



Guia para Serviços Seguros de Radiografia Industrial

Prática Recomendada PRe-006

Comissão de Radioproteção e Segurança Industrial - Abendi

19.07.2023

Sumário

1	INTRODUÇÃO.....	2
2	OBJETIVO.....	2
3	NORMAS DE REFERÊNCIA	2
4	TERMOS, DEFINIÇÕES E ABREVIATURAS.....	2
4	RESPONSABILIDADES.....	2
4.1	Responsabilidades da contratante	2
4.2	Responsabilidades da contratada	3
5	DOCUMENTAÇÃO DA CONTRATADA.....	3
6	EQUIPAMENTOS DA CONTRATADA	4
6.1	Equipamentos de rotina	4
6.1.1	Radiografia industrial por radiação gama.....	4
6.1.2	Radiografia industrial por radiação X.....	4
6.1.3	Equipamento crawler.....	4
6.2	Equipamentos de proteção radiológica e sinalização.....	4
6.2.1	Medidor portátil de radiação de área.....	4
6.3	Equipamentos para emergências radiológicas no serviço.....	4
6.4	Equipamentos para transporte rodoviário	5
6.4.1	Proteção radiológica e sinalização.....	5
6.4.2	Situação de emergência	5
7	CONDIÇÕES DE SEGURANÇA RADIOLÓGICA	6
7.1	Condições gerais	6
7.2	Segurança patrimonial	6
7.3	Segurança radiológica.....	6
7.4	Segurança física	6
8	CÁLCULOS BÁSICOS DE RADIOPROTEÇÃO.....	7
8.1	Condições gerais	7
8.2	Cálculo de balizamento de área restrita	7
8.3	Fatores de uso, ocupação e redução	10
8.4	Radiografia industrial com radiação gama	11
8.5	Radiografia industrial com raios X	12
8.6	Situação de emergência	13
9	BIBLIOGRAFIA.....	13

1 INTRODUÇÃO

A técnica de radiografia industrial tem sido utilizada nas últimas décadas com enorme sucesso nas diversas etapas dos processos produtivos, garantindo a segurança operacional de instalações industriais. Essa segurança operacional pode ser traduzida em como se pode evitar acidentes operacionais que colocam vidas humanas e o meio ambiente em risco e inutilizam ativos produtivos, que fornecem energia e produtos essenciais ao bem-estar da sociedade.

Este documento tem a intenção de auxiliar os usuários dos serviços, sejam os responsáveis pela contratação, os beneficiários ou os profissionais de segurança do trabalho, a terem uma referência padronizada de consulta unificada e elaborada com base na legislação vigente para se balizarem na contratação e fiscalização dos serviços de radiografia industrial.

2 OBJETIVO

Este documento técnico fornece recomendações para a execução segura de serviços de radiografia industrial, complementares à ABNT NBR 15909 e às resoluções da CNEN.

3 NORMAS DE REFERÊNCIA

Os documentos relacionados a seguir são indispensáveis à aplicação deste documento.

ABNT NBR 7503, Transporte terrestre de produtos perigosos — Ficha de emergência — Requisitos mínimos

ABNT NBR 15071, Dispositivos auxiliares — Cones para sinalização viária

ABNT NBR 15909:2022, Serviços de radiografia industrial — Requisitos e diretrizes para execução segura

Glossário CNEN do Setor Nuclear e Radiológico Brasileiro, 2020

<http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/glossario.pdf>

4 TERMOS, DEFINIÇÕES E ABREVIATURAS

Para os efeitos deste documento, aplicam-se os termos, definições e abreviaturas da ABNT NBR 15909:2022 e do Glossário CNEN:2020.

4 RESPONSABILIDADES

4.1 Responsabilidades da contratante

Para serviços contínuos, recomenda-se que a fonte radioativa seja armazenada nas instalações onde os

serviços são executados. Para o armazenamento de forma segura de fontes radioativas, deve-se seguir as orientações da contratada autorizada pela CNEN.

A contratante deve permitir o acesso dos representantes legais da CNEN às suas instalações, para fins de verificação do cumprimento dos requisitos de radioproteção, quando do emprego de fontes de radiação pela empresa contratada.

4.2 Responsabilidades da contratada

A contratada deve executar os serviços de radiografia industrial de forma segura, atendendo às leis e às normas vigentes de proteção física e proteção radiológica, segurança e saúde ocupacionais e meio ambiente, bem como as especificações e procedimentos internos da contratante, bem como orientar a contratante para o armazenamento provisório de fontes radioativas.

5 DOCUMENTAÇÃO DA CONTRATADA

A contratada deve apresentar para aprovação da contratante os seguintes documentos:

- a) autorização para operação vigente emitida pela CNEN;
 - b) autorização específica emitida pela CNEN para trabalhos de operação tipo IV (área urbana ou vias públicas), quando pertinente. Para esclarecer a pertinência dessa Autorização Específica, recomenda-se um contato com o supervisor de proteção radiológica (SPR) da contratada;
 - c) para operações do tipo III, deve ser apresentado o procedimento específico de proteção radiológica, sem a necessidade de aprovação pela CNEN;
 - d) procedimento específico de proteção radiológica e física;
 - e) certificados de calibração dos instrumentos de medir radiação, emitidos por laboratório autorizado pela CNEN e dentro do prazo de vigência;
 - f) atestado de saúde ocupacional (ASO) dos operadores de radiografia que contemple radiação ionizante como risco físico;
 - g) documento da fonte radioativa com certificado de inspeção emitido pelo IPEN/SP.
 - h) comprovação da certificação do SPR, emitido pela CNEN;
 - i) comprovação de registro de todos os envolvidos no processo de radiografia conforme requerido pela CNEN, pelo CRTR - Conselho Regional de Técnico de Radiologia e Conselhos profissionais (de classe) pertinentes;
 - j) Cadastro Técnico Federal no Ibama.
-

6 EQUIPAMENTOS DA CONTRATADA

6.1 Equipamentos de rotina

6.1.1 Radiografia industrial por radiação gama

- irradiador
- cabo de comando
- tubo-guia
- colimador
- acessórios

6.1.2 Radiografia industrial por radiação X

- aparelho gerador de raios X
- acessórios

6.1.3 Equipamento *crawler*

- carrinho *crawler* e seus acessórios
- irradiador ou aparelho gerador de raios X e seus acessórios
- comando para acionamento do carrinho *crawler* com fonte de cézio 137

6.2 Equipamentos de proteção radiológica e sinalização

6.2.1 Medidor portátil de radiação de área

- medidor individual de leitura indireta - dosímetro (um para cada componente da equipe de trabalho)
- monitor individual com alarme sonoro - bip (um para cada componente da equipe de trabalho)
- cordas ou faixas para isolamento de área
- placas de sinalização contendo o símbolo internacional da presença de radiação ionizante
- sinais luminosos (quando aplicáveis)

6.3 Equipamentos para emergências radiológicas no serviço

6.3.1 Para os casos especificados em 6.1.1 e 6.1.3

- contêiner de resgate para receber o porta-fonte com a fonte selada, com entrada em forma afunilada ou com funil
-

- pinça com no mínimo 1,0 m de comprimento
- placas ou calhas de chumbo (quantas forem necessárias para obter, no mínimo, 20 mm de espessura total)
- caixa com ferramentas, contendo no mínimo arco de serra, alicate universal, lanterna e chave de fenda ou Phillips, chave de boca ou combinada na bitola para desmontar caixa da catraca do cabo comando
- No mínimo um monitor de leitura direta com alarme sonoro e visual, com integrador de dose ou caneta dosimétrica
- cordas para resgate do carrinho de dentro da tubulação, caso do *crawler*

6.3.2 Para o caso especificado em 6.1.2, não são necessários equipamentos de emergência radiológica, pois basta desligar a energia elétrica para interromper a geração de raios X.

6.4 Equipamentos para transporte rodoviário

6.4.1 Proteção radiológica e sinalização

- envelope para transporte de material radioativo contendo:
 - 1) autorização para saída do veículo com fonte radioativa
 - 2) declaração do expedidor de material radioativo
 - 3) ficha de monitoração da carga e do veículo
 - 4) ficha de emergência
 - 5) certificado da fonte radioativa com tabela de decaimento
- rótulos de risco radioativo (3 nas laterais e traseira do veículo)
- painel de segurança (nº ONU e nº do risco, 4 sendo um em cada superfície externa do veículo)

6.4.2 Situação de emergência

- traje mínimo para efetuar a avaliação da emergência e ações iniciais constantes na Ficha de Emergência e/ou envelope de transporte de acordo com a ABNT NBR 7503: calça comprida, camisa ou camiseta com mangas curtas ou compridas e calçados fechados;
 - EPI básico: capacete e luvas de material adequado aos produtos transportados definidos pelo fabricante do produto;
 - óculos de segurança para produtos químicos;
 - dois (2) calços com dimensões mínimas de 150 mm x 200 mm x 150 mm em chanfro;
 - dispositivo complementar: extintor de incêndio para carga;
 - jogo de ferramentas: alicate universal, chave de fenda e *Phillips*, chave de boca (fixa) apropriada a
-

desconexão do cabo da bateria;

— dispositivo para sinalização/isolamento da área:

- 1) fita zebra (largura mínima de 70 mm) ou cordas, com comprimento mínimo de 50 metros
- 2) quatro (4) dispositivos para suporte da fita/cordas sem tocar o chão (cones, tripés ou cavaletes)
- 3) material para advertência composto de quatro (4) placas autoportantes de dimensões mínimas de 340 mm x 470 mm, com inscrição “PERIGO – AFASTE-SE”
- 4) quatro (4) cones para sinalização da via, conforme ABNT NBR 15071 (laranja com listas brancas fosforescentes)

— uma (1) lanterna comum ou recarregável

7 CONDIÇÕES DE SEGURANÇA RADIOLÓGICA

7.1 Condições gerais

As atividades pertinentes à execução dos serviços de radiografia industrial, principalmente aqueles envolvendo fontes radioativas seladas, devem proporcionar a devida segurança física, radiológica e patrimonial dos equipamentos, equipes executantes e público eventualmente presente nas proximidades.

Tais condições devem atender ao especificado em 7.2 a 7.4.

7.2 Segurança patrimonial

As empresas contratantes dos serviços radiográficos devem garantir a segurança patrimonial das equipes executantes dos serviços, bem como de seus equipamentos geradores de radiação ionizante e fontes de radiação utilizados.

A garantia deve ocorrer durante a execução das atividades e armazenamento temporário dos equipamentos em locais e instalações sobre seu controle e responsabilidade.

7.3 Segurança radiológica

Cabe as empresas prestadoras do serviço de radiografia industrial à implementação e controle, sob a aplicação dos requisitos normativos estabelecidos pela CNEN, pertinentes e necessários para garantir a devida segurança e proteção radiológica dos indivíduos envolvidos direta e indiretamente nas atividades, abrangendo desde a posse e utilização dos equipamentos bem como, seu adequado armazenamento e transporte aos locais de operação.

7.4 Segurança física

Cabe as empresas prestadoras do serviço de radiografia industrial, em conjunto com as empresas contratantes dos serviços radiográficos a implementação e aplicação de um programa de proteção física sobre os equipamentos geradores de radiação ionizante e fontes de radiação, utilizados em total conformidade com todos os requisitos normativos pertinentes, estabelecidos pela CNEN, visando promover as medidas preventivas destinadas a evitar:

- a) atos de sabotagem a materiais, equipamentos, fontes de radiação ionizante e instalações de armazenamento temporário;
- b) remoção não autorizada de equipamentos e fontes de radiação dos locais de trabalho e armazenamento;
- c) acesso indevido de pessoas não autorizadas às áreas supervisionadas e controladas especificadas nos planos específicos de proteção radiológica destinadas as atividades contratadas;
- d) ocorrências de incêndios, inundações, explosões e outros eventos provocados pelo homem bem como ações e eventos produzidos por fenômenos naturais

8 CÁLCULOS BÁSICOS DE RADIOPROTEÇÃO

8.1 Condições gerais

De acordo com a programação diária de radiografia, a contratada deve elaborar um cálculo específico diário de radiografia para definir o balizamento da área.

Indivíduos ocupacionalmente expostos de outra empresa contratada no mesmo local devem ser considerados como Indivíduo do Público.

Antes da realização dos serviços, a equipe em conjunto com SMS do contratante, deve certificar-se de que as áreas estejam evacuadas, sem nenhum Indivíduo do Público no local.

Para elaboração do cálculo do raio de isolamento da área, deverá ser considerado o seguinte:

- a) a situação real em função da programação diária de radiografia fornecida pelo contratante, deverão ser apresentados diariamente à contratante;
- b) a localização dos serviços, com o objetivo de salientar os pontos considerados críticos de cada local, como ruas, salas de controles, parque de bombas etc.;
- c) tempo hábil para avaliação da fiscalização da contratante, o serviço de radiografia deve ser solicitado por escrito, através de comunicação formal, informando o número da programação, o número de juntas, diâmetro, espessura, localização, horário e data do serviço e identificação do equipamento a ser radiografado.

Qualquer situação diferente da prevista neste Guia deve ser comunicada imediatamente ao SPR.

8.2 Cálculo de balizamento de área restrita

Os balizamentos de área restrita são calculados pelo operador de radiografia II designado pela contratada, profissional com registro da sua qualificação na CNEN e devidamente habilitado para efetuar esses cálculos (cálculo específico diário de radiografia).

Esses cálculos são efetuados com as equações especificadas no Procedimento Específico de Proteção Radiológica elaborado pelo SPR, para cada serviço.

A distância de balizamento é calculada com base nas condições de serviço a serem executadas e no limite

derivado de dose permitido para Indivíduos do Público (IP) diariamente, conforme Tabela 1.

Tabela 1 — Limites derivados permissíveis de dose para indivíduos do público

Limites de dose	Taxa de dose mREM	Taxa de dose mSv
Anual	100	1
Mensal	8	0,08
Semanal	2	0,02
Diário	0,4	0,004

A equação básica para cálculo de balizamento de radiografia com fonte gama é a seguinte:

$$d = \sqrt{\frac{\Gamma \cdot A \cdot t}{FR \cdot HIP} \cdot T \cdot U}$$

onde:

d distância mínima para o balizamento;

Γ constante específica da fonte de Ir-192 = $\Gamma(^{192}\text{Ir}) = 0,486 \text{ R}\cdot\text{m}^2/\text{Ci}\cdot\text{h}$ (0,13 mSv/h.GBq a 1 m);

A atividade da fonte;

t tempo de fonte exposta;

FR fator de redução;

HIP dose derivada para indivíduo do público (ver Tabela 1);

T fator de ocupação;

U fator de uso.

As unidades devem ser conforme a constante específica da fonte utilizada.

A equação básica para o cálculo de balizamento de radiografia com aparelho de raios X é a seguinte:

$$d = \sqrt{\frac{\Gamma \cdot K \cdot t}{FR \cdot HIP} \cdot T \cdot U}$$

$$FR = 2^{x/m} = e^{\mu \cdot x}$$

onde:

d distância em metros;

- Γ corrente do aparelho em mA;
- K taxa de exposição em mR/h a um metro (conforme instruções do fabricante);
- t tempo total de exposição por dia em horas;
- FR fator de redução;
- HIP dose derivada diária para indivíduos do público, igual a 0,004 mSv (0,4 mRem);
- T fator de ocupação;
- U fator de uso;
- x espessura da chapa, tubo, de Pb, como blindagem, em milímetros (mm);
- m camada de semi transmissão em milímetros (ver Tabelas 2 e 3);
- μ coeficiente de atenuação linear (ver Tabela 4);
- e número de *Euler* igual a 2,7182

Tabela 2 — Camada de semi transmissão

Tensão kV	Blindagem ou material para aço mm	Blindagem ou material para alumínio mm	Blindagem ou material para chumbo mm
100	0,40	16,30	0,27
120	0,45	18,00	0,28
140	0,53	20,00	0,30
160	0,65	21,00	0,32
180	0,85	22,00	0,46
200	1,00	23,50	0,52
250	1,60	26,60	0,88
300	2,60	28,30	1,47

Tabela 3 — Camada de semi transmissão em função da tensão

Tensão kV	Aço mm	Alumínio mm	Chumbo mm
100	0,40	16,30	0,27
120	0,45	18	0,28
140	0,53	20	0,30

Tabela 1 (continuação)

Tensão kV	Aço mm	Alumínio mm	Chumbo mm
160	0,65	21	0,32
180	0,85	22	0,46
200	1,00	23,5	0,52
250	1,60	26,6	0,88
300	2,60	28,3	1,47

Tabela 4 — Valores do coeficiente de atenuação linear

Isótopo	Chumbo μ (1/cm)	Aço / Ferro μ (1/cm)	Alumínio μ (1/cm)	Água μ (1/cm)	Concreto μ (1/cm)
Ir-192	1,64	0,65	0,227	0,133	0,204
Se-75	4,04	0,833	-	-	0,25
Co-60	0,62	0,410	0,148	0,088	0,133

8.3 Fatores de uso, ocupação e redução

8.2.1 Introdução

Os fatores de uso e de ocupação são utilizados quando as circunstâncias de uso assim permitirem. O fator de uso pode ser utilizado em função da frequência semanal do serviço de radiografia e o fator de ocupação em função da frequência de indivíduos do público que estão circunvizinhos ao local do serviço.

O fator de redução é utilizado toda vez que houver barreiras físicas que se encontrem na área a ser controlada.

8.2.2 Fator de uso – U

Para efeitos de cálculo, utiliza-se como fator de uso o valor de 1.

8.2.3 Fator de ocupação – T

Fator de ocupação integral: igual a 1 para locais com público permanente, sala de controle e comando, guarita de guarda/vigilância, residências e comércio ou outros locais onde a presença de público se faz permanente durante todo o período das radiografias/gamagrafias consideradas nos cálculos.

Fator de ocupação parcial: igual a $\frac{1}{4}$ (0,25) para locais de armazenamento de peças e componentes e salas de utilidades não utilizadas rotineiramente durante o período das radiografias/gamagrafias, elevadores utilizados pelos operadores, estacionamento não controlado.

Fator de ocupação eventual: igual a $\frac{1}{16}$ (0,0625) para locais onde a presença de público praticamente não existe durante a realização das radiografias/gamagrafias, banheiros, escadarias e andaimes, ruas internas e externas usadas somente para trânsito de veículos e por pedestres por curto período de tempo

e com baixa circulação.

NOTA 1 Esses são os valores recomendados pela NCRP, caso não possam ser calculados os valores reais para o local específico.

NOTA 2 O fator de ocupação só pode ser utilizado se descrito no procedimento específico de proteção radiológica elaborado por um SPR.

8.2.4 Fator de redução

Os fatores de redução devem ser empregados quando a barreira física (colimadores, placas de chumbo, parede de concreto, de tubos de aço) estejam atenuando todo o feixe primário de radiação.

O fator de redução total é o produto de todos os fatores de redução existentes que façam uma barreira física ao feixe primário.

O fator de redução é calculado em função do material que está atenuando a radiação e da espessura desse material para a fonte de radiação específica. O cálculo é efetuado conforme abaixo:

$$FR = 2^n = e^{\mu \cdot x}$$

$$n = \frac{x}{x_{1/2}}$$

onde:

FR fator de redução;

n número de camadas semi redutoras (ver Tabela 5);

μ coeficiente de atenuação linear (ver Tabela 4);

x espessura do material;

$x_{1/2}$ camada semi redutora (CSR) do material.

Tabela 5 — Valores de camada semi redutora

Isótopo	Chumbo mm	Aço / Ferro mm	Alumínio mm	Água mm	Concreto mm
Ir-192	4,22	10,66	30,50	52,11	33,97
Se-75	1,71	8,32	17,9	42,6	27,72
Co-60	1,11	16,90	46,83	78,76	52,11

8.4 Radiografia industrial com radiação gama

Para o cálculo de balizamento diário, para a execução dos ensaios radiográficos em tubulação, utilizar a seguinte fórmula:

$$d = \sqrt{\frac{\left[\left(\frac{A \cdot \Gamma \cdot t_1}{FR_{col}} \right) + \left(\frac{A \cdot \Gamma \cdot t_2}{FR_{peça} \cdot FR_{bl}} \right) \right]}{HIP}}$$

onde:

FR fator de redução;

t_1 tempo de exposição com o feixe colimado (ver Tabela 6);

t_2 tempo de exposição sem o feixe colimado e com blindagem adicional;

FR_{bl} fator de redução da blindagem.

Tabela 6 — Fatores de exposição gama

Isótopo	Fator de exposição (sistema internacional) mSv.m ² /h.GBq	Fator de exposição (equivalente a unidade antiga) mR. m ² / h.Ci
Ir-192	0,13	486
Se-75	0,055	203
Co-60	0,357	1 320

Para o cálculo do fator de redução da peça ou blindagens adicionais para a execução dos ensaios radiográficos, utilizar a seguinte fórmula especificada em 8.2.4.

8.5 Radiografia industrial com raios X

Para efeito de cálculos, deve-se considerar a seguinte fórmula:

$$d = \sqrt{\frac{I \cdot K \cdot t \cdot U \cdot T}{HIP \cdot FR}}$$

onde:

d distância em metros;

I corrente do aparelho em mA;

K taxa de exposição em mR/h ou mSv/h a um metro (ver Tabela 6);

NOTA A taxa de exposição K pode ser consultada no manual do fabricante.

t tempo total de exposição;

U fator de uso (fração do tempo em que o feixe útil é dirigido para o ponto mais crítico podendo variar de 1 até 1/16);

T fator de ocupação (fração do tempo em que uma pessoa fica na área externa podendo variar de 1 até 1/8);

HIP dose diária para indivíduos do público, igual a 0,004 mSv (0,4 mRem);

FR fator de redução.

Tabela 7 — Taxa de exposição em função da tensão

TENSÃO kV	EXPOSIÇÃO em mR/min a 1 m por mA
100	400
120	500
140	750
160	1 075
180	1 475
200	1 925
250	2 750
300	3 375

8.6 Situação de emergência

Em situações de emergências, deve-se isolar o local de radiografia em conformidade com as instruções indicadas no procedimento específico de proteção radiológica da contratada, elaborado pelo SPR.

9 BIBLIOGRAFIA

- [1] Guia prático em segurança radiológica para contratação de serviços de radiografia industrial
http://www.abende.org.br/down2/quia_contrserv_radio.pdf
- [2] ABNT NBR 12273, Situação de emergência em radiografia industrial em geral
- [3] CNEN NN 2:06 – Proteção Física de Fontes Radioativas e Instalações Radiativas Associadas
- [4] CNEN NN 3:01 – Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica
- [5] CNEN NE 5:01 – Transporte de Materiais Radioativos
- [6] CNEN NN 5:04 – Rastreamento de Veículos de Transporte de Materiais Radioativos
- [7] CNEN NN 6.02 – Licenciamento de Instalações Radiativas

- [8] CNEN NN-6.04 – Funcionamento de serviços de radiografia industrial
 - [9] CNEN NN 7:01 – Certificação da Qualificação de Supervisores de Proteção Radiológica
 - [10] CNEN NN 7:02 – Registro de Operadores de Radiografia Industrial
 - [11] Decreto nº 96.044/88 e Portaria nº 204/97 MT – Regulamento e Instruções Complementares para Transporte Terrestre de Produtos Perigosos;
 - [12] NR-07 – Programa de Controle Médico e Saúde Ocupacional - PCMSO
 - [13] NR-09 – Programação de Prevenção de Riscos Ambientais
 - [14] NR-15 – Operações Insalubres
 - [15] NR-16 - Atividades e Operações Perigosas
 - [16] NR-18 - Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção
 - [17] NR-29 - Norma Regulamentadora de Segurança e Saúde no Trabalho Portuário
 - [18] NR-33 - Segurança e Saúde nos Trabalhos em Espaços Confinados
 - [19] NR 34 - Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção, Reparação e Desmonte Naval
 - [20] NR 35 - Trabalho em Altura
 - [21] NR-37 Segurança e Saúde em Plataformas de Petróleo
 - [22] Termo de Referência CNEN - Ibama
-