

# Desenvolvimento de um Sistema de Radiografia Digital Portátil para a Detecção de Defeitos em Isoladores Poliméricos

W. C. Godoi, LACTEC, R. R. da Silva, V. Swinka-Filho, LACTEC e T. Loddi, COPEL

**Resumo** - Neste trabalho é apresentado um sistema inédito de radiografia digital portátil (denominado SISTEMA RDP), desenvolvido no Laboratório de Instrumentação para Diagnóstico de Materiais do LACTEC para a detecção de vazios-defeitos em imagens radiográficas de isoladores poliméricos utilizados em linhas de distribuição de energia elétrica (classe 15 kV, tipo *J-Neck*), para a detecção de defeitos em inspeções semi e/ou automática. As metodologias desenvolvidas para o reconhecimento de defeitos de forma automática envolvem basicamente o pré-processamento das radiografias digitais (utilizando-se um filtro passa baixa), a segmentação da ROI (*Region Of Interest*) e dos defeitos, a extração de 13 características de 714 regiões segmentadas e por fim a classificação dos defeitos (D) e estruturas regulares (ER). Em se tratando de uma pesquisa inovadora, e ainda pouco explorada, os resultados obtidos na detecção dos defeitos até o presente momento foram satisfatórios e incentivadores de tal publicação.

**Palavras-chave** – Distribuição, Isoladores, Processamento de Imagens, Radiografia digital, Reconhecimento de Padrões.

## I. INTRODUÇÃO

Uma das principais causas de falha dos isoladores poliméricos (Figura 1) utilizados em redes de distribuição de energia elétrica é a existência de vazios (bolhas de ar ou trincas). Estes isoladores estão tornando-se cada vez mais utilizados e ganhando uma grande fatia do mercado de componentes elétricos devido as suas vantagens em relação aos isoladores tradicionais de vidro ou cerâmicas, como por exemplo: baixo peso, alta resistência mecânica, melhor resistência ao vandalismo, melhor resistência às condições de poluição em ambientes úmidos e melhor performance elétrica [1].

Os vazios na estrutura dos isoladores poliméricos podem ser originados pela formação de bolhas de ar durante o processo de injeção do polímero ou por trincas ocasionadas pela fadiga devida aos estresses mecânicos e térmicos sofridos

durante a operação ou, ainda, pela má colocação de massa de fixação no isolador.



Figura 1: Isoladores poliméricos utilizados em linhas aéreas de distribuição de energia elétrica.

Os vazios na estrutura dos isoladores poliméricos podem ser originados pela formação de bolhas de ar durante o processo de injeção do polímero ou por trincas ocasionadas pela fadiga devida aos estresses mecânicos e térmicos sofridos durante a operação ou, ainda, pela má colocação de massa de fixação no isolador.

O campo elétrico aplicado e a existência de condições adequadas, como a pressão do gás no interior do vazio, permitem a ocorrência de descargas parciais dentro do defeito. A constante ocorrência destas no interior desses defeitos formam caminhos condutores no polímero conhecidos como arborescência elétrica, no sentido do campo elétrico aplicado, os quais levarão o material à ruptura dielétrica. O isolador danificado causa o desligamento da linha, gerando custos de manutenção com a reposição desses componentes e o aumento do tempo de interrupção do fornecimento de energia elétrica aos consumidores, piorando os índices de Duração Equivalente de Interrupção por Consumidor (DEC) e de Frequência Equivalente de Interrupção por Consumidor (FEC) da concessionária.

A utilização de novas técnicas como a radiografia digital industrial, torna possível visualizar os defeitos no interior dos componentes de forma não-destrutiva [2-4]. As técnicas de processamento digital de imagens [5] e reconhecimento de padrões [6] permitem detectar os defeitos através das imagens adquiridas de forma automática. Essa abordagem torna possível o controle e a qualidade dos componentes instalados, bem como numa linha de produção dos mesmos,

Os autores deste trabalho gostariam de agradecer às seguintes instituições COPEL, UFPR, LACTEC e LABOEND/COPPE/UFPR.

W. C. Godoi, M. Sc., é doutorando no Instituto de Tecnologia para Desenvolvimento - LACTEC (e-mail: walmor.godoi@gmail.com).

R. R da Silva, Dr, é pesquisador independente (e-mail: romeu@romeu.eng.br).

V. Swinka-Filho, Dr, é pesquisador no Instituto de Tecnologia para Desenvolvimento - LACTEC (e-mail: vitoldo@lactec.org.br).

T. Loddi, trabalha na Companhia Paranaense de Energia - COPEL (e-mail: loddi@copel.com).

evitando assim desligamentos não desejados na rede elétrica.

Esse artigo visa divulgar as metodologias de processamento digital de imagens radiográficas e reconhecimento de padrões utilizado para detectar defeitos em isoladores poliméricos de forma automática. Também será abordado o sistema de radiografia digital portátil (denominado SISTEMA RDP) que foi montado no LACTEC com o intuito de se fazer ensaios de isoladores em campo (nos postes).

O texto será assim apresentado: na seção II, a metodologia experimental será discutida; na seção III é apresentado o SISTEMA RDP com detalhes sobre a instrumentação; a seção IV fornece as considerações finais do trabalho.

## II. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

O reconhecimento automático de padrões em imagens radiográficas envolve normalmente as etapas de aquisição das imagens, pré-processamento, segmentação, extração de características e classificação (ver figura 2). Não é objetivo deste trabalho tratar destas técnicas aqui, mas destaca-se que cada uma das etapas tem o seu grau de complexidade dependendo da situação estudada. Para uma introdução sobre o assunto ver referências [5-7].

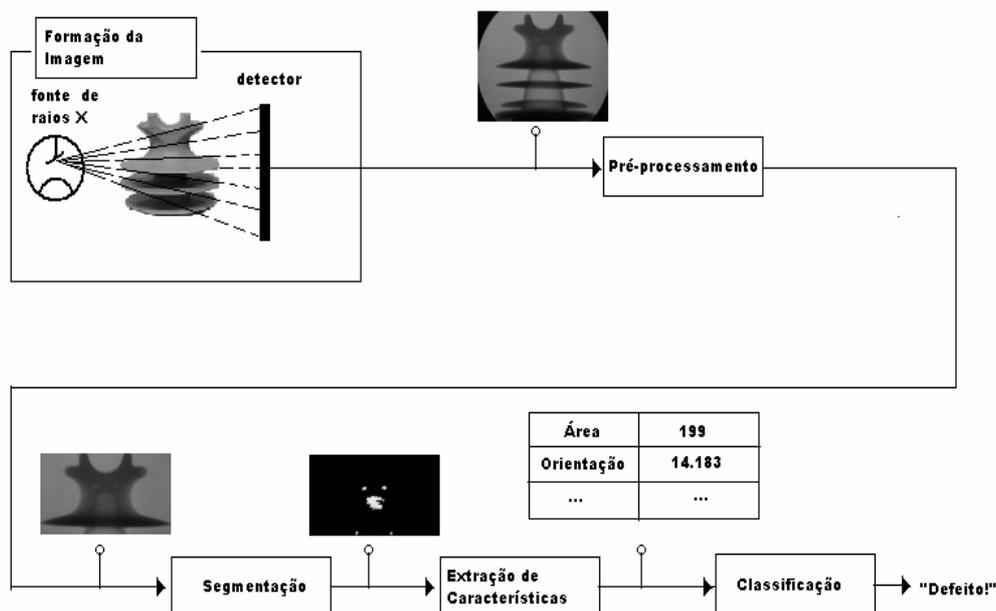


Figura 2: Reconhecimento de padrões aplicado à detecção automática de defeitos em isoladores.

O princípio fundamental de inspeção radiográfica baseia-se no fato de que as radiações incidentes na peça ensaiada são modificadas pela passagem em discontinuidades ou defeitos que possam estar presentes, provocando alteração na intensidade da radiação emergente da peça. A radiação que atravessa a peça é então detectada, por um filme ou por sistemas com intensificadores de imagens, câmaras CCD e placas digitalizadoras, aonde alterações de espessura e presença de discontinuidades são visualizadas por diferença de contraste na imagem final [8]. No isolador polimérico, o contraste entre um vazio-defeito e a área livre de defeito nem sempre é perceptível visualmente, o que realça a necessidade de utilização de técnicas de processamento de imagens e reconhecimento de padrões para detecção dos defeitos presentes e sistemas radiográficos com resoluções ótimas.

Um exemplo de radiografia digital pode ser visualizado na Figura 3. Esta foi realizada no Laboratório de Instrumentação para Diagnóstico de Materiais do LACTEC. O equipamento utilizado foi um tomógrafo industrial de raios-X, da marca Gilardoni (denominado SISTEMA CT2000), que pode ser visto na Figura 4. A aquisição das imagens foi realizada através de um intensificador de imagem acoplado a uma câmera CCD. O sinal da câmera CCD é capturado por

uma placa de vídeo montada em um computador, o qual armazena as radiografias no padrão *Bitmap*. A tensão e a corrente no filamento do tubo de raios X utilizadas foram de 70 kV e 3 mA, respectivamente. Amostras de cinco fabricantes de isoladores foram utilizadas para os testes em trabalhos de reconhecimento de padrões com este sistema.

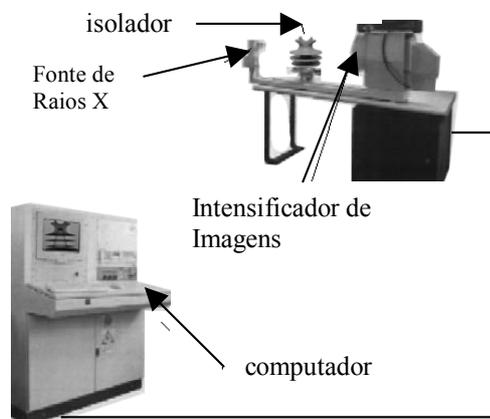


Figura 3: Sistema de radiografia e tomografia industrial CT2000.

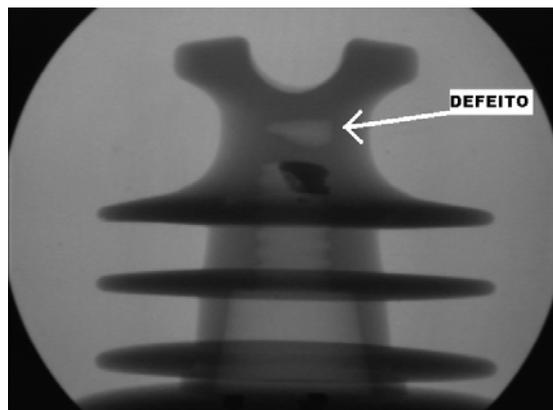


Figura 4: Radiografia digital obtida com o SISTEMA CT2000 (70 kV, 3mA). Pode ser ver nesta figura a presença de um grande vazio-defeito.

maior característica dele está na sua portabilidade, o que permite fazer radiografias dos isoladores em campo, além do que possui uma resolução de imagem ótima, superior ao do SISTEMA CT2000, por exemplo.

O SISTEMA RDP foi montado no Laboratório de Diagnóstico de Materiais do LACTEC, num projeto da COPEL Distribuição. A Figura 5 ilustra o sistema como um todo. O SISTEMA RDP é composto dos principais itens:

- Gerador portátil de raios-X
- Detector portátil (*Flat Panel*)
- Placa de aquisição (*Framegrabber*)
- Computador

### III. SISTEMA DE RADIOGRAFIA DIGITAL PORTATIL

O Sistema de Radiografia Digital Portátil (denominado SISTEMA RDP) é inédito no Brasil para a inspeção de isoladores em linhas de distribuição de energia elétrica. A

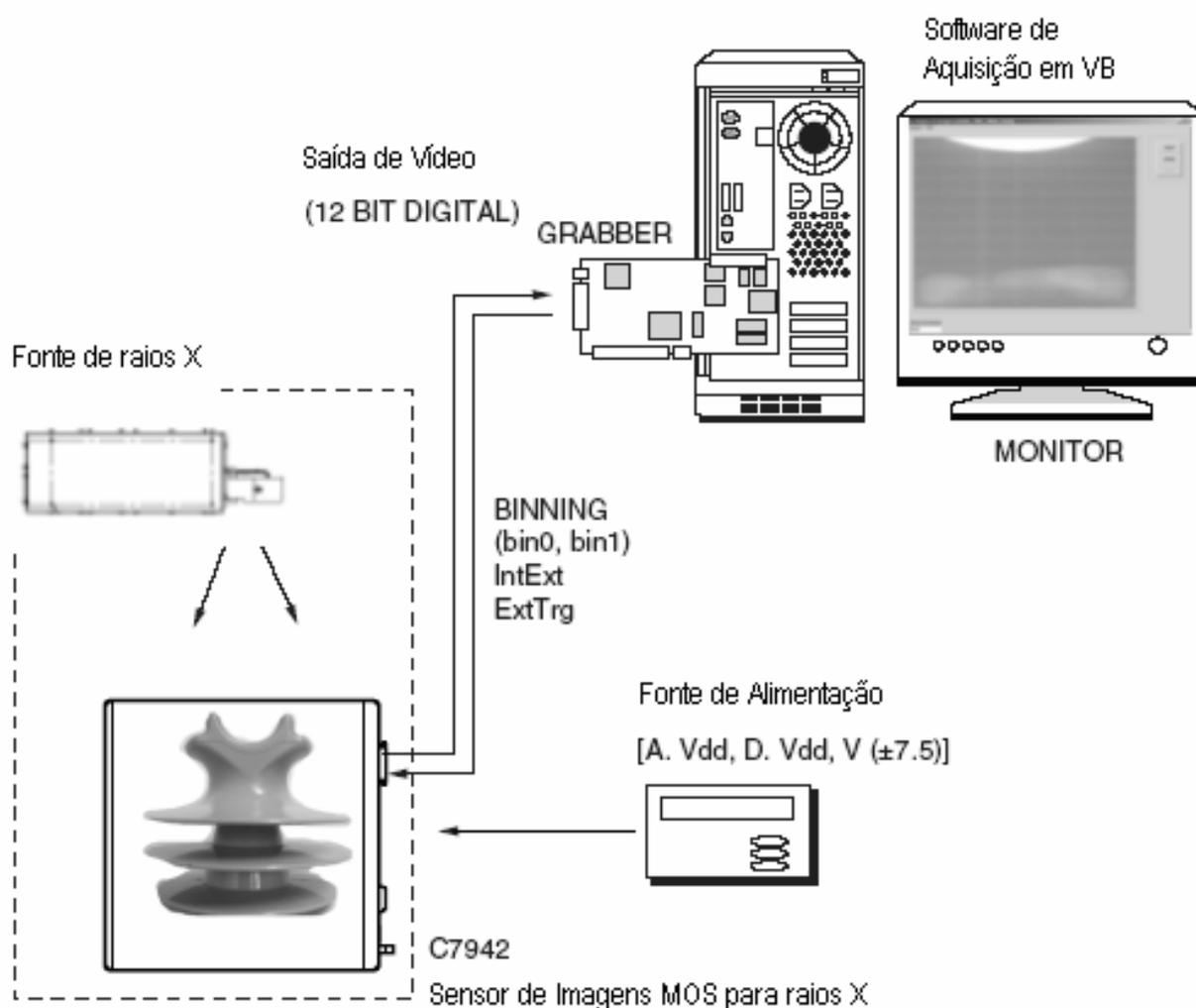


Figura 5: Sistema de radiografia digital portátil (SISTEMA RDP).

Toda a instrumentação eletrônica para a montagem do sistema foi desenvolvida (controle e alimentação do gerador de raios X, alimentação do *Flat Panel* e controle do *Trigger* externo), objetivando-se sempre em utilizá-lo em inspeções em campo dos isoladores, ou seja, favorecendo-se sua portabilidade.

A figura 6 ilustra uma radiografia digital de um isolador polimérico obtida com o SISTEMA RDP.

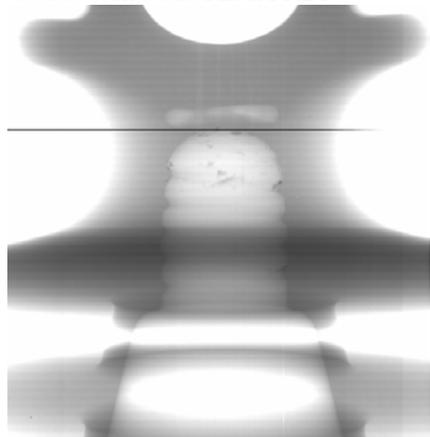


Figura 6: Radiografia digital obtida com o SISTEMA RDP (70 kV, 100 $\mu$ A, fator de integração 3 s).

A Tabela 1 compara os dois sistemas radiográficos citados aqui.

TABELA 1  
COMPARACOES ENTRE O SISTEMA CT2000 E RDP

Item	SISTEMA CT2000	SISTEMA RDP
Tamanho do Foco	Minifoco 0.4 x 0.4 mm <sup>2</sup>	Microfoco 10 x 10 $\mu$ m <sup>2</sup>
Janela	Be	Be (125 $\mu$ m)
Alvo	W	W
Faixa de Tensão	10 a 160 kV	20 a 70 kV
Faixa de Corrente	0 a 10 mA	0 a 0.1 mA
Resolução espacial	640 x 480 pixels	2400 x 2400 pixels
Binning	Não	Sim (2x2, 4x4)
Trigger	Não	Sim (Int e Ext)
Tamanho do Pixel	290 $\mu$ m	50 $\mu$ m
Saída Digital	8 bits	12 bits

#### A. Instrumentação para Composição do SISTEMA RDP

A seguir descreve-se a instrumentação eletrônica utilizada para a montagem do SISTEMA RDP. Esta abrangeu: (i) O controle e a alimentação da fonte portátil de raios-X; (ii) a alimentação do detector portátil de raios X (*Flat Panel*); (iii) o controle do sistema de integração (*Trigger*); (iv) a composição do sistema como um todo (*hardware* e *software*).

#### O controle e a alimentação da fonte portátil de raios-X

O gerador portátil de raios X do Sistema RDP é alimentado por tensão contínua 12 V DC com consumo nominal de 1.2 A.

A tensão e a corrente são ajustadas por meio de 2 potenciômetros de 1 k-ohm/W montados no painel. O potenciômetro de ajuste de tensão gera um sinal de 0 a 3.5 V, que correspondera a tensão aplicada ao tubo de raios X de 0 a 70 kV. O potenciômetro de ajuste de corrente gera um sinal de 0 a 2.5 V que correspondera a corrente entre o anodo e ca-

tudo do tubo na faixa de 0 a 0.1 mA. Um protótipo da interface final com o usuário pode ser visualizada na Figura 7.



Figura 7: Interface com o usuário para controle e alimentação do gerador portátil de raios – X.

O gerador envia sinais de tensão nas faixas mencionadas acima relativas a tensão e corrente real no tubo. Estes valores são indicados em voltímetros digitais que ficam no painel de controle, os quais foram calibrados para a correta indicação de corrente e tensão no tubo.

A interface gerador-controle/gerador-alimentação e feita através de 12 pinos conectados por cabos ao controle que fica em um *rack* junto ao computador do sistema e a bateria de alimentação (ver Figura 8). Estes possuem 12 m para tornar possíveis as inspeções dos isoladores instalados nos postes, ou seja, posicionar tanto a fonte quanto o detector de raios X próximo ao isolador sem retirá-lo do poste.



Figura 8: *Rack* portátil com o controlador do gerador de raios-X e o computador do sistema.

#### A alimentação do detector portátil de raios X (*Flat Panel*)

O módulo de imagens do SISTEMA RDP (*Flat Panel*) requereu três tipos de fontes de alimentação (conforme especificações do equipamento adquirido), as quais são +5 V analógica, +5 V digital e uma fonte simétrica de  $\pm 7.5$  V. Todas as fontes foram montadas para que ficassem próximas do detector de imagens e assim reduzir os possíveis ruídos que poderiam surgir no caminho da alimentação.

#### Controle do Modo *Trigger* de Aquisição de Imagens

O *Flat Panel* possui um modo de aquisição (modo integração) que permite ativá-lo por um *Trigger* externo. Isto é útil porque pode-se trabalhar com baixas energias no tubo de raios X (o que aumenta o contraste da imagem) controlando-se o tempo de integração na CCD do “*Flat*”. Como esse detector possui uma interface com um computador, utilizou-se para controle do *Trigger* uma porta serial do tipo RS 232C, com conector tipo DB9, deste computador. Controla-se assim, por meio de um software, o tempo de integração em até 1/10 s de precisão, limite este imposto pela IDE utilizada (leia-se, *Visual Basic*).

Uma porta serial pode ser conectada com apenas 2 pinos, em uma conexão unidirecional. Em qualquer aplicação prática, como esta aqui, é necessário utilizar circuitos que convertam níveis TTL para os exigidos pela interface. O interfaceamento *Computador-Flat* é feito utilizando-se um cabo de 12 m.

As portas seriais no computador são totalmente programáveis. Pode-se transmitir caracteres com 5, 6, 7 ou 8 bits. O coração da interface serial é o circuito 8250, que permite o uso de funções como CTS (*clear to send*) entre outras.

Uma saída RS 232C inativa fica transmitindo -12 V, controle OFF. Então a tensão pico-a-pico medida em um osciloscópio para um pulso dado nesta saída deve ser de 24 V. A Figura 9 mostra a medida para um intervalo de dois sinais enviados do PC por um cabo de 12 m. Nesta mesma figura estão presentes os sinais de saída que chegam ao *Flat* para controle do *Trigger* (um circuito eletrônico foi montado para converter corretamente o sinal de entrada em níveis TTL aceitos pelo *Flat*). Pode-se ver, a partir desta figura, que o sinal enviado possui 17 V de tensão tomada numa medida pico-a-pico, ou seja, o cabo causou a atenuação do sinal enviado.

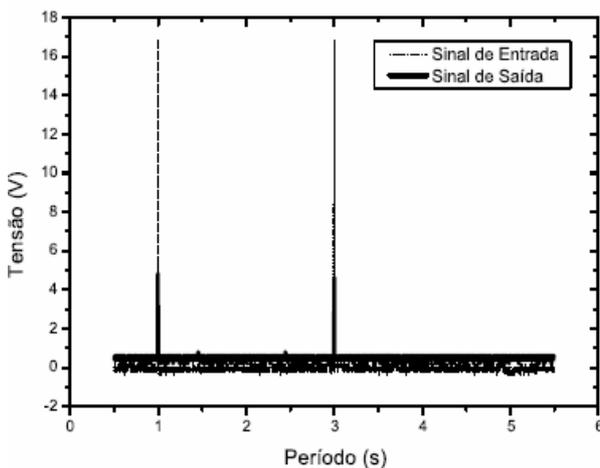


Figura 9: Circuito

#### IV. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os Ensaios Não-Destrutivos (END) alcançaram importância relevância na avaliação da qualidade de materiais e equipamentos, seja no processo de fabricação ou durante o período de funcionamento dos mesmos, pois as indústrias estão voltadas para a melhoria da qualidade de seus produtos;

requisito básico para manter-se competitivo nos mercados nacionais e internacionais [6].

Dentre os END, a radiografia é um dos métodos mais antigos. Entre as vantagens fornecidas por ela está o fato de a imagem obtida representar uma fotografia interna da peça, assim pode-se avaliar a amostra em todo o seu volume.

Porem, o método convencional de inspeção radiográfica exige que a qualidade da imagem seja a melhor possível. Além disso, sabe-se que, a inspeção visual humana da radiografia é conduzida de forma que, em certos casos, deixa margem a interpretação subjetiva, necessitando-se que o inspetor possua extrema experiência, acuidade visual e conhecimento da técnica empregada.

As medidas a serem tomadas em relação a aprovação ou não da peça, após a inspeção radiográfica, dependerá da localização, do tamanho e do tipo de defeito encontrado. Neste caso, e de suma importância a precisão da análise das imagens obtidas.

Este trabalho mostrou um sistema de radiografia digital portátil (denominado SISTEMA RDP), o qual implicou o desenvolvimento de uma instrumentação eletrônica dedicada para favorecer sua portabilidade no intuito de inspecionar defeitos em isoladores em campo. Um sistema como o RDP (com ótima resolução) aliado a métodos computacionais de que permitam um diagnóstico livre de erros, propicia na detecção de defeitos em isoladores em postes uma economia na prevenção de desligamentos indesejáveis na rede.

#### V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Hackam, R. “Outdoor HV Composite Polymeric Insulators”, *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, Vol. 6, No. 5, pp 557-585, 1999.
- [2] Mery, D; Filbert, D. Automated Flaw Detection in Aluminum Castings Based on the Tracking of Potential Defects in Radioscopic Image Sequence. In: *IEEE Trans. Robotics and Automation*, 18(6), pp 890-901, 2002.
- [3] R. Mery, D. “Processing Digital X-Ray Images and its Application in the Automated Visual Inspection of Aluminum Castings”, 3er Panamerican Conference for Nondestructive Testing – PANNDT, Rio de Janeiro, 2003.
- [4] J. Mery, D; Filbert, D. “Classification of Potential Defects in the Automatic Inspection of Aluminium Castings Using Statistical Pattern Recognition”, [Online] Disponível em: < <http://www.ndt.net/article/ecndt02/232/232.htm> > Acesso em: 30 jan. 2004
- [5] Gonzales, R C; Woods, R E. *Digital Image Processing*, Addison-Wesley Publishing Company, 1992.
- [6] Silva, R R. “Reconhecimento de Padrões de Defeitos de Soldagem em Radiografias Industriais”, Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2003.
- [7] W. C. Godoi, R. R. da Silva and V. Swinka-Filho, “Pattern Recognition in the Automatic Inspection of Voids in Polymeric Insulators”, *Insight - Non-Destructive Testing and Condition Monitoring*, a ser publicado.
- [8] Halmshaw, R. *Industrial Radiography: Theory and Practice*, Chapman and Hall, London, 1995.