

# Avaliação das exposições ocupacionais internas em medicina nuclear: dificuldades e alternativas

## Evaluation of internal occupational exposures in nuclear medicine: difficulties and alternatives

Bernardo M. Dantas<sup>1</sup> , Eder A. Lucena<sup>1</sup> , Ana Letícia A. Dantas<sup>1</sup> , Salomão M. Oliveira<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Instituto de Radioproteção e Dosimetria, Rio de Janeiro, Brasil

### Resumo

Profissionais que manipulam radiofármacos para fins de diagnóstico e terapia em medicina nuclear estão sujeitos à incorporação de radionuclídeos via inalação e ingestão. Os aspectos de proteção radiológica dessa prática são regulamentados pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), e a Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA) recomenda a implantação de programas de monitoração ocupacional quando houver risco de doses efetivas anuais superiores a 1 mSv. O controle de incorporações de radionuclídeos pode ser realizado por meio de técnicas de dosimetria interna. Atualmente, no Brasil, não existem laboratórios suficientes capacitados a prestar serviços de monitoração interna para atender a toda a demanda caso essa exigência seja aplicada pela CNEN. Este artigo apresenta um panorama da situação atual no Brasil e as alternativas técnicas economicamente viáveis, a fim de tornar factível a implantação de programas rotineiros de monitoração interna de trabalhadores ocupacionalmente expostos a riscos significativos de exposição a radionuclídeos manipulados em medicina nuclear.

**Palavras-chave:** física médica; medicina nuclear; proteção radiológica.

### Abstract

Professionals who manipulate radiopharmaceuticals for diagnostic and therapeutic purposes in nuclear medicine are subject to intakes of radionuclides via inhalation and ingestion. The International Atomic Energy Agency (IAEA) recommends the implementation of occupational monitoring programs whenever there is a risk of annual effective doses higher than 1 mSv. Radiation protection requirements in this practice are established by the National Nuclear Energy Commission (Comissão Nacional de Energia Nuclear — CNEN). The control of the intakes by radionuclides may be accomplished through internal dosimetry techniques. Currently, in Brazil, the number of qualified laboratories in this field is not sufficient to attend the demand in case such requirement is applied by the CNEN. This review presents the current situation in the country and economically feasible alternatives to implement routine programs for internal monitoring of workers occupationally exposed to significant risks of exposure to radionuclides handled in nuclear medicine facilities

**Keywords:** medical physics; nuclear medicine; radiation protection.

## 1. Introdução

Atualmente, no Brasil, existem cerca de 420 instalações autorizadas para a prática de medicina nuclear<sup>1</sup>, o que resulta em um número significativo de profissionais ocupacionalmente expostos que manipulam, rotineiramente, uma grande variedade de radionuclídeos na forma de fontes não seladas. A manipulação de marcadores radioativos pelos profissionais da área de medicina nuclear constitui um risco de incorporação via inalação e ingestão e, conseqüentemente, exposição interna.

As exposições internas e externas podem ocorrer simultaneamente em medicina nuclear, embora exista um

consenso de que a exposição externa é predominante nessa prática. Entretanto, dependendo do cenário e baseado em critérios internacionais de avaliação, o risco de incorporação de radionuclídeos torna necessário que os trabalhadores sejam monitorados de forma individual e periódica, visando manter o controle sobre as doses internas<sup>2</sup>.

Em todos os casos, cabe ao supervisor de proteção radiológica (SPR) da instalação gerenciar o programa de radioproteção dos trabalhadores e, baseado nos resultados das monitorações, adotar as medidas necessárias no sentido de manter os níveis de exposição tão baixos quanto possível. Deve-se ressaltar também que a manutenção de

**Autor correspondente:** Bernardo Maranhão Dantas – Instituto de Radioproteção e Dosimetria – Av. Salvador Allende, s/n – Rio de Janeiro, RJ – E-mail: bmdantas@ird.gov.br

níveis de segurança elevados depende da ação conjunta e participativa entre o SPR e os trabalhadores da instalação<sup>3</sup>.

A avaliação da exposição ocupacional interna requer o uso de metodologias específicas que permitem identificar e quantificar a incorporação e estimar as doses efetivas comprometidas dos trabalhadores<sup>4</sup>.

Entre os radionuclídeos mais usados em medicina nuclear, pode-se destacar  $^{99m}\text{Tc}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{123}\text{I}$ ,  $^{201}\text{Tl}$ ,  $^{18}\text{F}$ , entre outros. O  $^{131}\text{I}$  merece destaque por apresentar o mais elevado coeficiente de dose interna dentre os radionuclídeos rotineiramente manipulados em medicina nuclear. Além disso, esse elemento é volátil, o que aumenta o risco das exposições internas do trabalhador<sup>5</sup>.

## 2. Desenvolvimento

### 2.1. Bases Regulatórias e Situação Atual no Brasil

A Posição Regulatória do Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) n° 3.01/005/2011<sup>6</sup> estabelece que o critério para determinar a necessidade de implantação de planos de monitoração tem como base o *Safety Guide* RS-G- 1.2 da Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA)<sup>2</sup>. A aplicação desse regulamento levaria à exigência de realização rotineira de monitoração interna em todos os trabalhadores que manipulam  $^{131}\text{I}$  em medicina nuclear, criando uma grande demanda por serviços de monitoração interna<sup>7</sup>.

Ocorre que no Brasil existem atualmente apenas cinco laboratórios capacitados a realizar esse tipo de serviço<sup>8,9</sup>, sendo quatro na Região Sudeste e um na Região Nordeste, conforme ilustrado na Figura 1. Os laboratórios disponíveis são:

- Laboratório de Monitoração *In Vivo* (LABMIV/IRD), Rio de Janeiro, RJ.



**Figura 1.** Distribuição geográfica dos laboratórios de dosimetria interna no Brasil.

- Contador de Corpo Inteiro (CCI/Eletronuclear), Angra dos Reis, RJ.
- Laboratório de Monitoração *In Vivo* (LMIV/IPEN), São Paulo, SP.
- Laboratório de Dosimetria Interna (LDI/CDTN), Belo Horizonte, MG.
- Laboratório de Dosimetria Interna *In Vivo* (LDIV/CRCN), Recife, PE.

Além da pouca disponibilidade, apenas o LABMIV do Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD) presta serviços a clientes externos à instituição onde se localiza.

Essa baixa oferta e distribuição regional irregular de laboratórios de monitoração acarretaria um elevado custo aos serviços de medicina nuclear (SMN) caso fosse aplicada, pela CNEN, a exigência de implantação de programas de monitoração interna, de acordo com o estabelecido nas normas de radioproteção vigentes<sup>6</sup>. Além disso, os serviços de monitoração interna existentes teriam dificuldade em atender toda a demanda de monitoração de trabalhadores expostos a fontes abertas de  $^{131}\text{I}$ .

### 2.2. Alternativas Viáveis

Tendo em vista esse cenário, nos últimos 15 anos foram desenvolvidos vários estudos no IRD, propondo a utilização dos equipamentos de diagnóstico disponíveis nos próprios SMN, como alternativas simples e economicamente viáveis para a monitoração interna de profissionais que manipulam fontes abertas de  $^{131}\text{I}$ <sup>7,9-14</sup>.

Em recente estudo desenvolvido por Oliveira et al.<sup>12</sup>, foi proposta a utilização de monitores de contaminação de superfície para a monitoração desses trabalhadores. Esse tipo de equipamento é amplamente utilizado em procedimentos rotineiros executados em todos os SMN, sendo um item de posse obrigatória pelas instalações licenciadas pela CNEN. Nesse estudo foi avaliada a sensibilidade de diferentes modelos de monitores de contaminação de superfície para a monitoração interna de  $^{131}\text{I}$ . Os resultados obtidos mostraram que o uso desse tipo de equipamento na metodologia proposta é adequado para sua aplicação em monitoração ocupacional *in vivo* de tireoide.

Recentemente foi realizado um trabalho visando à disseminação das técnicas de monitoração de tireoide e as metodologias de cálculo de dose interna em um grupo de instalações onde são manipuladas atividades de  $^{131}\text{I}$ , com prioridade para os hospitais públicos onde são realizados procedimentos de iodoterapia<sup>13</sup>.

Nesse trabalho<sup>13</sup> foram implantadas as técnicas desenvolvidas no IRD, visando à utilização dos equipamentos disponíveis nos próprios SMN, isto é, sondas de captação, gama-câmaras e monitores de contaminação de superfície.

### 2.3. Metodologias Propostas

As técnicas de medição e interpretação dos dados de bioanálise são apresentadas aos profissionais envolvidos dos SMN, sendo o SPR o responsável pela execução da rotina de monitoração.

Os materiais utilizados pertencem aos próprios SMN e ao IRD, e são, basicamente, os equipamentos de diagnóstico e radioproteção dos SMN e o simulador de tireoide-pescoço desenvolvido no IRD.

### 2.3.1 Simulador de Tireoide-Pescoço

O simulador de tireoide-pescoço usado para calibração dos equipamentos de detecção disponíveis nos SMN consiste numa peça de papel de filtro recortado no tamanho e formato da tireoide humana, impregnada com solução-padrão de  $^{133}\text{Ba}$  certificada pelo Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes (LNMRI) do IRD. Essa peça é selada com adesivo plástico, fixada em um suporte de acrílico e posicionada em bloco de poliuretano com propriedades tecido-equivalentes, representando um pescoço humano.

Esse simulador foi utilizado em três exercícios de inter-comparação na América Latina e Caribe e um no Brasil, no escopo de projetos de cooperação científica com apoio financeiro da AIEA<sup>9,14</sup>. Atualmente esse simulador vem sendo usado na região como padrão-ouro para a calibração de equipamentos utilizados para monitoração de indivíduos ocupacionalmente expostos (IOEs) em medicina nuclear.

A Figura 2 apresenta as etapas da confecção do simulador de tireoide-pescoço desenvolvido no LABMIV/IRD.

### 2.3.2. Monitor de Contaminação de Superfície

Os monitores de contaminação de superfície são usualmente constituídos por detectores Geiger-Müller, equipamentos estáveis, robustos, de fácil operação, sensíveis à radiação beta e gama e adquiridos a um baixo custo em relação a detectores constituídos por cintiladores sólidos. Sua utilização foi avaliada por Oliveira et al.<sup>13</sup>, tendo sido demonstrada sua adequação para esse tipo de aplicação, especialmente para avaliação de incorporações acidentais (Figuras 3A e 3B).

### 2.3.3. Gama Câmara

A gama câmara (Figura 4) é um equipamento de diagnóstico por imagem amplamente usado na medicina nuclear.

O sistema detecta e localiza espacialmente os fótons emitidos pelos radiofármacos administrados ao paciente. Ela produz imagem dos órgãos do paciente com zonas frias e quentes. Geralmente, as gamas câmaras são constituídas por detectores de cristais de NaI(Tl). A gama câmara pode ser operada no “modo espectro”, permitindo a quantificação de radionuclídeos no órgão de interesse<sup>11</sup>.

### 2.3.4. Captador de tireoide

Este equipamento é utilizado em SMN para diagnóstico de doenças da tireoide por meio da medição da atividade retida no órgão, 24 horas após administração de radioiodo ao paciente. O modelo Captus 3000 (Figura 5) utiliza um



Figura 2. Simulador de tireoide-pescoço desenvolvido no Instituto de Radioproteção e Dosimetria.

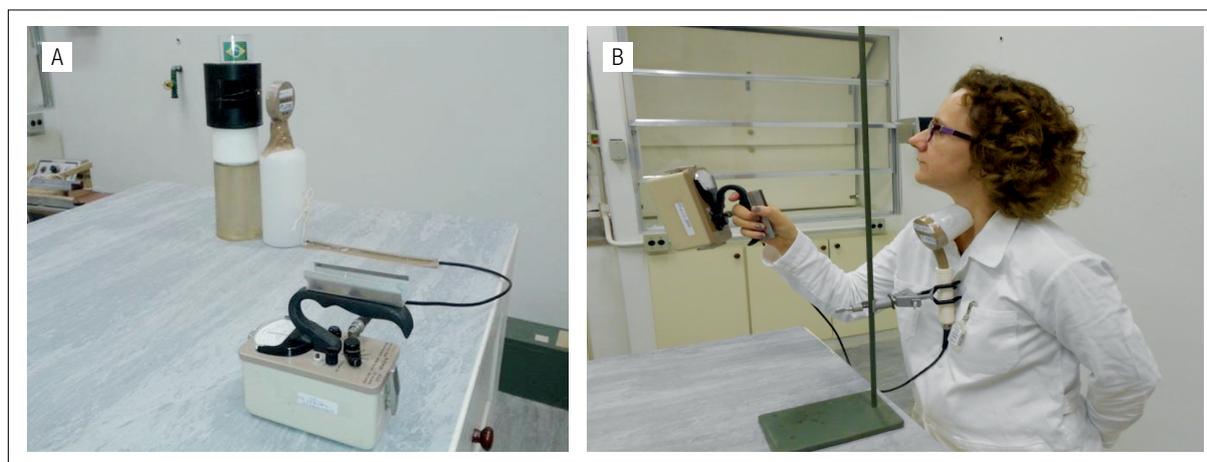


Figura 3. (A) Calibração do detector de contaminação de superfície modelo Eberline E-120 com simulador de tireoide-pescoço; (B) automonitoração *in vivo* de indivíduos ocupacionalmente expostos.



Figura 4. (A) Calibração de gama câmara Philips utilizando simulador de tireoide-pescoço produzido no Instituto de Radioproteção e Dosimetria<sup>11</sup>; (B) monitoração *in vivo* de indivíduos ocupacionalmente expostos.

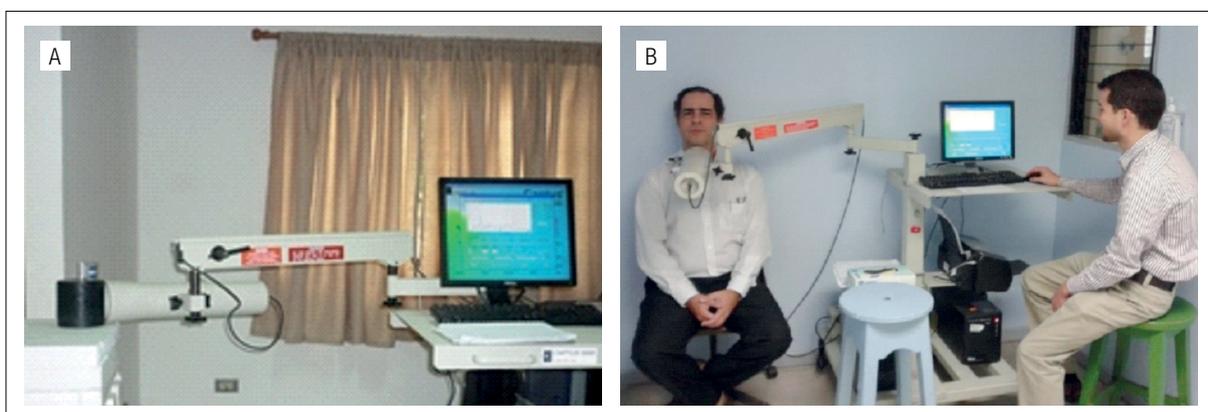


Figura 5. (A) Calibração do captador de tireoide Captus 3000; (B) monitoração *in vivo* de indivíduos ocupacionalmente expostos.

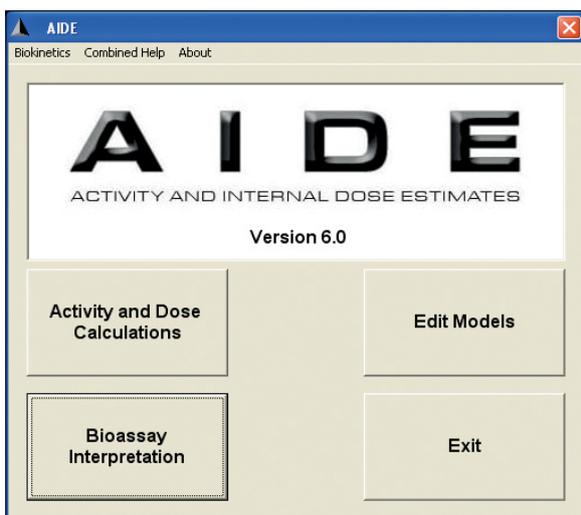


Figura 6. Tela de abertura do *software* AIDE. Os cálculos de incorporação e dose baseiam-se nos modelos biocinéticos e dosimétricos publicados pela International Commission on Radiological Protection.

crystal de cintilação de NaI(Tl), montado em um braço articulado. A aquisição é feita por um analisador multicanal com 1.024 canais, acoplado a um microcomputador. Existem no mercado vários modelos de captador. Todos eles podem ser utilizados para aplicação em monitoração interna. A vantagem desse tipo de equipamento sobre a gama câmara é que ele possui uma blindagem cilíndrica, formando uma colimação entre o detetor e a tireoide, permitindo maior isolamento do ambiente, o que reduz a possibilidade de resultado falso-positivo. Além disso, esse equipamento costuma estar mais disponível para uso não clínico (monitoração ocupacional) do que a gama câmara, o que constitui uma facilidade para implementação de programas de monitoração interna dos trabalhadores em um SMN.

### 2.3.5. Calibração e cálculo de dose interna

A calibração dos sistemas de detecção consiste na determinação de fatores que relacionam a taxa de contagem registrada com a atividade presente no simulador. Esse fator de calibração permite, posteriormente, realizar o cálculo da atividade presente no indivíduo monitorado. Em seguida,

com base na atividade presente na tireoide no momento da monitoração, são estimadas a incorporação e a dose efetiva comprometida resultante. A estimativa da dose interna é realizada de forma automatizada, com o auxílio do software AIDE<sup>15</sup> (Figura 6). Os cálculos são realizados com base em modelos biocinéticos e dosimétricos recomendados pela International Commission on Radiological Protection (ICRP)<sup>5</sup> e adotados nos regulamentos técnicos da CNEN<sup>6</sup>.

A sensibilidade das técnicas é avaliada com base na atividade mínima detetável (AMD), a fim de demonstrar sua aplicabilidade em monitoração ocupacional. O parâmetro de avaliação é a capacidade de detectar atividade *in vivo* que resulte em dose efetiva comprometida igual ou inferior ao nível de registro, ou seja, 1 mSv. Para isso, calcula-se, inicialmente, a incorporação mínima detectável (IMD). O parâmetro de cálculo, “fração de retenção”,  $m(t)$ , pode ser gerado pelo software AIDE. Em seguida, calcula-se a dose efetiva mínima detectável (DEMD) a partir dos valores de IMD, considerando-se a frequência de monitoração a ser adotada no Plano de Proteção Radiológica da Instalação.

### 3. Discussão

As alternativas técnicas e metodológicas disponíveis fornecem subsídios para a implantação de programas rotineiros de monitoração interna.

Entretanto, atualmente, no Brasil, o fato é que esse tipo de controle de exposições ocupacionais internas tem sido realizado apenas em alguns poucos SMN, e de forma não periódica, única e exclusivamente por iniciativa dos próprios SPR. Isso ocorre, possivelmente, pelo fato de o órgão regulador, a CNEN, não incluir, em seus programas de inspeção, a exigência de que a monitoração interna seja realizada de forma sistemática. Tal exigência, conforme comentado anteriormente, não seria viável, já que acarretaria altos custos para as instalações, considerando a frequência quinzenal de monitoração recomendada pela AIEA.

Em outros países da América Latina e Caribe<sup>16-18</sup>, na América do Norte<sup>19-21</sup>, Europa<sup>22-24</sup> e Ásia<sup>25,26</sup>, a situação da monitoração interna em medicina nuclear é bastante semelhante à do Brasil. Em alguns países, assim como no Brasil, foram desenvolvidas metodologias de monitoração utilizando os recursos disponíveis nas próprias clínicas. Em outros, a proposta segue um modelo de prestação de serviço de monitoração centralizada em laboratórios tecnicamente capacitados e especializados em técnicas de dosimetria interna. A diferença está principalmente no estágio de envolvimento das instalações e na capacidade dos laboratórios de referência darem apoio técnico para a implantação dos procedimentos de controle ocupacional.

### 4. Conclusão

Os procedimentos de monitoração *in vivo* propostos podem ser executados por funcionários capacitados em SMN e,

assim, além de fornecer subsídios para o controle da exposição interna, promovem a participação do pessoal efetivo no processo de monitoração, estimulando a cultura de segurança relacionada a essa prática.

A implantação das técnicas de automonitoração permitem que o SMN atenda aos requisitos normativos da CNEN no tocante ao controle das exposições internas por meio de procedimentos simples e economicamente viáveis.

Em uma etapa posterior, espera-se que os procedimentos de monitoração interna sejam disseminados nos SMN e, assim, venham a contribuir para melhorar o controle de exposições dos trabalhadores que manipulam fontes abertas em instalações médicas no Brasil.

### Referências

1. Comissão Nacional de Energia Nuclear. Instalações Autorizadas [Internet]. [acessado em 20 jan. 2019] Disponível em: <http://www.cnen.gov.br/index.php/instalacoes-autorizadas-2>
2. International Atomic Energy Agency. Assessment of Occupational Exposure due to Intakes of Radionuclides. Safety Guide No. RS-G-1.2. International Atomic Energy Agency; 1999.
3. Comissão Nacional de Energia Nuclear. Diretrizes Básicas de Radioproteção. Norma CNEN-NE-3.01. Rio de Janeiro: Comissão Nacional de Energia Nuclear; 2014.
4. International Atomic Energy Agency. Direct methods for measuring radionuclides in the human body. Safety Series n. 115. International Atomic Energy Agency; 1996.
5. International Commission on Radiological Protection. Individual Monitoring for Internal Exposure of Workers. ICRP Publication 78. 1998;27(3-4).
6. Comissão Nacional de Energia Nuclear. Critérios para cálculo de dose efetiva, a partir da monitoração individual. Posição Regulatória 3.01/005. Brasil: Comissão Nacional de Energia Nuclear; 2011.
7. Lucena EA, Rebelo AMO, Araújo F, Sousa WO, Dantas AL, Dantas BM, et al. Evaluation of Internal Exposure of Nuclear Medicine Staff Through *in Vivo* and *in Vitro* Bioassay Techniques. *Radiat Prot Dosimetry*. 2007;127(1-4):465-8. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncm365>
8. Dantas BM, Dantas ALA, Acar MED, Cardoso JC, Julião LM, Lima MF, et al. Accreditation and Training on Internal Dosimetry in a Laboratory Network in Brazil: An Increasing Demand. *Radiat Prot Dosimetry*. 2010;114(1-4):124-9. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncq412>
9. Dantas BM, Cardoso JS, Dantas ALA, Lucena EA, Ramos MAP, Sá MS, et al. Intercomparação Nacional de Medição *In Vivo* de Iodo-131 na Tireoide – Projeto TC IAEA BRA 9055. *Scientia Plena*. 2013;9(8).
10. Vidal MVS, Dantas ALA, Dantas BM. A Methodology for Auto-Monitoring of Internal Contamination by 131I in Nuclear Medicine Workers. *Radiat Prot Dosimetry*. 2007;125(1-4):483-7. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncm151>
11. Dantas BM, Lucena EA, Dantas ALA, Araújo F, Rebelo AM, Terán M, et al. A Protocol for the Calibration of Gamma Cameras to Estimate Internal Contamination in Emergency Situations. *Radiat Prot Dosimetry*. 2007;127(1-4):253-7. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncm278>
12. Oliveira SM, Assis JC, Dantas ALA, Dantas BM. Avaliação da sensibilidade de monitores de contaminação para aplicação em monitoração da exposição interna de trabalhadores em medicina nuclear. *Braz J Radiat Sci*. 2015;3(1A):1-12. <https://doi.org/10.15392/bjrs.v3i1A.95>
13. Oliveira SM, Dantas ALA, Dantas BM. Dantas Implementation of internal monitoring programs for workers occupationally exposed by 131I in nuclear medicine services in Brazil. *Braz J Radiat Sci*. 2018;6(2A). <https://doi.org/10.15392/bjrs.v6i2%20-%20A.439>

14. Dantas BM, Dantas ALA, Cruz-Suarez R. IAEA intercomparison exercises of thyroid measurement: Performance of Latin American and Caribbean laboratories. *Radiat Prot Dosimetry*. 2016;170(1-4):67-9. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncv455>
15. Bertelli L, Melo D.R, Lipsztein J, Cruz-Suarez R. AIDE – Internal Dosimetry Software. *Radiat Prot Dosimetry*. 2008;130(3):358-67. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncn059>
16. Astudillo R, Hermosilla A, Díaz-Londoño G, García M. Assessing the need for a routine monitoring program in three Nuclear Medicine centers in Chile. *Radioprotection*. 2015;50(2):141-4. <https://doi.org/10.1051/radiopro/2014036>
17. Diaz-Londoño G, García M, Astudillo R, Hermosilla A. Development and implementation of tools for self-monitoring of staff exposed to <sup>131</sup>I in nuclear medicine centres of Chile. *Radiat Prot Dosimetry*. 2017;173(4):301-7. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncv554>
18. Ramírez EM, Salas-Ramírez M. Calibración de una sonda de captación para la monitorización del Personal Ocupacionalmente Expuesto. *Alasbim J*. 2015.
19. U.S. Nuclear Regulatory Commission. Draft regulatory guide DG-8050. Applications of bioassay for I-125 and I-131. Office of Nuclear Regulatory Research; 2011.
20. Canadian Nuclear Safety Commission. Regulatory Document RD-58: Thyroid Screening for Radioiodine. Catalogue number: CC173-3/4-58E-PDF. Canadian Nuclear Safety Commission; 2008.
21. Lorah B, King S, Achey B. A Reevaluation of the Procedures Used to Perform Thyroid Bioassay on Nuclear Medicine Personnel Following Radioiodine Handling Procedures [Internet]. 2012 [acessado em 05 jan. 2019]. Disponível em: [www.health-physics.com](http://www.health-physics.com)
22. Baechler S, Stritt N, Bochud FO. Individual monitoring of internal exposure for nuclear medicine workers in Switzerland. *Radiat Prot Dosimetry*. 2011;144(1-4):464-7. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncq350>
23. Bento J, Teles P, Neves M, Santos AI, Cardoso G, Barreto A, et al. Study of nuclear medicine practices in Portugal from an internal dosimetry perspective. *Radiat Prot Dosimetry*. 2012;149(4):438-43. <http://doi.org/10.1093/rpd/ncr319>
24. Brudecki K, Kluczevska-Gaika A, Mróz T, Jarzab B, Zagrodzki P, Janowski P. <sup>131</sup>I internal contamination and committed dose assessment among nuclear medicine medical personnel. *Radiat Prot Dosimetry*. 2018;179(3):275-81. <http://doi.org/10.1093/rpd/ncx274>
25. Kim S-T, Yoo J-R, Park JM. An investigation into internal exposure management needs for nuclear medicine practitioners and temporary visitors through I-131 internal dose assessment: Focusing on large hospitals in South Korea. *PLoS One*. 2018;13(12):e0209244. <https://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0209244>
26. Wang H-B, Zhang Q-Z, Zhang Z, Hou C-S, Li W-L, Yang H, et al. Necessity of Internal Monitoring for Nuclear Medicine Staff in a Large Specialized Chinese Hospital. *Int J Environ Res Public Health*. 2016;13(4):418. <http://doi.org/10.3390/ijerph13040418>