo.

Um inspetor do BWB presenciava as inspeções para verificar se cada local do submarino estava em condições de nele se instalarem materiais e equipamentos. Caso houvesse pendências, elas eram registradas. Após ações corretivas suficientes e nova inspeção, o local era aprovado.

Os diversos detalhes do processo de cada instalação eram submetidos à aprovação do inspetor do BWB. Nas inspeções de instalação incluíam-se: verificações dimensionais; medidas de espaçamentos para acesso, operação e manutenção; inspeção das conexões de cabos elétricos, redes, acessórios; inspeções de alinhamento, calçamento e isolamento acústico e térmico; inspeções de pintura, limpeza, *flushing* de redes de alimentação; verificação da resistência de isolamento dos cabos de alimentação e controle; *wiring checks*; marcação e identificação, iluminação do local etc. Em seguida, realizavam-se os testes de funcionamento, com medições de temperatura, rotação, parâmetros elétricos, vazões, pressões, desempenho, ruído, vibração, estabilização térmica etc.

As inspeções e testes realizavam-se segundo os documentos de teste correspon-

dent, previamente elaborados em conjunto pela HDW e o BWB e, finalmente, aprovados pelo BWB. Um representante do BWB, técnico ou engenheiro, sempre estava presente nas inspeções e testes. A aprovação final cabia ao engenheiro do BWB responsável pela respectiva área.

Todas as atividades acima foram executadas de forma idêntica no Brasil. Os mesmos documentos foram reelaborados em conjunto pelo Arsenal e a DEN, e finalmente aprovados pela DEN. Em seguida, foram aplicados a bordo e nas dependências do Arsenal com a presença de inspetores do Departamento de GQ do AMRJ e da Divisão de GQ da DEN.

**Melhor não poderia ser o desempenho da equipe do Arsenal. Ela cumpriu fielmente a missão recebida. Registrou em cerca de 1.150 relatórios técnicos todas as informações que conseguiu no treinamento**

#### *Treinamento da equipe do Arsenal na HDW*

Para o treinamento na Alemanha, o Arsenal selecionou cerca de 80 profissionais – engenheiros, técnicos e operários, alguns deles remanescentes da construção das fragatas. Eles estiveram na HDW entre 1985 e 1987, em grupos que acompa-

nharam as atividades da construção do Submarino *Tupi*, que seriam utilizadas para construir IKLs no Brasil. O treinamento abrangeu gerenciamento, planejamento, fabricação, montagem, inspeções, testes, provas e GQ de estaleiro. Os grupos se organizaram por especialidades: estruturas/solda, máquinas/redes, eletricidade/eletrônica, controle de qualidade, materiais, testes e gerência [4].

Cada grupo da equipe do Arsenal assimilou os correspondentes métodos, técnicas e a documentação da HDW, e elaborou relatórios que permitiram um máximo de au-

tonomia e confiabilidade na construção dos IKLs no Brasil.

Melhor não poderia ser o desempenho da equipe do Arsenal. Ela cumpriu fielmente a missão recebida. Registrou em cerca de 1.150 relatórios técnicos todas as informações que conseguiu no treinamento. Além de permitirem a construção dos IKLs no Brasil com um máximo de autonomia e confiabilidade, esses documentos são fonte de consulta e banco de conhecimentos para equipes de construção de submarinos [4].

### ***Treinamento da equipe de Garantia de Qualidade da DEN no BWB***

Em 1984 a DEN transferiu dois jovens engenheiros — um de estruturas e um de eletricidade — do seu Departamento Técnico para a Divisão de Garantia de Qualidade. Juntamente com um engenheiro de estruturas, um eletricitista e dois mecânicos já naquela Divisão, eles se preparariam para realizar no Brasil as tarefas de GQ a cargo do BWB na Alemanha. O engenheiro eletricitista mais jovem trabalhara durante um ano na preparação para o projeto SNAC-I, levantando as características dos sistemas elétricos dos submarinos das classes *Humaitá (Oberon)* e *Rio de Janeiro (Guppy)*, abrangendo geração, baterias, distribuição, iluminação, conversores de energia etc. O outro engenheiro eletricitista distinguira-se por invulgar capacidade, muitas vezes demonstrada em diferentes fases de sua vida na Marinha. Todos os engenheiros, exceto os dois primeiros, haviam acumulado certa experiência em GQ na construção do NE *Brasil* e das corvetas classe *Inhaúma*, na qual todos continuaram a trabalhar até sua ida para a Alemanha. Essa combinação de experiências e faixas etárias foi importante.

Três grupos de engenheiros de GQ da DEN foram treinados na Alemanha. O trei-

namento de cada grupo durou cerca de um ano. O primeiro grupo foi de um único engenheiro de estrutura, que esteve na HDW durante 1986, juntamente com o pessoal do Arsenal. Seu treinamento abrangeu todos os aspectos da fabricação do casco resistente: procedimentos de soldagem, tolerâncias dimensionais, tratamento térmico, montagem de “jigs”, qualificação de soldadores e ensaios não destrutivos.

O segundo grupo iniciou seu treinamento de GQ no BWB em janeiro de 1987. Compunha-se do engenheiro eletricitista mais jovem e de um dos dois engenheiros mecânicos.

Um engenheiro mecânico e o engenheiro eletricitista mais experiente compunham o terceiro e último grupo a ser treinado em GQ no BWB. Eles chegaram na Alemanha em abril de 1987 e regressaram em julho de 1988, após o término das provas de mar do Submarino *Tupi*. Seu treinamento superpôs-se parcialmente ao do segundo grupo.

O treinamento fez-se em duas etapas, uma teórica e outra prática, brevemente explicitadas abaixo.

– Parte teórica – Sede do BWB em Koblenz: Conceituação, fundamentos, metodologia e procedimentos de garantia da qualidade. Neste módulo foram ministrados conhecimentos sobre as normas AQAP e as práticas adotadas pelo BWB para Garantia da Qualidade na obtenção de material militar para as três Forças Armadas alemãs.

– Parte prática – Escritório do BWB em Kiel (BaBWB-Kiel – Bauaufsicht der BWB in Kiel), junto ao estaleiro HDW. Neste módulo foram ministrados conhecimentos práticos sobre a aplicação de FAT, HAT e SAT. Os engenheiros de GQ da DEN acompanharam todas as atividades dos inspetores do escritório do BWB em Kiel, realizadas na HDW e nas dependências dos fabricantes de equipamentos em várias

partes da Alemanha. Elas abrangeram as inspeções e testes de fábrica (FAT), as inspeções de recebimento e armazenagem na HDW, as inspeções prévias de compartimentos do submarino, a colocação em funcionamento de equipamentos, as provas de cais e as provas de mar.

O segundo e o terceiro grupo tiveram a mesma parte teórica de treinamento. Porém o terceiro grupo pôde empenhar-se nas fases mais avançadas e extensas das provas de mar, por chegar mais tarde e prorrogar-se o seu treinamento até o fim dessas provas.

As provas de mar realizaram-se em Skagen, na Dinamarca, duraram cerca de oito meses e delas participaram o segundo e o terceiro grupo de engenheiros de GQ da DEN.

Na parte prática, os engenheiros da DEN observaram *in loco* a aplicação dos procedimentos, a análise dos resultados, a tomada de decisões diante dos resultados, a imposição de ações corretivas e a realização de novas inspeções, testes e provas para comprovação da eficácia das ações corretivas.

Durante o treinamento, os engenheiros de GQ da DEN elaboraram sistemáticos e cuidadosos relatórios para servir de base à construção no Brasil com a menor dependência possível. Assim também fez o pessoal do Arsenal, que treinava em construção, e os componentes do GFRSA. Esses documentos são um patrimônio técnico valioso, útil não apenas para a construção de submarinos como também para grandes repa-

ros e modernizações que, tal como a construção, devem basear-se em sólidos sistemas de produção e de Garantia de Qualidade. Estão arquivados no Centro de Projeto de Navios (CPN) e na DEN.

### ***Provas de mar do Submarino Tupi na Alemanha***

As provas de mar do Submarino *Tupi* iniciaram-se em novembro de 1987. Como sempre, a Garantia de Qualidade realizou-se em três níveis independentes entre si: o

do estaleiro, o do cliente e o da autoridade de Garantia de Qualidade — o BWB.

Num ambiente restrito como o de um submarino, havia somente seis vagas para o cliente, a Marinha — representada pelo GFRSA e por oficiais do *Tupi*. Para que o treinamento em GQ pudesse realizar-se, o BWB cedeu duas de suas vagas. Ainda assim, embarcaram inspetores de estruturas, de máquinas e de eletricidade do grupo de

GQ do BWB residente na HDW, chefiados pelo engenheiro Smolensky. Além de desempenhar suas funções, eles orientaram tecnicamente os dois engenheiros de GQ da DEN em treinamento.

A missão dos engenheiros de GQ da DEN era entender claramente o propósito de cada prova e registrá-la de tal modo que pudesse ser repetida no Brasil com um mínimo de assistência técnica alemã. A dos engenheiros e submarinistas do GFRSA era inspecionar, observar resultados e verificar se eles

**Durante o treinamento, os engenheiros de GQ da DEN elaboraram sistemáticos e cuidadosos relatórios para servir de base à construção no Brasil com a menor dependência possível. Assim também fez o pessoal do Arsenal, que treinava em construção, e os componentes do GFRSA**

atendiam aos requisitos contratuais. O trabalho conjunto desses dois grupos e a competência da equipe de submarinos do Arsenal criaram uma firme base para as provas de mar dos IKL construídos no Brasil.

Diferentemente do que ocorria nos FAT e nos HAT, os SAT não eram precedidos de reunião prévia. Partindo de um cronograma geral das provas, a HDW submetia ao GFRSA e ao BWB um cronograma parcial com as provas que seriam realizadas na semana seguinte. No dia da prova, era feita uma reunião para planejar a sequência dos testes do dia.

Uma primeira etapa das provas realizou-se em águas rasas, próximo ao Canal de Kiel. Serviu basicamente para ajustes na propulsão e corridas nas raias acústicas e corridas da milha. Duraram cerca de um mês e meio.

A segunda etapa ocorreu no Mar do Norte, em grandes profundidades, com base na cidade dinamarquesa de Skagen. Abrangeu todos os demais testes, exceto os do sistema de combate, realizados na terceira e última etapa.

Em Skagen, a HDW mantinha dois contêineres que serviam de escritório e paiol de apoio à manutenção do submarino. Era comum solicitar-se assistência técnica dos fabricantes da Alemanha.

Alguns testes eram interrompidos e reprogramados, devido a pequenas falhas que normalmente eram corrigidas no mesmo dia, após o retorno ao cais.

Um dos engenheiros de GQ da DEN assim descreveu a rotina de trabalho durante as provas de mar:

“Para cada prova de mar era gerado um relatório o mais completo possível. Foi uma época de muito trabalho. Como eram saídas diárias, os relatórios tinham que ser escritos no próprio dia da prova, pelo menos em rascunho. Nossa rotina começava no submarino às 7 horas da manhã. Durante o trânsito para a área da prova (às vezes a quatro horas de navegação), o relatório da prova anterior era passado a limpo, aproveitando a presença do BWB a bordo para tirar dúvidas. Durante a prova, toda a forma de execução era anotada. No trânsito de regresso, iniciava-se a elaboração do respectivo relatório. Na casa

em que pernoitávamos (estávamos na maioria das vezes em Skagen – Dinamarca) acabávamos o relatório, às vezes trabalhando até de madrugada. No dia seguinte a rotina se repetia. Foram em torno de três meses nessa faina, com saídas de segunda a sexta-feira. Aos sábados de manhã, pegávamos a estrada para Kiel (oito horas de carro) para rever a família, retornando no domingo logo após o almoço.”

**A atuação do BWB foi sempre eficaz e correta, seja como autoridade decisória de GQ na construção do Submarino Tupi na Alemanha, seja como fonte de treinamento para a Garantia de Qualidade dos submarinos IKL construídos no Brasil**

Foram gerados cerca de 80 relatórios técnicos que abrangeram todas as provas da plataforma (isto é, todo o submarino, exceto seu sistema de combate), incluindo as provas internas que a HDW fazia para ajustes prévios de sistemas.

O orgulho pelo dever bem cumprido de quase todos os engenheiros, operários e técnicos da Marinha em treinamento resume-se bem num parágrafo escrito por um dos engenheiros de GQ da DEN:

“Justificamos cada centavo gasto conosco pela Marinha para montar um Siste-

ma de Garantia de Qualidade de submarinos. Não trouxemos uma dúvida sequer sobre a realização das provas no Brasil.” A construção no Brasil, nos anos seguintes, provou que essas palavras eram verdadeiras. Relatos semelhantes seriam obtidos dos componentes do GFRSA e dos tripulantes do Submarino *Tupi*.

A atuação do BWB foi sempre eficaz e correta, seja como autoridade decisória de GQ na construção do Submarino *Tupi* na Alemanha, seja como fonte de treinamento para a Garantia de Qualidade dos submarinos IKL construídos no Brasil.

### CONSTRUÇÃO: PRODUÇÃO DE SUBMARINOS IKL NO BRASIL

Pela sistemática vigente na época — aplicada às construções do NE *Brasil*, das corvetas no Arsenal, das corvetas na Verolme e de todos os demais navios em obtenção na década de 1980 —, cabia à DEN elaborar a minuta e a especificação de contrato, licitar a construção e assinar e gerir o contrato em nome da Marinha. Para construções no Arsenal, excetuava-se apenas a fase de licitação e designava-se o contrato por Norma de Construção.

A Norma de Construção do primeiro dos IKL-1400 construídos no Brasil foi assina-

da em 1987. Entre outras disposições, ela estabeleceu que a autoridade decisória sobre Garantia de Qualidade era a própria DEN. Para isso a DEN se havia preparado, da mesma forma que o Arsenal se preparava para construir.

Assim, na construção do primeiro dos IKL-1400 no Brasil, mantiveram-se três níveis de GQ independentes entre si: o do Arsenal (estaleiro), o da Força de Submarinos (cliente) e o da DEN (autoridade inspetora). Era evidente que em nenhum desses níveis havia a experiência e a competência criadas e acumuladas nos níveis correspondentes na

Alemanha e nos demais países construtores de submarinos. Tal deficiência seria compensada por assistência técnica estrangeira.

Mas quanto maior fosse a assistência técnica, maiores seriam os custos em moeda estrangeira e menores as disponibilidades para apoio logístico e outras necessidades. Além disso, menor seria nossa iniciativa, essencial para rapidamente progredirmos. Decidimos usar somente a assistência técnica indispensável. Portanto, foi necessário aplicar cui-

dadosamente tudo o que aprendêramos, controlando riscos. E controlar riscos é particularmente importante na construção de submarinos.

**Decidimos usar somente a assistência técnica indispensável. Portanto, foi necessário aplicar cuidadosamente tudo o que aprendêramos, controlando riscos. E controlar riscos é particularmente importante na construção de submarinos**

**O aproveitamento da capacidade ociosa da Nuclep foi uma vantagem secundária, fora dos propósitos e da missão da Marinha. Os benefícios e conquistas que visamos e conseguimos foram muito mais importantes**

## *A decisão de fabricar as seções do casco resistente na Nuclep*

Uma das mais importantes decisões no Programa de Obtenção de Submarinos foi a de construir as seções do casco resistente na Nuclep. O aproveitamento da capacidade ociosa da Nuclep foi uma vantagem secundária, fora dos propósitos e da missão da Marinha. Os benefícios e conquistas que visamos e conseguimos foram muito mais importantes.

O primeiro benefício visado, mas não o mais importante, foi economizar recursos financeiros. A possível necessidade de comprar máquinas e dispositivos para fabricar o casco resistente, no valor de 35 milhões de marcos de 1984, levou a uma série de exames, negociações e decisões. A expectativa inicial da HDW certamente era a de que a Marinha, tendo treinado engenheiros e técnicos em sua “linha de produção” de cascos de submarinos, simplesmente comprasse os dispositivos e máquinas dessa linha, passando a repetir o processo nas instalações do Arsenal com assistência técnica alemã, contabilizada à parte, no valor aproximado de US\$ 25.000 mensais da época (cerca de US\$ 47.000 mensais de dezembro de 2006) para cada engenheiro ou técnico alemão. Com esse esquema, instalar-se-ia no Arsenal uma verdadeira fábrica de cascos resistentes de submarinos. Ele teria, como vantagens, a rapidez de implementação e a redução

**O segundo benefício — indispensável para uma Marinha que aspirava a projetar e construir uns poucos submarinos convencionais, daí passando a submarinos nucleares — foi lançar seus engenheiros num grande e complexo empreendimento técnico conjunto com a indústria do seu país. Essa providência, indispensável no caminho da grandeza, nunca a tomáramos**

de riscos na fabricação. Porém haveria várias desvantagens: um dispêndio elevado, que não se limitaria aos 35 milhões de marcos de 1984 iniciais, pois seriam necessárias extensas obras civis, além daquelas que depois fizemos no Edifício 17 para construir todo o submarino; segregação de grandes áreas no Arsenal para fabricar as seções dos cascos resistentes; indução a exagerada dependência de assistência técnica alemã; e reduzida vantagem no posterior emprego do capital investido e imobilizado, dado o pequeno número de cascos resistentes e obras congêneres a produzir em horizonte visível.

Acresça-se a carência de recursos, que já se divisava para outras áreas também críticas da obtenção, mormente a de aquisição de sobressalentes. Diante disso — e da existência na Nuclep de modernas instalações e máquinas, bem como de engenheiros, técnicos e operários altamente qualificados —, a Marinha decidiu ali fabricar as seções dos cascos resistentes, reunindo-as e completando-as no Arsenal. Essa decisão foi de uma audácia bem medida e

possibilitou a fabricação satisfatória das seções do casco resistente na Nuclep.

O segundo benefício — indispensável para uma Marinha que aspirava a projetar e construir uns poucos submarinos convencionais, daí passando a submarinos nucleares — foi lançar seus engenheiros num grande e complexo empreendimento técnico conjunto com a indústria do seu país. Essa providência, in-

dispensável no caminho da grandeza, nunca a tomáramos.

O terceiro benefício foi evitar uma tutela excessiva de engenheiros e técnicos alemães durante a fabricação do casco e induzir nossos engenheiros e técnicos, bem como os da Nuclep, a buscarem soluções conjuntas antes de solicitar assistência técnica à HDW. Esse é um processo educativo indispensável à criação de tecnologias próprias.

O quarto benefício foi imergir nossos engenheiros e técnicos no ambiente nacional de mais alta preparação em termos de Garantia de Qualidade — o da Qualidade da Indústria Nuclear —, no qual haviam sido treinados na Alemanha os engenheiros e técnicos da Nuclep. Isso era essencial para controlar e reduzir o risco do empreendimento.

Finalmente, mas não menos importante, foi o quinto benefício: deixar margem para que engenheiros e técnicos do Arsenal, agora não ocupados diretamente na fabricação do casco resistente, pudessem dedicar-se melhor à montagem das seções no Arsenal e às outras diferentes áreas da construção de submarinos.

Todos os propósitos foram atingidos. Seu foco principal não era a construção

caudatária de submarinos de projeto estrangeiro, e sim nosso Programa de Projeto e Construção de Submarinos no Brasil.

Foram passos no caminho da grandeza.

### *Fabricação e Garantia de Qualidade na Nuclep*

A decisão de fabricar as seções dos cascos resistentes na Nuclep instituiu uma meta de efeito multiplicador. Efeitos multiplicadores normalmente implicam riscos técnicos, de prazo e de custos.

Os riscos técnicos envolvidos na decisão eram muitos, mas podiam ser controlados. O casco resistente de um submarino é uma das mais complexas estruturas de

engenharia estrutural. Seu coeficiente de segurança é indispensavelmente baixo, para viabilizar o projeto de todo o submarino. As imperfeições nele admissíveis são mínimas, mormente as de circularidade, mas é extremamente difícil obedecer às estritas tolerâncias geométricas decorrentes do projeto, pois o casco é flexível e extensamente soldado. O projeto

do casco resistente envolve a mais refinada engenharia estrutural, e seu domínio é necessário para interpretar casos duvidosos de imperfeições e anomalias que

**Todos os propósitos foram atingidos. Seu foco principal não era a construção caudatária de submarinos de projeto estrangeiro, e sim nosso Programa de Projeto e Construção de Submarinos no Brasil. Foram passos no caminho da grandeza**

**O projeto do casco resistente envolve a mais refinada engenharia estrutural, e seu domínio é necessário para interpretar casos duvidosos de imperfeições e anomalias que podem ocorrer na fabricação e durante a vida útil do submarino**

podem ocorrer na fabricação e durante a vida útil do submarino. Finalmente, a integridade do casco resistente é vital para o navio e sua tripulação. De tudo isso decorrem riscos, superados mediante o efeito conjugado de competente projeto e adequado processo de fabricação e garantia da qualidade. O projeto estrutural era da IKL. Na época da fabricação na Nuclep, já tínhamos bons conhecimentos sobre o projeto estrutural de submarinos, graças aos estudos que desde 1977 realizamos no Escritório Técnico de Construção Naval em São Paulo (ETCN-SP) e do trabalho da DEN no projeto SNAC-I. Quando da assinatura do contrato com o consórcio Ferrostaal-HDW, pressupunha-se que o processo de fabricação seria totalmente transplantado da HDW para o Arsenal, supervisionado por assistência técnica alemã. Ao decidirmos não comprar boa parte de máquinas e dispositivos da “linha de produção da HDW” e montar uma linha de produção na

Nuclep, automaticamente assumimos o risco de não conseguirmos resultados satisfatórios, muito embora procurássemos sempre tornar nossa linha semelhante à da HDW, graças à participação intensiva, dentro da Nuclep, dos engenheiros e operários do Arsenal treinados na HDW.

A única forma de realizar seguramente a fabricação do casco era analisar e planejar exaustivamente cada pequena parcela do seu processo antes de iniciá-la; e durante e após sua execução detalhadamente examiná-la, comparando seus resultados com os requeridos. Essas medidas de

minimização de riscos realizaram-se em três níveis de Garantia de Qualidade: o primeiro, a cargo da própria Nuclep; o segundo, de responsabilidade do Arsenal, contratante da Nuclep; e o terceiro, da competência da DEN, contratante do Arsenal e com jurisdição sobre o assunto. A assistência técnica da HDW também foi usada, mas pouco, tendo em vista que já não se tratava de meramente reproduzir sua linha de produção — e também porque um dos benefícios visados era evitar tutela excessiva de engenheiros e técnicos alemães durante a fabricação do casco e induzir nossos engenheiros e técnicos, bem como os da

Nuclep, a buscarem soluções conjuntas, num processo educativo indispensável à criação de tecnologia própria.

Uma área vital na fabricação do casco resistente era a de ensaios não destrutivos. Além da capacidade existente na Nuclep, convinha que a Marinha tivesse um consultor externo reconhecidamente capaz.

A DEN contratou o Engenheiro Paulo Gomes de Paula Leite, ex-funcionário do Arsenal e notável especialista no assunto, com uma longa carreira dentro e fora da Marinha. Já avançado em anos, ele atuou com entusiasmo, competência e proveito.

Aceitação de riscos requer audácia. Controle de riscos requer cautela. Tendo decidido fabricar as seções do casco resistente na Nuclep, agimos cautelosamente. Entre outras providências, fabricaram-se na Nuclep cavernas e seções cilíndricas de teste, para garantir que as indispensáveis adaptações ao processo de fabricação ale-

**Em resumo, os riscos prevalentes eram técnicos, pois os demais deles decorriam. Todos foram cuidadosamente enfrentados, controlados e vencidos. Não perdemos uma única seção de casco resistente**

mão — realizadas com a decisiva participação dos engenheiros e técnicos do Arsenal treinados na HDW — produziram resultados satisfatórios. Foi necessário admitir prazos maiores. Acresça-se a isso o tempo necessariamente longo para uma firma introduzir um produto diferente em sua linha de produção.

Havia também riscos de custos, embora se visasse a economia. Caso não tivéssemos sucesso na fabricação de qualquer seção do casco resistente, ela teria que ser sucateada, implicando não apenas prazos maiores, mas também custos mais altos. Isso poderia ocorrer até mesmo na HDW, mas entre nós teria efeitos desestimulantes.

Em resumo, os riscos prevalentes eram técnicos, pois os demais deles decorriam. Todos foram cuidadosamente enfrentados, controlados e vencidos. Não perdemos uma única seção de casco resistente.

### ***Preparação da infraestrutura do Arsenal [4]***

Além de se construírem as seções do casco resistente na Nuclep, foi necessário preparar as instalações do Arsenal para todas as demais etapas de produção dos submarinos. Para isso, o Arsenal modernizou parte das suas instalações. Implodiu parte do Edifício 17 e, em seu lugar, construiu um novo prédio que abrigou uma moderna oficina onde se concentrou a construção de submarinos, dotada de duas pontes rolantes com capacidade para até 100 toneladas, bem como de equipamentos e ferramental para serviços de tubulação, pintura e montagem mecânica. No anexo do Edifício 4 construiu-se uma oficina de montagem de grandes estruturas e conveses, ali instalando-se a máquina de corte automático de chapas.

Para construir o submarino pelo processo modular de acabamento avançado, com

o casco dividido em quatro seções fabricadas separadamente e posteriormente unidas por solda num dique flutuante, o Arsenal projetou e construiu o Dique Flutuante *Almirante Schieck*. E, além de outras providências, criou setores administrativos específicos para o empreendimento: a Gerência e a Divisão de Construção de Submarinos.

### ***Fabricação e Garantia de Qualidade no Arsenal***

Todos os equipamentos, sistemas e materiais para os submarinos IKL-1400 fabricados no Brasil foram especificados e encomendados pela própria HDW. Portanto, seus FATs realizaram-se na Alemanha, tendo o BWB como autoridade inspetora. Excetuaram-se apenas as baterias de propulsão principal, que a DEN nacionalizou na Saturnia, num longo e cuidadoso processo em que a GQ teve importante papel.

Portanto, as atividades de GQ realizadas no Brasil foram principalmente as de FAT no estaleiro e as de HAT e SAT.

Para a construção no Brasil, todos os documentos de GQ utilizados na Alemanha foram reelaborados em conjunto pelo Arsenal e pela DEN, que os detalharam para nossas condições particulares. Após aprovados pela DEN, eles foram aplicados nas dependências do Arsenal e a bordo, na presença de inspetores do Departamento de GQ do AMRJ e da Divisão de GQ da DEN.

Dos cinco engenheiros de GQ da DEN treinados na Alemanha, um demitiu-se pouco após seu regresso ao Brasil. Outro aposentou-se pouco mais tarde, mas sua contribuição para estruturar as provas de mar foi relevante. Os demais participaram ativamente da GQ na Nuclep e da GQ no Arsenal.

As inspeções de recebimento e as inspeções e testes periódicos durante o armazenamento de materiais e equipamen-

tos, vistas durante o treinamento na Alemanha, certamente são ainda mais importantes em climas quentes e úmidos como o nosso. Prova disso foi a degradação aqui ocorrida nos elastômeros de acoplamentos flexíveis de redes de alta pressão, apesar de eles terem sido armazenados conforme as recomendações do fabricante. Na inspeção prévia à instalação a bordo, os elastômeros foram submetidos a testes hidrostáticos em bancada com a pressão de teste especificada. Todo o lote foi reprovado e substituído por um novo lote. Este, após passar pelos mesmos testes, foi aprovado.

Três dos engenheiros de GQ da DEN treinados no BWB participaram da estruturação de toda a sistemática de garantia da qualidade dos submarinos em construção no Brasil. Na parte estrutural, a sistemática de GQ incluiu procedimentos de qualificação de processos de fabricação e montagem, controle dimensional, qualificação de operadores e ensaios não destrutivos dos cascos resistentes dos submarinos,

tanto na Nuclep como no Arsenal. Em sistemas mecânicos e elétricos, a sistemática de GQ abrangeu, entre outros aspectos, a elaboração de todos os procedimentos de teste, a especificação de equipamentos de teste e instrumentos de medição, a especificação de tolerâncias, o tratamento de não conformidades e defeitos etc.

Com base nas observações e anotações feitas durante os HAT e SAT, nossos engenheiros elaboraram um sistema computadorizado de coleta de dados, semelhante ao usa-

do pelos engenheiros da HDW, para realizar as provas de mar com um mínimo de pessoas e economia de tempo. Denominado Sistema de Monitoração e Aquisição de Dados (Sismad), compunha-se de diversos sensores de pressão, temperatura, rotação, tensão corrente, RPM, torque, vazão etc., direcionados para transdutores e conectados a placas de aquisição de dados com conversão analógica/digital. Ele enviava os dados obtidos para um computador HP (que na época media 800 x 1100 x 250mm e pesava cerca de 30 kg). Por meio de *software* especificamente desenvolvido, permitia a aquisição, condicionamento,

processamento e arquivamento dos dados, e posterior geração de um relatório de cada um dos testes realizados. Esses dados e relatórios encontram-se devidamente arquivados no Arquivo Técnico do CPN. O Sismad foi aplicado com muito bons resultados no Submarino *Tamoio*, nos anos de 1992 e 1993. Ele foi atualizado, utilizando o *software* Lab View e *notebook*, com novas placas de aquisição de dados. A nova versão, denomina-

da Sismad-2, foi usada na construção do *Timbira*, do *Tapajó* e do *Tikuna* com ótimos resultados, a ponto de os técnicos da Siemens usarem os nossos próprios dados para realizarem os ajustes dos parâmetros do sistema de propulsão.

Todo o processo de construção de submarinos IKL no Brasil realizou-se sem perdas ou danos apreciáveis, nem pessoais nem materiais. Sem dúvida, isso deveu-se ao bom planejamento, ao ótimo treinamento e à cuidadosa aplicação de conhecimen-

**Todo o processo de construção de submarinos IKL no Brasil realizou-se sem perdas ou danos apreciáveis, nem pessoais nem materiais. Sem dúvida, isso deveu-se ao bom planejamento, ao ótimo treinamento e à cuidadosa aplicação de conhecimentos**

tos. A dedicação de cada um dos participantes foi essencial. Mas não devemos esquecer que qualquer resultado é sujeito à lei das probabilidades. Confiança excessiva aumenta riscos.

### **Retaguarda técnica**

Em 1977, o Escritório Técnico de Construção Naval em São Paulo (ETCN-SP) iniciou a criação de uma retaguarda técnica para apoiar um Programa de Obtenção de Submarinos. Este veio a ser promulgado em 1984. Como se poderia imaginar apoio para um programa não conhecido e não formulado? A resposta é simples: pela reflexão sobre os problemas passados, as necessidades futuras e as oportunidades presentes. Foi isso o que fizemos dirigindo o ETCN-SP, diante das sistemáticas então vigentes dos Planos Nacionais de Desenvolvimento Científico-Tecnológico.

O Programa de Obtenção de Submarinos da Marinha nunca chegou a ser detalhadamente explicitado, principalmente quanto às interconexões com uma retaguarda técnica de antemão preparada para apoiá-lo, e que ainda muito deveria expandir-se para outras áreas. Não bastaria reproduzir no Brasil técnicas apreendidas no exterior. Partindo da dependência, buscávamos a autonomia. Portanto, era vital dominar os fundamentos das

técnicas apreendidas, para modificá-las e transformá-las conforme necessário ou conveniente ao construirmos submarinos por nós projetados. Para isso é indispensável uma retaguarda técnica. A explicitação das interfaces do Programa teria facilitado essa tomada de consciência.

Em outro trabalho narraremos a criação e o desenvolvimento da retaguarda técnica na associação do ETCN-SP com a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Epusp) para apoiar o Programa de Obtenção de Submarinos, tanto no projeto quanto na fabricação e nos testes de cascos resistentes de submarinos.

Quanto à fabricação, desde o início de 1986, estudaram-se questões importantes para a Garantia de Qualidade da fabricação de cascos resistentes na Nuclep

e sua montagem no Arsenal: qualificação de processos de medição de falta de circularidade; qualificação de operadores para medir falta de circularidade; determinação computadorizada da falta de circularidade. Os resultados foram aplicados durante a fabricação dos cascos resistentes

na Nuclep e no Arsenal, presentes os engenheiros da Epusp. Nossos engenheiros e técnicos devem convencer-se plenamente da necessidade de qualificações rigorosas baseadas em conhecimentos nacionais. Lembremos sempre que, em condições extremas, os rigores na fabricação do casco resistente farão a

**Em 1977, o Escritório Técnico de Construção Naval em São Paulo iniciou a criação de uma retaguarda técnica para apoiar um Programa de Obtenção de Submarinos. Este veio a ser promulgado em 1984**

**E como aspirar a submarinos nacionais, nucleares ou não, confiando apenas em técnicas estrangeiras cujos fundamentos não conseguimos dominar?**

diferença entre vida e morte, vitória e derrota. E como aspirar a submarinos nacionais, nucleares ou não, confiando apenas em técnicas estrangeiras cujos fundamentos não conseguimos dominar?

### *Corte circunferencial do casco resistente*

Uma de minhas primeiras tarefas como engenheiro no Arsenal foi dirigir uma operação de retirada e recolocação de um tampão rebitado no casco resistente de um velho submarino classe *Guppy*, em 1964. Ele se destinava à passagem de equipamentos de certo porte a serem reparados em terra. Era um trabalho difícil e importante. Esse tampão, embora grande, não seria suficiente para a retirada de equipamentos como os motores do sistema de propulsão do submarino. Vinte anos mais tarde eu viria a defrontar-me com problema semelhante, mas noutra posição e em melhores condições.

No início de nossa capacitação em reparos de submarinos, ocorrida em 1965, intrigaram-me o instrumento e o processo de medição de falta de circularidade que recebemos da Marinha americana e passamos a usar no Arsenal. Eu tivera, no MIT, uma boa introdução ao projeto estrutural de submarinos, e em minha tese tratara de mecanismos de colapso de anéis sob pressão externa. Não me agradava usar um processo sem conhecer seus fundamentos e sem a possibilidade de evoluir por conta própria diante de novas necessidades. Mas as aspirações técnicas da Marinha e do Brasil naquela época eram mínimas.

Criando uma retaguarda técnica na associação do ETCN-SP com o Departamento Naval da USP na década de 1970, nela incluí uma linha de estudos, pesquisas e experimentações sobre cascos resistentes de submarinos, que progrediu até interromper-se em 1993, com a estagnação do Pla-

no de Reparelhamento da Marinha. Sete anos antes, em 1986, já era ponderável o conhecimento que nela se acumulara sobre aspectos críticos de projeto e de controle geométrico em fabricação e avaliação de resultados de falta de circularidade de cascos resistentes de submarinos. Mesmo depois que saí do ETCN-SP para a DEN, em dezembro de 1981, acompanhei e estimei continuamente essa linha de estudos, realizada por engenheiros civis que foram meus alunos de graduação e pós-graduação, e continuamente impulsionada por oficiais que me sucederam na direção do ETCN-SP.

Já como diretor da DEN, em 1986, recebi uma solicitação do consórcio HDW-Ferrostaal sobre a opção de comprarmos, ou não, o tampão removível para a retirada dos motores dos submarinos a serem construídos no Brasil. Esse tampão deveria ser fixado no casco resistente por estojos produzidos pela HDW, e sua fixação e vedação era complexa. A alternativa ao uso do tampão era apenas uma: seccionar circunferencialmente o casco resistente no Período de Manutenção Geral do submarino, afastar entre si as seções resultantes do corte, retirar todos os equipamentos a serem reparados em terra, repará-los, recolocá-los, unir e realinhar as seções, soldá-las com a mesma técnica usada na construção e medir e avaliar os efeitos da falta de circularidade final. Essa alternativa, embora exigindo muito maior capacidade técnica própria, tornaria mais fácil a retirada, o reparo e a recolocação de equipamentos. Eu sabia que já havíamos conseguido a capacidade própria necessária: a de soldagem e fabricação obtivéramos na cuidadosa preparação de técnicos e engenheiros do Arsenal na HDW; a de medição e avaliação da falta de circularidade, obtivéramos nos estudos sobre submarinos realizados na associação do ETCN-SP com o

Departamento Naval da Epusp, que eu pessoalmente instituíra, estimulara e acompanhara nos últimos anos. Na realidade, estávamos em vias de usar essa capacidade própria na fabricação das seções do casco na Nuclep. Portanto, eu dispunha de elementos seguros para tomar pessoalmente a decisão: prontamente respondi que não compraríamos os tampões removíveis.

O corte do casco resistente para retirada, reparo e recolocação de equipamentos durante períodos de manutenção geral de nossos submarinos classe *Tupi* tornou-se procedimento normal do Arsenal, que também o utilizou em serviços no Submarino *Santa Cruz* da Marinha argentina.

#### **PROGRAMA PERMANENTE DE PROJETO E CONSTRUÇÃO DE SUBMARINOS**

Não será demais repetir o que dissemos na primeira parte deste trabalho [3], com alterações próprias ao momento atual.

Longos anos de paz deixam abertos e emperram os portões de qualquer fortaleza. Com a inexorável escassez de recursos naturais e um sistema econômico mundial cuja lógica é *crescer ou morrer*, ricas fortalezas de portões abertos e emperrados serão invadidas: cedo ou tarde; lentamente ou num assalto; à força de *marketing*, diplomacia e finanças; e também pelas armas. Escaparão

aquelas que conseguirem suficiente potencial bélico de dissuasão. E esse potencial é tão importante na frente diplomática como na retaguarda extrema de defesa.

Não há dissuasão sem vontade nacional bem conduzida. E a vontade nacional será bem conduzida se as obtenções de instrumentos de defesa gerarem evolução tecnológica e riqueza no País. Portanto, além de razões logísticas, é indispensável que as obtenções de navios de guerra sejam meios

de radicar e desenvolver no País conhecimentos e recursos de projeto, inovação, produção, apoio e operação. Nesse imperativo é que se baseou todo o programa de obtenção de corvetas e submarinos das décadas de 1980/90. Ele é cada vez mais válido.

Submarinos são atualmente instrumentos fortes de dissuasão, talvez os principais quando há disparidade de forças. Mesmo forças navais poderosas são sensivelmente vulneráveis a ameaças de modernos submarinos convencionais [5], [9], [11]. Avanços em discriminação acústica e mag-

nética, capacidade de lançar mísseis antinavio, e modernos sistemas de armas em submarinos convencionais levam Marinhas poderosas a intensa procura de meios para neutralizá-los [10], [12]. Entre esses, destaca-se o progresso contínuo na tecnologia de veículos submarinos não tripulados (*undersea unmanned vehicles*) [13], que

**Com a inexorável escassez de recursos naturais e um sistema econômico mundial cuja lógica é *crescer ou morrer*, ricas fortalezas de portões abertos e emperrados serão invadidas: cedo ou tarde; lentamente ou num assalto; à força de *marketing*, diplomacia e finanças; e também pelas armas. Escaparão aquelas que conseguirem suficiente potencial bélico de dissuasão**

certamente serão os principais obstáculos ao sucesso de submarinos convencionais e nucleares como armas de dissuasão.

Nosso Programa de Projeto e Construção de Submarinos tem que ser permanente. Mas deve ser evolutivo: é necessário que grupos sucessivos de submarinos incorporem novas tecnologias que os mantenham sempre à frente de outras destinadas a neutralizá-los. Portanto, crescerá a importância de penetrarmos na parte mais cérebro-intensiva do projeto, e de progredirmos rapidamente em sistemas de armas, que é o setor mais caro e de mais veloz evolução tecnológica.

Mesmo mantendo um ritmo constante de projeto e produção de um submarino a cada cinco anos — e supondo-se uma vida útil de

40 anos, com uma modernização de meia-vida —, não conseguiremos ter mais que oito submarinos em serviço, meta muito aquém de nossas necessidades. A continuidade, e só a con-

tinuidade, é que permitirá uma constante evolução de projeto, produção, operação e apoio logístico, requisitos indispensáveis para uma dissuasão eficaz.

Não podemos reiniciar nossos esforços em projeto de submarinos no ponto do qual regredimos há quase 20 anos. Houve uma grande perda de capacidade, que requer tempo e determinação para ser superada. E a própria construção de submarinos — que é apenas uma parte da capacidade ne-

cessária — perdeu quase todo o seu quadro altamente especializado [6]. Nossa recuperação desponta. Mas há um caminho árduo a percorrermos, sempre com esforço próprio.

**Nosso Programa de Projeto e Construção de Submarinos tem que ser permanente. A continuidade, e só a continuidade, é que permitirá uma constante evolução de projeto, produção, operação e apoio logístico, requisitos indispensáveis para uma dissuasão eficaz**

#### 📁 CLASSIFICAÇÃO PARA ÍNDICE REMISSIVO:

<POLÍTICA> / Poder Nacional; Poder Militar; Poder Naval Brasileiro; Ciência e Tecnologia; Submarino; Submarino nuclear;

N.A.: Inicialmente escrito em dezembro de 2008.

## REFERÊNCIAS

- [1] FREITAS, Elcio de Sá (Vice-Almirante-EN-Ref<sup>2</sup>). “A Busca de Grandeza I”, *Revista Marítima Brasileira*, set/2006.
- [2] Idem. “A Busca de Grandeza II – Nacionalização”, *Revista Marítima Brasileira*, jun/2007.
- [3] Idem. “A Busca de Grandeza III – Projeto”, *Revista Marítima Brasileira*, mar/2011.
- [4] *O Arsenal e a Construção de Submarinos no Brasil* – Subsídios Elaborados Pelo Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro, 2008.
- [5] CARVALHO, Roberto Guimarães (Almirante de Esquadra – ex-comandante da Marinha). “Submarinos: a visão da Marinha”, *Revista Marítima Brasileira*, mar/2007.
- [6] SILVA, Othon Luiz Pinheiro da (Vice-Almirante-EN-RM-1) e MARQUES, André Luís Ferreira (Capitão de Fragata-EN). “Enriquecimento de urânio no Brasil”, *Revista Marítima Brasileira*, jun/2006.
- [7] CASTRO, Ronaldo Fiuza de (Vice-Almirante). “Armas que garantem a paz – a Diretoria de Sistemas de Armas da Marinha”, *Revista Marítima Brasileira*, set/2003.
- [8] BOTELHO, Mário Ferreira (Capitão de Mar e Guerra-EN). “Mostra de Armamento do Submarino *Tikuna*”, *Revista Marítima Brasileira*, mar/2006.
- [9] POLMAR, Norman. “Back to the Future” *U.S. Naval Institute Proceedings*, mar/2006.
- [10] CARRIER, Robert P. (Captain, U. S. Navy). “No Class Jaw” *U.S. Naval Institute Proceedings*, jun/2006.
- [11] SMITH, Robert H. (Captain-U. S. Navy-Retired). “The Navy and Its DDG-1000 – Heading Wrong”, *U.S. Naval Institute Proceedings*, ago/2007.
- [12] PATTON JR., James H. (Captain-U. S. Navy-Retired) “Dominance: Awareness With Teeth” *U.S. Naval Institute Proceedings*, jun/2008.
- [13] The Navy Unmanned Undersea Vehicle (UUV) Master Plan – USN, November 9, 2004.