

# Avaliação da atenuação de invólucros produzidos em impressora 3D para medidas com calibrador de dose

**Leticia Kathleen Bueno; Orlando Rodrigues Junior; Maria da Penha A. Potiens**

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN – CNEN/SP. Av. Prof. Lineu Prestes, 2242, Cidade Universitária – 05508-000. São Paulo – SP – Brasil.

E-mail: l.bueno@usp.br

**Resumo.** Devido ao aumento de procedimentos realizados nos Serviços de Medicina Nuclear (SMN) tornou-se cada vez mais inevitável a preocupação com o perfeito funcionamento dos calibradores de dose utilizados diariamente. Ainda assim, a prática segura, eficiente e eficaz do uso do equipamento envolve a integração de vários processos. O objetivo deste trabalho é o projeto e desenvolvimento de novos invólucros por meio da prototipação utilizando uma impressora 3D. Os materiais escolhidos foram o PLA e o ABS. Foram realizados testes de precisão e exatidão variando os parâmetros de impressão e as dimensões do invólucro. Os resultados mostraram que é possível customizar os invólucros melhorando os resultados e reduzindo as incertezas no controle de qualidade desses equipamentos.

**Palavras-chave:** Calibrador de dose, Medicina Nuclear, Invólucro, Radionuclídeo, Dosimetria.

## 1. Introdução

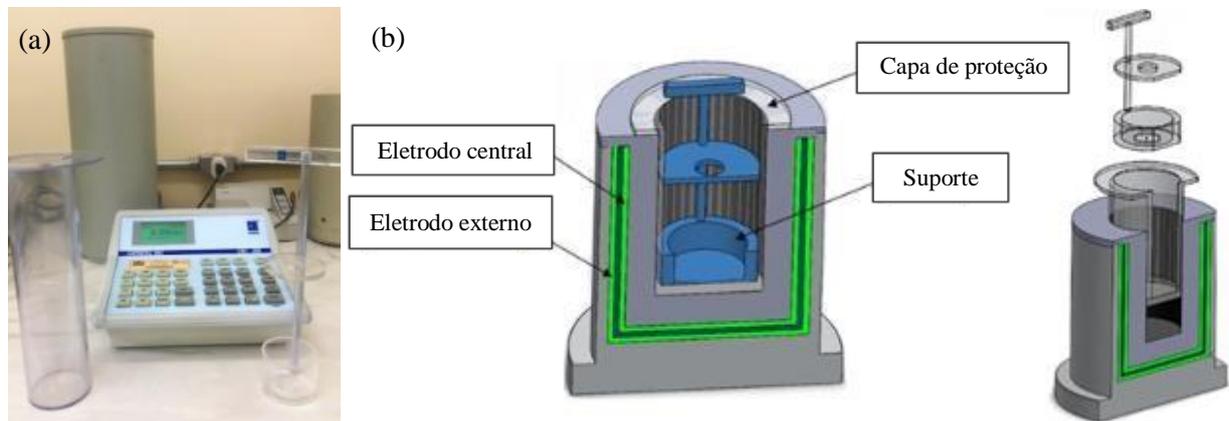
A Medicina Nuclear tornou-se uma das especialidades médicas mais populares em diagnósticos e terapias. As principais razões para esse sucesso são: a crescente disponibilidade de materiais radioativos desenvolvidos na forma de compostos específicos para os estudos da fisiologia e do metabolismo do corpo humano e da capacidade de centros especializados em produzir e aplicar esses materiais de forma segura na quantidade exata para a realização dos procedimentos. Contudo, para que isso seja colocado em prática no dia a dia, é essencial que um Serviço de Medicina Nuclear (SMN) possua um programa de controle de qualidade implantado e efetivo [1]. Entretanto, mesmo em condições normais de operação, alguns fatores podem afetar as medidas realizadas em calibradores de dose. O invólucro de plástico comercial, os acessórios feitos de acrílico como o suporte para acomodar os frascos e o revestimento protetor, além de outros fatores adicionais, influenciam na quantidade de radiação que entra no volume sensível da câmara. Mesmo que a utilização da maioria dos acessórios citados seja de uso necessário, eles tendem a modificar os resultados finais que são indicados pelo equipamento [2].

O objetivo desse trabalho é o projeto e desenvolvimento de um novo invólucro de baixo custo, utilizando uma impressora 3D que atenda dois requisitos principais: (a) promover uma menor interferência nas medições, em comparação aos invólucros comerciais, melhorando a exatidão e (b) melhorar o ajuste às dimensões dos frascos e suportes do sistema de medida, melhorando a precisão.

## 2. Materiais e Métodos

Os calibradores de dose são instrumentos de medição utilizados nos SMN compostos de uma câmara de ionização do tipo poço acoplada a um circuito eletrônico apropriado. A atividade da amostra é avaliada pela interação da radiação que ioniza o volume sensível da câmara, geralmente preenchida com argônio ou nitrogênio. A ionização produzida gera uma corrente elétrica que é processada de acordo com as informações fornecidas pelo usuário. O valor da atividade pode ser dado em curie (Ci) ou becquerel (Bq) sendo apresentado no visor do próprio aparelho [3].

Foram realizadas 10 medições com intervalos de 30 segundos utilizando o calibrador de dose padrão terciário CRC-25R da marca Capintec, número de série 252669, constituído por um eletrômetro, uma câmara de ionização do tipo poço, um suporte para acomodar os diferentes tipos de frascos dentro do poço e uma capa protetora que obtém a função de evitar contaminação acidental da câmara de ionização.



**Figura 1: (a) Calibrador de dose padrão terciário CRC-25R, capa protetora e suporte para fontes. (b) Diagramas em corte de uma câmara de ionização tipo poço.**

Neste trabalho foram utilizadas três fontes seladas produzidas pelo Centro de Tecnologia das Radiações (CTR) do IPEN. Além de serem utilizadas como fontes padrão de controle de qualidade, estes radionuclídeos abrangem energias e intensidades de emissão gama de interesse em diagnósticos e terapias da medicina nuclear. Seus valores de meia-vida são suficientemente grandes, possibilitando que a taxa de contagem seja relativamente estável durante as medições (Fig.2) [4].



**Figura 2: Fontes radioativas utilizadas nas medições.**

A tabela 1 apresenta os valores de referência da atividade para cada fonte. O valor da atividade foi corrigida ao longo do trabalho [5].

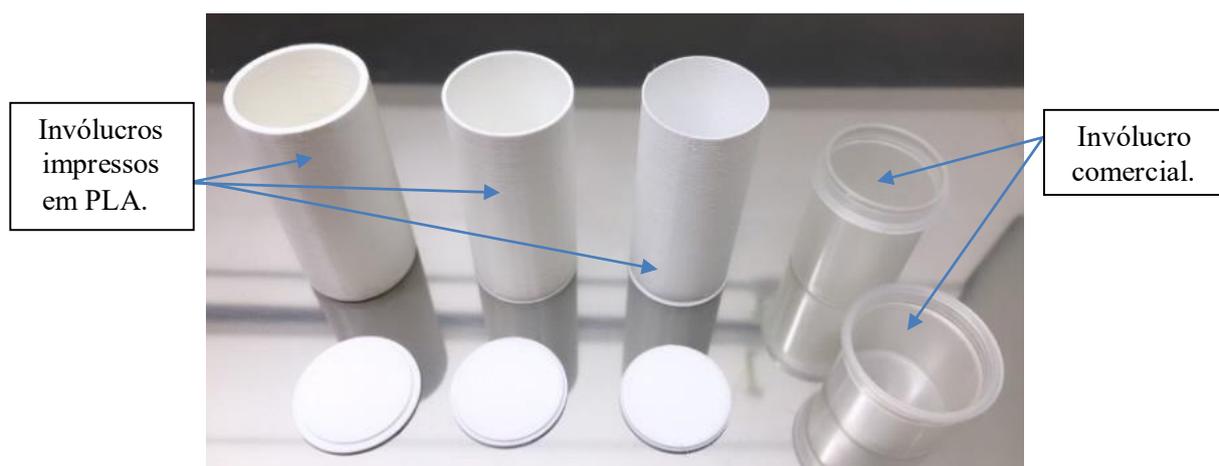
**Tabela 1: Principais características das fontes seladas de referência.**

Fonte	Valor de Referência (MBq)	Principal Energia $\gamma$ (keV)	Meia-Vida
$^{133}\text{Ba}$	$9,396 \pm 0,004$	356,01	10,5 anos
$^{57}\text{Co}$	$196,80 \pm 0,70$	122,06	271,7 dias
$^{137}\text{Cs}$	$7,36 \pm 0,05$	661,65	30 anos

### 2.1 Impressão 3D

O novo invólucro foi produzido em uma impressora 3D, modelo Raise 3D PRO2, utilizando a técnica de modelagem por fusão e deposição (Fused Deposition Modeling – FDM). Os materiais escolhidos neste estudo para a construção dos protótipos foram os filamentos de Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) e de Poly-lactic Acid (PLA). Utilizando o software OpenSCAD, foram projetados e impressos invólucros cilíndricos com tampa e com fundo ajustado ao suporte do calibrador de dose e com paredes de 0,5mm, 1mm e 2mm. Os invólucros desenvolvidos possuem altura de 66mm e diâmetro interno de 14mm, que acomoda sem folga, o frasco de polietileno que contém aproximadamente 20ml de resina epóxi com distribuição uniforme do elemento ativo disponibilizado pelo CTR (Fig.2) [6].

As impressões foram feitas com níveis de preenchimento de 20% e 100% utilizando PLA e ABS branco. O invólucro comercial utilizado e fornecido pelo Centro de Radiofarmácia (CR) do IPEN possui um formato cilíndrico composto de duas partes com encaixe aproximadamente central, seguindo as seguintes dimensões: diâmetro de 30mm, altura de 68mm e espessura de 1mm, podendo ser visualizado junto aos novos invólucros impressos em PLA na figura 3.



**Figura 3: Invólucros desenvolvidos em PLA de 2mm, 1mm e 0,5mm, respectivamente e invólucro comercial fornecido pelo Centro de Radiofarmácia (CR).**

## 2.2 Testes realizados

As boas práticas nas medições consistem no controle periódico dos resultados obtidos pelos instrumentos e o campo da metrologia de radionuclídeos desempenha um papel importante no âmbito da medicina. Devido ao reconhecimento da importância da implementação de programas de garantia da qualidade, são estipulados ensaios recomendados pela Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA) e pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) utilizando-se fontes radioativas seladas de  $^{133}\text{Ba}$ ,  $^{57}\text{Co}$  e  $^{137}\text{Cs}$ . A fim de garantir o adequado funcionamento dos calibradores de dose, a norma CNEN-NN-3.05/2013, Resolução 159/13, estabelece que os serviços de medicina nuclear, ou a quem ele delegar, devem realizar os testes periódicos em seu medidor de atividade, testando-se a exatidão, precisão, reprodutibilidade e a linearidade de resposta [7].

Inicialmente, no aparelho CRC-25R foram realizadas 10 medições com intervalos de 30 segundos sem nenhum invólucro, considerando por fim a média das leituras para a obtenção dos valores utilizados como referência para cada fonte utilizada.

Após a coleta dos valores de referência, foram feitas avaliações através de uma comparação de resultados obtidos, sendo aplicado os testes de exatidão e precisão. A precisão foi expressa pela variação dos resultados obtidos em leituras de uma mesma fonte. A exatidão foi expressa pelo cálculo da diferença entre o valor médio da atividade medida e a atividade certificada da fonte corrigida pelo decaimento radioativo até o dia da medição [8,9].

## 3. Resultados e Discussões

Os experimentos foram realizados em 4 etapas. Na primeira etapa, os objetivos foram: projetar e imprimir o protótipo do invólucro com um melhor ajuste aos frascos das fontes seladas utilizadas no trabalho e avaliar o comportamento dos invólucros impressos em PLA com preenchimento de 20%. Na segunda etapa foram comparados os resultados do PLA e ABS para o invólucro de 0,5mm. Na terceira e na quarta etapa foi avaliada a influência do nível de preenchimento para o ABS.

### 3.1 Avaliação do comportamento do invólucro comercial e dos invólucros desenvolvidos em PLA

A primeira etapa do estudo demonstrou resultados satisfatórios. Foram utilizados o invólucro comercial e os invólucros desenvolvidos em PLA de 0,5mm, 1mm e 2mm com preenchimento de 20% para avaliar a interferência dos invólucros nas leituras das medidas obtidas. O preenchimento de 20% foi escolhido por conferir uma boa resistência mecânica ao protótipo.

Utilizando a média das medidas sem invólucro como referência, nota-se na tabela 2 que o invólucro desenvolvido em PLA de 0,5mm obteve melhores resultados se comparado com a média das 10 medições do invólucro comercial. Além disso, o PLA 0,5mm atingiu um valor exato de medição para a fonte de  $^{57}\text{Co}$  e resultados muito próximos para  $^{133}\text{Ba}$  e  $^{137}\text{Cs}$ . Assim, este foi o melhor invólucro dos 3 desenvolvidos em PLA. A precisão demonstrada na tabela 2 é expressa numericamente por indicadores de incerteza e pode ser dada pela dispersão, desvio padrão, variância ou coeficiente de variação. Deve-se ressaltar que o instrumento se torna mais preciso quanto mais baixo for o valor dos indicadores. Este teste deve ser realizado no equipamento semestralmente, utilizando fontes de  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{133}\text{Ba}$  ou  $^{137}\text{Cs}$  [7,10 e 11].

Analisando a tabela 2, pode-se afirmar que dentre os materiais estudados a utilização do invólucro comercial ou do PLA de 0,5mm melhora a precisão dos resultados no momento da medição para a fonte de  $^{133}\text{Ba}$ . Além disso, o invólucro em PLA de 0,5mm exibe o melhor desempenho para a fonte de  $^{57}\text{Co}$ . A precisão foi expressa pelo desvio padrão da média das medidas.

**Tabela 2: Leitura média da atividade realizada com o invólucro comercial e com os invólucros em PLA de diversas dimensões.**

	Sem Invólucro (MBq)	Invólucro comercial (MBq)	Invólucro PLA 0,5mm (MBq)	Invólucro PLA 1mm (MBq)	Invólucro PLA 2mm (MBq)
$^{133}\text{Ba}$	9,31 ± 0,01	9,26 ± 0,00	9,29 ± 0,00	9,21 ± 0,01	9,09 ± 0,01
$^{57}\text{Co}$	172,48 ± 0,06	173,27 ± 0,06	172,48 ± 0,04	173,13 ± 0,05	173,77 ± 0,05
$^{137}\text{Cs}$	7,64 ± 0,01	7,60 ± 0,01	7,63 ± 0,01	7,61 ± 0,01	7,57 ± 0,01

O teste de exatidão avalia o quão distante o valor médio das leituras de uma determinada atividade está do valor fornecido pela fonte de referência, corrigido no dia da leitura. Este teste deve ser realizado semestralmente, utilizando fontes de  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{133}\text{Ba}$  ou  $^{137}\text{Cs}$ . São permitidos desvios percentuais de até 10%, com uma confiabilidade de 90% [7,11].

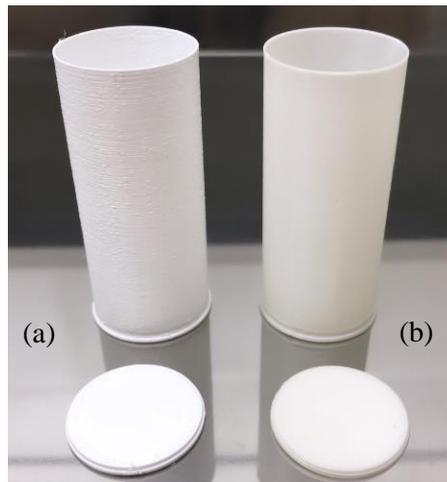
**Tabela 3: Teste de exatidão para os protótipos impressos em PLA em comparação com os valores sem invólucro e com o invólucro comercial.**

	Valor de referência corrigido (MBq)	Sem Invólucro %	Invólucro comercial %	Invólucro 0,5mm %	Invólucro 1mm %	Invólucro 2mm %
$^{133}\text{Ba}$	9,32	-0,06	-0,61	-0,32	-1,23	-2,44
$^{57}\text{Co}$	174,5	-1,57	-0,70	-1,15	-0,79	-0,41
$^{137}\text{Cs}$	7,34	4,07	3,48	3,89	3,62	3,07

Os resultados do teste de exatidão ilustrados na tabela 3 demonstram que para a fonte de  $^{133}\text{Ba}$  o melhor resultado é obtido sem nenhum tipo de invólucro. Comparando os invólucros impressos neste estudo, verifica-se que o invólucro de 0,5mm manteve a exatidão mais próxima com -0,32%. Para as fontes de  $^{57}\text{Co}$  e  $^{137}\text{Cs}$  foi demonstrado um melhor resultado com o invólucro de 2mm, -0,41 e 3,07 respectivamente.

### 3.2 Avaliação do comportamento da medição com material em PLA e ABS de 0,5mm

Após a primeira etapa do estudo, foi constatado que o invólucro em PLA com paredes de 0,5mm apresentou um melhor desempenho nos resultados obtidos das medições para a fonte de  $^{133}\text{Ba}$ . Com o objetivo de avaliar o impacto do material, o mesmo modelo foi impresso em ABS. O método de estudo utilizado foi mantido para a realização das medições.



**Figura 5: Invólucro em PLA (a) e ABS (b).**

Observando a tabela 4 podemos analisar um bom desempenho de ambos os materiais e pouca diferenciação quando comparados com a referência utilizada, mas ainda assim, o invólucro em PLA obteve medidas mais próximas com as fontes de  $^{133}\text{Ba}$ ,  $^{57}\text{Co}$  e  $^{137}\text{Cs}$ .

**Tabela 4: Resultado da média das 10 leituras realizadas com os invólucros de PLA em 0,5mm e ABS em 0,5mm.**

	Sem Invólucro (MBq)	Invólucro PLA 0,5mm (MBq)	Invólucro ABS 0,5mm (MBq)
$^{133}\text{Ba}$	$9,30 \pm 0,01$	$9,26 \pm 0,01$	$9,32 \pm 0,01$
$^{57}\text{Co}$	$167,64 \pm 0,05$	$168,01 \pm 0,04$	$168,10 \pm 0,05$
$^{137}\text{Cs}$	$7,62 \pm 0,00$	$7,61 \pm 0,01$	$7,61 \pm 0,01$

O teste de exatidão demonstrado na tabela 5 foi aplicado utilizando os invólucros em PLA e ABS de 0,5mm. Dentre os objetos desenvolvidos o teste demonstrou uma maior confiabilidade com o invólucro em ABS de 0,5mm para a fonte de  $^{133}\text{Ba}$  e para as demais fontes podemos considerar que ambos materiais obtiveram os mesmos resultados de exatidão entre o valor médio das leituras e o valor fornecido pela fonte de referência.

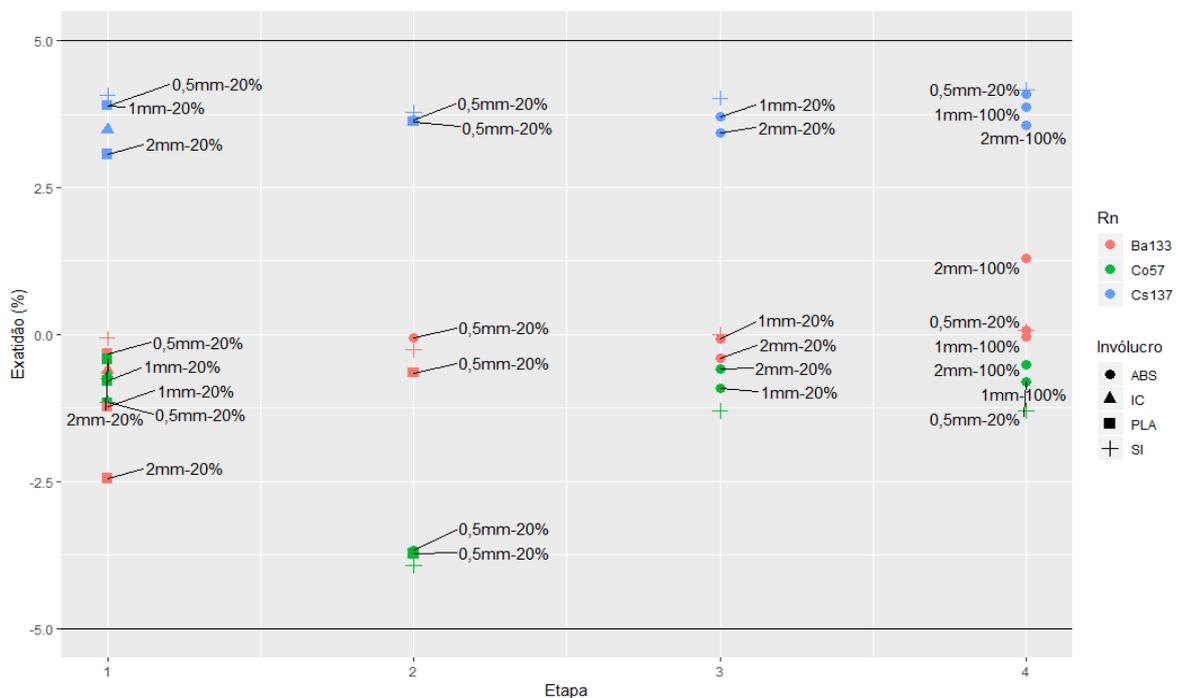
**Tabela 5: Teste de exatidão aplicado com os invólucros em PLA e ABS de 0,5mm.**

	Valor de Referência Corrigido (MBq)	Sem Invólucro %	Invólucro PLA 0,5mm %	Invólucro ABS 0,5mm %
$^{133}\text{Ba}$	9,30	-0,04	-0,44	0,16
$^{57}\text{Co}$	169,7	-1,22	-1,00	-1,00
$^{137}\text{Cs}$	7,33	3,92	3,77	3,79

### 3.3 Avaliação da exatidão em função do preenchimento

Para estudar a resistência dos invólucros, foram impressos novos invólucros em ABS com preenchimento de 100%.

Os resultados referentes às avaliações de exatidão das 4 etapas estão apresentados na figura 6. Pode-se concluir que para o experimento realizado o comportamento do ABS e do PLA foi muito próximo e todos os valores de exatidão obtidos ficaram na faixa de  $\pm 5\%$ . Os resultados em todas as etapas para a fonte de  $^{137}\text{Cs}$  apresentaram valores para a exatidão consistentes e com viés positivo, ou seja, a média dos valores medidos sempre ficou acima do valor de referência corrigido. Para as fontes de energia mais baixa,  $^{133}\text{Ba}$  e  $^{57}\text{Co}$ , as exatidões ficaram próxima de zero, indicando o bom desempenho dos invólucros em todas as situações. Cabe ressaltar que na etapa 2 as medidas com a fonte de  $^{57}\text{Co}$  apresentaram um comportamento fora do padrão das outras medições. Como o mesmo comportamento foi observado na série de medidas sem o invólucro, pode-se afirmar que o comportamento não foi decorrente ao uso dos invólucros impressos.



**Figura 6: Quadro geral dos resultados para a exatidão das 4 etapas de medidas (SI= medidas Sem o Invólucro, IC= medidas com o Invólucro Comercial.)**

## 4. Conclusão

A avaliação de novos invólucros de PLA e ABS por meio da prototipação utilizando uma impressora 3D apresentou resultados satisfatórios, promovendo uma menor interferência nas medições, melhorando a exatidão e a precisão dos resultados. Por meio dos testes de exatidão e precisão de acordo com as regulamentações da CNEN e recomendações da IAEA, foram obtidos resultados dentro dos limites aceitáveis. Estes resultados comprovaram uma maior confiabilidade nas medições utilizando os invólucros impressos. Neste estudo, os invólucros desenvolvidos na impressora 3D foram projetados para abrigar as fontes seladas de referência utilizadas para controle de qualidade dos calibradores de dose, mas por possuírem um baixo custo e por promoverem uma baixa interferência nas medidas, o uso dos invólucros para as fontes não seladas poderia ser considerado. Novos estudos sobre as propriedades de estanqueidade e de resistência à irradiação para materiais com baixo custo de impressão estão em andamento.

## 5. Referências

- [1] IAEA - International Atomic Energy Agency. *Quality Assurance For Radioactivity Measurement In Nuclear Medicine*. Technical Reports Series No. 454. Vienna: International Atomic Energy Agency; 2006.
- [2] CAREY JE, Byrne P, DeWerd L, Lieto R, Petry N. *The Selection, Use, Calibration, and Quality Assurance of Radionuclide Calibrators Used in Nuclear Medicine*. College Park, MD: American Association of Physicists in Medicine; 2012. AAPM report 181.
- [3] Verdecia, P. O. *Activímetros - Protocolo Para El Aseguramiento De La Calidad De Las Mediciones*. Documento Elaborado En Los Marcos Del Proyecto Arcal R1a 6074. Centro De Isótopos De Cuba (2015).
- [4] ALMEIDA, J.S. *Estudo das impurezas radioativas gama emisoras presentes nos radiofármacos produzidos no IPEN-CNEN/SP*. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear - Aplicações) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.
- [5] IAEA - International Atomic Energy Agency. *Live of Nuclides Nuclear Structure and Decay*. 2009. Disponível em: <[www-nds.org/relnsd/vcharthtml/VChartHTML.html](http://www-nds.org/relnsd/vcharthtml/VChartHTML.html)>. Acesso em: 08 jul. 2019.
- [6] TIEZZI, R. *Desenvolvimento de fontes radioativas seladas imobilizadas em resinas epóxi para verificação de detectores utilizados em Medicina Nuclear..* Masters dissertation, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, SP, 2016.
- [7] COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. *Requisitos de Radioproteção e Segurança Para Serviços De Medicina Nuclear – CNEN-NE- 3.05*. 12p, Rio De Janeiro, 1996.
- [8] KUAHARA, L.T; CORRÊA, E. L.; POTIENS, M. P. A. *Estudo da influência do invólucro protetor de contaminação no frasco de radiofármacos na medição da atividade*. Brazilian Journal of Radiation Sciences, v. 3, n. 1A, 2015.
- [9] IWAHARA A., Tauhata L., Oliveira A.E., Nícoli I.G., Alabarse F.G., Xavier A.M. *Teste De Proficiência Para Medições De Radioatividade Na Medicina Nuclear*. Radiol Bras. 2009.
- [10] RODRIGUES, M.; DE SÁ, L.V. *Quality control of the activity meter. 4 Brazilian congress on ionizing radiation metrology - CBMRI, Brazil 2017*.
- [11] IAEA - International Atomic Energy Agency. *Quality Control of Nuclear Medicine Instruments*. IAEA-TEC-DOC-602, Vienna, 2007.