

CONTROLE DE QUALIDADE EM SISTEMAS MAMOGRAFICOS: AFERIÇÃO DE kV_p , CORRENTE DE TUBO E TEMPO DE EXPOSIÇÃO UTILIZANDO DETECTOR DE CINTILAÇÃO

por

H. Schiabel¹ e A. F. Frere²

RESUMO - Um dispositivo desenvolvido anteriormente para a aferição do potencial elétrico aplicado entre os eletrodos de um tubo mamográfico foi aprimorado, chegando-se a um novo equipamento que possibilita a aferição também de outros dois parâmetros relevantes no controle de qualidade em mamografia, quais sejam, a corrente no tubo e o tempo de exposição da paciente aos raios-X. A metodologia empregada continua seguindo o princípio da detecção de cintilação, utilizando um cristal de NaI(Tl) acoplado a uma fotomultiplicadora como sensor de raios-X em vez do filme radiográfico. Neste estudo, também se discutem brevemente comparações experimentais realizadas recentemente quanto aos métodos de aferição da kV_p de equipamentos radiográficos.

INTRODUÇÃO

Foi desenvolvido anteriormente (H. Schiabel et al, 1989) um dispositivo para aferir o potencial entre os eletrodos de tubos mamográficos (kV_p) que utiliza como princípio de funcionamento a detecção de cintilação a partir de um cristal de iodeto de sódio dopado com tálio (cristal cintilador de NaI(Tl)), que tem a propriedade de emitir luminescência na cor violeta quando da incidência de um feixe de raios-X em uma de suas superfícies. Tal luminescência é captada por uma fotomultiplicadora RCA que a converte em pulsos elétricos enviados a um circuito eletrônico; este circuito, por sua vez, trata adequadamente o sinal elétrico de modo a mostrar em "displays" o valor numérico da kV_p real aplicada ao tubo no momento da exposição.

Assim, procurou-se desenvolver mais o equipamento original, buscando adaptá-lo à

¹-Instituto de Física e Química de S.Carlos - USP - DFCM - Av. Dr. Carlos Botelho, 1465 - 13560 - São Carlos (SP).

²-Escola de Engenharia de S.Carlos - USP - Depto. Eletricidade - Av. Dr. Carlos Botelho, 1465 - 13560 - São Carlos (SP).

aferição não só da kVp, como também da corrente no tubo e do tempo de exposição do feixe. Para tanto, as modificações necessárias situam-se no projeto de dois novos circuitos eletrônicos que, acoplados ao conjunto original cristal + fotomultiplicadora, tratem o sinal elétrico proveniente de modo a amostrar nos "displays" os valores dos outros dois parâmetros, conforme a necessidade do operador.

Cabe, entretanto, ressaltar a importância da aferição desses parâmetros no que se refere ao controle de qualidade de rotina em sistemas mamográficos, sobretudo em relação à kVp, conforme já destacado anteriormente por L. Stanton et al, 1966, G.M. Ardran e H.E. Crooks, 1968, L.A.M. Scaff, 1979, M.R. Cruty e T. Ghilardi Netto, 1980, entre outros, e mais recentemente por H. Schiabel et al, 1989 e J. Law et al, 1989. Essa importância bem conhecida da kVp em mamografia se deve principalmente à restrita faixa energética de operação dos equipamentos já que, entre 25 e 40 kVp, mesmo uma diferença de apenas 1 kV é muito significativa à penetração do feixe, afetando, conseqüentemente, o contraste na imagem final.

A AFERIÇÃO DA kVp

J. Law et al, 1989, por exemplo, discutiram a medição do potencial de tubos de raios-X na "região mamográfica", usando quatro métodos propostos anteriormente: (a) o da fluorescência, que usa o fenômeno físico da conhecida energia característica da camada K de absorção de um elemento; (b) o do divisor de tensão, que é invasivo ao sistema de alta tensão do aparelho; (c) o do penetrômetro de Ardran e Crooks; e (d) o do medidor digital de kV, desenvolvido na Universidade de Wisconsin, baseado também no princípio do penetrômetro. Uma comparação entre os resultados obtidos leva a interessantes conclusões quanto à utilização prática desses métodos.

É bem clara a inadequação dos métodos diretos, como o do divisor de tensão, para medidas de rotina de equipamentos radiográficos em geral, em vista do grande tempo necessário, e dos riscos inerentes à invasão do sistema de alta tensão do aparelho. Portanto, os métodos indiretos, isto é, que avaliam parâmetros de funcionamento do sistema via-feixe de raios-X, constituem-se prática comum em programas de controle rotineiro de qualidade de sistemas radiográficos. Assim, instrumentos baseados no princípio do penetrômetro de Stanton, notadamente os desenvolvidos e vendidos por Radiation Measurements Inc., da Universidade de Wisconsin, têm sido usados com frequência, principalmente em programas para avaliação de qualidade em mamografia.

É conveniente notar, porém, que mesmo o trabalho de J. Law et al, 1989 - que conclui pela proximidade de resposta na comparação entre os resultados dos métodos examinados - considera que, abaixo de certos limites de kVp, a imprecisão dos penetrômetros cresce a, no mínimo, 2 kV. A dificuldade maior que parece interferir nos resultados desses métodos é a própria imagem no filme radiográfico, uma vez que, também segundo J. Law et al e através de aferições realizadas pelos autores do presente estudo, o método do penetrômetro se

torna impreciso dentro de certos limites, se não forem feitas exposições relativamente longas e repetidas. Encontrar aquilo que se convencionou chamar de "degrau de igualdade" no filme radiográfico (vide L. Stanton et al, 1966, e Ardran & Crooks, 1968) de modo que a precisão do dispositivo de medida se situe em torno de 1 kV muitas vezes só é possível com a ajuda de um densitômetro dentro da faixa energética empregada em mamografia. Isso porque o uso do filme radiográfico é fator limitante devido às variações de densidade por causa do "fog" tanto do armazenamento quanto da revelação, o que obriga o investigador a refazer as medidas. Esse fato determina a necessidade de utilização de novos filmes o que implica aumento do custo. Isso tudo, portanto, é um obstáculo a um programa rotineiro de controle de qualidade em função não só do custo como também da inviabilidade de se dispor de tal equipamento densitométrico na grande maioria das unidades mamográficas.

Por isso, a proposta do dispositivo detector de cintilação, substituindo o filme, para tal finalidade parece-nos um recurso importante na medida em que auxilia tal avaliação de rotina quanto ao desempenho do aparelho mamográfico, mantendo-se dentro dos padrões necessários de precisão em toda faixa operacional dos mamógrafos. O desenvolvimento, apresentado a seguir, com as implementações de estágios para aferição de corrente de tubo e tempos de exposição deve fortalecer a praticidade do instrumento como um auxiliar confiável em testes rápidos de rotina em unidades mamográficas.

DESENVOLVIMENTO DOS NOVOS ESTÁGIOS

No trabalho anterior (H.Schiabel et al, 1989), uma curva de calibração, relacionando a kVp real e a amplitude dos pulsos de saída da fotomultiplicadora tomados numa carga de 1 MÔ para quatro valores distintos de corrente de tubo, possibilitava o desenvolvimento do projeto do circuito eletrônico de tratamento, que deveria apresentar uma saída que fosse um sinal contínuo de amplitude numericamente igual à kVp aplicada durante o teste. Do mesmo modo, fixando-se alguns valores (quatro) de kVp's conhecidas, foram levantadas curvas de calibração idênticas relacionando a corrente de tubo e o valor da máxima amplitude dos pulsos (V_o) tomado na mesma carga. Um novo circuito eletrônico, portanto, foi projetado para acoplar-se à saída da fotomultiplicadora, a fim de apresentar um sinal contínuo, agora, numericamente igual à corrente procurada, a partir de novas curvas de calibração. Uma dessas curvas típicas é mostrada na figura 1, para 30 kVp.

Novamente aqui, o circuito eletrônico deve ser constituído de tal maneira que seu sinal de saída satisfaça uma relação da forma:

$$V_s = (1/A).(V_o - B)$$

onde V_s é o valor (em mV) do sinal de saída do circuito, V_o é o valor da máxima amplitude dos pulsos de saída da fotomultiplicadora (em V), obtido na curva de calibração, e A e B são constantes que dependem da inclinação e ponto de corte da respectiva curva.

O estágio para aferição do tempo de exposição aos raios-X difere um pouco dos dois anteriores por não depender dos valores medidos a partir do feixe, mas apenas do tempo em que este feixe atuou e, conseqüentemente, do tempo em que foram captados pulsos na saída da fotomultiplicadora. Este estágio utiliza como base um sistema de relógio digital formado por um gerador de pulsos de período igual a 0,1 s, contadores do tipo 74LS193 e divisores de frequência. O gerador de pulsos é disparado a partir do instante em que há sinal proveniente da fotomultiplicadora e a contagem de pulsos é interrompida quando esse sinal deixa de existir, ou seja, quando não há mais feixe de raios-X incidindo no cristal.

A figura 2 esboça a configuração em blocos desse estágio em particular. O circuito "clamping" de entrada serve para limitar os pulsos que são enviados aos monoestáveis num nível de 4 V de amplitude, uma vez que todos os componentes são circuitos digitais. A saída do monoestável "redisparável" é enviada junto com os pulsos de "clock" de período igual a 0,1 s. a uma chave analógica, daí, para o contador. Um monoestável não "redisparável" corrige a imprecisão devida à parada do monoestável "redisparável" somente quando não há mais pulsos vindo da fotomultiplicadora (erro de um período). O total de pulsos contados pelo bloco contador será visto nos "displays" como o tempo total em segundos em que o feixe de raios-X esteve atuando. No instante em que cessa a incidência desse feixe sobre o cristal de NaI(Tl), não há mais luminescência e, por conseguinte, cessa o trem de pulsos; logo, o valor lido nos "displays" corresponde ao tempo real de exposição a que uma eventual paciente estaria submetida aos raios-X naquelas condições avaliadas.

OPERAÇÃO DO DISPOSITIVO

Na figura 3, vê-se um diagrama em blocos mais completo mostrando o sistema para aferição de kVp, corrente de tubo e tempo de exposição projetado para operar junto a mamógrafos. Para fazer as medições a que o dispositivo se destina, o operador deve posicionar inicialmente o bloco com o cristal e a fotomultiplicadora junto ao tubo de raios-X, prendendo-o com presilhas elásticas ou com um suporte projetado junto com o instrumento. O restante do equipamento deve ser colocado num local onde o operador possa ficar protegido dos raios-X.

Uma chave no painel da caixa que abriga as fontes de alimentação e os "displays" propicia ligar o sistema. Outra chave possibilita a seleção do circuito interno de acordo com o parâmetro a ser aferido. Isso significa que só se avalia um desses fatores de cada vez mediante controle dessa chave seletora, que acopla ao restante do sistema apenas um dos blocos V, I ou T, da figura 3.

O princípio que permite a leitura da kVp ou da corrente de tubo reais aplicadas durante uma dada exposição é aquele exposto por H.Schiabel et al, 1989, a partir da transformação da radiação incidente no cristal em cintilação e sua conseqüente transformação em pulsos elétricos na saída da fotomultiplicadora, adequadamente tratados por um dos circuitos eletrônicos, para se visualizar nos "displays" o valor procurado. O princípio que rege o funcionamento do bloco T é aquele exposto no item anterior deste estudo e depende

unicamente da chegada ou não de pulsos provenientes da fotomultiplicadora - indicando, obviamente, a existência ou não de emissão de raios-X pelo aparelho. No caso da aferição do tempo de exposição, o operador pode fixar um determinado valor para a kVp e corrente de tubo (se este último parâmetro for independente do controle de tempo) e fazer a varredura de todos os valores disponíveis no aparelho.

DISCUSSÃO

Os testes básicos foram realizados utilizando-se uma unidade de raios-X Philips-Norelco, com tubo de tungstênio de foco fino (0,4 x 0,8 mm) e janela de aproximadamente 1,0 mm de berílio sem filtragem adicional.

Foram feitas varreduras de corrente de tubo ponto a ponto, fixando-se quatro valores de kVp conhecidos (25, 30, 35 e 40 kVp). Chaves seletoras apropriadas na caixa de controles do instrumento permitem fazer-se tal seleção.

O tempo de exposição foi cronometrado manualmente, visto que a janela de exposição do aparelho podia ser aberta e assim mantida o tempo desejado. O menor tempo de exposição possível de se obter manualmente foi de 0,5 s. entre abertura e fechamento da janela. Cabe ressaltar que a abertura indefinida dessa janela (levando, assim, a um tempo de exposição extremamente longo) a baixas correntes não afeta a resposta do cristal ou da fotomultiplicadora e nem, portanto, do restante do equipamento.

A calibração da unidade de raios-X testada foi feita por métodos diretos, usando-se divisor de tensão e multímetro digital.

A margem de erro do dispositivo havia sido registrada anteriormente como 1,5% (ou seja, sempre abaixo do limite aceitável de 1 kV) na aferição do potencial aplicado ao tubo. Neste novo desenvolvimento, verificou-se situar-se em cerca de 2,3% para medidas de corrente e em torno de 1,0% para avaliação do tempo de exposição.

Em relação ao que fora exposto no segundo item deste trabalho, essa margem de erro na avaliação da kVp, particularmente, demonstra a vantagem de precisão do equipamento, qualificando-o como uma ferramenta muito útil para programas de controle de qualidade em mamografia. Como esse desempenho foi avaliado para todos os valores interiores de kVp entre 20 e 45, e o comportamento foi, de modo geral, idêntico para toda a faixa, é de se considerar a vantagem de sua utilização em relação a instrumentos que empregam o filme radiográfico como sensor de raios-X, cuja probabilidade de introdução de erros já foi bem avaliada. Seu problema maior, parece-nos, é o fato de não permitir registro dos dados colhidos no teste de aferição, uma vez que os valores tomados como resposta não são possíveis de "armazenar", ao menos por enquanto. Todavia, o fato de não necessitar de pessoal especialmente treinado para sua operação, aliado à resposta imediata que proporciona, garante virtudes que não podem ser desconsideradas numa análise comparativa com outros métodos, como, por exemplo, os

avaliados por J.Law et al, 1989.

Cabe, finalmente, ressaltar que, em relação ao circuito de medida do tempo, a existência de dois circuitos monoestáveis em vez de apenas um se justifica para a correção de um atraso na "leitura" da chegada de pulsos que inevitavelmente existirá no primeiro monoestável

CONCLUSÕES

Esse novo desenvolvimento do dispositivo, aqui apresentado, mantém, ou até aumenta, sua praticidade, em função da facilidade de manejo e operação, pelo alto grau de precisão - requisito fundamental no controle de qualidade em mamografia - e por propiciar a aferição de três parâmetros básicos de funcionamento dos mamógrafos num único dispositivo.

Ressaltamos novamente aqui a tendência dos dispositivos medidores que se baseiam em filmes radiográficos de apresentarem margens de erro que, em alguns casos, são significativas, conforme já pudemos observar na prática. A substituição do filme pelo cristal cintilador é, comprovadamente, uma importante alternativa não só no sentido de melhorar a precisão desses equipamentos, como também de facilitar seu uso em testes rotineiros no controle de qualidade por qualquer unidade radiológica.

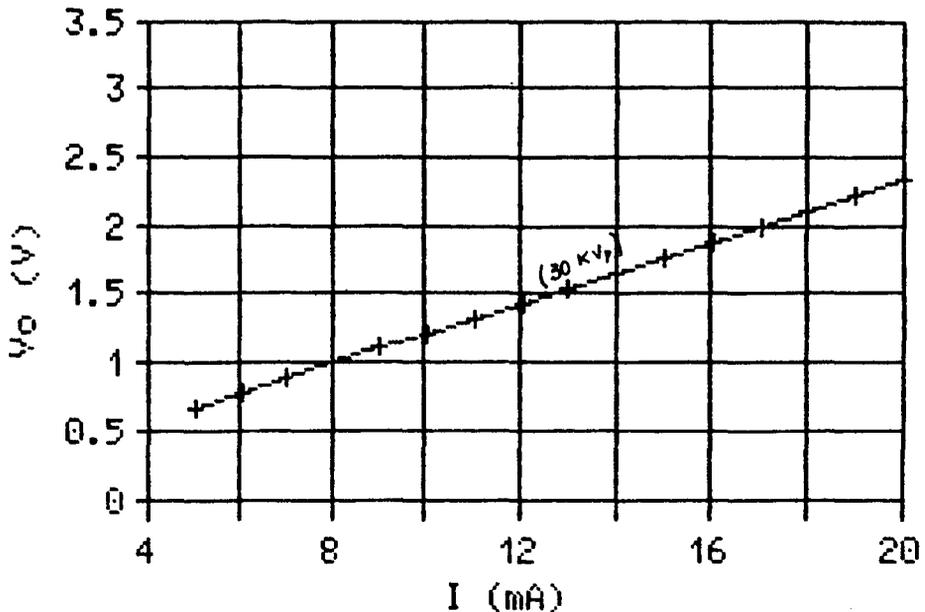


Figura 1 - Curva típica de calibrações: V₀ (Máx. amplitude dos pulsos) X I (Corrente de tubo)

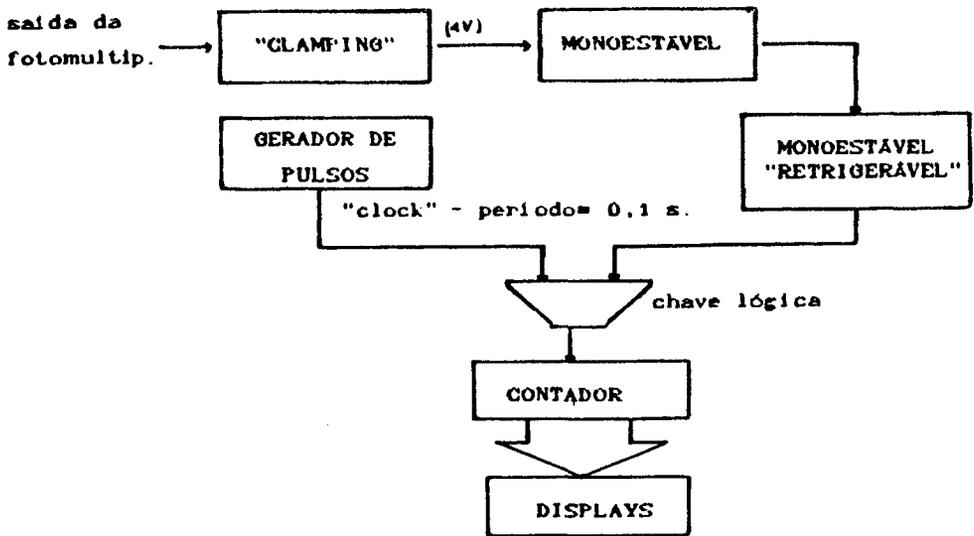


Figura 2 - Diagrama em Blocos do estágio para aferição do tempo de exposição

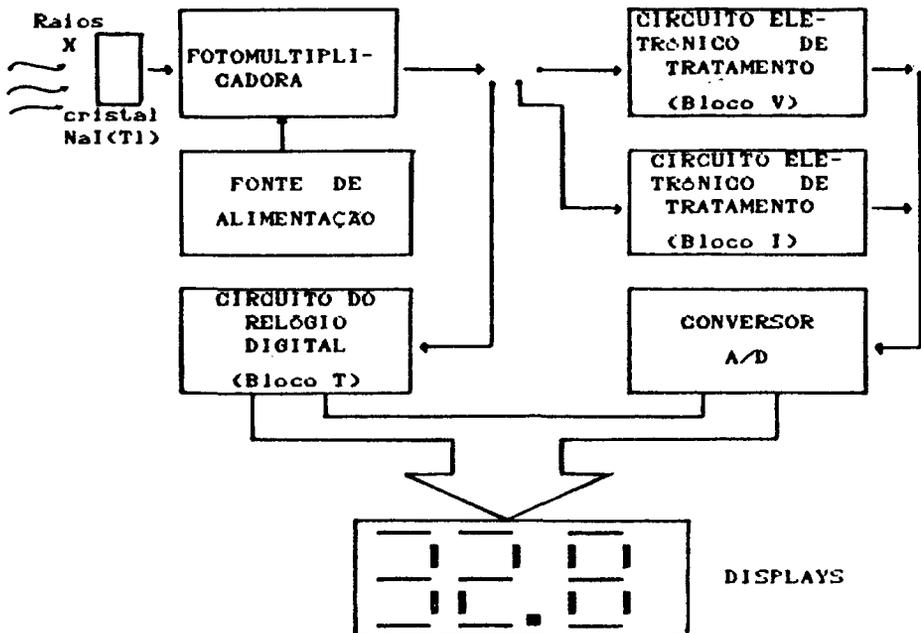


Figura 3. Diagrama em Blocos do dispositivo completo: Estágios de tratamento do sinal. Bloco V - aferição de kVp. Bloco I - aferição de corrente de tubo. Bloco T - Aferição de tempo de exposição.

AGRADECIMENTOS

À FAPESP pelo suporte financeiro.

REFERÊNCIAS

- ARDRAN, G.M.; CROOKS, H.E. (1968), "Checking Diagnostic X-Ray Beam Quality", *British Journal of Radiology* 41, p.: 193-198.
- CRUTY, M.R.; GHILARDI NETTO, T. (1980), "Evaluation of the Spectral Response of the Wisconsin Mammographic Cassette", *Medical Physics*, V. 7, n. 2, p.: 151-156.
- LAW, J.; FAULKNER, K.; SMITH, S. (1989), "Measurement of X-Ray Tube Potential in the Mammographic Region", *Physics in Medicine & Biology*, V. 34, n. 6, p.: 717-726.
- SCAFF, L.A.M. (1979), *Bases Físicas da Radiologia - Diagnóstico e Terapia*, Sarvier, São Paulo.
- SCHIABEL, H.; FRÈRE, A.F.; CRISTOFOLETTI, L.A.; ANDREETA, J.P. (1989), "Detector de Cintilação como Medidor da kVp par o Controle de Qualidade em Mamografia", *Revista Brasileira de Engenharia* (anais do XI CBEB - 03 a 06/09/89), V. 6, n. 2, p.: 71-76.
- STANTON, L.; LIGHTFOOT, D.A.; MANN, S. (1966), "A Penetrameter Method for Field kV Calibration of Diagnostic X-Ray Machines", *Radiology* 87, p.: 87-98.

MAMMOGRAPHIC SYSTEMS QUALITY CONTROL: kVp, TUBE CURRENT AND EXPOSURE TIME MEASUREMENTS USING THE SCINTILLATION DETECTION

ABSTRACT - A device developed earlier to measure the mammographic tube potential was improved, so that a new device was attained, which allows measuring also two other parameters of great importance to the quality control in mammography, i.e, the tube current and the patient exposure time to the X-rays. The process has used again the scintillation detection principle, which makes use of a NaI(Tl) crystal coupled to a photomultiplier tube as X-rays detector instead of a radiographic film. In this work, experimental comparisons between the methods of measuring kVp of radiographic systems, which were performed in recent years, are also discussed.