

ESCOLA DE GUERRA NAVAL

CMG (IM) MOISÉS DUROVNI

CADEIA DE VALOR ESTABELECIDADA PELO PROGRAMA NUCLEAR DA MARINHA:  
fator de desenvolvimento econômico

Rio de Janeiro



CMG (IM) MOISÉS DUROVNI

CADEIA DE VALOR ESTABELECIDADA PELO PROGRAMA NUCLEAR DA MARINHA:  
FATOR DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO

Monografia apresentada à Escola de Guerra Naval, como requisito parcial para a conclusão do Curso de Política e Estratégia Marítimas.

Orientador: CMG (RM1) Francisco Eduardo Alves de Almeida

Rio de Janeiro  
Escola de Guerra Naval

2008

## RESUMO

A cadeia de valor estabelecida pelo Programa Nuclear da Marinha (PNM) é percorrida com o propósito de verificar se as inovações tecnológicas auferidas podem se constituir em desenvolvimento econômico para o país. Analisa-se, também, o que deixou de ser realizado por falta de recursos e qual o futuro do Programa. A Marinha do Brasil, decidiu em 1979, capacitar-se para construir o primeiro submarino nuclear brasileiro no início século XXI. Para tanto, criou o PNM, que tornou-se um dos braços do Programa Nuclear Brasileiro. Tendo em vista os inúmeros obstáculos colocados pelas nações desenvolvidas para bloquear a venda da tecnologia desejada na área nuclear, não restou outra opção para o país senão o desenvolvimento autóctone. Apesar de ter alcançado, em pouco tempo, resultados expressivos, o governo federal suspendeu o aporte de recursos financeiros para o Programa no período de 2003 a 2007, o que obrigou a Marinha a limitar-se à manutenção das instalações existentes. A partir de 2008 os recursos retornaram e o Programa foi retomado. A teoria concebida por Joseph A. Schumpeter sobre a correlação entre inovações tecnológicas e desenvolvimento econômico explica que ocorre um salto de qualidade na economia quando de sua exposição às transformações impostas pela evolução tecnológica. O PNM desenvolveu várias tecnologias com potencial para induzir importantes setores da economia a uma evolução qualitativa; entretanto, estas inovações ainda não chegaram a beneficiar a sociedade devido à falta de uma política específica. As principais necessidades e desafios do PNM após a sua retomada foram também objeto de estudo.

Palavras-chave: Programa Nuclear da Marinha. Desenvolvimento. Cadeia de Valor.

## **ABSTRACT**

The value chain established by the Brazilian Navy Nuclear Program (PNM) is covered with the intention to verify if the technological gains can be translated into economic development. It is, also, analyzed what it left of being carried through by the Program due to lack of resources and what will be its Program. The Brazilian Navy decided in 1979 to enable itself to construct the first Brazilian nuclear submarine at the beginning of century XXI. In view of the innumerable obstacles placed by developed nations to block the sales of the desired technology in the nuclear area, there was no other option left but to search for independent development. Although the Program have reached significant results in short time, the federal government suspended financial support between 2003 and 2007, compelling the Navy to limit the activities to industrial park maintenance. The resources had returned from 2008 and the Program was retaken. The theory conceived by Joseph. A. Schumpeter linking technological innovations and economic development explains what happens to the economy when it is exposed to transformations imposed by technology. The PNM has developed some new technologies with the potential to induce significant sectors of the economy to a qualitative change, however these innovations have not benefited the society due to a lack of specific policies. Its main needs and futures challenges are also studied.

**Keywords:** Brazilian Navy Nuclear Program. Development. Value chain.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>FIGURA 1 - Sistema de valores .....</b>	<b>18</b>
<b>FIGURA 2 – Dispêndios do PNM de 1997 a 2007.....</b>	<b>50</b>
<b>FIGURA 3 - Atividades primárias na cadeia de valor .....</b>	<b>51</b>
<b>FIGURA 4 - Atividades de apoio na cadeia de valores.....</b>	<b>52</b>
<b>FIGURA 5 - A cadeia de valor genérica.....</b>	<b>53</b>
<b>FIGURA 6 - Evolução do preço do urânio.....</b>	<b>54</b>
<b>FIGURA 7 – Emissões de gases do efeito estufa.....</b>	<b>55</b>

## LISTA DE ABREVIATURAS

AIE	Agência Internacional de Energia
AIEA	Agência Internacional de Energia Atômica
ANGRA I	Primeira usina da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto
ANGRA II	Segunda usina da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto
ANGRA III	Terceira usina da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CEA	Centro Experimental de Aramar
CNEN	Comissão Nacional de Energia Nuclear
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
COPESP	Coordenadoria para Projetos Especiais
Coppe-UFRJ	Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro
CTMSP	Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo
EMGEPRON	Empresa Gerencial de Projetos Navais
EUA	Estados Unidos da América
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
FDTE	Fundação para o Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia
IME	Instituto Militar de Engenharia
INB	Indústrias Nucleares do Brasil
IPEN	Instituto de Pesquisa Energéticas e Nucleares
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
LABGENE	Projeto Laboratório de Geração Núcleo- Elétrica
LADEP	Laboratório de Desenvolvimento de Equipamentos de Propulsão
MB	Marinha do Brasil
NUCLEP	NUCLEBRAS Equipamento Pesado
PNB	Programa Nuclear Brasileiro
PDTN	Programa de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear
PNM	Programa Nuclear da Marinha
PWR	<i>Pressurized Water Reactor</i>
TNP	Tratado de Não-Proliferação de Armas Nucleares
UF <sub>6</sub>	Hexafluoreto de urânio
UO <sub>2</sub>	Dióxido de urânio
URSS	União das Repúblicas Socialistas Soviéticas
USEXA	Unidade de Produção de Hexafluoreto de Urânio
USP	Universidade de São Paulo
UTS	Unidade de Trabalho Separativo
UxC	<i>The Ux Consulting Company</i>
ZEE	Zona Econômica Exclusiva

## SUMÁRIO

# 1 INTRODUÇÃO

No final da década de 1970, a Marinha do Brasil (MB) se lançou ao desafio de construir o primeiro submarino nacional movido a propulsão nuclear. Tinha ciência de que isto se constituía em grande desafio tecnológico e administrativo, pois, naquela época, ainda não havia, no Brasil, capacidade tecnológica para construção de um submarino convencional.

O Programa Nuclear da Marinha (PNM) foi criado ao final daquela década com o propósito de dominar o ciclo do combustível nuclear e projetar e construir um reator nuclear de potência.

Como os países que detêm o domínio dessa tecnologia ainda realizam toda sorte de pressão para impedir o acesso de outros países a esse conhecimento, alegando motivos nem sempre razoáveis, o PNM, para alcançar seus objetivos, recorreu aos recursos existentes no país: seus engenheiros e técnicos, seu parque industrial, suas universidades e institutos de pesquisa.

O desafio desta vasta rede de capacidades configurou-se enorme, pois havia necessidade de desenvolver materiais tecnologicamente avançados, fundamentais para o desenvolvimento do Programa, e equipamentos que não existiam no país, tampouco eram aqui fabricados, mesmo empregando tecnologia oriunda do exterior.

Apesar de ter alcançado sucesso relevante já no início da década de 1980, o Governo Federal reduziu os recursos disponíveis ao longo dos anos seguintes, o que obrigou a Marinha a praticamente paralisá-lo a partir de 2003. Um novo alento surgiu em 2007, quando o Presidente da República declarou seu apoio à retomada do Programa.

O estudo do PNM reveste-se de elevada importância por ter sido o único do país a lograr êxito no desenvolvimento de tecnologia avançada de forma independente, servindo de modelo para futuras iniciativas similares, não apenas quanto à forma como desenvolve os trabalhos, mas também sob o enfoque dos benefícios gerados em oposição aos seus custos.

Este trabalho, estruturado em seis capítulos, visa a descrever os resultados obtidos pelo PNM e sua possível contribuição para o desenvolvimento econômico do país, analisar o que foi perdido devido à falta de aporte de recursos financeiros pelo Governo Federal e avaliar o futuro do Programa a partir das previsões orçamentárias para os próximos anos. Assim, apoiado na leitura analítica de livros e artigos especializados, após realizar entrevistas com pessoal diretamente envolvido no Programa e participar de palestras sobre o tema, serão respondidos os seguintes questionamentos: Qual a situação prévia do PNM? Quais os

resultados obtidos pelo PNM? O que não progrediu? Podemos recuperar o tempo perdido? O que se deve esperar da retomada do PNM?

No próximo capítulo será apresentado um breve relato sobre a história do desenvolvimento da energia nuclear no Brasil, no qual alguns fatos serão relatados, principalmente os necessários para demonstrar a influência externa sobre o país nesta questão. Em seguida, ainda no mesmo capítulo, será discutido o PNM, juntamente com seus propósitos, suas vitórias e necessidades financeiras para o futuro. Assim, o autor pretende apresentar a situação prévia do PNM.

No capítulo seguinte serão apresentadas as teorias que embasam este trabalho. Primeiramente a teoria da “destruição criativa”, de Joseph A. Schumpeter, que formará a base necessária ao entendimento de como as inovações tecnológicas geradas pelo Programa podem servir à economia brasileira. Em seguida, será exposta a teoria da Vantagem Competitiva, de Michael E. Porter, que introduz o termo “cadeia de valor”. Este embasamento auxiliará na identificação dos relacionamentos produzidos pelo PNM.

Com o propósito de responder às três perguntas seguintes (quais os resultados obtidos pelo PNM? O que não progrediu? Podemos recuperar o tempo perdido?), o capítulo quatro seguirá a cadeia de valor estabelecida pelo PNM.

O quinto capítulo avança em direção ao futuro do Programa, procurando, a partir do conhecimento obtido nos capítulos anteriores, identificar os futuros obstáculos a serem ultrapassados, bem como os benefícios que a sociedade pode esperar do Programa. Procurará, com isto, atender a última questão (o que se deve esperar da retomada do PNM?).

Finalmente, no sexto e último capítulo, o autor apresentará as suas conclusões quanto à cadeia de valor estabelecida pelo PNM e seus reflexos para a economia do país à luz da teoria da “destruição criativa”, assim como os principais desafios a serem vencidos pelo Programa.

## **2 BREVE GÊNESE HISTÓRICA**

Para realizar o estudo do Programa Nuclear da Marinha é importante conhecer a história do desenvolvimento da tecnologia nuclear no país. Com isto será possível entender como se chegou a atual situação e as perspectivas para o futuro do PNM.

A história apresentada não é completa, relata apenas os fatos considerados mais importantes para o entendimento do que se pretende investigar, ou seja, qual a contribuição do PNM para o desenvolvimento econômico nacional.

Este capítulo pretende apresentar uma breve história do desenvolvimento da tecnologia nuclear no Brasil, o envolvimento de outros países com esta questão e os principais aspectos do Programa Nuclear da Marinha. O propósito desta abordagem é fornecer uma visão geral do desenvolvimento do Programa Nuclear Brasileiro e do PNM, para que seja possível entender a situação atual. Com isto, o autor pretende apresentar a resposta ao primeiro questionamento formulado (qual a situação prévia do PNM?).

### **2.1 Tecnologia Nuclear no Brasil**

A história do desenvolvimento da tecnologia nuclear no Brasil remonta à década de 1930, nas faculdades de física e engenharia. Nesse início, a pesquisa foi conduzida por cientistas europeus refugiados no país e sua principal contribuição foi formar os primeiros técnicos brasileiros no setor. (MARZO; ALMEIDA, 2006, p. 191).

O domínio do átomo teve um desenvolvimento muito mais vigoroso nos Estados Unidos da América (EUA), que, após o lançamento de duas bombas nucleares sobre o Japão, começaram, a partir de 1945, uma vigorosa campanha para garantir para si o domínio das fontes de material radioativo e negar aos demais Estados o desenvolvimento da tecnologia nuclear.

Uma das primeiras iniciativas norte-americanas ocorreu em 1946, com o Plano Baruch, proposto por Bernard Baruch, Chefe da Representação norte-americana na Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), e que tinha como propósito colocar sob controle internacional as reservas de minerais radioativos, ao redor do mundo (COIMBRA, 2003). O Brasil e a União das Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS) se recusaram a assiná-lo. Ainda nesse ano, foi promulgada, nos EUA, uma lei proibindo a disseminação da tecnologia

nuclear desenvolvida naquele país, obrigando os países com interesses no setor, inclusive seus aliados, a buscar o desenvolvimento autônomo. Esta lei ficou conhecida como *McMahon Act*.

Alguns anos mais tarde, o Brasil interessou-se pelo assunto. O Presidente Getúlio Vargas (1951-1954) criou, em 1951, o Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq), atualmente Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, pois foi mantida a mesma sigla) e nomeou Almirante Álvaro Alberto como seu presidente. Além disto, propôs a instituição de legislação para proteger as reservas brasileiras de urânio da exploração estrangeira e suspendeu as vendas dos minerais radioativos. Entretanto, logo a seguir, em 1952, foi assinado o decreto nº 30.583, que criou a Comissão de Exportação de Materiais Estratégicos, tendo como conseqüências o esvaziamento da proposta de proteger as reservas destes minerais e a retomada da venda de urânio brasileiro para os norte-americanos. (RODRIGUES, 2006).

Dois anos depois, o CNPq fechou um acordo com a Alemanha para importar três ultracentrífugas para enriquecimento de urânio. Para evitar a interferência dos EUA, a transação foi realizada de forma secreta, tendo sido descoberta, posteriormente, pelos norte-americanos, que apreenderam os equipamentos. Além disto, fizeram forte pressão e conseguiram que o Almirante Álvaro Alberto fosse exonerado da presidência do CNPq. (RODRIGUES, 2006).

Tendo percebido que a política de negação completa ao acesso à tecnologia nuclear não estava surtindo o efeito desejado, a partir de 1953 os EUA alteraram sua política e lançaram o Programa Átomos para a Paz, procurando manter os demais países sob seu controle e vigilância. Neste contexto, o Brasil assinou, em 1955, o Acordo de Cooperação para o Desenvolvimento de Energia Atômica com Fins Pacíficos, com os EUA, que previa o arrendamento de 6 kg de urânio enriquecido a 90% para os reatores de pesquisas cedidos por empréstimo pelos norte-americanos (RODRIGUES, 2006). Os EUA participaram, também, do Programa Conjunto para o Reconhecimento e a Pesquisa de Urânio no Brasil, com a finalidade de prospectar as reservas brasileiras de urânio.

Após longas negociações com os norte-americanos, as ultracentrífugas adquiridas pelo Almirante Álvaro Alberto foram entregues em 1956 e instaladas no Instituto de Pesquisas Tecnológicas em São Paulo.

Na área política, o Brasil assinou, em 1967, o Tratado sobre a Proibição de Armas Nucleares na América Latina e Caribe, também conhecido como Tratado de Tlatelolco, que entrou efetivamente em vigor em 1994, após sua ratificação pelo Congresso Nacional.

Após cinco anos de negociação, entrou em vigor, em 1970, para os 43 Estados signatários, o Tratado de Não-Proliferação de Armas Nucleares (TNP), estabelecendo que os Estados que não possuíam armas nucleares à época abririam mão de seu desenvolvimento; já aqueles que as possuíam, deveriam desarmar-se em prazo não estabelecido. Além disto, devido à natureza dual da tecnologia, as exportações de materiais e equipamentos relacionados com a tecnologia nuclear deveriam ser objeto de controle pela Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA). O Brasil não aderiu inicialmente ao TNP, somente o fazendo em 1998, no governo do presidente Fernando Henrique Cardoso (1995 - 2002).

Em 1971, o país estabeleceu estudos que levaram à implantação da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto (ANGRA I), adquirida à empresa norte-americana Westinghouse. Neste mesmo ano, o governo firmou outro acordo com os EUA para fornecimento de urânio natural em troca de urânio enriquecido. Estes acordos não previam nenhum tipo de transferência de tecnologia para o Brasil.

A dependência brasileira tornou-se clara quando o fornecimento de combustível para ANGRA I foi suspenso pelos EUA em 1974, em plena crise do petróleo. Nesta ocasião, o governo Jimmy Carter exigiu que o Brasil assinasse o TNP, estabelecendo uma exigência adicional ao acordo comercial preexistente para fornecimento de combustível para Angra I. O Brasil não concordou com a demanda norte-americana e, para contornar esta questão, comprou combustível nuclear da Alemanha, o que gerou vários problemas técnicos na usina de ANGRA I.

Em 1974, a Índia realizou o seu primeiro teste nuclear e, como consequência, o *Nuclear Suppliers Group*<sup>1</sup> criou, naquele mesmo ano, a *trigger list*, uma relação contendo novas e mais rígidas restrições à exportação de materiais e equipamentos nucleares.

O governo brasileiro, em busca de alternativas para geração de energia núcleo-elétrica, assinou, em 1975, o Acordo Nuclear Brasil-Alemanha, que previa a transferência da tecnologia de enriquecimento de urânio conhecida como ultracentrifugação. Novas pressões políticas norte-americanas levaram os alemães a substituir a tecnologia de enriquecimento de urânio para jato centrífugo, ainda em fase de desenvolvimento e que mais tarde mostrou-se inviável. (RODRIGUES, 2006).

A opção para obter a tecnologia nuclear passou a ser o seu desenvolvimento de forma autônoma, sendo criado, para este fim, o Programa Nuclear Brasileiro, atualmente Programa de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear (PDTN).

---

<sup>1</sup> Órgão multinacional criado com objetivo de reduzir a proliferação nuclear pelo controle da exportação e transferência de materiais que pudessem ser relacionados com a fabricação de armamentos nucleares.

Dentro deste escopo foi construída a usina de Angra II que entrou em operação em 2000. Em 2008, o governo federal autorizou a construção da terceira usina.

## 2.2 O Programa Nuclear da Marinha

O Brasil possui uma vasta zona econômica exclusiva<sup>2</sup> (ZEE) que apresenta um potencial econômico invejável, mesmo não tendo sido inteiramente prospectada. As recentes descobertas de grandes campos de petróleo em águas profundas pela Petrobras, nos limites da ZEE, aumentaram a necessidade de defesa dessas riquezas. Cabe à Marinha estar pronta para executar esta tarefa. Para isto, é fundamental que tenha meios adequados para desestimular ou rechaçar qualquer tipo de ação contra o patrimônio nacional.

Dentre os meios existentes para realizar a defesa das riquezas nacionais situadas no mar, o submarino convencional, com sua propulsão diesel-elétrica, dispõe de relativa capacidade de discrição e mobilidade, pois necessita vir à cota periscópica<sup>3</sup> periodicamente para renovar o ar e recarregar suas baterias elétricas. Este procedimento o torna vulnerável aos ataques de navios e aeronaves.

A propulsão nuclear, quando empregada no submarino, suprime a vulnerabilidade criada pela sua exposição, pois elimina a necessidade de vir à cota periscópica, mantendo sua discrição, e permitindo grande mobilidade, pois o combustível nuclear pode durar meses. Sua permanência no mar ficaria restrita à resistência da tripulação e à existência de gêneros alimentícios a bordo. Assim, torna-se uma arma com grande capacidade dissuasória, dada a incerteza que incute no inimigo sobre sua real área de operação. Um dos motivos para a escolha da Marinha pelo desenvolvimento da tecnologia nuclear está relacionada com as qualidades do submarino de propulsão nuclear, que foram destacadas por Montalvão (2002, p. 176):

No teatro marítimo, os submarinos são as únicas armas convencionais que podem desafiar força naval mais poderosa. Se estiverem dotados de capacidade de ocultação indeterminada, proporcionada por propulsão independente do meio

---

<sup>2</sup> Zona econômica exclusiva é uma zona situada além do mar territorial e a este adjacente, sujeita ao regime jurídico específico regido pela Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar. O Estado costeiro tem direitos de soberania para fins de exploração e aproveitamento, conservação e gestão dos recursos naturais, vivos ou não vivos, das águas sobrejacentes ao leito do mar, do leito do mar e seu subsolo, e no que se refere a outras atividades com vista à exploração e aproveitamento da zona para fins econômicos, como a produção de energia a partir da água, das correntes e dos ventos (BRASIL, 1995).

<sup>3</sup> Cota periscópica é a profundidade na qual o submarino pode realizar observações com o periscópio (EGN-432, 1993, p A-4).

exterior, sua performance e efetividade são multiplicadas incontáveis vezes.

O Programa Nuclear da Marinha foi criado em 1979, desenvolvendo-se de forma paralela e independente do PNB. O seu propósito é gerar capacitação tecnológica no país, a fim de projetar e construir um submarino nacional de propulsão nuclear no início do século XXI<sup>4</sup>.

Esta opção feita pela MB em nada fere os tratados de Tlatelolco e o TNP, ratificados pelo Brasil em 1994 e 1998, respectivamente, e está em conformidade com a Constituição Federal de 1988, art. 21, inciso XXIII, alínea a, que estabelece: “toda atividade nuclear em território nacional somente será admitida para fins pacíficos e mediante aprovação do Congresso Nacional.” (BRASIL, 1988).

A Marinha iniciou o Programa com um grupo pequeno de oficiais e pesquisadores exclusivamente dedicados à tarefa. Somente em 1986 foi criada a Coordenadoria de Projetos Especiais (COPESP), cuja denominação foi posteriormente alterada para Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo (CTMSP), localizada no campus da Universidade de São Paulo (USP), estrategicamente situada próxima ao Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN) e junto ao parque industrial de São Paulo. Foi criado, ainda, o Centro Experimental de Aramar (CEA) como braço industrial do Programa, em Iperó, São Paulo (RUIVO, 2007).

Para consecução do seu propósito, o Programa foi dividido em dois projetos principais: o Projeto Ciclone, também conhecido como Projeto do Ciclo do Combustível, com o objetivo de dominar as etapas do ciclo do combustível nuclear, garantindo o suprimento do combustível com recursos totalmente nacionais; e o Projeto Remo, ou Projeto Laboratório de Geração Nucleo-Elétrica (LABGENE), implantado para construir um reator nuclear, do tipo *Pressurized Water Reactor*<sup>5</sup> (PWR), para emprego em sistemas de propulsão naval.

Ambos os Projetos lograram alguns êxitos significativos. Em 1986, a MB, juntamente com o IPEN, dominou o processo de ultracentrifugação do urânio em escala laboratorial. Posteriormente, em 1988, o Programa capacitou-se a produzir urânio enriquecido em escala industrial. Por sua vez, o Projeto Remo desenvolveu e construiu, com auxílio da Nuclebrás Equipamentos Pesados (NUCLEP), um reator nuclear de pesquisa com potência de 100 W, e um reator de 11 MW de potência, que aguarda a conclusão de obras civis e industriais no LABGENE para ser instalado (RUIVO, 2007).

A estratégia adotada pela Marinha do Brasil para o desenvolvimento do PNM baseou-se em uma abordagem cooperativa, com o propósito de evitar a duplicação de esforços

---

<sup>4</sup> PROGRAMA, 2002.

<sup>5</sup> Pressurized water reactor ou reator de água pressurizada, em português.

de pesquisa e desenvolvimento que estariam em andamento em outros locais do país, notadamente nos institutos de pesquisas. Agindo desta forma, objetivou reunir condições de acelerar o Programa e maximizar a aplicação dos recursos humanos e financeiros.

O PNM montou e modernizou vários laboratórios de pesquisa em suas instalações físicas e em universidades, permitindo o desenvolvimento de tecnologias com aplicações em diversos campos da ciência e capacitando engenheiros e técnicos no domínio de novas técnicas.

Todo este esforço congregou órgãos governamentais, institutos de pesquisa, universidades, empresas privadas e grande quantidade de cientistas e técnicos, que se beneficiaram dos conhecimentos adquiridos no desenvolvimento do PNM.

O Programa já contou com cerca de 16.500 pessoas, aí incluídos o pessoal da CTMSP, funcionários de cerca de quatrocentas empresas, e técnicos das Universidades de Campinas, São Paulo, São Carlos, Santa Catarina, Belo Horizonte, do Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (Coppe-UFRJ), do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) e do Instituto Militar de Engenharia (IME). Além disto, o PNM também financiou bolsas de pós-graduação, pesquisas e treinamento de funcionários das entidades que participam das pesquisas.

Assim, o PNM enquadra-se perfeitamente no perfil de desenvolvimento tecnológico para a defesa, conforme descrito na Política de Defesa Nacional:

O fortalecimento da capacitação do País no campo da defesa é essencial e deve ser obtido com o envolvimento permanente dos setores governamental, industrial e acadêmico, voltados à produção científica e tecnológica e para a inovação. O desenvolvimento da indústria de defesa, incluindo o domínio de tecnologias de uso dual, é fundamental para alcançar o abastecimento seguro e previsível de materiais e serviços de defesa. (BRASIL, 2005).

Ao longo dos 29 anos de existência do PNM, foram investidos US\$ 1,16 bilhões, tendo a Marinha destinado US\$ 936 milhões de seu orçamento (cerca de 80% do total) e o Governo Federal os restantes US\$ 223 milhões.

Apesar do sucesso alcançado, a partir de 1994, as contribuições governamentais praticamente se extinguiram (FIG. 2); apesar disto, a Marinha ainda tentou levá-lo adiante até 2002, concluindo, finalmente, que não teria condições de fazê-lo sem sacrificar sua atividade principal. A alternativa para não desmontar um programa com grande potencial para induzir não somente a Marinha, mas todo o país, ao desenvolvimento tecnológico, foi interromper a pesquisa e o desenvolvimento, realizando apenas a manutenção do parque instalado, até que o

Governo Federal se sensibilizasse sobre sua importância e passasse a transferir à Marinha os recursos necessários ao seu prosseguimento.

Para a conclusão do Programa há necessidade de recursos da ordem de R\$ 1,04 bilhão, divididos em oito anos, segundo o Comandante da Marinha, Almirante-de-Esquadra Julio Soares de Moura Neto (MOURA NETO, 2008).

Esta situação de estrangulamento financeiro perdurou até 2007, quando o Presidente da República anunciou, após visitar as instalações do Programa em São Paulo, a intenção de garantir aporte de recursos para o prosseguimento e conclusão do PNM.

Apesar do atraso na liberação do orçamento, a Marinha recebeu integralmente, em maio de 2008, os recursos previstos, cerca de R\$ 130 milhões. Entretanto, o orçamento da MB não foi acrescido deste valor, pois o Governo Federal classificou parte dos recursos previstos para o orçamento da Força como despesas relativas à área nuclear. Assim, a Marinha irá custear o PNM, pelo menos por mais um ano, com recursos do seu orçamento, afastando-se de sua atividade principal para suprir o desenvolvimento de parte do Programa Nuclear Brasileiro.

O PNM vem, também, recebendo recursos extra-orçamentários da empresa pública Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) e das Indústrias Nucleares Brasileiras (INB), pela execução do contrato de fornecimento de ultra-centrífugas. Como estas 3 empresas são vinculadas ao governo federal, o PNM obtém aportes financeiros federais não registrados no orçamento da MB.

### 3 CADEIA DE VALOR E DESTRUIÇÃO CRIATIVA

Duas teorias serão empregadas para investigar qual a contribuição do PNM para desenvolvimento econômico do país.

A primeira teoria que será descrita é de autoria de Michael E. Porter. Chamada pelo autor de “cadeia de valor”, ela integra os cursos de administração de empresas e descreve o relacionamento entre as empresas.

A segunda é a teoria da “destruição criativa”, de Joseph A. Schumpeter, economista e um dos principais teóricos do papel da inovação tecnológica no desenvolvimento econômico de uma nação.

O propósito deste capítulo é fornecer o embasamento necessário para estabelecer quais das inovações geradas pelo PNM podem gerar desenvolvimento econômico para o país, sob a ótica de Schumpeter.

#### 3.1 Cadeia de Valor

O conceito de cadeia de valor foi introduzido por Michael E. Porter em seu livro *Vantagem Competitiva*, de 1989. Este conceito está intimamente ligado à noção de valor que os clientes percebem nos produtos que estão comprando de uma empresa, e, neste sentido, foi definido da seguinte forma:

... valor é o montante que os compradores estão dispostos a pagar por aquilo que uma empresa lhe fornece. O valor é medido pela receita total, reflexo do preço que o produto de uma empresa impõe e as unidades que ela pode vender. Uma empresa é rentável, se o valor que ela impõe ultrapassa os custos envolvidos na criação do produto. Criar valor para os compradores que exceda o custo disto é a meta de qualquer estratégia genérica. O valor, e não o custo, deve ser usado na análise da posição competitiva, pois em geral as empresas deliberadamente elevam seu custo para impor um preço-prêmio, via diferenciação (PORTER, 1989, p. 34).

Existem dois tipos básicos de vantagem competitiva que podem manter uma empresa no mercado: liderança de custos e diferenciação do produto. A liderança de custos pode originar-se em todos os ramos da empresa, desde o projeto até ao suporte do produto, passando pela produção, marketing e pela distribuição. Por seu lado, a diferenciação pode estar espalhada em inúmeras atividades dentro da empresa, como atendimento a clientes, emprego de materiais de alta qualidade e projeto superior (PORTER, 1989).

Há, portanto, uma necessidade de investigar o que acontece dentro da empresa para compreender como se comportam os custos e identificar quais as possíveis áreas que

podem atuar como fator de diferenciação do produto. Após isto, a empresa deverá montar uma estratégia para ressaltá-los e assim obter vantagens competitivas em relação aos concorrentes.

O conceito de cadeia de valor surgiu desta necessidade, e foi elaborada como uma ferramenta para desagregar as atividades internas de uma empresa e permitir a visualização dos elos que existem entre elas. Está, portanto, intimamente ligado aos processos internos da empresa.

Estas atividades foram divididas em duas categorias: atividades primárias e de apoio. A primeira engloba logística interna, operações, logística externa, marketing e vendas e serviços (FIG. 3). A segunda inclui infra-estrutura da empresa, gerência de recursos humanos, desenvolvimento de tecnologia e aquisição (FIG. 4). Uma cadeia de valor genérica é apresentada na FIG. 5 (PORTER, 1998).

A partir do entendimento da cadeia de valor genérica, cada atividade de valor individual deve ser desagregada em atividades distintas e em tantas vezes quantas forem necessárias de forma a permitir identificar aquelas que tiverem:

- a) economias diferentes;
- b) alto impacto em potencial de diferenciação; ou
- c) representarem uma proporção significativa ou crescente do custo. (PORTER, 1989, p. 41).

Michael E. Porter apresentou outro conceito (FIG. 1), intimamente relacionado com a cadeia de valor, denominado sistemas de valor, situado em um nível mais alto, e definido como:

... o conjunto de atividades criadoras de valor desde as fontes de matérias-primas básicas, passando por fornecedores de componentes até o produto final entregue nas mãos do consumidor. É, portanto, um enfoque externo à empresa, vendo cada empresa no contexto da cadeia global de atividades geradoras de valor da qual ela é apenas uma parte... (ARAÚJO; CARNEIRO, p. 2).

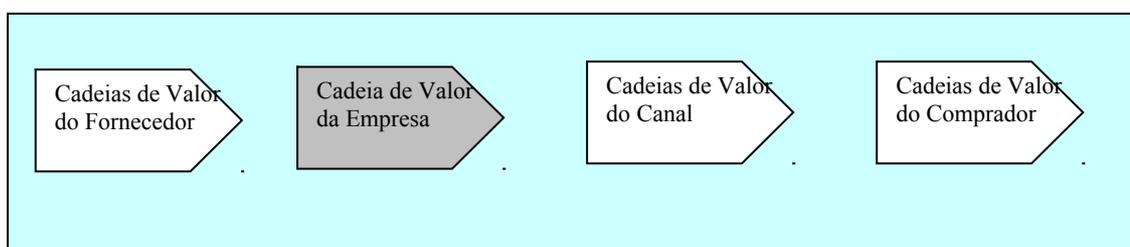


FIGURA 1 - Sistema de valores  
Fonte: (PORTER, 1989, p.32).

Cada um dos elos desta cadeia de valor ampliada é formado por uma cadeia de valor. Assim, o desempenho das cadeias de valor dos fornecedores irá influir na cadeia de valor da empresa, que por sua vez sofrerá a ação das cadeias de valor dos canais de escoamento e estes atuarão sobre as cadeias de valores dos compradores. Em todos os elos são tomadas decisões que podem levar à obtenção de uma vantagem competitiva no mercado. Portanto, a análise destes elos é de grande importância para a empresa.

Como o propósito deste trabalho é investigar o desenvolvimento econômico gerado pelo PNM, o conceito de cadeia de valor amplo, ou sistema de valores, será adotado em detrimento do seu homônimo mais restrito. Esta opção permitirá explorar os elos entre as cadeias de valor das empresas e das instituições envolvidas, desde os fornecedores até os clientes ou consumidores, bem como as ramificações criadas a partir da tecnologia gerada. Ao mesmo tempo, serão abstraídos os detalhes de gerenciamento das atividades internas do PNM, que estão presentes na cadeia de valor restrita, e cujo objetivo, por mais relevante que seja, não ultrapassa os resultados alcançados pelo Programa.

### **3.2 Destruição Criativa**

A teoria econômica clássica, ao tentar explicar o funcionamento das estruturas de mercado, na qual empresas e compradores buscam a maximização do emprego de seus recursos, apresenta vários modelos que variam da concorrência perfeita ao monopólio absoluto. Todos têm o preço e a quantidade como principais variáveis, numa simplificação que facilita bastante o entendimento, mas não reflete integralmente a complexa realidade do mundo:

..., na realidade capitalista e não na descrição contida nos manuais, o que conta não é esse tipo de concorrência, mas a concorrência de novas mercadorias, novas técnicas, novas fontes de suprimento, novo tipo de organização (a unidade de controle na maior escala possível, por exemplo) - a concorrência que determina uma superioridade decisiva no custo e na qualidade e que fere não a margem de lucros e a produção de firmas existentes, mas seus alicerces e a própria existência. (SCHUMPETER, 1961, p. 107).

Os modelos de estrutura de mercado tendem para uma posição de equilíbrio, que não pode ser alcançada na prática. Este tipo de abordagem tem caráter predominantemente estático, pois não prevê a introdução de produtos concorrentes ou similares e de novas empresas; além disto, analisa um pequeno período de tempo. Estas restrições não permitem o tratamento adequado dos processos que envolvem transformações, como é o caso da dinâmica

capitalista. São, portanto, modelos inadequados para explicar como ocorre o desenvolvimento econômico.

Para Schumpeter (1959, p. 89-90) “o desenvolvimento econômico não é um fenômeno a ser explicado economicamente, porém, que a economia, em si, sem desenvolvimento, é arrastada pelas transformações do mundo circunjacente.” Assim, o desenvolvimento econômico não depende somente da situação econômica, mas de todo o contexto em que um país está inserido. O mesmo autor salienta que o crescimento econômico baseado apenas no aumento da população e no acúmulo de capital não deve ser considerado como evidência de desenvolvimento econômico, pois não permite a realização de um salto qualitativo da economia.

As transformações da economia que produzem saltos qualitativos, chamadas “novas combinações” por Schumpeter (1959, p. 95), também conhecidas, atualmente, como inovações tecnológicas, e por ele definidas como “o emprego diferente dos suprimentos de meios produtivos existentes no sistema econômico”, são divididas em cinco categorias distintas: a) a introdução de um produto novo no mercado ou uma nova característica de um produto já existente, ou seja, algo com o que consumidor não esteja familiarizado, podendo ser citado, como exemplo, o telefone celular tomando o lugar do *pager* e o aparecimento do *MP*, tornando obsoleto o *disc-man*, que anteriormente substituíra o *walkman*; b) a utilização de um novo processo de produção na indústria, tal como o emprego da tecnologia de exploração de petróleo em águas profundas utilizada pela Petrobras, ressaltando que não é indispensável este novo processo empregar uma tecnologia recém-descoberta; c) a conquista de um mercado novo ou já existente, mas que não era explorado - a China, antes da abertura para o mundo, é um exemplo de mercado inexplorado; d) a obtenção de uma nova fonte de suprimento de matérias-primas ou produtos semi-industrializados, não importando se a fonte já existia e não era utilizada, sendo o caso, novamente, da exploração de petróleo em águas profundas; e) a reorganização da estrutura de mercado na qual a indústria opera, como a criação de um monopólio ou o seu colapso, como o ocorrido com a reestruturação da telefonia no Brasil (SCHUMPETER, 1959).

O PNM deve ser visto pela ótica da inovação que provoca transformações econômicas, uma vez que, com o desenvolvimento tecnológico obtido por meio de pesquisas, construiu as ultracentrífugas que permitem enriquecer urânio no Brasil de forma independente. O enriquecimento de urânio no país abre, não só o mercado brasileiro para brasileiros, economizando divisas, como coloca o país, que possui a sexta maior reserva de

urânio do mundo, num mercado que movimenta recursos estimados entre US\$ 12 e US\$ 20 bilhões.

Para empreender inovações tecnológicas o empresário necessita ter acesso a estoques de matérias-primas, serviços, máquinas e outros meios de produção, e para isto é fundamental obter crédito. A função de fornecer crédito cabe primordialmente ao sistema bancário, mas nada impede que outros agentes a desempenhem.

Outro aspecto importante da teoria apresentada por Schumpeter é a indispensável figura do empreendedor, cujas qualidades e percepções muitas vezes não são entendidas pelos demais. Não se trata, especificamente, de membros da diretoria, gerência ou qualquer outra função específica dentro de uma empresa, apesar de nada impedir que também o sejam. O empreendedor possui habilidades que são pertinentes àquele que realiza novas combinações; para tanto, é necessário não só lidar com as tarefas do cotidiano, como, também, tratar de assuntos em que nem todas as variáveis sejam de seu domínio ou conhecimento, portanto, trabalha com alto grau de incerteza. Há, ainda, a necessidade de ser convincente para conseguir crédito, vender seu novo produto e enfrentar a rejeição comum à novidade. Outras qualidades ainda são essenciais, como aponta Schumpeter (1959, p. 118):

... na vida econômica, a ação tem que ser realizada sem elaborar todas as minúcias do que se há de fazer. Aqui, o bom êxito de tudo depende da intuição, da capacidade de enxergar as coisas, de modo tal, que, depois comprove ser isto verídico, muito embora não se o possa aplicar no momento, e de perceber o fato essencial, afastando-se os não-essenciais, ainda que não se possa dar conta dos princípios mediante os quais isto se realiza.

Este autor reconhece que não há como relacionar, num projeto da magnitude do PNM, o sucesso ao esforço de uma única pessoa e a partir daí nomeá-lo empreendedor conforme descrito em sua teoria. Entretanto, o próprio Schumpeter, em *Economic Theory and Entrepreneurial History*, trabalho compilado pelo Research Center in Entrepreneurial History da Universidade de Harvard, reviu o seu trabalho e incluiu o Estado no rol dos atores capazes de introduzir inovações no sistema econômico (SZMRECSÁNYI, 2002).

O verdadeiro desenvolvimento econômico é aquele promovido pelo empreendedor ou ator equivalente, que tendo obtido crédito junto a seus financiadores, realiza novas combinações dos meios produtivos existentes, elevando, assim, a economia para outro patamar:

O impulso fundamental que põe e mantém em funcionamento a máquina capitalista procede dos novos bens de consumo, dos novos métodos de produção ou transporte,

dos novos mercados e das novas formas de organização industrial criadas pela empresa capitalista (SCHUMPETER, 1961, p. 105).

A este tipo de transformação Schumpeter chamou de “destruição criativa”, a velha tecnologia destruída pela criação da nova, as novas estruturas substituindo as antigas, abrindo novos espaços na economia e permitindo saltos evolutivos.

Uma característica marcante na obra de Schumpeter sobre a inovação tecnológica é a presença do mercado. O foco é a transformação que as “novas combinações” produzirão nele. As inovações chegam ao mercado pelas mãos do empreendedor. Portanto, se a inovação tecnológica não chegar ao mercado, não haverá desenvolvimento econômico.

Inovação é invenção que chega ao mercado (CARVALHO, 2004).

## **4 CADEIA DE VALOR ESTABELECIDADA PELO PROGRAMA NUCLEAR DA MARINHA**

É prática corrente no mundo atribuir elevado grau de sigilo às conquistas tecnológicas na área nuclear, o que por si já revela o grau de importância dos materiais e equipamentos desenvolvidos. O PNM obviamente não foge a esta regra, o que restringiu o seu acompanhamento. Entretanto, como há um volume considerável de inovações e algumas não são consideradas sigilosas, nem por isto menos importantes, sua disseminação permitiu verificar a contribuição do Programa para o desenvolvimento econômico do país.

Nos 29 anos do PNM, diversas vitórias foram alcançadas. Entretanto, o trajeto para chegar a elas não se constituiu de uma linha reta. Pelo contrário, foram necessários muitos desvios. Para evitar a perda de rumo devido a estes desvios, será empregado o conceito de “cadeia de valor” apresentado no capítulo anterior.

Este capítulo aplicará a teoria de Michael E. Porter ao PNM. Três vertentes serão seguidas: o ciclo do combustível nuclear; o reator nuclear e os benefícios intangíveis criados pelo Programa. Esta abordagem visa a responder a três questões (quais os resultados obtidos pelo PNM? O que não progrediu? Podemos recuperar o tempo perdido?).

### **4.1 O Ciclo do Combustível Nuclear**

Na natureza existem somente três elementos que estocam energia sob a forma nuclear: o urânio, o tório e o plutônio, deste último existem, em estado natural, apenas traços. O atual estágio da tecnologia nuclear empregada em reatores de fissão não permite o emprego do tório; portanto, somente o urânio e o plutônio são empregados para gerar o combustível nuclear. O plutônio em quantidades necessárias para gerar energia é obtido pela irradiação do urânio.

O urânio, encontrado sob a forma de dióxido de urânio ( $\text{UO}_2$ ), tem em sua composição 99,28% do isótopo de urânio-238 (U-238) e 0,71% do isótopo de urânio-235 (U-235), este facilmente fissionável. O processo de enriquecimento nuclear consiste em aumentar a proporção de U-235 no  $\text{UO}_2$  (INOVA, 2003).

As quantidades necessárias para as diversas aplicações nucleares variam, mas todas se situam numa faixa muito superior à encontrada na natureza. Para geração de energia elétrica é necessário enriquecer o urânio de forma que sua massa passe a ter de 3 a 4% de U-

235<sup>6</sup>; para reatores de pesquisa o percentual sobe para aproximadamente 20% e para a fabricação de bombas atômicas é preciso alcançar teor acima de 90%<sup>7</sup>. Assim, é fundamental aumentar a proporção de U-235, realizando o processo chamado enriquecimento do urânio, para que seja possível iniciar a fissão nuclear. Os estágios de enriquecimento do urânio compõem que ciclo do combustível nuclear são: obtenção do urânio natural (UO<sub>2</sub>); produção do gás hexafluoreto de urânio (UF<sub>6</sub>), também chamado de conversão; enriquecimento do urânio e reconversão; e, finalmente, fabricação do combustível nuclear<sup>8</sup>.

#### 4.2.1 Obtenção do Urânio Natural

A obtenção do urânio natural é a primeira etapa do ciclo do combustível e, apesar de o nome ensejar somente a extração do minério do solo, ela compreende outras atividades como a extração do urânio do minério bruto encontrado na natureza, sua purificação e concentração sob a forma de um sal amarelo, conhecido como *yellow cake*. Todo esse processo, que corresponde a 26% do custo do combustível nuclear<sup>9</sup>, é realizado pelas Indústrias Nucleares do Brasil (INB), estando, portanto, fora da cadeia de valor do PNM. Uma libra do *yellow cake* custava, em 2003, US\$ 10,90. Em junho de 2008, estava sendo vendido por US\$ 60,00, de acordo com a *The Ux Consulting Company* (UxC), empresa de consultoria especializada em prospecção, enriquecimento e conversão de urânio<sup>9</sup>. A figura 6 apresenta a evolução do preço do *yellow cake* no mercado internacional.

#### 4.2.2 Produção do Gás de Urânio

A segunda etapa do ciclo é a produção de UF<sub>6</sub>, cuja técnica foi desenvolvida no país pelo CTMSP, baseado em pesquisas anteriormente realizadas pelo IPEN. O Brasil ainda não fabrica o UF<sub>6</sub> em escala industrial. O PNM construirá a primeira planta, que se chamará Unidade de Produção de Hexafluoreto de Urânio (USEXA), no CTMSP - Aramar, com capacidade prevista de 40 toneladas por ano, o suficiente para atender apenas às necessidades do próprio Programa e para suprir parte da demanda das INB (Angra I e II). A USEXA, cuja construção foi paralisada por falta de recursos, deverá entrar em funcionamento em 2010. Esta

---

<sup>6</sup> MARQUES; SILVA, 2004, p. 31.

<sup>7</sup> GUIMARÃES, 1999, p. 218.

<sup>8</sup> WNA, 2007.

<sup>9</sup> UXC, 2008.

etapa corresponde a 5% dos custos do ciclo do combustível nuclear<sup>10</sup>. O preço do UF<sub>6</sub>, que inclui o preço do *yellow cake*, subiu de US\$ 33,38 kg UTS<sup>11</sup> em 2003, para US\$ 168,00 kg UTS em junho de 2008. Já o preço do serviço de conversão custava US\$ 4,90 em 2003 e evoluiu para US\$ 10,00 em 2008, de acordo com a UxC<sup>12</sup>.

Existem algumas explicações para o aumento do preço tanto do *yellow cake* como da conversão. Algumas de difícil verificação, como as que alegam que o Irã foi o responsável, pois fez aquisições pelo quádruplo do preço. Outras dizem que, com o fim do estoque de urânio proveniente das armas nucleares desativadas, as potências nucleares voltaram a comprar o combustível. Afora isto, há o aumento da demanda pela energia nuclear que, com o aumento constante do preço dos combustíveis fósseis e, principalmente, pela baixa emissão de gases, que diminuiria o efeito estufa, tornou-se mais aceito pela sociedade. O fato é que o mercado está crescendo: segundo a AIEA, existem, hoje, no mundo, 439 usinas nucleares em funcionamento, sendo que cinco serão desativadas a longo prazo, e 34 novas usinas estão em construção.

A importância da USEXA para o país pode ser resumida assim:

A prontificação da USEXA representa, não apenas um grande passo no domínio tecnológico do ciclo do combustível nuclear, mas uma etapa importantíssima para permitir, no futuro, a construção de unidades de grande porte, proporcionando ao país autonomia no ciclo do combustível nuclear. Além da economia de divisas conseguida pela exportação de combustível com alto valor agregado, geração de emprego e fomento tecnológico para a indústria de um modo geral, haja vista a tecnologia e requisitos restritivos de qualidade do setor nuclear (CNCTI, 2005, p. 1561).

Diversas empresas nacionais foram chamadas para participar da montagem da USEXA, nos setores de engenharia civil, montagem eletromecânica e fornecimento de equipamentos com a qualidade requerida para os projetos nucleares. O Programa identificou a necessidade de implantação de um programa de qualificação das indústrias para projeto e desenvolvimento de equipamentos específicos, tais como autoclaves, fornos de calcinação, vasos de pressão, reatores químicos, dessublimadores, tanques e instrumentos de controle de processos químicos. Esta qualificação permitiu, segundo os próprios empresários, a participação das empresas em contratos com a Petrobras (CNCTI, 2005).

---

<sup>10</sup> WNA, 2007.

<sup>11</sup> Kg UTS significa Unidade de Trabalho Separativo e mede o poder de separação de uma ultracentrifuga.

<sup>12</sup> UXC, 2008.

O PNM, na atual fase de construção da USEXA, tem em sua cadeia de valor dois elos: os fornecedores dos equipamentos necessários à construção da fábrica e o próprio PNM, no papel de empresa.

No futuro, quando a fábrica estiver pronta, estes elos modificar-se-ão. Os fabricantes de equipamentos deverão continuar interagindo com o PNM em escala menor, dando assistência técnica, por exemplo. A eles serão acrescidos fornecedores dos insumos necessários ao funcionamento da fábrica. Além disto, um terceiro elo deverá ser criado, pois acredita-se que as INB atuarão como cliente, adquirindo o UF<sub>6</sub> excedente.

Neste caso, o elo correspondente ao canal de escoamento da produção não existe, pois os fornecedores não empregam este canal, vendendo diretamente para o Programa.

### 4.2.3 Enriquecimento do Urânio

O próximo estágio do ciclo do combustível nuclear é o enriquecimento do urânio, que corresponde a 55% do custo total da cadeia<sup>13</sup>, ou seja, é a parte de maior valor agregado, mas também é a que apresenta aos pesquisadores os maiores desafios.

No final da década de 1970, a escolha da tecnologia para enriquecimento de urânio era uma das principais decisões relativas ao Programa Nuclear da Marinha que deveria ser tomada. Àquela época estavam em uso duas tecnologias diferentes: a ultracentrifugação, utilizada pela Alemanha, Holanda e Inglaterra, e a difusão gasosa, empregada nos EUA e na França. Havia, ainda, uma terceira, conhecida por jato centrífugo, mas mostrou-se ineficiente e foi descartada.

A escolha da Marinha recaiu sobre a ultracentrifugação devido às características de modularidade, pois pode ser implantada por partes até alcançar a produção plena requerida; de flexibilidade, uma vez que os módulos podem ser dispostos em série ou em paralelo; e de eficiência em termos de consumo de energia elétrica em comparação com a tecnologia de difusão gasosa (MARQUES; SILVA, 2006). Ao que tudo indica, esta decisão foi acertada, uma vez que os EUA - que gastaram cerca de três bilhões de dólares no desenvolvimento de tecnologia de enriquecimento de urânio (IZIQUE, 2007), e a França pretendem substituir o processo de difusão gasosa pelo de ultracentrifugação. É interessante notar que ambos os países já dominavam a tecnologia de enriquecimento de urânio, mas optaram por arcar com os custos de desenvolver essa tecnologia. As pesquisas no PNM foram iniciadas empregando como modelo as ultracentrífugas importadas da Alemanha, em 1956. A constante negação de

---

<sup>13</sup> WNA, 2007.

fornecimento de tecnologia e materiais, via *trigger list*, pelos países nuclearmente desenvolvidos, exigiu dos pesquisadores nacionais a busca por soluções inovadoras sem paralelo no setor.

No processo de ultracentrifugação, o urânio é enriquecido pela separação do U-235, conforme explicam Marques e Silva:

Na ultracentrifugação, a separação é feita pela força centrífuga agindo nas partículas de UF<sub>6</sub>, cujo princípio é idêntico àquele que conhecemos em nossa casa, concentrando-se o U-238 em uma região mais externa do que o U-235, porque o primeiro é mais pesado somente cerca de 1% em relação ao segundo. Daí aparecer o termo “ultra” centrifugação (operar em velocidades tangenciais muito altas), para separar dois elementos cujas massas são muito próximas (MARQUES; SILVA, 2006, p. 30).

As ultracentrífugas trabalham acima de cinquenta mil rotações por minuto para realizar a separação dos isótopos a uma taxa muito baixa. Por isto o processo tem que ser repetido várias vezes para que se obtenha a quantidade suficiente de urânio enriquecido. Para executar este serviço, as ultracentrífugas foram dispostas em série e em paralelo; nesta configuração, o resultado de um determinado estágio continua para o seguinte e o gás ainda não enriquecido retorna para a estação anterior para ser reprocessado, formando a cascata de enriquecimento de urânio. O UF<sub>6</sub> com o urânio enriquecido é recolhido no final da cascata e reconvertido para dióxido de urânio em pó. Esta etapa é conhecida como reconversão.

Para construir ultracentrífugas capazes de trabalhar a altíssimas velocidades o PNM deveria primeiro desenvolver materiais que suportassem as tensões mecânicas que seriam geradas nesses equipamentos. Dois materiais foram escolhidos pelas suas qualidades: o aço maraging e a fibra de carbono.

A importância do aço maraging foi resumida por Guimarães:

As ligas do tipo “Maraging” foram desenvolvidas na década de 60, tendo como grande impulsionadora a NASA, em função de seu uso na exploração lunar. A alta resistência e outras características tornaram a liga particularmente favorável para aplicação em cilindros rotativos de ultracentrífugas, podendo-se mesmo dizer que estas se tornaram economicamente viáveis depois do desenvolvimento das ligas maraging. O “maraging” utilizado em ultracentrífugas tem a sua exportação no mercado controlada, sendo extremamente caro (GUIMARÃES, [200-?], p.12).

O maraging é um aço de ultra-alta resistência, com aplicação em vasos de pressão em processos críticos, trens de pouso de aeronaves, molas especiais, peças estruturais do foguete SONDA, mísseis solo-solo anti-tanques MSS1.2, cascos de submarinos e equipamentos esportivos. As ligas tipo MAR250 já foram exportadas para a Argentina. A tecnologia de fabricação deste aço foi repassada para a empresa Eletrometal, especializada na

produção de aços especiais. Infelizmente, devido a dificuldades financeiras, a companhia foi vendida, atualmente pertencendo ao grupo austro-sueco Bohler-Uddeholm AG, que não levou adiante os planos para a produção do maraging.

Outro material desenvolvido pelo PNM é o polímero acrílico-nitrila, popularmente conhecido como fibra de carbono, que possui alto coeficiente de resistência mecânica e densidade. Essas propriedades o elegeram como o material ideal para ser empregado na construção das ultracentrífugas, apesar de seu projeto e fabricação serem mais complexos, uma vez que este material tem elevado grau de anisotropia<sup>14</sup>. Este material é empregado em aviões, carros (inclusive na fabricação dos carros de Fórmula 1), indústria espacial e de materiais esportivos.

Para a construção do cilindro interior das ultracentrífugas, o material escolhido foi a fibra de carbono, pois o seu emprego permite uma redução de peso de cerca de 98% em relação ao aço maraging. O PNM importava a fibra de carbono dos EUA, entretanto, em 2007, o governo norte-americano proibiu a venda deste material<sup>15</sup>.

As ultracentrífugas estrangeiras funcionam com o rotor apoiado em um mancal mecânico. Os pesquisadores do PNM inovaram ao empregar a tecnologia da levitação magnética nas ultracentrífugas, que operam sob vácuo entre a carcaça e o rotor, o que diminuiu o atrito entre as partes, e conseqüentemente o consumo de energia; reduziu a necessidade de manutenção; e aumentou a vida útil do equipamento, tornando, ao que tudo indica, a produção do urânio enriquecido mais barata. Apesar do sucesso, a pesquisa e o desenvolvimento das ultracentrífugas continuam, estando atualmente em operação no CEA a sexta geração desses equipamentos. A sétima geração, formando uma nova cascata, deverá estar funcionando até o final de 2008. Graças ao desenvolvimento desta tecnologia, o Brasil obteve uma importante vantagem estratégica. O domínio da tecnologia de operação sob vácuo permite que a indústria nacional avance em duas direções. A primeira diz respeito à indústria de semicondutores, que depende de vácuo para fabricar os seus produtos; a segunda relaciona-se com as válvulas de controle empregadas na geração do vácuo, que tem grande aplicação na indústria aeroespacial.

Outras aplicações desenvolvidas envolvem medidores de vazão, bombas e motores para aplicações generalizadas.

---

<sup>14</sup> Anisotropia é a característica que o material tem de exibir diferentes valores de uma propriedade física ao longo de diferentes direções.

<sup>15</sup> Informação fornecida em palestra sobre o Programa Nuclear da Marinha pelo Contra-Almirante (EN) Carlos Passos Bezerril, em 24 de junho de 2008.

Depois de comprovado o emprego industrial da tecnologia utilizada na construção das ultracentrífugas, as INB contrataram a Marinha para fabricar e fornecer cascatas de enriquecimento de urânio.

O mercado de urânio enriquecido movimenta atualmente recursos entre US\$ 12 e US\$ 20 bilhões por ano. A grande variação dessa estimativa deve-se ao sigilo como são tratadas as vendas deste material e a inexistência de um mercado propriamente dito, até porque não seria correto classificar o urânio enriquecido como uma *commodity*<sup>16</sup>, devido ao seu alto valor agregado.

Para participar desse mercado o Brasil tem que superar obstáculos internos e no exterior. Os obstáculos internacionais são apresentados pelo embaixador José Maurício Bustani: “explorando as ambigüidades das regras de não-proliferação de armas, as grandes potências agem também em nome de seus interesses, tanto estratégicos quanto comerciais, para manter um oligopólio internacional em setores de ponta.” (BUSTANI, 2006)

Já o diplomata sueco Hans Blix, diretor-geral da AIEA de 1981 a 1997, diz a mesma coisa, de outra forma:

Faz total sentido ampliar o uso de energia nuclear no Brasil. O que não faz sentido é ter um programa de enriquecimento de urânio. Digo isso no sentido econômico. Não há por que manter todo o processo de enriquecimento, sendo que o País pode comprar o material facilmente. (CHADE, 2007)

A ambigüidade citada por Bustani se apresenta em Blix, profundo conhecedor das aplicações da energia nuclear, que estimula o Programa Nuclear Brasileiro, desde que o país seja dependente do exterior.

São apenas nove os países que dominam todo o ciclo de enriquecimento de urânio e, portanto, são fornecedores em potencial: EUA, Rússia, França, Canadá, China, Japão Inglaterra, Alemanha e Holanda, os três últimos formando o consórcio URENCO. Destes, somente EUA e Canadá possuem reservas de urânio superiores à do Brasil, que detém a sexta maior reserva mundial. Entretanto, especialistas destacam que a prospecção realizada no início do século XX cobriu somente um terço do território nacional e que há grandes chances de novas descobertas com o emprego de tecnologias modernas e a exploração de todo o território. Caso isto ocorra, estima-se que o país passe a deter a terceira maior reserva de urânio do mundo (IZIQUE, 2007).

---

<sup>16</sup> Commodity: produto primário de grande participação no comércio internacional, como café, algodão, minério de ferro etc. (FERREIRA, 2004, p. 506).

Quanto aos compradores de urânio, a lista se estende a 32 países, com 438 usinas nucleares em operação. Retirando da lista os nove países produtores restam 24 que necessitam suprir suas necessidades de urânio enriquecido. Além disto, há inúmeros reatores nucleares de pesquisa espalhados pelo mundo que também necessitam ser abastecidos, mas é claro que esses países já são atendidos pelos atuais fornecedores. O desafio comercial do Brasil está em oferecer o mesmo produto a preços competitivos, utilizando a vantagem obtida com as ultracentrífugas e as consideráveis reservas de urânio, atraindo assim alguns clientes.

Caso o Brasil deseje exportar urânio enriquecido, além dos obstáculos comerciais e políticos internacionais, precisará tomar outras providências. A Lei nº 6.189, de 16 de dezembro de 1974, prevê em seus artigos 14º e 16º:

Art 14. O Presidente da República, ouvido o Conselho de Segurança Nacional, estabelecerá, por proposta da CNEN, reservas de minérios nucleares, de seus concentrados ou de compostos químicos de elementos nucleares.

Art 16. Comprovada a existência dos estoques para a execução do Programa Nacional de Energia Nuclear, e das reservas a que se refere o art. 14, a NUCLEBRÁS poderá, mediante autorização do Presidente da República, ouvido o Conselho de Segurança Nacional, exportar os excedentes no mais alto grau de beneficiamento possível. (BRASIL, lei 6.189)

Estes artigos dizem, dentre outras coisas, que somente poderá ser exportado o urânio enriquecido em seu mais alto grau se a produção for classificada como excedente. Entretanto, ainda não foi realizada a reavaliação das reservas de minérios nucleares, o que, para um país do tamanho do Brasil significa que há um grande trabalho de prospecção a ser realizado. Também não foram definidas quais são as necessidades do país, o que exige uma tomada de decisão estratégica de longo prazo. Estas etapas são anteriores e fundamentais ao estabelecimento de critérios para a definição de excedentes exportáveis.

O desenvolvimento das ultracentrífugas agregou muitos conhecimentos à indústria nacional, dentre elas destaca-se a empresa SMAR. Fundada em 1974, era uma pequena empresa que prestava serviços ao setor açucareiro de São Paulo quando foi convidada a trabalhar no PNM no início dos anos 80. O foco do trabalho era o desenvolvimento de mini-válvulas de controle para processos automatizados. O sucesso da parceria pode ser medido pela situação atual da empresa: hoje ela é líder mundial em *fieldbus*<sup>17</sup>, possui filiais e laboratórios em sete países e 40% de suas vendas são para o exterior, inclusive para a Marinha norte-americana, notadamente para os porta-aviões nucleares.

---

<sup>17</sup> Fieldbus é um protocolo de comunicação empregado em automação de processos. (INOVA, 2008).

A cadeia de valor relativa ao enriquecimento de urânio é complexa, apesar de apresentar somente três elos, aí incluído o próprio PNM. Do lado dos fornecedores a lista é extensa e inclui, também, empresas que foram receptoras de tecnologia gerada pelo PNM, podem, portanto, ser consideradas como fornecedoras e clientes. Neste caso, também não existe o elo responsável pela distribuição, uma vez que os entendimentos sobre compra e venda são realizados diretamente entre as empresas, tanto no papel de fornecedores como na posição de clientes, e o PNM.

#### **4.2.4 Fabricação do Combustível Nuclear**

O quarto e último estágio da cadeia de valores é a fabricação do combustível nuclear, que começa com o pó de dióxido de urânio enriquecido que é transformado em pastilhas de urânio, com 13% de participação nos custos do ciclo do combustível<sup>18</sup>. As pastilhas são montadas em um tubo de zircaloy, uma liga metálica especial, formando o elemento combustível. Vários elementos são montados em uma espécie de engradado, chamado grade espaçadora. Atualmente, as INB fabricam as pastilhas de combustível nuclear com a tecnologia desenvolvida pelo PNM.

Não há como pensar em submarino nuclear sem o domínio completo do ciclo do seu combustível; possuir uma arma estratégica e não dispor dela por falta de combustível seria inaceitável. A história recente ensina como atuam as potências em caso de conflito: umas das primeiras medidas adotadas é o embargo. Assim ocorreu com a Argentina, por ocasião da guerra das Malvinas, quando os mísseis Exocet foram impedidos de embarcar por pressão inglesa. Seria ingênuo pensar que ocorreria algo diferente com o combustível, armamentos e sobressalentes vitais para o submarino nuclear. O Brasil sofreu várias vezes com o bloqueio ao acesso à tecnologia nuclear. Apenas para citar alguns deles: as centrifugas foram apreendidas em 1955; em plena crise do petróleo os EUA se negaram a fornecer combustível para Angra I; e em 1985, por pressão norte-americana junto à comunidade internacional, o Brasil não conseguiu adquirir os produtos necessários para fabricação de radioisótopos para emprego na medicina (ALVES, 1987, I.1-I.6). A necessidade de tornar-se independente tecnologicamente é estratégica, não só em termos militares como civis.

A tecnologia de fabricação do combustível nuclear, dominada no Brasil desde 1982, permite, além da possibilidade de auto-suficiência no fornecimento de combustível para

---

<sup>18</sup> WNA, 2007.

as usinas nucleares nacionais, a exploração das aplicações nucleares na medicina, agricultura, indústria, química, e estudos de datação por intermédio dos reatores de pesquisa.

Atualmente, o PNM enriquece urânio a 20% para suprir a demanda dos reatores de pesquisa do IPEN, que é a instituição responsável, no país, pelo desenvolvimento, produção e distribuição de praticamente todos os radiofármacos<sup>19</sup> para uso em medicina nuclear. Lá são produzidos 32 tipos diferentes de medicamentos, que beneficiam cerca de 2,3 milhões de pacientes no Brasil. O faturamento do Instituto cresceu 292% de 1995 a 2002.

O mercado mundial de radiofármacos foi avaliado, em 1996, em US\$ 1,13 bilhões, sendo que os norte-americanos consomem 47% deste total, entretanto produzem apenas 10% dos radioisótopos necessários para atender a sua demanda. A Ásia é responsável por 26,4% e a Europa 19,5%. A América do Sul participa com apenas 2,5% do consumo, e esta posição pode ser explicada pelas barreiras de mercado (por exemplo, os monopólios) e as dificuldades de incorporação dos procedimentos de medicina nuclear nas tabelas de convênios médicos (RODRIGUES C., 2005).

Os números demonstram que este é um mercado com perspectivas de grande crescimento econômico, e seu maior benefício é disponibilizar para a população tratamentos com elevado grau de sofisticação, permitindo diagnósticos mais precisos e efetividade de cura.

Outras aplicações que empregam urânio enriquecido favorecem a agricultura, o meio ambiente, a química, a indústria e os estudos de datação. O país ainda não desenvolve nenhuma dessas atividades, donde se conclui que há variados campos a serem explorados pela economia nacional quando o assunto é tecnologia nuclear.

A cadeia de valor para o estágio de fabricação do combustível nuclear é, atualmente, inexistente, uma vez que o PNM desenvolveu a tecnologia no passado e a repassou para as INB. No caso de algum avanço tecnológico alterar o processo de fabricação, esta cadeia de valor provavelmente seria restabelecida. A outra cadeia de valor deste estágio coloca o PNM como fornecedor, o IPEN como cliente e vários hospitais como clientes daquele instituto.

---

<sup>19</sup> Radiofármacos são substâncias emissoras de radiação utilizadas na medicina para radioterapia e para exames de diagnóstico por imagem ([www.ien.gov.br](http://www.ien.gov.br)).

## 4.2 O Reator Nuclear

A cadeia de valor do reator nuclear se distingue pela grande visibilidade que confere à tecnologia, pois a construção de reatores nucleares de potência permite a geração de energia elétrica. Outro produto desta cadeia é a construção de reatores nucleares de pesquisa que, apesar do desconhecimento do público em geral, tem inúmeras aplicações no cotidiano da sociedade.

O PNM construiu, juntamente com a NUCLEP, o vaso do Reator Nuclear de Água Pressurizada (RENAP-100), e, também o Reator de Pesquisas IPEN/MB-01. Trata-se de um reator de pesquisas de 100 W de potência com o propósito de validar cálculos e realizar testes e está sendo operado juntamente com o IPEN (RUIVO, 2007, p. 36). Foi o primeiro reator totalmente projetado e construído no Brasil, com todos os seus equipamentos nacionalizados e produzidos por empresas brasileiras.

Um segundo reator, chamado de RENAP-11, com 11 MW (ou 50 MW térmicos), é o primeiro reator nuclear de potência projetado e construído no País, e formará, depois de concluídas as obras civis no prédio do LABGENE, o protótipo do sistema de propulsão nuclear (INOVA, 2003).

Para construir o reator, o PNM teve que desenvolver métodos de fabricação de componentes de grande porte, sistemas de controle digital com elevados requisitos de segurança, turbinas a vapor, condensadores, bombas, motores e geradores elétricos, dentre outros.

O motor de comutação eletrônica excitado por ímãs de terras raras, que está sendo desenvolvido em conjunto com a Escola Politécnica da USP, por meio da Fundação para o Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia (FDTE), constitui, também, uma notável inovação tecnológica em termos de máquinas elétricas empregadas em propulsão e tração. Este tipo de motor, que combina a simplicidade de construção dos motores polifásicos com a facilidade de controle de velocidade do motor de corrente contínua, terá, seguramente, larga aplicação em tração elétrica de trens e ônibus, laminação de metais, máquinas, ferramentas e inúmeros outros usos industriais para os quais seja requerida velocidade variável, proporcionando considerável economia de energia. O PNM já construiu um protótipo deste motor e a empresa nacional WEG está iniciando a produção do primeiro motor em escala industrial (INOVA, 2003).

A participação da indústria de base é muito importante para o PNM, que encomendou diversos equipamentos no país. A NUCLEP fabricou o vaso do reator nuclear; a

empresa Dedini S.A., de Piracicaba (SP), tradicional fabricante da indústria sucroalcooleira e de usinas hidrelétricas, forneceu a turbina; o grupo sorocabano Garcia Jaraguá, que atua na área de petróleo, petroquímica e química, confeccionou o pressurizador e o condensador; a Siemens Brasil fez os geradores. Com isto, a nacionalização do Programa alcançou índice superior a 90% (IZIQUE, 2008).

Estes equipamentos e outros construídos pela indústria nacional estão submetidos a ensaios no Laboratório de Testes de Equipamentos de Propulsão (LATEP), único do gênero na América do Sul, que foi construído no CEA.

A principal aplicação pacífica da tecnologia nuclear é a geração de energia elétrica. O Brasil é um país rico em recursos hídricos, possui um potencial de cerca de 260 mil MW, dos quais apenas 28,2% foram explorados<sup>20</sup>. Existem, entretanto, alguns problemas que dificultam o aproveitamento integral destes recursos: em primeiro lugar, os locais adequados para construção de usinas hidrelétricas não estão situados próximos aos grandes centros consumidores, gerando a necessidade de grandes investimentos em linhas de transmissão; o segundo problema é a questão ambiental, pois as usinas hidrelétricas necessitam, em sua maioria, alagar grandes áreas. Além disto, a maioria dos locais atualmente existentes situa-se em áreas de preservação ambiental ou em reservas indígenas. A dependência do regime de chuvas é o terceiro problema, e o desenvolvimento do país não pode ficar à mercê do clima.

A solução vislumbrada para contornar estes problemas é a criação de uma matriz energética flexível, que contemple várias fontes de energia. A energia elétrica gerada por usinas nucleares é parte desta solução, uma vez que o país possui grandes reservas de urânio, domina o ciclo do combustível nuclear e se prepara para construir um protótipo de reator nuclear que pode integrar usinas de pequena e média potências.

As usinas nucleares contornam o problema de localização, pois independem do curso dos rios para escolha do local onde serão instaladas, não estão sujeitas ao regime de chuvas e são as que menos produzem gases do efeito estufa (FIG. 5), segundo estudo da Agência Internacional de Energia (VENTURA FILHO, 2008).

Além dos passos necessários para realizar o enriquecimento de urânio e o desenvolvimento do reator nuclear de potência, o PNM avançou no sentido de desenvolver outros materiais e conhecimentos de uso no Programa como um todo, não sendo conotados a nenhum estágio específico.

Assim, foram desenvolvidos giroscópios, que serão aplicados no desenvolvimento de sistema de navegação inercial do submarino nuclear, mas que também tem utilização na

---

<sup>20</sup> VENTURA FILHO, 2008

navegação aeroespacial; sistemas de automação com larga possibilidade de emprego em toda a indústria; válvulas TWT, para uso em radares; tecnologia de análise de risco, que já foi empregada pela Petrobras na instalação de uma plataforma de petróleo no México; e material para blindagem balística (carbeto de boro e placa cerâmica de carbeto de silício), com aplicação em coletes à prova de bala, carros e viaturas<sup>21</sup>.

A cadeia de valor gerada pela construção do reator nuclear é curta, pois, no atual estágio, existem somente dois elos: os fornecedores e o cliente, no caso o PNM. Neste caso, entretanto, existe uma vasta gama de fornecedores compondo o primeiro elo.

### **4.3 Benefícios Intangíveis**

Um programa de desenvolvimento de tecnologia de alto valor agregado como o PNM tem uma face bastante visível, qual seja, a criação de capacidade para gerar bens e serviços de grande aplicação na vida da sociedade. Estes benefícios possuem valor razoavelmente bem conhecido e o seu impacto na economia como um todo não é difícil de ser entendido. Entretanto, programas com estas características estendem também seus efeitos por outras áreas, nas quais os ganhos são muito mais difíceis de mensurar.

O PNM optou, logo no início de sua trajetória, por nacionalizar todas as etapas do desenvolvimento de projetos. Obviamente este não era o caminho mais fácil, mas como havia claro entendimento de que diversas tecnologias seriam objeto de embargo, esta foi a solução adotada para contornar as carências tecnológicas do país. Com isto, todas as etapas dos projetos que compõem o Programa, desde a concepção até a construção, foram realizadas por brasileiros. Cabe ressaltar que a prática no país é importar as fases iniciais de concepção e projeto básico, as mais nobres, e realizar alguns detalhamentos e a construção com empresas nacionais. Esta quebra de paradigma começou a criar uma massa crítica de engenheiros e técnicos com uma capacidade pouco explorada no Brasil (GUIMARÃES, [200-?]).

Uma outra característica marcante do PNM é a quantidade de laboratórios experimentais criados para realizar a validação experimental dos projetos, suprimindo uma grande deficiência nacional. Em que pese os laboratórios se constituírem em bens materiais, o que há de muito importante por trás deles é a cultura da experimentação criada e que foi inculcada em todo o corpo técnico, seja ele funcionário do Programa, das universidades, das empresas ou dos institutos de pesquisa.

---

<sup>21</sup> Informação fornecida em palestra sobre o Programa Nuclear da Marinha pelo Contra-Almirante (EN) Carlos Passos Bezerril, em 24 de junho de 2008.

Como já foi mencionado anteriormente, a grande participação de institutos de pesquisa, universidades e empresas privadas no Programa viabilizou diversas conquistas, dentre elas a integração de tipos de entidades com diferentes objetivos. As empresas privadas visam notadamente ao lucro e geralmente não estão inclinadas a investir recursos e tempo em produtos com longo período de maturação. Já os pesquisadores, oriundos de universidades ou trabalhando em institutos de pesquisas, têm enfoque diverso e, muitas vezes, pouco objetivo. O PNM conseguiu integrar estes dois setores em busca do seu propósito, reunindo as vantagens do trabalho em conjunto para desenvolvimento de inovações tecnológicas: baixo custo de desenvolvimento para a indústria e incentivo às pesquisas para as universidades e institutos.

A cadeia de valor gerada pelos benefícios intangíveis a rigor não existe, pois não existe relacionamento comercial entre as partes envolvidas. Entretanto, as mudanças geradas pelo PNM na criação de projetos, na experimentação laboratorial e no envolvimento da pesquisa com a indústria, podem ter conseqüências significativas para as empresas e os institutos de pesquisa, alterando significativamente as suas próprias cadeias de valor.

## 5 PERSPECTIVAS DO PROGRAMA NUCLEAR DA MARINHA

A partir de 2003, o PNM passou quatro anos sem receber investimentos. Os recursos alocados mal permitiam a manutenção do parque já edificado. A construção do LABGENE foi suspensa, apesar de cerca de US\$ 130 milhões em equipamentos estarem prontos para ser instalados. Não havia como remunerar todos os funcionários que lá trabalhavam; muitos foram dispensados, enquanto outros procuraram novas ocupações, em decorrência da falta de perspectiva, e vários se aposentaram. Diante deste quadro, algumas pesquisas foram suspensas.

Qualquer programa nuclear pode, em decorrência do vulto dos recursos necessários para sua implementação, ser classificado como possuidor de alto custo de entrada, ou seja, para ser iniciado deve haver grande volume de investimento. Por outro lado, também pode ser considerado de elevado custo de saída, uma vez que o passivo gerado, tais como reatores nucleares, ultracentrífugas, materiais com risco de contaminação ambiental ou controlado em todo o mundo, e tecnologias consideradas segredo de Estado, devem ser monitorados após o final do Programa. Um dos piores cenários para um programa deste tipo é a sua paralisação a meio caminho, quando os frutos ainda não foram integralmente gerados, pois necessitam de grande tempo de maturação, mas o passivo já existe e é obrigatório que seja cuidado.

A paisagem do CEA com obras inconclusas, durante anos convivendo no mesmo local com o que há de mais moderno no mundo em termos de enriquecimento de urânio só não é pior do que a situação de pessoal vivida pelo PNM. A grande quantidade de técnicos e especialistas que deixaram o Programa foi a sua maior perda. A recomposição do quadro de pessoal com a contratação de novas pessoas não atenderá rapidamente a necessidade atual, uma vez que lhes faltarão o conhecimento e a experiência alcançados pelos antigos integrantes do PNM. Além disso, a MB enfrenta grande dificuldade para captação de engenheiros devido ao aquecimento do mercado, fruto do crescimento do país. As empresas que competem por esse tipo de profissional têm autonomia suficiente para alterar salários e vantagens para atraí-los. Por outro lado, na esfera federal, a falta de flexibilidade da legislação que regula a remuneração de pessoal torna sua captação muito mais difícil. No último concurso realizado pela EMGEPRON<sup>22</sup> para contratação de engenheiros e técnicos civis, oferecendo 400 vagas, houve apenas 59 candidatos aprovados na primeira fase do concurso

---

<sup>22</sup> EMGEPRON, Empresa Gerencial de Projetos Navais, empresa estatal ligada à Marinha e responsável, dentre outras atividades, pela contratação de pessoal civil para o PNM.

(BEZERRIL, 2008). A flexibilização da legislação de remuneração com o propósito de permitir a contratação de pessoal especializado para recompor os quadros de pessoal deverá constituir-se uma preocupação do PNM com vistas a sua retomada.

Diante deste quadro de falta de pessoal, as pesquisas paralisadas muito provavelmente serão retomadas paulatinamente, à medida que se complete o quadro profissional e que os novos funcionários ganhem a experiência e o conhecimento prático necessários ao andamento dos trabalhos.

Apesar de ter obtido sucesso em algumas metas significativas, o PNM ainda precisa avançar para alcançar o seu propósito. O Projeto do Ciclo do Combustível dominou a tecnologia de enriquecimento de urânio, mas ainda precisa refinar algumas das tecnologias obtidas, como o grau de pureza da fibra de carbono. A entrada em funcionamento da USEXA, prevista para 2010, é outro obstáculo a ser vencido, mas este parece mais dependente do aporte de recursos financeiros do que de tecnologia. Há, também, o compromisso assumido pelo PNM junto às INB para fornecimento de cascatas de ultracentrífugas que precisa ser cumprido.

Quanto ao Projeto Laboratório de Geração Nucleo-Elétrica as metas restantes a alcançar são maiores. O LABGENE conterà todos os principais equipamentos de uma planta propulsora, inclusive o reator nuclear, respeitando as dimensões previstas para o submarino, ou seja, espaço muito reduzido. Cabe ressaltar que o projeto do submarino não está concluído, portanto as dimensões em questão não são precisamente conhecidas, bem como o arranjo interno desses equipamentos. As obras civis do Laboratório ainda estão nas fundações e, apesar de grande parte dos equipamentos encontrar-se estocada no CEA, a montagem de toda a estrutura não deve ser tarefa simples devido aos grandes requisitos de segurança envolvidos. O licenciamento ambiental deve constituir-se em grande obstáculo para o Programa, uma vez que até a usina de Angra III, que está sendo construída no mesmo local de Angra I e II, tem dificuldades para obtê-la, com o Ministério do Meio Ambiente exigindo compensações ambientais.

Segundo o CMG (EN RM1) Leonam dos Santos Guimarães<sup>23</sup>, a curto prazo as instalações do LABGENE servirão “para identificar aspectos que poderão ser melhorados no submarino e demonstrar a viabilidade da integração dos sistemas a uma plataforma naval”. A longo prazo, os propósitos seriam “qualificar componentes, equipamentos e sistemas para uso

---

<sup>23</sup> CMG (EM RM1) Leonam dos Santos Guimarães foi coordenador do Programa de Propulsão Nuclear do CTMSP e atualmente trabalha na Eletronuclear.

naval; formar e treinar tripulações e equipes de operação e demonstrar a segurança técnica e a proteção das tripulações e meio ambiente” (GUIMARÃES, 2004, p. 9).

O período de oito anos para a conclusão do PNM apresentado pelo Comandante da Marinha, Almirante-de-Esquadra Julio Soares de Moura Neto, deve ser encarado como o tempo necessário para o alcance de suas principais metas, quais sejam, o domínio do ciclo do combustível nuclear e a construção de um reator nuclear capaz de ser empregado na propulsão de um submarino. Durante este período, o país deverá decidir se permitirá à Marinha construir e operar submarinos de propulsão nuclear.

Fica claro que o futuro do PNM, além desse horizonte temporal, depende fundamentalmente da construção do submarino nuclear. A alternativa contrária à construção deixaria o Programa sem um propósito nítido para a Marinha, o que determinaria o seu fim, pois não haveria sentido em manter um Programa de elevado custo sem uma finalidade específica.

A MB vem aprofundando estudos para pôr em prática uma resposta positiva da sociedade sobre o submarino nuclear. Diversos setores dentro da Marinha vêm compilando cenários para a mobilização dos recursos financeiros, humanos e materiais necessários para fazer frente ao enorme desafio de construir esse novo meio. Esta movimentação é uma sinalização positiva para a existência do PNM. Além do horizonte de oito anos, e com a perspectiva de construção do submarino nuclear, o PNM terá diversas tarefas.

Um dos propósitos do LABGENE é servir de protótipo em escala real de uma praça de máquinas do submarino nuclear. O PNM deverá mitigar a incerteza de construí-lo sem que suas dimensões e arranjo interno estejam claramente definidos, uma vez que o projeto do meio ainda não foi aprovado.

Este laboratório servirá, também, para que o Programa ganhe a experiência necessária para a construção da propulsão do novo submarino e como centro de adestramento para as futuras guarnições dos submarinos nucleares.

A história demonstra que os países que desenvolveram submarinos nucleares deixaram, com o tempo, de operar submarinos convencionais. A MB não decidiu se seguirá o mesmo caminho, até porque é cedo para tomar esta decisão. O que parece bastante provável é que a Marinha irá construir mais de um submarino nuclear por razões estratégicas e para gerar economia de escala. Portanto, o PNM terá a tarefa de construir outros reatores ao longo dos anos.

O Programa ficará ocupado também com a implantação de modificações oriundas da experiência adquirida com a construção do LABGENE, da prática obtida com a operação do primeiro submarino nuclear e dos avanços tecnológicos futuros.

Um das tecnologias a ser pesquisada é o combustível nuclear em forma de placa, que teve sua pesquisa paralisada no passado recente. Este formato permitirá gerar maior potência no reator do que o sistema atualmente empregado. O sucesso desse desenvolvimento permitirá ao submarino desenvolver maiores velocidades por mais tempo, além de aumentar o intervalo para substituição do combustível nuclear.

O PNM deverá também engajar-se no desenvolvimento da tecnologia para a substituição do combustível nuclear, que é extremamente complicada. Uma outra solução que vem sendo adotada nos submarinos nucleares mais modernos implica não mais realizar a troca do combustível nuclear durante toda sua vida útil, o que não será o caso do submarino nacional; portanto, é possível que esta seja uma das pesquisas a serem levadas adiante.

O acondicionamento correto para os rejeitos nucleares do submarino deve ser pensado dentro do escopo do Programa. O combustível irradiado do LABGENE será armazenado em uma piscina com capacidade para conter resíduos de 30 anos de operação, similar à existente em Angra I. A solução para os rejeitos do submarino deve ser similar, mas em local a ser definido pela MB.

A solução definitiva para os rejeitos nucleares ainda não foi encontrada no Brasil. Apesar de apresentarem pequenos volumes em comparação com os combustíveis fósseis, esses rejeitos são extremamente prejudiciais à saúde humana e à natureza, possuem enorme meia-vida<sup>24</sup> e uma grande capacidade de dispersão no meio ambiente se não forem adequadamente armazenados. Alguns especialistas brasileiros, como o Vice-Almirante (EN RM1) Othon Luiz Pinheiro da Silva<sup>25</sup>, acreditam que este problema deverá ser resolvido em alguns anos com a escolha de um local seguro para guardar os rejeitos nucleares e o pagamento de *royalties* ao município que os abrigar. Caso esta solução seja adotada, a MB possivelmente terá um custo a mais para armazenar o combustível nuclear usado pelo PNM e pelos futuros submarinos nucleares.

Além dos propósitos claramente relacionados com a construção e futura operação do submarino nuclear, o PNM poderá contribuir para a construção das usinas nucleares no país. Segundo o Secretário de Planejamento e Desenvolvimento Energético do Ministério das

---

<sup>24</sup> Meia-vida é o tempo necessário para que se reduza à metade, por desintegração, a massa de uma amostra de um núcleo radioativo (MEIA-VIDA, 2004, p 1303).

<sup>25</sup> VAlte (EN RM1) Othon Luiz Pinheiro da Silva foi o primeiro diretor do CTMSP e atualmente é presidente da Eletronuclear.

Minas e Energia, Dr. Altino Ventura Filho, a participação nuclear na geração de energia elétrica em 2005 foi de 2,0 GW, representando cerca de 2% do total produzido no país. O planejamento da matriz energética prevê que a participação nuclear aumente nominalmente para 3,3 GW, em 2015, com a construção de Angra III, e alcance 7,3 GW até 2030. Para atingir este patamar, há a previsão de construção de mais duas centrais nucleares nos próximos 22 anos (VENTURA FILHO, 2008).

Portanto, caso a MB seja autorizada a construir e operar o submarino nuclear o PNM existirá por um longo período de tempo em apoio a sua construção e aperfeiçoamento, no desenvolvimento de novas técnicas e no preparo de tripulações e equipes técnicas, além de contribuir para a construção de usinas nucleares em terra.

## 6 CONCLUSÃO

O desenvolvimento da tecnologia nuclear sempre foi conturbado no Brasil. Internamente, opiniões diversas sobre o tema permearam a agenda política nacional. No campo externo, os norte-americanos utilizaram todo o seu peso de superpotência para influir nas decisões sobre os destinos do domínio do átomo no país. A mistura desses dois fatores fez com que o Brasil alterasse de forma pendular os rumos de suas decisões sobre o tema, ora protegendo, ora negando apoio à área nuclear, retardando o avanço das pesquisas neste importante setor.

Somente nos anos 1970 é que o Brasil, após ver suas intenções de desenvolvimento na área nuclear sistematicamente prejudicadas por interesses externos, resolveu engajar-se em um projeto autóctone, criando, para este fim, o Programa Nuclear Brasileiro. O Programa Nuclear da Marinha desenvolveu-se de forma independente, sendo incorporado ao PNB no final da década de 1980.

A Marinha colocou à disposição do PNM sua estrutura, conseguindo reunir em torno do seu propósito a indústria nacional, institutos de pesquisa e universidades. Este fator é fundamental para entender o sucesso obtido, mesmo contando com recursos escassos.

O PNM apesar de ter alcançado importantes objetivos, como o desenvolvimento de tecnologia nacional para o enriquecimento de urânio e a construção de um reator de pesquisa, sofreu com a carência de recursos governamentais desde 1994. O estrangulamento financeiro obrigou a MB a praticamente suspender todas as atividades do Programa a partir do ano de 2003, uma vez que o orçamento da Força foi bastante reduzido, prejudicando a manutenção dos navios. Assim, o PNM passou a receber, a partir daquele ano, somente os recursos necessários para manutenção do parque existente. A promessa de recursos feita pelo Presidente da República em 2007, ao visitar as instalações do CEA, concretizou-se de acordo com a lógica do orçamento nacional. A MB recebeu, em 2008, o mesmo montante gasto em 2007, com a diferença que R\$ 130 milhões estão consignados para despesas com a área nuclear. Portanto, a MB deixará de realizar a manutenção de sua frota para investir no Programa Nuclear, como vinha ocorrendo no passado.

Aparentemente, o Governo Federal parece que entendeu a necessidade de dominar a tecnologia nuclear e os benefícios que dela advêm, pois algumas medidas estão sendo tomadas neste sentido, como a construção de uma fábrica de enriquecimento de urânio e a previsão de construção de duas usinas nucleares. Entretanto, como demonstrado no caso do

PNM, o discurso ainda não corresponde à prática, vide o orçamento federal para o exercício financeiro de 2008.

Os objetivos do PNM de dominar todas as fases do enriquecimento do urânio e de desenvolver o projeto e construir um reator nuclear para propulsão naval foram perseguidos tendo em mente que não seria possível obter tecnologia no exterior. Daí o entendimento claro sobre a necessidade de realização de projetos totalmente nacionais, o que obrigatoriamente levaria ao efeito colateral de desenvolvimento de tecnologias com aplicações em diversos ramos de atividade.

Conforme explica a teoria da “destruição criativa”, uma inovação só exercerá o seu papel no desenvolvimento econômico se chegar ao mercado. É a transformação de invenção para inovação que importa.

A questão agora é verificar quais das invenções do PNM chegaram ao mercado. Para isto foi empregada a definição de “cadeia de valor”. Ou seja, ao verificar, no capítulo 4 que alguns dos produtos desenvolvidos pelo Programa Nuclear da Marinha ultrapassaram suas fronteiras e foram adquiridos pelo mercado, seja ele uma ou várias empresas, constata-se que a invenção chegou ao mercado, tornando-se inovação.

Ao seguir a cadeia de valor estabelecida pelo PNM observa-se que uma variada gama de materiais, equipamentos, métodos de produção e processos de pesquisa foram desenvolvidos em consequência do avanço do PNM. Infelizmente, nem todos poderão ser aplicados imediatamente. Alguns só terão aplicação no próprio Programa. Uma parte terá que aguardar por um maior desenvolvimento da economia para que possa ser empregada. Outros estão sendo utilizados, impulsionando empresas, abrindo postos de trabalho especializados e trazendo divisas para o país.

Além da questão material, diversos técnicos e engenheiros foram treinados no período em que o PNM esteve ativo, formando uma massa de conhecimento para o país. Este caso não está previsto na teoria da cadeia de valor, mas sem dúvida causa um impacto muito grande nas empresas e contribui para o desenvolvimento econômico do país.

É bem verdade que a maior parte do desenvolvimento tecnológico alcançado pelo Programa foi usada em benefício próprio. Houve, entretanto, alguns casos em que as inovações ultrapassaram os limites do PNM. O caso de sucesso da empresa SMAR é emblemático, mas este se deve, também, ao dinamismo de seus dirigentes.

É importante para a Marinha que a aplicação prática do conhecimento gerado pelo PNM chegue à sociedade e que isto se traduza em números e seja claramente percebido por aqueles que decidirão, na esfera política, sobre a construção do submarino nuclear.

Caso a retomada do Programa pelo Governo Federal se concretize, o PNM estará diante de grandes desafios. A paralisação sofrida nos últimos anos obrigou à desmobilização parte significativa de seu pessoal. A recuperação deste patrimônio será bastante difícil tendo em vista o aquecimento da economia do país e a legislação atualmente vigente, que tolhe o oferecimento de melhores condições para contratação de novos quadros. Além disto, os futuros contratados deverão ser treinados para que seja alcançado o mesmo nível de conhecimento que o Programa dispunha anteriormente, demandando tempo para que possam produzir plenamente.

O licenciamento ambiental do LABGENE é outro desafio a ser vencido, as exigências dos órgãos envolvidos são enormes e implicam grande período de tempo para análise. Como se trata do primeiro reator nuclear de potência projetado e construído integralmente no país, é de se esperar que os cuidados sejam redobrados, conseqüentemente, o tempo envolvido deverá ser bastante elevado.

A vida do PNM após a conclusão das obras civis e entrada em pleno funcionamento do LABGENE está intimamente ligada à autorização para a construção do submarino nuclear. Caso isto não ocorra, é muito provável que a MB encerre o projeto por falta de uma finalidade específica. A MB vem atuando junto ao poder político para obter a autorização para construir este novo meio; caso consiga, o PNM terá uma vida longa, pois, além da participação efetiva na construção do submarino, é perfeitamente normal que vários aperfeiçoamentos sejam desenvolvidos, frutos da experiência da construção e do surgimento de novas tecnologias.

Dentre os futuros desenvolvimentos encontram-se o combustível nuclear em forma de placa, que conferirá mais potência ao reator, permitindo alcançar maiores velocidades e reduzir a necessidade de reabastecimento do combustível nuclear. Uma vez que o requisito de segurança é altíssimo, o aperfeiçoamento do processo de substituição do combustível nuclear do submarino e o método para manejar os rejeitos nucleares gerados devem tornar-se, também, objeto de estudo.

Além disto, é previsível que a MB, após dominar a tecnologia de construção do submarino nuclear, construa outros navios similares, passando a possuir uma classe de navios desta natureza, de forma a reduzir o custo unitário da construção e diluir o investimento inicial realizado pelo Programa.

Todo país que pretende se desenvolver necessita de energia. O PNM pode colaborar também neste sentido, tanto na produção do combustível nuclear para as usinas já existentes no país, o que já vem fazendo com a construção das centrífugas para dotar as INB,

como na construção de usinas inteiramente nacionais. A produção de energia elétrica é fundamental para a independência de um país e fator de grande disputa no mundo atual.

Os frutos gerados pelo Programa Nuclear da Marinha podem e devem ser usados para permitir ao país subir mais um degrau em seu desenvolvimento econômico. As inovações não são, por si só, capazes de fazer isto, dependem de outros fatores, como financiamento da indústria e políticas de desenvolvimento. Mesmo assim, podemos enquadrar o PNM no conceito de “destruição criativa” de Joseph A. Schumpeter, uma vez que atuou como o empreendedor ao catalisar os esforços das universidades e das empresas privadas em prol dos seus objetivos. Quanto às inovações alcançadas, o Programa introduziu produtos com novas características, como as ultracentrífugas; novos processos que modificaram o desenvolvimento tecnológico, como a mentalidade da experimentação; e seus produtos têm potencial para abrir novos mercados, tanto internos como externos. A teoria de Schumpeter sobre o impacto da inovação tecnológica no desenvolvimento econômico foi há muito tempo entendida pelos Estados desenvolvidos, que tratam de fomentar a descoberta de novas tecnologias. A aquisição de tecnologia junto a esses Estados é cara e gera um grau de dependência externa indesejável. O Programa Nuclear da Marinha demonstrou que a opção pelo desenvolvimento da competência tecnológica nacional é um caminho difícil, mas factível, que requer atenção e estímulo do Estado Brasileiro.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, Rex Nazaré. *Programa Nuclear Brasileiro*. Brasília, DF: [s.n.], 1987. 22f.
- ARAÚJO, Osório C.; CARNEIRO, Célia M. B. *A importância da análise da cadeia de valor para obtenção e manutenção de vantagem competitiva*. Disponível em <<http://www.milenio.com.br/siqueira/Trab.284.doc>>. Acesso em: 5 de jun. de 2008.
- BEZERRIL, Carlos P. *O Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo*. In: Palestra proferida no Centro Experimental de Aramar, Sorocaba, em 24 jun. 2008.
- BRASIL, Decreto nº 1.530, de 22 de junho de 1995, *Declara a entrada em vigor da Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar, concluída em Montego Bay, Jamaica*.
- BRASIL, Escola de Guerra Naval. EGN-432. *Operação e emprego de submarinos*. Rio de Janeiro. RJ, 1993, 355 p.
- BRASIL, Lei nº 6.189, de 16 de Dezembro de 1974, *Cria a Comissão Nacional de Energia Nuclear e da outras providências*.
- BRASIL. Constituição (1988). *Constituição da República Federativa do Brasil*. 1988. Brasília: Senado Federal, Centro Gráfico, 1988. 292 p.
- BRASIL. Lei nº 6.189. de 16 de dez. de 1974. *Cria as Empresas Nucleares Brasileiras Sociedade Anônima, e dá outras providências*.
- BRASIL. Decreto nº 5.484 de junho de 2005. *Aprova a Política de Defesa Nacional e da outras providências*.
- BUSTANI, José M. Uma conquista que passou despercebida. Opinião, p.13. *Jornal do Brasil*, Rio de Janeiro, em 24 jun. 2006.
- CARVALHO, Ruy de Quadros. Gestão da Inovação. *Inovação*. Campinas, dez. 2004. Disponível em <<http://www.inovacao.unicamp.br/report/entre-ruyquadros.shtml>> . Acesso em 25 mai. 2008
- CHADE, Jamil. Blix critica programa de enriquecimento de urânio. *O Estado de São Paulo*. São Paulo, dez. 2007. Disponível em <[http://www.mre.gov.br/portugues/noticiario/nacional/selecao\\_detalhe3.asp?ID\\_RESEN....](http://www.mre.gov.br/portugues/noticiario/nacional/selecao_detalhe3.asp?ID_RESEN....)>. Acesso em: 2 abr. 2008.
- CNCTI, Conferência Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação, 3, 2005, Brasília. *Parcerias Estratégicas*. Brasília, Centro de Gestão de Estudos Estratégicos, 2005. 1708 p.
- COIMBRA, Guilhermina L. *A história e o desenvolvimento da energia nuclear no Brasil*. Disponível em <<http://www.iabnacional.org.br/comm/seminariodedireitointernacionalmaiode2003.doc>>. Acesso em: 24 mai. 2008.
- COMMODITY. In: FERREIRA, Aurélio B. H. *Novo Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa*. Curitiba: Positivo, 2004. p. 2120.

FRANÇA, Júnia Lessa; VASCONCELOS, Ana Cristina. *Manual para normalização de publicações técnico-científicas*. 8 ed. Belo Horizonte: UFMG, 2007. 255 p.

FREIRE, Carlos M., Respondendo às questões apresentadas pelo autor [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por mdurovni@gmail.com em 13 jun. 2008.

GUIMARÃES, Leonam dos S. Desenvolvimento da Energia Nuclear no Brasil. *Revista Marítima Brasileira*. Rio de Janeiro, v. 120, n. 01/03, p. 173-195, jan.-mar. 2000.

GUIMARÃES, Leonam dos S. *Estratégias de implementação e efeitos de arraste dos grandes programas de desenvolvimento tecnológico nacionais: experiências do programa nuclear da Marinha do Brasil*. [200-?], 15p.

GUIMARÃES, Leonam dos S. Prospectivas e estratégias para o desenvolvimento da energia nuclear no Brasil: contribuição a um necessário debate nacional. *Revista Marítima Brasileira*. Rio de Janeiro, v. 119, n. 10/12, p. 209-232, out.-dez. 1999.

GUIMARÃES, Leonam dos S. O Programa Nuclear da Marinha. *Revista da Associação Brasileira de Engenharia Militar*. Rio de Janeiro, p. 4-11, 2004.

GUIMARÃES, Leonam dos S. Conclusão da fabricação e montagem dos internos e do vaso de pressão do reator do LABGENE. *Economia & Energia*. Rio de Janeiro, n. 53, dez. 2005/jan. 2006. Disponível em: <[http://ecen.com/eee53/eee53p/reator\\_labegene.htm](http://ecen.com/eee53/eee53p/reator_labegene.htm)>. Acesso em: 15 mar. 2008.

IAEA. Desenvolvido pela International Atomic Energy Agency, 2008. Apresenta informações sobre reatores nucleares. Disponível em <<http://www.iaea.org/programmes/a2/index.html>>. Acesso em: 8 de jun. de 2008

INB. Desenvolvido pelas Indústrias Nucleares Brasileiras S.A., 2008. *Ciclo do Combustível Nuclear*. Disponível em: <[www.inb.gov.br](http://www.inb.gov.br)>. Acesso em: 6 de jun. de 2008.

INOVA, Unicamp. *Submarino Nuclear*. Disponível em: <<http://www.inova.unicamp.br/inventabrasil/subnuc.htm>>. Acesso em: 21 de jun. de 2008.

IZIQUÉ, Cláudia. O submarino que dá luz. *Revista Pesquisa Fapesp*. São Paulo, ed. 139, set. 2007. Disponível em: <<http://www.revistapesquisa.fapesp.br/?art=3336&bd=1&pg=1&lg=>>>. Acesso em: 30 jun. 2008.

MARQUES, André L. F.; SILVA, Othon L. P. Enriquecimento de urânio no Brasil. *Revista Marítima Brasileira*. Rio de Janeiro, v. 126, n. 04/06, p. 29-34, abr.-jun. 2006.

MARZO, M. A. S.; ALMEIDA, S. G. *A evolução do controle de armas nucleares*. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2006.

MCMAHON Act. In: WIKIPEDIA: The Free Encyclopedia. Disponível em:<[http://en.wikipedia.org/wiki/Atomic\\_Energy\\_Act\\_of\\_1946](http://en.wikipedia.org/wiki/Atomic_Energy_Act_of_1946)>. Acesso em: 24 mai. de 2008.

MEIA-VIDA. In: FERREIRA, Aurélio B. H. *Novo Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa*. Curitiba: Positivo, 2004. p. 2120.

MELLO, Renato C. *Estratégia Empresarial Internacional*. In: Aula ministrada ao CPEM-2008. Rio de Janeiro, em 22 de jul. 2008.

MONTALVÃO, Wilson J. Programa de propulsão nuclear naval. *Revista Marítima Brasileira*. Rio de Janeiro, v. 121, n. 01/03, p. 170-177, jan.-mar. 2002.

MOURA NETO, Julio S. *O Comando da Marinha*. Rio de Janeiro, 2008. Palestra proferida na ECEME, em 25 de mar. de 2008.

PINHO, Diva B.; VASCONCELOS, Marco A. S. de (Org). *Manual de Economia*. 5ª ed. São Paulo: Ed Saraiva, 2006. 606 p.

PORTER, Michael E. *Vantagem competitiva: criando e sustentando um desempenho superior*. 19ª Ed. Rio de Janeiro: Ed. Campus, 1989. 512p.

PROGRAMA Nuclear da Marinha. *Revista Marítima Brasileira*. Rio de Janeiro, v 121 nº 01/03, p. 297-299, jan/mar. 2002.

RODRIGUES, Cláudio. *Production Of Radioisotopes For Medical Applications*. In: *LAS – ANS Symposium*, 1. 2005, São Paulo. Anais ... Rio de Janeiro. LAS – ANS. Disponível em: <<http://www.las-ans.org.br/news.htm>>. Acesso em 14 jun. 2008.

RODRIGUES, Marcos S. *As Forças Armadas e sua importância para o desenvolvimento do Estado: O Programa Nuclear da Marinha e sua importância para o desenvolvimento do Estado Nacional*. 2006, 53 f. Monografia (Curso de Política e Estratégia Marítimas) Escola de Guerra Naval, Rio de Janeiro, 2006.

ROLIM, Zacarias. Comissões da Câmara debatem programa nuclear. *Agência CT – Ministério da Ciência e Tecnologia*. Brasília, DF, 13 de set, de 2007. Disponível em: <<http://www.agenciact.mct.gov.br/index.php/content/view/45686.html>>. Acesso em: 20 fev. 2008.

RUIVO, Humberto M. *Independência tecnológica na área nuclear: A relevância do Programa Nuclear da Marinha*. 2007, 64 f. Monografia (Curso de Política e Estratégia Marítimas) Escola de Guerra Naval, Rio de Janeiro, 2007.

SCHUMPETER, Joseph A. *Teoria do Desenvolvimento Econômico*. 1ª Ed. Rio de Janeiro: Ed. Fundo de Cultura, 1959. 329p.

SCHUMPETER. *Capitalismo, Socialismo e Democracia*. 1ª Ed. Rio de Janeiro: Ed. Fundo de Cultura, 1961. 507p.

SZMRECSÁNYI, Tamás. Idéias Fundadoras. *Revista Brasileira de Inovação*. Campinas, v. 1, n. 2. p. 201-224, jul.-dez. 2002.

UXC. Desenvolvido por The UxC Consulting Company. Apresenta os preços de serviço de enriquecimento e conversão de urânio, além de outros dados sobre a área nuclear. Disponível

em: <<http://www.uxc.com>>. Acesso em: 15 mai 2008.

VENTURA FILHO, Altino. *A Política Energética Brasileira*. In: Palestra proferida na Escola de Guerra Naval (Curso CPEM), realizada em 20 jun. 2008, 1. 2008, Rio de Janeiro, 2008.

WNA. Desenvolvido por World Nuclear Association. Apresenta diversos textos e dados sobre a área nuclear. Disponível em: <<http://www.wna.org>>. Acesso em: 2 nov 2008.

## APÊNDICE – Ilustrações

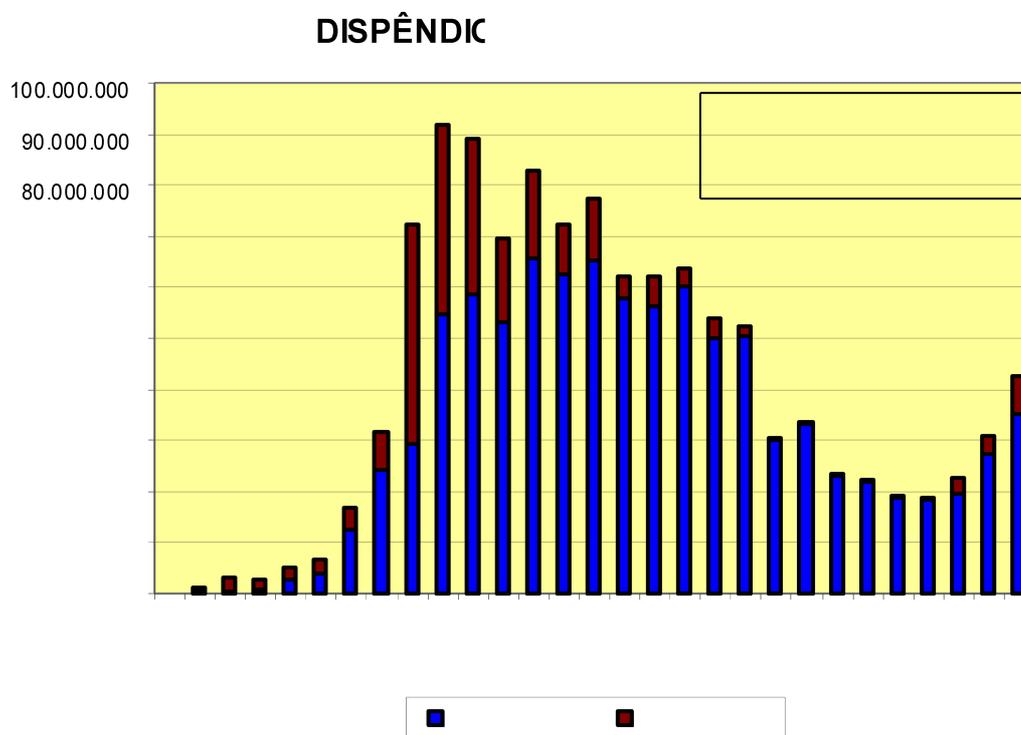


FIGURA 2 – Dispêndios do PNM de 1997 a 2007  
Fonte: MOURA NETO, 2008.

<b>LOGÍSTICA INTERNA</b>	<b>OPERAÇÕES</b>	<b>LOGÍSTICA EXTERNA</b>	<b>MARKETING &amp; VENDAS</b>	<b>SERVIÇOS</b>
Recepção de Insumos	Programação de Máquinas	Coleta de Insumos	Relações com Cliente	Instalação do Produto
Armazenagem de Insumos	Preparação de Embalagens	Manuseio de Materiais	Fixação de Preços	Consertos e Reparos
Distribuição de Insumos	Montagem e Produção	Armazenagem de Produtos Acabados	Administração de Preços	Treinamento do Usuário
Manuseio de Material	Manutenção de Equipamentos	Operação de Veíc.Entrega	Propaganda Promoção	Fornecimento de Peças
Controle de Estoques	Testes	Processamento de Pedidos	Venda Pessoal	Ajuste do Produto
Programação de Frotas	Embalagem de Produtos	Programação de Entrega	Seleção de Canais	
Alocação de Veículos			Relações com Canais	
Devoluções Fornecedor				

FIGURA 3 - Atividades primárias na cadeia de valor  
 Fonte: MELLO, 2008.

<b>AQUISIÇÃO</b>	- de Matérias-Primas - de Suprimentos (fábrica, escritório) - de Máquinas e Equipamentos (produção, laboratório, escrit.) - de Instalações etc.	
<b>DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIA</b>	- Pesquisa Básica - Projeto do Produto - Projeto do Equipamento de Processo - Pesquisa de Mercado etc.	
<b>RECURSOS HUMANOS</b>	- Recrutamento de Pessoal - Contratação de pessoal - Treinamento de Pessoal - Desenvolvimento Gerencial	- Sistemas de remuneração
<b>INFRA-ESTRUTURA DA EMPRESA</b>	- Gerência Geral - Planejamento - Contabilidade e Finanças - Jurídico	- Gerência da Qualidade - Sist. de Informação/ TI - Sistemas de Comunicação - Relações com Governos

FIGURA 4 - Atividades de apoio na cadeia de valores  
Fonte: MELLO, 2008.

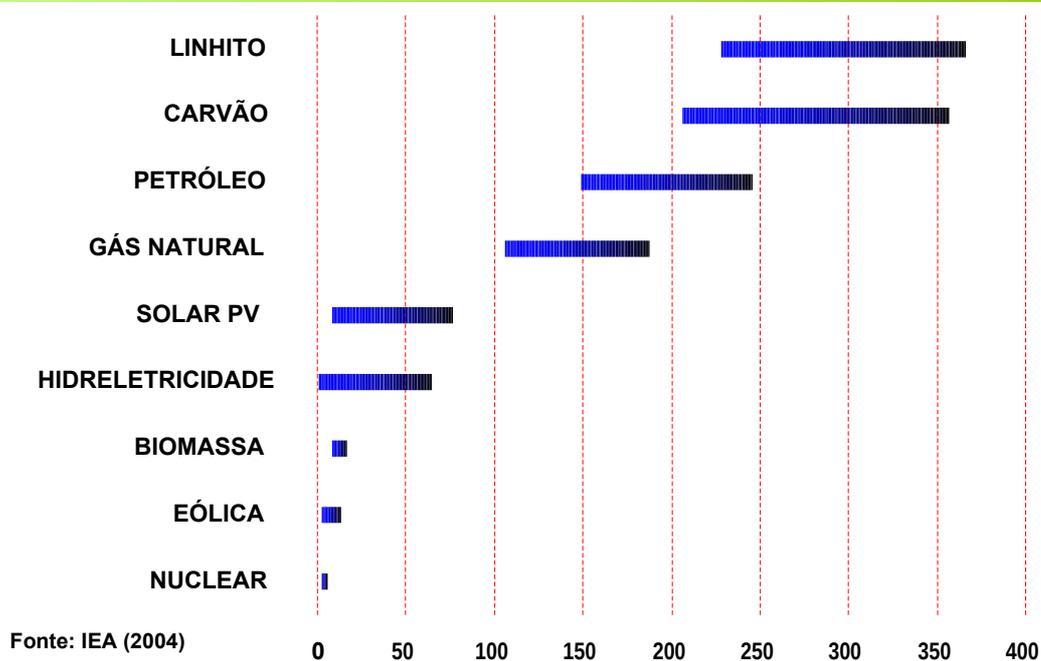


FIGURA 5 - A cadeia de valor genérica  
 Fonte: PORTER, M, 1989, p.34



FIGURA 6 - Evolução do preço do urânio  
Fonte: WNA, 2008

## EMISSÕES DE GASES DO EFEITO ESTUFA [gramas de Carbono equiv. / kWh] (\*)



\* Considerando emissões em todo ciclo de vida, desde a fabricação dos equipamentos

FIGURA 7 – Emissões de gases do efeito estufa  
Fonte – VENTURA FILHO, 2008.