

Avaliação das Características de Campos de Radiação X Utilizando uma Câmara Farmer

Evaluation of X-Ray Fields Characteristics Using a Farmer Chamber

Fernanda P. Partichelli¹, Maíra T. Yoshizumi²

¹UFCSA, Porto Alegre, Brasil

²DECESA, UFCSA, Porto Alegre, Brasil

Resumo

O objetivo deste trabalho foi utilizar uma câmara de ionização do tipo Farmer para avaliar algumas características dos campos de radiação X do equipamento móvel pertencente ao laboratório de Física Médica da UFCSA. A motivação da verificação dessas características é pela sua importância para o uso adequado deste equipamento durante as aulas práticas da Graduação e para a pesquisa. Foram efetuados testes de estabilidade da câmara Farmer para assegurar a confiabilidade dos valores medidos, conforme recomendações da *International Electrotechnical Commission*. Os testes de estabilidade mostraram que a resposta da câmara utilizada é estável e dentro dos limites recomendados. As características do campo de radiação avaliadas foram: a uniformidade do campo, a camada semirredutora (CSR) e o coeficiente de homogeneidade. Os resultados da uniformidade do campo, em sua maioria, foram maiores que a variação de 5% estabelecida pela ISO 4037-1. Apesar disso, as CSRs satisfizeram os valores recomendados pela RDC N° 330 e os coeficientes de homogeneidade estão de acordo com os valores típicos de radiodiagnóstico determinados pelo código de prática internacional de radiodiagnóstico da Agência Internacional de Energia Atômica, IAEA TRS-457.

Palavras-chave: câmara de ionização; raios X; controle de qualidade; CSR; uniformidade.

Abstract

The aim of this work was to use a Farmer-type ionization chamber to evaluate some characteristics of the X radiation fields of the mobile equipment from the Medical Physics laboratory of UFCSA. The motivation of this verification is due to its importance for the proper use of this equipment during the practical classes and for research. Farmer chamber stability tests were performed to ensure the reliability of the measured values, as recommended by the *International Electrotechnical Commission*. The stability tests showed that the ionization chamber response is stable and within the recommended limits. The characteristics of the radiation field evaluated were: field uniformity, half-value layer (HVL) and homogeneity coefficient. The results of field uniformity, for the most part, were higher than the 5% variation established by ISO 4037-1. Nevertheless, the HVLs have met the values recommended by RDC N° 330 and the homogeneity coefficients are in accordance with the typical values for Radiodiagnostic determined by the IAEA International Code of Practice on Radiology.

Keywords: ionization chamber; X ray; quality control; HVL; uniformity.

1. Introdução

A utilização da radiação ionizante na saúde vem sofrendo um aumento em âmbito mundial. Nos Estados Unidos, por exemplo, a dose efetiva média anual por cidadão teve um aumento de 566% entre os anos de 1980 e 2006, sem considerar a radioterapia, sendo os dois maiores fatores deste acréscimo o aumento no número de procedimentos em tomografia computadorizada e medicina nuclear. Esse aumento nos procedimentos acarreta na maior exposição dos pacientes, como pode ser visto na Figura 1.

Entretanto, o procedimento de imageamento médico mais utilizado continua sendo a radiografia convencional, que utiliza equipamentos de raios X. Os procedimentos da radiografia convencional e de fluoroscopia, são responsáveis por cerca de 74% do número de procedimentos realizados em 2006 nos EUA (1).

Os equipamentos de raios X são divididos em três grupos: aparelhos fixos, portáteis e móveis.

Os aparelhos fixos, devido às suas dimensões físicas, são aqueles que necessitam de uma sala exclusiva para sua utilização, justamente por eles não poderem ser retirados do local em que foram instalados. Diferentemente dos aparelhos fixos, os

portáteis são mais leves e têm flexibilidade para realização de exames em pacientes acamados. Eles têm peso e tamanho concebidos a fim de serem carregados por apenas uma pessoa. Logo, podem ser facilmente transportados, contudo possuem capacidade apenas de radiografar extremidades do corpo humano. Já os aparelhos móveis são muito utilizados para exames de tórax em pacientes acamados, já que esses não podem ser movidos para salas de radiografia (2).

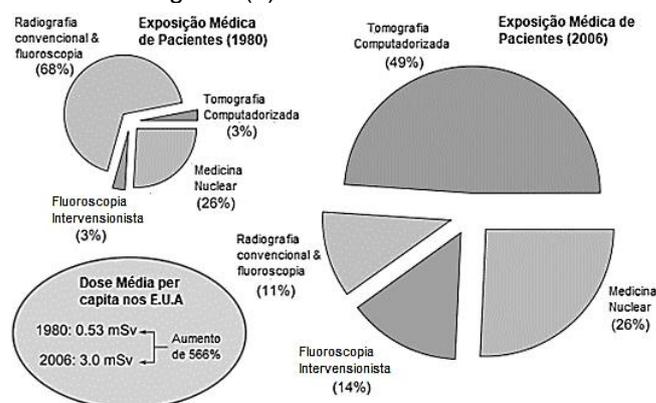


Figura 1 - Média anual per capita de dose efetiva nos Estados Unidos de procedimentos de imagens médicas, mostrando um considerável aumento de 1980 para 2006.

Fonte: Figura adaptada de (1)

Independente do tipo de equipamento de raios X é desejado que as características do campo de radiação sejam conhecidas, tais como: as qualidades do feixe, a estabilidade de resposta, a camada semirredutora e a uniformidade do campo (3). A qualidade do feixe descreve a penetrabilidade de um feixe de raios X, que com maior energia acaba por ter maior camada semirredutora e maior qualidade (1).

A *International Electrotechnical Commission* (IEC) descreve em sua publicação IEC 61267 de 2005 as qualidades da radiação primária de um equipamento padrão utilizado em laboratórios de calibração, classificadas quanto ao potencial do tubo de raios X, a filtração total e o material do alvo. Essas qualidades são, de uma forma geral, classificadas levando em consideração duas condições: a radiação sem espalhamento (feixe de radiação primária) e com espalhamento (para simulação de paciente) (4).

Ainda de acordo com a IEC, na publicação IEC 61674, de 1997, o campo de radiação deve apresentar dimensões que possa irradiar de forma completa e uniformemente o instrumento de interesse. Dentro dos limites do campo útil do feixe, espera-se que a taxa de kerma no ar não varie mais que 5% sobre todo o volume sensível do dosímetro. Caso a variação da uniformidade não esteja dentro dos limites especificados, devem ser aplicados fatores de correção nas medidas obtidas para corrigir os efeitos causados pela não uniformidade do campo (5).

Um dos métodos mais utilizados para verificar a uniformidade do campo de radiação é a realização de um mapeamento ao longo de duas linhas perpendiculares entre si e pertencentes a um mesmo plano normal ao eixo central do foco do tubo de raios X. Esse mapeamento, geralmente, é realizado medindo-se a taxa de exposição ou taxa de kerma no ar, com uma câmara de ionização posicionada no ar (5).

Este trabalho visa utilizar uma câmara de ionização do tipo Farmer para avaliar algumas características dos campos de radiação do equipamento de raios X móvel do laboratório de Física Médica da UFCSPA.

A RDC Nº 330 afirma, em seu Artigo 28, que “O serviço de radiologia diagnóstica ou intervencionista deve estabelecer e implementar padrões de qualidade de imagem, garantir a sua manutenção, e assegurar que os equipamentos sejam operados apenas dentro das condições de uso estabelecidas nesta Resolução, nas demais normativas aplicáveis, e nas especificações dos fabricantes”(6). Com isso, a justificativa da realização deste trabalho está baseada na importância da verificação dessas características para o uso adequado desse equipamento durante as aulas práticas da Graduação e para fins de pesquisa.

2. Materiais e Métodos

Neste trabalho foram utilizados os seguintes materiais:

- Câmara de ionização do tipo Farmer, modelo 30013 (0,6 cm³, série nº 008329), da *PTW*,

acoplada ao eletrômetro também da *PTW*, modelo UNIDOS E.

- Equipamento de raios X móvel *MobileArt Eco* da *Shimadzu* do laboratório de Física Médica da *Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre*, com filtração inerente de 2,0 mmAl a 70 kV e filtração total permanente de 2,5 mmAl a 70 kV.
- Fonte radioativa de controle encapsulada de 33 MBq ⁹⁰Sr, do tipo 48012 correspondente à classe ISO C64445.
- Lâminas de alumínio com pureza > 99,99%, MRA, com dimensões de 10 cm x 10 cm e espessuras de 0,1 mm, 0,5 mm, 1,0 mm e 2,0 mm.
- Placas de acrílico com marcações indicativas do campo de radiação.

2.1. Fase preliminar

Na fase preliminar foram realizados os testes de estabilidade de resposta da câmara Farmer. Os testes de estabilidade consistem em: teste de estabilização de resposta, teste de repetibilidade, reprodutibilidade e fuga pré e pós irradiação (7).

Segundo recomendações da IEC 61674, para o teste de repetibilidade, ou teste de estabilidade em curto prazo, foram realizadas 10 medições sucessivas de 60 s usando a fonte de controle de ⁹⁰Sr. O coeficiente de variação desta análise deve ser inferior a 3,0% para câmaras utilizadas em radiodiagnóstico. O teste de reprodutibilidade ou de estabilidade a longo prazo, baseia-se em medições do teste de repetibilidade ao longo do tempo, sendo sua variação máxima recomendada de ± 2% do valor de referência.

O teste do tempo de estabilização de resposta consiste em determinar quanto tempo é necessário para que o conjunto câmara de ionização e eletrômetro fique eletricamente estável. De acordo com a IEC 61674, os limites da variação de resposta da câmara em condições de irradiação devem estar entre ±2%, nos intervalos de tempo de 15, 30, 45 e 60 minutos (7,8).

A fuga pré e pós irradiação baseia-se no teste de corrente de fuga, o qual avalia a influência da corrente gerada sem a presença de radiação na resposta obtida com o conjunto câmara de ionização e eletrômetro. A IEC 61674 recomenda, para a faixa de energia de radiodiagnóstico, que - observando a variação na resposta do eletrômetro num intervalo de 20 minutos, antes e após a irradiação com a fonte de ⁹⁰Sr - a corrente de fuga pré e pós irradiação não deve exceder 5,0% da menor medição obtida durante uma irradiação com intervalo de pelo menos 1 minuto (7,9).

Para cada medição realizada foram anotados os valores de temperatura e pressão para efeito de correção destas pelas condições normais de temperatura e pressão, e com isso determinar o fator de correção para a densidade do ar.

2.2. Fase de exposições

O tamanho de campo escolhido para realizar as exposições do teste de uniformidade do feixe de

radiação foi de 10 cm x 10 cm e a escolha desse campo se justifica por ser o mais utilizado em atividades práticas da Graduação que seguem o Guia da Anvisa RE 1016, de 2006, e, por conseguinte, trata-se do mais utilizado pelo equipamento de raios X deste estudo (10). Apesar deste documento da Anvisa (Resolução Anvisa/RE nº 1016, de 3 de abril de 2006) ter sido revogado em Dezembro de 2019 pela publicação da RDC Nº 330, ele foi utilizado neste trabalho somente como um código de prática para os testes, sendo os limites comparados com a nova normativa em vigor.

As exposições foram realizadas usando produto corrente-tempo de 100 mAs, para obter uma grande quantidade de fótons de raios X (1). Os valores escolhidos de tensão de pico (kVp) foram de 40 kV a 90 kV, de acordo com os valores mais utilizados nas atividades práticas (6,10).

As leituras foram realizadas em uma linha vertical e outra na horizontal, ou seja, foi efetuado um mapeamento ao longo de duas linhas perpendiculares entre si e pertencentes a um plano normal ao eixo central do foco do tubo de raios X (5), como mostrado na Figura 2.

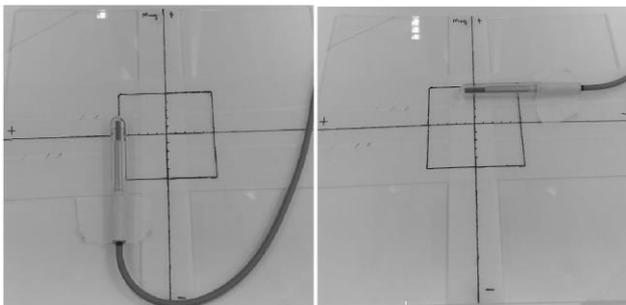


Figura 2 - Esquema experimental para realizar o mapeamento do campo de radiação.

A avaliação dos resultados foi realizada sabendo que a uniformidade do campo, em cada ponto do campo útil, não deve variar mais que 5% (3). Esta variação percentual máxima entre as medições da uniformidade é calculada de acordo com a equação 1:

$$D_{Máx} = \frac{L_{Máx} - L_{Min}}{L_{Min}} \times 100 \quad (1)$$

sendo $D_{Máx}$ o desvio máximo na uniformidade do campo da radiação (%), $L_{Máx}$ a média das medições no ponto do campo com mais alto nível de exposição, L_{Min} a média das medições no ponto do campo com mais baixo nível de exposição (11).

Por fim, foi analisado o tamanho do campo útil em diversas distâncias do feixe (30, 60 e 90 cm) e em diversas qualidades, assim como a penumbra do feixe. A região de penumbra do feixe é aquela na qual a taxa de exposição sofre um decréscimo acentuado de 50% da intensidade relativa ao campo útil (5).

De acordo com a Anvisa, a camada semirredutora pode ser obtida ao selecionar um valor de tensão e um valor de produto corrente-tempo entre 20 a 40 mAs. A câmara de ionização deve ser posicionada dentro do campo de radiação, centralizada no feixe de raios X, tal que a distância foco-detector seja de

60 cm. Além disso, deve-se realizar três exposições sem filtro e outras exposições adicionando atenuadores, até obter uma leitura de exposição inferior à metade do valor inicial (10). Neste trabalho, a CSR foi obtida pelo valor médio de três medições com diferentes exposições (20 mAs, 32 mAs e 40 mAs) para cada tensão selecionada (10).

Atualmente, a norma nacional determina os valores das CSRs de aplicabilidade geral de equipamento monofásico (12). Esses valores podem ser vistos na Tabela 1.

Tabela 1. Valores mínimos de camadas semirredutoras em função da tensão máxima de operação de um equipamento monofásico.

Tensão do tubo de raios X (kV)	Primeira CSR (mm Al)
50	1,5
60	1,8
70	2,1
80	2,3
90	2,5

Fonte: Anvisa (2019) (12).

A Anvisa define que a CSR pode ser calculada por:

$$CSR = \frac{x_b \ln\left(\frac{2L_a}{L_0}\right) - x_a \ln\left(\frac{2L_b}{L_0}\right)}{\ln\left(\frac{L_a}{L_b}\right)} \quad (2)$$

sendo L_0 a média dos valores medidos sem filtros, L_a a leitura de exposição imediatamente superior a $L_0/2$, L_b a leitura de exposição imediatamente inferior a $L_0/2$, x_a a espessura de Al correspondente à leitura L_a e x_b a espessura de Al correspondente à leitura L_b (10).

O coeficiente de homogeneidade (h) pode ser obtido por:

$$h = \frac{CSR_1}{CSR_2} \quad (3)$$

sendo CSR_1 a primeira camada semirredutora, CSR_2 a segunda camada semirredutora, a qual é dada por:

$$CSR_2 = d_{1/4} - CSR_1 \quad (4)$$

sendo $d_{1/4}$ a espessura do absorvedor necessário para reduzir o kerma do ar em um quarto do valor sem absorvedor (13).

3. Resultados

Na avaliação da estabilidade de resposta da câmara Farmer com a fonte de ^{90}Sr , os limites da variação de resposta obtidos podem ser comparados aos valores recomendados na Tabela 2 (7).

Tabela 2. Comparação dos valores obtidos com os máximos recomendados dos testes de estabilidade de resposta realizados com a câmara de ionização.

Teste	Valor Obtido (%)	Valor Recomendado (%)
Estabilização de Resposta	0,004	2,0
Repetibilidade	0,27	3,0
Corrente de Fuga	0,36	5,0
Reprodutibilidade	1,14	2,0

Considerando a reprodutibilidade, sua variação máxima recomendada é de $\pm 2\%$ do valor de referência e o valor máximo obtido foi de 1,14%, como pode ser visto na Figura 3. Os valores obtidos nos testes de repetibilidade foram normalizados pela linha de base calculada com as 10 primeiras medições, dentro das 23 realizadas.

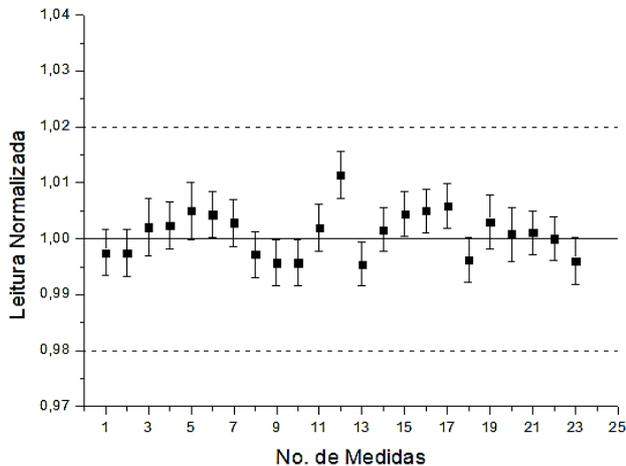


Figura 3 - Leitura dos testes de repetibilidade normalizados pela linha de base, linha sólida. As linhas pontilhadas representam o limite superior e inferior de 2%.

Os dados obtidos para o teste de corrente de fuga, de repetibilidade e de reprodutibilidade demonstram que a resposta da câmara utilizada é estável e bem abaixo dos limites máximos recomendados, como podem ser observados na Tabela 2.

A análise da uniformidade do campo de radiação X, foi realizada por meio do mapeamento do eixo horizontal e vertical, em relação ao eixo central do campo. Com esse método, foram obtidos os valores presentes na Tabela 3, onde os valores em destaque representam os que estão dentro do valor recomendado para a uniformidade do campo de radiação.

Tabela 3. Desvio máximo na uniformidade do campo da radiação, em porcentagem, para cada tensão e em diferentes distâncias.*

Tensão (kV)		Distância (cm)		
		30	60	90
40	Horizontal	19,7	8,7	5,6
	Vertical	15,1	6,2	5,6
50	Horizontal	17,7	7,7	6,1
	Vertical	9,6	5,8	4,7
60	Horizontal	18,5	8,8	7,0
	Vertical	10,0	6,1	4,2
70	Horizontal	17,6	9,6	6,1
	Vertical	10,2	5,9	4,1
80	Horizontal	18,0	13,5	7,1
	Vertical	7,9	16,0	12,9
90	Horizontal	18,8	6,6	6,6
	Vertical	8,0	3,6	8,3

* A máxima incerteza associada às medições é igual a $\pm 0,1\%$ que corresponde a incerteza do tipo B.

Outra forma de estudo da uniformidade do campo de radiação é a observação do gráfico obtido com o mapeamento do campo, como apresentado na Figura 4, a qual possui em seu eixo vertical valores relativos dos dados adquiridos e na horizontal a

distância do eixo central do foco do tubo de raios X, onde os valores negativos e positivos correspondem à direção do cátodo e do ânodo do tubo, respectivamente.

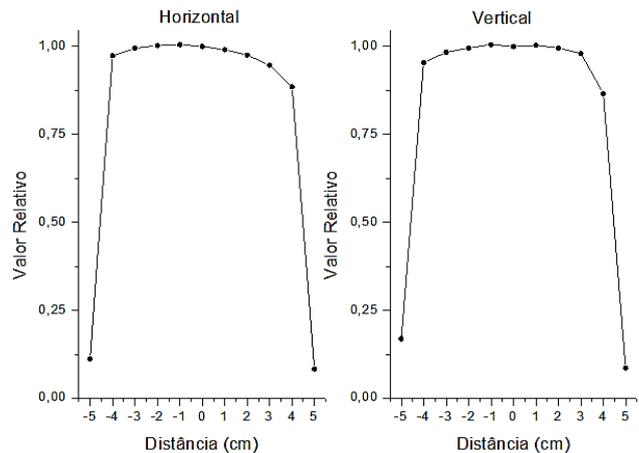


Figura 4 - Gráfico da uniformidade do campo do feixe de 80 kV à uma distância de 60 cm do ponto focal.

A CSR e o coeficiente de homogeneidade, obtidas nas diversas qualidades de radiação nível Radiodiagnóstico, com suas respectivas incertezas, determinadas por propagação de incerteza, estão expostos na Tabela 4.

Tabela 4. CSR e coeficiente de homogeneidade das qualidades do feixe do equipamento móvel de radiação X.

Tensão (kV)	CSR (mAl)	Coefficiente de homogeneidade (h)
40	1,80 \pm 0,01	0,81 \pm 0,02
50	2,32 \pm 0,01	0,80 \pm 0,01
60	2,82 \pm 0,01	0,78 \pm 0,02
70	3,22 \pm 0,02	0,74 \pm 0,01
80	3,75 \pm 0,02	0,74 \pm 0,02
90	4,15 \pm 0,02	0,73 \pm 0,01

4. Discussões

Os resultados dos testes de estabilidade de resposta, de estabilidade de curto e longo prazo e corrente de fuga satisfazem às recomendações da IEC 61674, para instrumentos utilizados em radiodiagnóstico. Isto posto, a câmara de ionização do tipo Farmer demonstrou possuir confiabilidade de resposta para sua utilização.

No cálculo do desvio máximo na uniformidade do campo útil da radiação, foram obtidos apenas 4 valores dentro dos 5% estabelecidos pela ISO 4037-1, dos 36 calculados (3).

Na Figura 4 pode-se observar um fenômeno bem conhecido no estudo de raios X, o efeito anódico. Esse efeito faz com que a intensidade da radiação X no lado do cátodo seja maior que no lado do ânodo (14). Esse efeito pode ser o principal responsável pela não uniformidade do feixe no eixo horizontal verificada neste estudo. Como visto na Tabela 3, o eixo horizontal apresentou os maiores valores de desvio na uniformidade do campo.

Ainda assim, é facilmente observado que os campos de radiação estudados não são uniformes considerando a publicação ISO 4037-1. Porém, vale

ressaltar que os valores utilizados como referência nos testes com o equipamento móvel de raios X foram definidos para equipamentos fixos. Isso porque, não há normativa referente a equipamentos como o utilizado neste estudo.

A análise da uniformidade foi feita considerando um campo útil de 8 cm x 8 cm, ou seja, menor que o campo definido pelos colimadores (10 cm x 10 cm). Restringindo ainda mais esse campo, para uma área de 6 cm x 6 cm, e fazendo a mesma análise, os resultados são muito melhores. Considerando esse campo mais restrito são obtidos 22 valores dos 36 calculados dentro do limite recomendado, sendo quase todos os valores fora do limite para a distância de 30 cm.

Além disso, percebe-se uma penumbra de 0,5 cm em cada extremidade do eixo mapeado, sendo esse valor obtido graficamente.

Na Tabela 4 os valores obtidos para as CSRs são todos acima do mínimo estabelecido para cada valor de tensão utilizada, como apresentado na Tabela 1. Logo, os feixes de radiação do raios X móvel têm uma boa qualidade por possuir valores da CSR acima do determinado pela Instrução Normativa (IN) N°52 para sistemas de radiografia médica convencional, de aplicabilidade geral (aparelhos fixo, móvel, convencional, radiografia computadorizada e digital) (6,12).

O código de prática internacional de radiodiagnóstico da IAEA (TRS-457) cita, como valores típicos utilizados em radiologia diagnóstica, entre 0,7 e 0,9 para o coeficiente de homogeneidade (13). Desta forma, os dados alcançados possuem valores típicos da sua aplicação, variando de 0,73 à 0,81.

5. Conclusões

Os resultados do desvio máximo na uniformidade do campo útil, mostraram que poucos valores estão dentro dos 5% estabelecidos pela ISO 4037-1. Este valor restritivo é definido para equipamentos de raios X em laboratório de calibração, demonstrando a necessidade de haver uma normativa que abranja equipamentos clínicos, como o raios X móvel.

Ainda assim, o campo de radiação é mais uniforme na sua área central. Assim, para esse equipamento em questão é recomendado que não sejam expostos objetos nos limites do campo de radiação e que a distância foco-objeto seja maior que 30 cm.

Com os dados da IN N°52, podemos comparar as CSRs do equipamento de radiação X móvel da UFCSPA utilizando os valores de aplicabilidade geral presentes na Instrução Normativa, o que não era possível realizar com a publicação anterior que foi revogada. A necessidade de ter uma publicação que compreende este aparelho, se justifica pela ampla utilização dele em hospitais, pesquisa, ensino, e no controle de qualidade do mesmo.

Referências

1. J. T. Bushberg, *The Essential Physics of Medical Imaging*, 3ª ed., Philadelphia: LIPPINCOTT WILLIAMS & WILKINS, 2011.
2. A. C. Soares, "Boas Práticas na Realização de Exames Radiográficos com equipamento móvel," *TCC*, p. 75, Junho 2018.
3. *International Organization for Standardization, ISO 4037-1:2019 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 1: Radiatio*, 2019.
4. *IEC 61267 : Medical diagnostic X-ray equipment - Radiation conditions for use in the determination of characteristics*, 2005.
5. E. C. Oliveira, "Estabelecimento de Campos Padrões de Raios-X de Energias Baixas, Nível Radioproteção, para Calibração de Instrumentos," *IPEN*, 1995.
6. Agência Nacional de Vigilância Sanitária, "RESOLUÇÃO - RDC N° 330," 2019.
7. *IEC 61674 : Medical electrical equipment - Dosimeters with ionization chambers and/or semi-conductor detectors as used in X-ray diagnostic imaging*, 1997.
8. M. H. de Lima, "Caracterização de uma câmara de ionização de ar-livre em feixes diretos de raios X utilizados em mamografia," *IPEN*, 2014.
9. J. O. da Silva, "Desenvolvimento de câmaras de ionização especiais para controle de qualidade em mamografia," *IPEN*, 2013.
10. Agência Nacional de Vigilância Sanitária, *Radiodiagnóstico Médico: Desempenho de Equipamentos e Segurança*, Brasília: Ministério da Saúde, 2005.
11. A. T. B. Neto, "Implantação de Radiações de Referência em uma Máquina de Raios-X Diagnóstico Médico para Fins de Calibração de Dosímetros Pessoais," p. 114, 2005.
12. Agência Nacional de Vigilância Sanitária, "INSTRUÇÃO NORMATIVA N° 52," 2019.
13. IAEA, "Dosimetry in Diagnostic Radiology: An International Code of Practice," *Tecnical Reports Series no.457*, Vienna, 2007.
14. J. F. de Souza, "Controle de qualidade em raios-x convencional," Botucatu, 2008.

Contato:

Fernanda Pedroso Partichelli
Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre
Rua Sarmento Leite, 245 - Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil - CEP 90050-170
nandapartichelli123@gmail.com