

Desenvolvimento e monitorações de blindagens de um canhão de elétrons

L P Lima¹, I C Moraes², F A B Neto², F N Moura¹

¹ Grupo de Proteção Radiológica - CNPEM, Campinas, 13083-100, Brasil

² Análise e Projeto de Sitemas - CNPEM, Campinas, 13083-100, Brasil

lucas.lima@cnpem.br

Resumo. O trabalho descreve o desenvolvimento de blindagens radiológicas para um canhão de elétrons com simulações utilizando o código Monte Carlo, FLUKA.CERN e medidas experimentais utilizando detectores de radiação. A construção da blindagem foi finalizada após validação com levantamentos radiométricos.

1. Introdução

Um canhão de elétrons é constituído de um conjunto de componentes eletrônicos capaz de produzir um feixe de elétrons com aplicabilidade em diversas áreas como física de materiais, química, biologia e ciências da vida, física de aceleradores etc.

Para construção do canhão de elétrons são necessários elementos como: fonte de tensão, filamento de tungstênio para emissão termiônica de elétrons, conjunto acelerador (campo magnético), lentes focalizadoras, defletores (variar a direção do feixe), sistema de vácuo (constituído por câmara de vácuo) e um sistema de detecção, como mostra a figura abaixo.

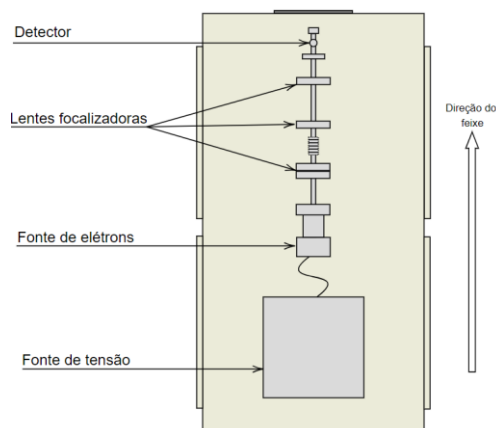


Figura 1. Canhão de elétrons idealizado.

O Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS), desenvolveu o canhão de elétrons, Figura 2, com tensão e corrente máxima de operação descritos na tabela abaixo:

Tabela 1 - Configurações máxima nominais de operação do canhão

Tensão Máxima	Carga	Pulso
90 KeV	3 nC	2 Hz

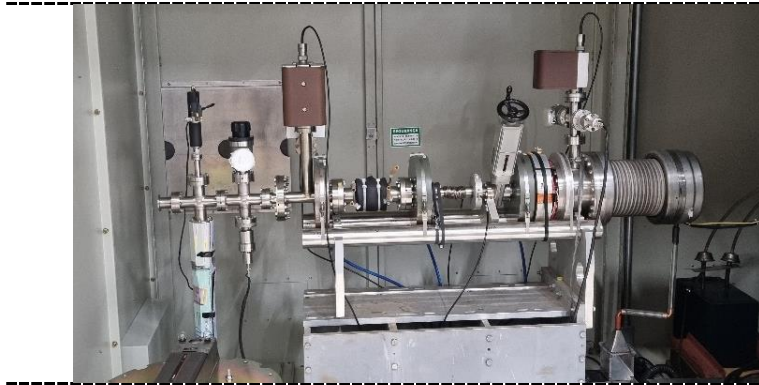


Figura 2. Canhão de elétrons.

O canhão de elétrons do LNS servirá para testes em bancada para otimizações e testes de falhas no sistema de injeção do acelerador síncrotron Sirius.

A estrutura utilizada para blindagem, foram dois armários comerciais de aço que comportava todo o conjunto de infraestrutura do canhão. Para a validação do projeto de blindagem e início das instalações, as dimensões estruturais foram reproduzidas e as condições foram avaliadas via simulação com premissas conservadoras de espalhamento e com base nas configurações do canhão de elétrons.

2. Simulação Monte Carlo com o código FLUKA.CERN

O FLUKA.CERN é um código Monte Carlo de transporte de partículas, desenvolvido e distribuído pelo CERN (*European Organization for Nuclear Research*). O código possibilita realizar simulações de transporte de partículas e interações de radiação e avaliação de cenários para radioproteção em instalações nucleares, dosimetria de radiação na área médica, física de partículas e design de detectores, entre outras áreas.[1]

Para o cálculo das espessuras necessárias na blindagem do canhão, foram determinadas premissas do ponto de vista de proteção radiológica tomando como base as normas da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN).

2.1. Premissas adotadas para simulação

A avaliação dos níveis de radiação provenientes do uso do canhão de elétrons contemplou os piores cenários de operação, ou seja, diversas considerações foram adotadas de modo a maximizar os níveis encontrados, definidos como conservador.

A dose limite externa à blindagem deve atender ao valor determinado para indivíduos do público, presente em norma da CNEN, de 1 mSv/ano. Considerando a estimativa de 2000 horas anuais de trabalho, o valor de referência de taxa de dose foi de 0,5 $\mu\text{Sv/h}$. Por conservadorismo, adotou-se para cálculos um valor de referência de taxa de dose de 0,2 $\mu\text{Sv/h}$. [2]

Para as simulações, considerou-se um feixe de elétrons pontual com energia de 90 keV, correspondente à energia máxima de operação do canhão, com taxa de repetição de 2 Hz e carga por pulso de 3 nC.

O feixe gerado incidia em um sólido de cobre inclinado de modo a maximizar os espalhamentos na região de interesse no armário, como pode ser visto na Figura 3. O material do espalhador foi escolhido de modo a maximizar as taxas de dose nas paredes.

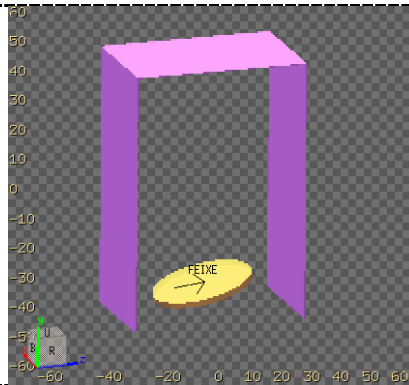


Figura 3. Geometria implementada no código Monte Carlo FLUKA contendo um espalhador (disco inclinado amarelo) e as paredes do armário em aço (roxo).

As distâncias das paredes em relação ao feixe foram baseadas nas medidas reais de um armário industrial, determinado como blindagem no projeto estrutural, Figura 4 e Tabela 2.



Figura 4. Imagem da estrutura utilizada para blindagem com dimensões de comprimento (C), altura (A) e largura (L).

Tabela 2. Dimensões do armário

Altura (A)	2,08 m
Largura (L) – Portas abertas	3,52 m
Largura (L) – Portas fechadas	1,66 m
Comprimento (C)	4 m

As geometrias das paredes foram posicionadas nas simulações a uma distância de 80 cm da linha do feixe. A análise e considerações realizadas para o teto foram as mesmas realizadas para as paredes laterais.

Para o comprimento do armário, considerou-se que as incidências do feixe em elementos do canhão poderiam ocorrer em qualquer região do equipamento. A menor distância entre o ponto de espalhamento do feixe (final da estrutura do canhão) e parede foi a distância de 30 cm.

Foi considerada a possibilidade de o feixe de elétrons não interagir com nenhum elemento, isto é, causando uma atenuação direta na blindagem, portanto, isto acarretaria na incidência direta na parede

perpendicular ao sentido do feixe. Para essa avaliação, foi calculada a espessura de chumbo necessária de blindagem adicional, caso fosse necessário.

3. Levantamento radiométrico

O levantamento radiométrico é uma técnica utilizada para mensurar e analisar a radiação eletromagnética em uma determinada área próxima a uma fonte de radiação. O objetivo principal da técnica é mensurar os níveis de exposição e determinar a segurança de permanência em determinado local.

Com radiações ionizantes, a validação de blindagens radiológicas é de grande importância para garantir a integridade de construção do projeto. Para isso, são utilizados detectores de radiação que mensuram os níveis de dose a partir de interações com um volume sensível.

Um dos tipos de detectores mais utilizados para proteção radiológica, são os detectores a gás. Quando a radiação ionizante atravessa o detector, o gás é ionizado, criando pares íons. Com a aplicação de uma tensão elétrica no eletrodo central os íons gerados criam uma corrente elétrica detectável. Dependendo do tipo de investigação, há opções de detectores a gás como câmara de ionização e contador Geiger-Müller.[3]

3.1. Metodologia e materiais

Para os levantamentos radiométricos na blindagem instalada foram utilizados dois tipos de detectores de radiação, sendo eles, o contador Geiger Müller Ludlum Model 26 e câmara de ionização Fluke 451-B , Figura 5.



Figura 5. Ilustração dos detectores a gás utilizados; Esquerda Fluke 451-B Direita Ludlum Model 26

A câmara de ionização Fluke 451-B é um detector com volume sensível de pressão atmosférica com resposta energética acima de 7 keV, e o detector Ludlum Model 26 trata-se contador Geiger Müller *pancake* para investigar pontos de espalhamentos. Os levantamentos radiométricos realizados consistiam em percorrer, com cautela e atenção toda a superfície da blindagem a procura de possíveis pontos de espalhamento do feixe a uma distância de 10 cm da superfície.

4. Resultados e discussões

4.1. Simulações

As medidas de distância do canhão em relação as paredes foram inseridas no FLUKA.CERN, para avaliar a viabilidade do uso da blindagem já disponível. Na figura abaixo está disposto um mapa de taxa de dose do canhão com paredes de aço de 2 mm, considerando uma energia de feixe de 90 keV, pulsos de 2 Hz e carga de 3 nC.

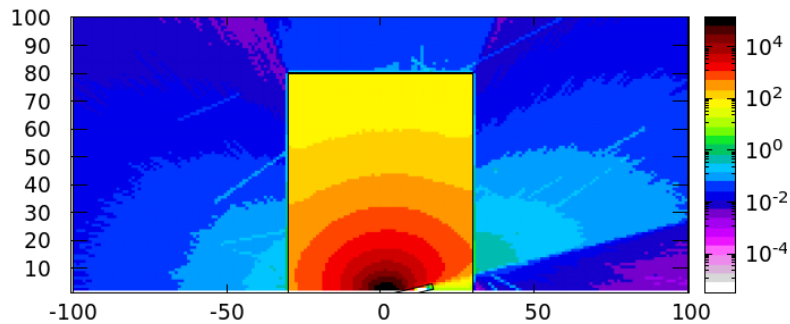


Figura 6. Taxas de dose em $\mu\text{Sv/h}$ devido a incidência do feixe de elétrons do canhão em um espalhador de cobre. Cores quentes internamente ao armário indicando doses acima de $100 \mu\text{Sv/h}$, cores frias externamente ao armário entre $0,001$ e $1 \mu\text{Sv/h}$.

Para a parede vertical da direita, Figura 6, temos uma região acima do limite adotado entre 10 e 30 cm na altura, portanto, um reforço nessa região foi planejado, visando a cobertura completa desta região e considerando possíveis desvios no alinhamento. O reforço necessário deveria conter um raio mínimo de 40 cm, sendo composto por chapas quadradas de 80 cm x 80 cm.

A Figura 7 mostra o mapa de taxa de dose devido a espalhamentos na região da blindagem em casos de incidência direta de feixe. A espessura da blindagem de reforço foi determinada a partir da análise do feixe incidindo diretamente no reforço representando a parede da blindagem.

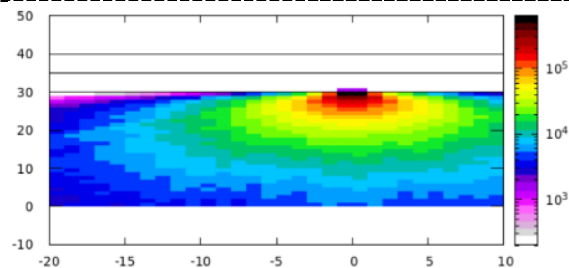


Figura 7 Taxas de dose em $\mu\text{Sv/h}$ devido a incidência do feixe de elétrons direto em uma espessura de chumbo.

O valor obtido para contenção do feixe espalhado e direto foi de 5 mm de chumbo para atingir o valor de taxa de dose igual a $0,2 \mu\text{Sv/h}$ em todas as regiões. Ao adicionar o reforço de chumbo na blindagem (direção do feixe), os valores de dose em todas as regiões ficaram abaixo do limite adotado, como pode ser visto na Figura 8.

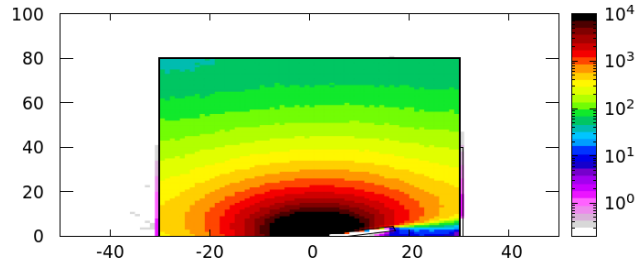


Figura 8. Taxas de dose em $\mu\text{Sv/h}$ devido a incidência do feixe de elétrons do canhão em um espalhador, após a inclusão do reforço de chumbo na parede na direção do feixe.

4.2. Conservadorismos

Nas simulações, diversas premissas consideradas fortaleceram o conservadorismo dos resultados, reforçando que, cumpre-se os limites de exposição de indivíduos na área externa.

A geometria implementada no FLUKA.CERN foi simplificada. Na operação do canhão, o caminho do feixe possui elementos que atenuam a radiação antes que ela atinja a blindagem, além de ocorrer a possível dispersão espacial do feixe, diminuindo a intensidade das taxas de doses quando comparada àquelas obtidas em simulações. Além disso, as paredes foram consideradas mais próximas nas simulações.

Para o reforço na blindagem, foi analisado o cenário de incidência direta do feixe o que não é previsto para operação normal do canhão, uma vez que existe instalado um anteparo no final. Adicionalmente, a área de cobertura do reforço em chumbo considerou possíveis desvios de alinhamento do feixe de elétrons. Vale ressaltar que o valor de sua espessura foi obtido sem considerar a espessura de aço de 2 mm do armário.

Para a simulação, o tempo de operação do canhão foi ininterrupto com energia máxima de 90 keV, em 2000 horas anuais e limites de dose reduzidos de 0,5 para 0,2 $\mu\text{Sv/h}$.

4.3. Resultados dos levantamentos radiométricos

Os levantamentos radiométricos tomaram como pontos principais da blindagem: laterais, frente do canhão (onde por simulação foi determinado a adição de uma blindagem de chumbo), traseira do canhão (região onde não existe a possibilidade de feixe direto), Figura 9.

Durante o primeiro levantamento radiométrico, foi encontrada uma região com taxa de dose acima das considerações em premissas de simulação e limites de dose por norma. A tabela a seguir toma como base as referências da Figura 9 para as regiões monitoradas.

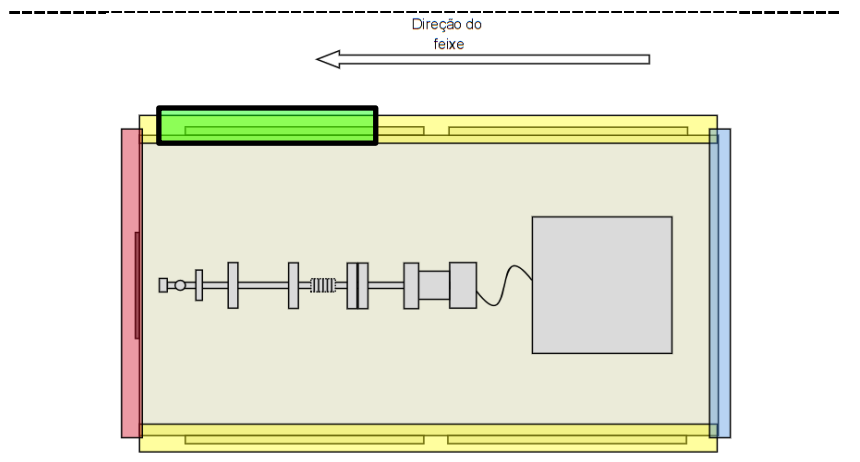


Figura 9. Blindagem do canhão de elétrons; em amarelo – região lateral da blindagem; em vermelho – região perpendicular ao feixe (feixe direto); em azul – parte traseira do canhão (sem feixe direto); Verde – ponto com maior dose encontrada.

Tabela 3. Primeiro levantamento radiométrico realizado no canhão de elétrons.

Região	Ludlum Model 26	Fluke 451-B ($\mu\text{Sv/h}$)
Amarelo (Laterais)	Background ¹	0,1
Vermelho (Feixe direto)	Background ¹	0,1
Azul (Traseira)	Background ¹	0,1
Verde	~200 cpm	1,6

¹ - Valores encontrados de levantamento radiométrico onde correspondiam ao valor de radiação natural de fundo, isto é 50 cpm

Após os resultados, foram instaladas blindagens adicionais de chumbo na região com maior taxa de dose encontrada no levantamento radiométrico, Figura 10.



Figura 10. Blindagem adicional em chumbo na região com doses superiores a $0,5 \mu\text{Sv/h}$

Após a instalação da blindagem adicional na lateral da estrutura, foi realizado um novo levantamento radiométrico cujos resultados estão presentes na Tabela 4.

Tabela 4. Levantamento radiométrico após a instalação de blindagem adicional em chumbo

Região	Ludlum Model 26	Fluke 451-B ($\mu\text{Sv/h}$)
Amarelo (Laterais)	Background ¹	0,1
Vermelho (Feixe direto)	Background ¹	0,1
Azul (Traseira)	Background ¹	0,1
Verde	Background ¹	0,1

¹ - Valores encontrados de levantamento radiométrico onde correspondiam ao valor de radiação natural de fundo, isto é 50 cpm

5. Conclusão

A validação realizada com os levantamentos radiométricos tinham como objetivo a confirmação da integridade de construção da blindagem, já que nas geometrias de simulação não estão previstas uniões entre placas de aço ou pontos em que possam ter algum tipo de fragilidade do material.

A região encontrada com valor de taxa de dose acima da referência adotada ocorreu devido configurações de operação do equipamento. Este cenário não foi previsto em simulação, mas durante o levantamento radiométrico, avaliou-se a necessidade de adicionar um reforço radiológico.

Avaliando os dados obtidos por simulação e de medidas realizadas em campo, as premissas e o conservadorismo de simulação, mostraram que a estrutura adotada de blindagem foi suficiente para garantir os limites de dose estabelecido em norma [2] e nas premissas.

Referências

- [1] T.T. Böhlen, F. Cerutti, M.P.W. Chin, A. Fassò, A. Ferrari, P.G. Ortega, A. Mairani, P.R. Sala, G. Smirnov, V. Vlachoudis,, “The FLUKA Code: Developments and Challenges for High Energy and Medical Applications”
- [2] CNEN, Norma CNEN NN 3.01 - Resolução 164,14 Março/2014, “Diretrizes Básicas De Proteção Radiológica”
- [3] L. Tauhata, I. Salati, R.D.Prinzio, A.R.D.Prinzio, “Radioproteção e dosimetria: Fundamentos”, 10a - Revisão – Abril/2014