

# CARACTERIZAÇÃO E ARMAZENAMENTO DE REJEITOS LÍQUIDOS CONTENDO IODO-125 NO LABORATÓRIO DE PRODUÇÃO DE FONTES PARA BRAQUITERAPIA - IPEN

Vitória S. Carvalho<sup>1</sup>, Daiane C. B. de Souza<sup>1</sup>, Nayane K. O. Barbosa<sup>1</sup>, Bruna T. Rodrigues<sup>1</sup>, Beatriz R. Nogueira<sup>1</sup>, Osvaldo L. da Costa<sup>1</sup>, Carlos A. Zeituni<sup>1</sup>, Roberto Vicente<sup>1</sup>, Maria E. C. M. Rostelato<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN / CNEN - SP)  
Av. Professor Lineu Prestes 2242  
05508-000 São Paulo, SP  
[vitória.carvalho@ipen.br](mailto:vitória.carvalho@ipen.br)

## RESUMO

Fontes radioativas de Iodo-125 para aplicações médicas têm sido desenvolvidas no Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN) a fim de atender à crescente demanda para aplicações médicas como braquiterapia. Um laboratório dedicado já está em fase de implantação no IPEN. Parte dos processos envolvidos na produção de fontes seladas geram rejeitos radioativos que apesar da curta meia-vida ( $< 100$  dias) possuem atividade radioativa acima dos níveis de isenção estabelecidos pela Comissão Nacional de energia Nuclear. Portanto esses rejeitos devem receber tratamento e armazenamento adequado até atingirem os níveis de dispensa para o meio ambiente. Este trabalho se propôs a determinar os volumes dos rejeitos líquidos gerados ao longo das etapas de produção das fontes, bem como propor um sistema de armazenamento temporário para tais rejeitos. A metodologia aplicada consistiu na determinação dos volumes de rejeitos gerados em cada célula de produção de acordo com as etapas de fabricação. Após isso, foram calculadas as atividades e concentrações de atividade para cada recipiente usado para o armazenamento temporário dentro do laboratório de produção. O volume total armazenado durante um ano no depósito temporário, bem como a taxa de entrada e saída dos rejeitos líquidos foram calculados conforme demanda da produção de fontes e tempo de decaimento do radionuclídeo, respectivamente. Os principais resultados mostraram que o tempo necessário para se atingir os valores de dispensa em rede de esgoto sanitário estão dentro do período de funcionamento da instalação. O volume total gerado também está dentro da capacidade de armazenamento temporário da instalação.

## 1. INTRODUÇÃO

De acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS) mais de 14 milhões de pessoas desenvolvem câncer por ano sendo que 8,8 milhões vão a óbito devido à doença, o que supera o valor de 8,2 milhões de mortes no ano de 2012. No entanto, é esperado que o número de casos aumente e que até 2030 ultrapasse 21 milhões[1].

É destacado pela OMS que para haver uma redução nos números de casos é necessário que haja uma melhoria no serviço de saúde, investimento em equipamentos médicos e treinamento profissional, qualificando-os para obterem diagnósticos precisos de forma rápida. A Organização acrescenta também a necessidade de possuir tratamento acessível de qualidade e sem peso de custos para pessoas que já possuem câncer[1].

No Brasil, o tipo de câncer mais incidente em ambos os sexos, é o câncer de pele não melanoma, seguido pelo câncer de próstata, nos homens, com cerca de 61.200 novos casos estimados para o biênio 2016-2017. O câncer de próstata possui maior número de casos na região Sudeste do país (25.800), Nordeste (14.290), Sul (13.590), Centro-Oeste (5.050), Norte (2.470) [2, 3].

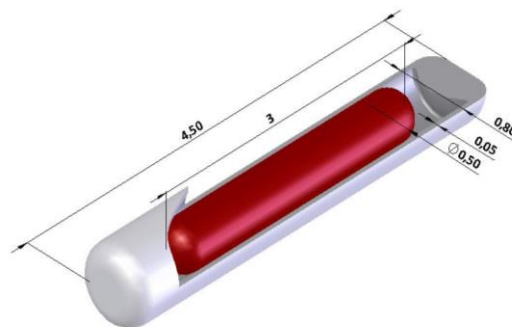
Uma forma de tratar o câncer é a radioterapia, que consiste em um método de tratamento que possui duas modalidades: a teleterapia, que nada mais é do que um feixe de radiação externo que entrará em contato com a região a ser tratada, e a braquiterapia que consiste em introduzir fontes radioativas seladas em contato ou dentro do tumor, devido à proximidade da fonte de radioativa, o tumor recebe a maior dose de radiação, enquanto que nos tecidos vizinhos a dose é diminuída significativamente [4].

Dentre as fontes utilizadas na braquiterapia temos as de Iodo-125. O Iodo-125 é produzido em reator nuclear a partir do Xenônio-124, possui meia-vida de 59,4 dias e emite fótons X e gama na média de 29 keV. Seus fótons possuem pouco poder de penetração, não afetando os tecidos e órgãos adjacentes, como no caso da teleterapia. Se comparada aos outros tipos de tratamentos, a braquiterapia possui vantagem em manter a preservação dos tecidos adjacentes, baixa taxa de impotência e pequena incidência de incontinência urinária [4,5,6].

Devido suas características, o Iodo-125 é utilizado no tratamento de câncer do próstata de crescimento lento e grau baixo, já para os cânceres de próstata que apresentam grau alto e crescimento acelerado é feito a utilização de paládio-103 no tratamento[4,5].

Atualmente essas fontes são importadas, o que eleva o custo do tratamento. Pensando nisto, com o objetivo de reduzir os custos tornando o tratamento acessível à população, o Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares vem trabalhando no desenvolvimento de um protótipo da semente. Com a produção nacional muitos custos serão reduzidos e o tratamento terá seu valor diminuído, possibilitando que mais e mais pessoas possam ser tratadas[6].

A semente de Iodo utilizada é constituída de um substrato de prata (núcleo de prata) (3,0 mm de comprimento, 0,5 mm de diâmetro) adsorvido no Iodo-125, este, é revestido por uma capsula de titânio (4,5 mm de comprimento, 0,8 mm de diâmetro externo e 0,05 mm de espessura da parede), material que possui aceitação do corpo humano, soldado à laser. A fonte tem uma atividade característica de 0,5 mCi, com uma variação recomendada de cerca de cinco por cento no mesmo lote de fontes[5,6, 7].



**Figura 1: Protótipo da semente de Iodo-125 (dimensionada em milímetros) [7].**

O processo de produção das fontes de Iodo-125 é feito em quatro etapas: adsorção do Iodo-125 no substrato de prata, processo também chamado de fixação; soldagem da fonte, onde a capsula de titânio é soldada com o substrato de prata dentro; ensaio de estanqueidade, feito para controle de qualidade das fontes e medição de atividade, que consiste em mensurar a atividade de cada fonte individualmente e separá-las por faixa de atividade. [8].

Na produção das fontes de Iodo-125 para braquiterapia são gerados rejeitos radioativos, os quais necessitam de atenção diferente a que é dada ao lixo comum, visto que possuem níveis acima dos limites de isenção estabelecidos em norma pela CNEN. Os rejeitos radioativos gerados durante a produção de fontes para braquiterapia devem ser segregados de outros materiais, para serem armazenados e ter sua atividade decaída. O gerenciamento dos rejeitos radioativos possuindo Iodo-125 consiste no método reter e retardar (R&R) devido sua curta meia vida. [9].

O presente trabalho tem por objetivo descrever uma proposta de gerenciamento de rejeitos líquidos gerados na produção de fontes seladas de Iodo-125 para braquiterapia para o laboratório de produção de fontes para radioterapia (LPFR).

Este estudo baseou-se nos requisitos da norma NN 8.01 da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) na qual os rejeitos são classificados de acordo com seus níveis e natureza e com o seu tempo de meia-vida. No caso do Iodo-125 é um rejeito de classe 1, pois possui uma meia-vida muito curta, ou seja, inferior a ordem de 100 dias e a cima dos respectivos níveis de dispensa. A mesma norma recomenda que a segregação dos rejeitos deve ser feita no local onde foram gerados [10].

A produção das fontes é realizada em três células de produção (*Glove Box*) sendo que rejeitos líquidos, oriundos dessa produção, são gerados nas células 1 e 3. Na célula 1 o Iodo junto a uma solução de NaI+H<sub>2</sub>O é adsorvido no substrato de prata, processo conhecido como fixação do iodo no fio prata; na célula 3 é realizada a etapa de controle de qualidade, onde são realizados testes de estanqueidade de acordo com a norma ISO 9978, para verificar se há ou não vazamento de material radioativo da semente o que pode resultar no maior volume de rejeitos líquidos.

A tabela 1 apresenta dados relevantes para o gerenciamento de rejeitos líquidos contendo Iodo-125 usados neste trabalho. Quando atingido o limite para dispensa de rejeitos líquidos no depósito provisório o rejeito poderá ser liberado no meio ambiente. Para determinar quando ocorrerá essa liberação, foram realizados cálculos de decaimento radioativo, taxa de entrada de atividade e capacidade de armazenamento (volume) no depósito. Assim, uma vez atingindo os limites de dispensa, o rejeito líquido deverá ser descartado na rede de esgoto sanitário, atendendo os requisitos em norma: ser prontamente solúvel em água; quantidade liberada em rede de esgoto não deve exceder os limites de concentração média (mensal) e limite máximo anual (TAB. 1).

**Tabela 1: Dados para gerenciamento de rejeitos líquidos contendo Iodo-125**

Energia (keV)	Meia-vida (d)	Limite para dispensa de rejeitos líquidos CNEN NN 8.01 (Bq/m <sup>3</sup> )*	Liberação máxima mensal na rede de esgoto sanitário CNEN NN 8.01 (Bq/mês)[11]	Liberação máxima anual na rede de esgoto sanitário CNEN NN 8.01 (Bq/ano)
Raios X: 27,47				
Raios Gama: 35,49	59,4	3,7.10 <sup>4</sup>	1,750.10 <sup>2</sup>	1.10 <sup>8</sup>

\* volume médio mensal. A soma das quantidades anuais não deve exceder 1x10<sup>8</sup>Bq.

## 2. METODOLOGIA

Com base nas normas da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN): Proteção Radiológica (CNEN NN 3.01), Gerência de rejeitos radioativos de baixo e médio níveis de radiação (CNEN NN 8.01), juntamente com a norma referente à Ensaio de Estanqueidade (ISO 9978) foi realizado um estudo preliminar para o gerenciamento desses rejeitos por meio de cálculos de atividade e volume gerado, taxa de entrada no depósito e tempo necessário para decaimento e posterior liberação.

Para determinar a atividade semanal de produção foi utilizada a seguinte relação: o produto da atividade estimada para cada fonte (semente) de 0,5 mCi e o número de sementes produzidas semanalmente 2.160 unidades. De um total de 1,08 mCi/semana é considerado que apenas uma fração dessa atividade está presente nos rejeitos líquidos. O valor da fração de atividade presente no rejeito utilizada neste estudo foi de 30%; considerando que no processo de produção do Iodo-125 cerca de 70% do Iodo é adsorvido pelo núcleo de prata [7]. Cada produção semanal possui quatro lotes, em cada um deles são utilizados 18 frascos com 30 núcleos de prata dentro. Antes mesmo que a produção semanal seja encerrada, os primeiros lotes, no início da semana, já estarão em decaimento e devido a isto se fez necessário realizar cálculo de decaimento ao longo da semana de produção para obter a atividade precisa que entrará no depósito ao fim da semana de produção. Portanto, a atividade semanal foi multiplicada pela fração da atividade residual no rejeito, 30%, e dividida por sete dias da semana e após isso, o valor obtido foi empregado na equação de decaimento. (Equação 1):

$$A = A_0 \cdot e^{-\left(\frac{\ln 2}{T_{1/2}}\right) \cdot \Delta t} \quad (1)$$

Em que:

A= Atividade final decaída

A<sub>0</sub>= Atividade inicial

T<sub>1/2</sub>= Tempo de meia vida do radioisótopo

Δt= Tempo transcorrido entre a data da atividade inicial e a atividade

Após ser realizado o cálculo acima para determinar a atividade dos rejeitos gerados ao final de uma produção semanal, foi determinada a taxa de entrada semanal de rejeitos líquidos no depósito provisório da instalação. Para isso foi utilizada a seguinte fórmula:

$$A = \frac{f}{\lambda} (1 - e^{-\lambda \cdot t}) \quad (2)$$

Em que:

A: atividade no intervalo de tempo (t)  
f: taxa de entrada de material no repositório (Bq/s)  
 $\lambda$ : constante de decaimento ( $\text{semana}^{-1}$ )  
t: tempo transcorrido (semanas)

Para cálculo dos volumes gerados semanalmente, foi determinado o volume usado em cada célula de produção. Na célula 1 será utilizada o Iodo-125 na forma de Iodeto de sódio (NaI). Sendo 250  $\mu\text{l}$  de NaI por frasco a fim de encobrir todos os núcleos no frasco. Multiplicado ao volume da solução utilizada, pela quantidade de frascos utilizados por semana temos o volume de rejeitos líquidos na célula 1.

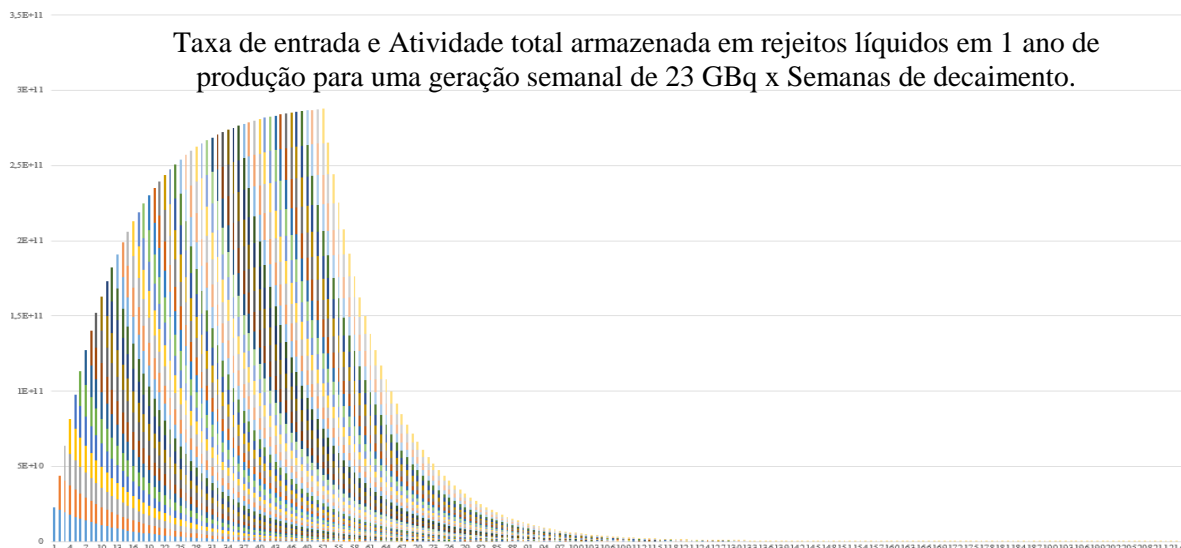
Já na terceira célula de produção os rejeitos líquidos (água utilizada no controle de qualidade) serão gerados no caso de vazamento das fontes produzidas que passarão por lavagens para descontaminação. O número de lavagens pode variar entre 5 a 20 lavagens [8].

Para cada semana de produção o volume foi calculado multiplicando número de ciclos de lavagens (5 a 20), pelo volume de água usado em cada lavagem (36 ml) e pelo número de produções semanais (4).

Toda água utilizada no processo de lavagem será inicialmente contida em um frasco (capacidade de cinco litros) de armazenamento no final do ensaio, este frasco é conectado aos tubos por um dispositivo de retirada de água. O mesmo frasco possui tampa com vedação em borracha e conexões de engate rápido, caso haja necessidade de troca o frasco será substituído com facilidade. Após enchimento completo será enviado para decaimento no depósito provisório.

### 3. RESULTADOS

Por meio dos dados de produção semanal das fontes foi possível estimar a atividade presente nos rejeitos, o volume e taxa de entrada de material no depósito provisório. Foi possível determinar também o tempo de armazenamento necessário para decaimento e posterior liberação dos rejeitos líquidos em meio ambiente. A cada semana um novo lote de rejeitos chega ao depósito e conforme o decaimento ocorre, lotes anteriores são liberados no meio ambiente. A figura 2 apresenta os valores de atividade armazenada e taxa de entrada de rejeitos líquidos no período de um ano de produção.



**Figura 2: Gráfico apresentando a taxa de entrada de rejeito líquido no depósito provisório por semanas de decaimento ao longo de um ano de produção.**

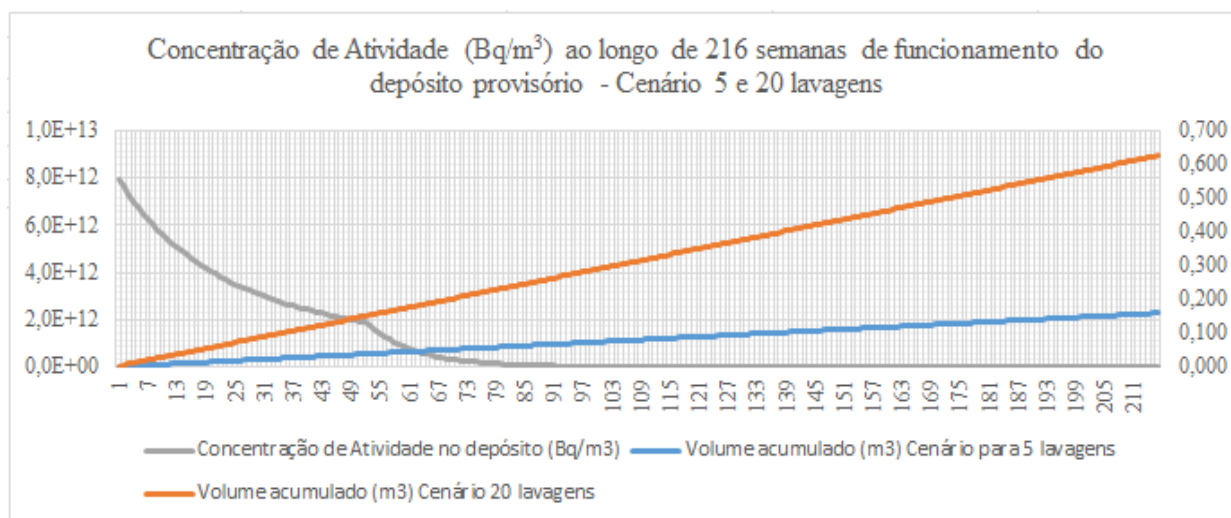
Para um ano de produção com taxa de atividade semanal de  $2,29 \times 10^{10}$  Bq (23 GBq) para rejeitos líquidos serão necessárias 216 semanas de decaimento (4,16 anos), quando o último lote de rejeitos líquidos poderá ser liberado na rede de esgoto sanitário, atendendo o limite em norma de  $3,7 \times 10^4$  Bq.

Na terceira célula de produção foi estimado o volume de rejeito gerado a partir das lavagens realizadas no controle de qualidade. Foram utilizados dois cenários um com cinco lavagens e outro com 20 lavagens, a tabela 2 apresenta o volume com a estimativa feita nestes dois cenários.

A figura 3 apresenta os volumes de rejeitos líquidos gerados no cenário 2 mais conservador (20 lavagens) pela atividade semanal.

**Tabela 2: Volume de rejeitos líquidos gerado na terceira célula de produção para 5 e 20 lavagens na etapa de controle de qualidade**

Volume de água utilizado nas lavagens	Volume/Atividade	
	CENÁRIO 1 (5 lavagens)	CENÁRIO 2 (20 lavagens)
Número de ciclos de lavagem por produção	5	20
H <sub>2</sub> O por tubo com sementes (ml)	2	2
Número de tubos por produção	18	18
Volume de água em 18 tubos (ml)	36	36
Volume de água de acordo com num de lavagens por produção (ensaio) ml	180	720
Nº de produções por semana	4	4
Volume de líquido gerado por semana (ml)	720	2880
Capacidade máxima do frasco de armazenamento (ml)	5000	5000
Número de produções até encher o frasco de armazenamento	27,8	(~7 semanas de produção)
<b>Volume rejeito Líquido semanal GLOVE 3: (L)</b>	<b>0,72</b>	<b>2,88</b>



**Figura 3: Gráfico apresentando a atividade e volume de rejeitos líquidos gerados a cada semana no cenário 5 e 20 lavagens.**

#### 4. CONCLUSÕES

Pode-se concluir que a fabricação de fontes seladas de Iodo-125 para braquiterapia produz rejeitos radioativos, os quais necessitam ser gerenciados para que seja proporcionado um trabalho seguro para todos os envolvidos nas diversas etapas de fabricação das fontes. Sendo assim, com base na norma da CNEN NN 8.01 foi desenvolvido um método de caracterização

para o gerenciamento dos rejeitos líquidos que permite determinar o volume e atividade que os mesmos ocuparão no depósito provisório, bem como estabelecer o tempo de manutenção para este, o que permite ter o domínio sobre o gerenciamento de rejeitos radioativos na instalação.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Centro de Tecnologia das Radiações (CTR) do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN-CNEN/SP) pela disponibilização de materiais, e ao CNPq pelo apoio financeiro e todo o suporte necessário.

## REFERÊNCIAS

1. ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). “Nações Unidas: OMS: câncer mata 8,8 milhões de pessoas anualmente no mundo.” <https://nacoesunidas.org/oms-cancer-mata-88-milhoes-de-pessoas-anualmente-no-mundo/> (2017).
2. “INSTITUTO NACIONAL DO CÂNCER: Estimativas 2016 Incidências de câncer no Brasil.” <http://www.inca.gov.br/estimativa/2016/index.asp?ID=2> (2016)
3. “Oncoguia: Estimativas 2016 Incidências de câncer no Brasil.” [http://www.oncoguia.org.br/pub//10\\_advocacy/Estimativas\\_INCA.pdf](http://www.oncoguia.org.br/pub//10_advocacy/Estimativas_INCA.pdf) (2016)
4. ROSTELATO, M. E. C. M. Estudo e Desenvolvimento de uma Nova Metodologia para Confecção de Fontes de Iodo-125 para Aplicação em Braquiterapia, Tese de Doutorado. IPEN/CNEN-SP, 2005.
5. ZEITUNI, C.A. Dosimetria de Fontes de Iodo-125 Aplicadas em Braquiterapia, Tese de Doutorado. IPEN/CNEN-SP, 2008.
6. ROSTELATO, M.E.C.M, et al. “*Development and production of radioactive sources used for cancer treatment in Brazil*”, São Paulo, 18/02/2009.
7. SOUZA, C.D. “*Comparação entre métodos de fixação do iodo radioativo em substrato de prata para confecção de fontes utilizadas em Braquiterapia*”, Tese de Mestrado. IPEN/CNEN-SP, 2009.
8. MOURA, J.A. “*Estudo e desenvolvimento de metodologia para controle de qualidade em processo de produção de fontes seladas de Iodo-125 para uso em braquiterapia*”, Tese de Mestrado. IPEN/CNEN-SP, 2009.
9. “IAEA Safety Standards for protecting people and the environment: Predisposal Management of Radioactive Waste,” [http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1368\\_web.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1368_web.pdf) (2009)



10. “CNEN: NN 8.01 Gerência de Rejeitos radioativos de Baixo e Médio Níveis de Radiação” <http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/Nrm801.pdf> (2014).
11. NISTI, M.B. “*Sistema ambiental aplicado à liberação de efluente radioativo líquido*”, Tese de Mestrado. IPEN/CNEN-SP, 2009.