

## Avaliação da qualidade de imagem em sistemas de radiografia computadorizada e *image plates*

Davi F Oliveira, Ricardo T Lopes  
Laboratório de Instrumentação Nuclear – COPPE/UFRJ  
Rio de Janeiro, RJ, 21945-972, Brasil,  
2562-7311  
[davi@lin.ufrj.br](mailto:davi@lin.ufrj.br)

Carla A Marinho, Claudio S Camerini  
CENPES/Petrobras  
Rio de Janeiro, RJ, Brasil

### Resumo

Com os avanços da tecnologia, sistemas de aquisição de imagens digitais vêm se tornando cada vez mais comuns na área dos ensaios não destrutivos, como é o caso da radiografia computadorizada (RC). Porém, muito ainda se questiona com relação à qualidade da imagem gerada e a confiabilidade da inspeção. Diante disso, muitos estudos vêm sendo realizados para tentar mensurar e garantir uma qualidade de imagem aceitável. O objetivo deste trabalho foi analisar sistemas de radiografia computadorizada e *image plates* disponíveis no mercado, com relação à qualidade da imagem final. Para isso, dois parâmetros foram levados em consideração: a resolução espacial e a relação sinal ruído. Neste estudo foram utilizados tubo de raios X de potencial constante, tensão máxima de 160 kV, IQI de fio duplo e sete diferentes tipos e marcas de *image plate*, de diversos fabricantes, e dois equipamentos de radiografia computadorizada. Com o tubo de raios X posicionado a 1 metro do detector, executaram-se duas radiografias para cada *image plate* e para cada sistema, com o IQI inclinado a 5° paralelo e perpendicular ao feixe de laser. A tensão, a corrente e o tempo de exposição foram mantidos constantes em 40 kV, 1 mA e 5 segundos, respectivamente. Com as imagens obtidas, traçou-se um perfil de linha na região do IQI de fio duplo e exportando os dados de níveis de cinza. De posse destes dados, foi possível calcular as Funções de Transferência de Modulação (MTF) e conseqüentemente a resolução espacial de cada sistema para cada tipo de *image plate*, em cada posição do IQI em relação à varredura do laser. Para obter a relação sinal ruído das imagens, foram traçadas ROIs de dimensões 20 x 55 *pixels*, em duas partes diferentes da imagem, e assim calculando os valores para cada sistema de RC e *image plate*.

## 1. Introdução

A técnica de radiografia computadorizada foi inicialmente utilizada somente na área médica, mas recentemente vem ganhando espaço também na área industrial. Atualmente, existem algumas empresas especializadas na fabricação de equipamentos e placa de fósforo para utilização específica na área de ensaios não destrutivos. Entretanto, para aplicações industriais, a qualidade da imagem deve ser superior às imagens médicas, motivando a criação de meios de se avaliar parâmetros como a resolução espacial e a relação sinal ruído nestas imagens, de forma a sempre obter uma melhor qualidade na imagem final.

O objetivo deste trabalho foi avaliar dois tipos de equipamentos de radiografia computadorizada para área industrial e sete tipos de image plates, de acordo suas respostas para os parâmetros de resolução espacial e relação sinal ruído.

## 2. Fundamentos Teóricos

A radiografia computadorizada é a técnica radiográfica que utiliza o *image plate*, que é um tipo de detector bidimensional que acumula a radiação ionizante utilizando o fósforo fotoestimulável, para a formação da imagem latente. Após a exposição do *image plate*, este é inserido em um *scanner* especial que irá converter a imagem latente em um sinal digital, para que este seja transferido ao computador acoplado e seja formada a imagem digital.

O leitor da radiografia computadorizada (CR) é um dispositivo eletromecânico que incorpora todas as funções necessárias para a extração da imagem latente e reconstrução/exibição da radiografia final. Os leitores realizam as seguintes funções básicas: um sistema de alimentação aceita a placa de fósforo, numa velocidade uniforme, um sistema de transporte conduz a placa de imagem através de um *scanner* com feixe de laser estimulador; a luminescência fotoestimulada, *pixel por pixel*, é coletada por um filtro que faz a separação da fotoestimulação contra o espectro da luminescência. Em seguida, um fotomultiplicador/detector amplifica o sinal. O sinal analógico é convertido em digital e o computador armazena a matriz em um *buffer* de imagem para as operações subseqüentes, como exibição, inserção de anotações, análise, medição, armazenamento etc. Muitas vezes, depois da estação de leitura, há ainda a etapa do apagamento, realizada pela ação de uma luz fluorescente brilhante.

A estrutura do *image plate* consiste em um suporte de poliéster, camada de fósforo, camada protetora e outros componentes que podem variar de acordo com o fabricante. A camada do fósforo fotoestimulável é comumente constituída de cristais de BaFBr:Eu<sup>2+</sup>, com grãos de aproximadamente 5 µm. Essa camada além de conter os grãos de fósforo tem em sua composição um polímero orgânico de modo a unir os grãos e providenciar uma formação uniforme do filme.

Os *image plates* são oferecidos no mercado com tamanhos que variam de acordo com o fabricante e seus respectivos *scanners*. Além disso, existem tipos diferentes de *image plate* com relação a sua resolução, que podem ser escolhidos de acordo com a necessidade de cada usuário.

A figura 1 mostra um diagrama funcional de um sistema típico (a) e a disposição física das camadas do *image plate* (b).

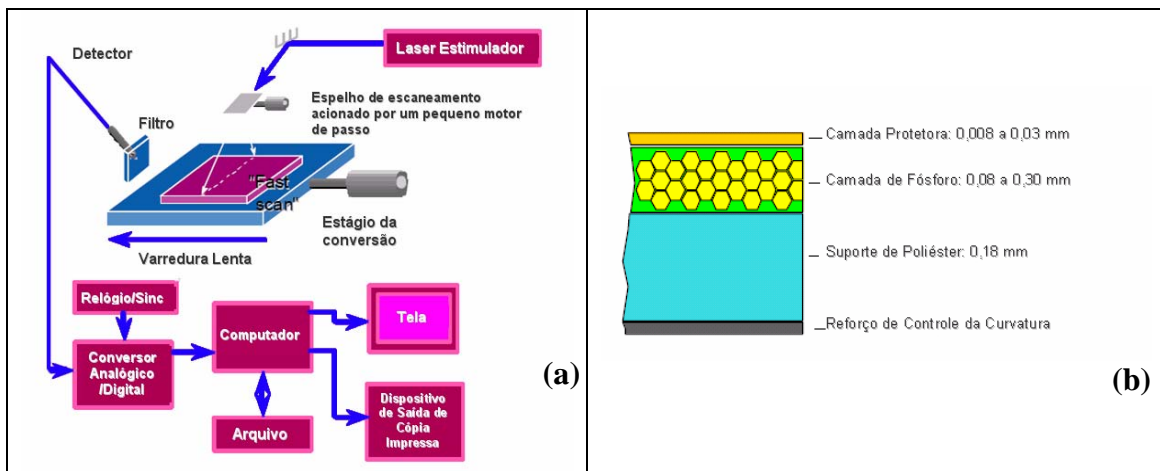


Figura 1. (a) Sistema de leitura e (b) Composição das camadas do *image plate*.

## 2. Materiais e métodos

Neste estudo foi utilizado um tubo de raios X de potencial constante, tensão máxima de 160 kV, um IQI de fio duplo, sete diferentes tipos *image plate*, de diversos fabricantes, e dois equipamentos de radiografia computadorizada. Para obtenção das imagens, a tensão, a corrente e o tempo de exposição foram mantidos constantes em 40 kV, 1 mA e 5 segundos, respectivamente, com uma distância fonte filme de 1 metro.

### 2.1 Resolução espacial

Para o levantamento da resolução espacial, foi utilizado o IQI de fio duplo, que consiste em uma barra fabricada em plástico, com treze pares de fios metálicos inseridos, cujo espaçamento entre os fios é igual ao diâmetro do mesmo, conforme na figura 2. A tabela 1 mostra a numeração dos elementos, a desfocagem geométrica correspondente ( $2d$ ), o espaçamento entre os fios ( $d$ ), a tolerância permitida e o correspondente em pares de linha por milímetro (pl/mm).

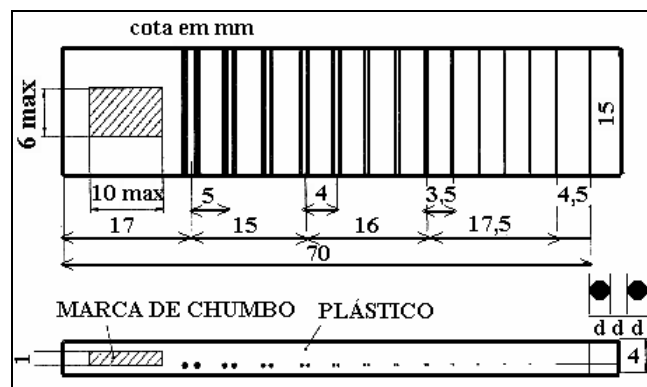


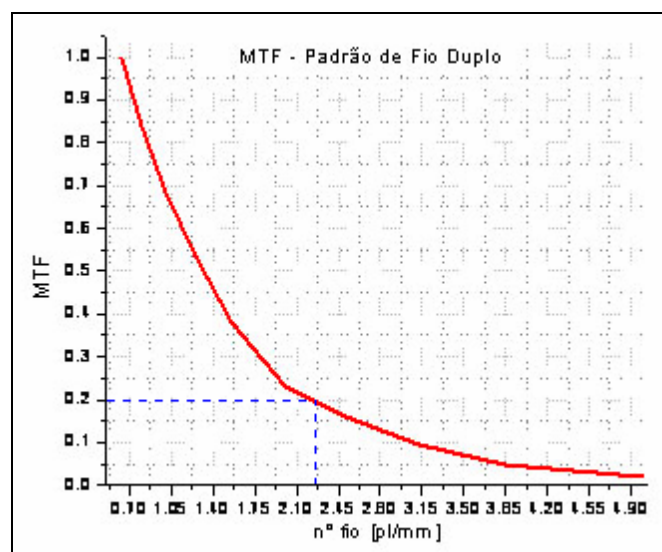
Figura 2. Indicador de qualidade de fio duplo.

**Tabela 1. Parâmetros do Indicador de Qualidade de Imagem.**

Elemento	Desfocagem Geométrica (mm)	Diâmetro do fio (mm)	Tolerância	Pl/mm
13D	0,10	0,050	± 0,005	10,000
12D	0,13	0,063		7,936
11D	0,16	0,080		6,250
10D	0,20	0,100		5,000
9D	0,26	0,130		3,846
8D	0,32	0,160	± 0,01	3,125
7D	0,40	0,200		2,500
6D	0,50	0,250		2,000
5D	0,64	0,320		1,563
4D	0,80	0,400		1,250
3D	1,00	0,500	± 0,02	1,000
2D	1,26	0,630		0,794
1D	1,60	0,800		0,625

O IQI de fio duplo foi posicionado diretamente no cassete com o *image plate*, sem écran de chumbo, orientado a 5° da paralela e da perpendicular em relação à direção da varredura do feixe de laser.

Para obter a resolução espacial do sistema, necessita-se primeiro da obtenção da curva de MTF. A partir da imagem do IQI é levantado o seu perfil de linha. O primeiro par de fios não resolvido é determinado quando a diferença entre os valores de máximo e mínimo de intensidade é menor do que 20% de sua intensidade máxima, sendo este o limite de discernibilidade do sistema. Com base no perfil de linha, faz-se uma leitura dos valores dos máximos e mínimos de intensidade correspondente a cada par de fios, normalizando a curva pela variação do primeiro pulso. Então, com os valores normalizados correspondentes a cada par de fios, é feita uma curva do número do par de fios (pl/mm) em função da MTF. Na figura 3, pode ser visto uma curva de MTF.



**Figura 3. Curva de MTF.**

A partir da curva de MTF é lido o correspondente em pares de linhas por milímetro para uma MTF de 0,2 (20%). Este valor é finalmente utilizado na equação 1, obtendo assim o valor da resolução espacial do sistema.

$$SR = \frac{1}{2 \cdot x \cdot MTF_{20\%}} \dots\dots\dots(1)$$

### 2.2 Relação Sinal Ruído

O ruído são variações aleatórias de intensidade no sinal da imagem, que contribuem para redução de visualização de detalhes, especialmente de objetos pequenos e de baixo contraste.

Em uma imagem digital, a relação sinal-ruído pode ser calculada através razão entre a média de certa região da imagem e seu respectivo desvio padrão, obtidos através dos programas de processamento de imagem. A razão sinal ruído é calculada pela equação 2.

$$SNR = \frac{S}{\sigma} \dots\dots\dots(2)$$

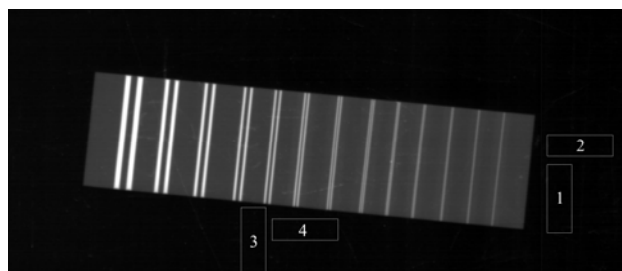
onde,

$$S = \frac{1}{ixj} \sum_{i,j} X_{i,j} = \bar{X} \dots\dots\dots(3)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{(X_{i,j} - \bar{X})^2}{(ixj) - 1}} \dots\dots\dots(4)$$

onde i e j são respectivamente o número de linhas e colunas da área utilizada para determinar a SNR, e  $X_{i,j}$  são os valores de intensidade ou densidade óptica de cada *pixel*.

Para a determinação da relação sinal-ruído foram utilizados os mesmos parâmetros usados no cálculo da resolução espacial. Através do programa de processamento de imagem, foram marcadas regiões de interesse (ROIs) de 20 x 55 *pixels*, perpendicular e paralelo a direção da varredura do laser, em duas áreas diferentes da imagem, conforme a figura 4.



#### Figura 4. Posicionamento dos ROIs na imagem.

### 2.3 *Image plates*

Como mencionado anteriormente, neste estudo foram utilizados sete tipos diferentes de *image plates*, de diversos fabricantes. A tabela 2 mostra as placas de fósforo utilizadas para avaliação da qualidade de imagem dos sistemas e seus respectivos fabricantes e dimensões.

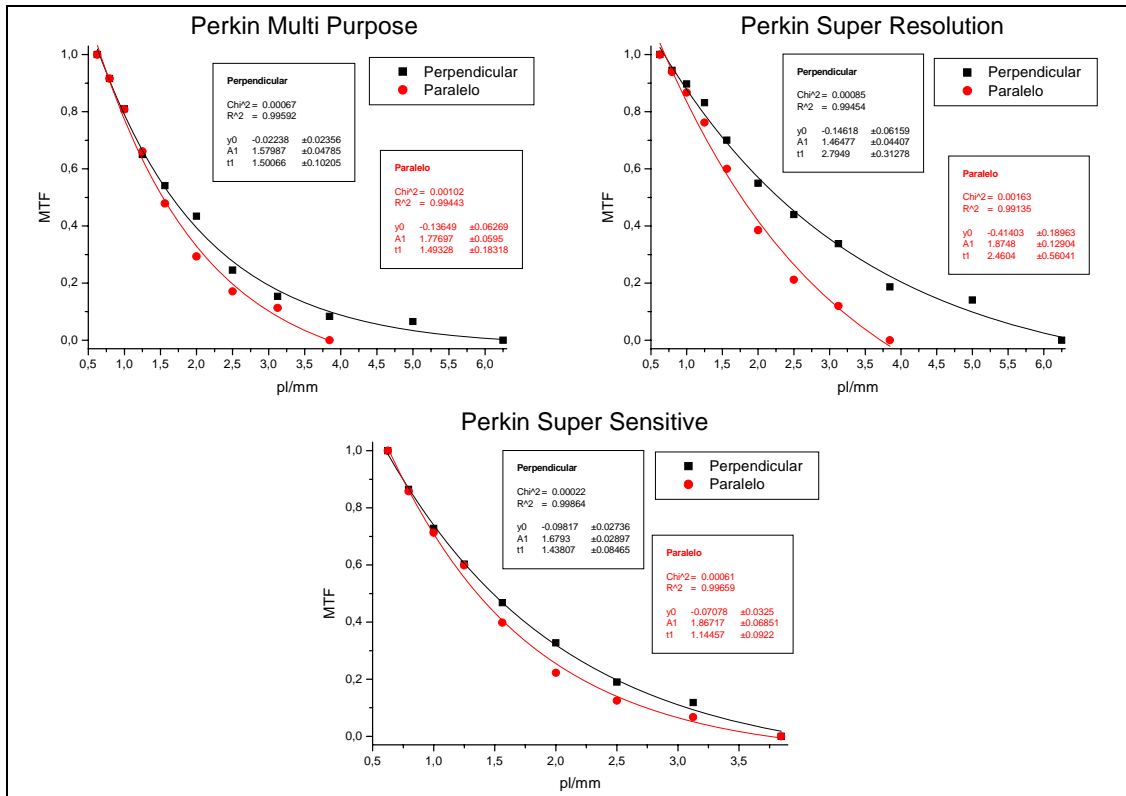
**Tabela 2. *Image plates* utilizados**

Nome do <i>image plate</i>	Fabricante	Dimensões (cm)
Perkin Super Resolution	Perkin Elmer	12,5 x 19,2
Perkin Super Sensitive	Perkin Elmer	12,5 x 19,2
Perkin Multi Purpose	Perkin Elmer	12,5 x 19,2
Kodak Standard	Kodak	10 x 43
Kodak High Resolution	Kodak	35 x 43
Fuji Standard	Fuji	12,5 x 19,2
GE IPS	GE	35 x 43

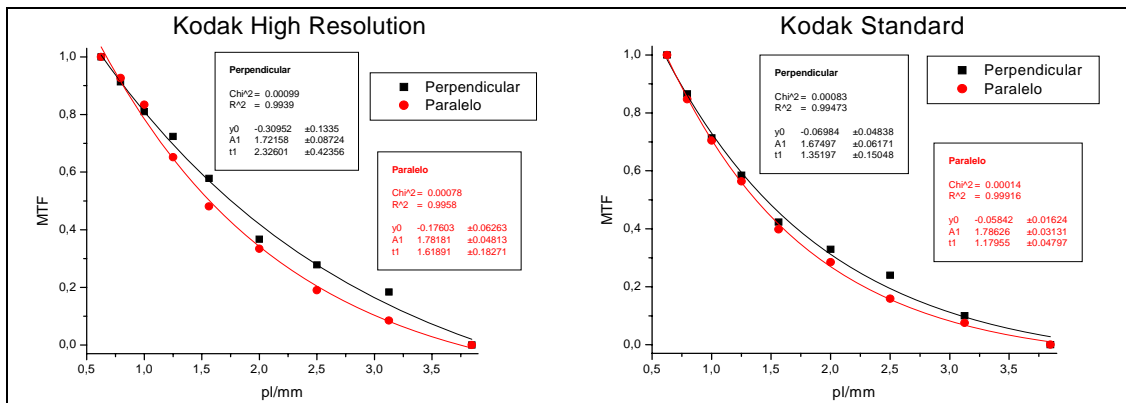
## 3. Resultados

### 3.1 *Resolução espacial dos sistemas*

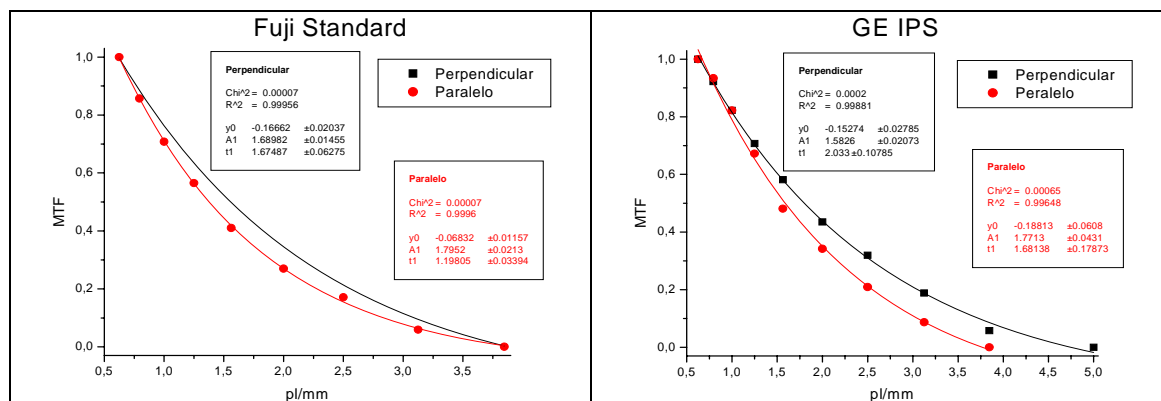
Nas figura 5 a 7 podemos observar as curvas da Função de Transferência de Modulação para o sistema GE CR100, para os diversos tipos de *image plate* e para as duas direções da varredura do feixe de laser. A resolução espacial pôde ser obtida ajustando os pontos através de uma função exponencial de primeira ordem.



**Figura 5. Função de Transferência de Modulação para o sistema GE CR100 e image plates Perkin Elmer.**



**Figura 6. Função de Transferência de Modulação para o sistema GE CR100 e image plates Kodak.**



**Figura 7. Função de Transferência de Modulação para o sistema GE CR100 e image plates Fuji e GE.**

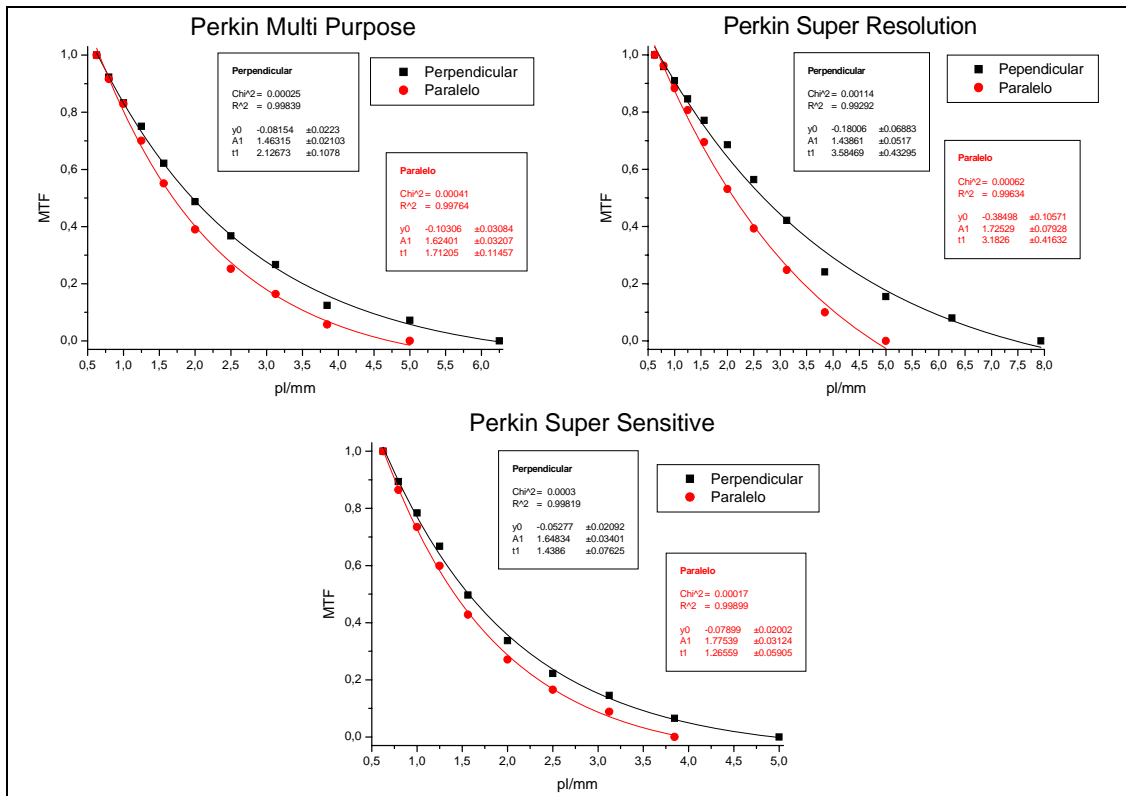
A tabela 3 mostra a resolução espacial para o sistema de radiografia computadorizada GE CR100, para cada tipo de *image plate* e para as duas posições em relação a direção de varredura do feixe de laser.

**Tabela 3. Resolução espacial do sistema GE CR100.**

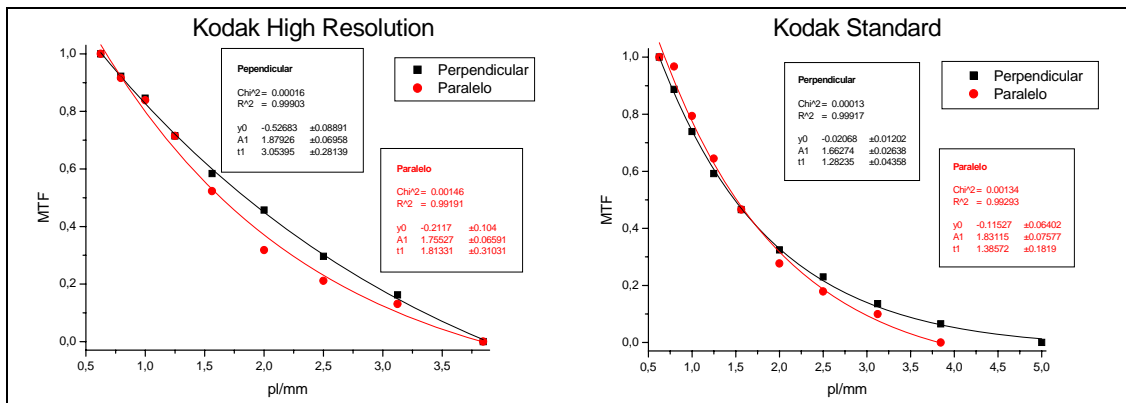
Image Plate	Posição	Resolução MTF 80% ( $\mu\text{m}$ )	Resolução MTF 20% ( $\mu\text{m}$ )	BSR ( $\mu\text{m}$ )
Fuji Standard	Perpendicular	534,45	195,37	130,00
	Paralelo	574,61	219,58	130,00
GE IPS	Perpendicular	484,63	163,84	100,00
	Paralelo	509,50	195,88	130,00
Kodak High Resolution	Perpendicular	489,31	176,55	130,00
	Paralelo	513,13	198,53	130,00
Kodak Standard	Perpendicular	564,42	202,57	130,00
	Paralelo	578,46	219,26	130,00
Perkin Multi Purpose	Perpendicular	510,32	169,93	80,00
	Paralelo	522,75	201,21	130,00
Perkin Super Resolution	Perpendicular	409,36	124,02	80,00
	Paralelo	467,65	182,06	130,00
Perkin Super Sensitive	Perpendicular	555,61	201,15	130,00
	Paralelo	572,69	226,24	130,00

As figuras 8 a 10 apresentam as curvas de Função de Transferência de Modulação para o sistema de radiografia computadorizada Kodak ACR-2000i, para os sete tipos de *image plates* e nas duas posições em relação a direção de varredura do feixe de laser.

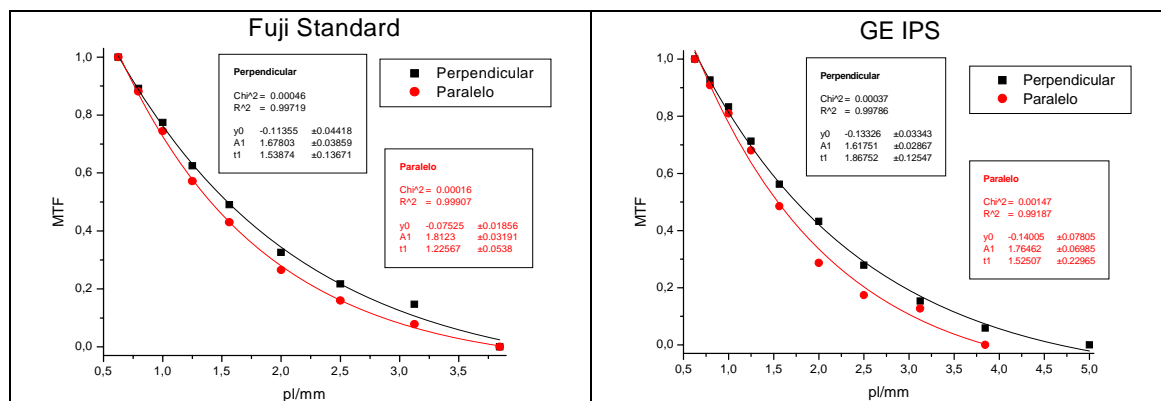




**Figura 8. Função de Transferência de Modulação para o sistema Kodak ACR-2000i e image plates Perkin Elmer.**



**Figura 9. Função de Transferência de Modulação para o sistema Kodak ACR-2000i e image plates Kodak.**



**Figura 10. Função de Transferência de Modulação para o sistema Kodak ACR-2000i e image plates Fuji e GE.**

A tabela 4 mostra os valores de resolução espacial calculados a partir das curvas de MTF para o sistema de radiografia computadorizada Kodak ACR-2000i, para os sete tipos de *image plate* e para as duas posições do IQI em relação a direção de varredura do feixe de laser.

**Tabela 4. Resolução espacial do sistema Kodak ACR-2000i.**

Image Plate	Posição	Resolução MTF 80% ( $\mu\text{m}$ )	Resolução MTF 20% ( $\mu\text{m}$ )	BSR ( $\mu\text{m}$ )
Fuji Standard	Perpendicular	534,41	193,72	130,00
	Paralelo	560,48	216,45	130,00
GE IPS	Perpendicular	486,83	169,48	100,00
	Paralelo	520,60	199,11	130,00
Kodak High Resolution	Perpendicular	470,35	172,35	130,00
	Paralelo	500,44	190,15	130,00
Kodak Standard	Perpendicular	552,21	193,07	100,00
	Paralelo	520,31	205,10	130,00
Perkin Multi Purpose	Perpendicular	464,01	142,65	80,00
	Paralelo	497,64	173,97	100,00
Perkin Super Resolution	Perpendicular	363,41	104,79	65,00
	Paralelo	418,20	145,26	100,00
Perkin Super Sensitive	Perpendicular	528,29	184,91	100,00
	Paralelo	561,98	213,48	130,00

### 3.2 Relação sinal ruído

Nas tabelas 5 e 6 são apresentados os valores da relação sinal ruído dos sistemas GE CR100 e Kodak ACR-2000i, respectivamente, para cada *image plate*. Os valores são relativos a cada ROI de 20 x 55 *pixels*, cujos posicionamentos estão indicados na figura 4.

Tabela 5. SNR para o sistema GE CR100.

ROI	Fuji Standard		GE IPS		Kodak High Resolution	
	Perpendicular	Paralelo	Perpendicular	Paralelo	Perpendicular	Paralelo
	SNR	SNR	SNR	SNR	SNR	SNR
1	1719	1304	1480	1420	1480	1420
2	1653	1318	1426	1339	1426	1339
3	1780	1147	1425	1433	1425	1433
4	1656	1221	1470	1400	1470	1400
ROI	Kodak Standard		Perkin Multi Purpose		Perkin Super Resolution	
	Perpendicular	Paralelo	Perpendicular	Paralelo	Perpendicular	Paralelo
	SNR	SNR	SNR	SNR	SNR	SNR
1	828	870	768	801	542	543
2	844	839	767	846	521	537
3	766	802	767	788	514	542
4	827	772	757	801	521	535
ROI	Perkin Super Sensitive					
	Perpendicular	Paralelo				
	SNR	SNR				
1	1160	1184				
2	1172	1240				
3	1218	1207				
4	1210	1272				

Tabela 6. SNR para o sistema Kodak ACR-2000i.

ROI	Fuji Standard		GE IPS		Kodak High Resolution	
	Perpendicular	Paralelo	Perpendicular	Paralelo	Perpendicular	Paralelo
	SNR	SNR	SNR	SNR	SNR	SNR
1	1335	1378	3803	saturado	2248	1912
2	1329	1421	3615	saturado	2128	1885
3	1511	1248	3116	saturado	1903	1777
4	1461	1357	2955	saturado	1876	1698
ROI	Kodak Standard		Perkin Multi Purpose		Perkin Super Resolution	
	Perpendicular	Paralelo	Perpendicular	Paralelo	Perpendicular	Paralelo
	SNR	SNR	SNR	SNR	SNR	SNR
1	1174	1038	1152	1069	890	801
2	1094	1135	1065	1146	808	744
3	1183	1216	1162	1070	794	758
4	1068	1240	1135	1088	866	745
ROI	Perkin Super Sensitive					
	Perpendicular	Paralelo				
	SNR	SNR				
1	1461	1356				
2	1275	1361				
3	1303	1335				
4	1207	1390				

## 4. Conclusões

A análise da resolução espacial dos sistemas de radiografia computadorizada mostrou que equipamentos diferentes possuem resoluções espaciais diferentes, mesmo que sejam fisicamente idênticos. Isso se deve a forma como a *workstation* interpreta os sinais oriundos do leitor de *image plate*, como os algoritmos utilizados na reconstrução e exibição da imagem final. Isso pôde ser observado quando utilizamos *image plates* de dimensões diferentes. Foi constatado que o sistema GE CR100, independente do tamanho da placa de fósforo, gera imagens com *pixel* de 100  $\mu\text{m}$ . Já para o sistema Kodak ACR-2000i, o tamanho do *pixel* é variável em função do tamanho do *image plate*, onde foram obtidos *pixel* de 86  $\mu\text{m}$  para *image plates* de 35 x 43 cm e *pixel* de 37  $\mu\text{m}$  para *image plates* de 12,5 x 19,2 cm. Essa diferença contribuiu para que em todos os *image plates* utilizados a resolução espacial fosse melhor no sistema da Kodak do que no sistema fabricado pela GE.

Com relação aos diferentes fabricantes de placas de fósforo, pode-se observar que para ambos os sistemas, os *image plates* de alta resolução fabricados pela Perkin Elmer, ou seja, Perkin Super Resolution e Perkin Multi Purpose, alcançaram os melhores resultados. Isso poderia já ser esperado, devido às características físicas do próprio *image plate*, como a reduzida espessura da placa e a utilização da coloração azul na camada de fósforo, que minimiza a absorção da luz de luminescência e otimiza a absorção do feixe de estimulação.

Pode ser observado também que, em todos os casos a resolução espacial foi melhor na posição perpendicular em relação à direção de varredura do feixe de laser do que na paralela, conforme previsto teoricamente.

Com relação à análise da relação sinal-ruído, no geral foram obtidos melhores resultados para o sistema Kodak. Novamente de acordo com o esperado teoricamente, os *image plates* que tiveram os valores de SNR mais baixos foram os de alta resolução fabricados pela Perkin Elmer, pois como possuem uma menor espessura da camada de fósforo, sua eficiência de absorção da radiação diminuiu, necessitando de mais tempo de exposição.

## Referências Bibliográficas

1. Takahashi, K., "Progress in Science and Technology On Photostimulable BaFX:Eu<sup>2+</sup> (X= Cl, Br, I) and Imaging Plates", *Journal of Luminescence*, **Vol. 100**, pp. 307-315 (2002).
2. Mango, S. A., "How to Evaluate a Radiographic Performance Envelope of a Computed Radiographic System", *Materials Evaluation*, **Vol. 64**, pp. 297-302 (2006).
3. Gurvich, A. M., Hall, C. *et al.*, "Phosphors for Luminescent Imaging Plates", *Journal of X-ray Science and Technology*, **Vol. 6**, pp. 48-62 (1996).
4. Oliveira, D. F., "Análise da radiografia computadorizada em condições de águas profundas", Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2007.