

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 91 apresenta, esquematicamente, as descontinuidades lineares, circulares e irregulares, numeradas de 1 a 12, simuladas na amostra metálica, enquanto que na Tabela 18 estão listadas as dimensões de tais descontinuidades.

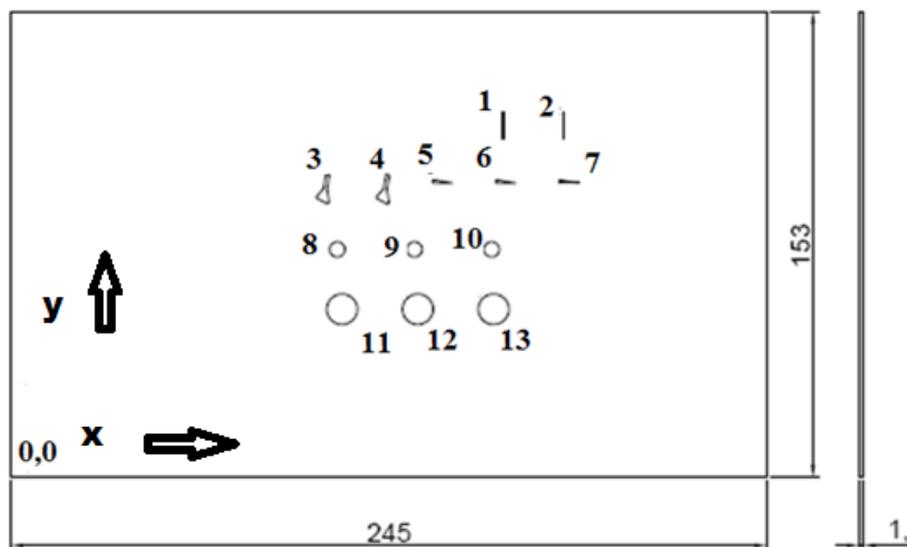


Figura 91 – Representação esquemática das descontinuidades simuladas na amostra metálica.

Tabela 18– Dimensões e profundidades das descontinuidades na amostra metálica.

Descontinuidade	Posições		Dimensões	Profundidade
	X	Y		
1	159,2	111,35	0.43 x 8.37	0,35
2	179.17	111,35	0.98 x 8.37	0,25
3	99.14	90.62	4.05 x 10.12	0,25
4	118.58	90.62	4.05 x 10.12	0,15
5	136.56	96.08	6.44 x 1	0,35
6	157.06	96.08	6.44 x 1	0,25
7	177.56	96.08	6.44 x 1	0,15
8	105.77	74.24	Ø8	0,35
9	130.77	74.24	Ø8	0,55
10	155.77	74.24	Ø8	0,15
11	107.3	55.16	Ø10	0,35
12	132.49	55.16	Ø10	0,55
13	157.05	55.16	Ø10	0,25

Para a amostra do compósito, as descontinuidades lineares, numeradas de 1 a 3 (produzidas com espátula) e de 4 a 6 (produzidas com ferro de solda) estão representadas na Figura 92 e suas respectivas dimensões estão listadas na Tabela 19.

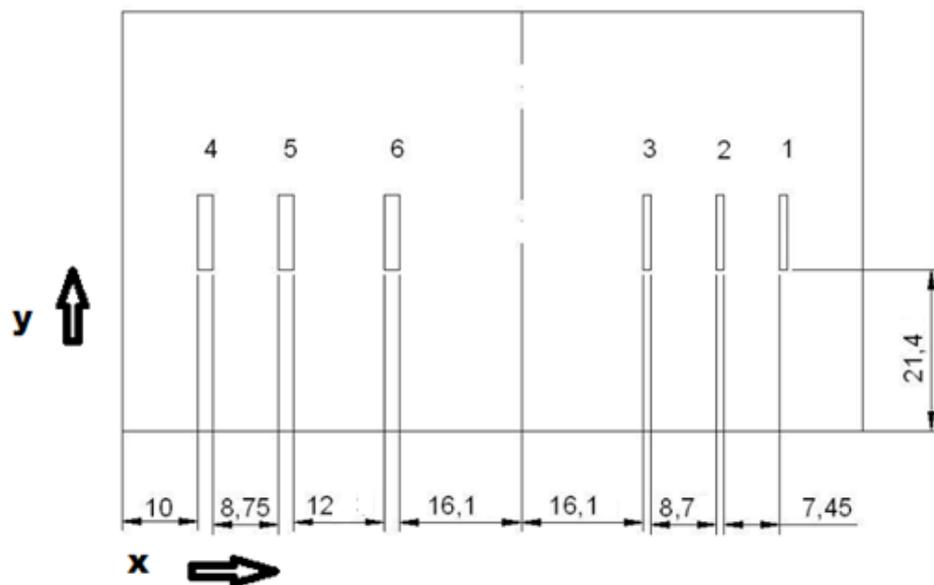


Figura 92 – Representação esquemática das descontinuidades simuladas na amostra do compósito.

Tabela 19 – Dimensões e profundidades das descontinuidades na amostra do compósito.

Descontinuidade	Dimensões		Profundidades
	X	Y	
1	1	18	0,1
2	1	14	0,1
3	1	20	0,1
4	3	11	0,1
5	3	11	0,2
6	3	11	0,2

Posições, dimensões e profundidades em mm.

## 4.1. Ensaio radiográfico

As radiografias convencionais e computadorizadas utilizando Selênio – 75, sem e com tratamento digital de imagem, são apresentadas nas Figuras numeradas de 93 a 96. Nas figuras com tratamento de imagem, as marcações em vermelho indicam as descontinuidades detectadas.

Na radiografia convencional (Figura 93), apenas as descontinuidades associadas com maior volume de material retirado são visualizadas, isto é, as descontinuidades circulares (8, 9, 11 e 12), com maiores profundidades, (0,35 mm e 0,55 mm). Além disto, observa-se, ainda, que a indicação das descontinuidades não foi influenciada pela profundidade das mesmas, uma vez que as descontinuidades 1, 3 e 5, embora com a mesma profundidade das de número 8 e 11 (0,35 mm), não aparecem na radiografia.

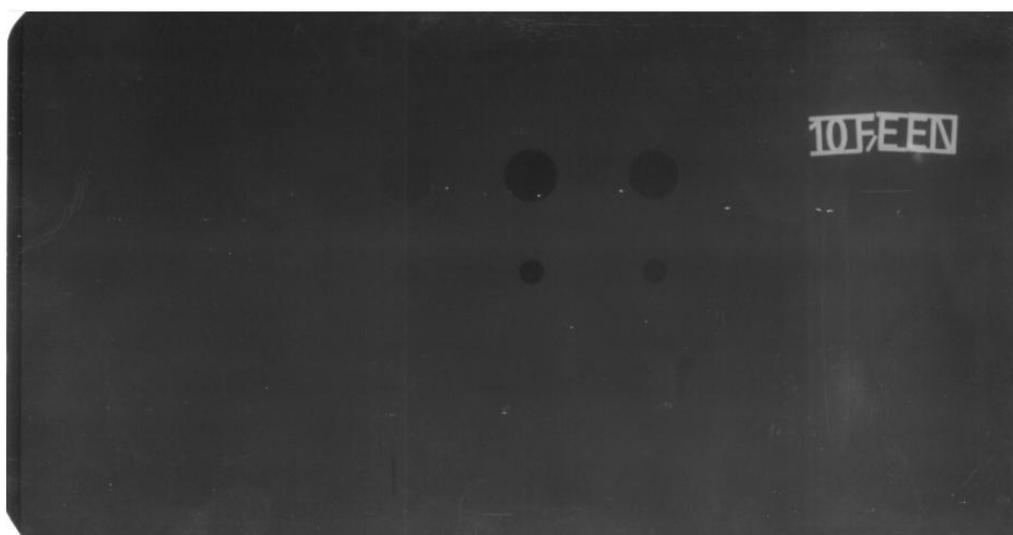


Figura 93 – Radiografia convencional com Selênio – 75 na amostra metálica.

Já a Figura 94 indica todas as descontinuidades circulares, incluindo aquelas (10 e 13) de menor profundidade (0,15 mm). Também aparecem indicações das descontinuidades 3, 5 (visíveis), 4 e 1 (ambas com baixo contraste). Isto indica que o tratamento digital da imagem (Figura 94) contribui de maneira eficaz para a detecção de descontinuidades anteriormente não indicadas (Figura 93).

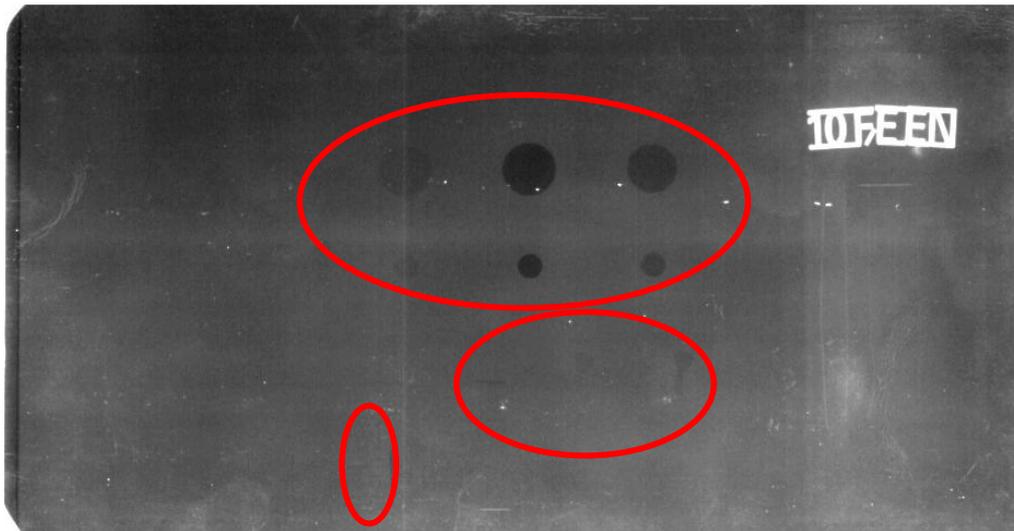


Figura 94 – Radiografia convencional com Selênio – 75 na amostra metálica, após tratamento digital de imagem.

Na radiografia computadorizada (Figura 95), se observa apenas as descontinuidades associadas com maior volume de material retirado (8, 9, 11 e 12), com uma mais baixa nitidez, quando comparada com a Figura 93.

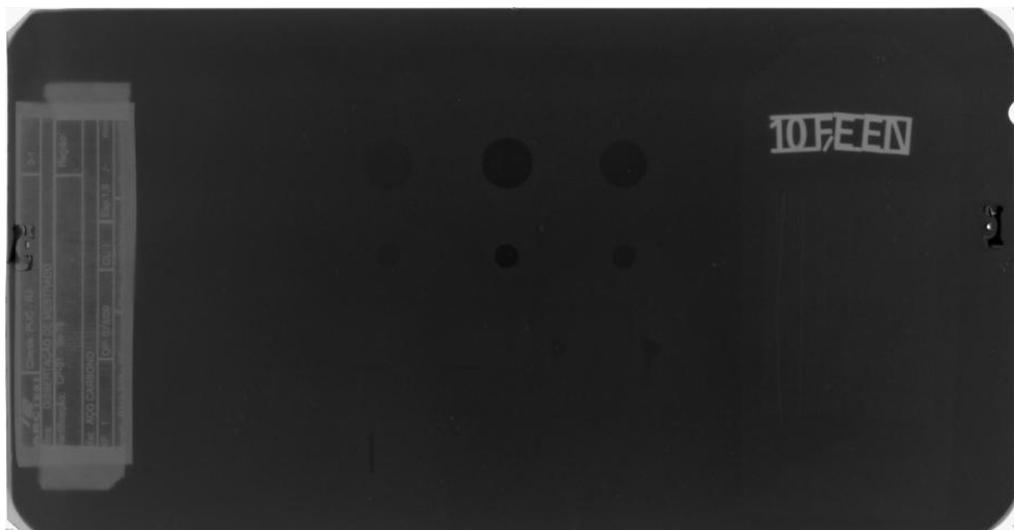


Figura 95 – Radiografia computadorizada com Selênio – 75 na amostra metálica.

Já a análise da Figura 96 mostra que houve a indicação das mesmas descontinuidades evidenciadas na Figura 94, reforçando a importância do tratamento digital da imagem.

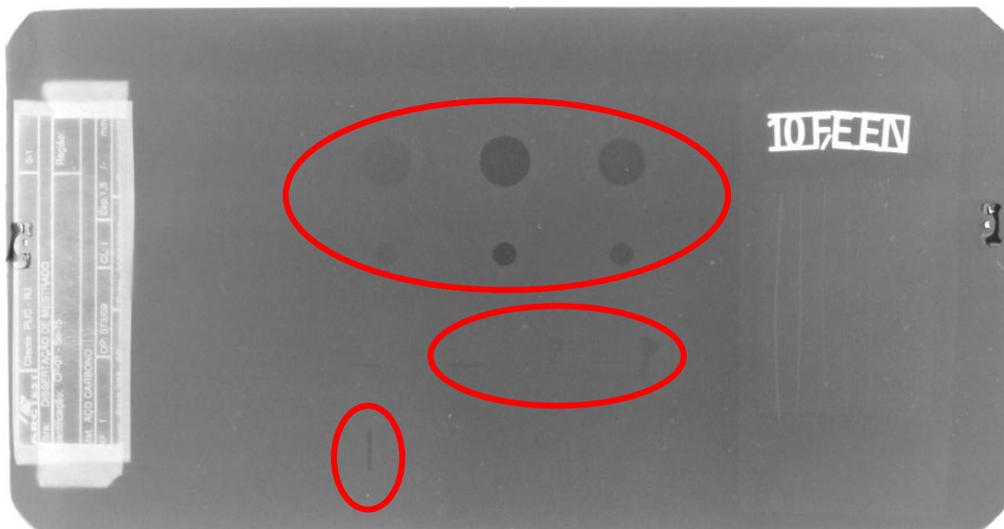


Figura 96 – Radiografia computadorizada com Selênio – 75 na amostra metálica, após tratamento digital de imagem.

As radiografias convencionais e computadorizadas utilizando Iridio – 192, sem e com tratamento digital de imagem, se encontram apresentadas nas figuras numeradas de 97 a 100. Nas figuras com tratamento de imagem, as marcações em vermelho indicam as descontinuidades detectadas.

Na Figura 97 se observa apenas as descontinuidades associadas com maior volume de material retirado (8, 9, 11 e 12), com maiores profundidades, (0,35 mm e 0,55 mm). Como na radiografia com Selênio – 75, (Figura 93) a indicação das descontinuidades não foi influenciada pela profundidade das mesmas, uma vez que as descontinuidades 1, 3 e 5 não foram indicadas.

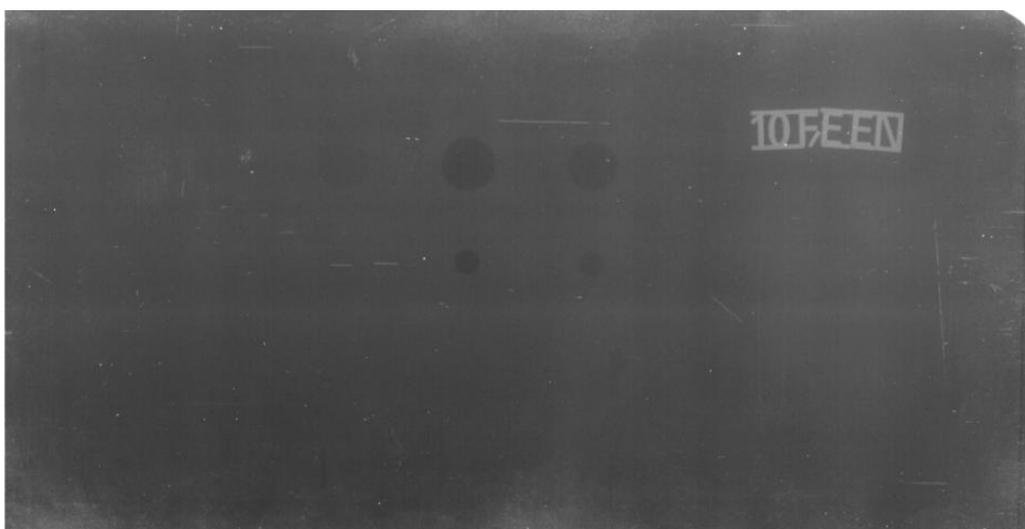


Figura 97 – Radiografia convencional com Iridio – 192 na amostra metálica.

A Figura 98 indica as descontinuidades circulares mais profundas (8, 9, 11 e 12) e apenas uma (13) de menor profundidade (0,15 mm). Isto demonstra que houve perda da capacidade de indicação de descontinuidades com a troca do isótopo de Selênio-75 (Figura 94) para Iridio - 192 (Figura 98).

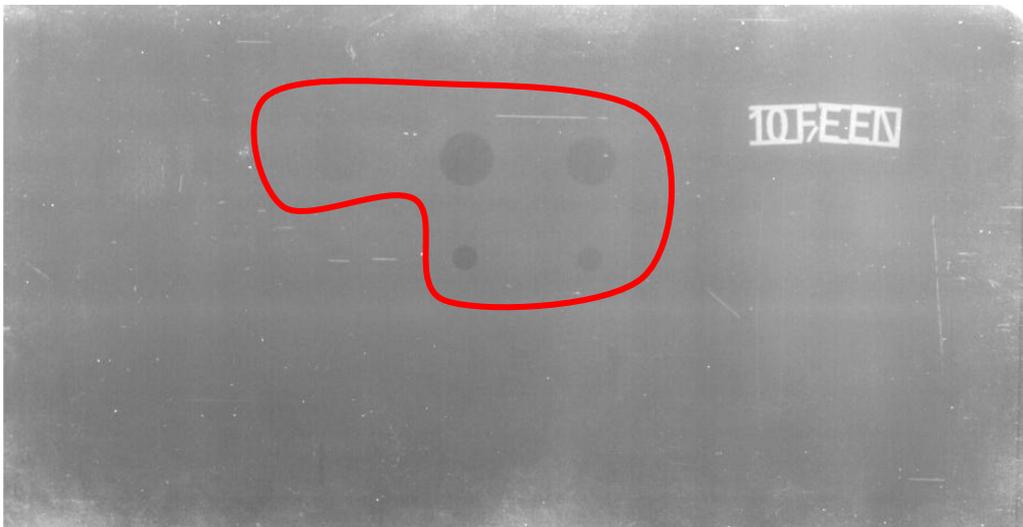


Figura 98 – Radiografia convencional com Iridio – 192 na amostra metálica, após tratamento digital de imagem.

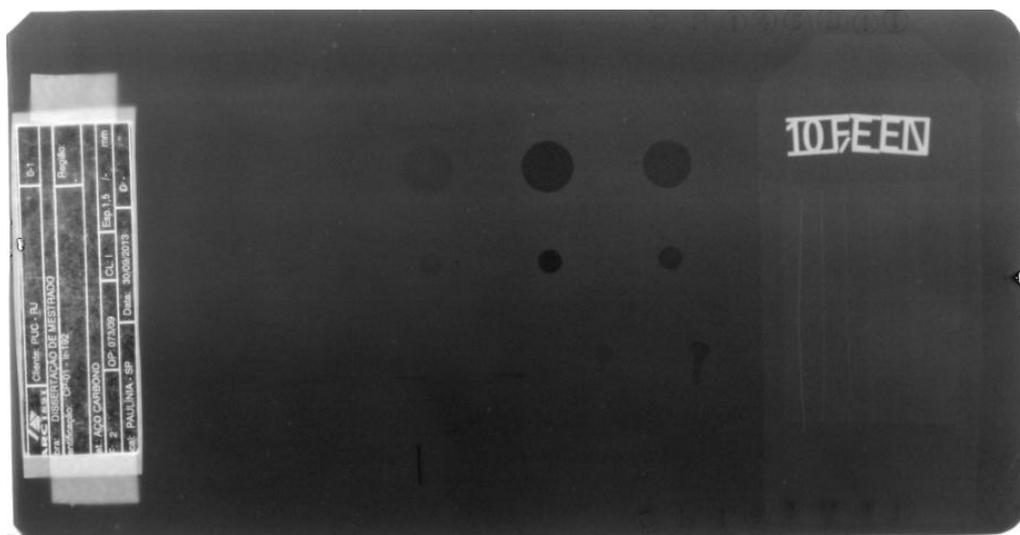


Figura 99 – Radiografia computadorizada com Iridio – 192 na amostra metálica.

Já a comparação entre radiografias computadorizadas de Selênio - 75 (Figura 96) e Iridio - 192 (Figura 100), após o tratamento digital de imagem,

mostra as mesmas indicações de descontinuidades, ou seja, não existem diferenças com o uso de isótopos diferentes.

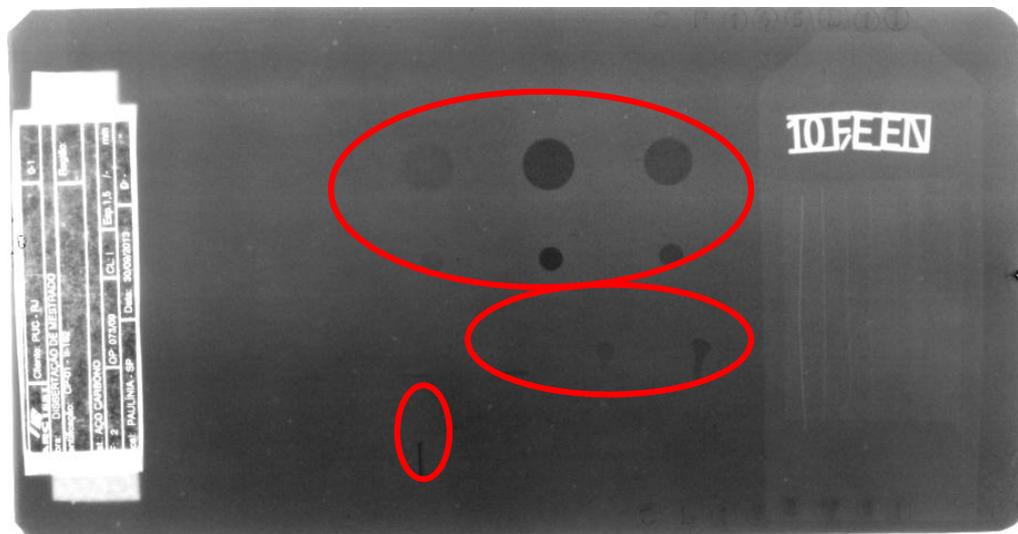


Figura 100 – Radiografia computadorizada com Irídio – 192 na amostra metálica, após tratamento digital de imagem.

As radiografias convencionais e computadorizadas utilizando raios X, sem e com tratamento digital de imagem, se encontram apresentadas nas figuras numeradas de 101 a 104. Nas figuras com tratamento de imagem, as marcações em vermelho indicam as descontinuidades detectadas.

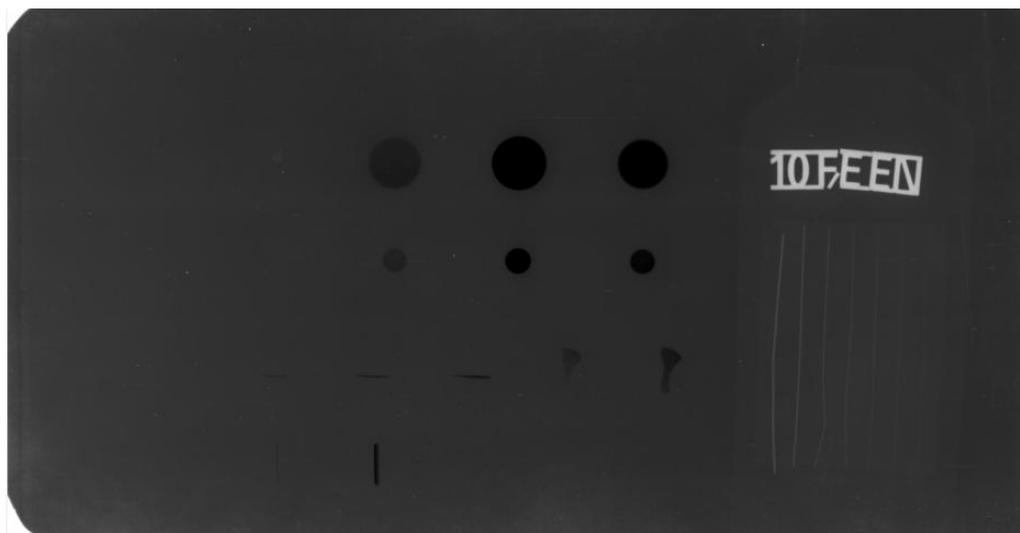


Figura 101 - Radiografia convencional com raios X na amostra metálica.

A comparação entre as radiografias convencionais (Figuras 93, 97 e 101) mostra de maneira evidente que os raios X foram a radiação mais eficiente para a detecção das descontinuidades simuladas na amostra metálica. Enquanto que as radiações com Selênio - 75 e Irídio - 192 indicaram apenas as descontinuidades associadas com perda de maiores volumes de material (8, 9, 11 e 12), os raios X indicaram praticamente todas as descontinuidades, com exceção daquelas de número 1 e 7, que aparecem apenas com o tratamento digital da imagem (Figura 102).

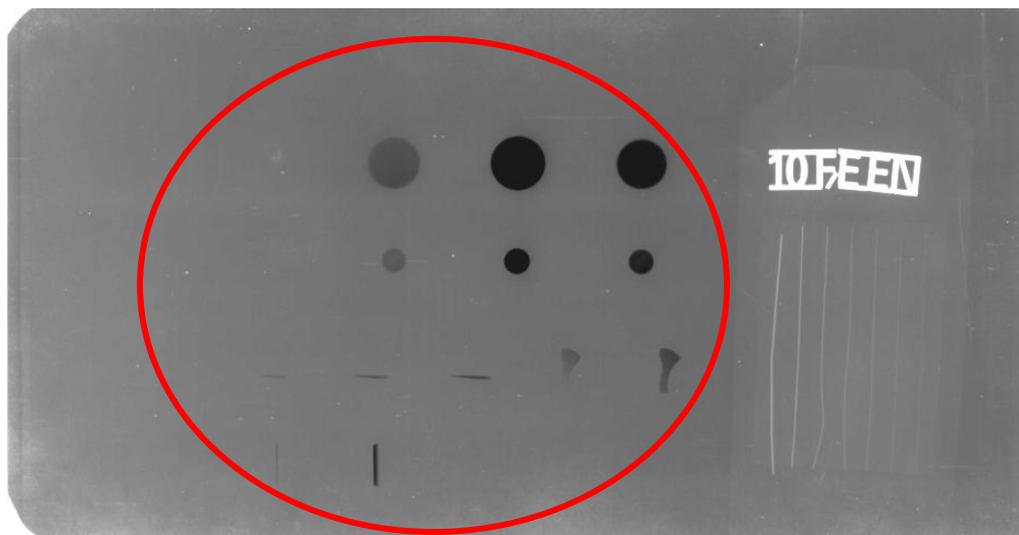


Figura 102 - Radiografia convencional com raios X na amostra metálica, após tratamento digital de imagem.

Os mesmos comentários se aplicam para a comparação entre as radiografias computadorizadas (Figuras 95, 99 e 103), que permitem afirmar que o raios X foram a radiação mais eficiente para a detecção das descontinuidades na amostra metálica. O tratamento digital de imagem (Figura 104) proporcionou, ainda, uma indicação mais eficaz das descontinuidades na amostra metálica.

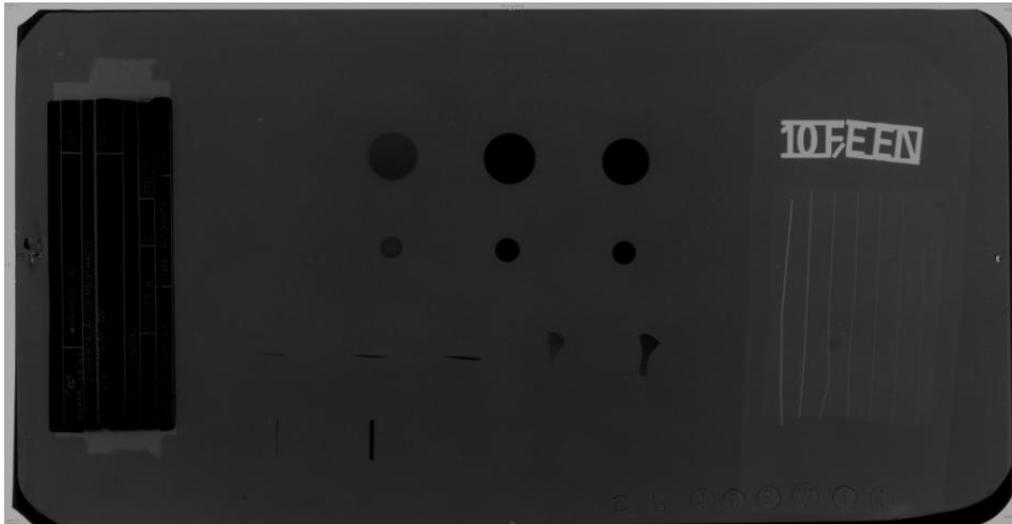


Figura 103 - Radiografia computadorizada com raios X na amostra metálica.

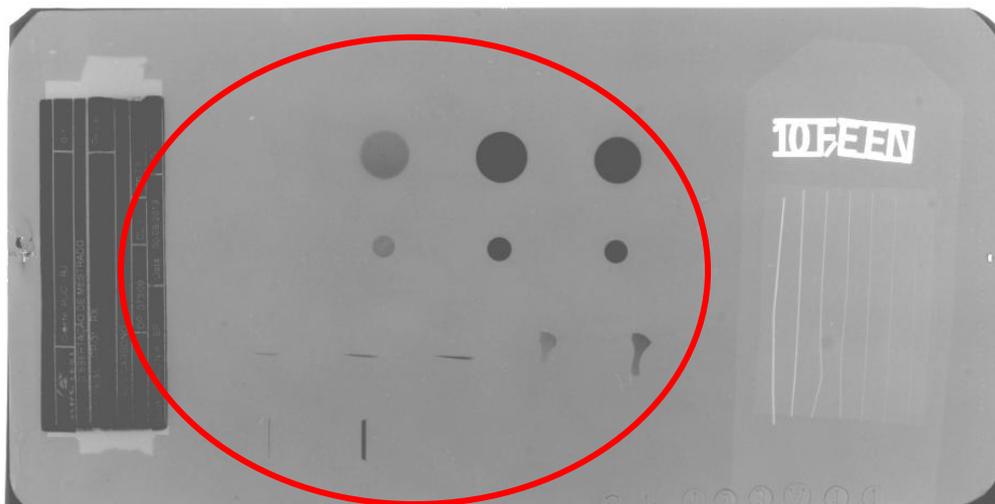


Figura 104 - Radiografia computadorizada com raios X na amostra metálica, após tratamento digital de imagem.

As radiografias convencionais e computadorizadas, utilizando Selênio - 75, sem e com tratamento digital de imagem, se encontram apresentadas nas figuras numeradas de 105 a 108.

A análise das Figuras 105 a 108 mostra que não houve qualquer indicação de descontinuidades na amostra do compósito com o isótopo Selênio – 75.

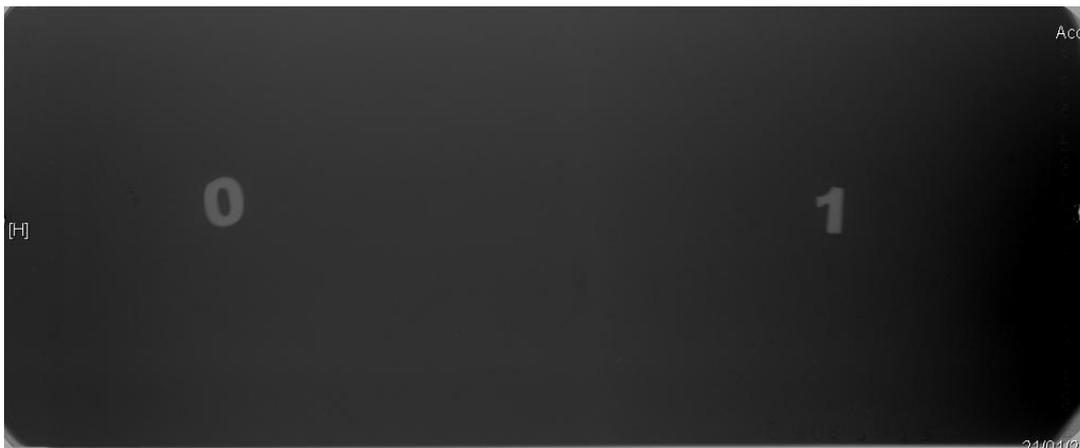


Figura 105 – Radiografia convencional com Selênio - 75 na amostra do compósito.



Figura 106 – Radiografia convencional com Selênio - 75 na amostra do compósito, após tratamento digital de imagem.



Figura 107 – Radiografia digital com Selênio – 75 na amostra do compósito.

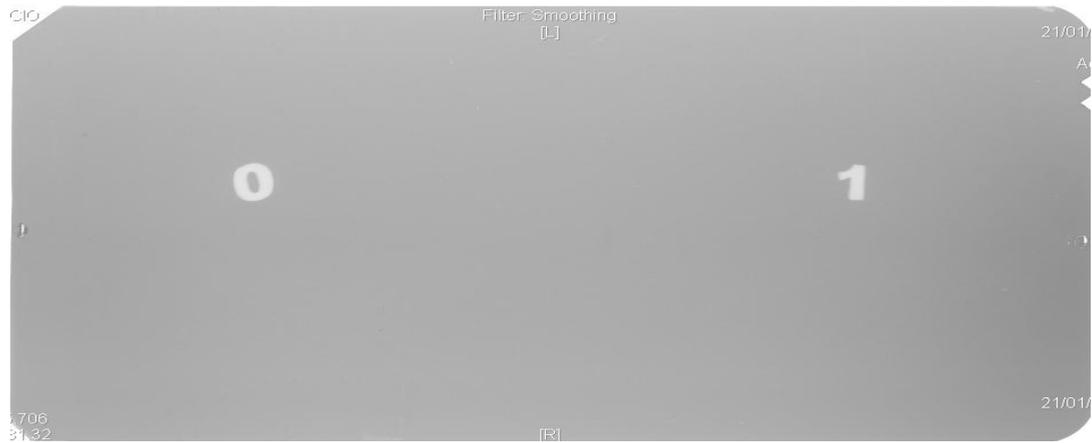


Figura 108 – Radiografia digital com Selênio – 75 na amostra do compósito, após tratamento digital de imagem.

As radiografias convencionais e computadorizadas utilizando Irídio – 192, sem e com tratamento digital de imagem, se encontram apresentadas nas figuras numeradas de 109 a 112.

A análise das Figuras 109 a 112 mostra que somente a radiografia convencional com Irídio – 192, após tratamento digital de imagem, indicou sem muita nitidez, as descontinuidades com maiores dimensões 5 e 6 (Figura 110).



Figura 109 – Radiografia convencional com Irídio – 192 na amostra do compósito.

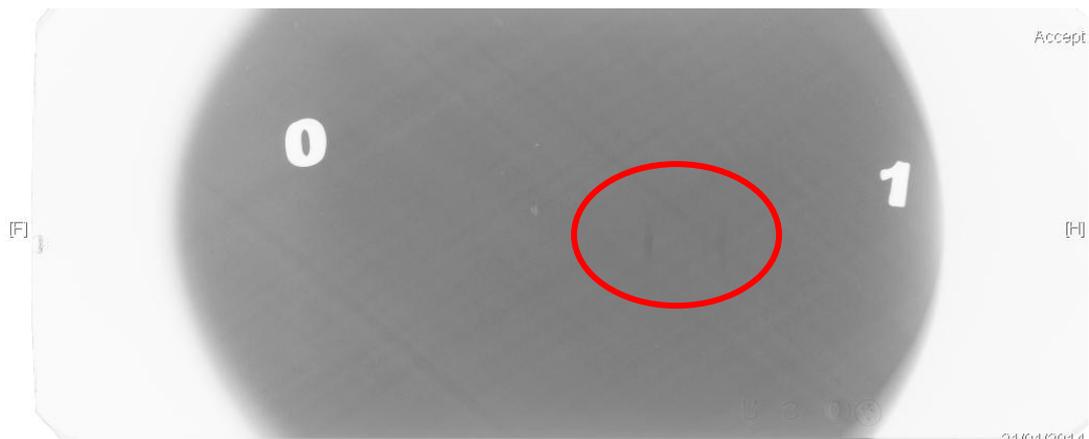


Figura 110 – Radiografia convencional com Irídio – 192 na amostra do compósito, após tratamento digital de imagem.



Figura 111 – Radiografia digital com Irídio – 192 na amostra do compósito.



Figura 112 – Radiografia digital com Irídio – 192 na amostra do compósito, após tratamento digital de imagem.

As radiografias convencionais e computadorizadas utilizando raios X, sem e com tratamento digital de imagem, se encontram apresentadas nas figuras numeradas de 113 a 116.

Após a análise das Figuras 112 a 116, se conclui que, somente a inspeção convencional com raios X, após tratamento digital de imagem, indicou, sem muita nitidez, as descontinuidades com maiores dimensões (4, 5 e 6). Entretanto, a inspeção com raios X (Figura 114) conseguiu indicar mais descontinuidades do que aquela com Irídio – 192 (Figura 110).

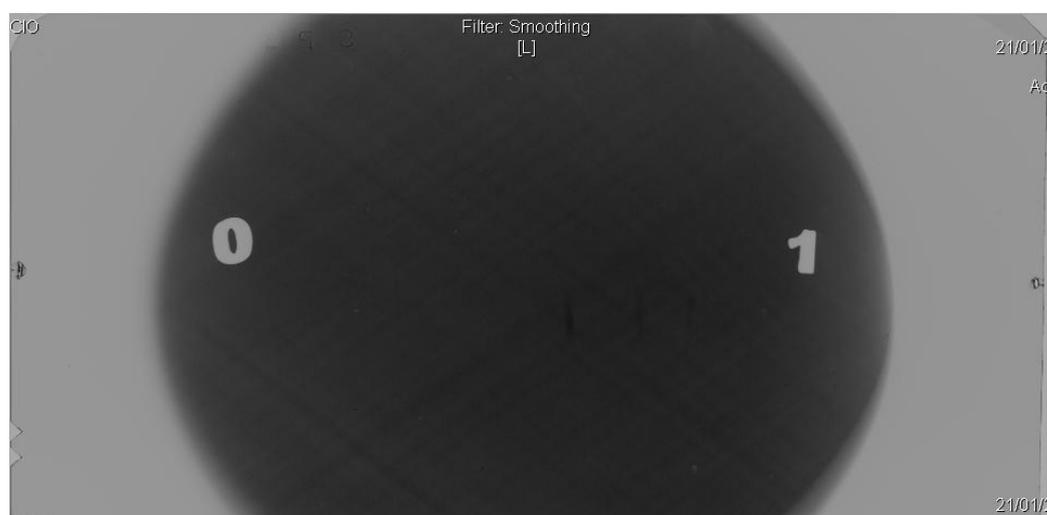


Figura 113 – Radiografia convencional com raios X na amostra do compósito.

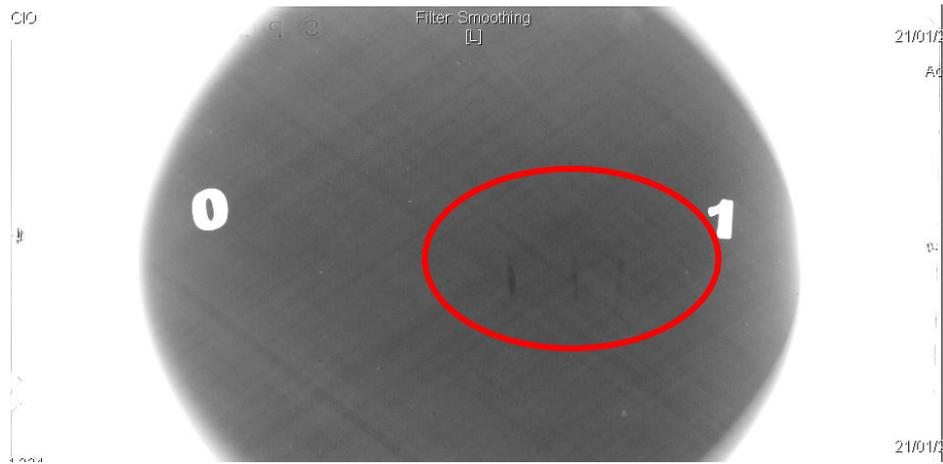


Figura 114 – Radiografia convencional com raios X na amostra do compósito, após tratamento digital de imagem.



Figura 115 – Radiografia digital com raios X na amostra do compósito.



Figura 1161 – Radiografia digital com raios X na amostra do compósito, após tratamento digital de imagem.

Finalmente, se considera que, nas inspeções por radiação penetrante nas duas amostras (metálica e compósito), as melhores detecções de descontinuidades foram obtidas com a técnica de raios X no método convencional com tratamento de imagem.

## 4.2. Ensaio por partículas magnéticas

Embora óbvio, se comenta que a inspeção por partículas magnéticas somente foi realizada na amostra metálica.

As Figuras 117 a 119 apresentam as descontinuidades detectadas durante a inspeção da amostra metálica por partículas magnéticas via úmida colorida.

A análise das Figuras 117 a 119 permite concluir que a inspeção por partículas magnéticas via úmida colorida foi capaz de detectar todas as descontinuidades simuladas na amostra metálica, com exceção daquelas lineares indicadas na Figura 120.

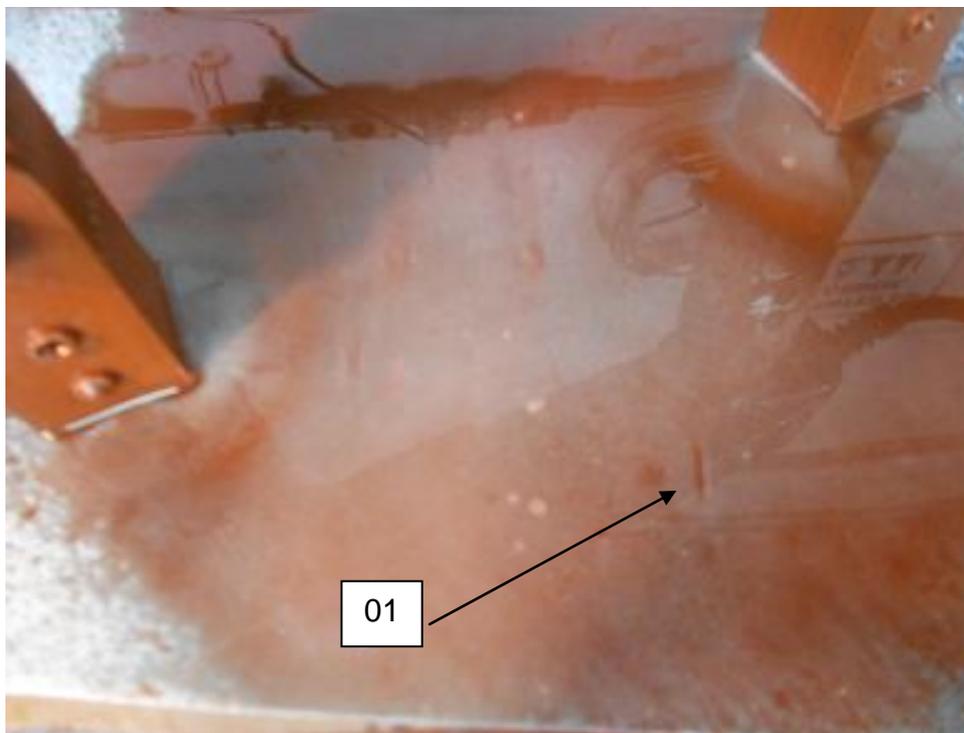


Figura 117 – Detecção de descontinuidade linear (1).

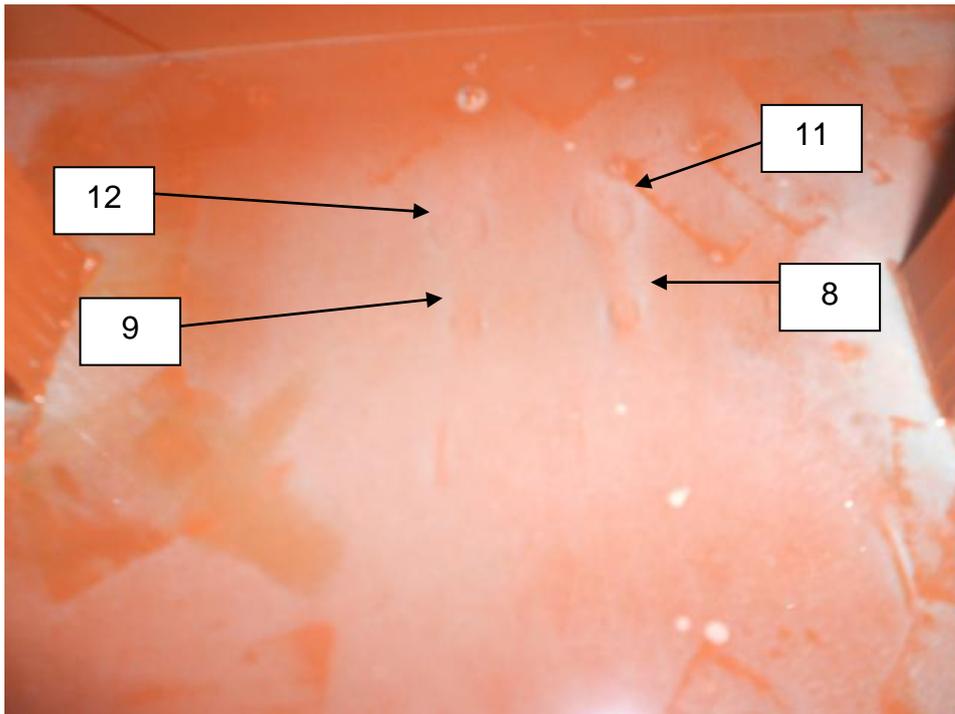


Figura 118 – Detecção das descontinuidades circulares (8, 9, 11 e 12).

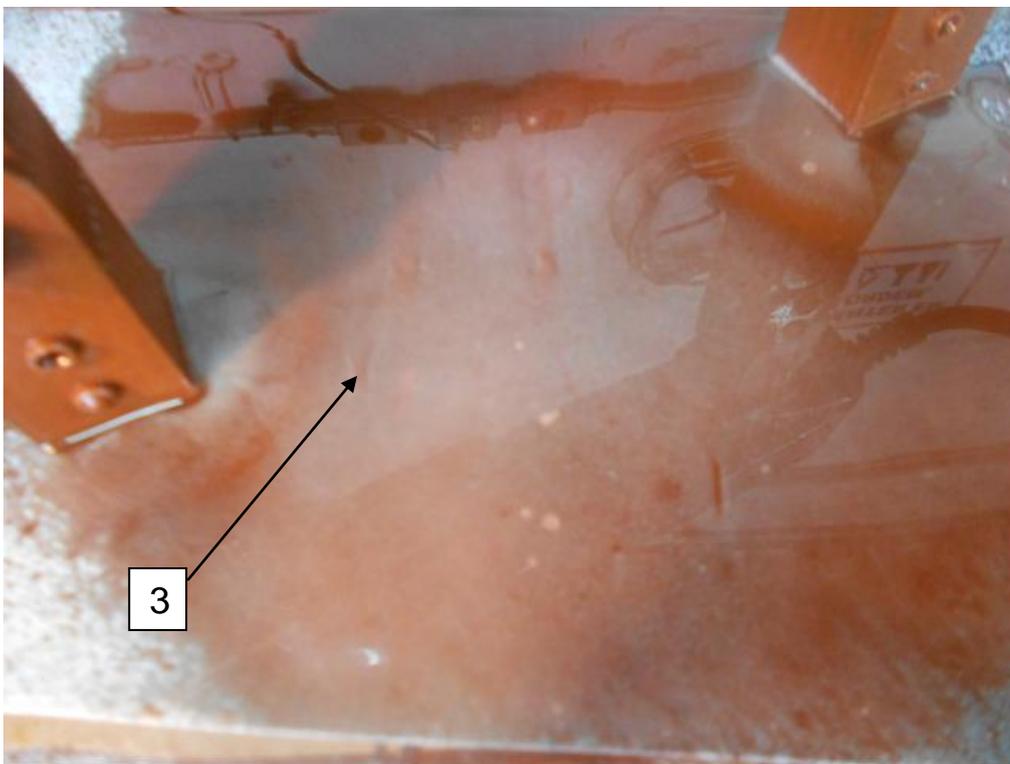


Figura 119 – Detecção da descontinuidade irregular (3).

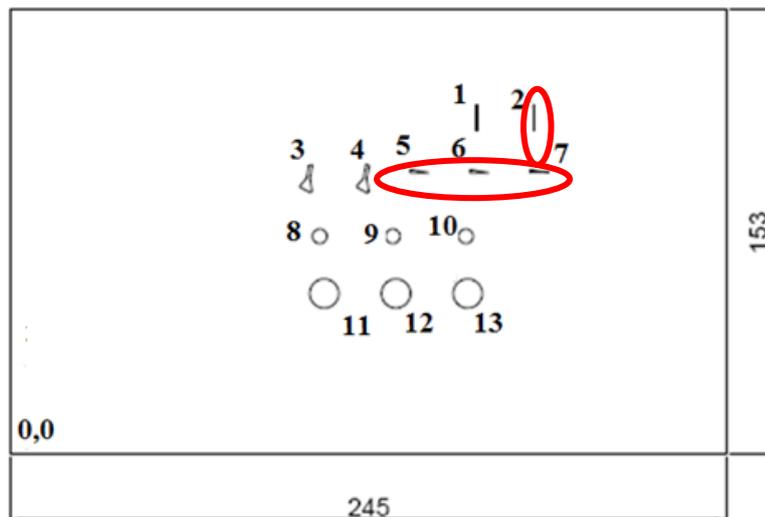


Figura 120 – Descontinuidades não detectadas no ensaio método via úmida colorida.

As Figuras 121 e 122 mostram as descontinuidades detectadas durante o ensaio por partículas magnéticas via úmida fluorescente.

A análise das Figuras 121 e 122 permite concluir que a inspeção por partículas magnéticas via úmida fluorescente não teve a mesma eficiência que a inspeção por via úmida colorida, uma vez que deixou de indicar as descontinuidades irregulares (3 e 4) destacadas na Figura 123.

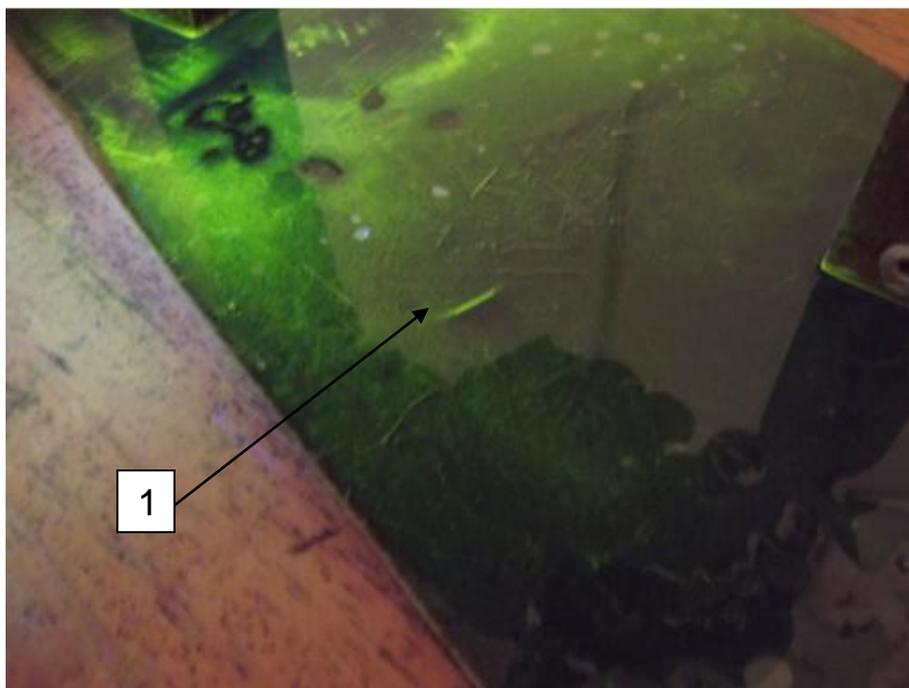


Figura 121 – Detecção de descontinuidade linear (1).

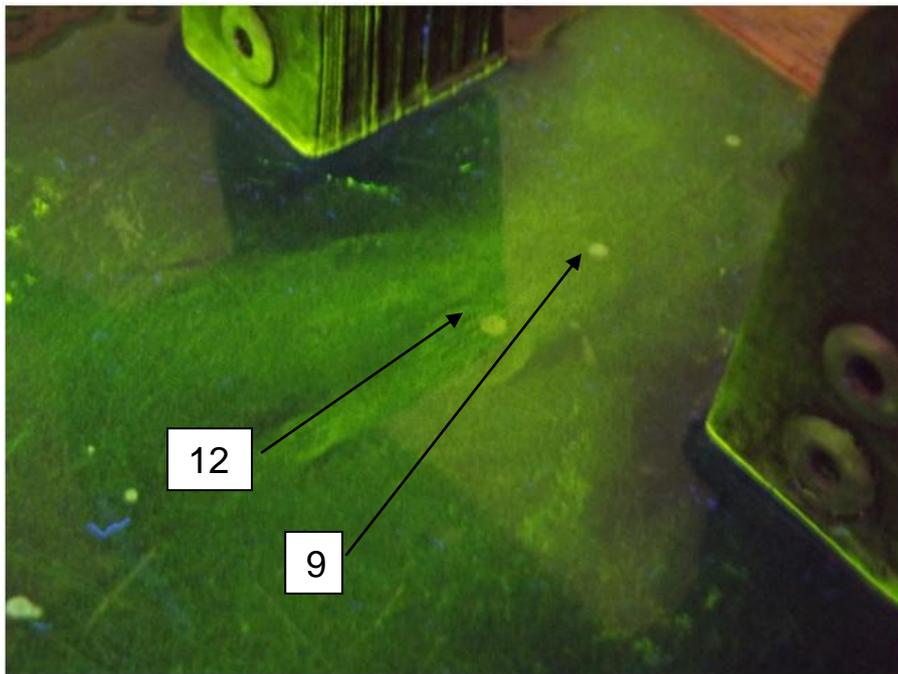


Figura 122 – Detecção das discontinuidades circulares.

O ensaio por via úmida fluorescente não foi capaz de detectar as discontinuidades irregulares e lineares demonstradas na Figura 123.

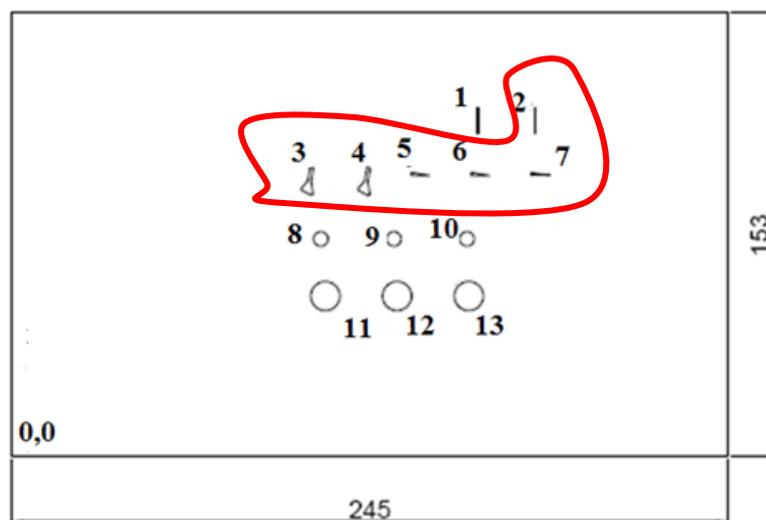


Figura 123 – Descontinuidades não detectadas no ensaio por via úmida fluorescente.

O ensaios por partículas magnéticas por via úmida colorida é menos sensível que por via úmida fluorescente, porém o método por via úmida colorida

conseguiu detectar as descontinuidades circulares, algumas lineares e as irregulares enquanto que o método por via úmida fluorescente não apresentou a capacidade de detecção das descontinuidades irregulares.

Os fatores que podem ter contribuído para esse resultado são: incorreto preparo da solução fluorescente ou a mesma pode ter sido preparada há muito tempo, perdendo propriedades físicas, afetando a sensibilidade do ensaio ou ainda a amostra pôde não ter sido limpa de modo correto após a inspeção por via colorida, prejudicando o método fluorescente, que foi realizado em sequência.

### **4.3. Ensaio por ultrassom**

O ensaio por ultrassom não apresentou eficiência em detectar descontinuidades na amostra metálica, bem como na amostra do compósito. As Figuras 124 e 125 apresentam as telas do aparelho na região da amostra metálica sem descontinuidade e na região com descontinuidade, respectivamente.

A comparação entre as Figuras 124 e 125 permite a constatação de que não houve diferença entre os picos nas regiões com e sem descontinuidades da amostra metálica.

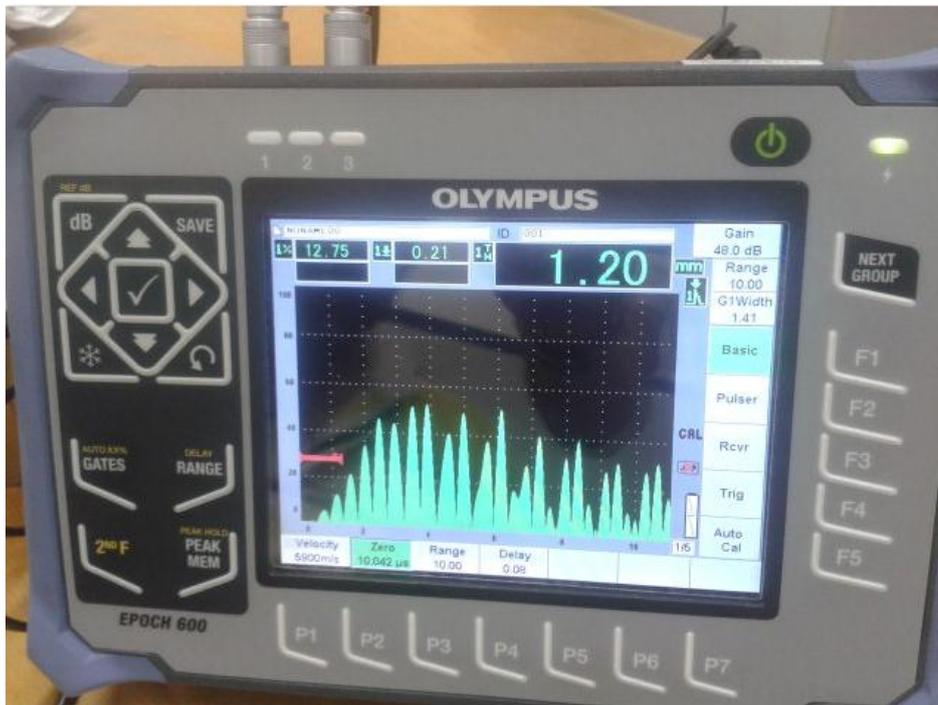


Figura 124 – Tela do aparelho método pulso-eco na região sem descontinuidades da amostra metálica.

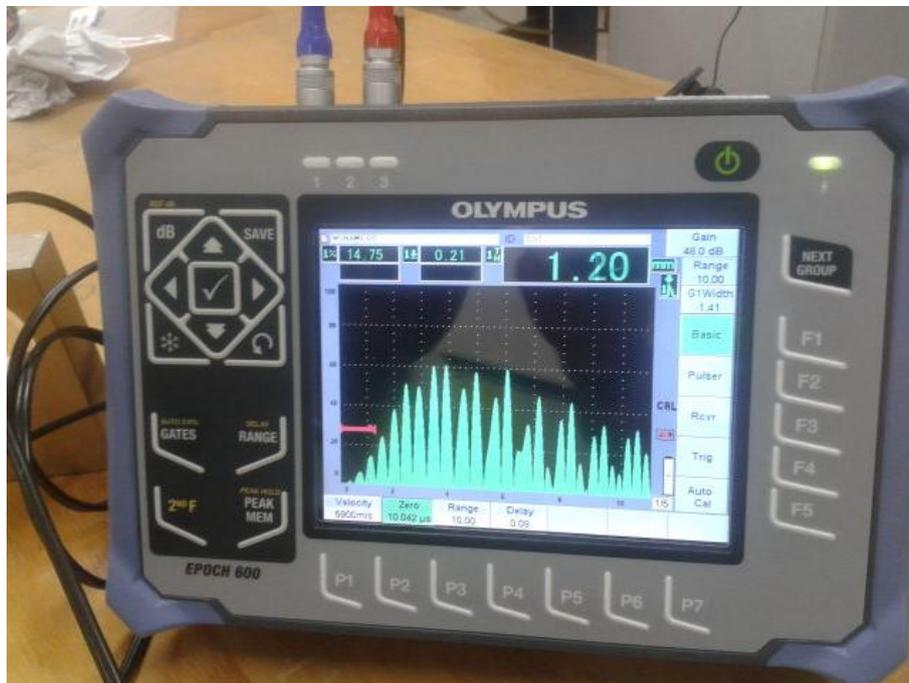


Figura 125 - Tela do aparelho método pulso eco na região com descontinuidades da amostra metálica.

Na amostra do compósito, a espessura da parede variou na mesma seção transversal em 20%. (Figuras 126 e 127) devido a anisotropia do material o que não possibilitou uma inspeção eficiente.



Figura 126 – Medição da espessura da parede do tubo compósito 3,9 mm.



Figura127 – Medição da espessura da parede do tubo compósito 4,9 mm.

#### 4.4. Comparação entre as técnicas de inspeção adotadas

As Tabelas 20 e 21 resumem a capacidade das diferentes técnicas adotadas neste estudo de detectar as descontinuidades simuladas na amostra metálica e do compósito.

Tabela 2 – Detecção das descontinuidades na amostra metálica.

Descontinuidade	Amostra metálica					
	Ultrassom	Partículas magnéticas		Selênio - 75	Iridio - 192	raio-X
		Via úmida colorida	Via úmida fluorescente			
1	X	✓	✓	✓	✓	✓
2	X	X	✓	X	X	✓
3	X	✓	X	✓	✓	✓
4	X	✓	X	✓	✓	✓
5	X	X	X	X	X	✓
6	X	X	X	X	X	✓
7	X	X	X	X	X	✓
8	X	✓	✓	✓	✓	✓
9	X	✓	✓	✓	✓	✓
10	X	✓	✓	✓	✓	✓
11	X	✓	✓	✓	✓	✓
12	X	✓	✓	✓	✓	✓
13	X	✓	✓	✓	✓	✓

Tabela 3– Detecção das descontinuidades na amostra do compósito.

Descontinuidade	Amostra do compósito			
	Ultrassom	Selênio - 75	Iridio - 192	raio - X
1	X	X	X	X
2	X	X	X	X
3	X	X	X	X
4	X	X	X	✓
5	X	X	X	✓
6	X	X	X	✓