

DESENVOLVIMENTO DE UM PROGRAMA COMPUTACIONAL PARA AVALIAR E CONTROLAR AS CARACTERÍSTICAS SENSITOMÉTRICAS EM PROCESSAMENTO AUTOMÁTICO*

Vagner Ferreira Cassola¹, Gabriela Hoff²

Resumo **OBJETIVO:** Desenvolver um programa computacional para avaliar e controlar as características das curvas sensitométricas. **MATERIAIS E MÉTODOS:** Para o desenvolvimento do programa, foi elaborado um método de obtenção dos valores das características sensitométricas, de filmes de baixo e alto contraste, sem a necessidade da fixação de degraus de referência. **RESULTADOS:** O programa, denominado Sensito, foi implementado e testado utilizando dados sensitométricos de curvas características dos departamentos de radiologia convencional, hemodinâmica e mamografia. Ficou comprovada a possibilidade da análise das curvas sensitométricas destas áreas sem a necessidade de ajustes, dependentes dos usuários, e sem incorrer em desvios nos parâmetros sensitométricos avaliados e na variação destes. **CONCLUSÃO:** O programa possibilita a criação de um banco de dados de curvas sensitométricas para diferentes processadoras de uma instituição, gerando com facilidade as curvas sensitométrica e gama, de um registro, e os gráficos de constância das características sensitométricas avaliadas, fornecendo importante ferramenta para manter o controle sensitométrico.

Unitermos: Processadora automática; Curva sensitométrica; Sensitometria.

Abstract *Development of a software for evaluation and control of sensitometric characteristics in automatic films processing.*

OBJECTIVE: To develop of a software tool for evaluation and control of sensitometric curves. **MATERIALS AND METHODS:** A method was developed for obtaining high- and low-contrast films sensitometric values, with no need to define wedge steps. **RESULTS:** The software named Sensito was implemented and tested utilizing data of sensitometric strips from conventional radiology, hemodynamics, and mammography departments. The feasibility of analyzing sensitometric curves from these areas remained evidenced with no need of user-dependent adjustments, and with no deviation in the evaluated sensitometric parameters and variations. **CONCLUSION:** The software allows the creation of a database including sensitometric curves from different processors in a same institution, easily generating gamma curves of a register and constant charts of the evaluated sensitometric characteristics, constituting an important tool for sensitometric control.

Keywords: Automatic processor; Sensitometric curve; Sensitometry.

INTRODUÇÃO

Pequenas mudanças no processamento automático dos filmes podem resultar em perda significativa na informação contida na imagem radiográfica ou degradar sua qualidade. Processamentos inade-

quados afetam a qualidade da imagem e aumentam a dose necessária para obtenção de uma imagem radiológica satisfatória⁽¹⁾. Conseqüentemente, um controle de qualidade é necessário para garantir que o diagnóstico, baseado nas radiografias, não seja prejudicado. Neste ponto, a sensitometria é um dos métodos mais eficientes para monitorar as mudanças nas condições do processamento automático⁽²⁻⁴⁾.

A Portaria nº 453/98 da Secretaria de Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde⁽⁵⁾ estabelece que, num programa de garantia de qualidade, o teste sensitométrico do sistema de processamento seja realizado, no mínimo, semanalmente para radiologia convencional e diariamente para mamografia. Por ser a sensitometria uma forma de indicar medidas corretivas para a imagem radiológica não se deteriorar, é aconselhá-

vel realizar o teste diariamente, de preferência no início da rotina de trabalho, para que as imagens processadas no dia não sejam comprometidas por um mau funcionamento do sistema de processamento.

A avaliação das condições de processamento através da análise da curva sensitométrica pode ser feita de forma manual, contudo, este procedimento é considerado demorado, podendo também incorrer em erros nos cálculos e diferenças quando pessoas diferentes analisam a mesma curva. Geralmente, a análise é realizada com auxílio de programas disponibilizados pelos próprios fornecedores de filmes radiológicos. Isto é um fator limitante, pois os programas analisam de forma diferente as curvas sensitométricas, isto é, para uma mesma curva sensitométrica são obtidos valores diferentes de suas características, tais

* Trabalho realizado na Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS), Grupo de Experimentação e Simulação Computacional em Física Médica (GESIC), Porto Alegre, RS, Brasil.

1. Mestrando do Programa de Pós-graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares pelo Departamento de Energia Nuclear da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife, PE, Colaborador do Grupo de Experimentação e Simulação Computacional em Física Médica (GESIC), Porto Alegre, RS, Brasil.

2. Doutora, Professora da Faculdade de Física da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS), Coordenadora do Grupo de Experimentação e Simulação Computacional em Física Médica (GESIC), Porto Alegre, RS, Brasil.

Endereço para correspondência: Vagner Ferreira Cassola, Avenida Ipiranga, 6681 - Prédio 10, Porto Alegre, RS, Brasil, 90619-900. E-mail: vagner.cassola@gmail.com

Recebido para publicação em 12/4/2006. Aceito, após revisão, em 4/7/2006.

como contraste e velocidade, dependendo do programa utilizado.

Neste trabalho é apresentado o programa Sensito, um programa para a avaliação e controle das características das curvas sensitométricas. No processo de desenvolvimento deste programa a forma de análise das características sensitométricas foi generalizada. Assim, é possível avaliar as curvas dos diferentes setores da radiologia, pelo mesmo programa, sem a necessidade de ajustes e sem incorrer em erros sistemáticos nos parâmetros avaliados e variação destes. Inconformidades com um padrão, se cadastrado, são informadas automaticamente na obtenção do gráfico da curva sensitométrica do registro avaliado. O programa Sensito possibilita manter um banco de dados e pode gerar, automaticamente, gráficos de constância. Este tipo de gráfico é a chave de um controle de qualidade⁽⁶⁾.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do programa de análise sensitométrica faz-se necessário o conhecimento das definições de algumas características específicas da curva sensitométrica, ou curva H&D⁽⁴⁾ (Hurter e Driffield), na qual é relacionado o grau de enegrecimento do filme, ou densidade óptica (DO), com a exposição recebida. Por meio da curva sensitométrica é possível avaliar o contraste, a latitude, o gradiente, a velocidade e o valor de base+fog. Regiões de baixa densidade encontram-se no “pé” da curva. Altas densidades encontram-se no “ombro” da curva. As densidades úteis ao diagnóstico encontram-se na região linear da curva⁽⁴⁾, doravante denominada “zona útil”, conforme ilustra a Figura 1.

A determinação das características da curva sensitométrica passa por uma etapa crítica, a definição da zona útil do filme. A zona útil não possui um degrau ou uma densidade específica para o seu início nem para o seu término, como utilizam alguns programas ou protocolos de coleta. Ela somente deve ser caracterizada pela região em que a curva sensitométrica possui comportamento linear⁽⁴⁾. O centro desta região é aproximadamente o ponto de involução da curva. Dessa forma, se o programa de análise for capaz de gerar automaticamente uma equação de ajuste aos dados sensito-

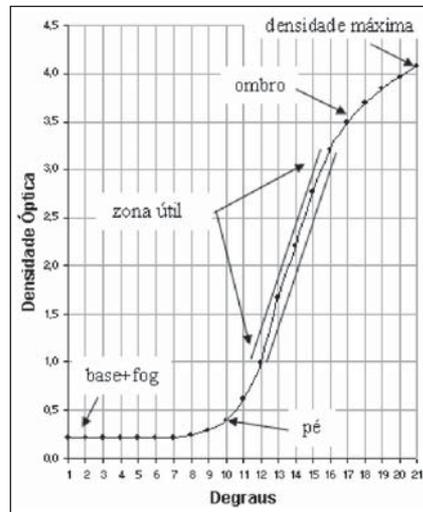


Figura 1. Curva sensitométrica e suas partes: base+fog, pé da curva, zona útil ao diagnóstico, ombro da curva e densidade máxima.

métricos, a zona útil pode ser definida através de uma variação percentual da declividade máxima, correspondente do ponto de involução da equação. Com base em dados sensitométricos, foram determinadas adequações para representar o comportamento dos dados das densidades ópticas em função do logaritmo da exposição relativa, em que foi verificado ser a tangente hiperbólica (*tanh*) a função que melhor representa os dados. A esta função foram adicionados parâmetros, gerando uma equação cujos valores obtidos são, em média, condizentes com os dados das densidades ópticas das curvas sensitométricas, ficando a equação descrita conforme abaixo:

$$DO(x) = M \cdot [\tanh((x - PM) \cdot PASSO) + ZF] + BF$$

onde: x é o logaritmo da exposição relativa; PM é o logaritmo da exposição relativa, referente ao ponto médio da curva sensitométrica; BF é base+fog, por definição a densidade óptica do primeiro degrau da curva; $PASSO$ representa a rapidez com a qual a equação cresce; ZF é um valor para a equação iniciar no ponto zero; M representa a altura da equação. Todos os parâmetros são determinados automaticamente segundo os dados sensitométricos obtidos.

A Figura 2 demonstra a aproximação dos dados sensitométricos reais de uma curva sensitométrica de mamografia com os gerados pela curva de ajuste. Os dados

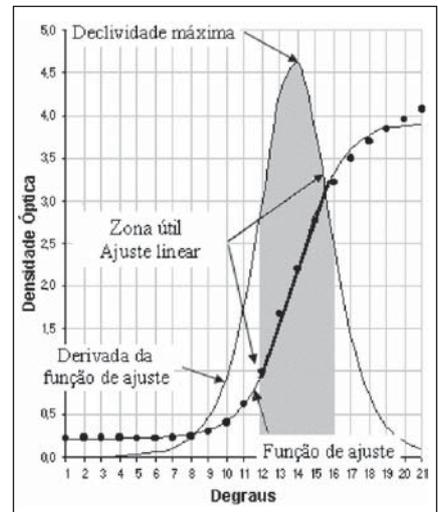


Figura 2. Gráfico demonstrando a zona útil e o ajuste linear dos valores das densidades ópticas; em destaque, a variação de 30% da declividade máxima.

demonstraram que uma variação de 30%, da declividade correspondente ao ponto de involução, permite determinar uma região onde é possível traçar uma reta, cuja relação linear com dados sensitométricos é de 99%. A relação percentual foi obtida através do quadrado do coeficiente de correlação do momento do produto de Pearson. A equação da reta é obtida por meio de um ajuste linear das densidades ópticas desta região, conforme descrita abaixo:

$$DO(x) = G \cdot x + A$$

onde: x representa o logaritmo da exposição relativa; G é a declividade da curva; A é uma constante referente ao ponto de intersecção da reta com o eixo horizontal.

Através da declividade G da equação da reta, da zona útil, é estimado o parâmetro sensitométrico gradiente. A latitude do filme é obtida pela variação do logaritmo da exposição relativa referente ao início e o fim da zona útil, determinado pela variação de 30% da declividade máxima. O contraste é obtido pela variação das densidades ópticas correspondentes aos logaritmos da exposição relativa, dos degraus utilizados para determinar a latitude, sendo estimados por meio da equação da reta. A velocidade, que corresponde ao inverso do logaritmo da exposição relativa referente à densidade óptica um acima do valor base+fog, pode ser estimada utilizando o ajuste linear conforme a equação:

$$Velocidade = \left[\frac{1 + (base+fog) - A}{G} \right]^{-1}$$

RESULTADOS

A equação de ajuste foi testada para curvas de radiologia convencional, hemodinâmica e mamografia, conforme ilustram as Figuras 3, 4 e 5. Os valores gerados pela equação possuíram grande semelhança com os valores das densidades óticas dos filmes de radiologia convencional e hemodinâmica avaliados, com desvios máximos entre os valores de densidade inferiores a 7%. Para a curva do filme de mamografia, como pode ser visto na Figura 5, houve diferença entre os valores correspondentes ao pé e ao ombro, mas os degraus correspondentes são semelhantes em ambas as curvas, evidenciado um comportamento semelhante entre a curva e a equação. Isto reflete a não-simetria dos pontos da curva que descreve o comportamento do filme. Entretanto, a equação de ajuste é utilizada apenas para a estimativa do ponto de involução da curva do filme, ou seja, do ponto médio da zona útil da curva e dos limites degraus correspondentes ao início e o fim dessa zona. Dessa forma, a equação de ajuste deve ter um comportamento semelhante, principalmente no centro da curva, para que, através da variação da declividade na região, seja possível estimar com maior exatidão a zona útil do filme. Esta semelhança no comportamento no centro da

curva foi observada em todos os filmes avaliados.

Tendo como base a equação de ajuste descrita, foi desenvolvido um programa de análise de curvas sensitométricas em linguagem C++, utilizando o compilador Borland C++ Builder 6 e o programa Microsoft Excel. O programa, denominado Sensito, além de fazer a análise das características da curva sensitométrica, possibilita gerar um banco de dados de curvas, para facilitar o controle sensitométrico de suas características e gerar facilmente os gráficos de constância.

A versão beta do programa foi testada pelo Setor de Radiologia do Hospital de Clínicas de Porto Alegre, onde modificações e adequações foram realizadas para gerar a primeira versão do programa (Figura 6). Neste programa, ao visualizar as

curvas do banco de dados de uma processadora, é possível verificar se houve troca de químico, limpeza da processadora, se existe alguma observação vinculada ao registro, bem como se a curva possui um padrão (Figura 7). Essas informações facilitam a realização do controle sensitométrico; anomalias detectadas na revelação, pela curva sensitométrica, podem ser mais bem compreendidas com este tipo de análise.

Os gráficos das curvas sensitométricas, juntamente com o padrão, se houver, são visualizados numa planilha do Excel gerada pelo próprio programa. Abaixo do gráfico são exibidos os valores de base+fog, velocidade, contraste e gradiente, da curva atual e da curva padrão. Os desvios dos valores da curva atual e a curva padrão são apresentados na coluna “Desvios” ao lado da coluna “Limites”, que é o valor do

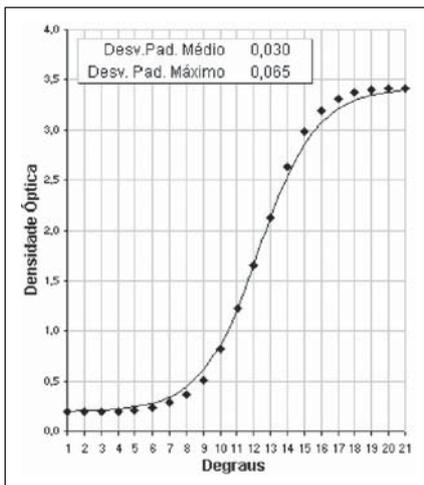


Figura 3. Gráfico ilustrando os valores da curva de ajuste (linha contínua) em comparação com as densidades óticas de um filme de radiologia convencional.

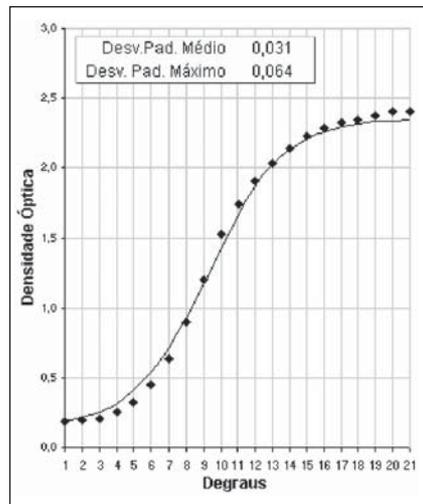


Figura 4. Gráfico ilustrando os valores da curva de ajuste (linha contínua) em comparação com as densidades óticas de um filme de hemodinâmica.

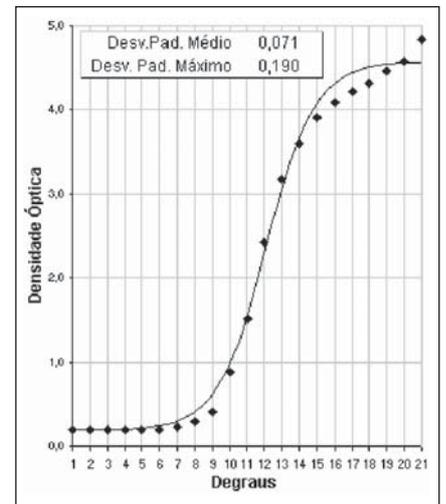


Figura 5. Gráfico ilustrando os valores da curva de ajuste (linha contínua) em comparação com as densidades óticas de um filme de mamografia.

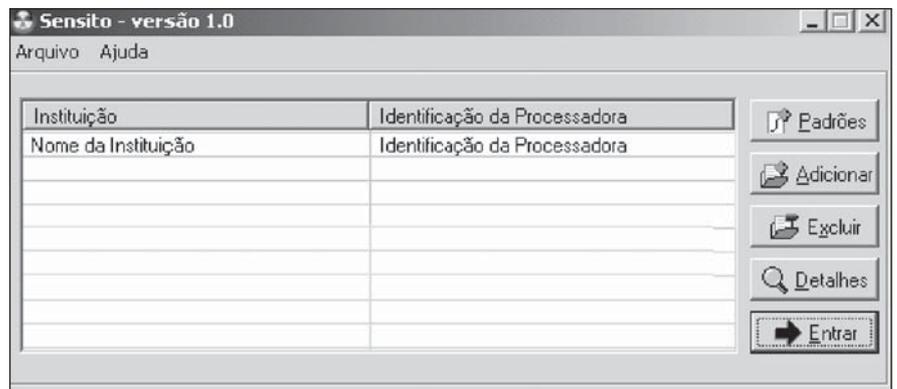


Figura 6. Interface inicial do programa Sensito.

Data	Hora	TQ	LP	Obs	CP
03/10/05	8:00				Sim
04/10/05	8:00	Sim			Sim
06/10/05	8:10				Sim
07/10/05	8:00			Sim	Sim
09/10/05	8:00	Sim			Sim
10/10/05	8:00				Sim
13/10/05	8:00				Sim
14/10/05	8:00				Sim
18/10/05	8:00				Sim
19/10/05	8:00				Sim
21/10/05	8:00				Sim
24/10/05	8:00				Sim
26/10/05	8:00				Sim

Figura 7. Visualização dos registros de um banco de dados, em que se pode facilmente verificar os dias nos quais houve troca de químico (TQ), limpeza da processadora (LP) e se há alguma observação (OBS).

	Curva Atual	Curva Padrão	Desvios	Limites	Obs.
Base+fog	0,22	0,19	0,03	0,02	Fora do limite
Velocidade	0,86	0,83	4,12%	±10%	
Contraste	1,92	1,92	-0,17%	±10%	
Gradiente	3,13	3,14	-0,42%	±10%	
D _{máx}	3,45				

Figura 8. Detalhe da impressão da planilha que contém o gráfico da curva sensiométrica, em que os índices da curva atual são comparados com o padrão. A observação "Fora do limite" foi gerada automaticamente, pois o índice "Base+fog" apresenta um desvio, em comparação com o padrão, acima do limite de aceitação.

limite de aceitação. Se algum dos valores apresentar um desvio maior que o limite, é apresentado o aviso "Fora do limite", conforme pode ser visto na Figura 8.

Junto com os gráficos das curvas sensiométricas gerados no Excel é gerada a curva gama referente ao registro visualizado. A curva gama pode servir como uma forma de determinar as condições ideais de processamento e, por outro lado, pode auxiliar na detecção de problemas no processamento⁽⁷⁾. Junto ao gráfico ainda são apresentados o maior contraste encontrado e o valor da área abaixo da curva.

Os gráficos de constância podem ser gerados automaticamente com base num valor médio de um período definido pelo

usuário ou com base na curva padrão. Um gráfico de constância demonstra um valor de interesse (por exemplo, o índice de velocidade) em função do tempo⁽⁶⁾. Os dados de base+fog, velocidade, contraste e gradiente são apresentados de forma ordenada numa planilha do Excel, juntamente com seus gráficos de constância com os respectivos limites de aceitação, com base nos valores médios do intervalo, ou com base na curva padrão da processadora. Os valores dos limites de aceitação podem ser definidos pelos usuários do programa.

O programa encontra-se disponível, gratuitamente, no endereço eletrônico: <http://www.pucrs.br/fisica/gesic/sensito.htm>

DISCUSSÃO

Problemas associados ao processamento dos filmes radiológicos continuam hoje⁽⁸⁾ e necessitam ser evidenciados. O programa Sensito foi gerado para fornecer uma importante ferramenta para o controle sensiométrico. Sua interface foi construída de forma que o usuário possa acessar facilmente suas funções. Um manual foi escrito evidenciando passo a passo como usar todas as suas funções. Mais de 100 curvas de filme e processadoras diversas foram testadas para a validação do método de obtenção das características sensiométricas. O desvio médio entre os valores das curvas sensiométricas e os gerados pela equação foi inferior a 10%. Este resultado demonstra ser a equação de ajuste adequada para os dados a serem analisados. Dessa forma, o programa pode ser usado tanto para a análise de filme de baixo contraste (por exemplo, hemodinâmica) como os de alto contraste (por exemplo, mamografia).

Agradecimentos

Ao físico mestre em educação Alexandre Bacelar e à física Fernanda Ramos de Oliveira, do Hospital de Clínicas de Porto Alegre.

REFERÊNCIAS

1. Suleiman OH, Conway BJ, Rueter FG, Slayton RJ. Automatic film processing: analysis of 9 years of observations. *Radiology* 1992;185:25-28.
2. Kofler JM, Gray JE. Sensitometric responses of selected medical radiographic films. *Radiology* 1991;181:879-883.
3. Haus AG. Mammography imaging physics: screen-film processing and viewing condition considerations. *RSNA Categorical Course in Breast Imaging* 1999;59-77.
4. Magalhães LAG, Azevedo ACP, Carvalho ACP. A importância do controle de qualidade de processadoras automáticas. *Radiol Bras* 2002;35:357-363.
5. Brasil. Secretaria de Vigilância Sanitária. Ministério da Saúde. Regulamento técnico. Diretrizes de proteção radiológica em radiodiagnóstico médico e odontológico. Portaria nº 453. Brasília: Diário Oficial da União, 2/6/98.
6. Gray JE. Technical aspects of screen-film radiography, film processing, and quality control. *RadioGraphics* 1997;17:177-187.
7. Hendrick RE, Berns EA. Optimizing mammographic techniques. *RSNA Categorical Course in Breast Imaging* 1999;79-89.
8. Magalhães LAG, Oliveira SR, Silva MO, Azevedo ACP, Carvalho ACP. Avaliação da velocidade de processamento de processadoras automáticas utilizando o método "STEP test". *Radiol Bras* 2004;37:185-186.