

Ensaio por raios X

Introdução

Na aula anterior você conheceu os raios X e os raios gama, que são radiações eletromagnéticas, e algumas de suas propriedades.

Nesta aula, estudaremos mais detalhadamente o ensaio por raios X. Você terá uma descrição básica do equipamento, do ensaio e dos cuidados durante a sua realização.

Antes de estudar o ensaio propriamente dito, você ainda precisa conhecer mais algumas características dos elementos envolvidos na radiação, ou seja, fonte, peça e filme radiográfico.

Essas características, assim como os princípios estudados na aula anterior, são comuns às radiações X e gama. As diferenças entre os dois ensaios referem-se principalmente aos aspectos operacionais, como você mesmo poderá constatar depois de estudar os assuntos desta aula e da próxima.

Nossa aula

Geometria da exposição

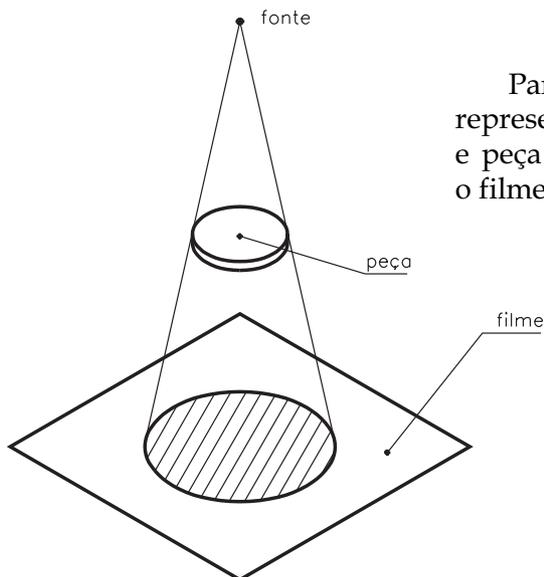
A radiografia é na realidade uma “sombra” da peça, provocada por seu posicionamento na trajetória das radiações X ou gama.

Podemos neste caso utilizar os mesmos princípios geométricos aplicados às sombras produzidas pela luz.

Para compreender o que ocorre e, portanto, obter melhores resultados na radiografia, você deve conhecer a influência da **distância** e da **posição** entre os elementos: fonte de radiação, peça e filme.

Vamos analisar como esses dois fatores afetam a formação da imagem.

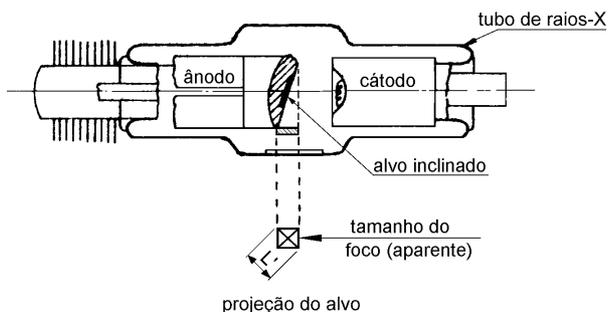
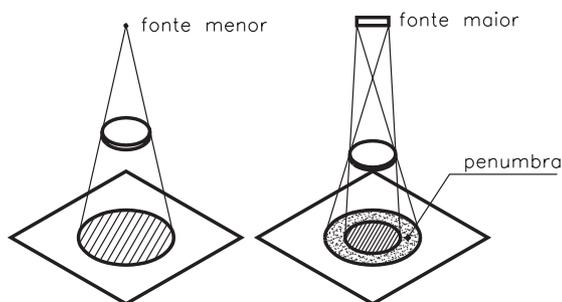
Ampliação da imagem – A imagem da peça no filme torna-se maior que a própria peça à medida que aumenta a distância entre a peça e o filme, resultando uma imagem irreal.



Para que a imagem projetada no filme represente o tamanho real da peça, filme e peça devem estar próximos. Na prática, o filme deve estar em contato com a peça.

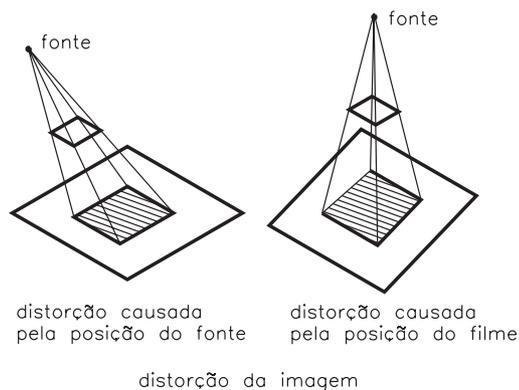
A fonte de radiação, pelo contrário, deve ficar o mais afastada possível da peça e do filme, para minimizar o efeito de ampliação da imagem, respeitadas as características do equipamento e da fonte.

Nitidez da imagem – Quanto maiores as dimensões da fonte emissora, menor a nitidez da imagem, devido à formação de uma penumbra na radiografia. Para evitar este problema, deve-se utilizar uma fonte emissora com a menor dimensão possível.



No caso dos raios X, para melhorar a nitidez da imagem o alvo (ânodo) é posicionado num plano inclinado em relação ao filme, de modo a concentrar a radiação emitida.

Distorção da imagem – Se houver uma inclinação entre a fonte, a peça e o filme, a imagem resultará distorcida. Para eliminar esta distorção, deve-se colocar a fonte emissora o mais perpendicular possível em relação à base da peça e ao filme.



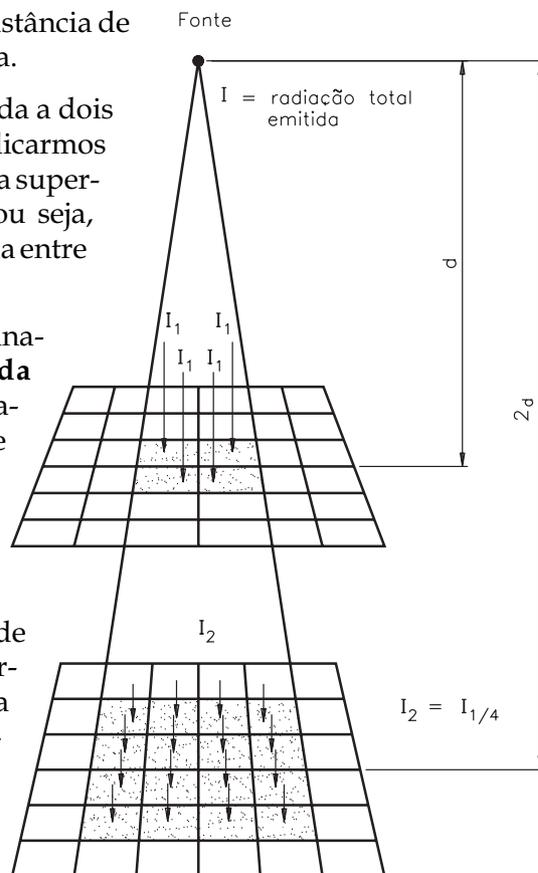
Lei do inverso do quadrado da distância

Imagine uma lâmpada acesa, à distância de um metro da superfície de uma mesa.

Se elevarmos esta mesma lâmpada a dois metros de altura, isto é, se multiplicarmos a altura por 2, o nível de iluminação na superfície da mesa será dividido por 4, ou seja, dividido por 2^2 (quadrado da distância entre a fonte de luz e a superfície).

Este fenômeno recebe a denominação de **lei do inverso do quadrado da distância** (no nosso caso, lei da atenuação da radiação). Esta lei também se aplica aos ensaios radiográficos, pois neste caso as radiações emitidas têm propriedades semelhantes às da luz visível.

A intensidade com que um feixe de radiação atinge uma superfície é inversamente proporcional ao quadrado da distância entre esta superfície e o ponto de emissão, ou seja, a radiação é atenuada em virtude do aumento da distância. Este é outro fator que limita a colocação da fonte distante da peça, para minimizar a **ampliação da imagem**.



Ionização é o processo que torna o ar condutor de eletricidade.

Fique sabendo ...

Uma das unidades de medida da intensidade de radiação é o Coulomb/kg (C/kg). 1 C/kg é a intensidade de radiação necessária para produzir uma **ionização** equivalente a uma unidade eletrostática de carga, conhecida como **Coulomb**, em um quilograma de ar, à temperatura de 20°C e à pressão de uma atmosfera.

Verificando o entendimento

Um tubo de raios X emite uma radiação que atinge a intensidade de $100 \mu\text{C}/\text{kg}$ (micro Coulomb/kg) à distância de 1 m da fonte. Determine a intensidade a 5 m da fonte.

Resposta:

E então, conseguiu resolver? Compare sua resolução com as explicações a seguir.

Você sabe que a uma distância d_1 corresponde uma intensidade I_1 e a uma distância d_2 corresponde uma intensidade I_2 .

A lei do inverso do quadrado da distância estabelece a seguinte relação matemática:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{(d_2)^2}{(d_1)^2}$$

No problema proposto: $d_1 = 1$ m; $I_1 = 100$ $\mu\text{C}/\text{kg}$; $d_2 = 5$ m e I_2 é o valor procurado.

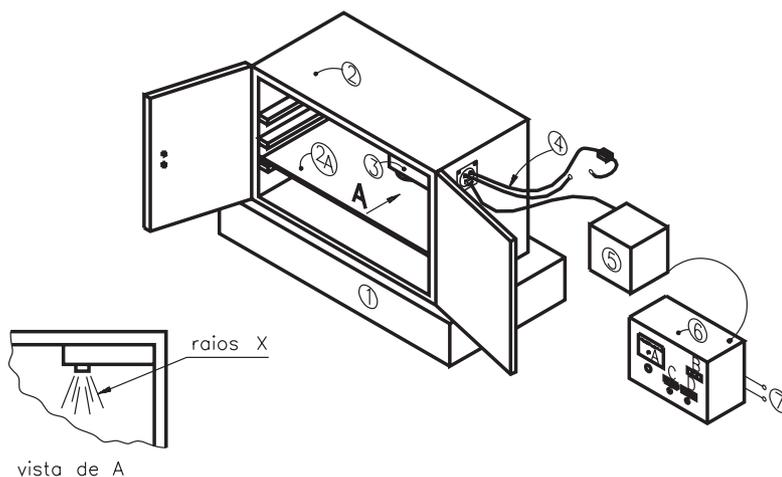
Substituindo as variáveis da fórmula pelos valores conhecidos, você obtém:

$$\frac{100}{I_2} = \frac{5^2}{1^2} \Rightarrow 5^2 I_2 = 100 \cdot 1^2 \Rightarrow 25 I_2 = 100 \Rightarrow I_2 = \frac{100}{25} \Rightarrow I_2 = 4 \mu\text{C}/\text{kg}$$

Logo, a intensidade da fonte, a 5 metros de distância, será igual a 4 microCoulomb/kg.

Equipamento para o ensaio de raios X

A ilustração a seguir mostra a configuração básica de um equipamento estacionário de raios X para peças de pequeno porte.

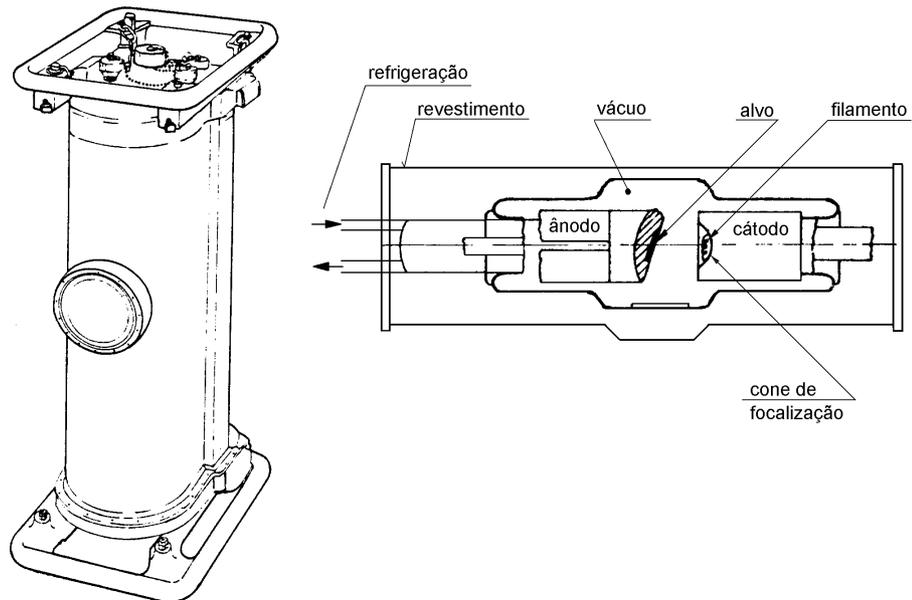


- ① Base do equipamento, geralmente feita de concreto.
- ② "Bunker" – Estrutura metálica em aço, com placas de chumbo para impedir o vazamento da radiação para o ambiente.
- ②A Prateleira regulável para apoio do conjunto a ser ensaiado.
- ③ Ampola – Tubo de raios X.
- ④ Sistema de circulação de água para refrigeração do tubo.
- ⑤ Transformador para alta tensão.
- ⑥ Sistema de controle do equipamento.
 - A – Mostrador e seletor de voltagem.
 - B – Lâmpadas sinalizadoras.
 - C – Mostrador e seletor do tempo de exposição.
 - D – Mostrador e seletor de amperagem.
- ⑦ Alimentação de energia da rede de energia elétrica.

esquema básico do equipamento para raios X

Na aula anterior, você viu que os raios X são produzidos no tubo de Coolidge, que é o coração do equipamento.

Veja agora os principais elementos do tubo de raios X.



aspecto externo do tubo

elementos principais do tubo de raios-X

Observe que o **cátodo** é constituído por um **filamento** e pelo **cone de focalização**.

O filamento é feito de tungstênio (metal com alto ponto de fusão), para resistir às altas temperaturas.

O cone de focalização é feito de uma liga de ferro e níquel (Fe-Ni). Ele envolve o filamento com a finalidade de concentrar a emissão do feixe eletrônico numa área restrita do ânodo.

Volte a observar o **ânodo**. O alvo no ânodo é feito de tungstênio, pois este material, além de resistir a temperaturas elevadas, apresenta alta densidade e, portanto, grande número de átomos para colisão.

O **vácuo** existente no interior do tubo tem a função de proteger os elementos contra a oxidação e também de proporcionar isolamento elétrico, para evitar a ocorrência de centelhas entre os eletrodos.

Devido às altas temperaturas envolvidas, há necessidade de um **sistema de refrigeração** para evitar danos aos componentes.

O elemento mais afetado é o ânodo, que recebe o impacto dos elétrons, gerando os raios X e grande quantidade de calor.

Um **fluido refrigerante**, que normalmente é água, circula no interior do ânodo para refrigeração.

O **revestimento**, geralmente feito de chumbo, tem a finalidade de reduzir a intensidade da radiação espalhada. Apresenta apenas uma abertura para a saída dos raios X, na direção desejada.

As principais variáveis que influenciam a quantidade de raios X emitidos são:

Intensidade da corrente: A emissão de elétrons é diretamente proporcional à temperatura do filamento que é aquecido pela corrente elétrica. Quanto maior for a corrente, maior será a temperatura do filamento e, portanto, maior a quantidade de elétrons emitidos. A intensidade da corrente é medida em miliampere (milésimo de ampère).

Diferença de potencial (DDP): A diferença de potencial ou **voltagem** é medida em kV (quilovolt). Quanto maior a DDP entre o ânodo e o cátodo, maior a aceleração dos elétrons, causando maior impacto no ânodo e gerando raios X com maior energia, ou seja, com maior poder de penetração e, conseqüentemente, pequeno comprimento de onda.

Determinação do tempo de exposição

A **exposição** ou **quantidade de radiação recebida** é diretamente proporcional à miliamperagem e à voltagem aplicada ao tubo de Coolidge.

Uma vez fixados esses dois fatores, o **tempo de exposição** é outro parâmetro que influi na sensibilização do filme. Quanto maior o tempo, maior a sensibilização. Portanto, é fundamental determinar o tempo de exposição.

Para determinar o tempo de exposição, utilizam-se as **curvas de exposição** fornecidas pelo fabricante do equipamento. Cada equipamento possui sua curva específica.

Para entender melhor esse assunto, você precisa conhecer um pouco mais sobre os filmes radiográficos.

Na aula anterior, vimos que as principais características dos filmes são: densidade radiográfica, contraste da imagem, velocidade do filme e granulometria. Se você não estiver lembrado, consulte novamente a Aula 23.

De acordo com essas características, os filmes radiográficos são classificados em quatro tipos:

TIPO DE FILME	VELOCIDADE	CONTRASTE	GRANULAÇÃO
1	baixa	muito alto	extra fina
2	média	alto	fina
3	alta	médio	grosseira
4	muito alta	muito alto	várias

A seleção do filme radiográfico para uma dada aplicação é um compromisso entre a qualidade requerida dessa radiografia e seu custo, incluindo-se aí o tempo de exposição. Para facilitar a escolha, os fabricantes fornecem as curvas características de cada tipo de filme.

A norma da **American Society for Testing and Materials** – ASTM E94 relaciona o tipo de filme com a espessura da peça e com a voltagem a ser utilizada no ensaio. O quadro a seguir mostra um extrato dessa norma, desenvolvido para o aço.

GUIA PARA SELEÇÃO DE FILMES DE ACORDO COM ASTM E94 - PARA AÇO					
ESPESSURA DO MATERIAL (mm)	VOLTAGEM APLICADA NO EQUIPAMENTO (kV)				
	50 a 80	80 a 120	120 a 150	150 a 250	250 a 400
0 a 6,3	3	3	3	1	
6,3 a 12,7	4	3	2	2	1
12,7 a 25,4		4	3	2	2
25,4 a 50,8				3	2
50,8 a 101,6				4	4
101,6 a 203,2					4

Telas intensificadoras de imagem (écrans)

Para dar maior nitidez às radiografias e diminuir o tempo de exposição, usam-se as **telas intensificadoras**, conhecidas por **écrans**.

Estas telas evitam que as radiações que ultrapassam o filme reflitam de volta para este, prejudicando a nitidez da radiografia, além de favorecer uma maior absorção de radiação pelo filme.

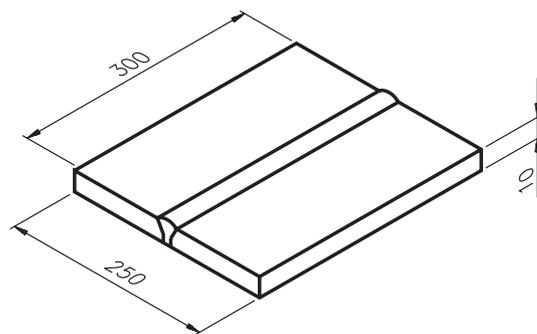
Alguns écrans utilizados são cartões recobertos com película fina de chumbo, da ordem de centésimo de milímetro.

Se os assuntos tratados até aqui ficaram suficientemente claros, você já tem condições de acompanhar a realização de um ensaio por raios X. Se ainda não se sentir seguro, estude novamente a aula anterior e os tópicos precedentes desta aula, até sentir que as dúvidas ficaram esclarecidas. Depois, que tal partir para a execução do ensaio?

Ensaio de solda por raios X

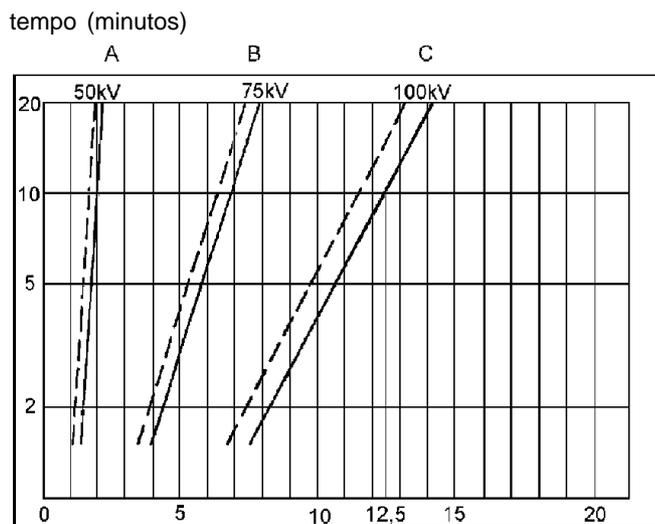
No início da aula anterior, você ficou sabendo que uma das utilizações da radiografia industrial é na inspeção de solda. Para conhecer o processo como um todo, veja como é feita esta inspeção.

Observe a peça a seguir, uma chapa de aço soldada.



Para ensaiar esta peça, será utilizado um equipamento com capacidade de até 100 kV e 15 mA.

Analise a curva de **tempo de exposição** fornecida para este equipamento.



exemplo de curvas de tempo de exposição

A espessura do material a ser ensaiado é conhecida (10 mm). No caso, vamos adicionar 2,5 mm a essa espessura, devido ao reforço do cordão de solda. O gráfico mostra que para esta espessura deve ser tomada como base a curva C (para 100 kV). Ligando ao eixo do tempo o ponto em que a linha da espessura (12,5 mm) cruza com a curva C, constatamos que o tempo de exposição deve ser de 10 minutos. Outras informações obtidas são:

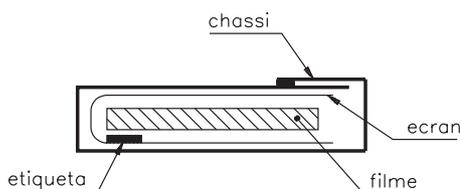
- filme de alta velocidade e médio contraste;
- intensidade de corrente no tubo de 15 mA;
- distância filme/foco (**dff**) de 700 mm;
- densidade radiográfica a ser obtida entre 2,0 e 2,2;
- espessura do écran de 0,02 mm – frente e verso.
- tempo de revelação - 5 minutos com banho à 20°C.

Dessa forma, para nossa chapa de aço com 12,5 mm de espessura total, obtemos, além dos parâmetros anteriores: voltagem de 100 kV e tempo de exposição de 10 minutos.

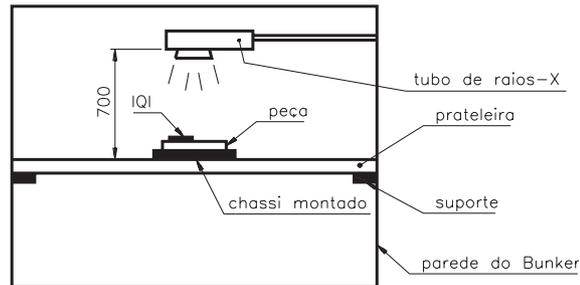
Preparação do ensaio

Antes de submeter a peça soldada à radiação, é necessário preparar o equipamento que será utilizado. Veja, a seguir, as principais etapas desta preparação.

1. Montar o **chassi-suporte** tipo envelope para blindar à luz o conjunto formado pela etiqueta de identificação da radiografia, o filme e o écran. Essa montagem é realizada em câmara escura.



- Montar o sistema no **bunker**, que é o local onde fica alojado o tubo de raio X e onde se coloca o conjunto formado pela peça e o chassi montado, que serão submetidos a radiação. O bunker pode ser feito de estrutura metálica revestida com camada de chumbo, como no nosso exemplo, ou por paredes de concreto, que geralmente são construções para peças maiores.



Nessa montagem colocamos ainda o IQI sobre a peça soldada para verificar a qualidade da radiografia.

- Fechar a porta do bunker, pois somente assim o equipamento pode ser acionado, devido ao sistema de segurança, evitando a exposição dos operadores e meio-ambiente à radiação.
- Regular o equipamento no painel de controle, ajustando o tempo (10 minutos), a voltagem (100 kV) e a amperagem (15 mA).

O ensaio

Agora que o equipamento está pronto para ser acionado, os próximos passos são:

- Acionar o sistema de segurança, (visual e/ou sonoro) para garantir que durante o ensaio, os níveis de radiação estejam dentro dos padrões de segurança exigidos pelas normas vigentes.
- Ligar a refrigeração do tubo, dar o **start**, isto é, ligar o equipamento e aguardar o tempo estipulado.
- Decorrido o tempo determinado, desligar a máquina e retirar o chassi do bunker.
- Processar o filme (revelação). A revelação, realizada em câmara escura, consiste em submeter o filme a um processamento químico, a fim de revelar e fixar a imagem obtida na chapa radiográfica.
- Verificação da qualidade da radiografia. A análise da radiografia é realizada num **negatoscópio** para melhor visualização.

Negatoscópio: dispositivo constituído por uma caixa com vidro fosco, tendo no interior lâmpadas fluorescentes.

Nesta etapa, deve-se analisar as seguintes características:

- Densidade radiográfica: se atende aos requisitos especificados em norma técnica. A densidade é medida por densitômetros.
- Nitidez da imagem do IQI: a imagem do penetrômetro na radiografia deve estar visível, obedecendo aos requisitos especificados em norma técnica.
- Existência de arranhões, manchas etc., que invalidam o resultado do exame radiográfico.

Se os itens anteriores forem atendidos, poderemos passar à análise da radiografia, com o objetivo de identificar possíveis descontinuidades.

Para isso, deve-se compará-la com padrões radiográficos estabelecidos em norma técnica.

A última etapa é emitir o **laudo** do ensaio, isto é, o documento que contém o parecer técnico sobre as condições da solda. A radiografia é então arquivada, para possíveis consultas futuras.

Peça ensaiada, resultado pronto. Uma boa medida agora é resolver os exercícios a seguir, para verificar se os assuntos apresentados foram assimilados.

Marque com um X a resposta correta:

Exercício 1

Para reduzir o problema de ampliação da imagem da peça radiografada nos filmes radiográficos, devemos:

- a) usar fontes de radiação de tamanho pequeno;
- b) colocar o filme afastado da peça a ser radiografada;
- c) colocar a peça a ser radiografada encostada no filme;
- d) colocar a fonte de radiação encostada na peça.

Exercício 2

Para evitar a distorção da imagem da peça radiografada no filme radiográfico, a fonte de radiação:

- a) deve ser de tamanho pequeno;
- b) deve estar perpendicular à base da peça e ao filme;
- c) deve emitir pouca intensidade de radiação;
- d) deve estar inclinada em relação à peça e ao filme.

Exercício 3

Uma fonte de radiação, distante 50 cm de uma peça, emite um feixe de raios X que atinge a peça com intensidade de $30 \mu\text{C}/\text{kg}$. Aplicando a **lei do inverso do quadrado da distância**, indique que intensidade de radiação atingirá a peça se a fonte for colocada a 70 cm de distância.

- a) $15,31 \mu\text{C}/\text{kg}$;
- b) $1,43 \mu\text{C}/\text{kg}$;
- c) $5,88 \mu\text{C}/\text{kg}$;
- d) $29,4 \mu\text{C}/\text{kg}$.

Exercícios

Exercício 4

Escreva **V** se a frase for verdadeira ou **F** se for falsa:

- a) () as telas intensificadoras aumentam o tempo de exposição;
- b) () as regiões mais claras da radiografia possuem maior densidade;
- c) () contraste radiográfico é a diferença de densidade entre regiões de uma radiografia;
- d) () a quantidade de raios X emitida por uma fonte é afetada pela miliamperagem selecionada no equipamento;
- e) () o comprimento de onda dos raios X é influenciado pela DDP entre ânodo e cátodo no tubo de Coolidge.

Exercício 5

Analise novamente a **curva de tempo de exposição** apresentada no texto e escreva os parâmetros para análise de uma solda em chapa de aço com 5 mm de espessura total, no equipamento com capacidade para 100 kV e 15 mA.

- a) tipo de filme:
- b) corrente no tubo:
- c) voltagem
- d) $dff =$
- e) tempo de exposição:

