

Impacto do uso de diferentes materiais na função de transferência de modulação em imagens radiológicas

Impact of using different materials on the modulation transfer function in digital radiological images

Fabrcio N. Garrafiel^{1,2}, Alice B. Vian^{1,2}, Dimitri B. A. Mantovani^{1,2}, Ana Maria Marques da Silva¹

¹Pontifcia Universidade Catlica do Rio Grande do Sul (PUCRS), Porto Alegre, Brasil
²Hospital So Lucas, PUCRS, Porto Alegre, Brasil

Resumo

O avanço da radiologia digital proporcionou uma melhoria significativa à qualidade das imagens radiológicas. Essa evolução trouxe muitos benefcios para o diagnstico por imagem como a agilidade do processo, a melhoria da resoluo espacial, a diminuio do tempo necessrio de exposio, entre outros. Os ltimos trabalhos publicados mostraram que a funo de transferncia de modulao ou MTF (*Modulation Transfer Function*) é a tcnica mais adequada para avaliar a resoluo espacial das imagens digitais, pois apresenta um resultado quantitativo mais preciso. O objetivo deste trabalho é avaliar o impacto do uso de diferentes materiais para a determinao da resoluo espacial atravs da MTF. Foram utilizadas diferentes espessuras de placas de alumnio (Al) e cobre (Cu) para a aquisio da imagem de uma borda. A MTF foi avaliada pela tcnica da funo de propagaao de borda ou ESF (*Edge Spread Function*) usando o plug-in COQ do ImageJ. Foi possvel concluir que uma variedade de espessuras de alumnio so aplicveis para a determinao da resoluo espacial atravs da MTF, assim como uma placa de teste de colimao.

Palavras-chave: radiologia; controle de qualidade; resoluo espacial.

Abstract

The advancement of digital radiology has provided a significant improvement in the quality of radiological images. This evolution has brought many benefits for diagnosing images, such as the agility of the process, the improvement of the spatial resolution, the reduction of the necessary exposure time, among others. The latest published work has shown that the Modulation Transfer Function (MTF) is the most appropriate technique to evaluate the spatial resolution of digital images, as it presents a more accurate quantitative result. This work aims to evaluate the impact of using different materials to determine spatial resolution through MTF. Different thicknesses of aluminum (Al) and copper (Cu) plates were used to acquire an edge image. MTF was evaluated using the Edge Spread Function (ESF) technique using the ImageJ COQ plug-in. It was concluded that a variety of aluminum thicknesses are applicable for determining spatial resolution through MTF, as well as a collimation test plate.

Keywords: radiology; quality control; spatial resolution.

1. Introduo

O processo de obteno de imagens radiológicas digitais evoluiu significativamente, em termos de qualidade, nos ltimos anos. Segundo a reviso de Körner *et al.* (1), o primeiro sistema de radiologia digital (RD, ou DR do ingls *Digital Radiology*) surgiu em 1990, utilizando dispositivos CCD (do ingls *Charged Coupled Devices*), do tipo sistema *slot-scan*. A evoluo seguiu utilizando diferentes materiais para aprimorar a deteco digital, com o uso de semicondutores, como o uso do selnio, publicado em 1994 e, logo em seguida, os *flat-panel* com detectores de silcio e selnio amorfos.

A aquisio de imagens radiológicas, nos ltimos anos, tornou-se quase inteiramente digital em hospitais, utilizando a captura direta ou indireta. O registro de uma imagem radiogrfica passou a ser convertido de um sinal analgico para um sinal digital. Conforme descrito por Bushberg *et al.* (2), os sinais digitais so representados de forma binria. Na imagem digital, o tamanho do pixel (elemento de imagem) é um fator decisivo na escolha de um bom detector. Quanto menor o tamanho de pixel do

elemento detector, melhor a capacidade de diferenciao de estruturas pequenas.

Idealmente, a imagem digital deveria ser a reproduo exata, ponto a ponto, de um objeto. Contudo, imperfeies esto sempre presentes e podem ser causadas por efeitos de difrao, aberraes e erros de fabricao (3). O borramento nas bordas na imagem radiológica deve-se ao espalhamento da radiao ao interagir com a matria e ao efeito de volume parcial.

O nvel de detalhe de uma imagem é descrito por um parmetro denominado resoluo espacial, que está relacionado ao tamanho do menor objeto que pode ser reproduzido por um sistema de imagem ou ao menor espaamento entre dois objetos (2).

Para fins de obteno de um valor nominal de resoluo espacial de cada sistema de imagem radiológica é necessrio conhecer o tamanho do seu pixel. Obtido este valor, é possvel calcular a mxima resoluo espacial por meio do teorema de Nyquist. No processamento digital de imagens, frequentemente utiliza-se o termo "frequncia" para descrever a taxa de mudana de um sinal no espao. Nesse contexto, a representao da imagem é realizada no chamado domnio da frequncia

espacial. O teorema de Nyquist especifica que um sinal pode ser recuperado por um sistema de imageamento, sem perda de informação, desde que seja amostrado com uma frequência espacial igual ou superior a duas vezes a menor frequência espacial do sinal (4).

O pixel, na constituição da matriz da imagem, é a menor dimensão espacial possível. Sendo assim, torna-se a menor unidade sobre a qual se pode realizar operações matemáticas, e o seu tamanho está relacionado com a resolução espacial da imagem digital (5). Segundo o teorema de Nyquist (2), é possível obter a resolução espacial máxima de um sistema de imagem, também denominada frequência de Nyquist, dada em ciclos ou pares de linhas por milímetro (pl/mm), pela Equação 1, onde x representa a distância do centro de um pixel ao centro do pixel adjacente:

$$ResEsp_{m\acute{a}x}(pl/mm) = \frac{1}{2x} \quad (1)$$

As variações de intensidade em uma imagem podem ser representadas em termos de um perfil de intensidade senoidal, que pode ser descrito como a soma de uma série de senoides de frequências espaciais e amplitudes específicas. Assim, qualquer imagem pode ser descrita como a soma de uma série de senoides nas direções horizontal e vertical. Esta operação é denominada transformada de Fourier (6). A resultante desta transformada é a separação das frequências espaciais de entrada em suas respectivas amplitudes. Uma medida da capacidade de um sistema de imageamento reproduzir as frequências espaciais que compõem uma imagem é dada pela função de transferência de modulação ou MTF (do inglês *Modulation Transfer Function*), que fornece uma medida dos efeitos combinados de nitidez e resolução da imagem, através da razão entre as frequências de saída e de entrada do sinal.

Segundo Samei e Flynn (7), a degradação que um sistema de imagem produz em um objeto pode utilizar funções de espalhamento de objetos periódicos, que podem ser pontos, fendas ou bordas. O principal desafio na determinação da resolução espacial de uma imagem através de uma função de espalhamento de ponto e fenda é a fabricação do objeto a ser imageado. Um método alternativo é o uso da função de espalhamento de borda ou ESF (do inglês *Edge Spread Function*), no qual utiliza-se uma placa fina opaca com uma borda reta (7). Os autores (7) abordam somente o alinhamento da placa em relação ao feixe e valor de uma exposição de 9,5 mR na superfície próxima à borda. No entanto, não há especificação da composição do material ou da espessura mínima ou máxima que possa ser utilizada nesta placa.

Uma das motivações deste trabalho é apresentar subsídios para a obtenção e análise da resolução espacial em imagens radiográficas digitais, conforme estabelecido pela Resolução da Diretoria Colegiada RDC nº 330, de 20 de dezembro de 2019 (8). As Instruções Normativas (IN) desta norma apresentam os limites de aceitação dos testes de controle de

qualidade, sendo a IN nº 52 (8), correspondente à radiologia convencional, onde o limite estabelecido para o teste de resolução espacial através da MTF é um valor maior ou igual a 2,5 pl/mm. No entanto, não há recomendações nacionais sobre a forma de determinação da MTF ou o dispositivo a ser utilizado nos sistemas de imagem na radiologia.

O objetivo deste trabalho é avaliar o impacto do uso de diferentes espessuras de placas de materiais variados na determinação da resolução espacial em imagens radiológicas digitais. Pretende-se obter o melhor material e espessura da placa para avaliar a resolução espacial de um sistema de imagem radiológica digital pela medida da MTF através da função de espalhamento da borda ou ESF, utilizando um plug-in do software *ImageJ* (9).

2. Materiais e Métodos

2.1 Placas de Teste

O método de determinação da MTF é baseado na aquisição de imagens de placas finas que possuem uma borda regular plana, dispostas sobre o detector de um sistema de radiologia digital. Para avaliação dos objetos mais adequados para o teste foram utilizados placas e dispositivos de teste de diferentes materiais, com diferentes espessuras, a fim de explorar as possibilidades de utilização na prática do controle de qualidade da resolução espacial da imagem em sistemas de radiologia digital. Foram adquiridas imagens da borda reta de placas de alumínio (Al) e de cobre (Cu), com diferentes espessuras.

Também foi testado o uso de uma placa utilizada para testes de colimação RMI *Quality Assurance Radiology (QAR) - Collimator Test Tool*, feito de latão de espessura 0,05 mm, apresentada na Figura 1. O dispositivo de teste de colimação era utilizado na avaliação visual de testes de controle de qualidade, por ocasião da vigência da Portaria nº 453 de 1987 (10), substituída pela RDC n. 330 (8).

As espessuras das placas de Al e Cu, assim como do dispositivo QAR, estão detalhadas na Tabela 1.

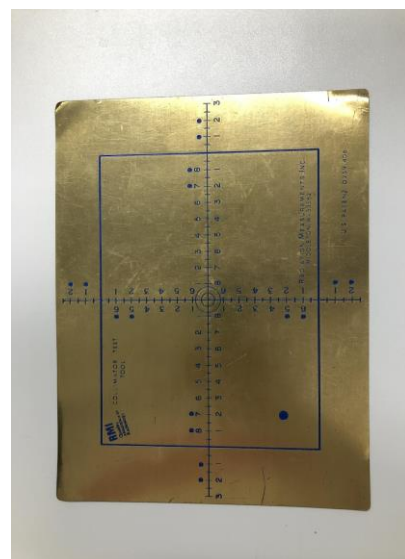


Figura 1. Dispositivo de teste de colimação *Collimator Test Tool*, do fabricante RMI *Quality Assurance Radiology (QAR)*.

Tabela 1. Espessuras das placas avaliadas

Espessura (mm)	Material
0,50	Al
1,00	Al
2,30	Al
0,47	Cu
1,01	Cu
0,05	Placa RMI QAR

2.2 Parâmetros de Aquisição

As imagens das placas foram adquiridas em dois sistemas: (i) um equipamento de radiologia digital de conversão indireta, da marca *DR Compact Pendulum* (Philips); (ii) um equipamento de radiologia convencional *Optimus 1050*, (Philips), conectado a um detector digital modelo DRX-1 Plus 3543C (Carestream). Os tamanhos nominais de pixel dos sistemas são 0,147 mm e 0,139 mm, respectivamente.

Todas as placas foram posicionadas com a borda inclinada, aproximadamente, entre 1º e 3º em relação à linha central do detector. Os parâmetros de aquisição das imagens foram modificados para que se analisassem todos os resultados, de acordo com a espessura e material da placa/dispositivo. Todas as aquisições foram feitas com a carga fixa em 3,2 mAs, com tensão de 50, 55 e 60 kVp. Todas as imagens foram adquiridas no modo manual, sem a utilização do controle automático de exposição ou AEC (*Automatic Exposure Control*). A distância do foco ao detector (DFD), para todas as aquisições, foi fixado em 1,0 m.

2.3 Análise das imagens

A MTF foi obtida através da medida da ESF, usando as placas descritas anteriormente como um objeto opaco com uma borda reta, afiada e suave, conforme descrito por Samei e Flynn (7).

A análise da imagem digital foi feita no aplicativo *ImageJ* (versão 1.53e) (9). O *ImageJ* possui diversos *plug-ins* e *macros* para análise da MTF. Dentre as opções, o *plug-in* COQ (11), desenvolvido pela equipe da Universidade de Bologna (http://www.medphys.it/down_dqe.htm), realiza a análise da imagem por meio da delimitação de uma região de interesse ou ROI (do inglês *Region Of Interest*) retangular. A ROI deve ser posicionada sobre a borda do objeto e incluir uma região que contenha o material atenuador da placa de teste e uma região de fundo.

Em todas as imagens, uma ROI quadrada foi posicionada sobre a borda do material, com dimensão de 2 x 2 cm² (Figura 2).

A partir da delimitação da ROI, o *plug-in* COQ traça a curva da amplitude da MTF em função da frequência espacial (Figura 3). Os valores coletados são obtidos pelo *plug-in* COQ de forma automática a partir do posicionamento de uma ROI sobre a borda.

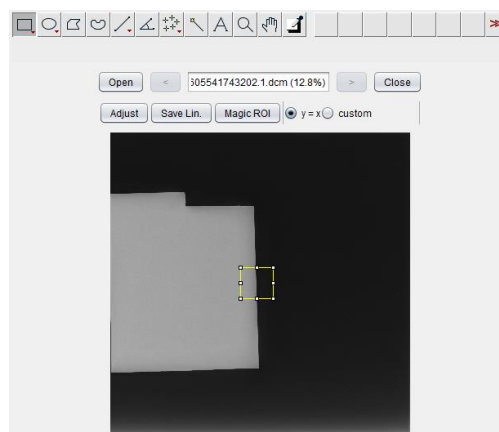


Figura 2. Representação do posicionamento da ROI sobre a borda da placa de cobre no *plug-in* COQ

A ROI deve ser posicionada próxima na direção perpendicular ao eixo anodo-catodo, aproximadamente no centro da borda. Foi obtida apenas uma medida por imagem, utilizando o foco fino e o foco grosso.

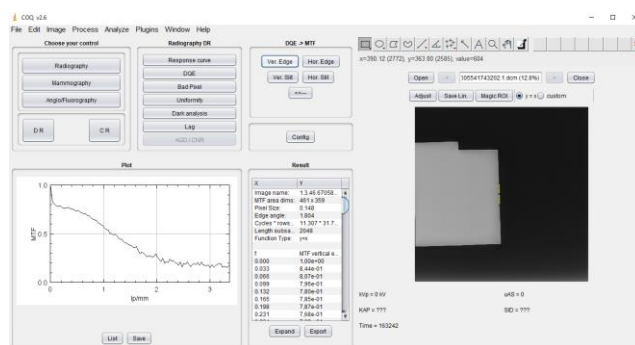


Figura 3. Resultado da curva da MTF proveniente do *plug-in* COQ, no *ImageJ*

Após a execução do *plug-in* COQ e a obtenção do gráfico de MTF em função da frequência espacial (pl/mm), foi obtida a lista dos valores para encontrar o valor correspondente a 10% do MTF, conforme indicado pelos manuais dos fabricantes.

3. Resultados

As Tabelas 2 e 3 apresentam as resoluções espaciais, em pares de linha por milímetro (pl/mm), calculadas para cada uma das placas e sistemas de imagem avaliados. O valor nominal da resolução espacial é distinto para cada fabricante, devido às diferenças do tamanho de pixel. Para o sistema de imagem modelo *DR Pendulum* (Philips), a resolução espacial nominal, segundo a Equação 1, seria de, no máximo, 3,40 pl/mm, enquanto para o sistema de imagem modelo DRX-1 (Carestream), deve ser de, no máximo, 3,59 pl/mm.

Para a comparação entre as placas, foi feito o cálculo da diferença percentual entre o valor medido e o valor nominal, baseado no valor do tamanho de pixel fornecido pelo fabricante.

Para cada configuração, foi escolhido o valor mais próximo do valor nominal, a fim de estabelecer a configuração mais adequada para a realização da análise da resolução espacial por meio da MTF.

Tabela 2. Valores da resolução espacial, em pares de linha por milímetro (pl/mm), do sistema DR Pendulum (Philips), para cada material/espessura testada.

Material	Espessura	Parâmetros	Resolução Espacial (pl/mm)	
			Foco Fino (F)	Foco Grosso (G)
Alumínio	0,50 mm	50 kV / 3,2 mAs	2,97	3,26
		55 kV / 3,2 mAs	3,10	3,23
		60 kV / 3,2 mAs	3,33	3,33
Alumínio	1,00 mm	50 kV / 3,2 mAs	2,90	3,20
		55 kV / 3,2 mAs	3,36	3,10
		60 kV / 3,2 mAs	3,36	3,23
Alumínio	2,30 mm	50 kV / 3,2 mAs	3,36	3,36
		55 kV / 3,2 mAs	3,07	3,36
Cobre	1,01 mm	60 kV / 3,2 mAs	3,26	3,36
		50 kV / 3,2 mAs	2,21	2,41
		55 kV / 3,2 mAs	3,30	2,74
Cobre	0,47 mm	60 kV / 3,2 mAs	3,23	3,16
		50 kV / 3,2 mAs	1,12	1,15
		55 kV / 3,2 mAs	1,35	1,51
Cobre	1,01 mm	60 kV / 3,2 mAs	1,71	1,71
		50 kV / 3,2 mAs	3,33	3,36
		55 kV / 3,2 mAs	3,36	2,93
Placa RMI QAR	0,50 mm	60 kV / 3,2 mAs	3,36	2,93

Tabela 3. Valores da resolução espacial, em pares de linha por milímetro (pl/mm), do sistema DRX-1 (Carestream), para cada material/espessura testada.

Material	Espessura	Parâmetros	Resolução Espacial (pl/mm)	
			Foco Fino (F)	Foco Grosso (G)
Alumínio	0,50 mm	50 kV / 3,2 mAs	2,97	3,26
		55 kV / 3,2 mAs	3,10	3,23
		60 kV / 3,2 mAs	3,33	3,33
Alumínio	1,00 mm	50 kV / 3,2 mAs	2,90	3,20
		55 kV / 3,2 mAs	3,36	3,10
		60 kV / 3,2 mAs	3,36	3,23
Alumínio	2,30 mm	50 kV / 3,2 mAs	3,36	3,36
		55 kV / 3,2 mAs	3,07	3,36
		60 kV / 3,2 mAs	3,26	3,16
Cobre	0,47 mm	50 kV / 3,2 mAs	2,21	2,41
		55 kV / 3,2 mAs	3,30	2,74
		60 kV / 3,2 mAs	3,23	3,16
Cobre	1,01 mm	50 kV / 3,2 mAs	1,12	1,15
		55 kV / 3,2 mAs	1,35	1,51
		60 kV / 3,2 mAs	1,71	1,71
Placa RMI QAR	0,50 mm	50 kV / 3,2 mAs	3,33	3,36
		55 kV / 3,2 mAs	3,36	2,93
		60 kV / 3,2 mAs	3,36	2,93

A Tabela 4 apresenta as configurações avaliadas para o teste de resolução espacial e a diferença percentual entre o valor medido e o nominal do sistema de imagem DR Pendulum (Philips). As placas mais adequadas seriam aquelas que possuem a menor diferença percentual, de 1,2%, ou seja, as

placas de Al de 1,00 mm e 2,30 mm e a placa RMI QAR.

Tabela 4. Configurações avaliadas para o teste de resolução espacial e diferença percentual entre o valor obtido e o valor nominal do sistema DR Pendulum (Philips)

Material	Espessura	Parâmetros	Foco	Diferença
Alumínio	0,50 mm	60 kV	F e G	2,1%
Alumínio	1,00 mm	60 kV	F	1,2%
Alumínio	2,30 mm	50 kV	G	1,2%
Cobre	1,01 mm	55 kV	F	2,9%
Cobre	0,47 mm	55 kV	F	2,9%
Cobre	1,01 mm	60 kV	F e G	49,7%
Placa RMI QAR	0,50 mm	50 kV	G	1,2%
Placa RMI QAR	0,50 mm	55 e 60 kV	F	1,2%

A Tabela 5 apresenta as configurações avaliadas para o teste de resolução espacial e a diferença percentual entre o valor medido e o nominal do sistema de imagem DRX-1 (Carestream). Os valores mostram que, dependendo da composição do material, o melhor foco a ser utilizado pode variar. Além do foco, a tensão aplicada também pode ser distinta na realização do teste.

Tabela 5. Configurações avaliadas para o teste de resolução espacial e diferença percentual entre o valor obtido e o valor nominal do sistema DRX-1 (Carestream).

Material	Espessura	Parâmetros	Foco	Diferença
Alumínio	0,50 mm	60 kV	F e G	7,24%
Alumínio	1,00 mm	60 kV	F	1,2%
Alumínio	2,30 mm	50 kV	G	1,2%
Alumínio	1,00 mm	55 e 60 kV	F	6,41%
Cobre	0,47 mm	55 e 60 kV	F	6,41%
Cobre	1,01 mm	60 kV	F e G	49,7%
Alumínio	2,30 mm	55 kV	F	6,41%
Placa RMI QAR	0,50 mm	55 e 60 kV	F	1,2%

Nas Figuras 4 e 5 são apresentados os gráficos da curva da MTF que apresentaram os resultados mais coerentes com os valores esperados, de acordo com o sistema de imagem. Em ambos os gráficos, a curva contínua preta é a curva da MTF e a linha pontilhada vermelha é o limite da resolução espacial a 10%, conforme descrito por Bushberg *et al.* (2)

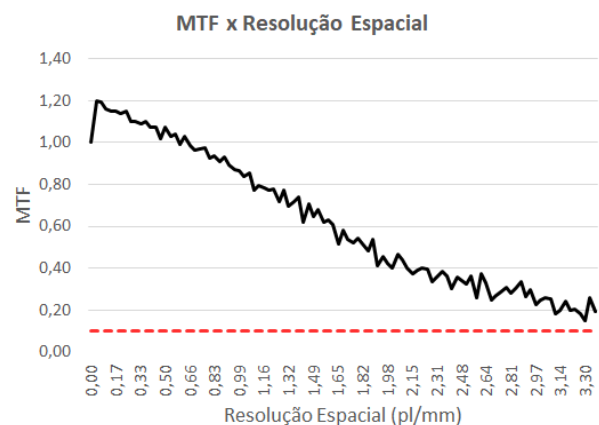


Figura 4. Curva da MTF da configuração com placa de 2,3 mm de Alumínio, 55 kV e foco fino, do equipamento DR Pendulum (Philips).

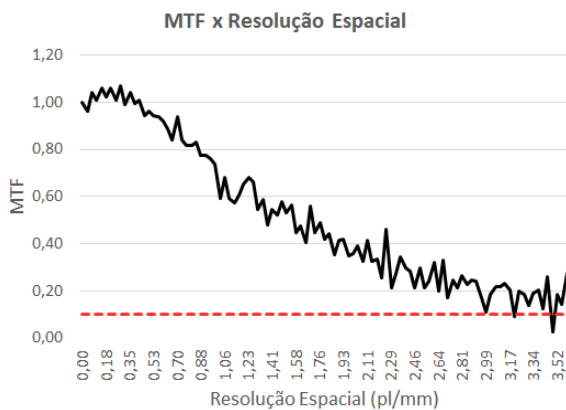


Figura 5. Curva da MTF da configuração com placa de 1 mm de Alumínio, 55 kV e foco fino, do equipamento DRX-1 (Carestream).

4. Discussão

A aquisição e análise da resolução espacial das imagens radiológicas digitais, embora baseada na publicação de Samei e Flynn (7), explorou novas possibilidades de execução dessa avaliação usando diferentes placas. Para isso, variou-se o material e a espessura do material usado no teste, a tensão do tubo de raios X e os tipos de focos, de fino para grosso. Buscou-se encontrar a melhor configuração para execução do teste pelo método da ESF, que obtivesse o resultado mais próximo da resolução espacial nominal fornecida pelo fabricante.

A máxima proximidade entre o valor medido e o nominal, em ambos os equipamentos apresentou uma diferença de apenas 1,2% para as placas de Alumínio e a placa do teste de colimação RMI-QAR, feita de latão.

Em ambos os equipamentos, a placa RMI-QAR foi eficiente na análise da resolução espacial pela MTF, com diferença percentual entre o resultado medido e o nominal semelhante às menores variações. Este resultado mostra que a placa RMI-QAR, um dispositivo geralmente existente nos materiais de avaliação de um serviço de física médica, pode ser utilizada para a avaliação da resolução espacial por um método quantitativo de MTF por meio do método da ESF. No caso deste trabalho, ambos os fabricantes, Philips e Carestream, sugerem que seja avaliado o limite da resolução espacial a 10% da curva da MTF. Os resultados se mostraram satisfatórios, mesmo quando comparados a outros trabalhos semelhantes. Marshall e colaboradores (12) apresentaram medidas de MTF em um detector digital do fabricante Canon, *Canon_CsI*, apresentando uma variação de 22% em relação ao valor atribuído ao tamanho do pixel. Esta diferença deve-se ao limite da resolução espacial, que foi medido a 50% da MTF, o que geralmente é solicitado pelo manual do fabricante, para comparação com o valor nominal.

A atual legislação nacional, a RDC nº 330 de 20 de dezembro de 2019 (8), estabelece um valor mínimo de resolução espacial de 2,5 lp/mm para radiologia convencional na instrução normativa nº 52 (Brasil, 2019) (9). Considerando que a resolução espacial do detector está associada ao tamanho do pixel, de acordo com o teorema de Nyquist, este limite não

abrange todos os tipos de detectores e não representa o real limite de aceitação para uma resolução espacial adequada. A fim de obter uma análise mais adequada da capacidade de resolução espacial do detector, sugere-se que o limite seja uma variação em relação à resolução máxima do detector, que seja suficientemente adequada para realização de um diagnóstico de qualidade.

O presente estudo ainda deixa possibilidades para trabalhos futuros, tais como a avaliação da variação da configuração geométrica da exposição pela distância foco-receptor (DFR), e o uso de outros materiais e espessuras de placas. Além disso, é possível realizar medidas nas bordas em dois sentidos, horizontal e vertical, para encontrar a configuração mais adequada e comparar a variação entre os valores. Ainda assim, é possível concluir que a análise da qualidade da resolução espacial em detectores digitais de radiologia pode ser realizada com materiais do uso cotidiano de um serviço de física médica, em conjunto com o software *ImageJ* e o *plug-in COQ*.

5. Conclusões

Este trabalho avaliou as possibilidades de uso de diferentes materiais/espessuras de placas para a análise da resolução espacial por meio da MTF em imagens radiológicas digitais, usando o método ESF e o *plug-in COQ* do *ImageJ*. Foi possível concluir que placas de alumínio com as espessuras de 1,0 e 2,3 mm mostraram resultados semelhantes ao uso da placa do teste de colimação RMI QAR, feito de latão com espessura 0,5 mm. Considerando a disponibilidade do dispositivo de teste em serviços de física médica, recomenda-se que este dispositivo possui a espessura ideal para a determinação da resolução espacial através da MTF usando o *plug-in COQ* do *ImageJ*.

Agradecimentos

Agradecemos o Hospital São Lucas da PUCRS, pela disponibilidade dos equipamentos utilizados para este artigo e às orientações recebidas pela preceptoria e tutoria da residência do programa PREMUS-PUCRS.

Referências

1. KÖRNER, M. et al. *Advances in Digital Radiography: Physical Principles and System Overview*. Radiographics. 2007. 27:675-686.
2. BUSHBERG, J.T.; SEIBERT, J.A.; LEIDHOLD, E.M.; BOONE, J.M. *The Essential Physics of Medical Imaging* Lippincott Williams & Wilkins; 3ª edição, 2012, 1031 páginas.
3. BARBARINI, E.S. *Análise óptica de sistemas eletro-ópticos por meio do cálculo da função de transferência de modulação*. 2012. Dissertação. Universidade de São Paulo, São Carlos.
4. COLARUSSO, P.; KIDDER, L.H.; LEVIN, I.W.; LEWIS, E.N. *Encyclopedia of Spectroscopy and Spectrometry: Raman and Infrared Microspectroscopy*. Elsevier; 1999, p. 1945-1954.
5. VIEIRA, M.A.C. *Metodologia baseada nas funções de transferência para pré-processamento de imagens mamográficas digitais e sua aplicação em esquema computacional de auxílio ao diagnóstico*. 2005. Tese. Universidade de São Paulo, São Carlos.
6. MARQUES DA SILVA, A. M., PATROCÍNIO, A. C., & SCHIABEL, H. (2019). *Processamento e Análise de Imagens*

- Médicas. Revista Brasileira de Física Médica, 13(1), 34-48. <https://doi.org/10.29384/rbfm.2019.v13.n1.p34-48>.
7. SAMEI E.; FLYNN, MJ. A method for measuring the presampled MTF of digital radiographic systems using an edge test device. Medical Physics. 1998. Vol. 25, Nº 1, p. 102-113.
 8. BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução da Diretoria Colegiada RDC n. 330, de 20 de dezembro de 2019. Brasil: Diário Oficial da União, ano 2019, p. 92 a 107, 26 dez. 2019.
 9. BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Instrução Normativa n. 52, de 26 de dezembro de 2019. Brasil: Diário Oficial da União, ano 2019, p.125, 26 de dez. 2019.
 10. SCHNEIDER, C.A., RASBAND, W.S., ELICEIRI, K.W. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. Nature Methods, Vol. 9, p. 671-675, 2012.
 11. BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Portaria nº 453 de 01 de junho de 1998. Diretrizes básicas de proteção radiológica em radiodiagnóstico médico e odontológico. DOU 01/06/1998.
 12. MARSHALL, N.W.; MACKENZIE, A.; HONEY I.D. Quality control measurements for digital x-ray detectors. Physics in Medicine and Biology. 2011. Vol 56, p. 979-999.
 13. MASCHIO, M.C. Performance Evaluation of Detector for Digital Radiography. 2013-2014. Tese. Alma Mater Studiorum, Università di Bologna. Bologna, Itália. Disponível em: <https://www.aapm.org/meetings/amos2/pdf/29-7979-41789-512.pdf>. Acesso em: 17/11/2020.

Contato:

Fabrcio Nery Garrafiel
Pontifcia Universidade Catlica do Rio Grande do Sul (PUCRS)
Av. Ipiranga, 6681 - Partenon, Porto Alegre - RS,
90619-900
fabricio.garrafiel@pucrs.br