

# **MEDICINA NUCLEAR NO BRASIL: CRISE NA DISTRIBUIÇÃO DO MOLIBDÊNIO-99**

## **NUCLEAR MEDICINE IN BRAZIL: CRISIS IN DISTRIBUTION MOLYBDENUM-99**

Adairlan Oliveira Sousa Carlos<sup>1</sup> Letícia Diniz Vieira<sup>2</sup>

### **RESUMO**

A Medicina Nuclear (MN) como especialidade médica confere múltiplos benefícios aos seus usuários. Esta modalidade radiodiagnóstica está em destaque no cenário mundial devido aos problemas surgidos com a diminuição de fornecimento do seu principal radionuclídeo, o Tc-99m, que é fruto do decaimento do Mo-99. O Mo-99 é produzido em reatores nucleares, não sendo produzido nacionalmente, e é atualmente 100% importado de países como a Argentina, África do Sul e Canadá, sendo que os dois últimos países sofrem com interrupções em seus reatores. Este trabalho objetiva discutir sobre o fechamento de reatores produtores de Mo-99 ao redor do mundo e seus efeitos sobre a prática da MN no país. Para minimizar tais efeitos, o Brasil conta com a ampliação de fornecedores de Mo-99 e a construção do Reator Multipropósito Brasileiro, projeto capaz de desenvolver a autossuficiência na produção deste elemento e promover a expansão da MN no país.

**PALAVRAS-CHAVE:** Crise do Molibdênio-99. Medicina Nuclear. Radionuclídeo. RMB.

### **ABSTRACT**

Nuclear medicine as a medical specialty gives multiple benefits to its users. This radiodiagnostic mode is highlighted on the world stage due to problems encountered with decreasing supply of its main radioisotope, Tc -99m, which is the result of the Mo-99 decay. Mo-99 is produced in nuclear reactors, not being produced nationally, and is currently 100% imported from countries such as Argentina, South Africa and Canada, where the latter two countries suffer from disruptions in its reactors. This work aims to discuss the closure of Mo-99 producers reactors around the world and their effects on the practice of nuclear medicine in Brazil. To minimize these effects, Brazil has the expansion of Mo-99 suppliers and Brazilian Multipurpose Reactor construction, design capable to developing self-sufficiency in producing this element, and promote the growth of nuclear medicine in the country.

**KEYWORDS:** Molybdenum-99 crisis. Nuclear Medicine. Radionuclide. RMB.

---

<sup>1</sup> Aluna de graduação do curso de Tecnologia em Radiologia na Faculdade de Tecnologia de Botucatu. Av. José Ítalo Bacchi, s/n – Jardim Aeroporto – Botucatu/SP – CEP 18606-855. Tel. (14) 3814-3004. E-mail: adairlan2014@gmail.com

<sup>2</sup> Professora da Faculdade de Tecnologia de Botucatu/FATEC Av. José Ítalo Bacchi, s/n – Jardim Aeroporto – Botucatu/SP – CEP 18606-855. Tel. (14) 3814-3004. E-mail: lvieira@fatecbt.edu.br

## 1. INTRODUÇÃO

No Brasil, a Medicina Nuclear (MN) vem evoluindo de acordo com os padrões internacionais. Ela é uma especialidade médica, relacionada à radiologia, que faz uso de fontes radioativas abertas para fins diagnósticos e terapêuticos (ROBILOTTA, 2006).

Tais fontes abertas são denominadas radiofármacos (RF) que, por sua vez, surgem da combinação de um material radioativo (radionuclídeo) com uma molécula biologicamente ativa (fármaco) que, quando administrados no paciente, seguem o percurso metabólico de um tecido ou órgão específicos agindo como carreador, e durante este percurso é liberada simultaneamente uma energia correspondente a radiação do material radioativo utilizado (ZIESSMAN et al., 2003).

A grande maioria dos RF utilizados no Brasil é produzida pelo IPEN (Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares) e distribuídos aos centros de MN, que devem ter licença de funcionamento liberada pela CNEN (Comissão Nacional de Energia Nuclear) (CNEN, 2015-b).

O IPEN processa todo o Mo-99 importado pelo Brasil para fabricar os geradores de Tc-99m, utilizados em oitenta por cento dos exames em MN, e os distribui diariamente para centenas de hospitais, laboratórios e clínicas médicas de todo o país, possibilitando milhões de procedimentos médicos anuais (IPEN, 2015).

O radionuclídeo mais utilizado é o tecnécio-99 metaestável (Tc-99m), que é fruto do decaimento do Molibdênio-99 (Mo-99). Este último é produzido em reator nuclear através da fissão do Urânio-235 (U-235), e atualmente é 100% importado de outros países, já que o Brasil não possui reatores capazes de produzi-lo em escala comercial (AQUINO; VIEIRA, 2010).

Esta situação traz para o país uma forte dependência em relação aos fornecedores estrangeiros, tornando-o vulnerável a qualquer adversidade que pode vir a acometer a produção do radionuclídeo, como no caso do fechamento do reator canadense NRU (*National Research Universal*), previsto para o ano de 2016, o qual é responsável por 40% do fornecimento mundial do elemento (AQUINO; VIEIRA, 2010).

Outro ponto que deve ser destacado é o fato de a maioria dos reatores atuantes hoje no mercado mundial possuírem décadas de funcionamento, quadro que alimenta a grande preocupação de ocorrer possíveis interrupções no fornecimento do material durante e após o ano de 2016 (RHUT, 2014).

Mesmo com os avanços da especialidade nos últimos anos, é notória a necessidade de difundir a área de MN no país, isto porque no Brasil, são realizados apenas 2,5 exames por mil habitantes/ano, quantidade muito inferior à do Canadá que executa 64,6 exames por mil habitantes/ano (SBMN, 2015).

O objetivo deste trabalho é discutir, através de revisão de literatura, o encerramento das atividades de reatores nucleares em diferentes países e associar esse fechamento às dificuldades de distribuição de Mo-99 aos centros de MN brasileiros.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

Diferente de outras modalidades de diagnóstico de imagem, na MN o uso de radiotraçadores, quando administrados internamente, possibilita a visualização de imagens do corpo humano de dentro para fora (DIAL, 2015).

A radiação administrada no paciente, seja por via endovenosa, oral ou inalatória, não possui energia suficiente para interferir no funcionamento do órgão, mas possui energia suficiente para transpassar o paciente e ser detectada externamente por um aparelho denominado câmara de cintilação ou gama-câmara (COUTO, 2014), fundamental para a formação da imagem. Ela é composta normalmente por um colimador, um cristal de iodeto de sódio (NaI) e de sistema eletrônico de amplificação e análise dos sinais captados (OKUNO; CALDAS; CHOW, 1982).

Seu uso é considerado seguro, indolor e apresenta técnicas com bom custo benefício em relação ao imageamento da doença, isso porque os exames de MN possuem alta sensibilidade mesmo quando usadas concentrações pequenas de substâncias radioativas no organismo do paciente (ROBILOTTA, 2006).

### **2.1 Breve noção de Radioatividade**

Radionuclídeos são átomos radioativos, com núcleos instáveis que sofrem um processo de decaimento para equilibrar as forças dentro no núcleo do átomo, emitindo partículas ( $\alpha$ ,  $\beta^-$ ,  $\beta^+$ ) ou radiação eletromagnética (raios  $\gamma$ ) (OLIVEIRA et al., 2006).

Dessa emissão é observada uma mudança no núcleo do átomo original (Pai) e o surgimento de um átomo com núcleo menos instável (Filho). A esse processo dá-se o nome de desintegração nuclear, que é medida por atividade cuja unidade é o número de

desintegrações por segundo (d.p.s.), curie (Ci) ou becquerel (Bq) (GARSEZ; SILVA; PAES, 2015).

Cada radionuclídeo possui uma meia-vida física ( $T_{1/2}$ ) que é definido como o tempo necessário para que um radionuclídeo reduza à metade da sua atividade inicial, a qual só depende de propriedades físico-químicas de cada elemento (OLIVEIRA et al., 2006).

## **2.2 Radiofármacos**

Na prática da MN, os radionuclídeos são unidos a um fármaco específico, originando os RF, para que depois possa ser utilizado no diagnóstico ou terapia de doenças. Os RF possuem como principal função observar alterações fisiológicas e/ou distribuição anormal de determinado composto e ainda ser usado em procedimentos terapêuticos na clínica médica (OLIVEIRA et al., 2006).

Os RF têm sua ação derivada de dois componentes: o elemento radioativo e um carreador ou ligante sem ação farmacológica que dirige o radionuclídeo até o órgão de interesse (ARAÚJO, 2005).

Os radionuclídeos empregados na produção dos RF são escolhidos a partir de suas características físicas, apontadas como tipo de emissão nuclear, tempo de meia-vida, energia das partículas e a radiação eletromagnética (GARCEZ; SILVA; PAES, 2015).

Já a escolha do fármaco se baseia na análise de suas características físico-químicas, que definem o caminho do mesmo pelo organismo. São elas: fixação no órgão alvo, metabolização e eliminação do organismo (ARAÚJO, 2005).

## **2.3 Produção de Radiofármacos**

Os radionuclídeos utilizados em MN são produzidos artificialmente, em reator nuclear de pesquisas, geradores e cíclotron ou outro tipo de acelerador. Para o presente trabalho é de interesse a produção de radionuclídeos nos reatores, onde são produzidos os radionuclídeos mais utilizados em MN, que incluem o Mo-99 que origina o Tc-99m, e os geradores, que possuem produção baseada na existência de um radionuclídeo de meia-vida longa (pai) que decai para um outro radionuclídeo (filho) de meia-vida menor (ABRUNHOSA; PRATA, 2008).

O IPEN é pioneiro na produção de radionuclídeos e RF e é responsável pela produção de quase 100% dos RF utilizados no Brasil em procedimentos de MN. Para adequar todos os produtos ao uso medicinal, o instituto possui um centro de radiofarmácia certificado pela ISO (*International Organization for Standardization*—Organização Internacional para Padronização), ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária) e CNEN (IPEN, 2015).

A CNEN realiza a gerência técnica e administrativa do IPEN e de todas as instalações nucleares do país, além de ser o órgão criado para desenvolver a política nacional de energia nuclear (CNEN, 2015a).

No portfólio de produtos da CNEN estão registrados 38 RF utilizados para fins médicos, dentre estes produtos está o IPEN-TEC (gerador de Mo-99/Tc-99m), unicamente produzido pela unidade do IPEN/CNEN-SP (CNEN, 2015a).

A utilização tão elevada do Tc-99m, em mais de 80% dos procedimentos de MN, é resultado das propriedades físicas e químicas apresentadas pelo radionuclídeo, tornando-o ideal para aplicação clínica. A sua principal característica é o tempo de meia-vida física de 6 horas, suficiente para permanecer no interior do paciente apenas o tempo necessário para realizar uma boa aquisição de imagem, seguido do tipo de radiação gama emitida de 140 keV, ideal para uso nas gamas-câmaras (FARRACHO, 2011).

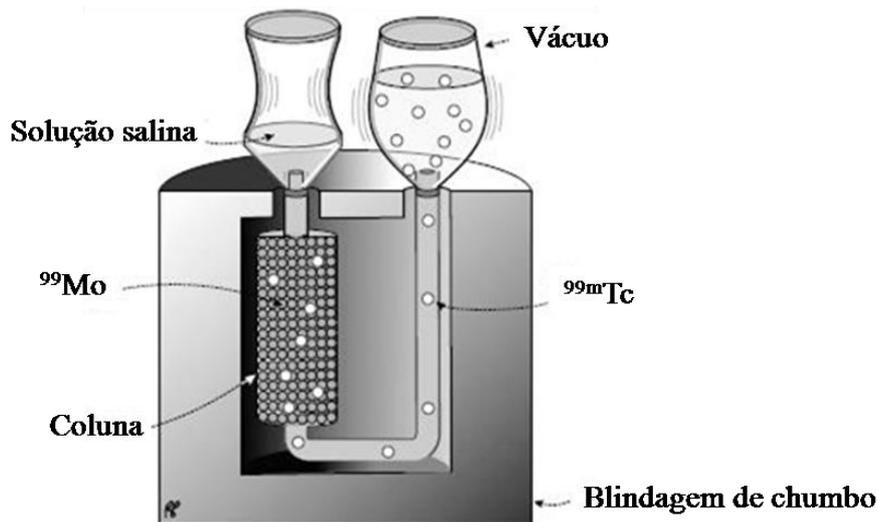
## **2.4 Gerador de Mo-99/Tc-99m**

A produção do gerador de Mo-99/Tc-99m é tornada possível devido às diferenças de meia-vida entre os dois elementos; Mo-99 (isótopo “pai”) possui meia-vida equivalente a 66 horas e o Tc-99m (isótopo “filho”) apresenta meia-vida, já citada, de 6 horas. Essa diferença nos tempos de decaimento desses elementos é o que viabiliza o transporte desse material aos Serviços de MN (SMN) localizados mais distantes do local de fabricação dos geradores, sem perda considerável da atividade radioativa (FARRACHO, 2011).

Para a produção nos geradores (Figura 1), é utilizado o Mo-99 na forma de molibdato. O molibdato é depositado em uma coluna de vidro contendo alumina, onde fica retido e desintegra-se originando o Tc-99m. Através de uma solução salina (soro fisiológico) é possível extrair o Tc-99m, pois ele não apresenta a mesma afinidade química pela alumina como o molibdato. O líquido derivado é o eluato obtido na forma

de pertecnetato de sódio ( $\text{Na}^+\text{TcO}_4^-$ ), amplamente utilizado nas marcações com fármacos (ARAÚJO, 2005; ABRUNHOSA; PRATA, 2008).

Figura 1. Gerador Mo-99/Tc-99m



Fonte: Powsner; Powsner, 2006

## 2.5 Produção do Mo-99

Entre as distintas formas de se produzir Mo-99, a mais usual para produção comercial é a fissão do U-235 em reatores nucleares. Este método é preferencial por apresentar maior índice de rendimento de fissão e alta atividade específica, mas, se comparado a outros métodos, este possui maior complexidade (TAKAHASHI, 2004).

O material de maior utilização são alvos de urânio altamente enriquecidos que, bombardeados com fluxo de nêutrons térmicos, dão origem a vários produtos de fissão, entre eles o Mo-99 (TAKAHASHI, 2004).

Até 2014, sete reatores supriam a demanda mundial de Mo-99. Todos eles regidos por seus respectivos governos e, seis deles estão no fim das suas vidas úteis com tendência a ter suas atividades interrompidas por paradas inesperadas e repetitivas, com exceção do reator australiano OPAL, instalado a nove anos (CARVALHO, 2014).

Dos reatores produtores de Mo-99, apenas três forneciam o radionuclídeo para o Brasil até 2014: NRU do Canadá (40%), Safari-1 da África do Sul (30%) e o RA-3 da Argentina (30%).

Visto do pressuposto que o Mo-99 não pode ser armazenado, tendo que ser enviado aos centros de processamento logo após sua criação nos reatores nucleares, uma

crescente preocupação se instalou no país no que se refere à disponibilidade do radionuclídeo, devido a uma série de interrupções imprevistas sofridas por esses reatores nos últimos anos (RUTH, 2014).

Somado às interrupções, existe outro fator contribuindo para a falta do Mo-99 futuramente: a exigência imposta pela Agência de Energia Nuclear (NEA - *Nuclear Energy Agency*) para que todos os reatores produtores de Mo-99 substituam seus alvos de urânio altamente enriquecidos (HEU - *Highly Enriched Uranium*), para alvos com baixo enriquecimento (LEU - *Low-enriched Uranium*) (RUTH, 2014). Essa exigência tem como base o fato de que alvos de urânio enriquecidos a mais de 20% por U-235 são usados também na fabricação de bombas atômicas, ato que se contraria explicitamente aos ideais do Tratado de Não-proliferação de Armas Nucleares, defendido intensamente pelo governo canadense (CARVALHO, 2014).

Para que a conversão ocorra, são necessárias modificações tanto no próprio alvo de urânio quanto na química subsequente da separação do Mo-99. A desvantagem desse processo é que, com o uso de alvos LEU, é obtido o Mo-99 com baixa atividade específica, sendo preciso uma quantidade maior de urânio (5 vezes mais) para alcançar a quantidade necessária do elemento para atender o consumo mundial (HEU: 93% U-235; LEU: 20% U-235) (RUTH, 2014).

## **2.6 Crise na Distribuição do Mo-99**

Vários reatores já aderiram as mudanças e trabalham na conversão dos alvos para operar no modo LEU, temos como exemplo o reator OPAL da Austrália que foi projetado para operar com essa meta; o reator argentino produz Mo-99 com alvos LEU desde 2002 e o Safari-1, na África do Sul é o mais evoluído no processo de mudança (RUTH, 2014).

Uma grande exceção é o NRU do Canadá que se opôs à conversão em consequência da filosofia do governo local em não ceder os subsídios do governo para a indústria privada. O NRU fornece 40% do Mo-99 usado em todo mundo e com a decisão de encerrar definitivamente suas atividades em 2016, se firmou uma preocupação de que os outros produtores do radionuclídeo não consigam cobrir a demanda no período do desligamento (RUTH, 2014). O Brasil, por ter, 1/3 de seu fornecimento cedido por este reator especificamente, sofre com dificuldades de abastecimento sempre que ocorre algum problema com o mesmo.

Um dos primeiros casos de interrupções de fornecimento foi em novembro de 2007, quando o país possuía apenas um fornecedor (o NRU por intermédio da empresa MDS Nordion), naquela ocasião foi programada uma paralisação no reator para atualizações de segurança de quatro dias, a qual foi estendida por quatro semanas (WORD NUCLEAR NEWS, 2008).

No decorrer do ano de 2008, outros fatores como pequenas interrupções sem proporções maiores e aumento significativo do preço do material em 82% também contribuíram para dificultar a aquisição do Mo-99 pelo país. Em 2009, a empresa precisou suspender suas atividades temporariamente devido a um vazamento em seu reator e ao mesmo tempo houve uma parada inesperada do reator holandês, da empresa ECN Petten, provocando a mais violenta crise de abastecimento do Mo-99 já registradas no mundo, uma vez que as duas empresas representavam, na época, 60% da produção mundial do elemento (SOUZA, 2013).

A maior consequência sofrida pelo país foi a redução de 50% na realização de procedimentos médicos. Foi estimado um prazo de um mês para tudo se resolver, porém a crise se estendeu por muitos meses em 2010 (BRASIL, 2011).

## **2.7 Soluções para minimizar a falta do Mo-99 durante a crise de 2009**

Ao longo da crise, foi preciso a busca por outros fornecedores internacionais, surgindo os contratos emergenciais de suprimento com os países da Bélgica e Israel para o fornecimento de geradores de Tc-99m prontos e, África do Sul e Argentina para importação direta do Mo-99, que culminaram na recuperação de 77% do consumo normal do país, porém com valores 70% superiores ao que os SMN pagavam por esse radionuclídeo (BRASIL, 2010).

A classe médica teve importância significativa na contenção da crise devido á sincronia de ações desenvolvida em conjunto com o IPEN/CNEN-SP, buscando maneiras de otimizar os procedimentos em MN através do uso de substitutos do Tc-99m na realização de exames específicos (BRASIL, 2011), como a escolha pelo tálio-201 (T-201) na cintilografia do coração e o gálio-67 (Ga-67) para pesquisa de corpo inteiro na investigação de metástases ósseas, bem como a realização de exames com quantidades menores de RF, que geravam imagens de qualidade inferior a necessária, porém permitia a continuidade da prática de exames (BRASIL, 2010).

A diminuição da crise mundial e normalização do fornecimento de Mo-99 ocorreu em setembro de 2010, quando os reatores do Canadá e Holanda voltaram a operar concedendo ao país um período sem restrições, onde a primeira precaução tomada foi a realização de uma nova licitação no sentido de obter fornecedores seguros com preços melhores, os quais alcançaram aumento de até 170% no auge da crise (BRASIL, 2012).

A licitação foi vencida pela MDS NORDION, possibilitando ao país a normalidade do fornecimento aos SMN aliado a preços vantajosos. Com a licitação também foi possível o encerramento do contrato com Israel e Bélgica que passaram a não mais fornecer os geradores prontos de Tc-99m. O país, porém continuou a adquirir o material da Argentina e África do Sul (BRASIL, 2012).

Com a normalização da crise, houve interesse de que o país se tornasse seguro no que se refere ao atendimento da demanda nacional do Mo-99, eliminando sua dependência do mercado externo (BRASIL, 2012).

## **2.8 Perspectivas futuras**

Para os anos de 2016-2018, é prevista uma crise no fornecimento do Mo-99 de igual proporção à de 2009. Crise esta que, se consolidada, terá como principais fatores desencadeantes o envelhecimento da frota de reatores produtores e distribuidores de Mo-99 e as exigências impostas pela NEA para que apenas o modo LEU seja utilizado na fabricação desse insumo, como já relatado anteriormente neste trabalho (RUTH, 2014).

Diante dessa perspectiva, a CNEN, em conjunto com o governo brasileiro, buscou maneiras de se preparar para esta previsão de crise. O início da preparação se deu com a renovação do contrato com a Argentina por mais cinco anos, seguido da ampliação do fornecimento vindo da África do Sul e, após qualificação do Mo-99 produzido na Rússia, foi selado um acordo com o país para um fornecimento de longo prazo a partir do ano de 2015 (BRASIL, 2014). Com o anúncio do desligamento definitivo em 2016 do reator NRU, feito pela empresa MDS NORDION, responsável pelo reator, o país terá uma queda em seu fornecimento de Mo-99 e consequentemente diminuição no número de procedimentos realizados em MN (SBMN, 2014).

Através do Programa de Política Nuclear, a CNEN conduziu duas ações de grande importância para o país, no que se refere à oferta de Mo-99. A primeira foi a

ampliação da própria capacidade de processamento do material, para atender toda a demanda crescente desse insumo no país, e a outra ação é a implantação do Reator Multipropósito Brasileiro que eliminará a dependência do Brasil em adquirir radionuclídeos de fornecedores estrangeiros (BRASIL, 2012).

## **2.9 Reator Multipropósito Brasileiro**

O Reator Multipropósito Brasileiro (RMB) é referido como a principal ação que viabilizará o desenvolvimento da área nuclear no país.

O projeto foi registrado no Plano de Ação do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (PACTI/MCTI) no ano de 2007 e teve sua aprovação em 2008. É financiado pelo Governo Federal, MCTI e Secretaria de Desenvolvimento Econômico, Ciência e Tecnologia do Estado de São Paulo (SDECT/SP) e tem como órgão responsável por seu desenvolvimento a CNEN por meio do MCTI (CNEN, 2013).

Ele está sendo instalado no município de Iperó, próximo à cidade de Sorocaba, no estado de São Paulo, totalizando 2 milhões de m<sup>2</sup>, sendo 1,2 milhões de m<sup>2</sup> cedidas pelo Centro Experimental de Aramar (CEA), instalação do Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo (CTMSP), e o terreno complementar de 800 mil m<sup>2</sup> adquiridos através do apoio do Governo do Estado de São Paulo (CNEN, 2013). O custo de projeto está estimado em 850 milhões de reais e está previsto para ser concluído em 2022 (BRASIL, 2015).

A empresa brasileira Intertechne é a responsável por executar o projeto de engenharia conceitual e básico de prédios, sistemas e infraestrutura do RMB. E o projeto básico de sistemas nucleares do reator ficará ao encargo da empresa argentina Invap. A contratação da Invap só foi possível devido aos acordos entre Brasil e Argentina, através da CNEA (Comissão Nacional de Energia Atômica da Argentina), que pretende construir um reator em território argentino (o RA-10) com projeto básico idêntico ao RMB. O acordo tem como principal finalidade utilizar o reator OPAL, na Austrália, como referência técnica, já que o mesmo foi projetado pela Invap. Outro ponto importante é a economia de custos dos dois países e a simplificação da obtenção dos licenciamentos ambientais e nucleares para o RMB (BRASIL NUCLEAR, 2013).

## 2.10 Implantação do RMB

O empreendimento do RMB será constituído de um reator de pesquisa multipropósito, de laboratórios de apoio específicos e instalações de suporte administrativo, e está estruturado em duas fases: implantação e operação, como demonstrado na tabela 1 (BRASIL, 2012).

Tabela 1. Fases da Implantação do RMB

<b>Fases</b>	<b>Etapas</b>
<b>1. Implantação</b>	Elaboração dos Projetos de Concepção Básico e Detalhado (Executivo);
	Construção do reator e das suas instalações associadas para viabilizar cada uma das aplicações;
	Aquisição de equipamentos e componentes;
	Fabricação;
	Montagem;
	Licenciamento ambiental e nuclear;
	Comissionamento.
<b>2. Operação</b>	Início das atividades do reator com vida útil de 50 anos.

Fonte: Brasil, 2014 adaptado.

Na primeira fase, o produto final será o reator e as instalações complementares licenciados em termos ambientais e nucleares e comissionados para entrar em operação. A segunda fase se inicia com a operação do reator e das instalações, cujo produto final consiste da disponibilização dos serviços relacionados na tabela 2, para as respectivas áreas atuantes no país, por um período de 50 anos (BRASIL, 2014).

Tabela 2. Serviços a serem prestados pelo RMB

<b>Serviços</b>	<b>Áreas Favorecidas</b>
<b>Nacionalização da produção do radionuclídeo Mo-99 e Iodo-131(I-131); Produção de radionuclídeos para aplicações na saúde, indústria e meio ambiente.</b>	Áreas da saúde, indústria, agricultura e meio ambiente
<b>Testes de irradiação e análise pós-irradiação de combustíveis nucleares e materiais.</b>	Áreas de reatores e ciclo do combustível
<b>Pesquisas científicas fundamentais e aplicadas utilizando feixes de nêutrons, com aplicação em várias áreas do conhecimento.</b>	Áreas de pesquisa científica e inovação

Fonte: BRASIL, 2014 adaptado.

As vantagens da implantação desse projeto para o país são diversas. De imediato podemos observar que, após sua instalação, o país não sofrerá com possíveis crises de fornecimento de Mo-99, como provavelmente sofrerá neste período em que o NRU encerará suas atividades, pois não será mais dependente somente do mercado externo. Com o início da produção nacional, os radionuclídeos não viriam mais do exterior, encurtando a distância de transporte desses materiais, reduzindo bastante as perdas geradas no trajeto, principalmente dos radionuclídeos de meia vida curta como o Tc-99m (SBMN, 2014).

A construção do RMB é ainda justificada como um aporte ao Programa Nuclear Brasileiro para a criação de um polo de tecnologia nuclear, promoção da independência do país em importar o Mo-99 que necessita e ainda gerar exportações deste elemento, bem como impulsionar a expansão da área de MN no país (SBMN, 2014).

### **3. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Com a premissa de desenvolvimento eminente, a MN enfrenta hoje vários obstáculos para conseguir o reconhecimento como uma prática viável e segura. Seus benefícios são comprovados, porém suas atividades e áreas de aplicação são pouco conhecidas pela sociedade brasileira, principalmente os usuários do SUS.

Referente à crise de fornecimento do Mo-99, prevista para o ano de 2016 em diante, provocada pelo fechamento do reator NRU do Canadá, o país passará por uma época de ajustes quanto aos fornecedores de radionuclídeos utilizados na MN, mas tudo indica que, com as medidas tomadas e os contatos com fornecedores variados, o Brasil não será afetado gravemente.

Além disso, com a implantação do RMB, a prática conseguirá se promover pelo país, tendo como exemplo o caso da Argentina, que possui uma cobertura muito representativa de exames de MN devido a construção do reator RA-3, e terá o fortalecimento e expansão da especialidade em seus diferentes aspectos, como formação, desenvolvimento e atendimento à toda população.

### **REFERÊNCIAS**

ABRUNHOSA, A.; PRATA, M. I. Radiofármacos: Desenvolvimento e principais aplicações. In: LIMA, J. J. P. **Física em Medicina Nuclear: Temas e aplicações.**

Coimbra. Coimbra University Press, 2008. 131-137. Disponível em: <[https://books.google.com.br/books?id=lj\\_U2X9EZeEC&pg=PA135&lpg=PA135&dq=caracter%C3%ADsticas+do+tecn%C3%A9cio&source=bl&ots=w1kmBnK34J&sig=5fbHE\\_U41DEcUQ3fDIBb83BU-zY&hl=pt-BR&sa=X&ved=0ahUKEwj-9NiqzdrLAhVIWh4KHYjoB804FBD0AQg7MAQ#v=onepage&q=caracter%C3%ADsticas%20do%20tecn%C3%A9cio&f=false](https://books.google.com.br/books?id=lj_U2X9EZeEC&pg=PA135&lpg=PA135&dq=caracter%C3%ADsticas+do+tecn%C3%A9cio&source=bl&ots=w1kmBnK34J&sig=5fbHE_U41DEcUQ3fDIBb83BU-zY&hl=pt-BR&sa=X&ved=0ahUKEwj-9NiqzdrLAhVIWh4KHYjoB804FBD0AQg7MAQ#v=onepage&q=caracter%C3%ADsticas%20do%20tecn%C3%A9cio&f=false)>. Acesso em: 26, mar. 2016.

AQUINO, A.R., VIEIRA, M.M. F. Molibdênio-99, crise e oportunidade. **Scientific American Brasil**, São Paulo, ed. 98, julho. 2010. Disponível em: <[Http://www2.uol.com.br/sciarnlartigos/molibdenio-99\\_crise\\_e\\_oportunidade.html](http://www2.uol.com.br/sciarnlartigos/molibdenio-99_crise_e_oportunidade.html)>. Acessado em: 15, out. 2015.

ARAÚJO, E. B. A. Utilização do Elemento Tecnécio-99m no Diagnóstico de Patologias e Disfunções dos Seres Vivos. **Cadernos Temáticos Química Nova na Escola**, São Paulo, n.6, p. 31-35, Jun. 2005. Disponível em: <<http://qnesc.s bq.org.br/online/cadernos/06/>>. Acesso em: 26, mar. 2016.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Comissão Nacional de Energia Nuclear. **Relatório de Gestão do Exercício de 2010**. Rio de Janeiro, 2011. 212p. Disponível em: <<http://www.cnen.gov.br/auditoria>>. Acesso em: 15, mar. 2016.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Comissão Nacional de Energia Nuclear. **Relatório de Gestão do Exercício de 2011**. Rio de Janeiro, 2012. 222p. Disponível em: <<http://www.cnen.gov.br/auditoria>>. Acesso em: 18, mar. 2016.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Comissão Nacional de Energia Nuclear. **Relatório de Gestão do Exercício de 2012**. Rio de Janeiro, 2013. 294p. Disponível em: <<http://www.cnen.gov.br/auditoria>>. Acesso em: 13, mar. 2016.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Comissão Nacional de Energia Nuclear. **Relatório de Gestão do Exercício de 2014**. Rio de Janeiro, 2015. 356p. Disponível em: <<http://www.cnen.gov.br/auditoria>> Acesso em: 5, mar. 2016.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Comissão Nacional de Energia Nuclear. **Relatório de Gestão do Exercício de 2015**. Rio de Janeiro, 2016. 305p. Disponível em: <<http://www.cnen.gov.br/auditoria>>. Acesso em: 6, maio, 2016.

BRASIL NUCLEAR. Informativo da Associação Brasileira de Energia Nuclear. **Aben: 30 anos de desafios e vitórias**. 40° edição. Rio de Janeiro: ABEN 2013. 36p. Disponível em: <<http://www.aben.com.br/revista-brasil-nuclear/edicao-n-40>>. Acesso em: 6, maio, 2016.

CARVALHO, E. B. **Revisão dos principais radiofármacos utilizados no Brasil e suas aplicações na detecção e terapia de patologias**. 2014. P. 63-64. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) - Universidade Estadual Paulista. Disponível em: <<http://repositorio.unesp.br/handle/11449/124326>>. Acesso em: 15, out. 2015.

CNEN. Comissão Nacional de Energia Nuclear. **Produção de Radiofármacos**. 2015a. Disponível em: <<http://www.cnen.gov.br/radiofarmacos>>. Acesso em: 16, mar. 2016.

CNEN. Comissão Nacional de Energia Nuclear. **Quem somos**. 2015b. Disponível em: <<http://www.cnen.gov.br/quem-somos>>. Acesso em: 17, mar. 2016.

COUTO, R. M. **Estudo da marcação com Lutécio-177 de derivados da Bomberina e Avaliação das Propriedades Biológicas**. 2014. 127f. Tese (Doutorado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear -Aplicações) -Universidade de São Paulo. Instituto de Pesquisas Energéticas, São Paulo, 2014. Disponível em:

<<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85131/tde-26062014-124931/pt-br.php>>. Acesso em: 8, mar. 2016.

DIAL, J. Modalidades Diagnósticas e Terapêuticas. In: BONTRAGER K. L.; LAMPIGNANO, J. P. **Tratado de Posicionamento Radiográfico e Anatomia Associada**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015. p. 736-741.

FARRACHO, M. **Radioisótopos: Conceitos, Tecnécio e Aplicações**. 2011. 14f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Biomédica) -Instituto Superior Técnico. Universidade Técnica de Lisboa, 2012 Disponível em: <<http://nebm.ist.utl.pt/repositorio/ficheiros/2532>>. Acesso em: 24, mar. 2016.

GARCEZ, A. T.; SILVA, A. A. R. **Medicina nuclear**. São Paulo: Playmagem, 2015. Disponível em: <<http://playmagem.com.br/portal/2015/04/24/excelente-livro-digital-sobre-medicina-nuclear/>>. Acesso em: 24 fev. 2016.

IPEN. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. Centro De Radiofarmácia. 2015. Disponível em: <[https://www.ipen.br/portal\\_por/portal/interna.php?secao\\_id=632](https://www.ipen.br/portal_por/portal/interna.php?secao_id=632)>. Acesso em: 16, mar. 2016.

OKUNO, E.; CALDAS, I. L.; CHOW, C. Aplicações das Radiações em Biologia e Medicina. In: \_\_\_\_\_. **Física para Ciências Biológicas e Biomédicas**. São Paulo: HARBA, 1986. p. 64-70.

OLIVEIRA, R. et al. Preparações radiofarmacêuticas e suas aplicações. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, São Paulo, v. 42, n. 2, p. 151-165, abr/jun, 2006. Disponível em:<<https://doaj.org/article/03e9488de5e149fba93f64c2580ec131>>. Acesso em: 20, out. 2015.

PERROTA, J. A. Empreendimento Reator Multipropósito Brasileiro (RMB). In: SIMPÓSIO RMB – REATOR MULTIPROPÓSITO BRASILEIRO, 2013, Campinas. **Proceedings...** Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2013. Disponível em: <[http://www.gr.unicamp.br/penses/wp-content/uploads/2016/03/escopo\\_e\\_estrutura\\_do\\_empreendimento\\_rmb.pdf](http://www.gr.unicamp.br/penses/wp-content/uploads/2016/03/escopo_e_estrutura_do_empreendimento_rmb.pdf)>. Acesso em: 05 maio 2016.

POWSNER, R. A.; POWSNER, E. R. Formation of Radionuclides. In: \_\_\_\_\_. **Essential Nuclear Medicine Physics**. 2. ed. [s.l.]: John Wiley & Sons, 2006. p.29.

RHUT, T. J. The Medical Isotope Crisis: How We Got Here and Where We Are Going. **Journal of Nuclear Medicine Technology**, Reston, v. 42, n. 4, p. 245-248, dez. 2014. Disponível em: <<http://tech.snmjournals.org/content/42/4/245.full.pdf+html>>. Acesso em: 21, mar. 2016.

ROBILOTTA, C.C. A tomografia por emissão de pósitrons: uma nova modalidade na medicina nuclear brasileira. **Revista Panamericana de Salud Publica**, v.20, n.2/3, p.134-142, 2006. Disponível em <<http://www.scielosp.org/pdf/rpsp/v20n2-3/10.pdf>>. Acesso em 30, set, 2015.

SBMN. Sociedade Brasileira de Medicina Nuclear. Correndo contra o tempo. **Medicina Nuclear em Revista**, São Paulo, 2014, v. 5, n. 2, p. 15-17, jan/mar. 2014. Disponível

em: <[http://www.sbm.org.br/site/medicina\\_nuclear\\_em\\_revista](http://www.sbm.org.br/site/medicina_nuclear_em_revista)>. Acesso em: 7, maio, 2016.

SBMN. Sociedade Brasileira de Medicina Nuclear. Subutilização da medicina nuclear no Brasil preocupa especialistas. Disponível em: <<http://sbmn.org.br/noticia/subutilizacao-da-medicina-nuclear-no-brasil-preocupa-especialistas-2/>>. Acesso em: 6, maio, 2016.

SOUSA, L. B. **O Brasil e o Regime Internacional de Não-Proliferação de Armas Nucleares “Adesão Resistida” na inserção brasileira**. 2013. 179f. Tese (Mestrado em Relações Internacionais). UNESP/UNICAMP/PUC-SP, Programa San Tiago Dantas de Pós-graduação em Relações Internacionais, 2013. Disponível em: <<http://repositorio.unesp.br/handle/11449/128163>>. Acesso em: 7, abr. 2016.

TAKAHASHI, S. Y. **Estudo comparativo da relação custo benefício dos métodos de produção de Mo-99: fissão de U-235 e reação de captura neutrônica no Mo-98**. 2004. 59f. Tese (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear-Aplicações). IPEN, Autarquia associada a Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004. Disponível em: <[http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/\\_Public/41/049/41049524.pdf](http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/41/049/41049524.pdf)>. Acesso em: 23, mar. 2016.

WORD NUCLEAR NEWS. **Medical community eyes reactor shutdowns**. Disponível em: <[http://www.world-nuclear-news.org/RS\\_Medical\\_community\\_eyes\\_reactor\\_shutdowns\\_2808082.html](http://www.world-nuclear-news.org/RS_Medical_community_eyes_reactor_shutdowns_2808082.html)>. Acesso em: 01 abr. 2016.

ZIESSMAN, H. A.; THRALL, J. H. Radiofarmácia. In: \_\_\_\_\_. **Medicina Nuclear**. Rio de Janeiro: Guanabara, 2003. p. 51-57.