

HERNANI SILVA MARRONE

AVALIAÇÃO DAS DEFESAS DE SEGURANÇA NA OPERAÇÃO DE RAIOS-X EM
UMA OFICINA DE REPAROS DE PEÇAS AERONÁUTICAS

São Paulo

2021

HERNANI SILVA MARRONE

Versão Original

AVALIAÇÃO DAS DEFESAS DE SEGURANÇA NA OPERAÇÃO DE RAIOS-X EM
UMA OFICINA DE REPAROS DE PEÇAS AERONÁUTICAS

Monografia apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para a
obtenção do título de Especialista em
Higiene Ocupacional

São Paulo

2021

Dedico este trabalho a minha família, em especial a minha esposa pelo incentivo, e compreensão das horas de estudo que se fizeram necessárias.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus pela saúde, disposição, proteção e sabedoria para realização desta especialização.

Agradeço aos meus pais pela vida, valores, educação, oportunidades e apoio incondicional em todas as minhas iniciativas nesta existência.

A minha família, em especial a minha esposa pelo incentivo, apoio e compreensão pelas horas de estudo que tive que abdicar do tempo de convivência familiar.

Aos professores e docentes da Escola Politécnica da USP pelos conhecimentos e experiência compartilhados.

A empresa a qual trabalho que cedeu informações, e serviu como estudo de caso para o desenvolvimento do presente trabalho.

RESUMO

Marrone, Hernani Silva. **Avaliação das Defesas de Segurança na Operação de Raios-X em um Oficina de Reparos de Peças Aeronáuticas**, 2021. 66 f. Monografia (Especialização em Higiene Ocupacional) – Programa de Educação Continuada, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021.

Na área industrial a utilização de raios-X tem inúmeras aplicações, entre elas a radiografia industrial é uma das mais utilizadas. É sabido que altas doses de radiação ionizante podem danificar o tecido humano, e alguns desses malefícios foram reportados após a descoberta dos raios-X. Neste trabalho procurou-se avaliar as medidas de segurança implementadas em uma unidade de radiografia industrial de uma oficina especializada em reparos de peças aeronáuticas, cuja operação é realizada através de equipamentos de raios-X. O trabalho foi elaborado através de avaliações qualitativas e quantitativas. Realizou-se as análises qualitativas através das inspeções do local de trabalho, verificação da documentação e procedimentos da empresa, entrevistas com os colaboradores, observação dos riscos presentes e respectivas medidas de controle implementadas, e pesquisas bibliográficas sobre o tema. Para a avaliação quantitativa, utilizou-se os dados monitorados pela empresa referentes aos medidores de radiação individuais e fixos nas áreas. Utilizou-se as normas da CNEN como premissa para verificação de atendimento das avaliações realizadas. Com o desenvolvimento do trabalho, verificou-se que os resultados apresentados foram eficazes para demonstrar que unidade de radiografia industrial avaliada está em conformidade com os requisitos normativos da CNEN, e possui os riscos de exposição à radiação gerenciados. Conclui-se por este trabalho que esta unidade de radiografia industrial possui defesas de segurança robustas para assegurar a continuidade da operação, e com os riscos de exposição à radiação gerenciados para os indivíduos ocupacionalmente expostos e o público em geral.

Palavras-chave: Raios-X. Radiografia Industrial. Radiação Ionizante. CNEN. Defesas de segurança.

ABSTRACT

Marrone, Hernani Silva. **Evaluation of Safety Defenses in the X-Ray Operation in an Aeronautical Parts Repair Shop**, 2021. 66 f. Monografia (Especialização em Higiene Ocupacional) – Programa de Educação Continuada, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021.

In the industrial area, the use of X-rays has numerous applications, including industrial radiography is one of the most used. It is known that high doses of ionizing radiation can damage human tissue, and some of these harms were reported after the discovery of X-rays. In this work, it was evaluated the safety measures implemented in an industrial radiography unit of a workshop specialized in repairing aeronautical parts, whose operation is carried out using X-ray Equipment The work was elaborated through qualitative and quantitative evaluations. Qualitative analyzes were carried out through inspections of the workplace, verification of the company's documentation and procedures, interviews with employees, observation of the risks present and respective control measures implemented, and bibliographic research on the subject. For the quantitative evaluation, it was used the data monitored by the company referring to individual and fixed radiation meters in the areas. The CNEN standards were used as a premise for verifying compliance with the evaluations carried out. With the development of the work, it was found that the results presented were effective in demonstrating that the evaluated industrial radiography unit is in compliance with the CNEN normative requirements, and the radiation exposure risks has been managed. It can be concluded from this work that this industrial radiography unit has robust safety defenses to ensure the continuity of the operation, and with the risks of exposure to radiation managed for occupationally exposed individuals and the general public.

Palavras-chave: X-rays. Industrial Radiography. Ionizing Radiation. CNEN. Safety Defenses.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Técnica geral de ensaio radiográfico na industrial.....	19
Figura 2 - Ilustração da frenagem dos elétrons e formação dos raios-X.....	20
Figura 3 - Operação equipamento de raio-X – Isovolt Titan E.....	22
Figura 4 - Operação equipamento de raio-X – Isovolt Titan.....	22
Figura 5 - Layout da localização dos bunkers 1 e 2.....	23
Figura 6 - Ilustração controle de segurança por blindagem.....	29
Figura 7 - Medidor de radiação individual.....	40
Figura 8 - Monitor de radiação de área.....	42
Figura 9 - Fonte-teste de Cs-137.....	42
Figura 10 - Sinalização no portão de acesso aos bunkers	45
Figura 11 - Sinalização no portão de acesso aos bunkers com risco de radiação por raios-X	45
Figura 12 - Sinalização de advertência sobre a operação dos bunkers.....	46
Figura 13 - Sinalização de advertência sobre a operação dos equipamentos de raios-X	47
Figura 14 - Sistema de intertravamento do bunker número 2.....	47
Figura 15 - Sistema de intertravamento do bunker número 1.....	48
Figura 16 - Medidor de radiação permanente sobre a porta do bunker 2.....	48
Figura 17 - Medidor de radiação permanente sobre a porta do bunker 1.....	49
Figura 18 - Botão de emergência localizada dentro do bunker 1.....	49
Figura 19 - Botão de emergência da unidade de radiografia industrial.....	50
Figura 20 - Blindagem da porta e paredes no bunker 1.....	51
Figura 21 - Layout com a classificação de áreas da unidade de radiografia industrial	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Limites de Doses Anuais	43
Tabela 2 - Dosimetria individual: Período de uso dos dosímetros – dezembro 2020	52
Tabela 3 - Dosimetria individual: Período de uso dos dosímetros – janeiro 2021.....	53
Tabela 4 - Amostra com resultados dos monitoramentos de área.....	55
Tabela 5 - Controle radiométrico bunker 1.....	56
Tabela 6 - Controle radiométrico bunker 2.....	56

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	16
1.1 OBJETIVO.....	17
1.2 JUSTIFICATIVA.....	17
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	18
2.1 RADIOLOGIA INDUSTRIAL.....	18
2.2 RADIAÇÃO IONIZANTE	19
2.3 RAIOS-X.....	20
2.4 EQUIPAMENTOS DE RAIOS-X.....	21
2.4.1 Descritivo das instalações de radiografia industrial.....	23
2.5 AVALIAÇÃO DOS REQUISITOS DE SEGURANÇA.....	23
2.5.1 Avaliação das defesas de engenharia	24
2.5.1.1 Sinalização	25
2.5.1.2 Intertravamentos de segurança na porta do bunker	25
2.5.1.3 Botoeira de Emergência	26
2.5.1.4 Medidor de Radiação Permanente	27
2.5.1.5 Medidores individuais.....	28
2.5.1.6 Blindagem.....	28
2.5.1.7 Controle Radiométrico das Instalações.....	29
2.5.2 Avaliação das defesas administrativas.....	30
2.5.2.1 Elementos básicos de radioproteção.....	30
2.5.2.2 Qualificação dos Profissionais do Serviço de Radioproteção.....	31
2.5.2.3 Estrutura organizacional, atribuições e reponsabilidades.....	31
2.5.2.4 Controle Médico.....	31
2.5.2.5 Controle de documentos, registros, arquivos e pessoal.....	32
2.5.2.6 Controle de acesso.....	33
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	34
3.1 DESCRITIVO DA EMPRESA.....	34
3.2 PROCEDIMENTO DA OPERAÇÃO.....	35
3.2.1 Princípios de operação.....	35
3.2.2 Procedimento de segurança.....	36

3.3 POPULAÇÃO AVALIADA	38
3.4 MÉTODOS QUALITATIVOS	38
3.5 MÉTODOS QUANTITATIVOS	38
3.5.1 Equipamentos de monitoração.....	39
3.5.2.1 Medidor de radiação portátil.....	40
3.5.2.2 Monitor de Área.....	41
3.5.2 LIMITES DE DOSES.....	42
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	45
4.1 SINALIZAÇÃO E DISPOSITIVOS DE SEGURANÇA.....	45
4.2 MONITORAÇÃO QUANTITATIVA DE RADIAÇÃO.....	51
4.2.1 Medidores individuais de radiação	52
4.2.2 Medidores permanentes de áreas	54
4.2.2.1 Controle radiométrico	55
4.3 QUALIFICAÇÃO E TREINAMENTO DOS PROFISSIONAIS DO SERVIÇO DE RADIOPROTEÇÃO.....	57
4.3.1 Qualificação dos Profissionais do Serviço de Radioproteção.....	57
4.3.2 Treinamento dos Profissionais do Serviço de Radioproteção.....	58
4.4 ESTRUTURA ORGANIZACIONAL, ATRIBUIÇÕES E RESPONSABILIDADES.....	59
4.5 CONTROLE MÉDICO.....	59
4.6 CONTROLE DE DOCUMENTOS, REGISTROS, ARQUIVOS E PESSOAL...	60
4.7 CONTROLE DE ACESSO.....	61
4.7.1 Controle de edificação do órgão de radiografia industrial.....	61
5 CONCLUSÕES.....	63
REFERÊNCIAS.....	64

1 INTRODUÇÃO

Atualmente as radiações ionizantes têm sido aplicadas de diversas formas em benefício do homem e da sociedade. Estas aplicações abrangem a medicina, indústria, ensino e pesquisa científica, e para isso são utilizadas diferentes fontes radioativas bem como fontes emissoras de radiação ionizante como equipamentos de raios-X (UFRGS, 2006, pág 70). Na área industrial os raios-X tem inúmeras aplicações desde técnicas de radiografia industrial até técnicas analíticas para obter elementos presentes numa amostra, medidas de espessuras de revestimentos e determinação de líquidos em latas (UFRGS, 2006, pág 72).

Apesar de todos os benefícios para o homem e a sociedade, é sabido que altas doses de radiação ionizante podem danificar o tecido humano, e alguns desses malefícios foram reportados após a descoberta dos raios-X. (UFRGS, 2006, pág 39). Atualmente existem um conjunto de normas aprovadas pela Comissão Nacional de Energia Nuclear, CNEN, que visam justamente estabelecer as diretrizes básicas de radioproteção contra os danos oriundos da radiação (UFRGS, 2006, pág 40). Neste contexto, o presente trabalho tem por finalidade avaliar se as medidas de segurança em uma unidade de radiografia industrial aplicado em uma oficina especializada em reparos de peças aeronáuticas estão em conformidade com as atuais normas da CNEN NN 3.01 – Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica e CNEN NN 6.04 – Requisitos de Segurança e Proteção Radiológica para Serviços de Radiografia Industrial que controlam e estabelecem parâmetros para este tipo de atividade, bem como se os trabalhadores expostos estão desempenhando suas atividades com os riscos gerenciados.

Adicionalmente, a CNEN com certa frequência realiza inspeções nesta unidade de raios-X para as renovações de licenças de operação conforme norma CNEN NN 6.02. Assim os controles e defesas de segurança de engenharia, medidas administrativas e pessoal devem ser implementados (USP, 2021) para assegurar um ambiente com riscos ocupacionais gerenciados, e o pleno atendimento das normas da CNEN visando a continuidade da operação.

1.1 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é o de avaliar as medidas de segurança implementadas em uma unidade de radiografia industrial, cuja operação é realizada através de equipamentos de raios-X em uma oficina especializada em reparos de peças aeronáuticas. As normas de referência aplicáveis para este estudo de caso são as normas CNEN NN 3.01 e CNEN NN 6.04 que estabelecem os limites de tolerância, os princípios, as obrigações e controles básicos para a proteção do homem e do seu meio ambiente contra possíveis efeitos indevidos causados pela radiação ionizante preconizados pela NR15 anexo 5 – RADIAÇÕES IONIZANTES. Ao final do estudo estão previstas recomendações adicionais para as adequações que se fizerem necessárias.

Com isso espera-se ao final deste trabalho que todas as defesas de segurança sejam verificadas e testadas, de forma a assegurar uma operação com os riscos de exposição ocupacionais relativas à radiação gerenciados, e ao mesmo tempo garantindo a continuidade da operação da radiografia industrial neste estabelecimento através do atendimento dos requerimentos da CNEN.

1.2 JUSTIFICATIVA

No processo de reparos de peças aeronáuticas existem inúmeros riscos físicos, químicos, biológicos e ergonômicos, mas este tipo de risco relacionado à exposição da radiação ionizante merece uma atenção especial. Como Engenheiro de Segurança do Trabalho tenho a preocupação se de fato estamos com todas as medidas de segurança implementadas funcionando adequadamente, não somente para atendimento da legislação vigente, mas também para a proteção dos trabalhadores expostos.

O interesse neste tema tem origem também na necessidade de um aprofundamento do conhecimento sobre os riscos relacionados a radiação ionizante, de forma que a Engenharia de Segurança do Trabalho possa contribuir com mais efetividade junto aos responsáveis e usuários da unidade de raios-X através de sugestões e melhorias para o gerenciamento de risco.

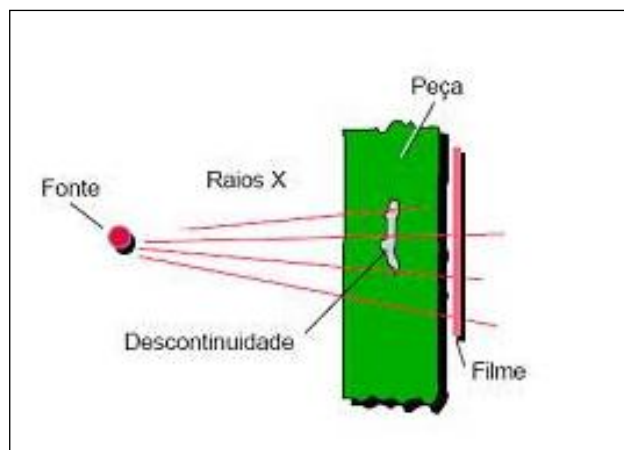
2 REVISÃO DA LITERATURA

Para o reparo e revisão de motores e peças aeronáuticas é necessário a execução de ensaios não destrutivos com a finalidade de detectar a descontinuidade nas peças dos motores. A inspeção radiográfica é um dos serviços mais utilizadas na revisão e reparo de peças, sendo requerida pelos diversos fabricantes dos motores aeronáuticos (Plano de Proteção Radiológica da empresa, 2021).

2.1 RADIOLOGIA INDUSTRIAL

De acordo com Oliveira, Luciano Santa Rita (2003), a radiografia é um método usado para inspeção não destrutiva que se baseia na absorção diferenciada da radiação penetrante pela peça que está sendo inspecionada. Devido às diferenças na densidade e variações na espessura do material, ou mesmo diferenças nas características de absorção causadas por variações na composição do material, diferentes regiões de uma peça absorverão quantidades diferentes da radiação penetrante. Essa absorção diferenciada da radiação poderá ser detectada através de um filme, ou através de um tubo de imagem ou mesmo medida por detectores eletrônicos de radiação. Essa variação na quantidade de radiação absorvida, detectada através de um meio, irá nos indicar, entre outras coisas, a existência de uma falha interna ou defeito no material. Assim através dos filmes radiográficos podem ser detectados eventuais defeitos nas peças ou soldas que estão sendo inspecionados, e dependendo do resultado as peças são encaminhadas para reparos até que as especificações dos clientes sejam atendidas. A figura 01 aborda a técnica geral de ensaio radiográfico industrial.

Figura 1 – Técnica geral de ensaio radiográfico na indústria



Fonte: Oliveira (2003)

2.2 RADIAÇÃO IONIZANTE

As radiações ionizantes existem no Planeta Terra desde a sua origem, sendo portanto, um fenômeno natural. No início, as taxas de exposição a estas radiações eram certamente incompatíveis com a vida. Com o passar do tempo, os átomos radioativos, instáveis, foram evoluindo para configurações cada vez mais estáveis, através da liberação do excesso de energia armazenada nos seus núcleos. Pelas suas propriedades esta energia é capaz de interagir com a matéria, arrancando elétrons de seus átomos (ionização) e modificando as moléculas (CNEN - Apostila educativa Radiações Ionizantes e a Vida, 2020, pág. 3). A classificação da energia como ionizante está relacionada com sua capacidade de ionização em sistemas biológicos com potencial de ionização entre 12,4 e 15eV (Universidade de São Paulo, 2020).

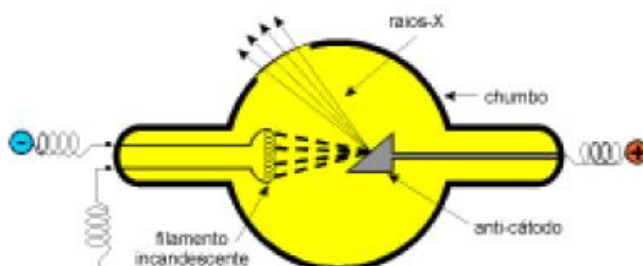
No final do século XIX, com a utilização das radiações ionizantes em benefício do homem, logo seus efeitos na saúde humana tornaram-se evidentes. Ao longo da história, estes efeitos foram identificados e descritos, principalmente, a partir de situações nas quais o homem encontrava-se exposto de forma aguda (acidentes e uso médico) (CNEN - Apostila educativa Radiações Ionizantes e a Vida, 2020, pág. 3). Assim cada vez mais este tipo de energia e seus efeitos biológicos tem sido estudado para propiciar o entendimento das medidas eficazes na proteção das pessoas expostas.

As radiações ionizantes podem ser geradas em equipamentos eletrônicos, emitidas por materiais radioativos ou como resultado de reações nucleares. Nos equipamentos eletrônicos a desaceleração de feixe de elétrons por um alvo resulta na emissão de radiação eletromagnética, conhecida como radiação de frenamento ou raios-X (Universidade de São Paulo, 2020). Este trabalho aborda a radiação ionizante gerada através dos equipamentos de raio-X, bem como as medidas de controle necessárias para mitigação dos respectivos riscos

2.3 RAIOS-X

Os raios-X são emitidos quando elétrons, acelerados por alta voltagem, são lançados contra átomos e sofrem frenagem, perdendo energia. Não têm, pois, origem no núcleo do átomo (CNEN – Apostila educativa Aplicações da Energia Nuclear, 2020, pág. 15), desta forma os raios-x não tem origem na energia nuclear, e sua intensidade é proporcional à voltagem da operação, e intensidade do feixe de acordo com a corrente e à voltagem.

Figura 2 – Ilustração da frenagem dos elétrons e formação dos raios-X



Fonte: CNEN (2020)

A tensão de um aparelho de raios-X, dada em Kv, refere-se à diferença de potencial entre o anodo e catodo, sendo a corrente contínua gerada no tubo expressa em mA (UFRGS, 2006, pág 62).

Como os raios-X são emitidos em todas as direções a partir do alvo, o tubo é envolvido por uma blindagem, denominada blindagem de cabeçote, sendo esta provida de uma pequena janela por onde os fótons podem escapar para fora do

tubo, constituindo, assim o feixe útil (UFRGS, 2006, pág 62). Alguns parâmetros são importantes para determinação e dimensionamento da blindagem dos equipamentos de raios-X, tais como a carga de trabalho, o fator de uso do equipamento e o fator de ocupação.

2.4 EQUIPAMENTOS DE RAIOS-X

A empresa objeto do presente estudo utiliza dois equipamentos do tipo Raios-X industrial, classificados segundo a norma CNEN-NN-6.02 (Licenciamento de Instalações) como do Grupo 7 (Subgrupo 7.B). A instalação possui um bunker para cada equipamento de raios-X visando a execução dos serviços de radiografia industrial em instalações fechadas onde as áreas supervisionadas e controladas são definidas conforme CNEN-NN-3.01. Abaixo a relação de equipamentos de raios-X utilizados:

➤ GE Inspection Technologies

- Modelo: Isovolt Titan E
- Tensão Máxima: 225 kV
- Corrente Máxima: 11 mA
- Número de Série: 890922
- Localização: bunker 1

➤ GE Inspection Technologies

- Modelo: Isovolt Titan
- Tensão Máxima: 320 kV
- Corrente Máxima: 13 mA
- Número de Série: 59-0271
- Localização: bunker 2

A seguir são apresentadas fotos dos equipamentos de raios-X descritos acima:

Figura 3 – Operação equipamento de raio-X – Isovolt Titan E



Fonte: Arquivo pessoal (2021)

Figura 4 – Operação equipamento de raio-X – Isovolt Titan



Fonte: Arquivo pessoal (2021)

2.4.1 Descritivo das instalações de radiografia industrial

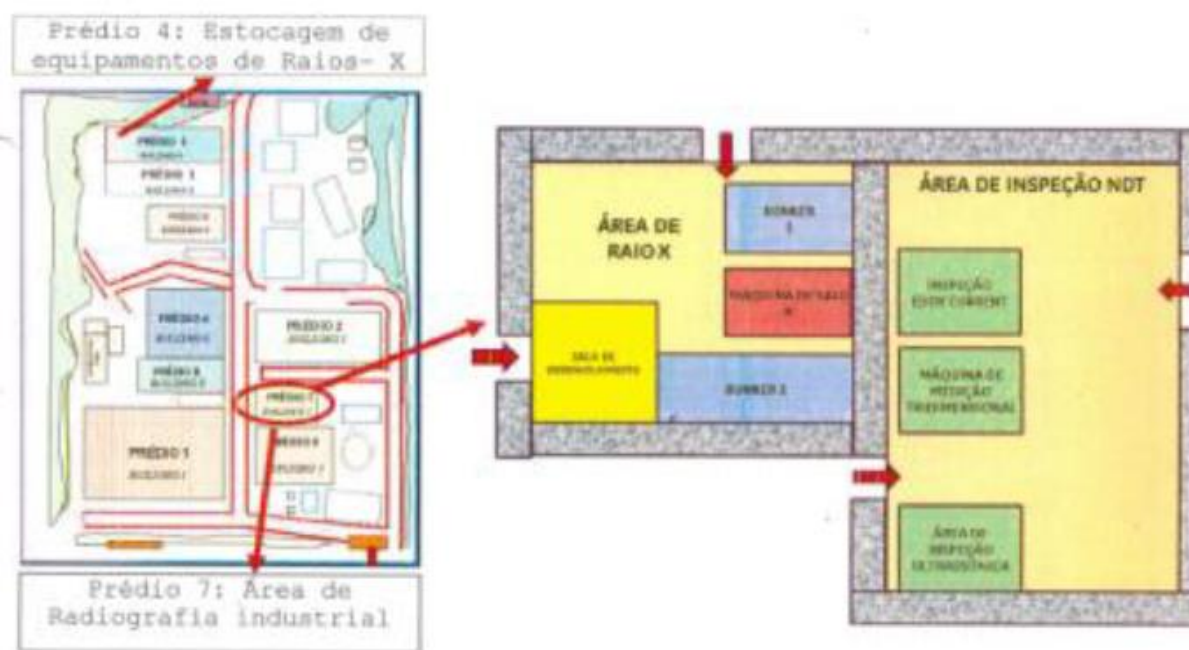
É uma Instalação Fechada, dimensionada para uso dedicado de equipamentos de raios-X industrial. Os dois bunkers estão localizados na área de reparos da empresa e possuem a seguinte denominação:

BUNKER n 1 - Aparelho GE Inspection Technologies Isovolt Titan E

BUNKER n 2 – Aparelho GE Inspection Technologies Isovol Titan

Os Bunkers 1 e 2 localizam-se no prédio industrial 7 e estão dispostos conforme os layouts apresentado na figura 3 abaixo:

Figura 5 – Layout da localização dos bunkers 1 e 2



Fonte: Plano de Proteção Radiológica da empresa (2021)

2.5 AVALIAÇÃO DOS REQUISITOS DE SEGURANÇA

Vários são os tipos de controle da radiação, constituídos usualmente pela limitação das emissões radioativas na sua origem, pela limitação do tempo de exposição ou aumento da distância a fonte emissora (Torreira, 2003, pág 60-62). Para a unidade de radiografia industrial, aspectos qualitativos e quantitativos se

fazem necessários para checar se todas as defesas e medidas de segurança estão funcionando adequadamente, bem como se estão atendendo os requisitos das normas CNEN NN 3.01 e CNEN NN 6.04.

Para realizar a avaliação do processo de radiografia industrial em questão foram consultados o Plano de Proteção Radiológica da empresa, análises quantitativas do programa de monitoração de radiação individual e medidores permanentes instalados nos bunkers, entrevista com os funcionários, e inspeção visual para confirmação das informações coletadas.

2.5.1 Avaliação das defesas de engenharia

Na hierarquia das medidas de segurança, as defesas de engenharia normalmente são as mais fortes e robustas e atuam justamente para mitigar os riscos de falhas humanas. Como exemplo pode-se citar os intertravamentos e automação de processos, monitoramentos para detecção de agentes físicos/químicos, acionamento de sistemas de emergência e sinalizações áudio visuais.

2.5.1.1 Sinalização

Tendo em vista a diversidade dos riscos que podem existir nos estabelecimentos que utilizam materiais radioativos, uma regulamentação da sinalização desses riscos e do balizamento dessas zonas perigosas assume uma importância muito maior do que em outras indústrias (UFRGS, 2006, pág 191).

De acordo com a norma CNEN NN 3.01 no item 5.8.4, as áreas controladas devem estar sinalizadas com o símbolo internacional de radiação ionizante, acompanhando um texto descrevendo o tipo de material, equipamento ou uso relacionado à radiação ionizante. Esta norma também preconiza os cuidados necessários para os visitantes e exposição ao público. A seguir seguem alguns itens retirados da norma CNEN NN 3.01 que foram estudados para a avaliação realizada.

5.12 a) os titulares devem tomar as medidas necessárias para assegurar a proteção radiológica adequada de visitantes a áreas controladas, incluindo informações e instruções apropriadas;

5.14.1 b) os titulares devem estabelecer, implementar e manter medidas para garantir a segurança dessas fontes, tomando todas as medidas necessárias para prevenir falhas e erros que possam resultar em exposição acidental do público, ou para minimizar as suas consequências;

5.14.2) os titulares devem assegurar que as medidas otimizadas, de acordo com os requisitos desta Norma, sejam também apropriadas para restringir a exposição em áreas de acesso público da instalação sob sua responsabilidade.

Os aspectos de sinalização fazem parte do Programa de Proteção Física da empresa, de forma a prevenir o acesso de pessoas não autorizadas nas áreas supervisionadas e controladas da operação de raios-X.

Importante considerar que o tema sinalização está fortemente relacionado com gerenciamento de proteção radiológica previsto na classificação das áreas conforme norma da CNEN NN 3.01 no item 5.8. De acordo com este item da norma, os titulares da empresa devem classificar as áreas de trabalho com radiação ou material radioativo em áreas controladas, áreas supervisionadas ou áreas livres, conforme apropriado.

Os registros gerados bem como avaliação realizada da sinalização e classificação das áreas da empresa podem ser vistos no item de Resultados e Discussões do presente trabalho.

2.5.1.2 Intertravamentos de segurança na porta do bunker

De acordo com Júnior, Ary de Araújo Rodrigues (2014, pág 49), a maior contribuição para a filosofia de segurança para irradiadores gama e para aceleradores de elétrons é fornecida pelo conceito de defesa em profundidade. Esse conceito deve ser aplicado em todas as atividades relacionadas com a segurança, de modo que elas estejam cobertas entre si por uma série de mecanismos. Assim, se ocorrer uma falha, esta poderá ser compensada ou corrigida. O conceito de defesa em profundidade deve ser incorporado durante o projeto, tanto do irradiador como da empresa, de modo a fornecer vários graus de proteção que minimizem a intervenção humana. Por exemplo:

- a) Múltiplos meios para assegurar as funções de segurança básicas.
- b) Integração dos sistemas de segurança.

- c) Ativação automática dos sistemas de segurança por mau funcionamento da instalação e por desvio de procedimento do operador.
- d) Equipamentos e procedimentos para controlar e minimizar as consequências de acidentes.

Esta medida de segurança visa evitar falhas ou erros humanos através do acesso inadvertido ao bunker durante a operação dos raios-X, e está relacionada ao item 5.13.1.3 da norma CNEN NN .01 onde os titulares devem identificar possíveis falhas de equipamento e erros humanos que possam resultar em exposições médicas acidentais, e tomar todas as medidas necessárias para prevenir as falhas e os erros, ou minimizar as suas consequências, incluindo a seleção de procedimentos adequados para a prática, considerando os aspectos de segurança e proteção radiológica.

As observações e registros da avaliação sobre os intertravamentos das portas dos bunkers estão no item de Resultados e Discussões.

2.5.1.3 Botoeira de Emergência

Além de outros meios disponíveis no painel de controle para desligar o irradiador, deve haver um botão de parada de emergência, claramente identificado (Júnior, 2014, pág 62).

Nas Diretrizes Básicas de Proteção Radiológicas da norma CNEN NN 3.01 são citadas várias ações protetoras com o objetivo de reduzir ou evitar doses que poderiam ser recebidas em situações de exposição de emergência. No presente trabalho foram avaliados os dispositivos que podem interromper imediatamente a operação dos raios-X em caso de emergência ou exposição acidental, bem como impedir o funcionamento dos mesmos. As botoeiras de emergência estão localizadas dentro dos bunkers com fácil acesso e visualização, e o acionamento além do corte da energização do equipamento de raios-X também promove a ativação do alarme sonoro e visual.

Os registros identificados desta avaliação constam no item de Resultados e Discussões.

2.5.1.4 Medidor de Radiação Permanente

O controle da radioproteção ocupacional deve ser efetivo, ou seja: as fontes de radiação devem ser adequadamente mantidas sob controle, a proteção física deve ser adequada, os controles de área e de trabalhadores devem ser efetivos e um programa de avaliação frequente dos resultados de monitoração de áreas e de dosimetria individual bem como da adoção de procedimentos apropriados deve ser posto em prática. (UFRGS, 2006, pág 74)

Os monitores de radiação de área utilizados pela empresa são do tipo Geiger-Muller. O detector Geiger-Muller é o mais importante para fins de utilização em proteção radiológica, dado suas características de robustez, estabilidade, portabilidade, leituras com precisão aceitável (+ 20%) e independente de pressão e temperatura (Andreucci, 2019, pág 28).

A norma CNEN NN 3.01 estabelece através do item 5.6 – Verificação de Proteção Radiológica que devem ser realizadas análises relativas à proteção radiológica em todos os estágios envolvidos na operação, e reforça que o titular do empreendimento é o responsável pela monitoração radiológica e medição dos parâmetros necessários para verificar o cumprimento dos requisitos prescritos nesta norma, e deve dispor de procedimentos e instrumentação suficientes e adequados. A instrumentação deve ser corretamente mantida e, quando aplicável, testada e calibrada em intervalos apropriados.

O item 5.9 da norma CNEN NN 3.01 - MONITORAÇÃO INDIVIDUAL, MONITORAÇÃO DE ÁREA E AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL também deixa claro as responsabilidades dos titulares que devem estabelecer e implementar um programa de *monitoração* individual e de área, conforme aplicável, levando-se em conta a natureza e intensidade das *exposições normais e potenciais* previstas.

A verificação deste item foi realizada através das informações consultadas no Plano de Proteção Radiológica da empresa, inspeções visuais nas instalações, plano de calibração dos referidos equipamentos e dados relacionados aos monitoramentos realizados.

Nos itens relacionados com os Métodos, e Resultados e Discussões são apresentadas as informações dos modelos dos equipamentos de monitoração,

dados dos monitoramentos obtidos, e padrões de atendimento perante a norma CNEN

2.5.1.5 Medidores individuais

Os medidores individuais utilizados pela unidade de raios-X avaliada neste trabalho são dosímetros de leitura indireta. Segundo Andreucci, Ricardo (2019, pág 30), São detectores que possuem a propriedade de acumular efeitos físico-químicos proporcionais à quantidade de exposição às radiações recebida, num intervalo de tempo. Desta forma, estes detectores possuem a finalidade de registrar as doses recebidas por trabalhadores, durante um período de tempo. Podem ser do tipo filmes fotográficos (similar ao utilizado pelos dentistas), que enegrecem proporcionalmente à quantidade de radiação recebida, assim como os chamados TLD "Dosímetros Termoluminescentes" que contém um cristal, geralmente sulfato de lítio, que armazena a quantidade de radiação recebida, e libera proporcionalmente esta resposta na forma de fluorescência, quando aquecido na faixa de temperatura de 200 °C.

A monitoração de dose pessoal deve adotar o monitor de bolso com alarme e devem ser utilizados em conjunto com os monitores de radiação portáteis (redundância), e não para substituí-los (Júnior, 2014)

Os itens normativos da CNEN NN 3.01 citados para monitoração de área são também aplicados para monitoração individual.

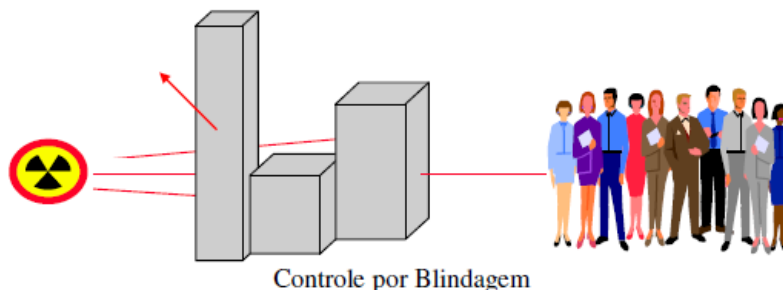
A avaliação deste item também foi baseada nas informações coletadas no Plano de Proteção Radiológica da empresa, dados dos monitoramentos realizados, inspeção dos medidores e plano de calibração dos mesmos. As informações sobre os equipamentos de monitoração utilizados e dados coletados são apresentados respectivamente nos itens de Métodos, Resultados e Discussões.

2.5.1.6 Blindagem

Segundo Andreucci, Ricardo (2019, pág 50) outro modo de se proteger contra as radiações ionizantes, é o uso de blindagem. É um método mais complicado pois envolvem custos mais elevados, áreas para construção, aprovação do projeto pelo

órgão competente, porém é um meio eficaz que permite o trabalho utilizando fontes com altas intensidades de radiação, com um máximo de segurança radiológica.

Figura 6 – Ilustração controle de segurança por blindagem



Fonte: Andreucci (2019)

Os cálculos da blindagem levam em consideração a escolha dos materiais de construção, tanto da instalação em si como da blindagem adicional, calculam-se as espessuras, levando em conta, também, a localização dos equipamentos ou fontes emissoras de radiação, as direções de incidência do feixe, o tempo de operação dos equipamentos ou manuseio das fontes radioativas bem como os fatores de ocupação da instalação e das áreas vizinhas, entre outros aspectos (UFRGS, pág 56).

No item de Resultados e Discussões são discutidos os aspectos da blindagem observados neste trabalho

2.5.1.7 Controle Radiométrico das Instalações

Levantamento radiométrico é o conjunto de medidas realizadas com o objetivo de quantificar o campo de radiação em determinados pontos (Andreucci, 2019).

O controle radiométrico é uma importante verificação para avaliação dos locais mais críticos da instalação no que diz respeito à confiabilidade das estruturas de blindagem. Através de monitoramentos semestrais da radiação consegue-se checar se há fugas de radiação pelas estruturas de blindagens como as paredes e portas dos bunkers. Em caso de necessidade podem ser providenciadas melhorias para atenuação da radiação.

2.5.2 Avaliação das defesas administrativas

Na hierarquia das medidas de segurança, as defesas administrativas estão relacionadas com os procedimentos internos, check-lists, qualificação e treinamento, controle de documentos, programa de inspeções, avaliações de riscos, programa de manutenção preventiva e plano de emergência. As defesas administrativas complementam as defesas de engenharia de forma a possibilitar um processo mais seguro na prevenção da ocorrência de eventos e exposição aos trabalhadores.

Em se tratando de exposição à radiação, a primeira defesa administrativa refere-se ao atendimento dos requisitos básicos de radioproteção, ou seja, que os objetivos da proteção radiológica sejam atendidos para prevenir ou reduzir ao mínimo os danos ao público exposto (Andreucci, 2019).

2.5.2.1 Elementos básicos de radioproteção

De acordo com Andreucci, Ricardo (2019, pág 6), podemos resumir que os objetivos básicos da radioproteção é a manutenção e conservação das condições apropriadamente seguras para as atividades envolvendo exposição humana. Sendo assim, três princípios fundamentais são importantes para consolidar a proteção radiológica: Justificação, Otimização e Limitação de Dose

PRINCÍPIOS DA PROTEÇÃO RADIOLÓGICA:

- ✓ Princípio da Justificação: Nenhuma prática deve ser adotada a menos que sua introdução produza um benefício positivo para a sociedade;
- ✓ Princípio da Otimização: Toda exposição deve ser mantida tão baixa quanto razoavelmente possível levando-se em conta fatores econômicos e sociais;
- ✓ Princípio da Limitação de Dose: As doses equivalentes para os indivíduos do público não devem exceder os limites recomendados para as circunstâncias apropriadas.

2.5.2.2 Qualificação dos Profissionais do Serviço de Radioproteção

A norma CNEN NN 3.01 no item 5.3 – Requisitos Administrativos estabelece os seguintes requisitos para qualificação dos profissionais que atuam em atividades com riscos de exposição à radiação:

5.3.4 - Os titulares devem manter uma estrutura de proteção radiológica dimensionada de acordo com o porte da instalação, conforme estabelecido pela CNEN.

5.3.4.1 - Esta estrutura deve contar com, pelo menos, um indivíduo habilitado pela CNEN como supervisor de proteção radiológica.

5.3.8 - Estabelece que o titular deve submeter à aprovação do CNEN um Plano de Proteção Radiológica.

5.3.8 g) - Exige a função e qualificação dos Indivíduos Ocupacionalmente Expostos (IOE).

5.3.8 m) - Determina a exigência de programas de treinamento específicos para IOE e demais funcionários

Estes requerimentos foram avaliados e constam no item de Resultados e Discussões do presente trabalho.

2.5.2.3 Estrutura organizacional, atribuições e reponsabilidades

O item 5.3.4 da norma CNEN NN 3.01 estabelece que os titulares devem manter uma estrutura de proteção radiológica dimensionada de acordo com o porte da instalação, conforme estabelecido pela CNEN, bem como no item 5.3.8 a) exige a identificação da instalação e da sua estrutura organizacional, com uma definição clara das linhas de responsabilidade e respectivos responsáveis.

2.5.2.4 Controle Médico

De acordo com Torreira, Raul P. (2003, pág 60-62) o controle médico a que devem ser submetidos todos os trabalhadores que desempenham funções relativas ao uso de energia nuclear, deve ser rigoroso, e para isso realizados os seguintes procedimentos: exame pré-admissional, periódico e demissional.

Os itens 5.10 e 5.11 da norma CNEN NN 3.01 estabelecem respectivamente os requisitos de saúde ocupacional e seus registros.

2.5.2.5 Controle de documentos, registros, arquivos e pessoal

De acordo com a norma CNEN NN 3.01, a manutenção dos registros de documentos ocupacionais e da operação da unidade devem seguir os requerimentos conforme itens a seguir:

5.11.1 - Os titulares e empregadores devem manter registros de exposição para cada IOE, incluindo informações sobre:

- a) a natureza geral do trabalho;
- b) as doses e as incorporações, quando iguais ou superiores aos níveis de registro pertinentes; e
- c) os dados e modelos que serviram de base para as avaliações de dose.

5.11.2 - Se os IOE estiverem envolvidos em atividades que levem, ou possam levar, à exposição a uma fonte que não esteja sob controle do seu empregador, o titular responsável pela fonte deve fornecer ao IOE e ao seu empregador os registros de dose referentes ao período de realização dessas atividades.

5.11.3 - Empregadores e titulares devem dar acesso e informar aos IOE os dados dos seus registros de dose, bem como fornecer cópia do histórico de dose quando solicitado pelo IOE.

5.11.4 - Se o empregador ou o titular cessar a sua atividade envolvendo exposição dos IOE, deve providenciar meios para a guarda dos registros de doses anuais dos IOE em um órgão de registro oficial e comunicar esse fato à CNEN.

5.11.5 - Os registros de dose para cada IOE devem ser preservados durante o período ativo do indivíduo. Esses registros devem ser preservados até os IOE atingirem a idade de 75 anos, e pelo menos por 30 anos após o término de sua ocupação, mesmo que já falecido.

Para situações de emergência, o requisito abaixo também é aplicável.

6.3.7 - Devem ser mantidos registros de todas as avaliações, bem como dos resultados de monitoração das equipes de intervenção, dos indivíduos do público e do meio ambiente.

Para verificação da proteção radiológica a manutenção dos registros também é necessária:

5.6.4 - O titular deve manter registros dos resultados das monitorações e da verificação do cumprimento dos requisitos pertinentes, incluindo os registros dos testes e calibrações, de acordo com o especificado no Plano de Proteção Radiológica.

2.5.2.6 Controle de Acesso

Para fins de gerenciamento da proteção radiológica, os titulares devem classificar as áreas de trabalho com radiação ou material radioativo em áreas controladas, áreas supervisionadas ou áreas livres, conforme apropriado (CNEN NN 3.01, 2014). O item 5.8 da norma CNEN NN 3.01 detalha e especifica este requerimento.

Um sistema de proteção física das instalações deve ser considerado e implementado visando maior segurança e proteção para os indivíduos ocupacionalmente expostos e público em geral (Andreucci, 2019).

A avaliação do Plano de Proteção Radiológica da empresa, e as defesas de segurança relacionadas com o controle de acesso e proteção física aos bunkers constam no item de Resultados e Discussões.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para elaboração deste trabalho, foram realizadas avaliações qualitativas através das inspeções do local de trabalho, verificação da documentação e procedimentos da empresa, entrevistas com os colaboradores, observação dos riscos presentes e respectivas medidas de controle implementadas, e pesquisas bibliográficas sobre o tema. Para a avaliação quantitativa foram utilizados os dados monitorados pela empresa referentes aos medidores de radiação individuais e fixos nas áreas.

Todas as avaliações tiveram como premissa a comparação e verificação com os parâmetros e requerimentos das normas CNEN NN 3.01 e CNEN NN 6.04.

Para melhor desenvolvimento e compreensão do trabalho, as defesas de segurança foram divididas em defesas de engenharia e administrativas possibilitando assim fazer uma avaliação mais efetiva das defesas implementadas considerando a hierarquia de defesas. As avaliações realizadas considerando a hierarquia de defesas também possibilitaram verificar o cumprimento de requerimentos que são mais críticos e que poderiam colocar em risco os indivíduos potencialmente expostos e o público em geral. Estas defesas estão relacionadas com os controles de acessos aos bunkers durante a operação, e dispositivos que podem parar automaticamente o processo em caso de uma potencial exposição inadvertida ou accidental.

3.1 DESCRITIVO DA EMPRESA

A empresa está sediada em Petrópolis/RJ, e ocupa uma área de 125000 metros quadrados, sendo aproximadamente 35000 metros quadrados dedicados para oficinas, administração e serviços auxiliares. A empresa realiza serviços de revisão de reparos de alta tecnologia em motores aeronáuticos, incluindo vários tipos de acessórios de motores e aeronaves tais como unidades controladoras de combustível, geradores, bombas de combustível, válvulas pneumáticas e hidráulicas e unidades eletrônicas de controle.

O processo de radiografia industrial de raios-X é utilizado pela área de reparos de componentes na inspeção de componentes de motores aeronáuticos quanto a

descontinuidades. Conforme exposto no item 2.4.1 relacionado ao descritivo das instalações de radiografia industrial, a empresa possui uma instalação fechada, dimensionada para uso dedicado de equipamentos de raios-X industrial com dois bunkers localizados na área de reparos da empresa com as seguintes denominações:

- BUNKER n 1 - Aparelho GE Inspection Technologies Isovolt Titan E
- BUNKER n 2 – Aparelho GE Inspection Technologies Isovol Titan

Ambos os bunkers localizam-se no prédio industrial 7 da empresa.

3.2 PROCEDIMENTO DE OPERAÇÃO

Para avaliação dos requisitos de segurança da operação de raios-X da empresa através dos métodos qualitativos e quantitativos, foi necessário inicialmente conhecer e estudar os princípios da operação do raio-X e o procedimento de segurança desta unidade. Os conhecimentos dos princípios da operação bem como do procedimento de segurança fizeram parte dos métodos utilizados para um melhor embasamento das avaliações e discussões deste trabalho. Assim foi possível também verificar e complementar estas informações através das entrevistas com os indivíduos ocupacionalmente expostos e documentos relacionados.

3.2.1 Princípios de operação

Segue um sumário com o descritivo dos princípios de operação da radiografia industrial da empresa pesquisado a partir do Plano de Proteção Radiológica da empresa:

- Ao ligar o equipamento uma corrente da ordem de miliamperes passa pelo filamento do cátodo, o que faz com que ele se aqueça e passe a emitir elétrons (efeito termiônico). Através do circuito de alta tensão, aplica-se uma diferença de potencial entre o eletrodo e o cátodo. Sendo os elétrons dotados de carga negativa,

estes sofrem repulsão pelo cátodo sendo atraídos pelo ânodo, para o qual se deslocam com velocidade crescente.

- Da corrente do filamento depende, em proporção direta, o fluxo de elétrons que se desloca entre o cátodo e ânodo.
- Quanto maior a voltagem aplicada entre o ânodo e cátodo, maior é a energia dos elétrons e também a velocidade com que estes se chocam contra o alvo, sendo então desacelerados e produzindo um feixe de raios-X.
- Antes de operar o equipamento o operador deve tomar as medidas apropriadas, com particular atenção aos dispositivos de segurança, tais como:
 - ✓ Dosímetros;
 - ✓ Medidores de radiação;
 - ✓ Sistema de alarme;
 - ✓ Isolamento;
 - ✓ Sinalização;

3.2.2 Procedimento de segurança

Da mesma forma que o item anterior, o procedimento de segurança foi obtido e avaliado considerando o Plano de Proteção Radiológica da empresa. A seguir seguem os itens principais deste procedimento:

- Realizar o teste nos dispositivos de segurança, luminosos e sonoros com acionamento manual (simulação);
- Realizar o teste dos medidores de radiação na fonte-teste, registrando em formulário os resultados.
- Assegurar a posição do feixe primário para baixo;
- Assegurar que todos os comandos de tempo, penetração, KV, mA estejam nas posições mais baixas e/ou off;
- Realizar o pré-aquecimento;
- Fazer a preparação para a radiografia através do preparo do arranjo radiográfico seguindo os passos descritos abaixo com o foco do cabeçote para o chão ou para áreas sem ocupação:

- ✓ Testar dos medidores de radiação na fonte de teste, registrando os resultados quatro vezes por turno;
- ✓ Abrir o portão de acesso à sala blindada;
- ✓ Utilizar a talha para posicionar a peça a ser radiografada;
- ✓ Posicionar os filmes;
- ✓ Ajustar a altura da unidade de Raio-X;
- ✓ Retirar-se da sala e fechar a porta principal;
- ✓ Ajustar os parâmetros conforme FAPs aplicáveis;
- ✓ Realizar o disparo.

Observações complementares de segurança:

- ✓ Somente após as verificações anteriores, o equipamento poderá ser acionado.
 - ✓ Se o equipamento sofrer superaquecimento, se desligará automaticamente, sendo impossível religar antes de esfriar.
 - ✓ Deve haver um cuidado especial no manuseio do instrumental e estrutura do equipamento para evitar choques e quedas.
 - ✓ Optar sempre por exposições curtas com o mínimo de tempo possível.
 - ✓ Não entrar na faixa vermelha enquanto o equipamento estiver funcionando.
 - ✓ Fazer o aquecimento do equipamento pelo menos uma vez no mês se este não estiver em operação.
 - ✓ Nunca deixar a chave de comando no aparelho quando este não estiver em uso
-
- Após a operação da radiografia industrial, deve-se ter cuidado no desligamento/término do trabalho devido ao risco de dano ao equipamento, e prevenção de acidentes futuros.
 - Manutenção preventiva e corretiva dos equipamentos de radiografia executada por uma empresa especializada seguindo os requisitos técnicos do fabricante.
 - Não realizar o transporte de equipamentos sem a devida notificação a CNEN. Em caso de necessidade de transporte, os requisitos previstos em normas específicas da CNEN devem ser atendidos.

3.3 POPULAÇÃO AVALIADA

Para realizar a avaliação das defesas de segurança da operação de raios-X que envolveram tanto os métodos qualitativos como quantitativos, alguns funcionários foram entrevistados e também colaboraram para a coleta de informações.

Este público avaliado foi composto pelos funcionários da unidade de raios-X que conta com dois Supervisores de Radioproteção e quatro Operadores de raios-X qualificados. Adicionalmente o Dept. Médico também foi acionado para colaborar com as informações relacionados ao controle médico.

3.4 MÉTODOS QUALITATIVOS

Conforme mencionado anteriormente, a avaliação das defesas de segurança pelo método qualitativo envolveu entrevistas com os funcionários, coleta de informações, inspeções de campo, observações de procedimentos, check-lists, formulários de controles operacionais e simulados de emergência, bem como documentos relacionados as manutenções preventivas. Esta revisão e avaliação qualitativa teve como premissa se os IOEs possuíam os conhecimentos e estavam o seguindo os procedimentos operacionais visando a operação segura da unidade de raios-X, bem como também se o Plano de Proteção Radiológica da empresa estava alinhado e em cumprimento com os requisitos aplicáveis na norma CNEN NN 3.01 – Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica.

3.5 MÉTODOS QUANTITATIVOS

A empresa possui um programa de monitoração individual e de área que leva em consideração a operação de raios-X e as possíveis exposições rotineiras e potenciais previstas. Todos os indivíduos ocupacionalmente expostos são monitorados e estas informações são utilizadas para avaliação da exposição ocupacional.

O método quantitativo foi baseado na avaliação das informações do programa de monitoração de radiação que ocorre na unidade de raios-X. Este programa

compreende a monitoração individual de cada indivíduo ocupacionalmente exposto, e a monitoração permanente realizada pelos medidores de área.

As doses individuais são monitoradas ao longo de um mês e são enviadas para laboratório externo realizar a medição das doses referentes a aquele período determinado. Ao longo do ano são calculadas as doses acumuladas de acordo com os resultados mensais obtidos. Neste trabalho foram obtidas doses individuais referente a dois períodos com o objetivo de comparação aos limites de referência aprovados pela CNEN. Estes níveis operacionais levam em conta os níveis de referência que incluem níveis de registro, níveis de investigação, níveis de ação e níveis de intervenção (CNEN NN 3.01, 2014).

Os monitoramentos permanentes realizados pelos equipamentos de medição de radiação fazem a leitura direta das radiações nas áreas em volta dos bunkers onde é verificado se não há fuga de radiação, se as proteções e blindagens estão funcionando adequadamente. Estes monitoramentos ocorrem diariamente como rotina operacional durante os trabalhos de radiografia industrial. Neste trabalho foram obtidas informações de alguns monitoramentos realizados por estes equipamentos que serviram como amostra para compor a avaliação quantitativa deste trabalho.

Adicionalmente a unidade de raios-X avaliada conta com um controle radiométrico, onde semestralmente são realizadas medições de radiação para avaliação dos locais mais críticos visando maior confiabilidade das estruturas de blindagem. Para o trabalho em questão foram considerados alguns destes monitoramentos na composição da análise quantitativa.

Com essas informações foi possível entender e avaliar se as defesas implementadas para controle dos riscos da operação dos equipamentos de raios-X estavam funcionando de forma efetiva, e assim propiciando as condições seguras para proteção dos indivíduos ocupacionalmente expostos.

Os resultados destas medições estão no item de Resultados e Discussões.

3.5.1 Equipamentos de monitoração

Foi observado que os equipamentos para monitoração de área e das doses individuais passam por um controle de calibração anual.

Abaixo a relação de equipamentos utilizados no programa de monitoração com os respectivos descritivos e objetivos de monitoração:

3.5.2.1 Medidor de radiação portátil

Os dosímetros de leitura indireta são de uso obrigatório para todos os integrantes da equipe de trabalho, e consistem de um dosímetro TLD com identificação e fornecimento e processamento mensal pelo Instituto Paulista de Dosimetria das Radiações. Cada operador de radiografia possui um dosímetro.

- ✓ Marca: Arrow-Tech
 - ✓ Quantidade: 3
 - ✓ Modelo: 3009^a
 - ✓ Descrição: Medidor de radiação portátil capaz de medir taxas de exposição entre 0.1 Mr/h e 1,0 R/h com precisão de 20%
-
- ✓ Marca: Ludlum
 - ✓ Quantidade:1
 - ✓ Modelo: 9-3
 - ✓ Descrição: Medidor de radiação portátil capaz de medir taxas de exposição entre 10 Mr/h e 50,0 R/h com precisão de 20%

Figura 7 – Medidor de radiação individual



Fonte: Arquivo pessoal (2021)

Bip alarme

São utilizados bip alarmes que são medidores de radiação individuais com precisão para detectar exposição de radiação, a fim de assegurar a segurança pessoal do usuário.

- ✓ Quantidade: 4
- ✓ Marca: Rados
- ✓ Modelo: RAD-60 R
- ✓ Descrição: Monitor individual de radiação, faixa de 0 mrem a 999 rem
- ✓ Alarme de dose: 0 mrem a 999 rem
- ✓ Alarme de taxa de exposição: 60 kv a 3000 kv

3.5.2.2 Monitor de Área

Para monitoração de área em operações rotineiras do raio-X é utilizado o dispositivo de detecção de radiação baseado no princípio de ionização de gases tipo Gêiger Muller com faixa de leitura entre 0,1 mR/h e 2 R/h com escala múltipla. São necessários dois equipamentos, sendo um para cada bunker, e mais um reserva. São empregados na monitoração das áreas de trabalho de qualquer tipo de instalação durante a execução de serviços radiográficos e na realização dos levantamentos radiométricos.

- ✓ Marca: Dosimeter
- ✓ Quantidade: 3
- ✓ Modelo: 30963
- ✓ Descritivo: Monitor de radiação permanentemente ligado, com alarme sonoro e visual capaz de leitura entre 0,1 mR/h e 2 R/h e setagem de alarme entre 0,2 mR/h e 2 R/h.

Figura 8 – Monitor de radiação de área



Fonte: Arquivo pessoal (2021)

Fonte teste

Quantidade: 1

Marca: Ludlum

Modelo: Check source

Descrição: Serve para verificar a funcionalidade dos medidores de radiação. Consiste do isótopo de Cs-137 com atividade de 9 micro Ci, diâmetro de 1" e espessura de 0,1".

Figura 9 – Fonte-teste de Cs-137



Fonte: Arquivo pessoal (2021)

3.5.3 LIMITES DE DOSES

A norma de referência para exposição ocupacional é a CNEN NN 3.1, onde segundo o item 5.4.2.1, a exposição normal dos indivíduos deve ser restringida de tal modo que nem a dose efetiva nem a dose equivalente nos órgãos ou tecidos de interesse, causadas pela possível combinação de exposições originadas por práticas autorizadas, excedam o limite de dose especificado na tabela a seguir, salvo em circunstâncias especiais, autorizadas pela CNEN.

Tabela 1 – Limites de Doses Anuais

Limites de Dose Anuais ^[a]			
Grandeza	Órgão	<i>Indivíduo ocupacionalmente exposto</i>	<i>Indivíduo do público</i>
<i>Dose efetiva</i>	Corpo inteiro	20 mSv ^[b]	1 mSv ^[c]
<i>Dose equivalente</i>	Cristalino	20 mSv ^[b] <i>(Alterado pela Resolução CNEN 114/2011)</i>	15 mSv
	Pele ^[d]	500 mSv	50 mSv
	Mãos e pés	500 mSv	---

Fonte: CNEN (2014)

[a] Para fins de controle administrativo efetuado pela CNEN, o termo dose anual deve ser considerado como dose no ano calendário, isto é, no período decorrente de janeiro a dezembro de cada ano.

[b] Média aritmética em 5 anos consecutivos, desde que não exceda 50 mSv em qualquer ano.

[c] Em circunstâncias especiais, a CNEN poderá autorizar um valor de dose efetiva de até 5 mSv em um ano, desde que a dose efetiva média em um período de 5 anos consecutivos, não exceda a 1 mSv por ano.

[d] Valor médio em 1 cm² de área, na região mais irradiada.

É importante ressaltar que no princípio da otimização segundo a norma CNEN NN 3.01 através do item 5.4.3.3, a demonstração de otimização de um sistema de proteção radiológica é dispensável quando o projeto do sistema assegura que, em condições normais de operação, se cumpram as 3 (três) seguintes condições:

- a) a dose efetiva anual média para qualquer IOE não excede 1 mSv;
- b) a dose efetiva anual média para indivíduos do grupo crítico não ultrapassa 10 μ Sv;
- c) a dose efetiva coletiva anual não supera o valor de 1 pessoa.Sv.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi feito um levantamento inicial através de fotos e inspeção do local de trabalho da operação dos equipamentos de raios-X. Através deste levantamento foram verificadas as defesas de segurança relacionadas com a sinalização, dispositivos de segurança e controles de acesso aos bunkers.

4.1 SINALIZAÇÃO E DISPOSITIVOS DE SEGURANÇA

No portão de acesso à área de radiografia industrial existem placas de segurança com a indicação do risco de radiação, bem como de acesso restrito somente para pessoal autorizado.

Figura 10 – Sinalização no portão de acesso aos bunkers



Fonte: Arquivo pessoal (2021)

Figura 11 – Sinalização no portão de acesso aos bunkers com risco de radiação por raios-X



Fonte: Arquivo pessoal (2021)

Após o portão externo que é a primeira barreira física de alerta e proteção para o controle de acesso aos bunkers, há uma sinalização de advertência para acesso ao portão do prédio de radiografia industrial onde ficam localizados os bunkers. Esta sinalização é um alerta sobre a operação nos bunkers:

- Luz vermelha: Não entre
- Luz azul: livre acesso

Figura 12 – Sinalização de advertência sobre a operação dos bunkers



Fonte: Arquivo pessoal (2021)

Adicionalmente na porta de entrada da área de radiografia industrial, há uma redundância com a sinalização luminosa tipo pisca-pisca na cor vermelha, a qual quando a luz vermelha pisca significa que os equipamentos de raios-X estão energizados, e a luz azul permanece acesa quando os equipamentos não estão funcionando. É importante ressaltar que a porta principal de acesso a área de radiografia industrial permanece sempre fechada, e com abertura realizada somente pelo lado de dentro.

Figura 13 – Sinalização de advertência sobre a operação dos equipamentos de raios-X



Fonte: Arquivo Pessoal (2021)

Foi observado que os dois bunkers possuem sensores localizados na parte superior das portas que asseguram o fechamento total das mesmas com o objetivo de mitigar o risco de fuga de radiação. Os sensores também são acionados e sinalizam sonora e visualmente se as portas dos bunkers são abertas com os equipamentos em funcionamento. Neste caso os equipamentos de raios-X têm a alimentação cortada, impedindo o funcionamento e operação dos mesmos.

Figura 14 – Sistema de intertravamento do bunker número 2



Fonte: Plano de Radioproteção da empresa (2021)

Figura 15 – Sistema de intertravamento do bunker número 1



Fonte: Plano de Radioproteção da empresa (2021)

Também foi observado que há uma redundância de segurança em casos que a porta do bunker ficar aberta e o equipamento ser ligado de forma inadvertida. Medidores de radiação permanente localizados na parte superior dos bunkers possuem sinalização sonora e imediatamente são acionados caso ocorra fuga de radiação.

Figura 16 – Medidor de radiação permanente sobre a porta do bunker 2



Fonte: Plano de Radioproteção da empresa (2021)

Figura 17 – Medidor de radiação permanente sobre a porta do bunker 1



Fonte: Plano de Radioproteção da empresa (2021)

Ainda relacionado aos dispositivos de segurança, foram identificadas botoeiras de emergência no interior dos bunkers. Estas botoeiras possuem alarme visual e sonoro, e em caso de acionamento, elas impedem a operação dos equipamentos de raios-X, ou cortam a energia dos mesmos que estiverem em operação. Elas funcionam como defesa de segurança caso algum funcionário da radiografia industrial ou público em geral fique dentro do bunker de forma inadvertida, permitindo assim o desligamento imediato da operação dos equipamentos de raios-X.

Figura 18 – Botoeira de emergência localizada dentro do bunker 1



Fonte: Arquivo Pessoal (2021)

Adicionalmente às botoeiras de emergência internas dos bunkers, há uma botoeira de emergência localizada próximo da saída do prédio de radiografia industrial com fácil visualização e acionamento. Esta pode ser acionada caso ocorra algum tipo de acidente ou incidente dentro do raio-X, e o time da operação necessite de rápido apoio do time de segurança e saúde para avaliar o cenário de risco e realizar rápidas ações. Esta botoeira através do alarme sonoro e visual também tem a função de promover o alerta para a rápida evacuação do prédio

Figura 19 – Botoeira de emergência da unidade de radiografia industrial



Fonte: Plano de Radioproteção da empresa (2021)

Outra importante defesa de segurança observada durante as inspeções de campo foi relacionada à blindagem de radioproteção dos bunkers. Foram confirmadas informações que o projeto civil e arquitetônico atende a legislação vigente, sendo a blindagem de radioproteção nas paredes e portas dos bunkers constituída de:

- ✓ Paredes: tijolos, camada de concreto e camada de chumbo
- ✓ Portas: chapa metálica, estrutura metálica reforçada e camada de chumbo.

A seguir segue registro fotográfico do bunker 1 mostrando exemplo da blindagem aplicada nos bunkers da unidade de radiografia industrial avaliada:

Figura 20 – Blindagem da porta e paredes no bunker 1



Fonte: Arquivo Pessoal (2021)

De acordo com as defesas de segurança avaliadas relacionadas com a sinalização e dispositivos de intertravamentos, pode-se afirmar que a unidade radiografia industrial conta com um robusto e eficaz controle de acesso aos bunkers inclusive com algumas redundâncias, evitando o acesso do público de forma inadvertida. Para os indivíduos ocupacionalmente expostos, os sistemas de intertravamentos das portas dos bunkers realizados por sensores e monitores de radiação permanentes asseguram a parada imediata do equipamento de raio-X evitando uma eventual exposição à radiação.

Importante destacar que os funcionários do raio-X possuem qualificação perante a CNEN e passam por treinamentos periódicos de reciclagem e atualização.

4.2 MONITORAÇÃO QUANTITATIVA DE RADIAÇÃO

Neste item são apresentados os resultados das amostras obtidas referentes ao Programa de Monitoração da empresa que compreende a monitoração dos medidores individuais e permanentes instalados nas áreas, bem como também do controle radiométrico que mede a eficiência da blindagem dos bunkers.

4.2.1 Medidores individuais de radiação

Os monitoramentos de radiação individuais são realizados ao longo de um mês, e os dosímetros são enviados para laboratório externo – Instituto Paulista de Dosimetria das Radiações Ltda (IPDR) para realização das análises. O IPDR emite o Relatório de Doses (dosímetros TLD-Tórax) considerando os valores de dose mensal bem como também a dose anual acumulada no ano calendário até o período de uso. Importante destacar que são monitorados todos os indivíduos ocupacionalmente expostos, e também alguns funcionários que não trabalham rotineiramente na operação dos raios-X, como líderes de área e funcionários da área de reparos da empresa. Todos os registros das medições individuais são arquivados em pastas internas da empresa e utilizados para atendimento dos requerimentos junto a CNEN.

Nas tabelas 2 e 3 a seguir são apresentados os resultados dos monitoramentos individuais no período de uso dos dosímetros de dezembro/2020 e janeiro/2021, com os relatórios de doses emitidos respectivamente em março/2021 e abril/21.

Tabela 2 – Dosimetria individual: Período de uso dos dosímetros – dezembro 2020

ID. Dosímetro	Data Devolução	Dose Mensal	Dose Anual
1922 (padrão de ref.)	27/01/2021	PN	
13939125750	27/01/2021	NR	NR
11567172725	27/01/2021	NR	NR
82992029653	27/01/2021	NR	NR
09874397748	27/01/2021	NR	0,11
14282001771	27/01/2021	NR	NR
02431455785	27/01/2021	NR	NR
04466665770	27/01/2021	NR	0,10
69496790763	27/01/2021	NR	NR
97590282715	27/01/2021	NR	NR
12347946757	27/01/2021	NR	NR

Fonte: Plano de Radioproteção da empresa (2021)

Observações:

- Dosímetros calibrados em Equivalente de Dose Individual na unidade milisievert (mSv)
- Dosímetro usado direto sobre o Tórax
- NR: Dose abaixo do nível de registro (0,10 mSv por mês)
- PN: Dosímetro padrão de referência normal
- O IPDR é certificado pelo IRD/CNEN para monitoração individual externa, de corpo inteiro, GAMA e X.

Tabela 3 – Dosimetria individual: Período de uso dos dosímetros – janeiro 2021

ID. Dosímetro	Data Devolução	Dose Mensal	Dose Anual
1922 (padrão de ref.)	26/02/2021	PN	
13939125750	26/02/2021	NR	NR
11567172725	26/02/2021	NR	NR
82992029653	26/02/2021	NR	NR
09874397748	26/02/2021	NR	NR
14282001771	26/02/2021	qNR	NR
02431455785	26/02/2021	NR	NR
04466665770	26/02/2021	NR	NR
69496790763	26/02/2021	NR	NR
97590282715	26/02/2021	NR	NR
12347946757	26/02/2021	NR	NR

Fonte: Plano de Radioproteção da empresa (2021)

Observações:

- Dosímetros calibrados em Equivalente de Dose Individual na unidade milisievert (mSv)
- Dosímetro usado direto sobre o Tórax
- NR: Dose abaixo do nível de registro (0,10 mSv por mês)
- PN: Dosímetro padrão de referência normal
- O IPDR é certificado pelo IRD/CNEN para monitoração individual externa, de corpo inteiro, GAMA e X.

Considerando os limites de doses da norma CNEN NN .3.01, ou seja, no máximo 20 mSv de dose efetiva anual, e doses equivalentes de 20 mSv e 500 mSv respectivamente para cristalino e pele/mãos/pés, observa-se que todas as doses anuais ficaram abaixo dos limites de doses anuais da norma CNEN, inclusive abaixo de 1mSv para todos os indivíduos ocupacionalmente expostos. Isto assegura

também que o projeto do sistema cumpre os requisitos da CNEN NN 3.01 referente ao princípio de otimização preconizados no item 5.4.3.3, e corrobora adicionalmente que os procedimentos operacionais de segurança e defesas implementadas para evitar exposição ocupacional à radiação estão funcionando adequadamente.

4.2.2 Medidores permanentes de áreas

Os registros das medições realizados pelos medidores de área são feitos utilizando formulários próprios da empresa e são lançados e arquivados em bancos de dados para fins de atendimento dos requisitos da CNEN. Estes monitoramentos ocorrem diariamente durante a rotina operacional, e fazem a detecção de radiação baseado no princípio da ionização de gases tipo Gêiger Muller, com faixa de leitura de 0,1 mR/h a 1R/h. Estes equipamentos de medição fazem a monitoração das áreas de trabalho durante a execução dos serviços radiográficos, bem como na realização dos levantamentos para controle radiométricos. Esta monitoração é realizada para assegurar que as áreas supervisionadas estão seguras sem gerar risco ocupacional para os funcionários que trabalham diretamente na unidade de raios-X.

Para os monitoramentos fixos colocados nas saídas das portas de cada bunker, os registros de monitoramento de radiação somente são realizados em caso de fuga de radiação para acionamento da segurança do sistema. Não há registros destes monitoramentos apontados no histórico de operação dos bunkers desta unidade de radiografia industrial. Para este trabalho foram obtidos dados de amostras para conferência de funcionamento e calibração dos medidores de áreas realizados com a fonte-teste do isótopo de Cs-137. Na tabela 4 a seguir são apresentados os dados amostrais referente ao período de 16 de agosto de 2021:

Tabela 4 – Amostra com resultados dos monitoramentos de área

Localização	Instrumento	Valor (mR/h)
Bunker 1	CL502	1.0
Bunker 2	CL502	1.0
Bunker 2	CL502	1.0
Bunker 1	CL502	1.0
Bunker 1	CL502	1.0
Bunker 2	CL502	1.0
Bunker 1	CL502	1.0

Fonte: Plano de Radioproteção da empresa (2021)

Conforme entrevista com os funcionários da unidade de radiografia industrial, não há registros de fugas de radiação apontados pelos monitoramentos fixos localizados nas saídas de cada bunker. Adicionalmente os monitores de áreas portáteis estão funcionando adequadamente dentro dos valores esperados, ou seja, o valor de 1 mR/h referente a radiação emitida pela fonte-teste de Cs-137.

4.2.2.1 Controle radiométrico

Os controles radiométricos para aferição da eficácia da blindagem são realizados semestralmente em formulário próprio da empresa. Este monitoramento contempla os dois bunkers da unidade de raios-X, e os dados encontrados são arquivados em pastas da empresa para atendimento dos requerimentos da CNEN. Para este trabalho foi obtido através da empresa os dados do controle radiométrico realizado em junho de 2020. Nas tabelas 5 e 6 a seguir são apresentados os resultados do controle radiométrico dos bunkers 1 e 2:

Tabela 5 – Controle radiométrico bunker 1

Tipo de Monitor: Geiger Muller – CL:502, Parâmetros Utilizados: KV:160 mA:15							
Equipamento de Radiografia Industrial: GE Sensing & Inspection Technologies. Isovolt Titan 225M1/10-30						Bunker:	
						1	
L1	Leitura mR/h	L2	Leitura mR/h	L3	Leitura mR/h	L4	Leitura mR/h
1	0.0	1	0.0	1	0.0	1	0.0
2	0.0	2	0.0	2	0.0	2	0.0
3	0.0	3	0.0	3	0.0	3	0.0
4	0.0	4	0.0	4	0.0	4	0.0
5	0.0	5	0.0	5	0.0	5	0.0
6	0.0	6	0.0	6	0.0	6	0.0
7	0.0	7	0.0	7	0.0	7	0.0
8	0.2	8	0.0	8	0.0	8	0.0
9	0.0	9	0.0	9	0.0	9	0.0

Fonte: Plano de Proteção Radiológica da empresa (2021)

Tabela 6 – Controle radiométrico do bunker 2

Tipo de Monitor: Geiger Muller – CL:502, Parâmetros Utilizados: KV:200 mA:20							
Equipamento de Radiografia Industrial: GE Seifert Isovolt Titan, N/S 590271, 320 KV, 13 mA						Bunker:	
						2	
L1	Leitura mR/h	L2	Leitura mR/h	L3	Leitura mR/h	L4	Leitura mR/h
1	0.0	1	0.0	1	0.0	1	0.0
2	0.0	2	0.0	2	0.0	2	0.0
3	0.0	3	0.0	3	0.0	3	0.0
4	0.0	4	0.0	4	0.0	4	0.0
5	0.0	5	0.0	5	0.0	5	0.0
6	0.0	6	0.0	6	0.0	6	0.0
7	0.0	7	0.0	7	0.0	7	0.0
8	0.0	8	0.0	8	0.0	8	0.0
9	0.0	9	0.0	9	0.0	9	0.0

Fonte: Plano de Proteção Radiológica da empresa (2021)

De acordo com os resultados das tabelas 5 e 6, observa-se que não há fuga considerável de radiação. Ou seja, a blindagem projetada para as unidades de radiografia industrial tem funcionado como barreira eficaz para contenção da radiação no interior dos bunkers, assim evitando qualquer risco de exposição ocupacional para os indivíduos ocupacionalmente expostos durante a operação dos equipamentos de raios-X.

4.3 QUALIFICAÇÃO E TREINAMENTO DOS PROFISSIONAIS DO SERVIÇO DE RADIOPROTEÇÃO

4.3.1 Qualificação dos Profissionais do Serviço de Radioproteção

- Supervisor de Radioproteção

Foi avaliado que a unidade de radiografia industrial conta com dois supervisores de radioproteção com nível superior, com cursos de especialização em radioproteção reconhecidos pela CNEN, ambos credenciados pela CNEN, e com experiência profissional em técnicas de radioproteção.

- Operadores de raio-X

Os operadores de raio-X possuem especialização em radioproteção certificados pela CNEN, e tem formação completa no ensino médio.

- Auxiliares de Operadores de raio-X

Os auxiliares de Operador de raio-X possuem também especialização em radioproteção certificados pela CNEN, experiência mínima de 5 anos de trabalho com radiografia industrial, e ensino básico completo. (Plano de Proteção Radiológica da empresa, 2021, pag 50).

Sendo assim, a unidade de radiografia industrial avaliada está em conformidade com o anexo II da norma CNEN NN 6.02 (2020) que solicita no mínimo um supervisor de proteção radiológica para unidades classificadas no Grupo 7B, bem como o anexo I – Requisitos de Capacidade Operacional da norma CNEN NN 6.04 (2013), onde os itens avaliados referentes ao Tipo de Instalação de Operação II são atendidos para os quantitativos solicitados para os indivíduos ocupacionalmente expostos.

4.3.2 Treinamento dos Profissionais do Serviço de Radioproteção

Foi constatado que a unidade de radiografia industrial possui um programa de treinamento admissional para novos funcionários e reciclagem para os atuais funcionários.

Os cursos em nível de Operadores de Radiografia Industrial são executados conforme programação definida pela CNEN, e são realizados internamente ou em entidades externas credenciadas (Plano de Proteção Radiológica da empresa, 2021) O treinamento é desenvolvido atendendo as seguintes condições:

- **Admissional:** tem como objetivo transmitir os fundamentos de radioproteção aos funcionários admitidos para a área de radiografia industrial, de forma a habilitá-los para a execução consciente e segura de suas tarefas. Este treinamento é teórico e prático, e é acompanhado por um operador experiente sendo registrado em formulário próprio da empresa.
- **Reciclagem:** tem como finalidade a atualização e/ou revisão dos conhecimentos adquiridos por ocasião do treinamento admissional, e é ministrado a todos os componentes da equipe de radiografia industrial, sendo obrigatória a participação de todos os membros da equipe radiografia industrial.

Foi verificado de acordo com os registros de treinamentos, e no Plano de Proteção Radiológica da empresa (2021) que este treinamento aborda os seguintes tópicos:

- ✓ Uso de equipamentos medidores de radiação/fontes de radiação /fonte-teste;
- ✓ Udo de filmes dosimétricos;
- ✓ Sistema de segurança;
- ✓ Procedimentos de emergência;
- ✓ EPI/EPC;
- ✓ Exame médico periódico;

- ✓ Plano de proteção radiológica;
- ✓ Assuntos administrativos diversos

Adicionalmente foi verificado que anualmente o Supervisor de Radioproteção conduz treinamentos de reciclagem sobre princípios básicos de radioproteção para os operadores de radiografia industrial (Plano de Proteção Radiológica da empresa, 2021).

Constata-se que desta forma que a unidade de radiografia industrial está atendendo os requisitos da norma CNEN NN 6.04, Seção II sobre a necessidade da elaboração e manutenção de um Programa de Treinamento.

4.4 ESTRUTURA ORGANIZACIONAL, ATRIBUIÇÕES E REPONSABILIDADES

Foi verificado que segundo o Plano de Proteção Radiológica da empresa (2021, pág 40) são estabelecidas as atribuições e responsabilidade de diversos setores da empresa.

De acordo com informações obtidas mencionadas acima, pode-se constatar que a unidade de radiografia industrial atende os requisitos norma CNEN NN 3.01, item 4 que destaca os requerimentos relacionados com as responsabilidades dos titulares e empregadores da empresa.

4.5 CONTROLE MÉDICO

Foi observado que os funcionários da equipe de radiografia industrial são submetidos aos exames médicos admissionais e periódicos de acompanhamento. Assim todos os indivíduos ocupacionalmente expostos da empresa realizam os exames necessários para assegurar a aptidão física para este tipo de atividade.

Foi identificado também que estão previstos critérios para condições de desqualificação na contratação de funcionários. Estes são critérios médicos associados aos riscos que estes indivíduos podem ser expor na unidade de raios-X.

Está previsto no Plano de Radioproteção da empresa (2021) que exames especiais podem ser realizados caso qualquer IOE receber uma dose acidental superior a 10 rem.

Assim o controle médico implantado pela empresa está em conformidade com a norma CNEN NN 3.01 relacionado ao item 5.3 - Requisitos Administrativos, onde o controle médico da unidade de radiografia industrial faz parte do Plano de Proteção Radiológica da empresa.

4.6 CONTROLE DE DOCUMENTOS, REGISTROS, ARQUIVOS E PESSOAL

Foi verificado que todos os documentos, formulários ou quaisquer registros de controles administrativos são arquivados na própria unidade de raios-X, sendo os registros médicos mantidos pelo Departamento Médico da empresa por no mínimo de 30 anos após o término da ocupação, e os relatórios do Programa de Monitoração da empresa com as doses de radiação individuais mensais e acumuladas recebidas pelos funcionários da radiografia industrial são mantidos pela área de Segurança do Trabalho. Os controles de monitoramentos realizados pelos medidores permanentes das áreas, e controles radiométricos são mantidos na área de radiografia industrial.

Assim a unidade avaliada está de acordo com os itens da norma da CNEN NN 3.01 relacionados com os controles de registros que comprovam o cumprimento dos procedimentos operacionais seguros, bem como os requisitos da respectiva norma que demandam manutenção dos documentos disponíveis em caso de fiscalização e renovação da licença operacional junto a CNEN visando atendimento da norma CNEN NN 6.02.

4.7 CONTROLE DE ACESSO

Foi observado que a unidade de radiografia industrial avaliada possui um Programa de Proteção Física como parte integrante do Plano de Proteção Radiológica da empresa (2021). Segundo o Plano de Proteção Radiológica da empresa (2021, pág 64), o controle de acesso durante a operação/funcionamento do equipamento de raio-X, somente devem permanecer no local os funcionários portadores de dosímetros. Excetuando-se esses horários de operação, é permitido acesso dos funcionários relacionados com o trabalho executado, sem controle dosimétrico, tais como:

- Garantia da Qualidade;
- Manutenção;
- EHS;
- Serviços Gerais (Conservação e Limpeza).

Na área de Raios-X há a sinalização específica para impedir o acesso de pessoas não autorizadas. Este item foi abordado neste trabalho no item 4.1 - SINALIZAÇÃO E DISPOSITIVOS DE SEGURANÇA.

4.7.1 Controle de edificação do órgão de radiografia industrial

Ainda como parte do Programa de Proteção Física, foi observado que a unidade de radiografia industrial avaliada possui uma classificação das áreas seguindo os requerimentos da norma CNEN NN 3.01 previstos no item 5.8 da respectiva norma.

A seguir é apresentada a classificação das áreas da unidade de radiografia industrial previsto no Plano de Proteção Radiológica da empresa (2021, pág 67), e na sequência é mostrado o layout desta classificação através da figura 21:

- Área Livre:

Área isenta de regras especiais de segurança onde doses não ultrapassam a 1 mSv por ano, ou supondo um regime de trabalho de 2000 horas anuais, ao final de cada hora de trabalho, uma dose não superior a 0.0005 mSv (respectivamente 100 mrem por ano e 0.05 mrem por hora), e, portanto, inferior ao limite primário para o indivíduo do público.

Estas áreas se localizam externamente a área de raios-X.

- Área Supervisionada:

Área onde as doses são inferiores a 6.0 mSv por ano ou 0.003 mSv por hora (respectivamente 600 mrem por ano e 0.3 mrem por hora), e portanto, a dose não

Observa-se desta forma que a unidade de radiografia industrial possui um robusto Programa de Proteção Física previsto nos procedimentos internos e Plano de Proteção Radiológica da empresa. Os funcionários do raio-X passam por orientação e reciclagem permanentes sobre os controles de acessos aos bunkers, e adicionalmente a empresa conta com um sistema de sinalização e dispositivos de segurança que reforçam os cuidados e a proteção das áreas controladas da radiografia industrial.

5 CONCLUSÕES

Com o desenvolvimento do trabalho através das revisões bibliográficas, avaliações realizadas e resultados obtidos, a primeira conclusão é que o objetivo do trabalho foi alcançado de se realizar uma avaliação e revisão das defesas de segurança da operação de raios-X em uma oficina de reparos de peças aeronáuticas.

Os resultados apresentados foram eficazes para demonstrar que unidade de radiografia industrial avaliada está em conformidade com os requisitos normativos das normas CNEN NN 3.01, CNEN NN 6.04 e CNEN NN 6.02. Ou seja, os aspectos normativos avaliados referentes aos controles de acesso aos bunkers, Programa de Monitoração, avaliação da eficácia da blindagem, capacidade operacional e qualificação/treinamento da equipe de radiografia industrial, controle médico, controles de registros, e Programa de Proteção Física demonstraram que a unidade de radiografia industrial possui uma rotina operacional alinhada para o cumprimento dos requerimentos normativos aplicáveis.

Desta forma, esta unidade de radiografia industrial tem plenas condições de manter a continuidade operacional com os riscos de exposição à radiação gerenciados para os indivíduos ocupacionalmente expostos e o público em geral.

REFERÊNCIAS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL. Instituto de Física. **Princípios Básicos de Segurança e Proteção Radiológica**. 3ª edição, 2006. 227p. Disponível em: <<https://www.gov.br/cnen/pt-br/aceso-rapido/centro-de-informacoes-nucleares/material-didatico-1/principios-basicos-de-seguranca-e-protecao-radiologica-terceira-edicao-revisada.pdf>> . Acesso em 01 ago. 2021, 11:15.

BRASIL. **Norma CNEN NN 3.01 – Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica**. Estabelecida pela Resolução CNEN 27/04, de 06 de janeiro de 2005. Última alteração/atualização pela Resolução CNEN 164/14, de 11 de março de 2014. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2014. Disponível em: <<http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/Nrm301.pdf>>. Acesso em: 08 ago. 2021, 22:53.

BRASIL. **Norma CNEN NN 6.04 – Requisitos de Segurança e Proteção Radiológica para Serviços de Radiografia Industrial**. Estabelecida pela Resolução CNEN 031/88, de 26 de janeiro de 1989. Última alteração/atualização pela Resolução CNEN 145/13, de 25 de março de 2013. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2013. Disponível em: <<http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/Nrm604.pdf>>. Acesso em: 08 ago. 2021, 22:59.

BRASIL. **Norma CNEN NN 6.02 – Licenciamento de Instalações Radiativas**. Estabelecida pela Resolução CNEN 112/11, de 01 de setembro de 2011. Última alteração/atualização pela Resolução CNEN 261/20, de 29 de maio de 2020. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2020. Disponível em: <<http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/Nrm602.pdf>>. Acesso em: 08 ago. 2021, 23:16.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Escola Politécnica Programa de Educação Continuada. **Agentes Físicos II**. Epusp- EAD/ PECE, 2020a. 148p.

BRASIL. **Norma Regulamentadora nº 15 – Atividades e Operações Insalubres**. Estabelecida pela Portaria MTb n.º 3.214, de 08 de junho de 1978. Última alteração/atualização pela Portaria MTb nº 1.084, de 18 de dezembro de 2018. Brasília: Secretaria do Trabalho do Ministério da Economia, 2018a. Disponível em: <<http://www.guiatrabalhista.com.br/legislacao/nr/nr15.htm>>. Acesso em: 01 ago. 2021, 20:55.

Plano de Proteção Radiológica da empresa, 2021. Última atualização em julho de 2021

OLIVEIRA, L. S. R. **Os Princípios e Fundamentos da Radiologia Industrial**, 2003. Disponível em: <http://www.tecnologiaradiologica.com/materia_riconceito.htm>. Acesso em 01 ago. 2021, 12:39.

CNEN. **Apostila Educativa – Radiações Ionizantes e a Vida**, 2020. Disponível em: <<https://www.gov.br/cnen/pt-br/acesso-rapido/centro-de-informacoes-nucleares/material-didatico-1/radiacoesionizanteseavida.pdf>> Acesso em: 01 ago. 2021, 11:33.

CNEN. **Apostila Educativa – Aplicações da Energia Nuclear**, 2020. Disponível em: <<https://www.gov.br/cnen/pt-br/acesso-rapido/centro-de-informacoes-nucleares/material-didatico-1/aplicacoesdaenergianuclear.pdf>> Acesso em: 01 ago. 2021, 11:21.

TORREIRA, R. P. **Proteção contra Radiações Ionizantes**. Revista CIPA. Ano XXIV número 282, Maio 2003. Pg. 64 – 65.

TORREIRA, R. P. **Proteção contra Radiações Ionizantes**. Revista CIPA. Ano XXIV número 284. Julho 2003. Pg. 60 – 62.

JÚNIOR, A. A. R. **Irradiadores Industriais e sua Radioproteção**, 2014. 208p. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/260122431_Irradiadores_industriais_e_sua_r

adioprotecao_Industrial_irradiators_and_their_radioprotection> Acesso em: 22 ago. 2021, 20:26.

ANDREUCCI, R. **Proteção Radiológica Aspectos Industriais**, 2019. 96p. Disponível em <www.abendi.org.br> Acesso em: 02 nov. 2021, 16:18.