



# ESTUDO EXPERIMENTAL DA ATENUAÇÃO DE RADIAÇÃO GAMA EM CHAPAS METÁLICAS COM AQUISIÇÃO DE DADOS ESPACIAIS EM COORDENADAS CARTESIANAS

Leandro Moreira Costa Silva<sup>1</sup>, Paulo Cezar Rocha Silveira<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, Brasil  
(leandro.moreira@ime.eb.br)

*Resumo:* Este trabalho apresenta um estudo experimental de medições de radiação gama em chapas metálicas utilizando aquisição espacial de dados em coordenadas cartesianas. Uma fonte colimada de Césio-137 e um detector semicondutor Cadmium Zinc Telluride detector (CZT) foram utilizados para registrar a intensidade da radiação transmitida em 16 pontos da amostra. Os dados obtidos permitiram avaliar a distribuição espacial da atenuação gama no material.

*Palavras-chave:* gamagrafia industrial; atenuação gama; coordenadas cartesianas; detector CZT; ensaios não destrutivos.

## INTRODUÇÃO

Os ensaios não destrutivos (END) desempenham papel essencial na avaliação da integridade estrutural de componentes metálicos utilizados em diversos setores industriais, como petróleo e gás, geração de energia, indústria nuclear e aeronáutica. Essas técnicas permitem identificar descontinuidades internas, trincas, porosidades e variações de espessura sem causar danos ao material analisado, contribuindo para a segurança operacional, confiabilidade estrutural e manutenção preventiva de equipamentos e estruturas [1].

Entre os métodos de END, a gamagrafia industrial destaca-se pela elevada capacidade de penetração da radiação gama em materiais de alta densidade,



possibilitando a inspeção de componentes metálicos espessos e juntas soldadas. O princípio da técnica baseia-se na atenuação da radiação ao atravessar o material inspecionado, sendo que variações de densidade, espessura ou presença de descontinuidades provocam diferenças na intensidade da radiação detectada após a interação com o objeto analisado [2]. Dessa forma, a análise da radiação transmitida permite inferir características internas do material, sendo amplamente utilizada em inspeções industriais e avaliações de integridade estrutural [3].

Apesar da ampla aplicação da gamagrafia industrial, muitos procedimentos de inspeção ainda são realizados por meio de posicionamentos e medições pontuais executadas manualmente, o que pode limitar a repetibilidade das medições e dificultar a organização espacial sistemática dos dados obtidos durante o processo de inspeção [4]. Nesse contexto, a aquisição estruturada de dados em posições espaciais previamente definidas pode contribuir para uma melhor organização das medições radiográficas e permitir a análise da distribuição espacial da atenuação da radiação no material inspecionado.

Diante disso, este trabalho, desenvolvido no Instituto Militar de Engenharia (IME), apresenta um estudo experimental de medições de radiação gama em chapas metálicas utilizando aquisição de dados em coordenadas cartesianas. Para a realização dos ensaios foi utilizada uma fonte colimada de Césio-137 e um detector semicondutor do tipo Cadmium Zinc Telluride detector (CZT), permitindo o registro da intensidade da radiação transmitida em diferentes posições da amostra.

O objetivo deste trabalho é realizar medições experimentais da intensidade de radiação gama em pontos distribuídos espacialmente sobre uma chapa metálica, utilizando coordenadas cartesianas previamente definidas, de modo a avaliar a distribuição da atenuação da radiação no material analisado e contribuir para a organização sistemática de dados radiográficos aplicados a ensaios não destrutivos.

## MATERIAL E MÉTODOS

As metodologias utilizadas no trabalho para atingir os objetivos propostos deverão ser explicadas sucintamente. O arranjo experimental foi composto por uma fonte gama de Cesium-137 posicionada acima da amostra, um sistema de posicionamento cartesiano (X,Y) para deslocamento da chapa metálica e um detector semicondutor do tipo Cadmium Zinc Telluride detector (CZT) posicionado abaixo da amostra para registro da radiação transmitida. A fonte foi instalada em um castelo de chumbo com altura aproximada de 5 cm, equipado com colimador, sendo a distância entre a fonte radioativa e a saída do colimador de aproximadamente 1 cm, permitindo a formação de um feixe direcionado incidente sobre a amostra [5]. Esse arranjo pode ser observado na figura 1.

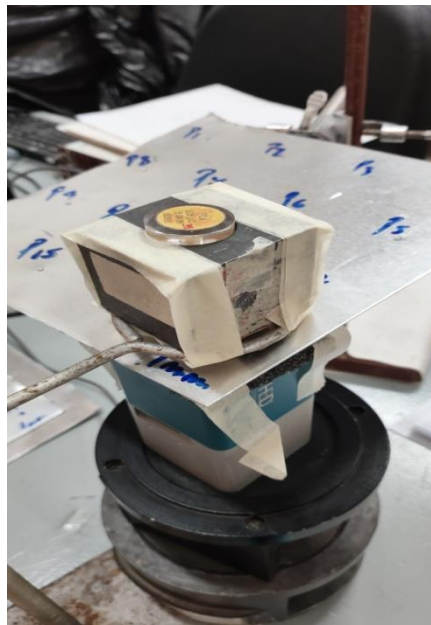


Figura 1. Setup experimental (Autor 2025)

Foram utilizadas duas chapas de alumínio com dimensões de 200 mm x 200 mm e espessuras de 1 mm e 2 mm, ilustrados na Figura 2. Algumas regiões das chapas apresentavam furos com diâmetros de 0,5 mm, 1 mm e 2 mm, introduzidos para gerar variações locais na atenuação da radiação gama ao atravessar o material, princípio amplamente utilizado em ensaios não destrutivos por radiografia industrial [6].

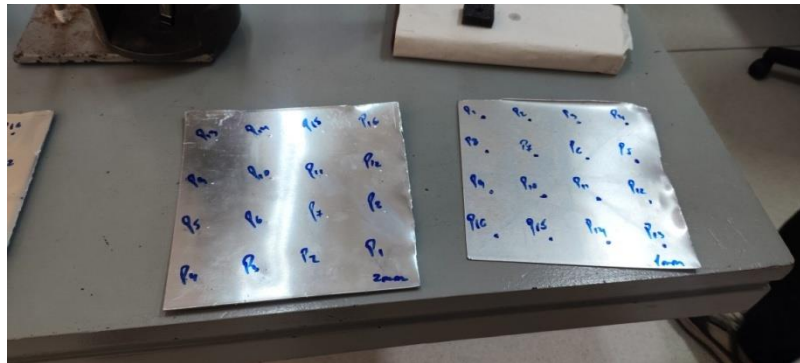


Figura 2. Chapas de alumínio (Autor 2025)

As medições foram realizadas em uma malha de 16 pontos distribuídos em coordenadas cartesianas sobre a superfície das chapas. Antes da inserção da fonte radioativa, foram realizadas três medições de radiação de fundo (background – BG) em cada ponto da malha, sendo calculada uma média ponderada para obtenção do valor de referência.

Durante os ensaios, a intensidade radiativa transmitida foi registrada pelo detector CZT em cada posição da malha experimental que possuem alta resolução energética e boa eficiência para radiação gama na faixa de energia característica do céσιο-137, sendo amplamente utilizados em aplicações de espectrometria e instrumentação nuclear [7].

As leituras obtidas foram corrigidas pela subtração do valor médio do background, conforme a Equação (1):

$$I_{corr} = I_{medido} - BG \quad (1)$$

Onde,  $I_{corr}$  representa a intensidade corrigida,  $I_{medido}$  corresponde à intensidade registrada pelo detector e BG representa o valor médio da radiação de fundo obtido nas medições preliminares.

Todos os experimentos foram conduzidos seguindo procedimentos de proteção radiológica e normas de segurança estabelecidas pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) para manipulação de fontes radioativas seladas [8].

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O arranjo experimental desenvolvido permitiu a realização de medições da radiação gama transmitida através de chapas de alumínio com diferentes espessuras. O sistema foi composto por uma fonte colimada de Cesium-137 alojada em castelo de chumbo e um detector semicondutor do tipo Cadmium Zinc Telluride detector (CZT), posicionado abaixo da amostra para registro da radiação transmitida.

As medições foram realizadas em 16 pontos distribuídos sobre a superfície das chapas de alumínio com dimensões de 200 mm x 200 mm e espessuras de 1 mm e 2 mm, respectivamente. Os valores obtidos apresentaram variações na intensidade radiativa detectada em função da espessura do material e da presença de descontinuidades geométricas nas amostras analisadas, conforme ilustrados nas tabelas 1 e 2.

Tabela 1. Medições na chapa de alumínio com espessura de 1mm

PONTOS	BG(cps)	cps com fonte	Incerteza	cps final
P1	207,33	1413,333333	21,70509413	1391,628
P2	319,6666667	1539,333333	22,65195601	1516,681
P3	260,3333333	1608	23,15167381	1584,848
P4	207,00	1682,666667	23,68309289	1658,984
P5	199,3333333	1905,666667	25,20361526	1880,463
P6	193,6666667	1789	24,41993721	1764,58
P7	207	1768	24,27618861	1743,724
P8	212	1654,333333	23,48285427	1630,85
P9	192,6666667	1904	25,1925915	1878,807
P10	205,3333333	2025,666667	25,98503843	1999,682
P11	376	2084,666667	26,36074523	2058,306
P12	229,3333333	2108,666667	26,51205177	2082,155
P13	208,3333333	2422	28,41361176	2393,586
P14	217,3333333	2338	27,91654229	2310,083
P15	199,6666667	2230,333333	27,26617766	2203,067
P16	211	2030,333333	26,01495297	2004,318

Tabela 2. Medições na chapa de alumínio com espessura de 2mm

PONTOS	BG(cps)	cps com fonte	Incerteza	cps final
P1	165,00	2429,666667	28,45854685	2401,208
P2	235	2445,333333	28,55015081	2416,783
P3	184	2127,666667	26,63122645	2101,035
P4	168,33	1972,666667	25,64284609	1947,024
P5	167	2149,333333	26,76647987	2122,567
P6	165,6666667	2164,666667	26,86178616	2137,805
P7	155,6666667	2141,666667	26,71869924	2114,948
P8	163,3333333	2084,333333	26,35863763	2057,975
P9	162,3333333	2085,333333	26,36495991	2058,968
P10	165,3333333	2084,666667	26,36074523	2058,306
P11	154	2083,666667	26,35442194	2057,312
P12	157,3333333	2090,666667	26,39865316	2064,268
P13	162	1850,666667	24,83724801	1825,829
P14	165	1890,333333	25,10201408	1865,231
P15	151,3333333	1804	24,52209888	1779,478
P16	147,3333333	1685,333333	23,70185178	1661,631

A partir dos valores de contagem final obtidos experimentalmente, foi possível representar a distribuição espacial da intensidade radiativa detectada sobre a superfície das chapas analisadas. Para facilitar essa visualização, foram construídos mapas bidimensionais (heatmaps) da intensidade radiativa detectada em cada ponto da malha cartesiana, ilustrados nas figuras 3 e 4.

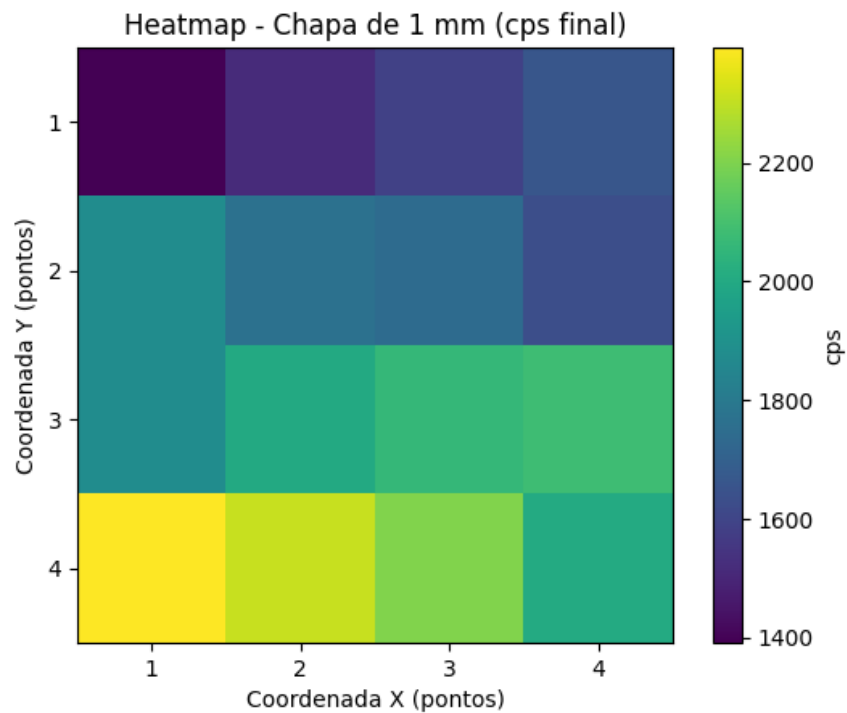


Figura 3 – Distribuição espacial da intensidade radiativa para a chapa de 1 mm

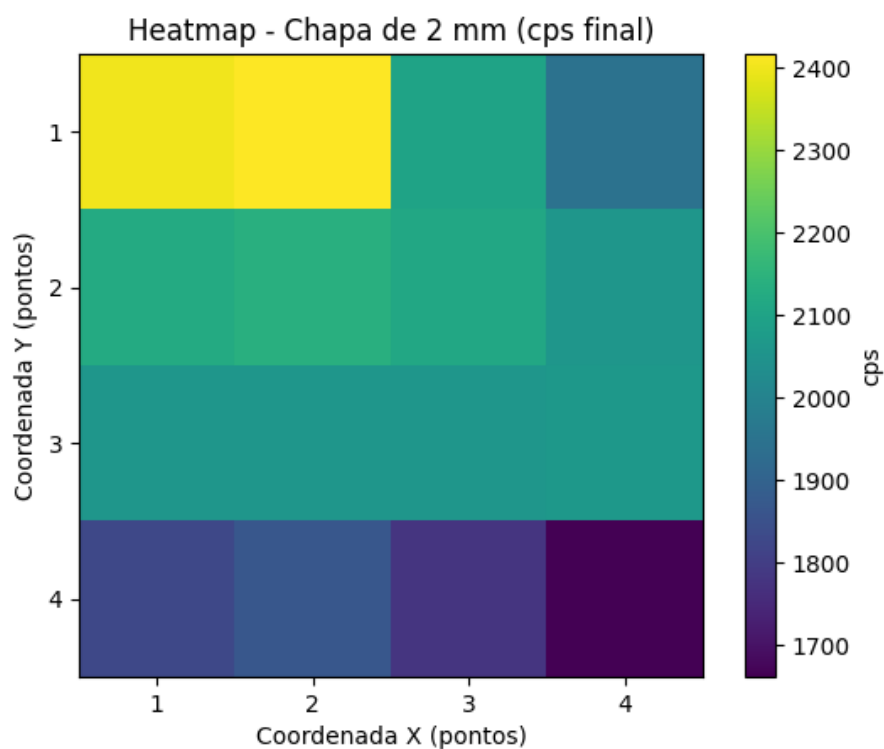


Figura 4 – Distribuição espacial da intensidade radiativa para a chapa de 2mm



A análise das Figuras 3 e 4 evidencia variações nos valores de intensidade radiativa detectada entre os diferentes pontos de medição. Nos pontos onde foram introduzidos furos com diâmetros de 0,5 mm, 1 mm e 2 mm, observou-se um aumento relativo da radiação transmitida quando comparado às regiões sem perfuração. Esse comportamento é consistente com o princípio físico da atenuação da radiação gama, no qual a redução da espessura efetiva do material resulta em menor absorção do feixe incidente e, conseqüentemente, maior intensidade detectada.

Esse fenômeno pode ser descrito pela lei de atenuação da radiação gama, expressa pela Equação (2)

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (2)$$

Onde,  $I_0$  representa a intensidade inicial da radiação incidente,  $I$  corresponde à intensidade transmitida após atravessar o material,  $\mu$  é o coeficiente de atenuação linear do material, e  $x$  representa a espessura efetiva atravessada pela radiação.

A presença de furos reduz o valor efetivo de  $x$ , resultando em menor atenuação do feixe incidente e, conseqüentemente, em maiores valores de intensidade radiativa detectada. Esse comportamento foi observado experimentalmente nas regiões perfuradas das chapas analisadas.

Os resultados indicaram ainda que o detector semicondutor de Cadmium Zinc Telluride detector apresentou resposta estável ao longo das medições, demonstrando sensibilidade adequada para identificar pequenas variações na intensidade da radiação transmitida. Esse tipo de detector apresenta elevada resolução energética e boa eficiência para radiação gama na faixa de energia associada à fonte de Cesium-137, sendo amplamente utilizado em aplicações de instrumentação nuclear e ensaios radiométricos [8].



Embora nesta etapa do estudo os resultados tenham sido analisados principalmente a partir dos valores de intensidade registrados em cada ponto de medição, os dados obtidos permitem estabelecer uma distribuição espacial das leituras radiativas sobre a superfície das chapas analisadas. Essa abordagem pode servir como base para o desenvolvimento de representações bidimensionais mais avançadas da distribuição de intensidade radiativa em estudos futuros, contribuindo para aplicações em inspeção radiográfica automatizada.

De forma geral, os resultados obtidos demonstram a viabilidade da utilização de detectores semicondutores associados a fontes colimadas de radiação gama para avaliação experimental da atenuação da radiação em materiais metálicos, contribuindo para estudos voltados ao desenvolvimento de métodos de inspeção radiográfica em ensaios não destrutivos.

## CONCLUSÃO

O presente trabalho apresentou um estudo experimental da transmissão de radiação gama através de chapas metálicas de alumínio utilizando um detector semicondutor de Cadmium Zinc Telluride detector e uma fonte colimada de Cesium-137. Foram realizadas medições em uma malha cartesiana composta por 16 pontos, permitindo avaliar a variação espacial da intensidade radiativa transmitida através do material.

Os resultados experimentais demonstraram que regiões contendo furos de diferentes diâmetros apresentaram aumento da intensidade radiativa detectada em comparação com regiões sem perfuração, comportamento consistente com a lei de atenuação exponencial da radiação gama. A análise das medições permitiu identificar a influência da espessura do material e da presença de descontinuidades na transmissão do feixe radiativo.

A construção de representações bidimensionais da distribuição de intensidade radiativa possibilitou visualizar as variações espaciais associadas às características geométricas das chapas analisadas. Esses resultados evidenciam o potencial da



metodologia empregada para a detecção de pequenas descontinuidades estruturais em materiais metálicos.

Dessa forma, o estudo demonstra que a utilização de detectores semicondutores associados a fontes colimadas de radiação gama constitui uma abordagem promissora para aplicações em ensaios não destrutivos, podendo contribuir para o desenvolvimento de técnicas experimentais voltadas à avaliação da integridade estrutural de componentes utilizados em ambientes industriais e nucleares.

## REFERÊNCIAS.

- [1] American Society for Nondestructive Testing. HELLIER, C. Handbook of Nondestructive Evaluation. 2nd ed. McGraw-Hill Education, New York, 2013.
- [2] International Atomic Energy Agency. Industrial Radiography Manual. IAEA Training Course Series No. 13. Vienna, 2011.
- [3] MALHOTRA, V. M.; CARINO, N. J. Handbook on Nondestructive Testing of Concrete. CRC Press, Boca Raton, 2004.
- [4] SHULL, P. J. Nondestructive Evaluation: Theory, Techniques, and Applications. CRC Press, Boca Raton, 2002.
- [5] KNOLL, G. F. Radiation Detection and Measurement. 4th ed. John Wiley & Sons, New York, 2010.
- [6] International Atomic Energy Agency. Radiation Protection and Safety in Industrial Radiography. Safety Reports Series No. 13. Vienna, 1999.
- [7] OWENS, A.; PEACOCK, A. Compound semiconductor radiation detectors. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A, v. 531, p. 18–37, 2004.
- [8] Comissão Nacional de Energia Nuclear. Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica – CNEN NN 3.01. Rio de Janeiro, 2014.