

AValiação DO DESEMPENHO DO SISTEMA DE REFERÊNCIA PARA A ACALIBRAÇÃO DE MEDIDORES DE RADIAÇÃO

Raphael Elias Diniz, Aldo Ramos de Oliveira, Adriana Cristina Terra e Maria da Penha A. Potiens

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, Brazil
rediniz@ipen.br; aroliveira@ipen.br; acterra@ipen.br; mppalbu@ipen.br

Resumo

O Laboratório de Calibração do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, LCI, atua a mais de 30 anos calibrando instrumentos medidores de radiação aplicados em procedimentos de proteção radiológica, radioterapia e radiodiagnóstico, pertencentes a hospitais, indústrias, clínicas e outros usuários. No ano de 2002, foi estabelecido um Sistema da Qualidade no LCI que desde então tem passado por auditorias internas anualmente. No ano de 2017 o laboratório conseguiu alcançar a acreditação de acordo com a norma ISO 17025 para o escopo “calibração de instrumentos de medição em proteção radiológica: medidor de taxa e de equivalente de dose ambiente”. O sistema utilizado como referência para estas calibrações é composto por uma câmara de ionização esférica marca PTW, com volume de 1L, acoplada a um eletrômetro PTW, modelo UNIDOS. Este sistema tem passado por calibrações periódicas com rastreabilidade ao Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes. Para garantir um bom desempenho nas medições realizadas com este sistema, foi implantado um programa de controle de qualidade com testes de repetibilidade, corrente de fuga e estabilidade ao longo do tempo. Foi utilizada uma fonte de controle de Sr-90 também da PTW. Neste trabalho é demonstrado o desempenho dos sistema de referência ao longo de 18 anos. Foram realizados em torno de 100 testes de controle de qualidade. Os resultados obtidos foram comparados com o gráfico histórico de estabilidade do sistema. É permitida uma variação de até 2% do valor de referência determinado anteriormente.

Palavras chave: calibração, controle de qualidade, medidores de radiação

1. INTRODUÇÃO

O Laboratório de Calibração de instrumentos, LCI, do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, atua a mais de 30 anos calibrando instrumentos medidores de radiação aplicados em procedimentos de proteção radiológica, radioterapia e radiodiagnóstico, pertencentes a hospitais, indústrias, clínicas e outros usuários. O número de instrumentos testados anualmente, cerca de 1000, necessita do desenvolvimento e implementação de um sistema de garantia da qualidade, para facilitar a gestão dos procedimentos de rotina e a sua melhoria.

O sistema utilizado como referência para estas calibrações é composto por uma câmara de ionização esférica acoplada a um eletrômetro, ambos da PTW. Este sistema tem passado por calibrações periódicas com no Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes (CNEN-IRD/RJ).

Para garantir um bom desempenho nas medições realizadas com este sistema, foi implantado um programa de controle de qualidade com testes de repetibilidade, corrente de fuga e estabilidade ao longo do tempo. Para o estabelecimento dos limites aceitáveis para o desempenho deste sistema foi utilizada a norma ISO 4037-2 que traz os principais

requisitos para a dosimetria em radioproteção para o intervalo de 8 keV até 1,3 MeV e de 4 MeV a 9 MeV[1].

Desta forma no ano de 2002, foi estabelecido um Sistema da Qualidade no LCI que desde então tem passado por auditorias internas anualmente. No ano de 2017 o laboratório conseguiu alcançar a acreditação de acordo com a norma ABNT NBR ISO/IEC 17025[2] para o escopo “calibração de instrumentos de medição em proteção radiológica: medidor de taxa e de equivalente de dose ambiente”. Também neste período foi implantado um programa de controle de qualidade para o sistema de referência utilizado como padrão na determinação da grandeza de referência para este tipo de calibração.

2. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é demonstrar o desempenho do sistema de referência do LCI na aplicação do programa de controle de qualidade que inclui os testes de estabilidade a curto e longo prazo, corrente de fuga, e repetibilidade[1].

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 *Materiais*

O sistema de referência para a determinação da grandeza “equivalente de dose ambiente” é composto por uma câmara de ionização esférica, da Physikalisch-Technische Werkstätten, PTW, tipo W32002, modelo LS01, série 035, com volume de 1000 cm³, acoplada a um eletrômetro PTW, tipo 10001, modelo UNIDOS, série 10474. O sistema de referência para radioproteção pode ser visto da figura 1. Este sistema participa regularmente de calibrações e comparações interlaboratoriais realizadas pelo LNMRI, que possui rastreabilidade ao Bureau Internacional de Pesos e Medidas (BIPM).

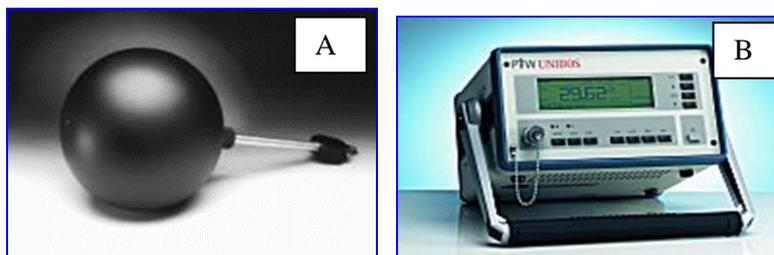


FIG. 1 – Sistema de referência para calibração em radioproteção. A: Câmara de ionização esférica com volume e 1000 cm³. B: Eletrômetro PTW, modelo UNIDOS.

Para a aplicação do programa de controle de qualidade foi utilizada uma fonte radioativa de controle (check source) de ⁹⁰Sr + ⁹⁰Y, marca PTW, modelo 8921 com atividade nominal de 33MBq (1994). Na figura 2 pode-se observar a fonte de controle e sua respectiva blindagem



FIG. 2: Fonte de controle de $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$ e sua respectiva blindagem.

3.2 Métodos

Um programa de controle de qualidade para os sistemas de referência para calibração em radioproteção deve seguir as recomendações da Norma ISO – 4037, parte 2 [1]. Para isso a fonte de controle deve ser posicionada em condições fixas e reprodutíveis em relação à câmara de ionização, como mostra a figura 3. A fonte de controle é colocada em um suporte que é encaixado na câmara de ionização de modo a garantir a sua não movimentação em relação à câmara de ionização.

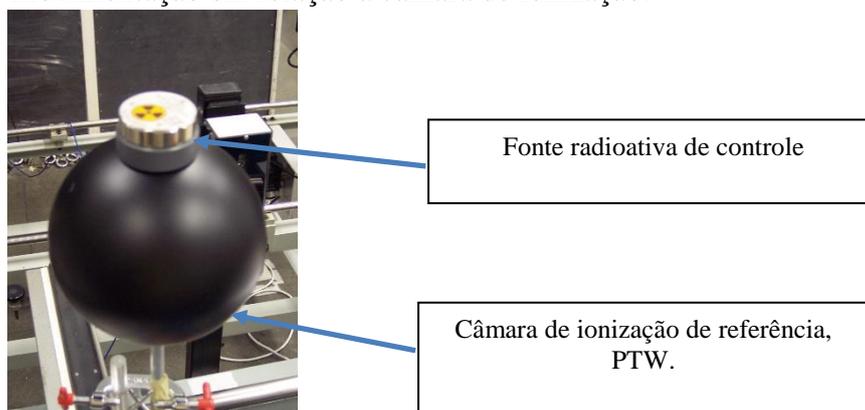


FIG.3: Arranjo para a realização dos testes de controle de qualidade. A fonte de radiação está posicionada no suporte que se encaixa na câmara de ionização.

A câmara de ionização esférica não é selada, portanto é necessário que se faça a correção da sua resposta para as condições ambientais de referência. Este fator de correção tem importância fundamental na obtenção da grandeza de referência e é definido pela Equação 1 [3].

$$k_{T,P} = \left(\frac{273,15 + T}{273,15 + T_0} \right) \cdot \left(\frac{P_0}{P} \right) \quad (1)$$

onde T é a temperatura no momento da medição, T_0 é a temperatura de referência, $T_0 = 293,15 \text{ K}$ (20° C), P é pressão no momento da medição e P_0 é a pressão nas condições de referência, $P_0 = 101,325 \text{ kPa}$.

3.2.1 Estabilidade em curto prazo

De acordo com definição para o teste de estabilidade em curto prazo ou teste de repetibilidade apresentada pelo Vocabulário Internacional de Metrologia[4], as medições

devem ser repetidas no mesmo objeto, deve ser realizado o mesmo procedimento de medição, com o mesmo sistema de medição, as mesmas condições de operação e no mesmo local.

Desde a implantação do programa de controle de qualidade foram realizados 99 testes de repetibilidade e cada teste representa um conjunto de 10 medições sucessivas e realizadas num único dia. As leituras foram realizadas num período de 60 segundos, a medida foi dada em carga e foram realizadas sob mesmas condições experimentais. Para

Segundo a norma ISO 4037-2 [1] as medições para o teste de estabilidade em curto prazo não devem possuir um desvio padrão superior a 2,0 %.

3.2.2 Estabilidade em longo prazo

Ao realizar o teste de repetibilidade ao longo do tempo, tem-se o teste de estabilidade em longo prazo. Este teste avalia o quão estável é a resposta da câmara de ionização ao longo do tempo. Sendo assim, em cada dia foi realizado um conjunto de 10 medições e, ao todo foram 99 dias de medição no período 18 anos. Isto resultou em 99 conjuntos de 10 medições, dos quais a média de cada conjunto foi comparada relativamente à média das médias de cada conjunto. Foi considerado como valor de referência a média dos valores médios dos 10 primeiros testes de repetibilidade. A cada medição os valores devem ser corrigidos para o decaimento da fonte radioativa. A fonte de ^{90}Sr possui um tempo de meia vida ($T_{1/2}$) de 28,79 anos.

Para avaliação da estabilidade em longo prazo a ISO 4037-2 [1] faz recomendações de que a variação da média de cada série de medidas em relação a média das médias seja menor do que 2%.

3.2.3 Corrente de corrente

Para instrumentos projetados para medir taxa de dose de radiação, a corrente de fuga do sistema de medição na ausência da radiação deve ser menor do 2% da indicação máxima da escala mais sensível do instrumento. Para instrumentos projetados para medir dose de radiação, indicação da corrente de fuga acumulada deve corresponder a um valor inferior a 2% da indicação produzida pela radiação de referência durante o tempo de coleta de medidas [1].

A corrente de fuga pode ser determinada tanto antes quanto após a irradiação, e pode ser ocasionada por influência da umidade e de resíduos como poeira em conectores. Para reduzir a influência destes fatores, as conexões dos cabos, eletrômetro e câmaras de ionização são submetidas à limpeza com álcool isopropílico antes das medições. Além disso, para redução da umidade interna dos cabos e eletrômetro, estes são aquecidos em forno específico a uma temperatura média de 35° Celsius. Após certificar-se que os equipamentos estão limpos e com umidade reduzida, são iniciadas as medições para análise da corrente de fuga. Os testes são realizados ao final da sequência de medições realizadas em cada teste de repetibilidade. Deste modo foram realizados 99 testes de corrente de fuga. O procedimento inclui a irradiação da câmara de ionização por um determinado tempo, até se obter uma indicação no eletrômetro. Após este tempo a fonte é retirada e mantida livre de irradiação por um período de tempo cinco vezes maior que o tempo de leitura durante o teste de repetibilidade (60 segundos).

Se a resposta do instrumento sofrer alguma variação de medida significativa neste intervalo de tempo (deve ser < 2% da indicação produzida pela radiação de referência), deve ser realizada uma manutenção corretiva verificando: condições ambientais de armazenamento e do local da medida (excesso de umidade pode ocasionar um mal

funcionamento) e limpeza dos conectores da câmara de ionização e do eletrômetro. O instrumento só pode ser utilizado se não apresentar corrente de fuga.

4. RESULTADOS

Neste item serão apresentados os resultados obtidos nos testes de controle de qualidade do sistema de referência para radioproteção. Em todos os testes foi utilizada uma fonte controle de ^{90}Sr e as incertezas foram determinadas de acordo com orientações da ISO GUM [5].

4.1 Estabilidade em curto prazo

Segundo a norma ISO 4037-2 [1], o desvio padrão de uma medição é determinado a partir de medições sucessivas realizadas com uma fonte de controle e não deve exceder 2,0 % do valor médio das medições.

Para o teste da estabilidade em curto prazo (repetibilidade) foram realizados 99 conjuntos de 10 medições sob mesmas condições de medição num único dia. O eletrômetro estava habilitado no modo carga, as leituras obtidas foram de carga acumulada durante 60 s, gerada a partir da irradiação com a fonte de controle e, as leituras foram corrigidas para as condições ambientais de referência. Para o teste de repetibilidade, o maior desvio em relação ao valor de referência para as medições que representa a média dos resultados dos 10 primeiros testes consecutivos foi de 0,44 %. O valor obtido para a carga de referência foi $(1,54 \pm 0,01)$ nC

4.2 Estabilidade em longo prazo

Para a estabilidade da resposta da câmara de ionização de placas paralelas em longo prazo, a norma ISO 4037-2 [1] recomenda que, a variação da corrente, carga, ou diferença de potencial gerado pela irradiação com uma fonte de controle não exceda o valor de 2,0 % do valor de referência. Para o teste da estabilidade em longo prazo é feita uma avaliação dos resultados obtidos para o teste de repetibilidade ao longo do tempo. Em 18 anos foram realizados 99 testes de repetibilidade. O eletrômetro foi habilitado no modo carga, as leituras obtidas foram de carga acumulada durante 60 s gerada a partir da irradiação com a fonte controle e, todas as leituras foram corrigidas para as condições ambientais de referência.

A estabilidade em longo prazo foi verificada com análise de dados obtidos no período. Utilizando estes dados foi construído o gráfico apresentado na figura 4. Cada ponto no gráfico representa o resultado de um teste de repetibilidade, ou seja, cada ponto representa a média de 10 medições. Para facilitar a visualização do comportamento do sistema de referência, a linha central representa o valor de referência e os limites de aceitação ($\pm 2\%$) foram destacados em vermelho no gráfico. Os pontos destacados em vermelho representam os resultados que estavam fora dos limites de aceitação ($\pm 2\%$). Nestes casos foram tomadas medidas de correção, como limpeza dos conectores, manutenção em ambiente seco, ou em estufa a 35°C e os testes foram repetidos até se atingir os resultados adequados.

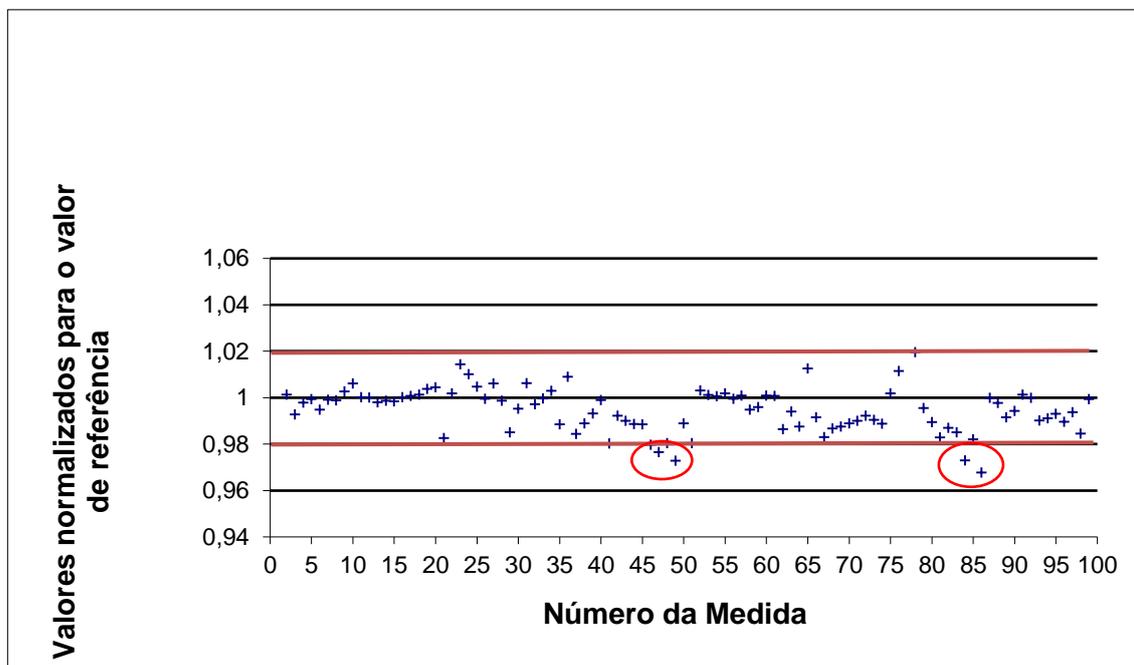


FIG.4: Teste de estabilidade em longo prazo para o sistema de referência de radioproteção composto pela câmara de ionização esférica e eletrômetro da PTW) realizado utilizando uma fonte de controle de $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$.

4.3 Corrente de Fuga

A corrente de fuga do sistema foi mantida sob controle em todo o período. Tendo em mente o limite de aceitação para este valor estabelecido pela norma ISO 4037-2 [1] de 2% de corrente de fuga em relação ao valor de referência, medidas de eliminação de umidade e de ruído eletrônico foram tomadas. Anteriormente a realização dos testes de repetibilidade o sistema foi mantido em condições de umidade controlada, sempre em torno de 50%. O tempo de estabilização também foi controlado, trazendo mais confiança às medições realizadas.

Durante todo o período de testes para todas as medições realizadas, não houve mudança significativa na leitura da corrente de fuga coletada após os 60 s de irradiação e por 20 minutos após o fim da primeira medição. Os resultados se mantiveram de acordo com as recomendações, o maior valor de corrente de fuga encontrado foi de $(0,5 \pm 002)\%$, representando concordância com a norma.

5. CONCLUSÕES

O sistema de referência para as calibrações em radioproteção do Laboratório de Calibração do IPEN tem sido mantido sob controle aplicando-se um programa de controle de qualidade desde o ano de 2002, quando foi implantado o Sistema da Qualidade do LCI. Os testes de estabilidade mostraram o excelente desempenho do sistema de referência, apresentando resultados abaixo dos valores máximos recomendados por normas internacionais.

REFERÊNCIAS

- [1] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Radiological Protection - X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and dose rate meters and for determining their response as a function of photon energy. Part 2: Dosimetry for radiation protection over the energy ranges from 8 keV to 1,3 MeV and 4 MeV to 9 MeV; ISO 4037-2: 2019.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração, ABNT NBR ISO/IEC 17025: 2017.
- [3] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Calibration of radiation protection monitoring instruments. IAEA, Safety Reports Series, 16: 2000. Viena, Austria.
- [4] INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. Vocabulário Internacional de Metrologia. Conceitos fundamentais e gerais e termos associados. VIM 2012. 1ª Edição Luso-Brasileira, INMETRO, Rio de Janeiro, Brasil.
- [5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL Guia para a expressão da incerteza de medição. Terceira edição brasileira em língua portuguesa. ABNT-INMETRO, 2003. Rio de Janeiro, Brasil.