

1974-PS

THE CONTRIBUTION OF THE NUCLEAR PROGRAM OF THE BRAZILIAN NAVY (NPN) TO THE NATIONAL SYSTEM OF INNOVATION (NSI)

Amilton Fernando Cardoso (Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São Paulo, Brasil) - amilton@ita.br

André Luiz Pinheiro Correa Lima (Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São Paulo, Brasil) - pinheiro@ita.br

Arnoldo Souza Cabral (Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São Paulo, Brasil) – cabral@ita.br

Mikey da Silva Neto (Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São Paulo, Brasil) - mikey@ita.br

Abstract: The objective of the article is to analyze the contribution of the Nuclear Program of the Brazilian Navy (NPN) to the National System of Innovation (NSI). This study is classified as descriptive and exploratory as it seeks to characterize the process of project selection and the research methodology was based on technical literature, dissertations, doctoral theses, scientific articles, technical catalogs, site-specific and also on data arising from the information system of the own Navy of Brazil (NB). As a result of the research is evident in the great national effort to have the ability to manufacture its own nuclear fuel, without any external dependency, and knowledge to design and build nuclear power plants; as well as we detached the specific case of NB in developing his nuclear program and, to dominate the necessary technology to the project and construction of the submarine with nuclear propulsion.

Keywords: Program; Innovation; System; Technology; Nuclear.

A CONTRIBUIÇÃO DO PROGRAMA NUCLEAR DA MARINHA (PNM) AO SISTEMA NACIONAL DE INOVAÇÃO (SNI)

Resumo: O objetivo do artigo é analisar a contribuição do Programa Nuclear da Marinha (PNM) ao Sistema Nacional de Inovação (SNI). O estudo em questão classifica-se como descritivo e exploratório uma vez que busca caracterizar o processo de seleção de projetos do PNM e, a metodologia da pesquisa baseou-se em literaturas técnicas, dissertações de mestrado, teses de doutorado, artigos científicos, catálogos técnicos, sites específicos e também em dados advindos do sistema de informações da própria Marinha do Brasil (MB). Como resultado da pesquisa evidencia-se o grande esforço nacional de ter a capacidade de fabricar o próprio combustível nuclear, sem nenhuma dependência externa, e o conhecimento para projetar e construir plantas nucleares de potência, como também destacamos o caso específico da MB em desenvolver o seu programa nuclear e, dominar a tecnologia necessária ao projeto e construção do submarino com propulsão nuclear.

Palavras-chave: Programa; Inovação; Sistema; Tecnologia; Nuclear.

1 Introdução

A aceleração dos processos de evolução dos sistemas sócio-econômicos ocorrida nas duas últimas décadas foi tão intensa que desnor-teou a grande maioria dos agentes políticos e econômicos.

A Marinha do Brasil (MB) sempre possuiu relevância no cenário militar nacional, na tentativa de manter seus meios disponíveis para cumprir suas tarefas de patrulha e defesa da costa, mas por forças alheias aos seus desejos (leia-se falta de recursos), tem prestado serviços aquém as suas reais possibilidades.

O propósito da Marinha do Brasil em desenvolver o seu Programa Nuclear é dominar a tecnologia necessária ao projeto e construção de um submarino com propulsão nuclear, arma com poder dissuasório ainda maior que o do submarino convencional, por sua capacidade de operar quase que indefinidamente sem depender da atmosfera garantindo-lhe um poder de ocultação significativo.

2 Revisão de literatura

2.1 Inovação, competição e concentração

As relações entre ciência, tecnologia e economia podem ser apreendidas a partir da visão de Schumpeter (1988), na qual as inovações tecnológicas assumem o centro da dinâmica capitalista e o desenvolvimento econômico surge da introdução destas inovações. O desenvolvimento deve, então, ser visto como um processo de evolução, em conformidade com o conceito de destruição criadora introduzido por Schumpeter (1961).

Não obstante o papel transformador atribuído à tecnologia na obra de Schumpeter, muitos economistas, em especial os neo-schumpeterianos, vêm apresentando argumentos e fatos em defesa também do progresso científico na esfera econômica e dentro do processo de desenvolvimento.

Assim, não só a ciência, que gera o conhecimento, é vista como fundamental para o progresso tecnológico, como recebe contribuições deste (Rosenberg, 1990), devendo ser considerada ao mesmo tempo líder e seguidora (Nelson e Rosenberg, 1993) no processo de desenvolvimento.

Pavitt (1992) descreve as fontes de inovação (oportunidade, apropriabilidade e cumulatividade), depois destaca os elementos gerenciais necessários à inovação (capacidade de pensar estrategicamente a longo prazo - que determina a mobilização de recursos para P&D por um critério diferente da capitalização dos fluxos de caixa futuros) e finalmente fala dos aspectos específicos à firma, devido à sua trajetória, do processo inovativo (sistemas abertos, mas organização baseada em rotinas e aprendizado).

Rosenberg (2006), discutindo a interdependência tecnológica, argumenta que as invenções nunca emergem isoladamente. No processo de inovação e expansão produtiva é mais comum a presença de aglomerado de inovações inter-relacionados (Rosenberg, 2006).

Cabe ressaltar que o poder limitado à estrutura hierárquica é algo ainda presente nas organizações, no entanto cada vez mais questionado no ambiente organizacional. Para Hall (2002) o exercício do poder pode ser influenciado por padrões informais e diferenças pessoais.

Apesar do exposto, não se pode desprezar a importância das estruturas de poder formais nas organizações. No ambiente organizacional observa-se uma freqüente legitimidade da direção hierárquica e raramente se questionam frases do tipo, o chefe quer... ou o presidente quer.... (Hall, 2002)

Diante deste contexto, cabe ressaltar a importância da distribuição do poder no que tange ao processo de tomada de decisões. Hall (2002) cita que os detentores do poder moldam e decidem quais temas são de interesse e quais não merecem atenção.

Neste sentido, cabe ao tomador de decisão administrar os diversos tipos de poder presentes no cenário organizacional com o fim de selecionar aqueles projetos que mais se adequam aos objetivos da organização. A estruturação de projetos sempre esteve presente no cenário organizacional.

2.2 Tecnologias revolucionárias

O caso particular do PNM poderíamos considerar a tecnologia velha como o submarino convencional e a novo submarino nuclear, ou seja, a construção do mesmo seria uma mudança tecnológica com ruptura. A figura 1 ilustra a mudança tecnológica com ruptura.

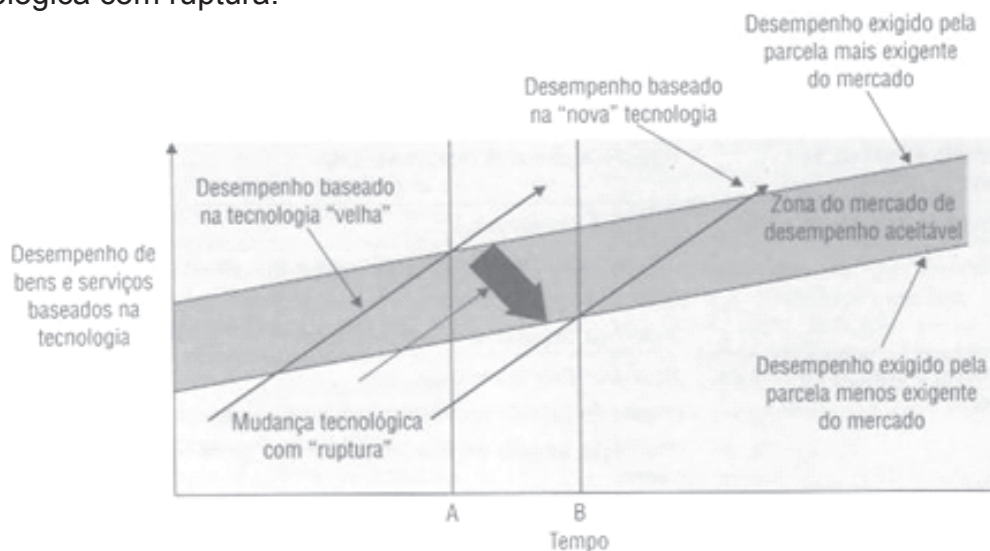


Figura 1 - Mudança tecnológica com ruptura
Fonte: Slack, N. *et al.*, 2008.

No caso brasileiro as descobertas de campos petrolíferos e a sustentabilidade de nossa economia diante da crise recente mostraram que se faz imperativo um investimento significativo em Defesa, sendo assim o submarino que construiremos em futuro próximo deve aumentar o desempenho aceitável pelo mercado, que é em nosso caso a nação brasileira na medida em que a nossa Marinha possa proteger de forma mais eficiente a Amazônia azul.

2.3 Sistema Nacional de Inovação (SNI)

O desenvolvimento do conceito de Sistema Nacional de Inovação pressupõe, ainda, uma abordagem teórica distinta da neoclássica. A unidade de análise é a firma inovadora, definida como uma organização ativa, bastante distinta da firma representativa dos modelos de equilíbrio geral neoclássico. A

firma inovadora, buscando a realização de lucros, atua com racionalidade restrita (ou limitada), utilizando-se de rotinas e mecanismos de busca, adotando estratégias e tecnologias que serão (ou não) sancionadas por mecanismos de seleção tanto mercantis quanto sócio institucionais (Perez, 1986).

O conceito de Sistema Nacional de Inovação foi explicitamente formulado por Freeman (1995), quando pesquisava o processo de desenvolvimento do Japão no pós- Segunda Guerra Mundial. No entanto, o autor que usou a expressão Sistema Nacional de Inovação pela primeira vez foi Bengt-Ake Lundvall (1992). Todavia, como ele mesmo colocou em seus escritos, essa idéia foi baseada na concepção de Sistema Nacional de Economia Política ou mais especificamente de Sistema Nacional de Produção de Friedrich List (Freeman, 1995).

2.4 Schumpeter e a concorrência monopolista

Kupfer e Hasenclever (2002) citam que a concorrência schumpeteriana caracteriza-se pela busca permanente de diferenciação por parte dos agentes, por meio de estratégias deliberadas, tendo em vista a obtenção de vantagens competitivas que proporcionam lucros de monopólio, ainda que temporários.

Entende-se que a capacitação de nosso arsenal de Marinha gerado pelo programa nuclear via acordo França-Brasil, poderá viabilizar um possível mercado na América Latina, tanto de construção de submarinos, manutenção e fornecimento de itens de defesa para os países vizinhos.

Kupfer e Hasenclever (2002) mencionam que o desfecho do processo de concorrência não é predeterminado, mas depende de uma interação complexa de forças que se modificam ao longo do mesmo processo – mecanismos dependentes da trajetória (*path dependence*), como são chamados na literatura, tornando muitas vezes impossível prever a própria existência, que dirá as características de um estado terminal. Esse, por sinal, é um traço típico de processos produtivos.

Na pesquisa identifica-se a teoria schumpeteriana no caso do acordo Brasil e França, onde o estaleiro DCN5, controlado pelo governo francês e pelo grupo Thales, conquistou aquele que é considerado o maior contrato de exportação já assinado pela empresa, quatro submarinos diesel-elétricos dentro de um amplo pacote de transferência tecnológica, assistência técnica para o desenvolvimento e a construção da parte não-nuclear do primeiro submarino brasileiro de propulsão nuclear, além de apoio. Para um novo estaleiro em Itaguaí (RJ) e uma base para submarinos (Mileski, 2009).

2.5 Dependência da trajetória

A dependência da trajetória aplicada à firma pode significar que algumas firmas inovadoras acabem por se beneficiar do lucro extraordinário conseguido, podendo tornar-se mais aptas no desenvolvimento de outras inovações. Cabe aqui uma discussão sobre os monopólios, na medida em que firmas podem adquirir uma hegemonia nos mercados onde atuam, devido à cumulatividade do conhecimento e dos recursos crescentes investidos em P&D. Isto remete à hipótese schumpeteriana: (...) *the claim that a market structure involving large*

firms with a considerable degree of market power is the price that society must pay for rapid technological advance. (Nelson e Winter, 1982).

O trabalho de Nelson e Winter (1982) apresenta uma noção de dependência da trajetória quando estes autores tratam de regime tecnológico (Nelson e Winter, 1982. Este conceito permanece presente nos paradigmas tecnológicos de Dosi (1997). Tanto os regimes tecnológicos como os paradigmas tecnológicos envolvem a idéia de que pode existir no início da evolução gradual de uma tecnologia algum evento que faça com que outros desenvolvimentos convirjam para ela, podendo gerar uma tecnologia dominante (Coombs *et al.*, 1989). Tal evolução seria determinada por um processo de aprendizado que ocorre na medida em que os agentes se envolvem na busca de novos conhecimentos. Este processo envolve etapas seqüenciais que acabam por influenciar as próximas decisões.

2.6 Recursos herdados

A percepção de que as empresas possuem estratégias tecnológicas diferenciadas é ponto de convergência entre a visão penroseana baseada em recursos” a teoria dos esforços tecnológicos dinâmicos.

Para Penrose (1959) a empresa possui uma base tecnológica ou produtiva que corresponde a todo um conjunto de recursos herdados (conhecimentos, experiências acumuladas, máquinas, matérias-primas, etc.) responsáveis pela execução de seus mais diversos tipos de atividade. Com efeito, as diferentes formas de uso e combinação destes recursos podem gerar novos serviços produtivos (ou inovações).

O enfoque baseado nos esforços tecnológicos dinâmicos busca preencher esta lacuna. Entre os autores a adotar essa abordagem, Freeman e Soete (1997) apresentam uma tipologia de estratégias adicionando um componente essencial à idéia de trajetórias preferenciais desenvolvida por Penrose (1959). Embora se trate de um amplo estudo baseado em economias desenvolvidas e dirigido a grandes empresas, as tipologias sugerem que *cada* estratégia tecnológica demanda diferentes níveis e tipos de recursos ou esforços tecnológicos para ser auferida.

Percebe-se, portanto, que no centro de todo o processo de busca e transformação de recursos, um conjunto de esforços é necessário para a empresa desenvolver uma nova tecnologia ou melhorar as já existentes. (Nelson e Winter, 1982) Como resultado desse esforço, as empresas produzem diferentes tipos e níveis de conhecimentos tecnológicos, que se acumulam em forma de trabalhadores especializados, de tecnologia própria e de know-how difíceis de ser imitados ou transferidos (Dosi, 1991)

O processo pelo qual as empresas produzem e acumulam tais conhecimentos é chamando de aprendizado tecnológico. Esse aprendizado é altamente específico à tecnologia: existem tecnologias incorporadas na forma de equipamentos, e outras com maior nível de conhecimento tácito, difícil de ser transferido ou imitado.

2.7 Endogeneização da mudança técnica

O paradigma, para Kuhn (2006) as realizações científicas, que notadamente reconhecidas, anunciam postulados descritivos e interpretativos sobre os problemas científicos. A acumulação do conhecimento produziu historicamente o celeiro de paradigmas, interligados e devidamente relacionados. Muitos eventos não são isolados e estão relacionados a outros produzidos em tempos assíncronos ou síncronos.

Para Kuhn (2006) não há como desprezar as descobertas que surgiram da não-acumulação e que da mesma forma revolucionaram o conhecimento científico. As idéias desenvolvidas nesse livro provocaram grandes debates nas comunidades científicas. A repercussão do que Kuhn caracterizou como paradigma influenciou e ainda influencia os estudos sobre ciência.

Rosenberg (1969) destaca-se por realçar importantes pontos sobre o processo de mudança tecnológica e por assinalar a influência que o nível de aprendizado exerce sobre o rumo da mudança tecnológica.

Nesse contexto, Rosenberg (1969) sugere uma teoria de mudança técnica induzida baseada na necessidade óbvia e obrigatória de superar as restrições sobre o crescimento ao invés da escassez relativa de fatores e de seus preços relativos. Nas indústrias e nas empresas, os inovadores irão procurar resolver os problemas do processo produtivo (gargalos que exigem soluções).

2.8 Paradigmas tecnológicos

(...) paradigma tecnológico é um pacote de procedimentos que orientam a investigação sobre um problema tecnológico, definindo o contexto, os objetivos a serem alcançados, os recursos a serem utilizados, enfim um padrão de solução de problemas técnicos econômicos selecionados (...) (Dosi, 1984).

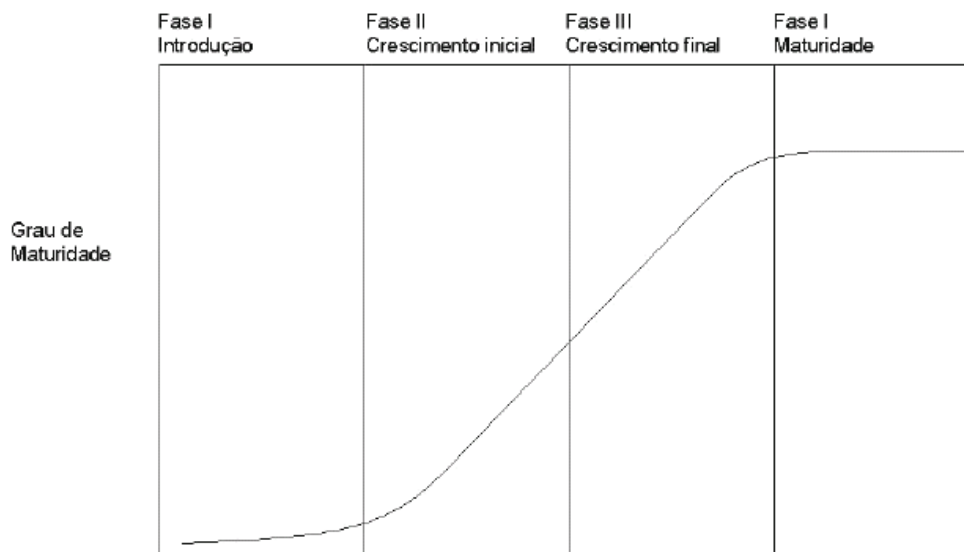
Freeman (1995) destaca as características típicas são encontradas em paradigmas vitoriosos, tais como:

- Fortes reduções de custos e melhorias tecnológicas de muitos produtos e serviços;
- Aceitação política e social;
- Capacidade de estender seus efeitos por todo o sistema econômico.

Além disso, para que o novo paradigma tecno-econômico possa demonstrar toda sua capacidade de transformação econômica, é necessário um período de adaptação das estruturas sociais e institucionais a suas necessidades (Perez, 1983).

A tendência à economia do fator-trabalho é contrabalanceada pelo crescimento do setor de bens de capital, associada aos episódios de queima de capital. Além disso, novos setores podem surgir na economia, fazendo com que esta apresente grandes taxas de crescimento do emprego.

A idéia de que um paradigma tecnológico possui diferentes fases de desenvolvimento e que, em cada uma delas, há um aumento em seu grau de maturidade, demonstrado na figura 2.



Fonte: Perez e Soete, 1988.

Figura 2 – Paradigmas tecnológicos – fases de desenvolvimento.

2.9 Trajetórias tecnológicas

A trajetória tecnológica pode ser definida como desdobramentos próprios no interior de um paradigma tecnológico, correspondendo, em geral, às respostas aos diversos *trade-offs* estabelecidos entre as variáveis tecnológicas (Dosi, 1984). Cabe anotar que, embora de forma mais rara e forte, os paradigmas tecnológicos também podem sofrer modificações.

Dosi (1984) menciona que as inovações radicais que estão na gênese de um novo paradigma são mais dependentes das novas oportunidades abertas pelas descobertas científicas ou por fortes obstáculos encontrados no desenvolvimento de determinadas trajetórias tecnológicas.

Incorporadas ao conceito de trajetória tecnológica estão algumas importantes características, quais sejam: as trajetórias tecnológicas podem ser mais gerais ou mais circunstanciadas; podem apresentar complementariedades; são parcialmente dependentes de características cumulativas; seus resultados são indefinidos *ex-ante* (é impossível prever com exatidão o que acontecerá com uma trajetória tecnológica); a fronteira tecnológica é mutável, e as tecnologias podem tanto competir entre as novas e velhas tecnologias como entre as possíveis novas (Salles Filho, 1993).

Pode-se afirmar que a trajetória tecnológica representa a maneira por meio da qual o paradigma tecnológico evolui, sendo este último o estabelecedor das necessidades a serem atendidas no seu interior.

3 As estratégias tecnológicas do programa nuclear da Marinha com relação à inovação

Na atualidade, o principal objetivo do Programa, que está sendo desenvolvido pelo Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo (CTMSP), é estabelecer a competência técnica autóctone para projetar, construir, comissionar, operar e manter reatores do tipo Reator de Água Pressurizada - *Pressurized Water Reactor* (PWR) e produzir o seu combustível (Marinha do Brasil, 2009).

Dominada essa tecnologia, ela poderá ser empregada na geração de energia elétrica, quer para iluminar uma cidade, quer para propulsão naval de submarinos (Marinha do Brasil, 2009).

3.1 Histórico do PNM

O Programa Nuclear da Marinha (PNM), que a Força vem executando desde 1979, com enorme sacrifício, visa capacitar o País a dominar o ciclo do combustível nuclear e a desenvolver e construir uma planta nuclear de geração de energia elétrica, incluindo-se aí a confecção do reator nuclear. A primeira parte do propósito - domínio do ciclo do combustível – já foi atingida, restando ainda o esforço de conclusão da segunda parte – a planta nuclear (Marinha do Brasil, 2009).

Do início, em 1979, até por volta do princípio da década de 1990, o Programa Nuclear da Marinha contou com o aporte de recursos adicionais ao orçamento da Força, provenientes de outras fontes governamentais, que possibilitaram o domínio do ciclo do combustível, alcançado ao final da década de 1980 (Marinha do Brasil, 2009).

A partir daí, o programa passou a ser custeado, praticamente, com recursos apenas do orçamento da Marinha do Brasil (MB), que, além de declinante, tem de atender a todas as demais demandas da Força. A solução visualizada para a conclusão desse Programa é a sua transformação em um Programa Nacional, e não apenas da Marinha, garantindo o aporte adicional, regular e continuado dos recursos capazes de fazer face às necessidades de um empreendimento dessa natureza (Marinha do Brasil, 2009).

Desde que haja investimentos anuais de cerca de R\$ 130 milhões, durante os próximos oito anos, o reator poderá ser testado. Se não houver investimento algum, a consequência será a manutenção do Programa Nuclear da Marinha em estado vegetativo ou até mesmo sua paralisação (Marinha do Brasil, 2009). A figura 3 mostra a dimensão da nossa Amazônia azul.

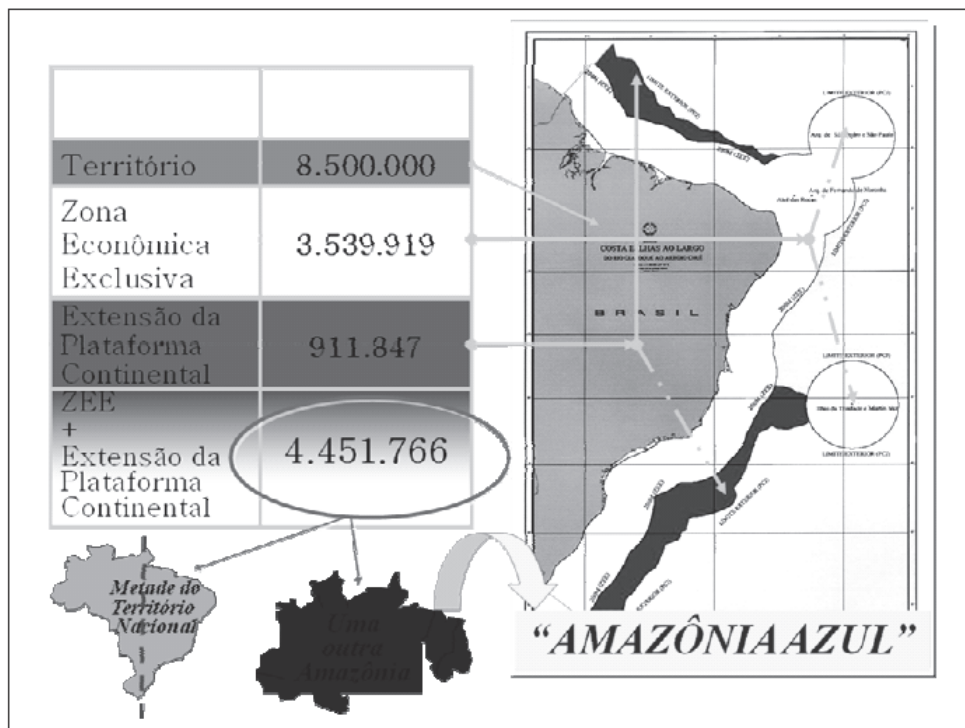


Figura 3 – A Amazônia Azul.

Fonte: Souza, 2007.

Na concepção estratégica da MB, a disponibilidade desses meios significaria acrescentar nova dimensão ao nosso Poder Naval, garantindo-lhe invejável capacidade de dissuasão e colocando-o à altura das necessidades resultantes da missão constitucional da Força Naval.

3.2 Conquistas inovativas do PNM

Nesta parte da pesquisa destacamos *Portfólio* dos produtos gerados pelo PNM, evidenciando a construção do submarino a propulsão nuclear como o principal produto de inovação tecnológica do programa.

3.2.1 O submarino nuclear brasileiro

Dentre todos os países do globo somente cinco países dominam a capacidade tecnológica da construção de submarinos nucleares, considerando desta forma um avanço significativo para Marinha e a nação, em razão desta eminência o termo inovação, comumente usado, aplica-se adequadamente ao Brasil no tocante a realização deste empreendimento.

A diferença entre o submarino nuclear e o convencional é o seu sistema de propulsão. A planta de propulsão nuclear desse submarino compreende, basicamente, dois circuitos: primário e secundário. Na figura 4 está configurado como é o sistema de propulsão nuclear do submarino

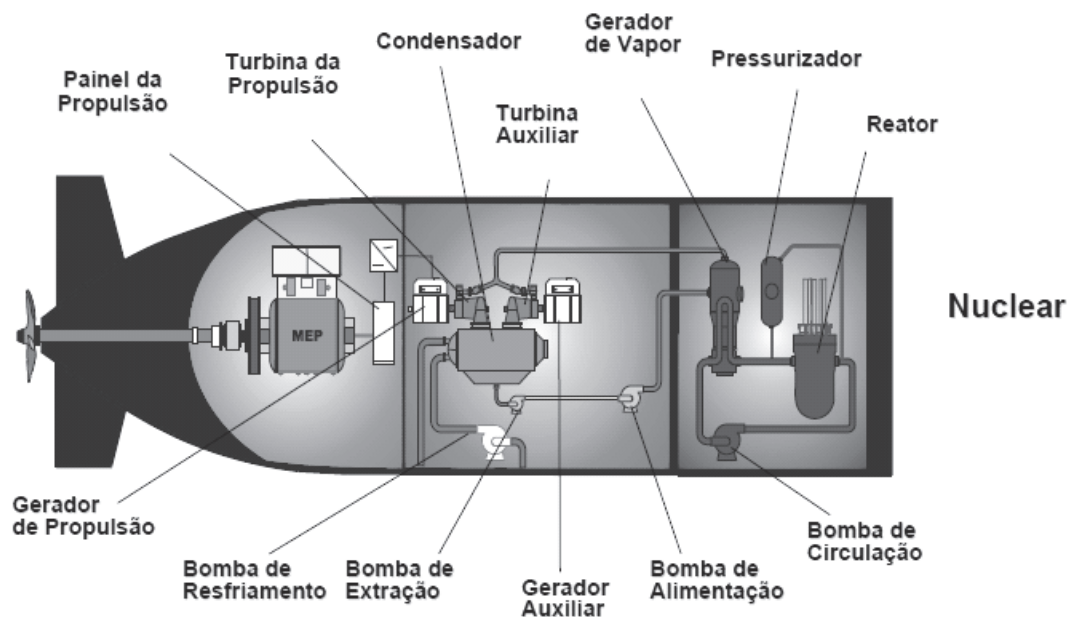


Figura 4 - Propulsão naval de submarinos
Fonte: Marinha do Brasil, 2009.

O circuito primário é um circuito fechado de água pressurizada que recebe o calor produzido pelo reator nuclear. A água aquecida é mantida pressurizada de modo a não se tornar vapor. Essa água aquecida passa, então, por um trocador de calor, que constitui o gerador de vapor, o qual transfere esse calor para um circuito fechado de água a baixa pressão, chamado de circuito secundário, que assim se converte em vapor (Liberatti, 2002).

Essa troca de calor, não há contato da água do circuito primário com a do secundário, de modo a evitar a contaminação, por ser a primeira radioativa. O circuito secundário nada mais é do que uma instalação tradicional de propulsão de turbina a vapor, na qual o vapor gerado vai operar turbinas que movimentam geradores, os quais produzem energia elétrica para os motores elétricos principais e para atender aos demais utilizadores do submarino.

A reação nuclear no reator se dá pela fissão do combustível formado por isótopos de urânio-235 (U235), que é controlada mediante a inserção de hastes de controle absorvedoras de nêutrons (Liberatti, 2002)

Nesse tipo de propulsão, a reação nuclear em cadeia se processa no núcleo do reator, produzindo calor em abundância, sem necessitar de oxigênio no processo, o que torna esses submarinos independentes do ar atmosférico, razão pela qual são chamados de verdadeiros submarinos (Rush *et al.* 1958).

O submarino nuclear é capaz de produzir uma vasta quantidade de energia excedente, o que lhe possibilita operar em altas velocidades e maiores que de qualquer navio de superfície; possui a capacidade de operar em imersão por períodos prolongados de tempo e permanecer em áreas longínquas por longo tempo, deslocando-se como necessário para interceptar, alcançar, acompanhar ou perseguir seus alvos e atacá-los no momento oportuno.

Essas características tornam esse tipo de submarino adequado para países como o Brasil, de dimensões continentais, com grandes extensões oceânicas para cuidar (Liberatti, 2002). A figura 5 mostra os detalhes da maquete do projeto do submarino nuclear brasileiro.



Figura 5 – Maquete do projeto do submarino nuclear brasileiro.
Fonte: Marinha do Brasil, 2009

Embora a propulsão do submarino nuclear não necessite de oxigênio, a sua tripulação depende desse elemento vital para a sua sobrevivência. Assim sendo, essa questão foi resolvida por meio da eletrólise da água do mar, um processo que demanda grande quantidade de energia elétrica. Por esse processo, a energia nuclear disponível em vasta quantidade é utilizada para produzir corrente elétrica de modo a separar o oxigênio da água.

Com o oxigênio que é liberado mais o emprego de absorvedores de dióxido de carbono (CO₂), é possível controlar a qualidade da atmosfera a bordo, de modo a assegurar a independência do submarino da superfície (Liberatti, 2002).

Esses sistemas chegam a garantir, até o momento, uma velocidade de avanço de, no máximo, cinco nós por cerca de duas semanas. De acordo com Liberatti, embora esse resultado seja significativo, ele ainda não se traduz em uma nova dimensão para o submarino convencional. No seu entendimento, por enquanto, nada se compara ao submarino nuclear (Liberatti, 2002).

3.2.2 Portfólio dos produtos gerados pelo PNM

O Programa Nuclear da Marinha vem demonstrando, desde seu início, uma grande capacidade de mobilização e estímulo dos setores de Ciência e Tecnologia (C&T) e de produção. São inúmeras as parcerias estabelecidas com universidades, centros de pesquisa e desenvolvimento, indústrias e empresas projetistas de engenharia, entre outros (Marinha do Brasil, 2009).

Com essas parcerias, o Programa evidencia sua capacidade de gerar efeitos de arrasto, tanto por meio do incentivo à ampliação da base tecnológica nacional, decorrente dos desafios que coloca aos setores de C&T e de produção, como por meio do desenvolvimento de equipamentos e componentes de uso não restrito aos objetivos do Programa, como por exemplo (Marinha do Brasil, 2009):

- a) Sistema de Controle das Máquinas Principais e Auxiliares (SCMPA) das Fragatas Classe “Niterói”, decorrente da capacitação acumulada no desenvolvimento de tecnologia para projetos de sistemas de controle e automação de alto desempenho, como são os sistemas que envolvem enriquecimento de urânio e a operação de reatores nucleares;
- b) Giroscópio e acelerômetros, os quais são usados em plataformas inerciais para navegação e estabilidade de navios, submarinos e plataformas de

- petróleo. Este desenvolvimento decorre da capacitação obtida no desenvolvimento de ultra centrífuga. Tais sensores são vitais para que o submarino possa navegar submerso, sem ter de vir à superfície para se orientar ou receber informações do GPS, o qual pode ser bloqueado;
- c) Blindagem física, a qual se baseia em compostos de Boro, material esse utilizado nas varetas de controle da fissão em reatores nucleares, que também apresenta boa resistência ao impacto;
 - d) Válvulas para operação com gás, desenvolvidas a partir da necessidade de se construir e operar sistemas de separação isotópica;
 - e) Válvulas TWT, aplicáveis em radares de navios, sendo decorrente dos desenvolvimentos de itens de tecnologia de vácuo e soldagens especiais, atividades comuns com o enriquecimento de urânio;
 - f) Fibra carbono, material estratégico, utilizado em ampla lista de sistemas de alto desempenho, como as cascatas de enriquecimento de urânio; e
 - g) Análise de risco, atividade técnica mandatária para o licenciamento de instalações nucleares e que possui aplicação atualmente nos projetos e licenciamento de plataformas de petróleo.

Na figura 6 está demonstrado o *portfólio* dos produtos gerados pelo PNM.

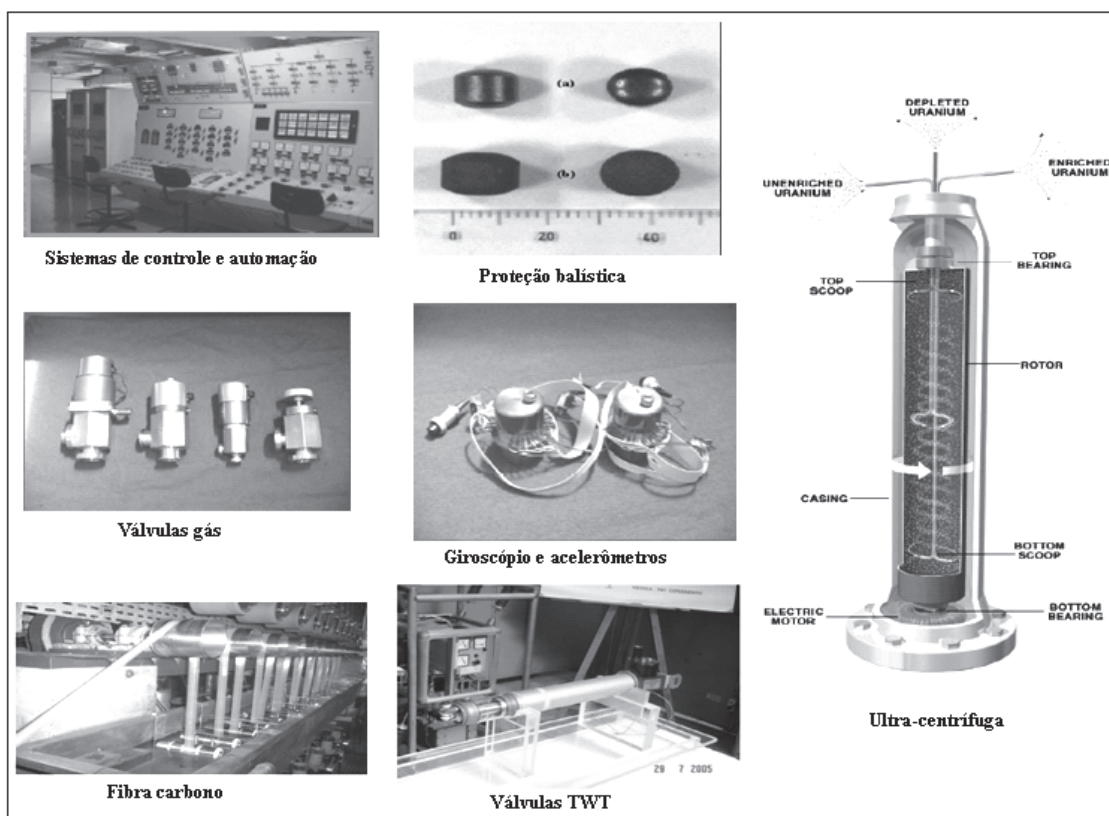


Figura 6 - *Portfólio* dos produtos gerados pelo PNM.

Fonte: Elaborado pelos autores e adaptado da Marinha do Brasil, 2009.

É digno de nota que muitos desses desenvolvimentos são feitos devido à necessidade de se construir e implantar sistemas dedicados para atender requisitos específicos do PNM, além de haver restrições de sua importação pelo Brasil por parte dos países que detêm tais tecnologias.

Cabe ser mencionado que existe uma diferença marcante entre a tecnologia de ultra centrifugação desenvolvida no Brasil e aquela utilizada pelos outros cinco países supracitados. O rotor da ultra centrífuga desenvolvida nesses países gira apoiado em um mancal mecânico, enquanto o rotor desenvolvido no Brasil gira levitando por efeito eletromagnético, o que reduz o atrito e, conseqüentemente, os desgastes e a manutenção. Não existem informações de que algum outro país tenha desenvolvido tecnologia semelhante a nossa (Marinha do Brasil, 2009).

De acordo com a *International Energy Agency* (IEA) e a *World Nuclear Association* (WNA), cerca de 16% da matriz energética mundial é nuclear (no Brasil, apenas 2,2%), resultante da operação de 439 reatores, que geram 372.002 Megawatts elétricos (MWe). Atualmente, há 34 usinas em construção, que irão representar um acréscimo de 7,5% nessa matriz energética. Além disso, estão planejadas mais 81 usinas, com uma produção estimada de 89.175 MWe, e outras 223 usinas estão propostas (200.445 MWe) (Marinha do Brasil, 2009).

Nesse ponto, a fim de possibilitar o perfeito entendimento do que representa o PNM em termos de desenvolvimento tecnológico para o Brasil, apresenta-se uma longa série de atividades executadas em seu bojo (Marinha do Brasil, 2009).

- a) Formação/aperfeiçoamento de pessoal;
- b) Compra de equipamentos e construção de diversos tipos de laboratórios, incluindo um reator nuclear de pesquisa;
- c) Projeto, construção e testes dos equipamentos que compõem a planta de geração;
- d) Projeto e construção de ultras centrífugas e cascatas de enriquecimento de urânio;
- e) Projeto e construção de usinas de transformação de *yellow cake* em *hexafluoreto*, de reconversão e de fabricação de elemento combustível;
- f) Incremento tecnológico de várias oficinas de fabricação de diferentes tipos de peças, incluindo válvulas de alto vácuo, inexistentes no Brasil;
- g) Desenvolvimento de vários tipos de materiais, antes importados, como o aço *maraging* e a fibra de carbono; e
- h) Uma infinidade de projetos que, desenvolvidos em parcerias com universidades, institutos de pesquisa e a indústria nacional, trouxeram ao País elevado ganho em tecnologia e qualidade.

3.3 A produção e o ciclo do combustível nuclear

Ao final da década de 70, foram iniciados os estudos para desenvolver no Brasil a tecnologia da separação isotópica do urânio (enriquecimento), principal desafio tecnológico para a fabricação de combustível nuclear. Os resultados foram obtidos já em 1982, quando foi construída a primeira ultracentrífuga capaz de fazer a referida separação. Seis anos depois, foi inaugurada a primeira cascata de ultracentrífugas para a produção contínua de urânio enriquecido (Marinha do Brasil, 2009). A figura 7 especifica o ciclo do combustível nuclear.

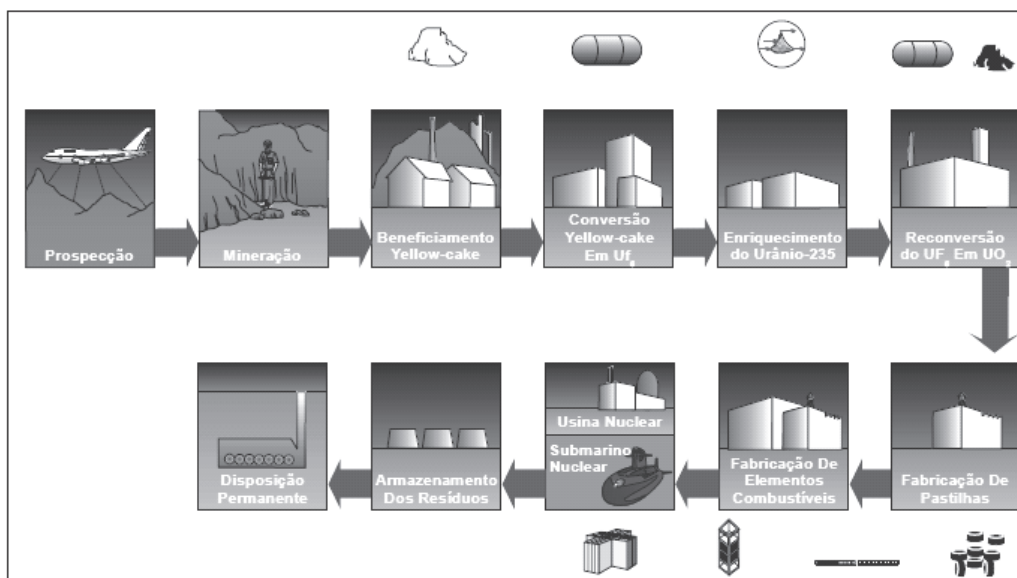


Figura 7 – O ciclo do combustível nuclear.

Fonte: Bezerril, 2007.

Decorrente do domínio dessa tecnologia, a MB está fornecendo cascatas de enriquecimento de urânio para que a empresa Indústrias Nucleares do Brasil (INB) possa produzir, no País, o combustível para as usinas Angra I e II (Marinha do Brasil, 2009).

À exceção da conversão, cuja tecnologia está dominada e depende, para a produção em escala industrial, da prontificação da Usina de Hexafluoreto de Urânio (USEXA), que se encontra em fase final de construção, as demais etapas do ciclo do combustível (reconversão, fabricação de pastilhas, fabricação de elementos combustíveis e a capacidade para desenvolver o próprio combustível) também já estão dominadas e em operação (Marinha do Brasil, 2009).

A USEXA estava prevista para ser concluída em dezembro de 2001. Entretanto, em face dos cortes orçamentários no PNM e de dificuldades relativas à obtenção e importação de materiais, a programação atual é para o primeiro semestre de 2010. A figura 8 ilustra as reservas geológicas de urânio do Brasil (Marinha do Brasil, 2009).

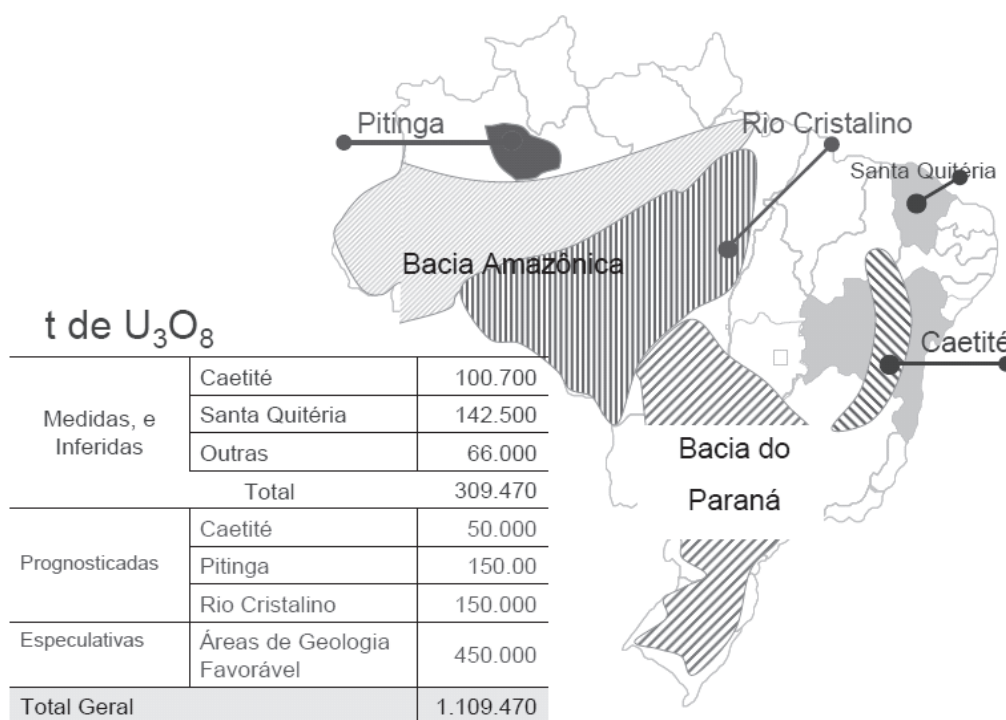


Figura 8 – As reservas geológicas de urânio do Brasil.
Fonte: Bezerril, 2007.

3.4 Recursos financeiros e orçamentários do PMN

Diante da grave escassez de recursos dos últimos anos, restou à Marinha manter o projeto em estado vegetativo, de modo a evitar a perda das conquistas tecnológicas alcançadas, principalmente no que tange à capacitação técnica do pessoal.

A figura 9 apresenta a complexidade em progressão geométrica e comparativa do submarino a propulsão nuclear.

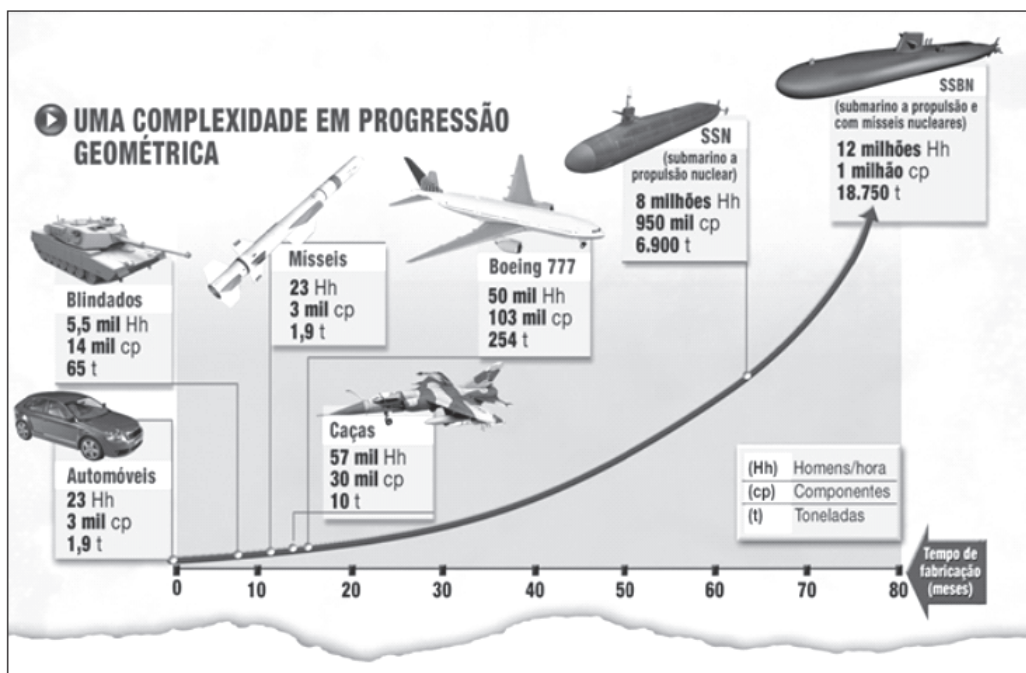


Figura 9 – Complexidade em progressão geométrica e comparativa do submarino a propulsão nuclear.

Fonte: Isto É, 2007.

A Força entende que o Programa Nuclear, hoje em execução, não é unicamente da Marinha, mas sim do Brasil, motivo pelo qual deve receber aportes financeiros de outras fontes, além do orçamento da Marinha (Marinha do Brasil, 2009).

Assim, a Alta Administração Naval buscou mostrar aos setores políticos e ao Governo a necessidade de um maior aporte de recursos ao Programa, considerando que é um projeto nacional e que há inúmeros benefícios derivados do arrasto tecnológico. Independente da possível construção de um submarino com propulsão nuclear, o PNM irá assegurar a tecnologia necessária ao aproveitamento da energia nuclear, de vital importância para o futuro do País (Marinha do Brasil, 2009).

A figura 10 mostra a evolução do dispêndio total do PNM até dezembro de 2006.

DISPÊNDIO TOTAL ATÉ DEZ/2006

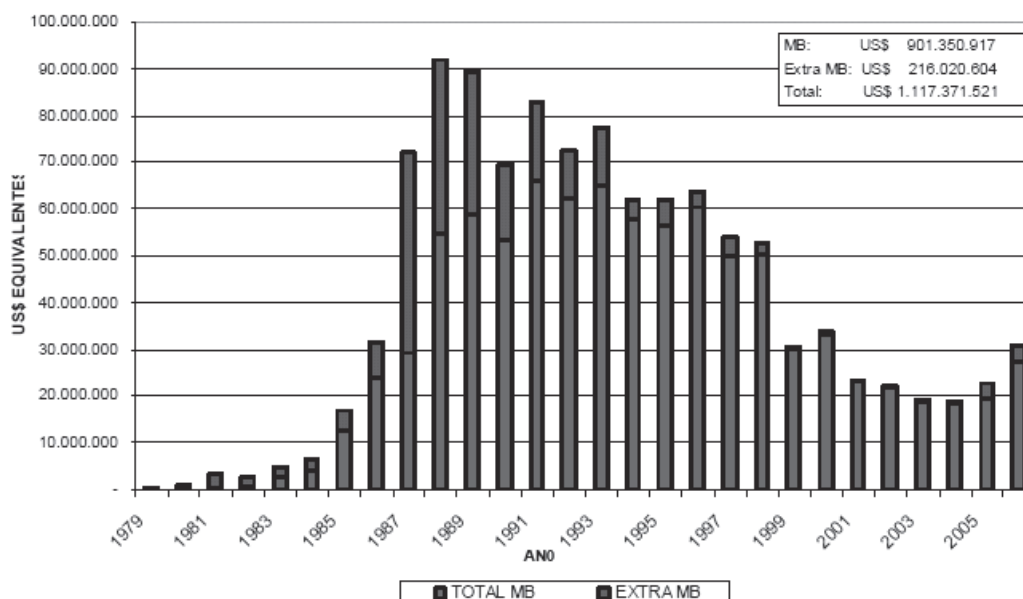


Figura 10 - Dispêndio total até dezembro de 2006.

Fonte: Marinha do Brasil, 2009.

Tendo como fonte de recursos exclusivamente a MB, o PNM teve início em 1979. Já no ano seguinte, 1980, o então Conselho de Segurança Nacional (CSN) passou a participar ativamente do Programa, a ele alocando significativos recursos. Essa situação permaneceu inalterada até 1989, ano em que o CSN foi sucedido pelo Conselho de Defesa Nacional (CDN) (Marinha do Brasil, 2009).

A partir de 1990, os recursos provenientes de fontes extra-MB foram declinando sensivelmente até 1998, tanto em valores absolutos como em valores relativos. Nesse mesmo período, o CDN foi sucedido pela Secretaria de Assuntos Estratégicos (SAE).

A partir de 1999, a SAE foi extinta e suas atividades na área nuclear foram absorvidas pelo Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT), por meio do Programa Técnico-Científico Nuclear (PTCN)

Em 2005 e 2006, o MCT aportou recursos que, embora ainda pouco expressivos face às necessidades, servem de precioso alento em termos de perspectivas futuras de investimentos e participação ativa daquele Ministério no PNM.

Por volta dos anos de 1987 e 1988, os montantes alocados ao Programa Nuclear eram, praticamente, divididos entre o orçamento da Força e o que vinha extra-Marinha. A partir daí, os recursos extra-MB passaram a declinar vigorosamente, ao passo que os recursos correspondentes à participação da Marinha, elevou-se para garantir a continuidade do Programa. (Marinha do Brasil, 2009).

No início, o PNM foi baseado em fonte de recursos extra-MB; evoluiu para uma participação paritária MB / extra-MB; e, hoje, encontra-se sustentado, quase que exclusivamente, por recursos orçamentários da Força (Marinha do Brasil, 2009).

. A participação extra-MB chegou ao pico de 89% no início do Programa, tendeu a zero entre 1999 e 2004, limitando-se na atualidade a cerca de 10%. Em valores absolutos, essa participação chegou a US\$ 40 milhões, mas hoje se situa em US\$ 4 milhões, excetuando-se os recentes recursos recebidos da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP)) (Marinha do Brasil, 2009).

. Já foram investidos, no PNM, cerca de US\$ 1,1 bilhão, dos quais cerca de US\$ 900 milhões foram do orçamento da MB e cerca de US \$ 200 milhões de recursos Extra-MB) (Marinha do Brasil, 2009).

Somente após a conclusão dos citados dois projetos que compõem o PNM e de ter-se logrado êxito na operação da planta nuclear, estarão criadas as condições para que, havendo a decisão de Governo, possa ser dado prosseguimento à meta de construir um S(N) brasileiro.

3.4.1 Projeto do Laboratório de Geração Núcleo-Elétrica (LABGENE)

Em paralelo ao Projeto do Ciclo do Combustível, mas com alguma defasagem no tempo, foram iniciados os estudos relativos ao Projeto do LABGENE, buscando o desenvolvimento e a construção de uma planta nuclear de geração de energia elétrica, totalmente projetada e construída no País, inclusive o reator) (Marinha do Brasil, 2009).

. Vale destacar que o Projeto do LABGENE desenvolveu um reator que terá potência de cerca 11 Megawatts elétricos (MWe), o suficiente para (Marinha do Brasil, 2009).

a iluminar uma cidade de aproximadamente 20.000 habitantes. Essa instalação servirá de base e de laboratório para qualquer outro projeto de reator nuclear no Brasil.

Pela característica dual do projeto, o LABGENE é, também, um protótipo em terra do sistema de propulsão naval que, por sua vez, permitirá a obtenção da capacitação necessária para readequá-lo ao submarino nuclear S(N) (Marinha do Brasil, 2009).

As obras de montagem dessa instalação estão em andamento, demandando cerca de oito anos para serem concluídas, prazo que pode ser reduzido, também, em função da disponibilidade de recursos. Na figura 11 está demonstrado o cenário do montante de investimentos necessários a realizar nos próximos anos.

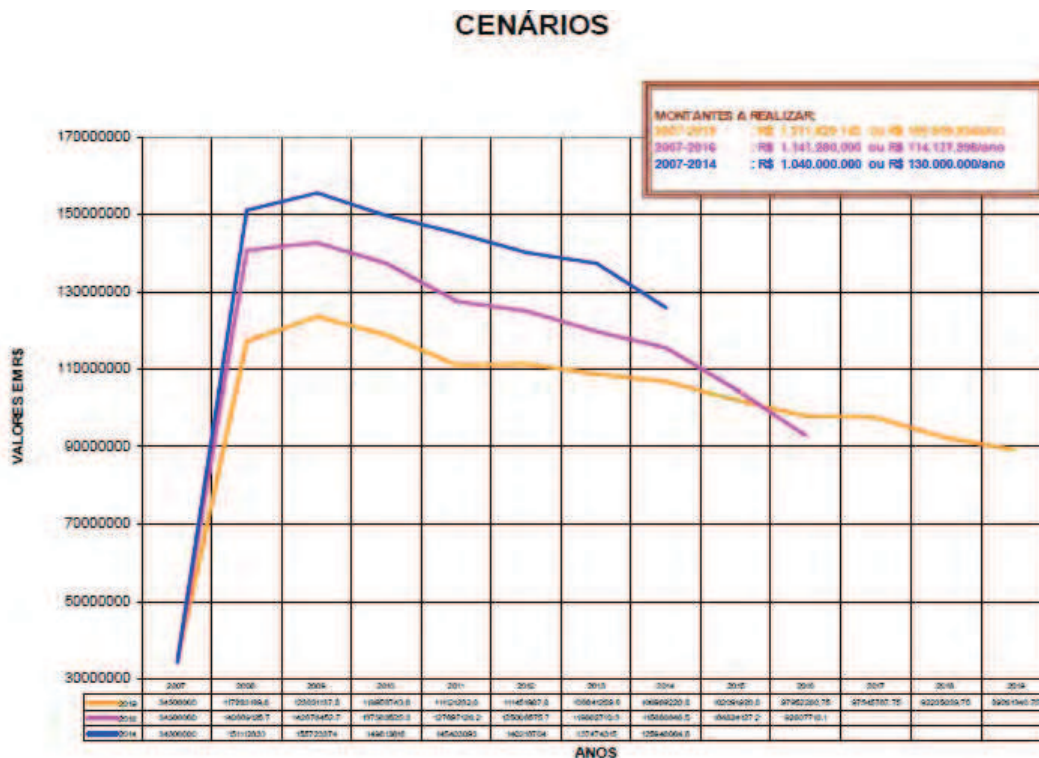


Figura 11 - Cenário de montante a realizar
 Fonte: Marinha do Brasil, 2009.

3.5 A transferência de tecnologia nuclear

A indústria nacional busca formas de obter conhecimento para a produção nacional de equipamentos militares. Essa decisão é muito importante para nosso parque industrial militar que durante a década de 1980 teve uma grande importância em pesquisa e desenvolvimento de produtos que contribuíram muito para aumentar a nossa balança comercial com exportação principalmente para o Oriente Médio.

A finalidade de absorção de tecnologia é para a produção do casco do Submarino Nuclear Brasileiro (SNB). A parte de tecnologia nuclear a Marinha vem desenvolvendo o reator desde 1979 e pretende concluir o primeiro até é 2012. Para o desenvolvimento do casco para o Submarino Nuclear Brasileiro (SNB) será necessário um conhecimento tecnológico para deslocamento próximo a 3.000t (Daniel Filho, 2009).

No ano de 1975, celebrou-se o Acordo Brasil-Alemanha de cooperação no setor nuclear, onde haveria a transferência alemã de tecnologia e alguns meios para os objetivos mencionados logo acima. Alguns itens derivados deste acordo são a fábrica de construção de reatores da NUCLEP (Nuclebrás Equipamentos Pesados, em Itaguaí) e a própria Usina Nuclear de Angra 2, ambos construídos no estado do Rio de Janeiro (Economia & Energia, 2009).

No ciclo do combustível nuclear, a transferência tecnologia inicialmente prevista para o enriquecimento de urânio era a ultra centrifugação, a qual os alemães já dominavam há alguns anos. No entanto, por pressões internacionais, a transferência ao Brasil desta tecnologia foi vetada, oferecendo-se a alternativa do *jet-nozzle*, a qual ainda estava em fase de desenvolvimento laboratorial (Economia & Energia, 2009).

O motivo de se enriquecer o urânio (aumento do teor de U235 em relação ao que se dispõe naturalmente) deve-se ao fato de que a probabilidade de ocorrer à fissão neste elemento químico ser muito maior do que em outros elementos químicos (da ordem de mil vezes). A tecnologia que conseguimos absorver com os SSK alemães, nos possibilitou incorporar um bom conhecimento e treinar mão-de-obra na fabricação desses equipamentos, experiência esta que não possuíamos anteriormente (Economia & Energia, 2009)..

4 Conclusão

No Brasil, os primeiros esforços empreendidos na busca pelo domínio da energia nuclear se confundem e se combinam com o próprio processo de institucionalização da ciência, capitaneadas pelo Almirante Álvaro Alberto, a fase heróica da política nuclear brasileira (1949-1954) tinha como nítida a motivação pelo desenvolvimento científico e tecnológico próprio.

A energia nuclear é uma fonte de energia firme e limpa, não emite gás poluente para a atmosfera, utiliza em sua construção um número reduzido de materiais (por kWh) se comparada com a energia solar e eólica, produz pequena quantidade de rejeitos, e não contribui para o efeito estufa, pois não emite dióxido de carbono (CO₂), ao contrário do carvão, petróleo e gás; além de não necessitar dos grandes reservatórios (com seus decorrentes problemas ambientais) das hidroelétricas.

Na pesquisa evidenciou-se a contribuição do Programa Nuclear da Marinha ao Sistema Nacional de Inovação por meio do esforço nacional de ter a capacidade de fabricar o próprio combustível nuclear, sem nenhuma dependência externa, e o conhecimento para projetar e construir plantas nucleares de potência que custam no mercado internacional acima de três bilhões de dólares cada, como também se destaca o caso específico da MB em desenvolver o seu programa nuclear e, dominar a tecnologia necessária ao projeto e construção do submarino com propulsão nuclear.

Referências

- Bezerril, C.P. (2007) Apresentação CPEM 2007. *Palestra proferida pelo Diretor do Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo (CTMSP)* no Centro Experimental Aramar. 1 CD-ROM.
- Coombs, R.; Saviotti, P.; Walsh, V. (1989). *Economics and technological change* Londres: Macmillan.
- Daniel Filho, J.A.. (2009). *Submarinos para a Marinha do Brasil*. Disponível em: <http://www.defesa.ufjf.br>. Acesso em 18 nov.
- Dosi, G. (1984). Technology and conditions of macroeconomic development. In: Freeman, C. (ed.) *Design, innovation and long cycles in economic development*. Londres: Printer Publisher.
- _____ (1991) Una reconsideración de las condiciones y modelos del desarrollo: una perspectiva evolucionista de la innovación, el comercio y el crecimiento, *Pensamiento Ibero-americano*, No.20, pp.167-191.
- _____ (1997). Opportunities; incentives and the collective patterns of technological change. *The Economic Journal*, nº107, p. 1530-1547, set.

- Economia & Energia (2009). *Enriquecimento de urânio no Brasil: desenvolvimento da tecnologia por ultra centrifugação*. Disponível em: <http://ecen.com>. Acesso em 20 nov.
- Freeman, C. (1995). The national system innovation in historical perspective. Cambridge *Journal of economics*. New York, v. 19, n. 1, p. 5-24, fev. .
- Freeman C. and Soete L. (1997). *The economics of industrial innovation*, 3th edition, England.
- Hall, R. H.(2002). *Organizations: structures, processes, and outcomes*. 8th ed. New Jersey: Prentice Hall.
- Kupfer, D.; Hasenclever, L. (2002). *Economia industrial: fundamentos teóricos e práticos no Brasil*. Rio de Janeiro: Campos.
- Kuhn, T. S. (2006). *A estrutura das revoluções científicas*. São Paulo: Perspectiva.
- Liberatti, W. (2002). Aula Inaugural do Caso 2002. *O Periscópio*, Niterói, n. 56, p. 3-14.
- Lundvall, B. A. (1992). *National Systems of Innovation: towards a theory of innovation and interactive learning*. London: Printer.
- Marinha do Brasil (2009). *Programa Nuclear da Marinha – PNM*. . Disponível em http://www.mar.mil.br/menu_v/ccsm/imprensa/programa_nuclear_mb.htm. Acesso em 19 nov.
- Mileski, A (2009). *Acordos Brasil e França tomam forma*. Disponível em http://www.mar.mil.br/menu_v/marinha_na_midia/jornal_revista/coletaneamarinha_namidia2009. Acesso em 16 nov.
- Nelson, R. R. e Winter, S. G. (1982). *An evolutionary theory af economic change*. Estados Unidos: Harvard U. P.
- Nelson, R., Rosenberg, N. (1993). National innovation systems; a comparative analysis New York, Oxford: Oxford University, Cap. 1. *Technical innovation and national systems* p.3-21.
- Pavitt, K. (1991). *What makes basic research economically useful?* Research Policy, v.20, n.2, p.109- 119.
- _____ (1992). Some foundations for a theory of the large innovating firm In: Dosi, G.; Gianetti, R. & Toninelli, P. A. (eds.) *Technology and Enterprise in a Historical Perspective*. Oxford: Clarendon Press, pp. 212-228.
- Penrose, E. (1959). *The theory of the growth of the firm*, Basil Blackwell, Oxford.
- Perez, C. and Soete, L. (1988). *Catching Up in Technology: Entry Barriers and Windows of Opportunity*. In: Dosi *et al*.
- _____ (1983) Structural Change and Assimilation of New Technologies in the Economic and Social Systems. *Futures*, 15(5), October, p.357-75. In: Freeman.
- Revista Isto É. (2009). *Em busca da soberania: retomada do projeto do submarino nuclear não pode depender de oscilação orçamentária*. Disponível em: <http://www.terra.com.br/istoe/edicoes/1995/artigo70956-1.htm>. Acesso em 20 nov.
- Rush, C. W.; Chambliss, W. C.; Gimpel, H. J. (1958). *The Complete Book of Submarines*. 1st ed. Cleveland: The World Publishing, 159 p.
- Schumpeter, J. A. (1961). *Capitalismo socialismo e democracia*. Rio de Janeiro: Fundo de Cultura, 512p.
- _____ (1988). *Teoria do desenvolvimento econômico; uma investigação sobre lucros, capital, credito, juro e o ciclo econômico*. 3. ed. São Paulo: Nova Cultural, 169p.

Rosenberg, N. (1969). *The direction of technological change. Inducement mechanisms and focusing devices*. Economic Development and Cultural Change, v.18, n.1, p. 1-24, october.

_____(1990). *Why do firms do basic research (with their money)?* Research Policy, v.19, n.2, p.165-174,

_____(2006). *Por dentro da caixa preta: tecnologia e economia*. Campinas: Editora da Unicamp.

Salles Filho, S. L. M. (1993). Mudanças no padrão tecnológico da agricultura: uma perspectiva para o final do século. In: *Congresso Brasileiro de Economia e Sociologia Rural*, 31, Ilhéus, 1993. *Anais*. Brasília: Sober. p. 86-100.

Slack, N. et al (2008). *Administração da produção*. 2 ed. São Paulo: Atlas.

Souza, J. E. B. (2007). A Política Nacional para os Recursos do Mar. *Palestra proferida pelo Secretário da Comissão Interministerial para os Recursos do Mar na Escola de Guerra Naval em 15 de junho*. 1 CD-ROM.