

AMAURI CÉSAR DE OLIVEIRA
LEONARDO ROCHA
SANDRA REGINA DE MACEDO GOMES

ASPECTOS TÉCNICOS PARA A EXECUÇÃO DE GAMAGRAFIA
EM MONTAGENS INDUSTRIAIS: ESTUDO DE CASO DA
PRÁTICA DA RADIOPROTEÇÃO NA INDÚSTRIA DE PETRÓLEO
NO ESTADO DE SÃO PAULO.

Monografia apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para obtenção
do título de Difusão Tecnológica em Higiene
Ocupacional.

EPMI
ESP/HO-2006
OL4a.

São Paulo
2006

AMAURI CÉSAR DE OLIVEIRA
LEONARDO ROCHA
SANDRA REGINA DE MACEDO GOMES

ASPECTOS TÉCNICOS PARA A EXECUÇÃO DE GAMAGRAFIA
EM MONTAGENS INDUSTRIAIS: ESTUDO DE CASO DA
PRÁTICA DA RADIOPROTEÇÃO NA INDÚSTRIA DE PETRÓLEO
NO ESTADO DE SÃO PAULO.

Monografia apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para obtenção
do título de Difusão Tecnológica em Higiene
Ocupacional.

Área de Concentração: Escola Politécnica.
Departamento de Engenharia de Minas e
Petróleo.

São Paulo
2006

DEDICATÓRIA

As nossas famílias que sustentam e incentivam
nossa busca pelo aperfeiçoamento técnico
profissional.

RESUMO

O presente trabalho descreve aspectos técnicos de radioproteção, aplicados às atividades da indústria do petróleo, na realização de ensaios não destrutivos, utilizando radiação ionizante, denominado gamagrafia industrial, durante as manutenções e as construções de unidades operacionais.

A abordagem para o desenvolvimento deste trabalho teve por base a prática realizada na indústria de petróleo, retratando os resultados das experiências de campo, contemplando as dificuldades e características no uso de mais de uma fonte radioativa, simultaneamente, em áreas constituídas por indivíduos de público sujeitos à exposição ao agente físico, radiação ionizante, especificamente para este estudo de caso, a radiação gama.

O desempenho seguro da radiografia industrial depende do cumprimento de responsabilidades por todas as equipes envolvidas, entre as quais, manutenção, operação, profissionais de SMS, as empresas prestadoras de serviços, seus profissionais, equipamentos e técnicas utilizadas.

A cultura de prevenção é o fator essencial a ser por nós fortalecida, o que nos motiva a disseminar práticas de referência e homogeneizar conceitos e experiências, reforçando atitudes prevencionistas, sem, no entanto inviabilizar as atividades operacionais e de manutenção.

A parte inicial deste trabalho demonstra o perfil de uma indústria de petróleo e descreve as principais características técnicas para a aplicação da prática de radiografia industrial, gamagrafia, em uma unidade de processo industrial.

A seguir são apresentados os estudos e as bases de cálculos para a proteção dos indivíduos de público, além de uma situação específica para a proteção de indivíduo ocupacionalmente exposto, como forma de demonstrar as medidas necessárias para a operacionalização de diversas frentes de trabalho, priorizando a sua segurança.

ABSTRACT

This report describes the technical aspects about radioprotection applied to the crude unit activities while perform a NDT testing using radiation, also called gamma ray, during the maintenance and assembly of operational unities.

The assumptions used to develop this work are based on the good practices on the crude oil industry, reporting the results obtained in the field experiences, including the difficulties and the characteristics caused by the usage of more than one radiographic source at the same time, in places where there are people in general which could be exposed to the radiation, in this specific case, gamma ray.

The safety performance of the industry radiography is closely connected to the roles and responsibilities performed by the team: maintenance, production, security and environment technicians and the contractors, their professionals, equipments and the technical and procedures used to do so.

The prevention culture that is indeed the essential factor was emphasized by us and give us motivation to share reference practices to standardize the concepts and experiences, emphasizing the preventive actions, keeping in mind not interfering with the maintenance and operational activities.

The initial part of this report shows the crude oil profile and describes the main technical characteristics of applying the radiographic testing in one of its process unit.

On the sequence, studies and calculus to protect the people in general are shown and a specific situation to protect a person that is occupationally exposure as an example to demonstrate the necessary measures that has to be followed at all the works, prioritizing the safety.

Finally, some recommendations are given based on health and safety worker concept to minimize the risk of accidents and occupational diseases by integrate actions done

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

1 – INTRODUÇÃO.....	1
1.1 – Objetivo.....	1
1.2 – Justificativa.....	1
2 – CONTROLE DE DOSES DE TRABALHADORES E INDIVÍDUOS DE PÚBLICO.....	3
3 – CORRELAÇÃO DAS UNIDADES DE EXPOSIÇÃO E DOSE EQUIVALENTE, CONSIDERADAS NO ESTUDO	4
4 – ASPECTOS A SEREM CONSIDERADOS PARA A PROGRAMAÇÃO DE RADIOGRAFIAS EM MANUTENÇÃO E MONTAGEM INDUSTRIAL.....	6
5 – TÉCNICAS DE EXPOSIÇÃO RADIOGRÁFICA.....	8
5.1 – Técnica PSVS (Parede Simples Vista Simples).....	8
5.1.1 – Posicionamento filme a filme vista simples.....	8
5.1.2 – Posicionamento para exposição vista panorâmica.....	10
5.2 – Técnica PDVS (Parede Dupla Vista Simples).....	12
5.3 – Técnica PDVD (Parede Dupla Vista Dupla).....	13
6 – DESCRIÇÃO DAS APLICAÇÕES PRÁTICAS.....	15
6.1 – Critérios de radioproteção utilizando diversas técnicas numa programação.....	15
6.1.1 – Exemplo de programação.....	16
6.1.2 – Descrição de exemplo considerando a utilização de duas fontes radioativas (duas equipes/frentes de trabalho).....	22
6.1.3 – Deslocamento da fonte através do tubo guia	30
6.1.4 – Comparação de duas situações de radiografia industrial utilizando técnicas diferenciadas, em períodos (épocas) diferentes, em equipamentos semelhantes.....	32
7 – INTERPRETAÇÃO DE LEITURA DE DOSES NOS LEVANTAMENTOS RADIOMÉTRICOS.....	39

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Técnica PSVS – Vertical.....	9
Figura 2 –	Técnica PSVS – Horizontal.....	10
Figura 3 –	Técnica Panorâmica.....	11
Figura 4 –	Preparação para radiografia panorâmica.	11
Figura 5 –	Técnica PDVS.....	12
Figura 6 –	Técnica PDVD – ELIPSE.....	14
Figura 7 –	Croqui de duas frentes de trabalho na mesma área (Condição A).....	23
Figura 8 –	Raio de Isolamento x Dose Total (Condição A).....	26
Figura 9 –	Croqui de duas frentes de trabalho na mesma área (Condição B).....	28
Figura 10 –	Raio de isolamento x Dose Total (Condição B).....	29
Figura 11 –	Croqui da área com indicação da unidade mais próxima....	33
Figura 12 –	Croqui da área com indicação da distância de uma nova unidade.....	35
Figura 13 –	Croqui de situação do raio de isolamento praticado e barreiras naturais que interferem no levantamento radiométrico.....	40
Figura 14 –	Modelo de planilha com os dados de uma programação de radiografia.....	46
Figura 15 –	Representação gráfica das duas situações “b” e “c”.....	49

LISTA DE TABELAS

Tabela I –	Limites de Dose Anual da norma CNEN-NN-3.01 – Limites de doses para IOE e Indivíduos do Público.....	3
Tabela II –	Dados técnicos de exemplo de programação de radiografia.....	16
Tabela III –	Demonstrativo das doses por situação.....	21
Tabela IV –	Comparação dos raios de isolamento entre o critério tradicional e o que considera o deslocamento da fonte no tubo guia.....	32

LISTA DE SÍMBOLOS

- $\varnothing$ – Diâmetro
- Γ – Constante da taxa de exposição, específica da radiação gama (para o Irídio-192 é $\cong 500 \text{ mR.m}^2/\text{h.Ci}$); Alguns autores consideram $489 \text{ mR/m}^2.\text{h.Ci}$. Gamão

1 INTRODUÇÃO

1.1 Objetivo

Este trabalho descreve as práticas aplicadas nas radiografias na indústria de petróleo, registrando experiências adquiridas em diversas situações de “campo” (práticas realizadas nas áreas industriais de unidades de processo), cuja variabilidade é favorecida pelas inúmeras técnicas e critérios a serem considerados para a adequada aplicação e execução do ensaio radiográfico em função das necessidades de adaptação às programações diárias, as condições espaciais e temporais e ao atendimento às demandas de serviços, vinculada às etapas e prioridades das montagens industriais.

Este estudo tem por objetivo demonstrar de forma clara e objetiva, técnicas de radioproteção para a avaliação e controle das situações de execução de gamagrafia industrial em áreas de difícil isolamento, devido às atividades realizadas em turnos ininterruptos de revezamento, tendo indivíduos de público no ambiente de trabalho. Também é objeto deste estudo a demonstração da influência da exposição e recolhimento da fonte através do tubo-guia e da utilização simultânea de 2 fontes na mesma área.

1.2 Justificativa

O que direcionou a tomada de decisão na definição do tema foi à limitação das descrições práticas apresentadas pelas literaturas existentes na área de radioproteção, de conhecimento dos autores, onde as abordagens das técnicas de execução de radiografias, bem como as técnicas de radioproteção, são apresentadas, normalmente, de forma bastante didática, focando individualmente os aspectos teóricos e seus fundamentos, estando mais adequados aos propósitos de treinamentos para formação profissional. Em busca do aprimoramento das técnicas praticadas no campo, foram incluídas as experiências, limitações encontradas, iniciativas, aspectos criativos adotados, com a finalidade de dar subsídios técnicos aos profissionais da área de

2 CONTROLE DE DOSE DE TRABALHADORES E DE INDIVÍDUOS DE PÚBLICO

Basicamente o controle da dose de trabalhadores e indivíduos de Público, conforme Tabela I, é realizado pela combinação dos seguintes fatores:

- Distância em relação à fonte radioativa, considerando a propriedade de redução das taxas em função do quadrado da distância;
- Atenuação de blindagens existentes no local (estruturas metálicas de equipamentos, paredes de concreto, depressões e diques de contenção) ou aquelas intencionalmente colocadas (peças de concreto, placas de chumbo, colimador, tambores com água, etc.);
- Tempo de permanência das pessoas próximas da fonte radioativa.

Tabela I – Limites de Dose Anual da norma CNEN-NN-3.01 – Limites primários de doses para IOE e Indivíduos do Público

PERÍODO	Indivíduo			
	Ocupacionalmente Exposto		Do Público	
	mSv ¹	mRem	mSv	mRem
Anual	50,0	5.000,0	1,0000	100,00
Mensal	4,167	416,7	0,0833	8,33
Semanal	1,000	100,0	0,0200	2,00
Diário	0,200	20,0	0,0040	0,40
Horário	0,025	2,5	0,0005	0,05

Fonte: CNEN (Brasil)(2005)²

Calendário considerado para cálculo de Dose Derivada.

1 ano = 250 dias = 50 semanas = 2.000 horas;

1 mês = 20 dias;

1 semana = 5 dias = 40 horas;

1 dia = 8 horas.

¹ A norma CNEN, estabelece outro limite, cujo valor é de 20 mSv que representa a média ponderada em 5 anos consecutivos, desde que não exceda os 50 mSv em qualquer ano

² A Norma CNEN-NN-3.01 não define o critério de calendário para cálculo dos limites derivados, referenciando apenas à definição “anual”, que é definida como o intervalo de janeiro a dezembro.

Será adotada neste estudo a unidade de dose equivalente rem (Röntgen Equivalent Man) e suas derivadas aplicadas nos exercícios e nas demonstrações de cálculos, visto ser ainda, a unidade mais utilizada na prática pelos profissionais de radioproteção, em função dos vários equipamentos em uso, monitores e dosímetros de radiação realizar leituras nesta unidade.

internacionais e da CNEN, porém restringe muito o horário de execução dos trabalhos, obrigando a utilização de fontes radioativas com maior atividade.

Em resumo, toda a complexidade descrita para a execução dos serviços de radiografia industrial, exige um grau de comprometimento e conhecimento técnico extremamente elevado dos profissionais de radioproteção, de forma a possibilitar a realização da gamagrafia no prazo programado, sem, no entanto inviabilizar as rotinas de área e/ou comprometer os aspectos de segurança e saúde.

Geralmente não há acesso por ambos os lados quando se radiografa tubulação. Neste caso utiliza-se a técnica parede dupla vista dupla, descrita adiante.

Quanto aos aspectos de radioproteção na utilização da técnica PSVS, dependerá do posicionamento da tubulação e da espessura do material. Quando as tubulações estão posicionadas na horizontal, dependendo do direcionamento do feixe livre, poderá ser considerada a atenuação do colimador ou apenas a espessura da “parede”. Neste caso é aconselhável utilizar colimador, a não ser que as condições do ambiente e do equipamento radiografado não o permitam.

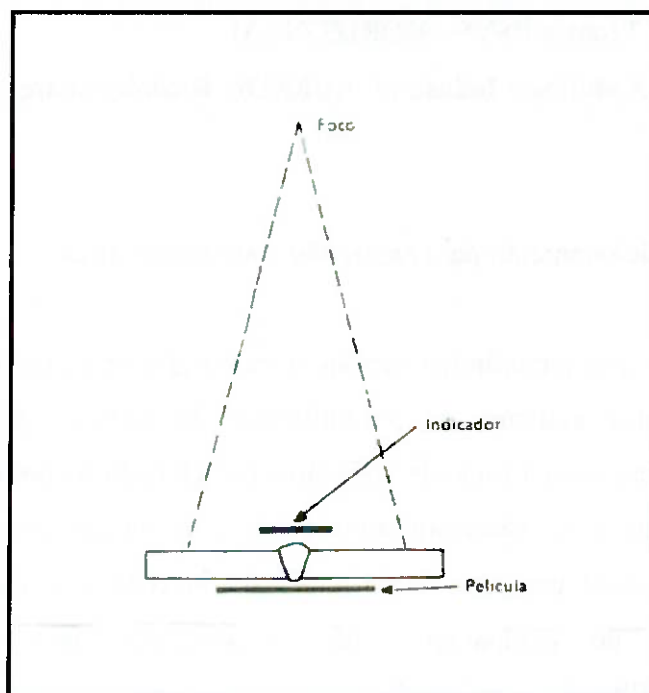


Figura 1: Técnica PSVS - VERTICAL

Fonte: A Radiologia Industrial, ABENDE, Ricardo Andreucci, 6ª edição, Jan./2003, p. 75.

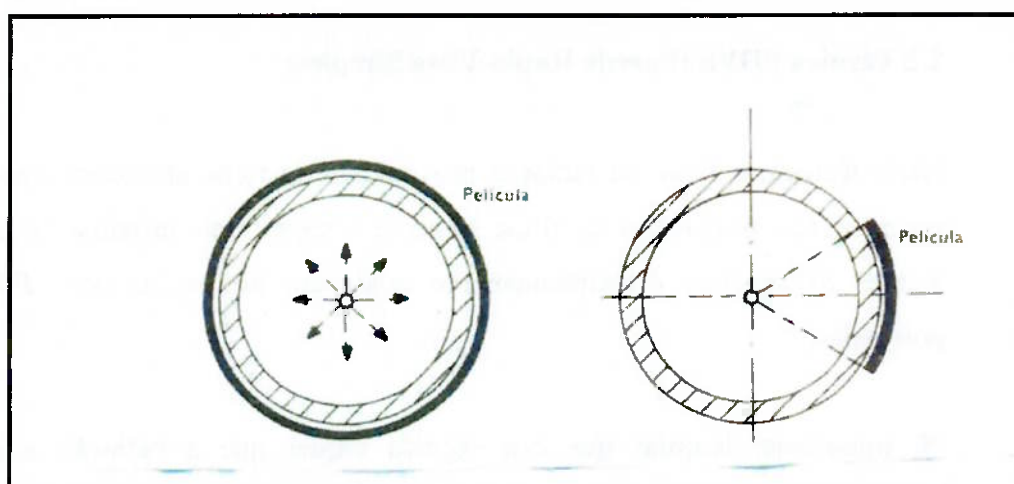


Figura 3: Técnica panorâmica

Fonte: A Radiologia Industrial, ABENDE, Ricardo Andreucci, 6ª edição, Jan./2003, p. 76.

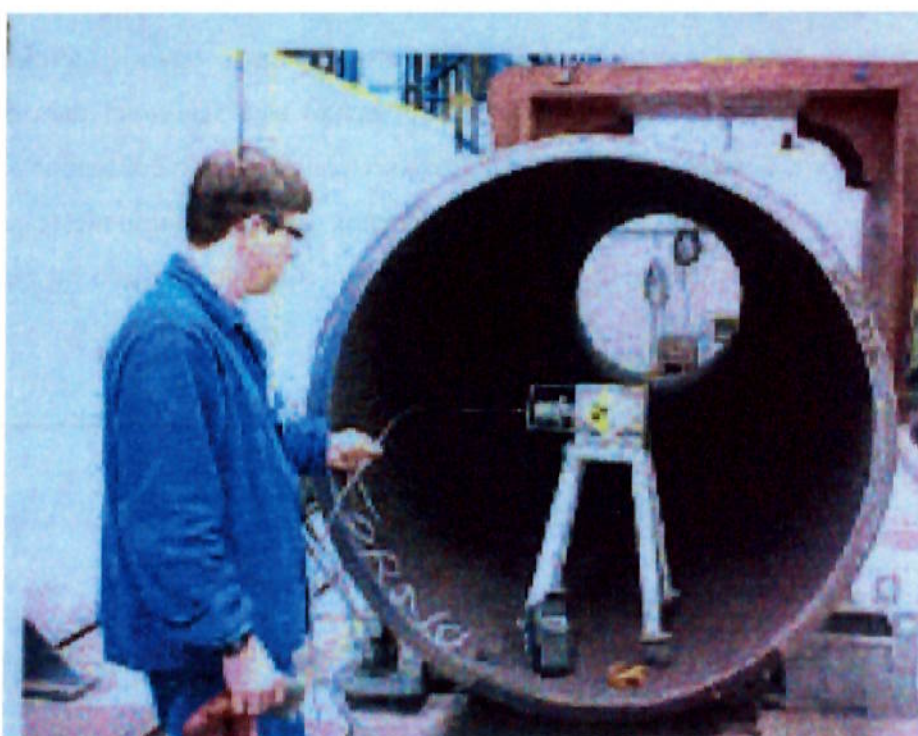


Figura 4 – Preparação para radiografia panorâmica.

Fonte – ABENDE –Proteção Radiológica, Ricardo Andreucci, Jan/2005, p. 68

5.3 Técnica PDVD (Parede Dupla Vista Dupla)

Esta técnica é freqüentemente utilizada para inspeções de juntas soldadas em tubulações com diâmetros menores que 3 ½ polegadas. São denominadas técnicas “elipses”, pois a fonte é exposta a uma distância aproximada de 600 mm da peça, num ângulo de 15° em relação ao eixo da solda e a imagem revelada no filme tem a forma elipsoidal.

Quanto aos aspectos de radioproteção na aplicação desta técnica, devido à distância da fonte em relação à peça a ser radiografada, bem como o ângulo de abertura proporcionada pelo colimador e também considerando o diâmetro reduzido da tubulação, normalmente, partes do feixe de radiação passam “por fora” do equipamento, sem atravessá-lo.

Esta é uma condição importantíssima a ser considerada no cálculo do raio de isolamento, que dependendo do posicionamento do equipamento e das áreas circunvizinhas com acesso ao público, não poderá ser considerada qualquer atenuação, resultando em áreas isoladas de grandes dimensões. Algumas vezes, dependendo da programação adotada e das áreas próximas ocupadas por indivíduos do público, torna-se inviável a realização do serviço, sendo necessário adotar medidas de proteção como barreiras de concreto, chapas de aço ou mesmo tambores com água.

6 DESCRIÇÃO DAS APLICAÇÕES PRÁTICAS

Para atender a demanda, muitas vezes é necessário realizar mais de uma frente de trabalho de radiografia simultaneamente, com exposições numa mesma área, onde indivíduos do público que a acessam poderão ficar expostos às frentes de radiografia, aumentando a possibilidade de suas doses diárias ultrapassarem os limites permitidos.

Para que as doses não ultrapassem os limites estabelecidos, seguindo o princípio ALARA (Radioproteção e Dosimetria – Fundamentos, Instituto de Radioproteção e Dosimetria – CNEN, Luiz Tauhata, 4ª revisão, Jun/2003, p. 199), apresentamos neste documento, interpretações praticadas de requisitos de segurança e alternativas de cálculo do raio de isolamento, considerando as diversas situações encontradas no campo, bem como alguns critérios técnicos de blindagem, que servirão de subsídios para tomada de decisão por profissionais da área de radioproteção em serviços de radiografias industriais.

Para o controle adequado da dose dos indivíduos do público, que é o objetivo principal na consideração da radioproteção para áreas abertas, considerando que estes não são dosimetrados e não têm um controle médico voltado para o risco como os indivíduos ocupacionalmente expostos, é muito importante distinguir critérios de atenuação da radiação, evidenciados na aplicação das técnicas, dos critérios que melhor representam o controle de dose.

Isto significa que, nem sempre uma atenuação oferecida por uma determinada barreira, existente ou intencionalmente adicionada, pode ser aplicada no cálculo do raio de isolamento, que representaria 100% de efetividade no controle da exposição de pessoas, cobrindo os inúmeros pontos ou locais de trabalho.

6.1 Critérios de radioproteção utilizando diversas técnicas numa programação

Tabela II - Dados técnicos de exemplo de programação de radiografia

(continuação)

DESCRIÇÃO	SITUAÇÃO				
	1	2	3	4	5
Tempo Total (horas)	0,2	0,05	0,083	0,044	0,15
Equipamento /Diâmetro	Tubulação Ø 1 "	Tubulação Ø 1 "	Tubulação Ø 3 "	Tubulação Ø 6 "	Tubulação Ø 10 "
Técnica ⁽¹⁾	PDVD (Elipse)	PDVD (Elipse)	PDVD	PDVD	PDVD
Espessura da parede do equipamento (mm) (4)	6,4	6,4	11,1	11,1	21,4
Posição do equipamento ⁽⁵⁾	Horizontal	Vertical	Horizontal	Horizontal	Horizontal

Fonte: O autor (2006)

OBS:

- (1) – a técnica a ser utilizada é definida por norma internacional, conforme o diâmetro e espessura do equipamento, além do tipo e tamanho do filme utilizado e, em alguns casos da possibilidade de acesso para realização da radiografia;
- (2) – a quantidade de filmes por junta é função do diâmetro do equipamento e do tamanho do filme utilizado, considerando o interesse de analisar toda a circunferência da solda na tubulação;
- (3) – o tempo de exposição é função da atividade da fonte, da espessura do equipamento, do tipo de filme e da distância entre a fonte e o filme, denominada distância foco-filme, definida pela técnica utilizada;
- (4) – a espessura do equipamento é definida por projeto de engenharia;
- (5) – a posição do equipamento é definida pelo projeto de engenharia e de extrema importância para definir a blindagem no cálculo do raio de isolamento da área.

$$X_2 = [(500 \cdot 20,96 \cdot 0,05) / (1^2 \cdot 1)] = 524,0 \text{ mrem}$$

Situação 3 e 4: Serão consideradas no mesmo cálculo, pois os critérios de radioproteção são semelhantes. Técnica PDVD bico colado (equipamento – 3, tubulação na horizontal, com Ø 3”, mais o equipamento – 4, tubulação na horizontal, com Ø 6”). A efetividade da blindagem oferecida pela dupla parede da peça, neste caso é totalmente aplicada, independente do direcionamento da fonte. Para considerar este critério, subentende-se que será usado um colimador atrás da fonte com atenuação superior à oferecida pela peça radiografada. Para calcular o Fator de Atenuação (redução) da parede da peça utiliza-se a seguinte fórmula:

$$FR = 2^n \quad (3)$$

Onde:

n = número de camadas semi-redutoras (CSR), que é encontrada por:

$$CSR = \text{espessura da peça} / \text{meia-espessura} \quad (4)$$

Onde:

- espessura da peça = dados de projeto
- meia-espessura = dados de laboratório para cada material e fonte utilizada

Para aço-carbono utilizando fonte de Irídio-192, a meia-espessura é de 13 mm (ABENDE, Proteção Radiológica, RICARDO ANDREUCCI, Edição Jan/2005, p. 37).

Considerando a dupla parede do exemplo acima, aplica-se a fórmula (4):

$$CSR = 11,1 \cdot 2 / 13 = 1,7$$

O Fator de Redução será:

Nesta programação de radiografia deverá ser utilizado o mesmo raio de isolamento em cada situação, que neste caso será de 54,23 metros.

Para verificar se o raio de isolamento calculado acima está adequado ao controle da dose do público, obtêm-se a dose em cada situação para o raio estimado, aplicando a fórmula (5).

Situação 1:

$$(104,8 / X_2) = (54,23^2 / 1^2) = 0,03563 \text{ mrem}$$

Aplica-se o mesmo critério para as demais situações e em seguida somam-se todos os resultados comparando com a dose base diária, conforme apresentado na Tabela III.

Tabela III - Demonstrativo das doses por situação.

(Continua)

Descrição	Valores
Situação 1	
Raio de Isolamento (m)	54,23
Tempo de Exposição (horas)	0,2
Dose (mrem)	0,03563
Situação 2	
Raio de Isolamento (m)	54,23
Tempo de Exposição (horas)	0,05
Dose (mrem)	0,17818
Situação 3 e 4	
Raio de Isolamento (m)	54,23
Tempo de Exposição (horas)	0,12
Dose (mrem)	0,13159

- Base de Dose Diária = 0,4 mrem;
- Tempo de exposição da fonte: Frente “A” = 0,1 h
- Tempo de exposição da fonte: Frente “B” = 0,1 h
- Distância entre as fontes: 200 m;
- Constante específica da radiação gama para o Iridio-192 = 500 mR.m²/h.Ci.

Representação do Local:

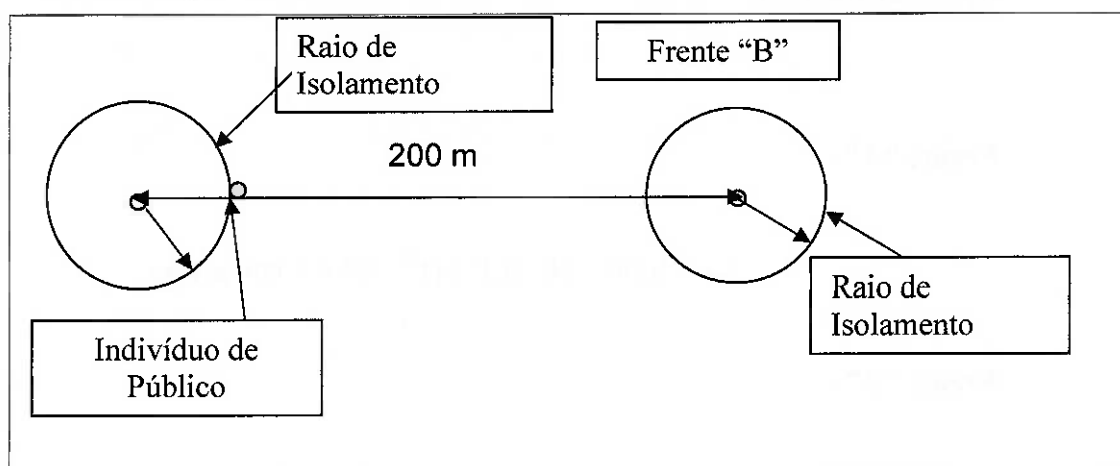


Figura 7 – Croqui de duas frentes de trabalho na mesma área (Condição A) .

Fonte: O autor

Se considerarmos a frente de trabalho “A” isoladamente, aplicando-se a fórmula(1), temos:

$$D = [(500 \cdot 20 \cdot 0,1) / (0,4 \cdot 1)]^{1/2} = 50 \text{ metros}$$

Considerando que o indivíduo de público “A” ficará posicionado a 150 metros da Frente “B” (diferença entre a distancia entre as frentes de trabalho e o raio de isolamento calculado) e aplicando-se a fórmula (2) temos:

$$[(500 \cdot 20 \cdot 0,1) / (150^2 \cdot 1)] = 0,044 \text{ mrem}$$

A dose total das 2 frentes de trabalho é de 0,444 mrem (0,4 mrem da Frente “A” mais 0,044 mrem da Frente “B”), acima portanto do limite base diária. O resultado poderia ser ainda maior se as frentes de trabalho estivessem mais próximas.

Com relação a Frente “B”:

Como o indivíduo do público está junto ao raio de isolamento da frente “A”, que é de 66,14 m e na posição alinhada entre as fontes e, sabendo-se que as mesmas estão distantes 200 m, a distância do indivíduo do público em relação a frente “B” é de: $200 - 66,14 = 133,86$ metros.

Calculando a dose da frente “B”:

$$(750 / X_2) = (133,86^2 / 1^2) = 0,0418 \text{ mrem}$$

Concluindo, somam-se as doses considerando as duas frentes:

$$\text{DOSE TOTAL} = 0,2285 + 0,0418 = 0,2703 \text{ mrem}$$

Observa-se neste exemplo que a dose total é menor que a dose base diária, indicando que houve um superdimensionamento do raio de isolamento.

Neste caso, o raio de isolamento para dose de 0,4 mrem é superior a 50m e inferior a 66,14 metros.

Com o objetivo de minimizar a abrangência das áreas isoladas e preservar o limite de dose diário, pode-se ajustar o raio de isolamento de acordo com a fórmula abaixo:

$$(X_A / D^2) + (X_B / (D_f - D)^2) = 0,4 \quad (6)$$

Onde:

X_A = Dose proveniente da Frente A (mrem) ;

X_B = Dose proveniente da Frente B (mrem);

D_f = Distância entre as frentes de trabalho (metros);

D = Raio de isolamento a ser calculado (metros);

0,4 = dose base diária (mrem).

Onde:

X_A = Dose a 1 metro da Frente A (mrem) ;

X_B = Dose a 1 metro da Frente B (mrem);

D_f = Distância entre as frentes de trabalho (metros);

D = Raio de isolamento a ser calculado (metros).

$$(1000 / D^2) = (750 / (200 - D))^2$$

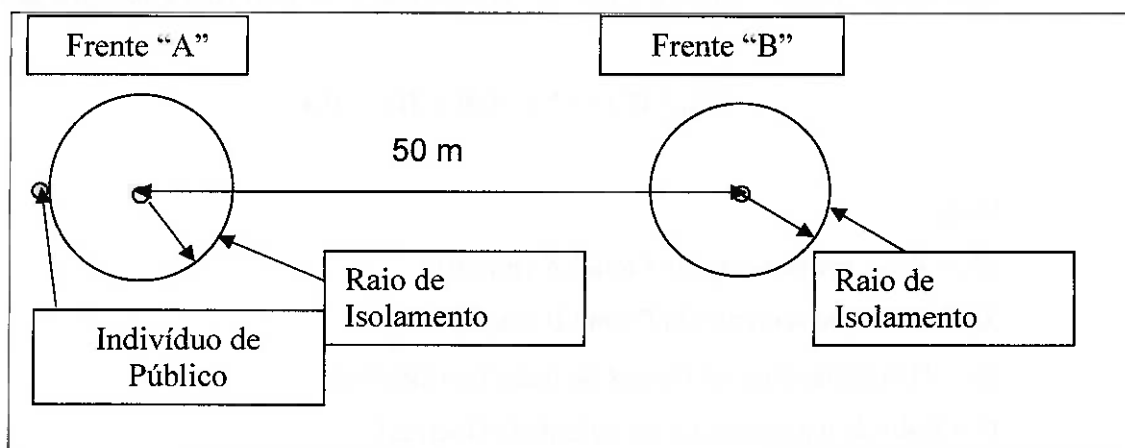
$$D = 107,18 \text{ metros}$$

Substituindo o valor calculado na fórmula (6), com a exclusão do termo “0,4”, obtém-se a dose total de 0,174 mrem.

Condição “B” - Permanência de Indivíduo de Público junto ao cordão de isolamento da frente “A”, na posição oposta à frente B, durante todo o período de exposição das fontes radioativas. Ver anexo II.

Os dados das fontes e dos tempos de exposição são os mesmos da condição “A” e a distância entre as frentes de trabalho foi reduzida para 50 metros. Conseqüentemente, os seguintes resultados foram mantidos:

- Raio de Isolamento (cálculo isolado): 50 metros;
- Raio de isolamento (cálculo conjunto): 66,14 metros;
- Dose da Frente “A”: 0,2285 mrem.

Representação do Local

100 = Distância entre as frentes neste exemplo. Dado obtido em campo;
 0,4 = dose base diária (mrem).

Utilizando a fórmula(8) no programa Excel e aplicando-se valores para D entre 50 e 66,14 obtém-se a distância de 54,9 metros para dose imediatamente inferior a 0,4 mrem.

Substituindo a distância calculada na fórmula(8), temos:

$$(1000 / 54,9^2) + [750 / (50 + 54,9)^2] = 0,3999 \text{ mrem}$$

Os resultados podem ser mais bem visualizados no gráfico a seguir:

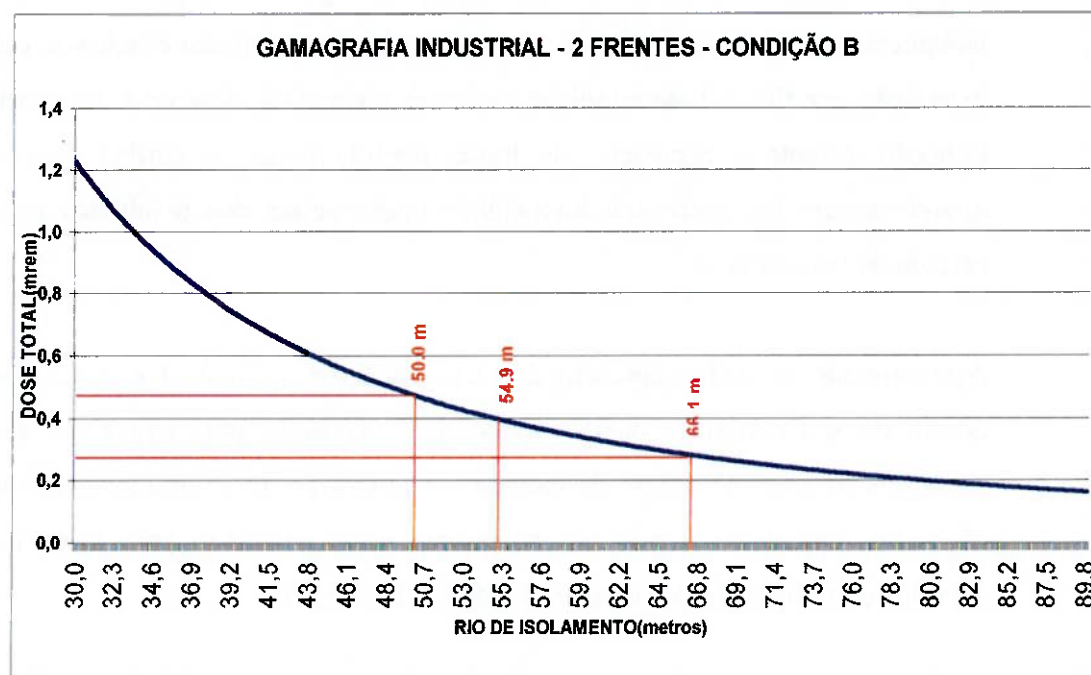


Figura 10 – Raio de Isolamento x Dose Total (Condição B).

Fonte: O autor

Nota:

É comum a preocupação de alguns profissionais quanto à intersecção de isolamento de áreas restritas para duas frentes simultâneas. No aspecto de controle dos

FRc – Fator de Redução do Colimador.

Situação 1:

$$D = \{[(500 \cdot 20,96 \cdot 0,2) / (0,4 \cdot 20)] + [(500 \cdot 20,96 \cdot 0,0066) / 0,4]\}^{1/2}$$

$$D = 20,89 \text{ m}$$

Aplica-se o mesmo critério para as demais situações e em seguida somam-se todos os resultados comparando com a dose base diária, conforme apresentado na Tabela IV.

metros, mas, sem interferência em áreas produtivas, devido a distância mínima de 200 metros.

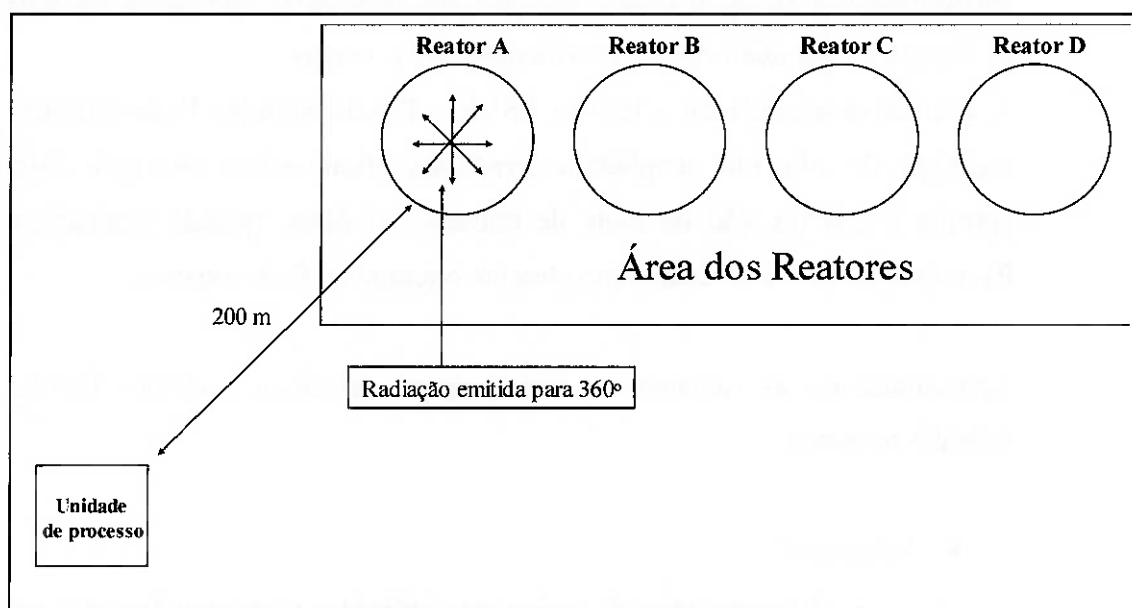


Figura 11 - Croqui da área indicando a distância da unidade mais próxima

Fonte: O autor

2ª Situação:

Na construção de uma segunda unidade, com as mesmas características, a técnica utilizada anteriormente não foi viável, devido à interferência pela proximidade da unidade em operação, pois os novos reatores estavam localizados a uma distância de 130 metros da unidade.

No aspecto de radioproteção foram considerados os reatores da unidade antiga como sendo a parte mais crítica em termos de incidência de radiações, pois nesta, adotam-se ciclos de trabalhos 2 a 4 horas, que se repetem a cada 12 horas, e a presença de trabalhadores nestas áreas deve ser controlada e sincronizada com os demais serviços. Este fato determina que medidas adicionais para controle da dose, devem ser implementadas de forma a não comprometer as atividades diárias de operação.

Se fosse aplicada a mesma técnica radiográfica, haveria a necessidade de instalação de blindagens adicionais e, devido às dimensões dos equipamentos radiografados,

- Aumento da probabilidade de acidente com o irradiador devido à necessidade de movimentação e deslocamento vertical em grandes áreas de trabalho.

A seguir serão apresentados dados do projeto dos reatores da unidade em referência:

- Diâmetro: 8 metros;
- Material: aço carbono;
- Espessura da chapa: 12 a 22 mm;
- Local de radiografia: área de montagem sobre as bases de concreto;
- Elevação da soldas radiografadas: entre 16 e 40 metros.

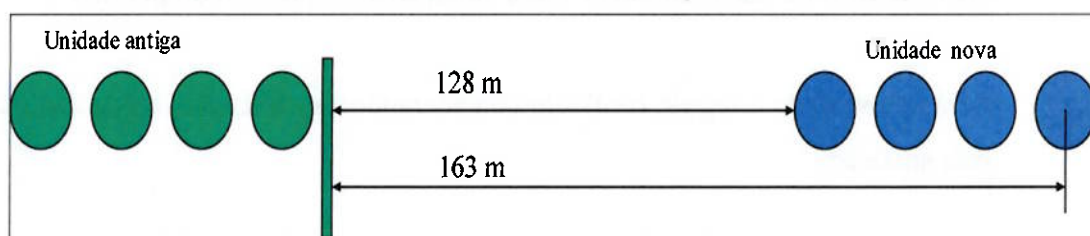


Figura 12 - Croqui da área com indicação da distância de uma nova unidade

Fonte: O autor

Considerando a situação descrita acima será apresentado o cálculo aplicado para o raio de isolamento, baseado nos seguintes critérios:

- Atividade da fonte: Irídio-192 = 38 Ci;
- Tempo de exposição por filme = 2 minutos. Para cada programação diária foi planejada uma meta de revelação, de metade dos filmes de uma solda, ou seja, 36 filmes, sendo completada a circunferência da solda em duas diárias. Esta estratégia foi adotada, visto o tempo para realização do trabalho de 4 a 6 horas, sendo 1,2 horas somente para a exposição da fonte e o tempo restante para preparo do arranjo radiográfico.
- Constante específica para radiação gama – $500 \text{ mR.m}^2/\text{h.Ci}$;
- Dose considerada no cálculo: 0,4 mrem/dia;
- Fator de atenuação: duas paredes da peça de 12 mm, totalizando 24 mm de aço carbono, produzindo uma redução da radiação de 3,59 vezes, para uma meia-espessura do material de 13 mm;

Aplicando-se a fórmula (8), têm-se.

$$X_{\text{total}} = 0,4 + 0,07 = 0,407 \text{ mrem}$$

O colimador acoplado ao irradiador favorece o controle de dose IOE, o controle de dose do público e também minimiza os impactos gerados por acidente radiológico, ou seja, emergência com a fonte, pois o mesmo atenua 43 vezes a intensidade da radiação.

Para possibilitar a adoção desta técnica, faz-se necessário um planejamento e preparação das instalações (andaimes ou plataformas) que possibilitem o posicionamento adequado do irradiador com relação ao direcionamento necessário do feixe de radiação. Quando se usa tubo guia o irradiador é posicionado em ponto inferior ao de interesse e o tubo guia na direção da solda. Com o colimador acoplado ao irradiador o arranjo é mais complexo, pois o manuseio do conjunto (irradiador/colimador) torna-se difícil devido ao peso elevado.



Fotografia 1 – Irradiador com o colimador acoplado na posição da solda

Fonte: O autor

7 INTERPRETAÇÃO DE LEITURA DE DOSES NOS LEVANTAMENTOS RADIOMÉTRICOS

É um conceito que gera divergências de opinião quanto ao trabalho de levantamento radiométrico de uma frente de radiografia industrial, cujo objetivo é verificar se as taxas de dose de radiação medidas no limite da área isolada, correspondem aos previstos no cálculo considerado no planejamento.

O valor observado no medidor não deve ser interpretado sem levar em consideração o tempo de exposição. Portanto, para verificar se uma área isolada está apresentando níveis de radiação conforme o previsto deve-se conhecer os critérios de tempo de exposição com relação à taxa de dose considerada no cálculo.

Exemplo 1:

Se no cálculo do raio de isolamento foi considerada a taxa de dose de 1 dia (8 horas), ou seja 0,4 mrem, o resultado obtido no medidor deve ser considerado no mesmo critério, e em relação ao tempo total de fonte exposta, indicando a real condição da exposição.

Sendo o tempo total de fonte exposta menor que 1 hora, o resultado de taxa de dose obtido no medidor poderá ser até maior que 0,4 mrem/h. Entretanto, se o tempo for maior que 1 hora, o medidor deverá apresentar resultado menor que 0,4 mrem/h para que a dose esteja de acordo com o planejado.

Na prática, uma referência para identificação do valor ideal de comparação é dividir a taxa de dose inserida no cálculo pelo tempo em que a fonte ficará exposta.

Exemplo 2:

Um serviço programado de 1,4 horas, considerando a taxa de dose de 0,4 mrem/dia para o cálculo do raio de isolamento. O valor estimado de taxa de dose que representaria uma situação adequada da área isolada é de: $0,4 / 1,4 = 0,285$ mrem/h.

Com relação ao critério da taxa de dose considerada na interpretação do resultado do levantamento radiométrico, recomenda-se a princípio, a utilização da base horária, para os indivíduos do público, que de acordo com a Tabela I, é de 0,05 mrem.

Utilizando esta taxa de dose e, considerando uma jornada normal de trabalho de 8 horas, podem ser realizadas diversas exposições da fonte radioativa até o máximo de 8 horas, onde o controle da dose estará garantido dentro dos valores permitidos.

Porém, freqüentemente, torna-se inviável utilizar a taxa de dose da base horária, devido ao raio de isolamento de grandes dimensões, que em muitos casos, acaba interferindo numa grande área operacional de uma unidade de processo de refinaria.

Neste caso, e dependendo do tempo total de exposição da fonte, torna-se impraticável a execução do trabalho, pois as unidades de processo necessitam de acompanhamento do operador no campo continuamente para realizar as atividades de leitura de instrumentos, inspeção dos equipamentos e as devidas manobras operacionais que o sistema exige.

A interferência em montagens industriais é menor visto que as mesmas não estão em operação, tornando-se relevante apenas quando próximas às instalações industriais em operação.

A alternativa para reduzir o raio de isolamento e, portanto, a redução da área a ser isolada, é a utilização do critério da taxa de dose base diária, ou seja, 0,4 mrem/dia (para uma jornada de 8 horas $\Rightarrow 0,05 \text{ mrem/h} \times 8 \text{ horas} = 0,4 \text{ mrem/dia}$).

Em algumas situações mais específicas é possível até utilizar-se da taxa de dose base semanal, de 2 mrem, inserida no cálculo do raio de isolamento de uma programação diária. Neste caso, deve-se garantir que o público exposto à radiação ionizante durante o período de trabalho, não terá outra exposição ocupacional no prazo de uma semana.

8 DESCRIÇÃO DAS TÉCNICAS EM PLANOS DE RADIOPROTEÇÃO

A Norma CNEN-NN-6.04 – Funcionamento de Serviços de Radiografia Industrial, Dezembro 1988, exige a elaboração de Plano Geral de Radioproteção, pelas empresas que executam serviços de radiografia industrial. Este documento apresenta de forma sucinta, a política de segurança da empresa, os profissionais envolvidos, todos os dispositivos de controle da radiação, a descrição dos procedimentos utilizados para operações normais e em emergência, a definição das responsabilidades e ações, considerando a hierarquia de atuação, entre outros.

Como a natureza da atividade de radiografia é a prestação de serviços aos clientes, muitas vezes os trabalhos são realizados fora da instalação da empresa prestadora, ou seja, no local da empresa contratante, sendo estas áreas denominadas de “instalações abertas”.

A maioria das atividades da empresa prestadora de serviços de radiografia industrial é realizada em área da contratante, que do ponto de vista da radioproteção é classificada como instalação aberta.

Para estas instalações abertas, faz-se necessária a elaboração por parte das empresas especializadas nos serviços de radiografia industrial, do Plano Específico de Radioproteção – PE, contemplando todo o planejamento de trabalho de radiografias em instalações abertas, das técnicas de radiografias a serem utilizadas, dos critérios de radioproteção aplicáveis para as técnicas descritas, do escopo dos trabalhos, relacionando dados de projeto dos equipamentos que serão radiografados, localização dos mesmos, áreas envolvidas, dispositivos de blindagens utilizados, dados técnicos das fontes e irradiadores, descrição dos tipos de dosímetros e monitores de radiação, nome e qualificação dos profissionais envolvidos nas frentes de radiografias, e além de outras informações, descrição dos procedimentos de emergência para as situações prováveis de acidentes radiológicos.

A Planilha de Radiografia é um documento mais detalhado que o PE e representa uma situação específica, ou seja, uma programação que será realizada num dia de trabalho ou, como alguns prestadores costumam denominar, numa diária.

O registro desta planilha é importante para rastrear informações de situações de exposição de fontes radioativas, que subsidiarão as análises e investigações, em casos de registros de doses mensais dos OIE acima dos limites, ou até mesmo esclarecer dúvidas apresentadas em questionamentos de Indivíduos do Público, pois podem identificar falhas de procedimentos, como a não utilização de uma técnica mais favorável à radioproteção para uma situação específica de trabalho, ser foi considerado o uso de blindagens no cálculo do radio de isolamento ou se uma área ocupada por pessoas, sofreu interferência da radiação, em condição semelhante a uma área restrita.

8.1 Modelo de planilha de gamagrafia com descrição de dados técnicos de equipamentos

Existe uma variedade de modelos de planilhas que são apresentadas nos PE's, com as descrições técnicas de equipamentos e das técnicas de radiografias, não sendo necessária a atribuição de considerações que definam aquelas que estão adequadas ou inadequadas, pois o que interessa, é a facilidade de utilização pelos profissionais e a representação daquilo que será aplicado no campo.

A seguir um modelo de planilha inserida numa programação, e algumas informações técnicas como exemplo:

Além das informações apresentadas em alguns casos são inseridas nos diversos modelos, as fórmulas utilizadas nos cálculos do raio de isolamento, cálculos de blindagens e do tempo para revelação dos filmes.

Observando o modelo apresentado, pode-se deduzir que, dependendo da abrangência de uma frente de trabalho de obra em montagem industrial, existe uma variabilidade de informações e situações de programações, cujos critérios técnicos da radiografia e da radioproteção, acompanham em número, no que se refere à possibilidade de execução e alternativas utilizadas.

Como o PE normalmente não é elaborado apenas para uma diária, ou seja, uma programação realizada numa “noite” (é usual referir-se à noite, pois numa montagem industrial os trabalhos de radiografia são realizados neste turno, conforme explanado no início do estudo), este deve contemplar uma gama de técnicas e situações de programação, mas com o objetivo de contemplar, principalmente, as situações mais desfavoráveis.

Os procedimentos de execução descritos no PE direcionarão de modo geral a maneira como as radiografias serão realizadas.

É comum descrever as técnicas no PE apenas como diretrizes, sendo que o profissional da equipe que realiza a programação diária define o cálculo de isolamento, assume a responsabilidade de utilizar todos os critérios técnicos de radioproteção para garantir que a situação de trabalho proposto seja realizada da maneira mais segura e viável, não comprometendo a qualidade do trabalho, bem como o alinhamento com as diretrizes do PE, do Plano Geral de Radioproteção de sua empresa e normas afins.

É importante considerar que a qualidade do trabalho de radiografia, cujo produto é a informação que o filme radiográfico oferece, também pode ser considerada como fator indireto de radioproteção, pois quando a qualidade não atende os padrões esperados, torna-se necessária a repetição do mesmo, ocasionando maior exposição à radiação ionizante.

colimador é obrigatória mesmo para a exposição em que este fator não for considerado.

c) Para tubulações na vertical será utilizada a técnica em “X”, sendo que neste caso, as 4 exposições serão realizadas no sentido horizontal, havendo, portanto, maior possibilidade de atingir áreas ocupadas. Por este motivo, o raio de isolamento será calculado considerando apenas a atenuação da “menor” blindagem, que normalmente é a da dupla parede do tubo. O uso do colimador também é obrigatório neste caso.

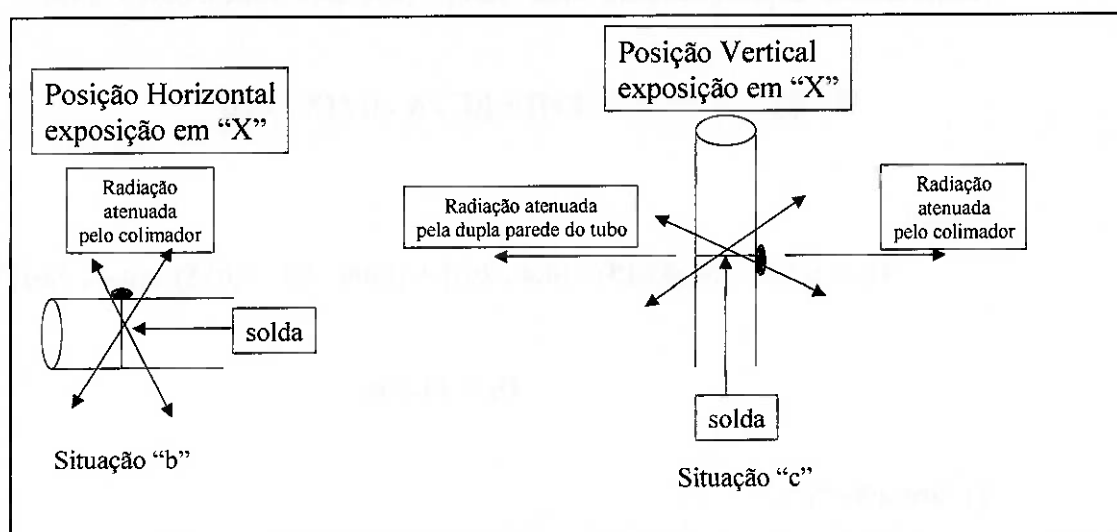


Figura 15 – Disposição dos equipamentos para radiografia.

Fonte: O autor

8.2.1 Exemplo de cálculo para as duas situações apresentadas nos itens "b" e "c"

Para o cálculo do raio de isolamento da área restrita utilizaremos a fórmula (1).

Sendo os seguintes dados:

D = distância (raio de isolamento);

Γ = Constante da taxa de exposição, específica da radiação gama (para o Iridio-192 é $\cong 500 \text{ mR.m}^2/\text{h.Ci}$);

A = atividade da fonte de Iridio-192: 20,0 Ci (Curie);

t = tempo exposição por filme: 27 segundos (4 filmes);

X = Taxa de dose = 0,4 mrem/dia (8 horas);

Espessura da parede do tubo de aço carbono de 8 polegadas: 12 mm

variáveis, com disponibilidade de tempo e áreas para isolamento, torna-se mais fácil e menos observável a necessidade de adoção de criatividade de alternativas para cumprir uma programação. Os exemplos práticos propostos para este estudo são justificados para situações cujas variabilidades de programação e as dificuldades, são encontradas numa frente de trabalho de proporções acima das normais, como as montagens de unidades de processo em refinarias de petróleo.

ANEXO I

EXECUÇÃO DE GAMAGRAFIA EM 2 FRENTES DE TRABALHO,
CONDIÇÃO A. Página 22RADIAÇÃO IONIZANTE
ELEMENTO RADIOATIVO: IRÍDIO-192

FRETE DE TRABALHO A

Atividade: **20** Ci
 Tempo: **0,1** horas

FRETE DE TRABALHO B

Atividade: **15** Ci
 Tempo: **0,1** horas

Distância entre as Fontes: **200** metros

RAIO DE ISOLAMENTO – CÁLCULO ISOLADO

FRETE DE TRABALHO A: **50** metros
 FRETE DE TRABALHO B: **43,30127** metros

RAIO DE ISOLAMENTO E DOSE TOTAL – CÁLCULO CONJUNTO

(Continua)

FRETE DE TRABALHO A	
RAIO (m)	EXPOSIÇÃO (Mr)
50	0,433333333
50,1	0,431782609
50,2	0,430241498
50,3	0,428709925
50,4	0,427187814
50,5	0,425675091
50,6	0,424171685
50,7	0,422677521
50,8	0,421192529
50,9	0,419716637
51	0,418249775
51,1	0,416791873
51,2	0,415342862
51,3	0,413902675
51,4	0,412471242

FRETE DE TRABALHO B	
RAIO (m)	EXPOSIÇÃO (Mr)
61,2	0,252149915
61,3	0,251571999
61,4	0,250997432
61,5	0,250426194
61,6	0,249858264
61,7	0,249293624
61,8	0,248732252
61,9	0,24817413
62	0,247619238
62,1	0,247067557
62,2	0,246519068
62,3	0,245973751
62,4	0,245431589
62,5	0,244892562
62,6	0,244356652

(Continuação)

FRETE DE TRABALHO A	
RAIO (m)	EXPOSIÇÃO (mR)
55,6	0,359451098
55,7	0,358340495
55,8	0,357236229
55,9	0,356138256
56	0,355046533
56,1	0,353961014
56,2	0,352881659
56,3	0,351808423
56,4	0,350741265
56,5	0,349680143
56,6	0,348625014
56,7	0,347575838
56,8	0,346532575
56,9	0,345495182
57	0,344463621
57,1	0,343437852
57,2	0,342417835
57,3	0,341403531
57,4	0,340394902
57,5	0,339391908
57,6	0,338394513
57,7	0,337402678
57,8	0,336416365
57,9	0,335435539
58	0,334460162
58,1	0,333490197
58,2	0,332525609
58,3	0,331566362
58,4	0,33061242
58,5	0,329663748
58,6	0,328720312
58,7	0,327782076
58,8	0,326849007
58,9	0,32592107
59	0,324998232
59,1	0,32408046
59,2	0,32316772
59,3	0,32225998
59,4	0,321357206
59,5	0,320459367
59,6	0,319566431

FRETE DE TRABALHO B	
(m)	EXPOSIÇÃO (mR)
66,8	0,224439689
66,9	0,224022316
67	0,223607381
67,1	0,22319487
67,2	0,222784772
67,3	0,222377074
67,4	0,221971762
67,5	0,221568826
67,6	0,221168251
67,7	0,220770027
67,8	0,220374141
67,9	0,219980581
68	0,219589335
68,1	0,219200391
68,2	0,218813738
68,3	0,218429363
68,4	0,218047256
68,5	0,217667405
68,6	0,217289799
68,7	0,216914425
68,8	0,216541274
68,9	0,216170334
69	0,215801593
69,1	0,215435042
69,2	0,215070668
69,3	0,214708463
69,4	0,214348413
69,5	0,21399051
69,6	0,213634743
69,7	0,213281101
69,8	0,212929573
69,9	0,212580151
70	0,212232822
70,1	0,211887578
70,2	0,211544408
70,3	0,211203303
70,4	0,210864252
70,5	0,210527245
70,6	0,210192274
70,7	0,209859328
70,8	0,209528398

(Continuação)

FRENTE DE TRABALHO A	
RAIO (m)	EXPOSIÇÃO (mR)
63,8	0,286103994
63,9	0,285395099
64	0,284689933
64,1	0,283988475
64,2	0,283290703
64,3	0,282596596
64,4	0,281906131
64,5	0,281219287
64,6	0,280536044
64,7	0,279856379
64,8	0,279180273
64,9	0,278507705
65	0,277838654
65,1	0,277173099
65,2	0,276511021
65,3	0,2758524
65,4	0,275197215
65,5	0,274545447
65,6	0,273897076
65,7	0,273252083
65,8	0,272610449
65,9	0,271972154
66	0,271337179
66,1	0,270705507
66,2	0,270077117

FRENTE DE TRABALHO B	
(m)	EXPOSIÇÃO (mR)
75	0,197333333
75,1	0,197081011
75,2	0,196830349
75,3	0,196581342
75,4	0,196333983
75,5	0,196088265
75,6	0,195844182
75,7	0,195601727
75,8	0,195360893
75,9	0,195121675
76	0,194884066
76,1	0,194648059
76,2	0,194413649
76,3	0,194180829
76,4	0,193949593
76,5	0,193719935
76,6	0,193491848
76,7	0,193265328
76,8	0,193040367
76,9	0,19281696
77	0,192595102
77,1	0,192374785
77,2	0,192156005
77,3	0,191938756
77,4	0,191723032

ANEXO II

EXECUÇÃO DE GAMAGRAFIA EM 2 FRENTES DE TRABALHO, CONDIÇÃO B. Página 27.

RADIAÇÃO IONIZANTE

ELEMENTO RADIOATIVO: IRÍDIO-192

FRETE DE TRABALHO A

Atividade: 20 Ci
 Tempo: 0,1 horas

FRETE DE TRABALHO B

Atividade: 15 Ci
 Tempo: 0,1 horas

Distância entre as Fontes: 50 metros

RAIO DE ISOLAMENTO - CÁLCULO ISOLADO

FRETE DE TRABALHO A: 50 metros
 FRETE DE TRABALHO B: 43,30127 metros

RAIO DE ISOLAMENTO E DOSE TOTAL - CÁLCULO CONJUNTO

(Continua)

FRETE DE TRABALHO A		FRETE DE TRABALHO B	
RAIO (m)	EXPOSIÇÃO (mR)	RAIO (m)	EXPOSIÇÃO (mR)
50	0,475	61,2	0,281114051
50,1	0,473255012	61,3	0,280316007
50,2	0,471519996	61,4	0,27952154
50,3	0,469794874	61,5	0,278730629
50,4	0,46807957	61,6	0,277943252
50,5	0,466374007	61,7	0,277159387
50,6	0,464678112	61,8	0,276379012
50,7	0,462991808	61,9	0,275602107
50,8	0,461315023	62	0,274828649
50,9	0,459647683	62,1	0,274058618
51	0,457989716	62,2	0,273291993
51,1	0,456341051	62,3	0,272528753
51,2	0,454701616	62,4	0,271768877
51,3	0,453071341	62,5	0,271012346
51,4	0,451450157	62,6	0,270259138

(Continuação)

FRETE DE TRABALHO A		FRETE DE TRABALHO B	
RAIO (m)	EXPOSIÇÃO (mR)	RAIO (m)	EXPOSIÇÃO (mR)
55,6	0,390738592	66,8	0,241378765
55,7	0,38945092	66,9	0,240751312
55,8	0,388169842	67	0,240126428
55,9	0,386895312	67,1	0,239504096
56	0,385627284	67,2	0,238884304
56,1	0,384365714	67,3	0,238267036
56,2	0,383110557	67,4	0,237652279
56,3	0,381861768	67,5	0,237040018
56,4	0,380619303	67,6	0,236430239
56,5	0,37938312	67,7	0,23582293
56,6	0,378153174	67,8	0,235218075
56,7	0,376929423	67,9	0,234615661
56,8	0,375711824	68	0,234015675
56,9	0,374500336	68,1	0,233418103
57	0,373294916	68,2	0,232822931
57,1	0,372095524	68,3	0,232230148
57,2	0,370902118	68,4	0,231639738
57,3	0,369714657	68,5	0,23105169
57,4	0,368533102	68,6	0,230465989
57,5	0,367357413	68,7	0,229882624
57,6	0,366187549	68,8	0,229301582
57,7	0,365023472	68,9	0,228722849
57,8	0,363865142	69	0,228146413
57,9	0,362712522	69,1	0,227572261
58	0,361565572	69,2	0,227000382
58,1	0,360424255	69,3	0,226430762
58,2	0,359288533	69,4	0,225863389
58,3	0,358158369	69,5	0,225298252
58,4	0,357033726	69,6	0,224735337
58,5	0,355914567	69,7	0,224174633
58,6	0,354800856	69,8	0,223616129
58,7	0,353692556	69,9	0,223059811
58,8	0,352589632	70	0,222505669
58,9	0,351492049	70,1	0,22195369
59	0,350399771	70,2	0,221403864
59,1	0,349312764	70,3	0,220856177
59,2	0,348230992	70,4	0,22031062
59,3	0,347154422	70,5	0,21976718
59,4	0,346083019	70,6	0,219225846
59,5	0,34501675	70,7	0,218686607
59,6	0,343955581	70,8	0,218149452

(Continuação)

FRETE DE TRABALHO A		FRETE DE TRABALHO B	
RAIO (m)	EXPOSIÇÃO (mR)	RAIO (m)	EXPOSIÇÃO (mR)
64,1	0,300988422	75,3	0,195966935
63,8	0,303586777	75	0,197333333
63,9	0,3027168	75,1	0,19687621
64	0,30185069	75,2	0,196420747
64,2	0,300129974	75,4	0,195514766
64,3	0,299275322	75,5	0,195064232
64,4	0,298424444	75,6	0,194615325
64,5	0,297577317	75,7	0,194168037
64,6	0,296733919	75,8	0,193722359
64,7	0,295894226	75,9	0,193278284
64,8	0,295058218	76	0,192835804
64,9	0,294225872	76,1	0,19239491
65	0,293397166	76,2	0,191955596
65,1	0,292572078	76,3	0,191517853
65,2	0,291750587	76,4	0,191081673
65,3	0,290932673	76,5	0,19064705
65,4	0,290118312	76,6	0,190213974
65,5	0,289307485	76,7	0,189782439
65,6	0,288500171	76,8	0,189352438
65,7	0,287696349	76,9	0,188923962
65,8	0,286895998	77	0,188497004
65,9	0,286099098	77,1	0,188071557
66	0,285305629	77,2	0,187647613
66,1	0,28451557	77,3	0,187225165
66,2	0,283728903	77,4	0,186804206

REFERÊNCIAS

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR (Brasil). CNEN-NN-3.01: Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica. Rio de Janeiro, janeiro/2005, publicada no D.O.U. 06/01/2005, 24 p.

ANDREUCCI, Ricardo. A radiografia industrial – 6ª ed. Janeiro/2003 - Rio de Janeiro, 94 p.

ANDREUCCI, Ricardo. Proteção Radiológica – ed. Julho/2003 - Rio de Janeiro, 104 p.

TAUHATA, Luiz, SALAT, I.P.A., PRINZIO, R.Di., M.A.R.R.Di. Radioproteção e Dosimetria: Fundamentos – 4ª v. junho/2003 – Rio de Janeiro – IRD/CNEN, 242 p.

COMISSÃO DE NORMAS TÉCNICAS (CONTEC). Norma PETROBRAS N-2344: Segurança em trabalho de radiografia industrial. [Rio de Janeiro], 2006. Revisão A.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR (Brasil). CNEN-NN-6.04: Funcionamento de Serviços de Radiografia Industrial, Rio de Janeiro, dezembro/1998, publicada no D.O.U. 26/01/1989, 37 p.

GLOSSÁRIO

As definições a seguir relacionadas foram extraídas da CNEN-NN-3.01 - Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica. Rio de Janeiro, janeiro/2005, Resolução N° 27, publicada no D.O.U. 06/01/2005, 24 p.

1. **Área controlada** - área sujeita as regras especiais de proteção e segurança, com a finalidade de controlar as exposições normais, prevenir a disseminação de contaminação radioativa e prevenir ou limitar a amplitude das exposições potenciais.
2. **Área livre** - qualquer área que não seja classificada como área controlada ou área supervisionada.
3. **Área supervisionada** - área para a qual as condições de exposição ocupacional são mantidas sob supervisão, mesmo que medidas de proteção e segurança específicas não sejam normalmente necessárias.
4. **Atividade** (de uma quantidade de radionuclídeo em um determinado estado de energia em um instante de tempo) – grandeza definida por $A = dN/dt$, onde dN é o valor esperado do número de transições nucleares espontâneas daquele estado de energia no intervalo de tempo dt . A unidade no sistema internacional é o recíproco do segundo (s^{-1}), denominada becquerel (Bq).
5. **CNEN** – Comissão Nacional de Energia Nuclear.
6. **Controle da Qualidade** - ações da garantia da qualidade que proporcionam meios para medir e controlar as características de uma estrutura, sistema, componente, processo ou instalação, de acordo com os requisitos estabelecidos.
7. **Dose** - dose absorvida, dose efetiva, dose equivalente ou dose comprometida, dependendo do contexto.

19. **Intervenção** – toda ação adotada com o objetivo de reduzir ou evitar a exposição ou a probabilidade de exposição a fontes que não façam parte de uma prática controlada, ou que estejam fora de controle em consequência de um acidente, terrorismo ou sabotagem.

20. **IOE** – (Indivíduo Ocupacionalmente Exposto) – indivíduo sujeito à exposição ocupacional.

21. **Monitoração** - medição de grandezas e parâmetros para fins de controle ou de avaliação da exposição à radiação, incluindo a interpretação dos resultados.

22. **Prática** – toda atividade humana que introduz fontes de exposição ou vias de exposição adicionais ou estende a exposição a mais pessoas, ou modifica o conjunto de vias de exposição devida a fontes existentes, de forma a aumentar a probabilidade de exposição de pessoas ou o número de pessoas expostas.

23. **Proteção radiológica** ou **Radioproteção** – conjunto de medidas que visam a proteger o ser humano e seus descendentes contra possíveis efeitos indesejados causados pela radiação ionizante.

24. **Radiação ionizante** ou **Radiação** - qualquer partícula ou radiação eletromagnética que, ao interagir com a matéria, ioniza seus átomos ou moléculas.

25. **Restrição de dose** – valor inferior ao limite de dose estabelecido pela CNEN como uma restrição prospectiva nas doses individuais relacionadas a uma determinada fonte de radiação ionizante, utilizado como limite superior no processo de otimização relativo a essa fonte.

26. **Serviço de proteção radiológica** – estrutura constituída especificamente com vistas à execução e manutenção do plano de proteção radiológica de uma instalação. Esta denominação não tem caráter obrigatório.