

AVALIAÇÃO NÃO DESTRUTIVA DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO A TÉCNICA DE RETROESPALHAMENTO COMPTON

Alexandre O. G. Iori^{1*}, Laura N. Kassahara¹, Emerson M. Boldo²

1. Estudante do curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE
2. Professor do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas (CCET) - UNIOESTE / Orientador

Resumo

O espalhamento Compton é uma técnica de avaliação não destrutiva que pode ser usada para caracterização de materiais e detecção de defeitos e inclusões em concreto armado, por exemplo. Neste trabalho foi investigado a eficiência de algumas energias de espalhamento com o objetivo de identificar de uma maneira não destrutiva a corrosão em armaduras do concreto armado. O trabalho foi realizado através da simulação de Monte Carlo. Dentre as energias estudadas as emitidas pelos isótopos ²⁴¹Am (59,54 keV) e ⁶⁰Co (1170 keV), foram as que apresentaram melhor eficiência na identificação de processos corrosivos na armadura.

Palavras-chave: espalhamento incoerente; ensaios não destrutivos; processo corrosivo.

Apoio financeiro: UNIOESTE.

Introdução

Atualmente, a maneira usual de inspecionar e diagnosticar estruturas com alta precisão é realizar um teste de resistência e análise de material em amostras removidas de uma instalação existente. Este método consome parte da instalação, por isso é difícil para aplicá-lo a toda a estrutura da mesma. Além disso, em estruturas de grande escala como túneis, as condições geralmente variam com a posição de medição, por isso é difícil avaliar o estado de toda a instalação a partir de medições locais. Por outro lado, testes não destrutivos avaliam a condição de uma estrutura sem danificá-la, por isso possuem duas vantagens principais: podem ser aplicados em toda a estrutura de larga escala e avaliam eficientemente a condição de degradação dessa estrutura durante sua vida útil (IRIE, *et al.*, 2008).

Corrosão se caracteriza por ser um processo resultante da interação de um material com o meio ambiente, acarretando reações de natureza química ou eletroquímica, associadas ou não a ações físicas ou mecânicas, levando a destruição do material em questão (SOARES e VASCONCELOS, 2015). Tal situação de corrosão é recorrente nas estruturas de concreto armado, as quais são amplamente utilizadas na construção civil.

Deste modo, o processo de corrosão danifica e fragiliza a estrutura, mais especificamente a armadura, diminuindo a tração máxima suportada pela estrutura. Logo, é de extrema importância a identificação e análise destes elementos estruturais. Uma das formas de análise é a identificação não destrutiva através do espalhamento Compton.

O fenômeno descrito por Compton consiste em uma colisão entre o fóton e um elétron livre (um elétron da última camada eletrônica de um átomo, fracamente ligado, pode ser considerado livre se $E_\gamma \gg Be$) que se encontra em repouso no material. O elétron ejetado que adquire energia cinética no processo deve ser tratado relativisticamente e o restante da energia disponível é a energia do fóton espalhado (OKUNO e YOSHIMURA, 2010).

O objetivo principal deste trabalho foi estudar a eficiência da técnica de retroespalhamento Compton na identificação de processos corrosivos em estruturas de concreto armado, avaliando cinco energias de raios gama produzidos por isótopos mais comuns comercialmente, através de simulação computacional de Monte Carlo.

Metodologia

Para a simulação da técnica de detecção, foi utilizado o método de Monte Carlo, através do código Fluka. O Fluka é um pacote totalmente integrado de simulação de Monte Carlo que usa uma programação sofisticada para lidar com o transporte de partículas através da matéria, sendo particularmente adequado para problemas de espalhamento (FASSO, *et al.*, 2005).

Os resultados obtidos pelo FLUKA já foram avaliados frente a dados experimentais e teóricos provenientes de outros códigos de simulação mostrando excelente concordância entre os mesmos (BÖHLEN, *et al.*, 2010; JOOHEE, *et al.*, 2011).

O modelo criado nas simulações é formado por um pilar de concreto, uma armadura de ferro com uma camada de ferrugem e um detector, conforme mostrado na figura 1.

O pilar de concreto possui 8x20x10 cm, é formado por cimento Portland e água, com densidade 2300 kg/m³. A armadura possui um raio de 2 cm, sendo 1 cm um cilindro de ferro (7870 kg/m³) e 1 cm um anel de ferrugem (óxido de ferro, Fe₂O₃, 5200 kg/m³), cujo o centro da armadura encontra-se 3 cm do limite esquerdo do pilar.

Para testar a influência da energia do feixe incidente na capacidade de detecção foram utilizadas nas simulações as energias de 59,54 keV, 122,1 keV, 356 keV, 662 keV e 1170 keV correspondentes aos isótopos

^{241}Am , ^{57}Co , ^{133}Ba , ^{137}Cs e ^{60}Co respectivamente. A direção de varredura do feixe para obter dados de espalhamento de todos os componentes da amostra é indicada na figura 1. Além disso, foi simulado um detector de raio de 0,5 cm protegido por um cilindro de chumbo com raio de 1,5 cm que serve de colimador e evita que os fótons que sofreram múltiplos espalhamentos, e que não são provenientes da região de interesse, cheguem ao detector.

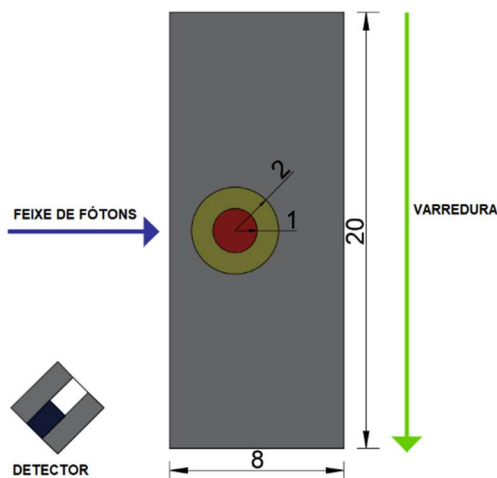


Figura 1: Corte da geometria - vista superior (unidades em centímetros).

Os pontos escolhidos para a incidência do raio de fótons estão representados na figura 2. Em um plano cartesiano, sendo o centro da armadura a origem do mesmo, os pontos os quais o feixe foi incidido vão de 2,8 até -2,8 cm, com uma distância de 0,4 cm entre cada ponto.

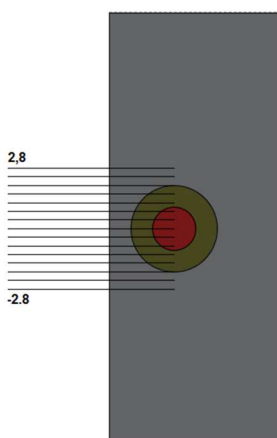


Figura 2: Posições do feixe de fótons na geometria (unidades em centímetros).

Para a análise dos dados obtidos, foi utilizado do conceito de contraste, que define a habilidade do experimento em distinguir materiais de diferentes densidades no interior da amostra. Neste trabalho ele é determinado matematicamente pela seguinte equação:

$$C_{AB} = \frac{(\bar{A} - \bar{B})}{\bar{A}}$$

onde:

C_{AB} é o contraste entre o material A em relação ao material B;

\bar{A} e \bar{B} são as médias integradas das contagens registradas pelo detector nos pontos em que o feixe incidente intercepta o material A e B respectivamente.

Resultados e Discussão

Na figura 3 estão representadas as contagens de espalhamento (Tot. Response) em função da posição de varredura do feixe, para as cinco energias utilizadas. Por uma questão de melhor visualização devido ao ajuste de escala, o resultado para a energia do ^{241}Am é mostrado separado.

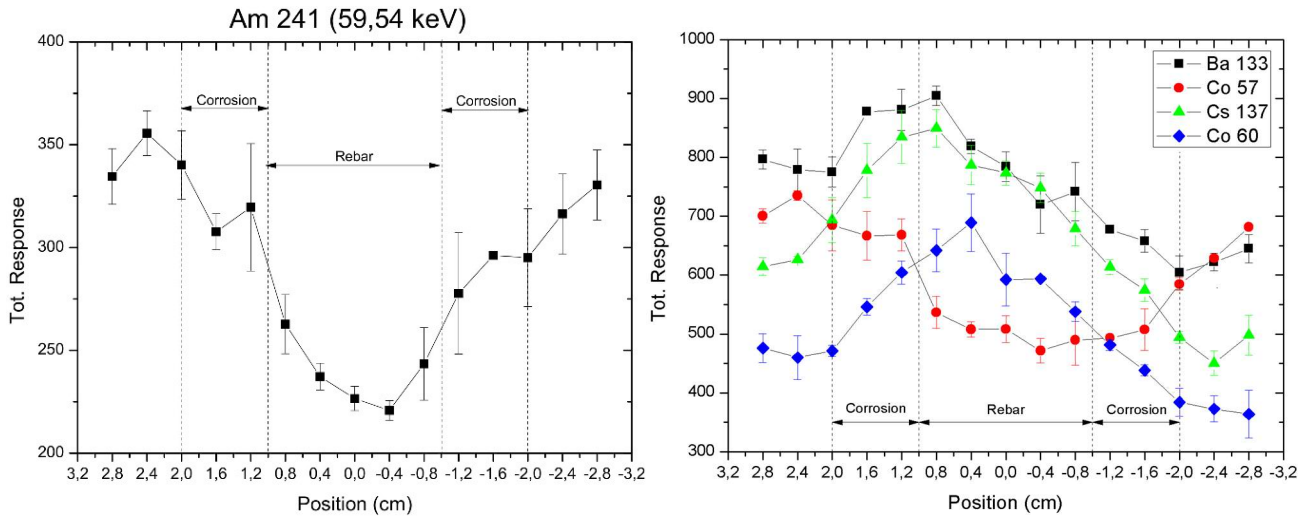


Figura 3: Contagens em função da posição para as energias do ^{241}Am , ^{57}Co , ^{133}Ba , ^{137}Cs e ^{60}Co .

Para os feixes incidentes com baixa energia (^{241}Am e ^{57}Co), o caminho percorrido pelos fótons incidentes e retroespalhados é o fator mais significativo no número de fótons que chegam ao detector. Porém, conforme a energia do feixe incidente aumenta, a densidade eletrônica do material passa a ter mais influência na contagem de fóton espalhados, de modo que o caminho percorrido perde significância (SCANNAVINO e CRUVINEL, 2012). Tal fato explica a inversão da concavidade das curvas na figura 3 entre os feixes de baixa energia (^{241}Am e ^{57}Co) e os de alta energia incidente (^{133}Ba , ^{137}Cs e ^{60}Co).

Podemos notar que as curvas ^{241}Am e ^{60}Co são as que possuem as diferenças mais acentuadas de contagem para materiais de diferentes densidades. Para verificar isso, calculamos o contraste que indica a capacidade de resolução espacial e diferenciação de materiais da técnica. Os valores de contraste para todas as energias são mostrados na tabela 1.

	Contraste				
	Am 241	Co 57	Ba 133	Cs 137	Co 60
Concreto e Ferrugem	9,12	7,04	11,61	29,98	22,91
Ferrugem e Aço	22,78	22,43	4,92	0,36	11,44
Concreto e Aço	29,82	27,89	6,12	29,52	36,98

Tabela 1: Contrastes entre os materiais.

Por este motivo estas duas fontes foram escolhidas para as demais simulações feitas, já que apresentaram os melhores contrastes.

Para uma melhor análise da percepção da mudança de material no retroespalhamento, a figura 4 compara o pilar que possui a armadura com corrosão e um pilar semelhante, porém sem corrosão (raio da armadura 2 cm).

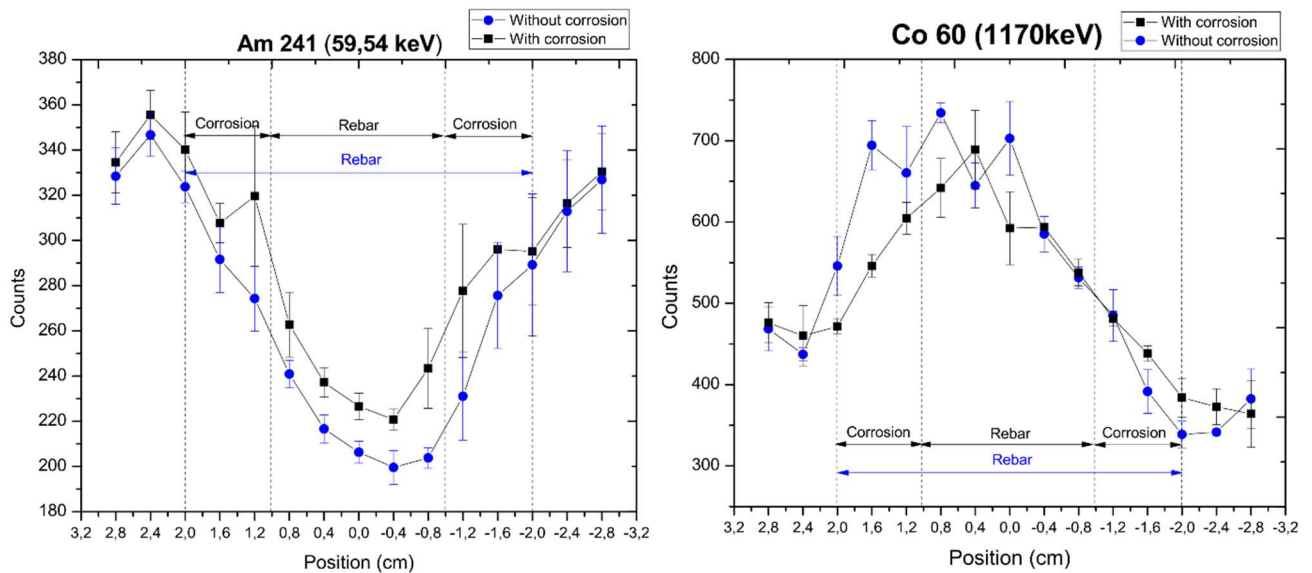


Figura 4: Comparação da contagem por posição do feixe, com e sem corrosão, para ^{241}Am e ^{60}Co .

Para ^{241}Am , é facilmente perceptível a diferença de contagem ao decorrer das duas curvas, de modo que a armadura que contém a corrosão possui um número de contagens maior que a armadura livre da patologia. Isso ocorre devido o caminho percorrido pelo feixe incidente e o feixe retroespalhado, sendo que quando a armadura possui corrosão, a atenuação é menor devido sua densidade.

Para ^{60}Co , a diferença de contagens está presente, mas não tão perceptível quanto ^{241}Am . Ao contrário da energia anterior, que a diferença ocorre na maior parte das duas curvas, neste caso a diferença entre as duas é mais evidente entre 2,4/0,4 cm e -1,2/-2,4 cm, que é onde ocorre a mudança de material, do concreto para a ferrugem.

Além disso, para o ^{60}Co as contagens tendem a aumentar conforme o feixe se aproxima do ferro e diminuir conforme se distancia dele, sendo que em ^{241}Am ocorre de forma contrária. Neste caso, as contagens são determinadas pela densidade eletrônica, então conforme o feixe se aproxima do ferro, que possui uma densidade maior que a da ferrugem e do concreto, as contagens aumentam.

Conclusões

Neste trabalho empregamos com êxito a simulação de Monte Carlo visando a detecção de corrosão em armaduras de concreto armado através da técnica de retroespalhamento Compton.

Dentre as cinco energias testadas às correspondentes aos isótopos ^{241}Am (59,54 keV) e ^{60}Co (1170 keV), foram as que apresentaram melhor eficiência na identificação de processos corrosivos na armadura, através das diferenças de contagem dos fótons retroespalhados nos diferentes materiais. Variações na geometria, espessura do feixe incidente e tamanho do colimador, podem ser estudados em trabalhos futuros visando o melhoramento da técnica.

Referências bibliográficas

BÖHLEN, T. T.; CERUTTI, F.; DOSANJH, M.; FERRARI, A.; GUDOWSKA, I.; MAIRANI, A. e QUESADA, J. M. Benchmarking nuclear models of FLUKA and GEANT4 for carbon ion therapy. **Physics in Medicine & Biology**, v. 55, n. 19, p. 5833-5847, 2010.

FASSO, A.; FERRARI, A.; RANFT, J. e SALA, P. R. **FLUKA: a multi-particle transport code**. CERN-2005-10, INFN/TC_05/11, SLAC-R-773, 2005. 406 p.

IRIE, H.; YOSHIDA, Y.; SAKURADA, Y. e ITO, T. Non-destructive-testing Methods for Concrete Structures. **NTT Technical Review**, v. 6, n. 5, p. 1-8, 2008.

JOOHEE, O.; HEE-SEOCK, L.; SUYEL, P.; MINHO, K.; SUKMO, H.; SEUNGKOOK K. e WOON-KAB, C. Comparison of the FLUKA, MCNPX, and PHITS Codes in yield calculation of secondary particles produced by intermediate energy proton beam. **Progress in Nuclear Science and Technology**, v. 01, p. 85-88, 2011.

OKUNO, E.; e YOSHIMURA, E. M. **Física das Radiações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010, 296p.

SOARES, A. P. F. e VASCONCELOS, L. T. Corrosão em armaduras de concreto. **Cadernos de Graduação - Ciências exatas e tecnológicas** v. 3, p. 177-18, 2015

SCANNAVINO, F. A. e CRUVINEL, P. E. A graphical tool for an analytical approach of scattering photons by the Compton effect. **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A**, v. 674, p. 28-38, 2012.