

# Método Computadorizado para Simulação da Distribuição Angular dos Raios X em Sistemas Radiológicos

Márcio A. Marques<sup>1</sup>; Annie F. Frère<sup>2</sup>; Henrique J. Q. de Oliveira<sup>1</sup>; Homero Schiabel<sup>2</sup>; Paulo M. A. Marques<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Física e Informática  
Grupo de Instrumentação e Informática - GII - IFSC/USP  
Av. Dr. Carlos Botelho, 1465 - 13560-250 - São Carlos (SP)  
e-mail: marcio@uspfc.ifqsc.sc.usp.br

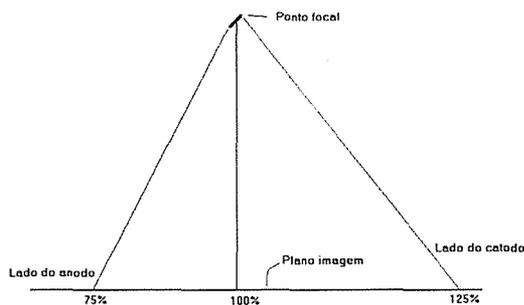
<sup>2</sup> Departamento de Engenharia Elétrica - EESC/USP  
Av. Dr. Carlos Botelho, 1465 - 13560-250 - São Carlos (SP)

**Resumo** - O presente trabalho apresenta uma técnica para simular, em sistemas de imagens radiológicas, a variação da distribuição angular dos raios X (Efeito "Heel"), que é responsável pela variação de intensidade ao longo do campo de radiação. Com esta simulação pode ser previsto o contraste das imagens para qualquer técnica de exposição.

**Abstract** - This work introduces a method in order to simulate the changes in X-ray angular distribution (the Heel effect) for radiologic imaging systems. This distribution is the cause of the intensity variation along the radiation field. This simulation method can predict images contrast for any exposure technique.

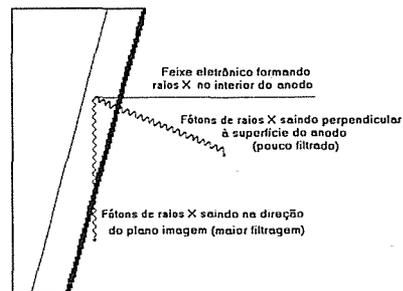
## Introdução

A distribuição de intensidade de radiação ao longo do campo de radiação (campo da imagem) não é uniforme, e pode variar de 70 a 120% com relação ao centro do campo, como mostra a figura 01. O fenômeno que causa esse efeito é conhecido como distribuição angular, "Efeito Heel" ou "Efeito Anódio" e provoca no filme um gradiente de radiação que não depende somente do objeto. Portanto, pode ocorrer que certas regiões do filme não serão sensibilizadas enquanto outras serão sensibilizadas em excesso, prejudicando o contraste necessário para obtenção de uma boa imagem.



**Figura 01** - Distribuição de intensidade ao longo do campo de radiação causada pelo efeito "Heel"

O Efeito "Heel" produz uma redução na intensidade de raios X para aqueles raios que são emitidos do anodo em ângulos rasantes à face do alvo. Isto é causado pela maior absorção dos raios X que passam através de espessuras maiores do alvo (figura 02).



**Figura 02** - Esquema simplificado da ocorrência do efeito "Heel"

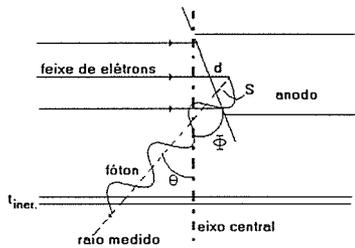
Teoricamente o feixe de elétrons deveria colidir com a superfície do anodo (alvo) e toda a radiação também deveria ser produzida na superfície, porém, isso não ocorre. Os elétrons emitidos em alta velocidade penetram no material do alvo, antes de chocar-se com alguns átomos para produzir radiação, fazendo com que a radiação produzida esteja imersa no anodo e, dependendo do ângulo de saída, ser mais ou menos absorvida pelo alvo, como mostra a figura 02.

A radiação que sofre a menor absorção pelo alvo é aquela que sai perpendicular à sua superfície (figura 02) pois, a espessura de material que ela deve percorrer é menor. Em qualquer outro ângulo de saída, menor que 90°, a radiação precisa percorrer um caminho cada vez maior, proporcional a diminuição do ângulo e por isso é mais absorvida pelo material.

## Metodologia

Baseado em Fritz<sup>1,2</sup> desenvolvemos um algoritmo que calcula a intensidade dos raios X em

várias posições do campo como função do ângulo que o raio à ser medido faz com o eixo central (figura 03).



**Figura 03** - Processo de emissão de fótons pelo alvo (anodo)

Considerando o espectro de raios X como sendo contínuo, cada energia  $E$  deve ser filtrada através da espessura apropriada do material do alvo, ou seja, ela é filtrada para cada comprimento de atenuação  $s(\theta)$  calculado e também pela filtração inerente. Depois da correção pelas filtrações o espectro deve ser integrado sobre  $E$  para se obter a intensidade total na direção escolhida (raio de ângulo  $\theta$ ) e também deve ser corrigido para  $1/r^2$ , ou seja, em função da atenuação causada pela distância entre a fonte (alvo) e o plano imagem.

## Resultados

Para determinar se os resultados obtidos pela simulação são coerentes, medimos experimentalmente a variação de intensidade de raios X no campo de radiação, com um dispositivo experimental descrito por Abramov<sup>3</sup>. Para determinar a dose dos tubos de raios X, utilizamos 27 cristais de LIF ("lithium fluoride") dispostos em círculos concêntricos no plano imagem.

Após alinharmos o detector central com o centro do feixe de raios X, realizamos exposições com 40 KVp e 50 mAs. Repetimos esta experiência 10 vezes com cristais termoluminescentes diferentes e, após medir as doses dos cristais com um dispositivo dosimétrico, calculamos a média das medidas.

## Discussão e Conclusões

Podemos concluir que o algoritmo desenvolvido para a simulação do efeito "Heel" mostrou-se eficaz, já que houve uma concordância muito grande entre os dados obtidos experimentalmente através das medidas com os LIFs e os dados obtidos com a simulação.

O comportamento do efeito "Heel" simulado está coerente com a teoria descrita na literatura e, com o programa desenvolvido,

podemos calcular eficientemente e rapidamente a distribuição de intensidade no campo de radiação.

## Referências

- <sup>1</sup> FRITZ, S.L.; LIVINGSTON, W.H. **The Effect of Anode Curvature on Radiographic Heel Effect.** *Medical Physics*, v.12, n° 4, p.443-446, Jul/Aug 1985.
- <sup>2</sup> FRITZ, S.L.; LIVINGSTON, W.H. **A Comparison of Computed and Measured Heel Effect for Various Target Angles.** *Medical Physics*, v.9, n° 2, p.216-219, March/April 1982.
- <sup>3</sup> ABRAMOV, V.P.; KULESHOV, A.S.; KULESHOV, V.K. **Angular Distribution of Intensity and Dose Characteristics of pulsed X-ray Tube with a Thermoemissive Cathode.** *Instrum. & Exp. Tech. (USA)*, v.21, n° 3, p.788-790, May 1978.

## Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP