

## Monitoração Ocupacional Interna *In Vivo*: Aspectos Técnicos para o Controle de Qualidade do Sistema de Detecção

C. M. Oliveira<sup>1,2</sup>; B. M. Dantas<sup>3</sup>; T. V. da Silva<sup>1</sup>; E. A. Lucena<sup>3</sup>; T. C. Alonso<sup>1,2</sup>,  
T. A. da Silva<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Serviço das Radiações Aplicadas à Saúde (SERAS)/Laboratório de Dosimetria Interna (LDI/SERAS), Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear(CDTN/CNEN), 31270-901, Belo Horizonte-MG, Brasil*

<sup>2</sup>*Departamento de Engenharia Nuclear (DEN) – Escola de Engenharia/Pós-Graduação em Ciências e Técnicas Nucleares (PCTN), Universidade Federal de Minas Gerais(UFMG), 31270-901, Belo Horizonte-MG, Brasil*

<sup>3</sup>*Divisão de Dosimetria/Laboratório de Medições In Vivo (LABMIV), Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD/CNEN), 22783-127, Rio de Janeiro-RJ, Brasil*

cmo@cdtn.br;

(Recebido em 20 de maio de 2013; aceito em 29 de agosto de 2013)

O desenvolvimento e a implantação de uma metodologia de monitoração ocupacional interna exigem que o laboratório possua técnicas consistentes e reproduzíveis de calibração do seu sistema de detecção. Protocolos de controle de qualidade devem ser estabelecidos de modo a reportar resultados confiáveis de incorporação e estimativa da dose interna. A rede Brasileira de laboratórios de dosimetria interna inclui cinco laboratórios de monitoração *in vivo* que ainda não possuem protocolos uniformizados para a realização do controle de qualidade dos sistemas de detecção. Assim, visando à padronização das técnicas relacionadas ao controle de qualidade das medições *in vivo* realizadas por estes laboratórios, o Guia “*Procedimiento para Determinación In Vivo de Radionuclideos en El Cuerpo Humano*”, foi elaborado no escopo do projeto IAEA RLA 0049. Este Guia foi revisado e comparado com os procedimentos atualmente efetuados no Laboratório de Dosimetria Interna do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (LDI/CDTN). O Guia sugere técnicas de controle de qualidade, incluindo: a calibração em energia e resolução, a calibração em eficiência, e a determinação da atividade mínima detectável (AMD). As metodologias utilizadas para o controle de qualidade do sistema de detecção do LDI/CDTN demonstraram ser adequadas aos procedimentos estabelecidos no Guia IAEA. Este trabalho visa apresentar e disponibilizar metodologias para o controle de qualidade rotineiro aplicável aos laboratórios de monitoração interna *in vivo*. Estas metodologias, quando adequadamente implementadas, constituem etapa essencial para a implantação de um sistema de gestão da qualidade e acreditação do laboratório de acordo com a norma *ABNT ISO/IEC 17025*.

Palavras-chave: monitoração interna *in vivo*, contador de corpo inteiro, controle de qualidade

### ***In Vivo* Internal Occupational Monitoring: Technical Aspects for Quality Control of the Detection Systems**

The development and implementation of a methodology for internal occupational monitoring requires that the laboratory has consistent and reproducible calibration techniques for its detection system. Quality control protocols should also be established for reporting reliable results of intakes and internal dose assessments. The Brazilian network of internal dosimetry laboratories includes five *in vivo* monitoring laboratories that do not have yet standardized protocols for performing quality control of their detection systems. In order to standardize techniques related to the quality control of *in vivo* measurements, the Guide “*Procedimiento para Determinación In Vivo de Radionuclideos en el Cuerpo Humano*”, was elaborated under the scope of the Project IAEA RLA 0049. This Guide was reviewed and compared with procedures currently adopted in the Internal Dosimetry Laboratory of the Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (LDI/CDTN). The Guide suggests techniques for quality control, including: energy calibration and resolution, efficiency calibration and determination of minimum detectable activity (MDA). The methodologies used for quality control of the LDI/CDTN detection system were demonstrated to be in accordance with the procedures established in the IAEA Guide. This work aims to present and provide methodologies for routine quality control of the *in vivo* monitoring laboratories. These methodologies, when properly implemented, constitute an essential stage for the implementation of a quality management system and laboratory accreditation according to the *ABNT ISO/IEC 17025* standard.

Keywords: *in vivo* internal monitoring, whole-body counter, quality control

## 1. INTRODUÇÃO

O Plano de Proteção Radiológica das instalações licenciadas pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), sob responsabilidade do Serviço de Radioproteção, deve incluir a avaliação dos riscos de exposições interna e externa. Uma ferramenta essencial nesta avaliação é o programa de monitoração individual que visa controlar as exposições e garantir a manutenção das condições de segurança radiológica. A Norma CNEN NE-3.02 estabelece que a monitoração individual e os procedimentos relativos ao controle das incorporações devem atender a requisitos que priorizem a segurança das instalações, minimizando a possibilidade de liberação de material radioativo; a obrigatoriedade de uso de equipamentos de proteção individual, quando exigidos pelo Serviço de Radioproteção; e a monitoração interna anual ou sempre que houver risco de incorporação acidental [1]. Dessa forma, o plano de radioproteção deve incluir técnicas de bioanálise *in vivo* e/ou *in vitro* para avaliação da incorporação de radionuclídeos pelos indivíduos ocupacionalmente expostos (IOEs). Estas técnicas devem ser executadas, quando aplicáveis, em laboratórios autorizados pela CNEN.

A Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA) por meio do documento *Safety Series* N° 115 [2], e a CNEN, na Posição Regulatória 3.01/004 da Norma NN-3.01 [3], ressaltam a possibilidade de incorporação devido à manipulação de fontes não seladas. Dessa maneira é mandatório que as instituições licenciadas pela CNEN avaliem as doses internas em todos os IOEs sujeitos à incorporação de radionuclídeos em áreas controladas, onde há manipulação de fontes não seladas, e nas quais exista a possibilidade de doses efetivas superiores a 1 mSv por ano.

Para se desenvolver e implantar uma metodologia de monitoração ocupacional interna é necessário que o laboratório possua técnicas consistentes e reprodutíveis de calibração do sistema de detecção (detectores e eletrônica associada) e estabeleça uma rotina de controle de qualidade, de modo a reportar resultados confiáveis da incorporação e da estimativa da dose interna. O estabelecimento desses métodos deve obedecer a parâmetros técnicos e administrativos, para que sejam adequadamente documentados, padronizados e executados. Estes documentos compõem os procedimentos técnicos que devem ser implementados, buscando atender normas de gestão da qualidade a fim de harmonizar as práticas de monitoração realizadas entre os diferentes laboratórios de dosimetria interna.

Uma importante contribuição neste sentido é o Projeto *IAEA-BRA 9055 “Establishing a National Laboratory Network for Internal Individual Monitoring”*, que visa, principalmente, fortalecer a rede de laboratórios de dosimetria interna do Brasil, padronizar e disseminar técnicas de bioanálise *in vivo* e *in vitro*, assim como metodologias destinadas ao cálculo da dose interna, fornecendo subsídios para a implementação do sistema de gestão da qualidade com base na norma *ABNT ISO/IEC 17025* [4,5]. No Brasil, cinco laboratórios que executam a monitoração interna *in vivo* compõem esta rede: o Laboratório de Monitoração *In Vivo* do Instituto de Radioproteção e Dosimetria (LABMIV-IRD/CNEN) no Rio de Janeiro; o Contador de Corpo Inteiro da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto (CCI/Eletronuclear) em Angra dos Reis, o Laboratório de Monitoração *In Vivo* do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (LMIV-IPEN/CNEN) em São Paulo, o Laboratório de Dosimetria Interna *In Vivo* do Centro Regional de Ciências e Técnicas Nucleares do Nordeste (LDIV-CRCN-NE/CNEN) em Recife e o Laboratório de Dosimetria Interna do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (LDI-CDTN/CNEN) em Belo Horizonte. O objetivo desta rede consiste em fortalecer a capacidade metrológica dos laboratórios nacionais e capacitar os profissionais envolvidos na monitoração ocupacional interna, de forma a prestar um serviço de qualidade à sociedade.

A rede de laboratórios de dosimetria interna individual torna-se sustentável por meio de ações periódicas que visam à capacitação dos profissionais. A capacitação profissional engloba cursos e treinamentos, trabalhos em conjunto e promoção de exercícios de intercomparação, de maneira a garantir a confiabilidade e homogeneidade dos resultados provenientes de diferentes laboratórios. Dessa maneira, a avaliação da competência do laboratório pode ser realizada, facilitando a otimização dos processos e conduzindo à padronização das técnicas, garantindo a qualidade do serviço de monitoração e, conseqüentemente, a confiabilidade dos resultados reportados.

Este trabalho tem o objetivo de disponibilizar metodologias de controle de qualidade rotineiras a serem executadas a fim de manter a confiabilidade dos sistemas de detecção e, conseqüentemente, das medições *in vivo* realizadas. Estes procedimentos constituem etapa essencial de um sistema de gestão da qualidade de acordo com os requisitos da norma *ABNT ISO/IEC 17025*, necessário ao processo de acreditação do laboratório.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os procedimentos adotados para o controle de qualidade do sistema de detecção dos laboratórios de medição *in vivo* baseiam-se nas recomendações apresentadas no Guia “*Procedimiento para Determinación In Vivo de Radionuclídeos em El Cuerpo Humano*” [6], elaborado no escopo do Projeto *IAEA RLA 0049* [7].

Os procedimentos estabelecidos neste Guia foram comparados com aqueles atualmente realizados no LDI/CDTN, onde se efetua rotineiramente a monitoração interna de trabalhadores expostos ao  $^{18}\text{F}$  na forma de  $^{18}\text{FDG}$ , devido ao risco de incorporação durante o processo de produção deste radiofármaco.

Os procedimentos contidos no Guia da *IAEA* são parte de um conjunto de medidas necessárias para manter a qualidade e a confiabilidade da monitoração interna *in vivo* realizada nos laboratórios. De acordo com o documento, a calibração dos sistemas de detecção de um laboratório de medições *in vivo* é executada por meio dos seguintes procedimentos:

- Calibração em energia e resolução;
- Calibração em eficiência, utilizando fontes radioativas de referência;
- Determinação da Atividade Mínima Detectável (AMD).

### *Calibração em Energia e Resolução*

A calibração em energia estabelece uma relação entre a energia do radionuclídeo e o canal correspondente ao seu fotopico, o que permite a identificação de radionuclídeos em função da energia dos seus fótons. Recomenda-se que as fontes radioativas disponíveis no laboratório a serem utilizadas na calibração possuam energias no intervalo de interesse (15 a 2000 keV). As fontes mais utilizadas são:  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{152}\text{Eu}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{22}\text{Na}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{133}\text{Ba}$  e  $^{60}\text{Co}$ . É necessário registrar a taxa de contagem proveniente da radiação de fundo natural (*Background*), o que constitui um dos parâmetros para o cálculo da sensibilidade da técnica de medição.

Após as medições, tal procedimento consiste em coletar os espectros das fontes utilizadas (ao menos quatro fotopicos), identificando a posição do canal do vértice do fotopico para cada radionuclídeo a fim de calcular a Resolução para cada energia, segundo a expressão 1:

$$R(\%) = \frac{FWHM}{Cv} \times 100 \quad (1)$$

onde:

FWHM = largura à meia altura do fotopico;

Cv = canal correspondente ao vértice do fotopico;

Desta forma, gráficos relacionando Energia x Canal e outro, Resolução x Energia são produzidos e, posteriormente, determinam-se as equações de ajuste para cada um deles.

A seleção da região de interesse (RDI) é normalmente efetuada por análise visual, assumindo-se os canais inicial e final que definem o fotopico gerado pelo radionuclídeo de interesse. Alternativamente, o Guia sugere a aplicação da expressão 2:

$$N(\text{Canais}) = \frac{1,67 \times R \times E}{m} \quad (2)$$

onde:

N = número de canais do fotopico;  
 R = resolução do fotopico;  
 E = energia do radionuclídeo (keV);  
 m = valor de energia por canal (keV/canal).

Tal expressão considera o fotopico com uma distribuição gaussiana, assumindo um nível de confiança de  $2\sigma$ .

### *Calibração em Eficiência*

A calibração do sistema é específica para um determinado detector e eletrônica associada, devendo ser realizada pelo menos uma vez ao ano, ou quando ocorrem modificações nas condições de medição, como, por exemplo, substituição ou manutenção nos componentes eletrônicos. O tempo de contagem a ser adotado deve gerar um número de contagens superior a 10.000, resultando assim em um desvio padrão da contagem inferior a 1%. Além disso, recomenda-se que todos os espectros de contagem e dados obtidos durante a calibração do sistema de detecção sejam armazenados em dispositivos secundários.

A eficiência de detecção é definida como a relação entre as áreas líquidas (taxas de contagens líquidas) dos fotopicos identificados em um espectro e as atividades dos radionuclídeos corrigidas para o dia da calibração. Por meio deste procedimento é possível quantificar o radionuclídeo presente em um indivíduo.

A calibração dos detectores é realizada por meio de simuladores preenchidos com soluções radioativas padrão uniformemente distribuídas, fornecidas por laboratórios de metrologia certificados. A composição do simulador deve reproduzir as propriedades de atenuação e espalhamento dos fótons nos tecidos vivos e aproximar-se tanto quanto possível em forma e dimensão do corpo ou órgão de interesse a ser monitorado. Usualmente, para calibração de radionuclídeos emissores de fótons de alta energia pode-se utilizar água como meio de dispersão em uma fonte líquida padrão [8].

Os simuladores devem ser posicionados em geometrias de contagem padronizadas, definidas em função da distribuição do radionuclídeo no corpo humano, a fim de reproduzir, o mais fielmente possível, a medição de um indivíduo. Coleta-se então o espectro de cada radionuclídeo de interesse, seleciona-se a RDI do fotopico e calcula-se a taxa de contagem, conforme expressão 3, a seguir:

$$C = \frac{N}{t} (cps) \quad (3)$$

onde:

C = Taxa de contagem;  
 N = número de contagens na RDI do fotopico;  
 t = tempo de contagem (s).

Calcula-se então a eficiência de detecção do sistema para cada geometria e radionuclídeo, de acordo com a expressão:

$$n = \frac{C_{simulador} - C_{BG}}{A_p \times Y} \quad (4)$$

onde:

$C_{simulador}$  = taxa de contagem do simulador;

$C_{BG}$  = taxa de contagem da radiação de fundo (BG);  
 $A_p$  = Atividade contida no simulador (Bq);  
 $Y$  = intensidade de emissão gama.

A partir do ajuste dos valores de eficiência para cada radionuclídeo, determina-se a relação Eficiência x Energia.

É importante ressaltar que, para as medições de radionuclídeos depositados em órgãos ou tecidos específicos, é recomendável uma calibração específica para cada radionuclídeo em particular. Nestes casos, em vez de uma curva de calibração, é calculado um fator de calibração, expresso em taxa de contagem por atividade ( $\text{cps} \cdot \text{Bq}^{-1}$ ), válido somente para o radionuclídeo em questão e para a geometria de contagem de interesse, por exemplo,  $^{125}\text{I}$  e  $^{131}\text{I}$  na tireoide;  $^{241}\text{Am}$  no crânio, entre outras.

#### Determinação da Atividade Mínima Detectável (AMD)

O valor da AMD expressa a capacidade do sistema de detecção em diferenciar as contagens correspondentes a um indivíduo contaminado e um não contaminado. Este parâmetro deve ser calculado para cada geometria de contagem específica e para cada radionuclídeo de interesse, de acordo com a expressão:

$$AMD(\text{Bq}) = \frac{3 + 4,65 \times \sqrt{N}}{Tc \times Fc} \quad (5)$$

onde:

$N$  = contagem da radiação de fundo (BG);  
 $Tc$  = tempo de medição da radiação de fundo (BG);  
 $Fc$  = Fator de calibração ou eficiência de detecção;

#### Laboratório de Dosimetria Interna (LDI/CDTN)

O LDI/CDTN efetua o controle de qualidade do sistema de detecção periodicamente.

A calibração em energia é realizada com fontes de  $^{22}\text{Na}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  e  $^{60}\text{Co}$ , com energias de 511, 662, 1174 e 1333 keV, respectivamente. Estes radionuclídeos cobrem a faixa de energia de interesse dos radionuclídeos avaliados no LDI/CDTN, com destaque para o  $^{18}\text{F}$ , um emissor de pósitrons que gera a emissão de fótons de 511 keV, decorrentes do processo de aniquilação. O espectro obtido por estas fontes utilizando detector NaI(Tl) 3" x 3" é apresentado na Figura 1, onde se observa a presença dos quatro fotopicos gerados pelas fontes de  $^{22}\text{Na}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  e  $^{60}\text{Co}$ .

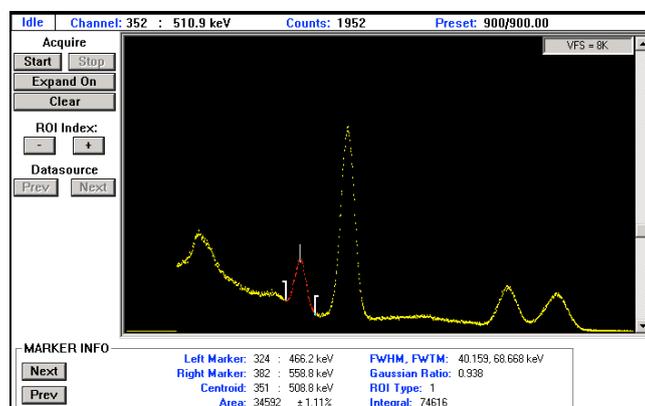


Figura 1: Espectro gama obtido com as fontes de  $^{22}\text{Na}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  e  $^{60}\text{Co}$  no LDI/CDTN

A calibração em energia é realizada no mínimo mensalmente, e sempre antes das medições *in vivo* solicitadas. O software *GENIE 2000* permite que a calibração em energia seja efetuada de forma automática.

O software permite também, por meio do controle digital sobre o ganho do amplificador e a tensão aplicada à fotomultiplicadora, o posicionamento dos respectivos fotopicos dos radionuclídeos utilizados na calibração em um determinado canal predeterminado correspondente à sua energia. A partir de espectro gama obtido, é possível relacionar a energia do radionuclídeo em questão ao canal correspondente ao seu fotopico. Assim, determina-se a relação Canal x Energia, permitindo a determinação dos radionuclídeos emissores de fótons na faixa de energia de interesse.

A medição da taxa de contagem da radiação de fundo é efetuada com maior frequência, no mínimo mensalmente, a fim de se manter o controle de *background* (BG) da sala do LDI.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 apresenta a variação da taxa de contagem (cps) da radiação de fundo ambiente na região de interesse do  $^{18}\text{F}$  (511 keV) no LDI/CDTN, em três medições realizadas nos meses de janeiro e fevereiro de 2013.

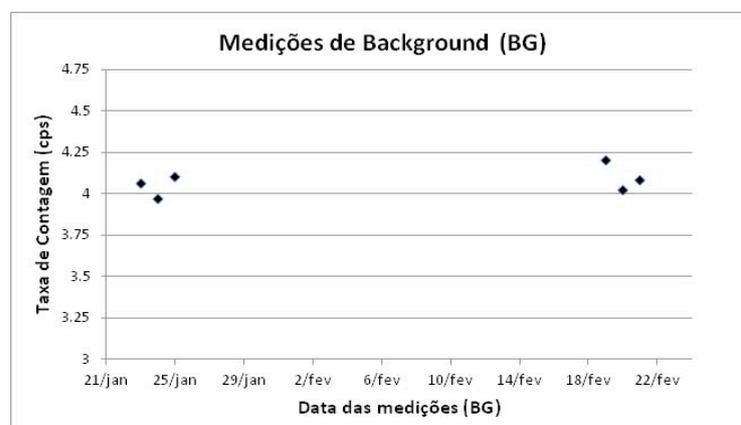


Figura 2: Taxa de contagem de Background na sala do LDI/CDTN

As taxas de contagem de BG do LDI são reduzidas em relação ao ambiente normal devido à presença da blindagem de chumbo do contador de corpo inteiro, conforme ilustrado na Figura 3. É importante ressaltar que baixos níveis de radiação de fundo ambiente são necessários para se atingir a sensibilidade adequada para monitoração *in vivo* ocupacional.

A diferença percentual entre a menor e a maior taxa de contagem (3,97 e 4,08 cps) registrada, respectivamente, nos meses de janeiro e fevereiro foi de 2,7%. Esta flutuação é aceitável para esta aplicação e demonstra a estabilidade do sistema de detecção. No entanto, é importante mencionar que a taxa de contagem obtida em qualquer medição pode variar em função da manutenção no sistema eletrônico associado e/ou após uma nova calibração em energia. Por isso, é essencial que o controle de BG seja executado rotineiramente e incluído nos procedimentos de controle de qualidade, como também no sistema de gestão de qualidade do laboratório.



Figura 3: Contador de Corpo Inteiro LDI/ CDTN

O valor médio da taxa de contagem de BG no período da realização das medições *in vivo* é utilizado para avaliar a radiação de fundo ambiente local, pois influencia a determinação da sensibilidade do sistema de detecção, como apresentado na Figura 2. Tal valor resultou em  $4,1 \pm 0,07$  cps.

Destaca-se o fato que, independente do valor numérico absoluto da taxa de contagem de BG, é importante que o nível de radiação de fundo do laboratório seja bem conhecido, pois, a partir dele, é possível identificar alterações no sistema de detecção e na eletrônica associada.

A Figura 4 apresenta o resultado da calibração Eficiência x Energia, realizada no detector NaI(Tl) 6" x 4" do LDI/CDTN.

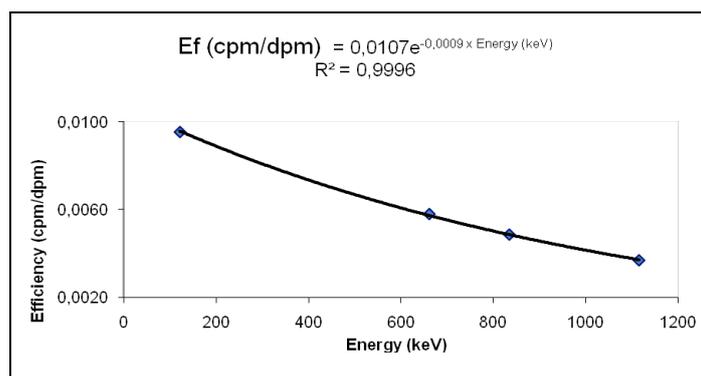


Figura 4: Curva de calibração em eficiência e equação de ajuste exponencial do detector NaI(Tl) 6" x 4" do Contador de Corpo Inteiro do LDI/CDTN na geometria de tórax [8]

A partir da equação de ajuste que expressa a razão entre a taxa de contagem e a taxa de desintegração (Bq), é possível quantificar o radionuclídeo presente no corpo do indivíduo monitorado na faixa de energia entre 100 e 1200 keV.

No caso da metodologia de monitoração interna de  $^{18}\text{F}$  na forma de  $^{18}\text{FDG}$ , foi calculado um fator de calibração específico, utilizando a geometria de contagem de crânio. Esta geometria de contagem foi escolhida devido à alta absorção de  $^{18}\text{FDG}$  pelo cérebro. Esta metodologia foi desenvolvida no Laboratório de Monitoração *In Vivo* do IRD [10] e implementada no Laboratório de Dosimetria Interna do CDTN e, a seguir, no Laboratório de Dosimetria *In Vivo* do CRCN-NE [11].

A Tabela 1 apresenta os fatores de calibração obtidos em cada um dos laboratórios e os respectivos valores de atividade mínima detectável (AMD).

Tabela 1: Fatores de Calibração obtidos para  $^{18}\text{F}$  na geometria de cérebro

	Fatores de Calibração (cps.Bq <sup>-1</sup> )	AMD(Bq)
CDTN	0,0222 ± 0,0002	16
CRCN-NE	0,0218 ± 0,0003	37
IRD	0,0123 ± 0,0001	7,5

Os fatores de calibração permitem determinar a atividade presente no corpo do indivíduo no momento da medição, unicamente a partir da taxa de contagem líquida obtida pela medição *in vivo*. A taxa de contagem líquida é obtida subtraindo a taxa de contagem do IOE pela taxa de contagem de indivíduos não expostos. Por isso, é importante que o laboratório realize regularmente medições de indivíduos não expostos aos radionuclídeos de interesse. Os espectros de contagem obtidos serão registrados e arquivados, e utilizados não somente para a estimativa da incorporação e da dose efetiva comprometida do IOE, como também para a avaliação da sensibilidade do sistema de detecção em questão.

A sensibilidade do sistema de detecção é obtida através do cálculo da Atividade Mínima Detectável (AMD). No LDI/CDTN, a AMD é calculada de acordo com a expressão sugerida no Guia da IAEA, utilizando-se as taxas de contagens provenientes de indivíduos não expostos. A Figura 5 apresenta as taxas de contagens obtidas por meio da medição de 11 indivíduos não expostos ao  $^{18}\text{F}$ , na região de interesse do fotopico de 511 keV, utilizando-se o detector NaI(Tl) 3" x 3".

Figura 5: Taxas de contagens de indivíduos não expostos ao  $^{18}\text{F}$ 

A partir dos resultados apresentados na Figura 5, é calculada a taxa de contagem média dos indivíduos não expostos. O valor médio neste caso foi de  $4,16 \pm 0,01$  cps; sendo este valor utilizado para a estimativa da incorporação e da dose interna no LDI/CDTN.

É importante ressaltar ainda que o valor médio da taxa de contagem dos indivíduos não expostos apresentou-se superior ao valor médio da taxa de contagem média de BG. Este fato é justificado pela presença natural do elemento radioativo  $^{40}\text{K}$  no corpo humano [12].

#### 4. CONCLUSÃO

Este trabalho apresenta os principais aspectos que contribuem para a gestão da qualidade do sistema de detecção quando se realiza a monitoração interna *in vivo*. A qualidade de cada etapa do processo de calibração do sistema de detecção é imprescindível para a obtenção de resultados confiáveis na monitoração. Ressalta-se que a frequência de realização destes procedimentos pode ser estabelecida de acordo com o fluxo de medições realizadas no laboratório, ou quando ocorrem alterações significativas, como por exemplo, substituição de componentes, interrupção no fornecimento de energia elétrica ou flutuações na tensão aplicada à eletrônica associada, verificadas por meio de variações significativas das taxas de contagens em relação àquelas

registradas no mesmo período. Por este motivo é importante que se realize medições de BG com maior frequência, visando avaliar a resposta e a estabilidade do sistema de detecção.

As metodologias utilizadas no LDI/CDTN são compatíveis com o Guia da IAEA e devem ser rotineiramente aplicadas visando a padronização dos procedimentos de controle de qualidade e das técnicas de medição *in vivo*. Este trabalho poderá ser utilizado como base para a implantação da gestão de qualidade dos laboratórios que compõem a rede de dosimetria interna buscando manter a credibilidade e excelência nos resultados fornecidos.

## 5. AGRADECIMENTOS

Cássio Miri Oliveira agradece à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de doutorado. A MRA Indústria de Equipamentos Eletrônicos Ltda pelo suporte financeiro. Este trabalho integra o projeto do INCT – Metrologia das Radiações em Medicina.

- 
1. COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. *Serviços de Radioproteção*. CNEN-NE-3.02. Resolução 10/88. Agosto/1988.
  2. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources*. Safety Series No. 115 IAEA. Vienna, 1996.
  3. COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. *Restrição de dose, Níveis de Referência Ocupacionais e Classificação de Áreas*. Posição Regulatória 3.01/004. 2011.
  4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO/IEC 17025. Requisitos Gerais para a Competência de Laboratórios de Ensaio e Calibração. 2º edição. 2005.
  5. Dantas, B. M., Dantas A. L. A., Acar, M. E. D., Cardoso, J. C. S., Julião, L. M. Q. C., Lima, M. F., Taddei, M. H. T., Arine, D. R., Alonso, T. C., Ramos, M. A. P., Fajgelj, A. *Accreditation and Training on Internal Dosimetry in a Laboratory Network in Brazil: an Increasing Demand*. Radiation Protection Dosimetry. 144:124-129. 2011.
  6. Lopez, G., Dantas B. M., et al. *Procedimiento para Determinación In Vivo de Radionuclideos em El Cuerpo Humano*. 2013.
  7. Melo, D. R., Cruz-Suarez, R., Rojo, A. M., Dantas, B. M., Julião, L. M. Q. C., Serdero, N., Videla, R., Puerta, J. A., Bejerano, G. M. L., Alfaro, M., Gonzáles, S., Hermida, J. C., Navarro, T. Harmonization of internal dosimetry procedures in Latin America-ARCAL/IAEA Project. Radiation Protection Dosimetry. , 127, 325 - 328, 2007.
  8. INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIATION UNITS AND MEASUREMENTS. *Report of the Task Group on Reference Man*. International Commission on Radiological Protection Report 23. Pergamon Press. Oxford, UK. 1994.
  9. Silva, T. V., Alonso, T. C., Oliveira, C. M., Squair, P. L., Dantas, A. L. A., Dantas, B. M. International Nuclear Atlantic Conference – INAC 2009. *Intercomparison of CDTN and IRD Whole-Body Counter for In Vivo Measurements of High Energy Photon Emitters*. 27 de setembro a 2 de outubro, 2009. Rio de Janeiro-RJ, Brasil.
  10. Oliveira, C. M., Dantas, A. L. A., Dantas, B. M. *A Methodology to Evaluate Occupational Internal Exposure to Fluorine-18*. Cellular and Molecular Biology<sup>TM</sup>. 55; N°3.28-32. 2009.
  11. Oliveira, C. M., Lima, F. F., Oliveira, M. L., Silva, T. V., Dantas, A. L. A., Dantas, B. M., Alonso, T. C., Silva, T. A. *Evaluation of a Technique for In Vivo Internal Monitoring of F<sup>18</sup> Within a Brazilian Laboratory Network*. Radiation Protection Dosimetry. 153; N°1.100-105. 2012.
  12. Sousa, W. O., Dantas, B. M., Lipsztein, J. L. *In Vivo Measurement Technique of <sup>40</sup>K as an Indicator of the Amount of Skeletal Muscle Tissue in the Human Body*. Radiation Protection Dosimetry. 105; N°1-4. 487-490. 2003.