

Utilização da técnica de radiografia computadorizada na inspeção de soldas circunferenciais na técnica de parede dupla – vista simples

J Maurício B Rabello, Humberto S Campinho e Eduardo T Iguchi
PETROBRAS/ENGENHARIA/SL/SEQUI/CI
São José dos Campos – SP, CEP 12.220-840, Brasil
Tel: 55 12 3928 6719
Fax: 55 12 3928 6630
mauriciorabello@petrobras.com.br

Edson V Moreira e J Rubens de Camargo
Universidade de Taubaté
Taubaté- SP, CEP 12.060-440, Brasil

Resumo

Apesar das vantagens obtidas com a inspeção radiográfica, os riscos inerentes à utilização de radiações ionizantes sempre se apresentaram como maiores limitantes relativos ao emprego da técnica. No entanto, com o advento da radiografia computadorizada, a radiologia industrial volta a ganhar espaço devido aos benefícios proporcionados pela nova tecnologia, dentre os quais se destacam: possibilidade de redução do tempo de exposição radiográfica e conseqüentemente da área de balizamento, obtenção direta de imagens digitais, eliminação do uso de produtos químicos e a possibilidade de reutilização dos detectores. Diante de um cenário tão favorável, a radiografia computadorizada vem sendo destacada como a solução de quase todos os problemas sem que ainda se conheçam plenamente suas vantagens e limitações. Neste trabalho, foi estudada comparativamente a sensibilidade radiográfica entre a radiografia convencional e a radiografia computadorizada, aplicada em soldas circunferenciais de dois grupos de tubos de aço utilizando a técnica parede-dupla vista-simples (PD-VS). Experimentalmente, foi observada uma dificuldade de se atingir o valor de sensibilidade especificado. Os tubos do grupo um apresentaram estatisticamente uma equivalência em ambas as técnicas e o grupo dois apresentou o melhor resultado na técnica convencional. A radiografia computadorizada é uma técnica que apresenta uma série de vantagens conhecidas, mas que deve ser utilizada com critério, pois ainda há o que evoluir em termos de qualidade de imagem obtida. Os procedimentos de teste ainda se baseiam muito na experimentação, tentativas e erros, devido à falta de uma metodologia consagrada na escolha dos parâmetros como no caso da radiografia convencional.

1 Introdução

Há mais de 100 anos, a radiologia industrial está baseada na utilização de filmes

radiográficos sensíveis aos raios X. Esses filmes especiais foram desenvolvidos para a aplicação nos ensaios não-destrutivos – END. Os filmes industriais têm melhor qualidade de imagem do que os filmes para área médica, permitindo uma inspeção com maior contraste e com maior resolução espacial, porém são mais lentos ^(1, 2). A alta resolução espacial é obtida pela combinação desses filmes com telas de chumbo, onde essas telas produzem um aumento de penumbra geométrica desprezível se comparado com as telas fluorescentes ⁽¹⁾. Os filmes para a área médica foram desenvolvidos a partir de requisitos diferentes dos filmes industriais. Na área médica existe o compromisso entre minimizar a dose no paciente e uma qualidade de imagem adequada ⁽³⁾.

No final da década de 80, diversos países vêm substituindo os sistemas convencionais de registro da imagem por sistemas digitais que dispensam o uso de filmes radiográficos e processamento químico. A radiologia digital médica apresenta uma série de vantagens em relação às imagens convencionais, tais como: maior sensibilidade, melhor resolução espacial, redução do índice de repetições dos exames, possibilidade de modificar o contraste e brilho da imagem de modo a obter uma melhor qualidade necessária para o diagnóstico ⁽⁴⁾.

Após seu desenvolvimento para a área médica, os detectores começaram a ser utilizados na área industrial em materiais com suas diversas formas e características diferentes ⁽⁵⁾.

Esta tecnologia foi desenvolvida para aplicações médicas, entretanto, existem alguns riscos. Seu ponto mais fraco é a baixa resolução espacial da maioria dos novos sistemas digitais de detecção em comparação com os filmes industriais ⁽³⁾.

No Brasil, a inspeção volumétrica de soldas de tubulações é tradicionalmente dominada pelo ensaio radiográfico. Para este ensaio, são utilizadas fontes de radiação, normalmente Ir¹⁹², filmes radiográficos e sua revelação é obtida por meio de processamento químico ⁽⁵⁾.

Dentre os sistemas digitais existentes para a área industrial, destacam-se os sistemas com placas de imagem (*Imaging Plate Systems*). Este sistema consiste do sensor de radiação e armazenamento da imagem, formado pelas placas de fósforo e escâner que converte as informações contidas na placa de fósforo em imagem digital. A radiação quando incide nas placas irá produzir a excitação dos cristais, formando a imagem latente. Quando expostos a um feixe de laser, os cristais liberam a energia armazenada sob a forma de luz, cuja intensidade é proporcional à radiação recebida. A imagem produzida dependerá dos parâmetros de irradiação, das características dos fósforos que constituem as placas, bem como dos procedimentos de manuseio das placas, das condições ambientais e do tempo decorrido entre a exposição à radiação e a escaneamento das placas. Esta técnica denomina-se radiografia computadorizada ⁽⁶⁾.

As empresas de ensaios não-destrutivos que utilizam esta técnica relatam a redução do tempo de exposição de 5% a 25%, em comparação com a exposição dos filmes radiográficos ⁽³⁾. Entretanto, não é seguro dizer de forma absoluta que estes detectores são melhores do que os filmes. Para cada aplicação, é necessário otimizar as condições de aquisição de maneira a se conseguir imagens com a qualidade requerida ⁽⁷⁾.

A resolução ainda não está no mesmo nível da radiografia convencional, tornando a radiografia computadorizada inadequada para inspeção de soldas ⁽⁸⁾.

Segundo Patel ⁽⁹⁾, existem diversos fatores que afetam a qualidade da radiografia computadorizada e sugere uma validação por meio de comparação das radiografias convencionais e imagens digitais.

No setor de petróleo e gás, principalmente nas áreas de transporte e refino, são utilizadas as seguintes normas técnicas da American Society of Mechanical Engineers -

ASME: ASME B 31.3 - *Process Piping*; ASME B 31.4 - *Pipeline Transportation Systems for Liquid Hydrocarbons and Other Liquids* e ASME B 31.8 - *Gas Transmission and Distribution Piping Systems*.

Essas normas remetem ou para o código ASME *Section V - Nondestructive Examination*, ou para a norma API 1104 *Welding of Pipelines and Related Facilities* o estabelecimento de requisitos mínimos para a realização dos ensaios não-destrutivos ⁽⁵⁾.

Embora a radiografia computadorizada tenha sido introduzida no ASME Seção V Edição de 2004, por meio da adenda de verão de 2005 (*2005 Summer Addenda*), como apêndice mandatório nº VIII (*Radiography Using Phosphor Imaging Plate*) ⁽¹⁰⁾, algumas comissões do próprio ASME ainda não permitem sua utilização, como por exemplo: o ASME B 31.3 - *Process Piping* - referencia para a execução dos ensaios não destrutivos o ASME Seção V Edição 2001 (A2003);

Como a radiografia computadorizada em comparação com a radiografia convencional apresenta vantagem da redução do tempo de exposição radiográfica e conseqüentemente da área de balizamento e obtenção das imagens radiográficas digitais de forma mais rápida e limpa, pois elimina o uso de produtos químicos, as indústrias do setor de petróleo e gás têm enorme interesse na sua utilização, entretanto, o seu uso é muito recente e a sua aplicação ainda não esta totalmente regulamentada.

O presente trabalho tem por objetivo o estudo comparativo da sensibilidade radiográfica entre as imagens obtidas pela técnica de radiografia computadorizada com o uso de raios X de potencial constante e a técnica radiográfica convencional com o uso de filmes e raios γ (Ir^{192}) em tubulações, em dois grupos de tubulações de aço.

2 Materiais e Métodos

Para o desenvolvimento desse trabalho, foram utilizados os materiais e equipamentos listados no item 2.1 e a metodologia utilizada esta detalhada no item 2.2. Todas os experimentos foram feitos em condições de campo.

2.1 Materiais

- a) Tubos sem costura, de aço carbono conforme ASTM A 106, soldados;
Dimensões: $\Phi 4''$ x 8,6 mm, $\Phi 4''$ x 11,1 mm, $\Phi 6''$ x 7,1 mm, $\Phi 6''$ x 11,1 mm, $\Phi 8''$ x 8,2 mm, $\Phi 8''$ x 12,7 mm, $\Phi 10''$ x 9,3 mm, $\Phi 10''$ x 12,7 mm, $\Phi 16''$ x 12,7mm e $\Phi 18''$ x 14,3 mm;
Altura máxima de reforço de solda - conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Altura máximo de reforço - Tabela 341.3.2 do ASME B31.3

Espessura parede	Altura máxima de reforço
$e \leq 6$ mm	$\leq 1,5$ mm
$6 \text{ mm} < e \leq 13$ mm	$\leq 3,0$ mm
$13 \text{ mm} < e \leq 25$ mm	$\leq 4,0$ mm
$e > 25$ mm	$\leq 5,0$ mm

- b) Fonte Radioativa

Ir^{192}

Dimensões da fonte: 2,75 mm x 2,75 mm (dimensão efetiva 3,89 mm)

- c) Aparelho de raios X
160kV – 10 mA – 3,00 mm (1,5 IEC 336)
4 mA – 1,0 mm (0,4 IEC 336)
- d) Filme Radiográfico
Filme Classe 2
- e) Sistema de radiografia computadorizada
 - o Monitor
Tela de 17”, resolução – 1280 x 1024 dpi – 240 μ m e luminosidade – 350 cd/m²
 - o Escâner
Laser classe I – varredura vertical, *laser spot size* de 210 μ m, desenvolvido para a aplicações odontológicas.
 - o Placas de Imagem
Dimensões: 75 x 150 mm ou 75 x 300 mm;
Resolução – 4 linhas pares por milímetro para 150 DPI – (dado do fabricante)
 - o Software de Processamento e Gerenciamento de Imagem
Desenvolvido para aplicações odontológicas

2.2 Métodos

Foram executados ensaios radiográficos na soldas circunferenciais dos tubos citados em 2.1, utilizando a técnica convencional e computadorizada na quantidade mostrada na Tabela 2.

Tabela 2 - Quantidade de ensaios executados

Φ (pol)	espessura (mm)	Quantidade de soldas ensaiadas
4	8,60	2
4	11,10	6
6	7,10	3
6	11,10	3
8	8,20	2
8	12,70	2
10	9,30	2
10	12,70	1
16	12,70	1
18	14,30	2

2.2.1 Radiografia convencional

Foram executados ensaios nos corpos-de-prova relacionados na Tabela 2 utilizando-se a técnica de parede dupla vista simples (PD-VS) e obedecendo-se os parâmetros geométricos mostrados na Tabela 3. Foi utilizado procedimento de ensaio radiográfico qualificado por inspetor nível 3; para a execução do ensaio foram utilizados inspetores nível 1, ambos certificados pelo Sistema Nacional de Qualificação e Certificação de Pessoal de Ensaio Não-Destrutivo (SNQC-END).

O arranjo radiográfico da técnica PD-VS está representado na Figura 1.

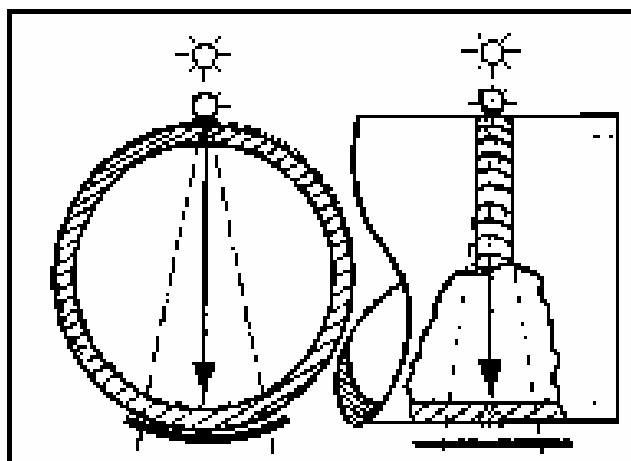


Figura 1 - Arranjo radiográfico para a técnica PD-VS

Tabela 3 – Parâmetros geométricos de exposição – Radiografia convencional

Φ (pol)	Espessura nominal (mm)	Espessura radiografada (mm)	Tamanho		Filme
			Focal (mm)	dff min (mm)	
4	8,60	11,60	3,89	120	Classe 2
4	11,10	14,10	3,89	170	Classe 2
6	7,10	10,10	3,89	120	Classe 2
6	11,10	14,10	3,89	170	Classe 2
8	8,20	11,20	3,89	120	Classe 2
8	12,70	15,70	3,89	170	Classe 2
10	9,30	12,30	3,89	120	Classe 2
10	12,70	15,70	3,89	170	Classe 2
16	12,70	15,70	3,89	170	Classe 2
18	14,30	18,30	3,89	170	Classe 2

2.2.2 Radiografia computadorizada

Na seqüência, foi executado nos mesmos corpos-de-prova, o ensaio de radiografia computadorizada utilizando-se a mesma técnica PD-VS.

Como a radiografia computadorizada ainda não está normalizada, foram utilizados os mesmos parâmetros da radiografia convencional para a elaboração do procedimento de radiografia computadorizada. Para a execução, utilizaram-se inspetores nível 1 certificados para a técnica de radiografia convencional. Os parâmetros geométricos para as exposições estão mostrados na Tabela 4.

2.2.3 Avaliação da sensibilidade radiográfica

Para a avaliação da sensibilidade radiográfica para as técnicas convencional e computadorizada, os ensaios foram executados nas soldas circunferenciais dos tubos relacionados na Tabela 2; atendendo-se as alturas máximas de reforço definidas para cada faixa de espessura mostrada na Tabela 1, com isso define-se a espessura a ser radiografada. Com essa espessura, é definida pela norma de projeto a sensibilidade mínima requerida. Na Tabela 5, é mostrada para cada peça a espessura radiografada, os tipos de IQIs, ASTM ou BS-EN, e o diâmetro do fio que assegura que a sensibilidade radiográfica requerida foi atingida.

Para a avaliação da sensibilidade radiográfica, no filme e na imagem, foram utilizados dois inspetores nível 2 certificados pelo SNQC-END que avaliaram individualmente todo o banco de dados de radiografias e de imagens emitindo um registro individual. Para as situações onde houve divergência, os avaliadores discutiram os resultados, e foi emitido um registro único que foi utilizado neste estudo.

Na execução dos ensaios foram utilizados IQIs de furo ou de fios. Para facilitar a análise dos resultados alcançados, a sensibilidade será normalizada para IQIs de fios, para tanto, será utilizada a equivalência estabelecida pelo item 6.1 da norma ASTM E-747 *Standard practice for design, manufacture, and material grouping classification of wire image quality indicators (IQI) used for radiology*, mostrada na Tabela 6.

Tabela 4 – Parâmetros geométricos de exposição – Radiografia computadorizada

Φ (pol)	Espessura nominal (mm)	Espessura radiografada (mm)	Tamanho Focal (mm)	dfd min (mm)	Placa de Imagem
4	8,60	11,60	3,0	225	DOIP350
4	11,10	14,10	3,0	225	DOIP350
6	7,10	10,10	3,0	225	DOIP350
6	11,10	14,10	3,0	225	DOIP350
8	8,20	15,70	3,0	225	DOIP350
8	12,70	9,40	1,0	225	DOIP350
10	9,30	12,30	3,0	225	DOIP350
10	12,70	15,70	3,0	225	DOIP350
16	12,70	15,70	3,0	250	DOIP350
18	14,30	18,30	3,0	250	DOIP350

Tabela 5 – Sensibilidade mínima requerida

Φ (pol)	Espessura de parede (mm)	Altura máxima reforço (mm)	Espessura radiografada (mm)	IQI - Lado Filme			Φ (mm)
				ASTM 1025	ASTM 747	BS-EN 462-1	
4"	8,60	3,00	11,60	15-2T	ASTM 6	DIN12	0,25
4"	11,10	3,00	14,10	17-2T	ASTM 7	DIN11	0,32
6"	7,10	3,00	10,10	15-2T	ASTM 6	DIN12	0,25
6"	11,10	3,00	14,10	17-2T	ASTM 7	DIN11	0,32
8"	8,20	3,00	11,20	15-2T	ASTM 6	DIN12	0,25
8"	12,70	3,00	15,70	17-2T	ASTM 7	DIN11	0,32
10"	9,30	3,00	12,30	15-2T	ASTM 6	DIN12	0,25
10"	12,70	3,00	15,70	17-2T	ASTM 7	DIN11	0,32
16"	12,70	3,00	15,70	17-2T	ASTM 7	DIN 11	0,32
18"	14,30	4,00	18,30	17-2T	ASTM 7	DIN11	0,32

Tabela 6 – Equivalência entre IQIs de furo e IQIs de fios ⁽¹¹⁾

Espessura do IQI de furo pol (mm)	Identificação do IQI de furo	Diâmetro do fio com equivalência por diâmetro do furo pol (mm)		
		1T	2T	4T
0,005 (0,13)	5	-	0,0038 (0,09)	0,006 (0,15)
0,006 (0,16)	6	-	0,004 (0,10)	0,0067 (0,18)
0,008 (0,20)	8	0,0032 (0,08)	0,005 (0,13)	0,008 (0,20)
0,009 (0,23)	9	0,0035 (0,09)	0,0056 (0,14)	0,009 (0,23)
0,010 (0,25)	10	0,004 (0,10)	0,006 (0,15)	0,010 (0,25)
0,012 (0,30)	12	0,005 (0,13)	0,008 (0,20)	0,012 (0,28)
0,015 (0,38)	15	0,0065 (0,16)	0,010 (0,25)	0,016 (0,41)
0,017 (0,43)	17	0,0076 (0,19)	0,012 (0,28)	0,020 (0,51)
0,020 (0,51)	20	0,010 (0,25)	0,015 (0,38)	0,025 (0,63)

3 Resultados

Os tubos foram classificados em 2 grupos em função das espessuras radiografadas:

- Grupo 1 - $9,5 \text{ mm} \leq \text{espessura radiografada} < 12,7 \text{ mm}$;
- Grupo 2 - $12,7 \text{ mm} \leq \text{espessura radiografada} < 19,05 \text{ mm}$.

3.1 Grupo 1 - $9,5 \text{ mm} \leq \text{espessura radiografada} < 12,7 \text{ mm}$

As Figuras de 2 a 5 mostram os resultados consolidados da avaliação da sensibilidade radiografia alcançada, para cada combinação de diâmetro e espessura dos tubos do grupo 1.

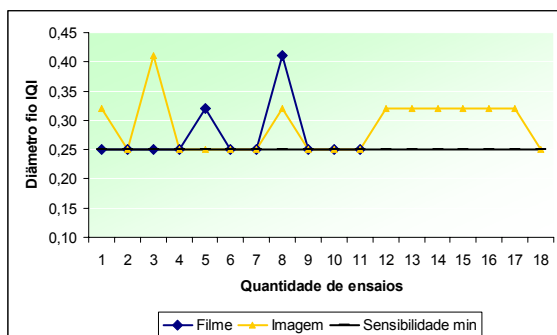


Figura 2 – $\Phi 6'' \times 7,10 \text{ mm}$

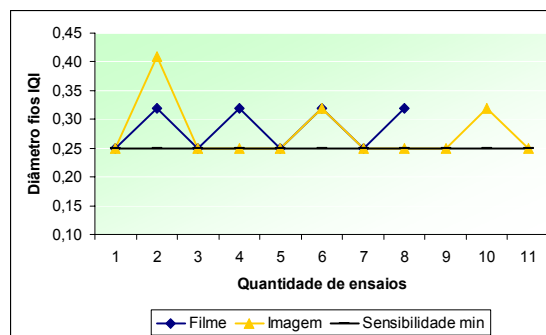


Figura 3 – $\Phi 8'' \times 8,2 \text{ mm}$

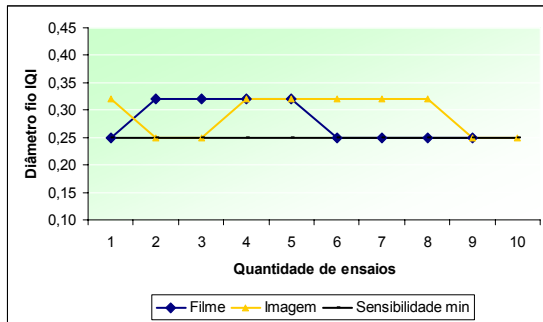


Figura 4 – Φ4'' x 8,6 mm

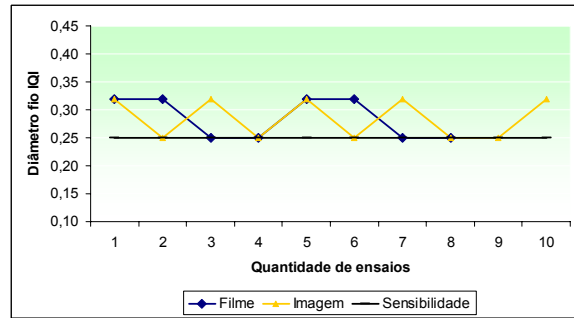


Figura 5 – Φ10'' x 9,3 mm

As figuras 6 e 7 mostram a comparação das radiografias na mesma posição de ambas as técnicas radiográficas da solda circunferencial para o tubo de Φ10'' x 9,30 mm do grupo 1.

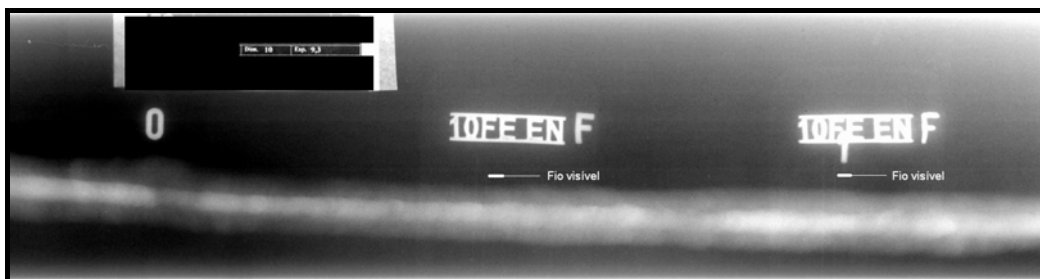


Figura 6 – Radiografia convencional digitalizada – Φ10'' x 9,30 mm

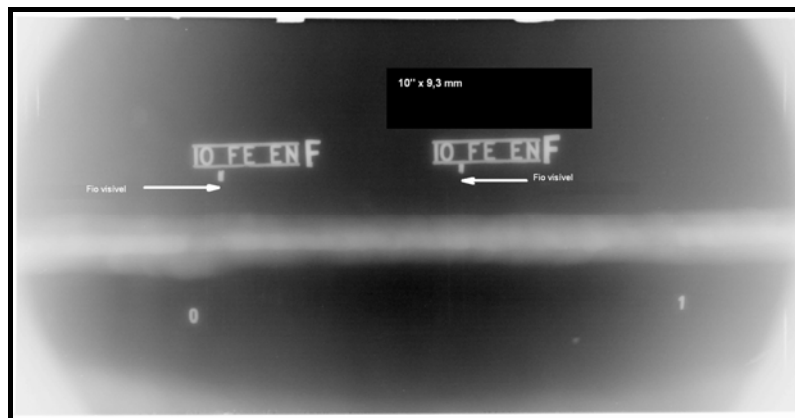


Figura 7 – Radiografia computadorizada – Φ10'' x 9,30 mm

Para esta faixa de espessura, mantivemos constante os termos: tipo de material, faixa de espessura, tamanho de fonte de raios γ e tipo de filme e placa de imagem. Foram alterados o termo distância-fonte-filme ou distância fonte-detector em função de cada diâmetro e termo foco de raios X.

A sensibilidade radiográfica para esta faixa de espessura é representada pela visualização do fio de 0,25 mm de diâmetro. Nos filmes e imagens onde não foi visualizado o fio essencial, não se atingiu a sensibilidade radiográfica.

Comparando os resultados alcançados por ambas as técnicas, observa-se que a radiografia convencional, estatisticamente, apresenta um melhor desempenho do que a radiografia computadorizada, conforme mostrado na Tabela 7. Para a radiografia

convencional, tal fato ocorreu porque as amostras estão com a espessura radiografada muito próxima do limite mínimo para o uso do Ir¹⁹² (12). Para a radiografia computadorizada, embora esteja se utilizando uma energia mais adequada para esta faixa de espessura e uma distância-fonte-detector maior, o resultado foi disperso.

Tabela 7 – Estatística para tubos do Grupo 1

Φ (pol)	Esp parede (mm)	Quantidade		Quantidade aprovada		Percentual aprovada	
		RF	RC	RF	RC	RF (%)	RC (%)
6	7,1	11	18	9	9	81,8	50,0
8	8,2	8	11	4	8	50,0	72,7
4	8,6	9	10	5	4	55,6	40,0
10	9,3	8	10	4	5	50,0	50,0

* Radiografia convencional; ** Radiografia Computadorizada

3.2 Grupo 2 - 12,7 mm ≤ espessura radiografada < 19,05 mm

As Figuras de 8 a 13 mostram os resultados consolidados da avaliação da sensibilidade radiografia alcançada, para cada combinação de diâmetro e espessura dos tubos do grupo 2.

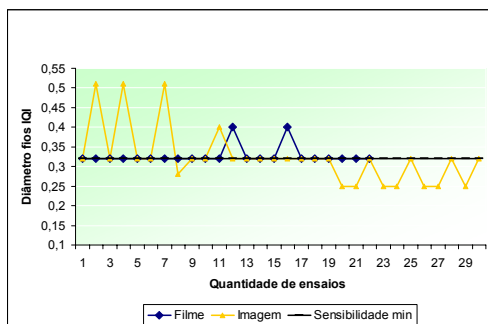


Figura 8 – Φ4" x 11,1 mm

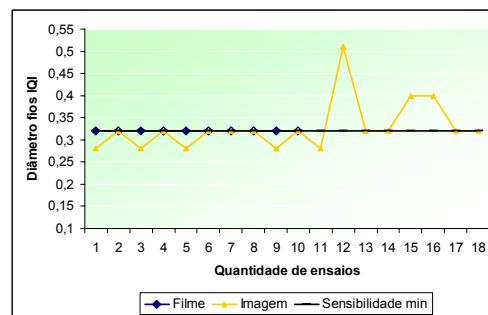


Figura 9 – Φ6" x 11,1 mm

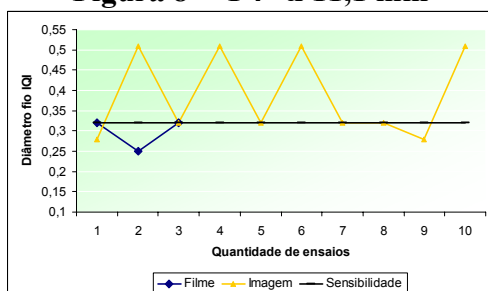


Figura 10 – Φ 8" x 12,7 mm

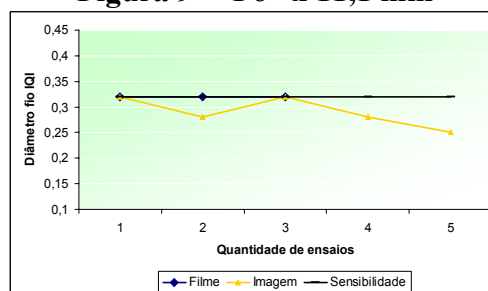


Figura 11 – Φ 10" x 12,7 mm

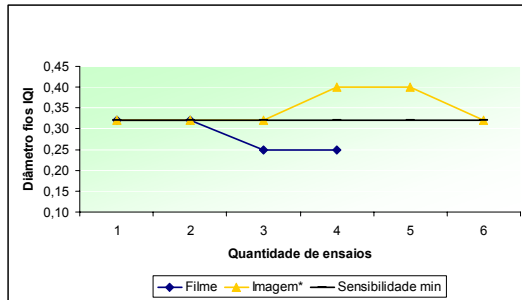


Figura 12 – Φ16” x 12,7 mm

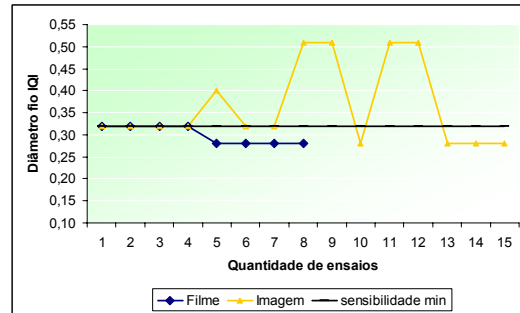


Figura 13 – Φ18” x 14,3 mm

As figuras 14 e 15 mostram a comparação das radiografias na mesma posição de ambas as técnicas radiográficas da solda circunferencial para o tubo de Φ4” x 11,10 mm do grupo 2



Figura 14 – Radiografia convencional digitalizada – Φ4” x 11,10 mm

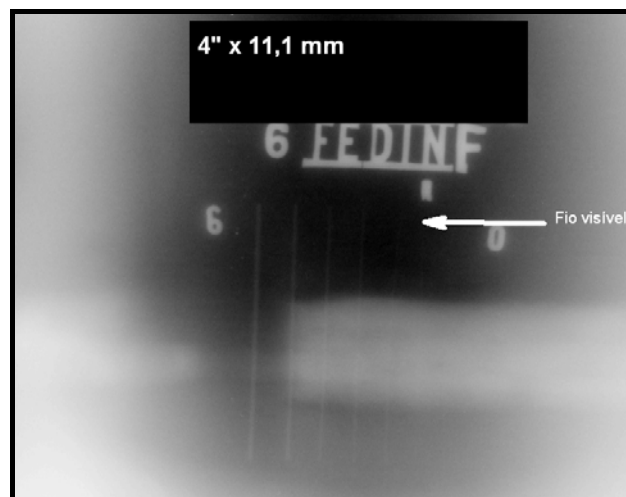


Figura 15 – Radiografia computadorizada – Φ 4” x 11,10 mm

Para esta faixa de espessura no nosso experimento, mantivemos constante os termos: tipo de material, tamanho de fonte (raios γ) ou foco (raios X) e tipo de filme e placa de imagem, alteramos os termos espessura e distância-fonte-filme ou distância fonte-detector em função de cada diâmetro.

A sensibilidade radiográfica para esta faixa de espessura é representada pela visualização do fio de 0,32 mm de diâmetro. Nos filmes e imagens onde não foi visualizado o fio essencial, não se atingiu a sensibilidade radiográfica.

Comparando os resultados alcançados por ambas as técnicas, observa-se que a radiografia convencional, estatisticamente, apresentou um melhor desempenho do que a radiografia computadorizada, conforme mostrado na Tabela 8.

Para a radiografia convencional, embora as amostras tenham sido ensaiadas com a espessura radiografada adequada ao uso do Ir¹⁹² em duas amostras, não se atingiu a sensibilidade mínima, tal fato pode ser atribuído a erro de geometria da exposição ou outro erro inerente ao processo radiográfico com filme. Para a radiografia computadorizada, embora esteja se utilizando uma energia também adequada para esta faixa de espessura não se observou uma repetibilidade dos resultados. Tal dispersão de resultados se observa pelo fato da técnica de RC possuir uma tolerância muito pequena a erros de operação.

Tabela 8 – Estatística para tubos do Grupo 2

Φ (pol)	Esp parede (mm)	Quantidade		Quantidade aprovada		Percentual aprovada	
		RF	RC	RF	RC	RF (%)	RC (%)
4	11,1	22	30	20	26	90,9	86,7
6	11,1	10	18	10	16	100	88,9
8	12,7	3	10	3	6	100	60,0
10	12,7	3	5	3	5	100	100
16	12,7	4	6	4	4	100	66,7
18	14,3	8	15	8	10	100	66,7

4 Conclusão

Nas condições testadas a técnica de radiografia computadorizada não obteve resultados equivalentes a técnica de radiografia convencional.

A radiografia computadorizada é uma técnica que apresenta uma série de vantagens conhecidas, mas que deve ser utilizada com critério, pois ainda há o que evoluir em termos de qualidade de imagem obtida. Os procedimentos de teste ainda se baseiam muito na tentativas e erros, devido a falta de uma metodologia definida para a escolha dos parâmetros como no caso da radiografia convencional.

5 Referências Bibliográficas

1. EWERT, U. New Trends in Industrial Radiology The e-Journal of Nondestructive Testing, v. 7, n. 2, fev 2002. www.ndt.net/v07n02.htm. Acesso em: 25 nov 2005.
2. MARINHO, C. A., RABELLO, J.M.B., MELO M. A., IGUCHI, E.T., LOPES, R.T., OLIVEIRA, D. Radiografia Computadorizada - O estado-da-arte In: CONAEND, XXV., 2007, Salvador. Anais. S.I.: S.n., 2007. p. COTEQ119.

3. EWERT, U; ZSCHERPEL, U; BAVENDIEK. Film replacement by digital X-ray detectors - The correct procedure and equipment In: WORLD CONFERENCE ON NDT, 16., 2004, Montreal. Anais. Montreal: WCNDT, 2004. p. CD-ROM Proceedings. www.ndt.net/abstract/wcndt2004/666.htm. Acesso em: 10 nov 2006.
4. SIEGEL, E L; KOLODNER R M. Filmless radiography 1 ed. New York: Springer- Verlag, 2002. 434 p.
5. RABELLO, J M B. Inspeção não destrutiva - Radiografia computadorizada Rio de Janeiro, 2004. 50 f. Monografia (Especialização em Engenharia de dutos) - Engenharia mecânica, PUC-RJ.
6. SANTANA S.; KHOURY H.; SHINOHARA A.; BRASILEIRO I.; VASCONCELOS F. M. N.; MARTINS M. G. Caracterização da resposta de sistemas de radiografia digital com diferentes tipos de placas de fósforo In: SIMPÓSIO DE INSTRUMENTAÇÃO E IMAGENS MÉDICAS, 2º., 2005, Águas de São Pedro. Anais do II SIIM 2005. , 2005.
7. KAFTANDJIAN, V; LUC, C; MUNIER, B. Evaluation of new digital detectors for high resolution radiography In: WORLD CONFERENCE ON NDT, 16., 2004, Montreal. Anais. S.I.: WCNDT, 2004. p. CD-ROM Proceedings. http://www.ndt.net/article/wcndt2004/html/htmltxt/407_kaftandjian.htm. Acesso em: 10 nov 2006.
8. ENCICLOPEDIA OF SCIENCE AND TECHNOLOGY. Computed Radiography - Image Plate Disponível em: <www.destinationscience.com/search/Computed_radiography#Imaging_plate> Acesso em: 24 abr 2007.
9. PATEL, R J. Digital Applications of Radiography In: MIDDLE EAST NONDESTRUCTIVE TESTING CONFERENCE & EXIBITHION - MENDT, 3., 2005, Bahrain. Anais. Bahrain, 2005. www.ndt.net/article/mendt2005/htmltxt/08.php3. Acesso em: 3 nov 2006.
10. HEMBREE, G. W; HARDY R. ASME (American Society of Mechanical Engineering) Boiler & Pressure Vessel Code Acceptance of Imaging Plate (non film) Radiography as an Alternative to Film Radiography In: DIGITAL IMAGING, VIII., 2005, Mashantucket. Anais. Mashantucket: The american Society for Nondestructive Testing Inc, 2005. p. 7-9.
11. AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. ASME SECTION V: Nondestructive examamination. New York, 2004.
12. CEN - EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARTIZATION. EN 444 : Non-destructive testing - General principles for radiographic examination of metallic materials by X- and gamm-rays. Brussels, 1994.