



P

ROTEÇÃO CONTRA RADIAÇÕES
NA COMUNIDADE DOS PAÍSES
DE LÍNGUA PORTUGUESA

Luis Neves (coord.)

IMPRESA DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA
2018

**AVALIAÇÃO DE RISCO BIOLÓGICO E MODELAGEM DE
CONSEQUÊNCIAS EM CENÁRIO URBANO
UTILIZANDO EQUAÇÕES BEIR VII E SIMULAÇÃO
POR MONTE CARLO – ESTUDO DE CASO**

**BIOLOGICAL RISK ASSESSMENT AND MODELING OF
CONSEQUENCES IN URBAN SETTING USING BEIR VII
EQUATIONS AND MONTE CARLO SIMULATION - CASE
STUDY**

R. G. GOMES - ggrprojetos@gmail.com (Seção de Engenharia Nuclear, Instituto Militar de Engenharia/ Programa de Engenharia Nuclear PEN/COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro)

K. L. BRAGA - mkelmo.lins@gmail.com (Seção de Engenharia Nuclear, Instituto Militar de Engenharia)

M. P. C. MEDEIROS - eng.cavaliere@gmail.com (Seção de Engenharia Nuclear, Instituto Militar de Engenharia/ Programa de Engenharia Nuclear PEN/COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro)

W. F. REBELLO - wilsonrebello@gmail.com (Departamento de Estruturas e Fundações, Universidade do Estado do Rio de Janeiro/ Seção de Engenharia Nuclear, Instituto Militar de Engenharia)

D. D. CARDOSO – domin@ime.eb.br (Seção de Engenharia Nuclear, Instituto Militar de Engenharia)

A. X. SILVA – ademir@con.ufrj.br (Prog. Eng. Nuclear PEN/COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro)

S. C. A. CORREA – scorrea@cnen.gov.br (Div. de Apl. Industriais, Comissão Nacional de Energia Nuclear)

PALAVRAS-CHAVE: Monte Carlo, BEIR VII, Modelagem.

RESUMO: Atualmente é crescente a preocupação internacional com a possibilidade de ações utilizando materiais radioativos em ambientes urbanos com o objetivo de causar instabilidades. Modelar consequências e desenvolver a capacidade de prever os riscos envolvidos em ações desta natureza é fundamental para que o processo decisório tenha suporte científico para a proteção da população. Neste trabalho, um cenário urbano hipotético consistindo de uma fonte radioativa de césio-137 abandonada em via pública é simulado por meio do código nuclear MCNPX com o objetivo de calcular as doses sobre indivíduos do público. A análise do cenário é feita utilizando os resultados das equações BEIR VII. O estudo aborda os riscos de desenvolvimento de cânceres a partir de estimativas de doses calculadas pela modelagem computacional com o uso do código MCNPX. Resultados indicaram cerca de 80 mSv no somatório do equivalente de dose ambiente calculado na altura do tórax nas condições admitidas na modelagem e apontam para maiores danos pulmonares a mulheres jovens.

KEYWORDS: Monte Carlo, BEIR VII, Modeling.

ABSTRACT: Currently there is a growing international concern over the possibility of actions using radioactive materials in urban environment in order to cause instabilities. Modelling consequences and develop the ability to predict the risks involved is essential for decision-making to be covered by scientific

support. In this work, a hypothetical urban scene consisting of a radioactive cesium-137 source abandoned in public road is simulated by nuclear MCNPX code for calculating the doses for the public. The scene analysis is performed using the results from BEIR VII equations. Results indicated about 80 mSv in H10* point to greater lung damage to young women in comparison to that for men.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente é crescente a preocupação internacional com a possibilidade de ações assimétricas utilizando materiais radioativos em ambientes urbanos com o objetivo de causar baixas ou promover desordem. São poucos os países com estrutura de saúde suficiente para atendimento a radioacidentados considerando evento de massa. Este problema se intensifica quando na fase de triagem, onde os indivíduos são separados em categorias para atendimento adequado e o registro de um evento radiológico pode ser omitido. Assim, modelar consequências para apoiar processos decisórios pode ter fundamental importância na comunicação de riscos e na redução do estado de pânico da população envolvida. O trabalho tem como objetivo simular um cenário urbano por meio de modelagem computacional com o uso de código nuclear MCNPX para calcular doses de radiação em seres humanos e, a partir desses resultados, realizar análise de risco de desenvolvimento de cânceres devido à exposição à radiação. Trata-se de um cenário RED, Radiation Exposure Device, onde um dispositivo (fonte radioativa) somente expõe à radiação pessoas que se encontram no seu entorno. As doses simuladas são inseridas no modelo BEIR VII que trata de funções para análise de risco de desenvolvimento de cânceres

induzidos pela exposição à radiação. Suas equações tomam como princípio o Life Span Study (LSS), que é a estatística obtida pelo estudo feito a partir de sobreviventes das bombas de Hiroshima a Nagasaki. O trabalho aborda tais riscos para incidência e mortalidade a partir dos resultados de doses calculadas pela modelagem computacional com o uso do código MCNPX e aplicação da modelagem BEIR VII.

2. MÉTODOS

2.1. Da modelagem

Como cenário de via pública, foi escolhida uma calçada de acesso a um estabelecimento público. Buscou-se dimensionar geometricamente o cenário e proceder a modelagem utilizando o software Google Sketch Up (Figura 1). Para programação no MCNPX, foram considerados os materiais: (a) piso da calçada; (b) poste de iluminação; (c) lixeira e (d) fonte de césio-137 com atividade industrial não informada por questões de segurança. Considerou-se um indivíduo caminhando pela calçada em direção à lixeira por representar atitude comum aos que utilizam o passeio público. Um indivíduo caminha a uma velocidade média de 1,2 m/s ao longo de 60 m (30 m antes e depois da lixeira) exposto à radiação. As doses foram calculadas por equivalente de dose ambiente, $H^*(10)$, com a função F5 do MCNPX. Os pontos calculados foram posicionados na altura do tórax (aproximadamente 1,5 m do solo) e, efetuando o somatório dessas doses absorvidas nos diversos pontos ao longo da calçada, simulou-se toda a radiação absorvida pelo indivíduo ao longo da sua trajetória (Figura 2).

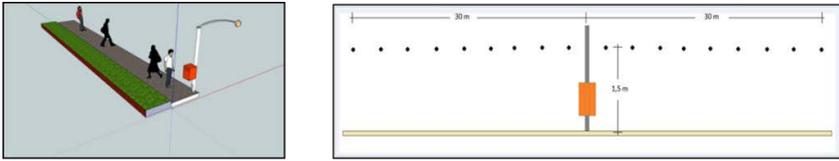


Figura 1. (A) Esquema do cenário feito utilizando o Google SketchUp, (B) Desenho esquemático do posicionamento dos detectores pontuais F5 do MCNPX para o cálculo do $H^*(10)$ [mSv].

2.2. Da análise pelo modelo BEIR VII

O relatório denominado Biological Effects of Ionizing Radiation VII (BEIR VII, 2006) representa os documentos que trazem as mais atualizadas e completas estimativas de riscos para câncer radioinduzido. O BEIR VII limita como baixas doses valores até 100 mSv (0,1 Sv) para radiações de baixo LET (BEIR VII, 2006). A grande contribuição do BEIR VII tem sido o desenvolvimento de modelos que permitem estimar os riscos de incidência e de mortalidade, considerando a dose, o sexo e a idade de exposição do indivíduo. O risco atribuível ao tempo de vida (Lifetime Attributable Risk - LAR) é a medida base de risco de BEIR VII. Para um indivíduo com idade e e exposto a uma dose D , o LAR é dado pela EQ. 1:

$$LAR(D, e) = \sum_{e+L}^{100} M(D, e, a) \cdot \frac{S(a)}{S(e)} \quad (1)$$

O somatório compreende o intervalo de $a=e+L$ até $a=100$, sendo a a idade alcançada (em anos) após uma exposição ocorrida em uma idade e , e L o período de latência (5 anos para cânceres sólidos e 2 anos para leucemia). $S(a)$ é a probabilidade de sobrevivência a uma idade a , e $S(a)/S(e)$ é a probabilidade de sobrevivência a uma idade a condicionada à sobrevivência a idade e . O termo $M(D, e, a)$ pode ser calculado utilizando o modelo de Excesso de Risco Relativo (ERR) ou o modelo de Excesso de Risco Absoluto (EAR).

Os valores de LAR são calculados conforme cada modelo, ERR e EAR, separadamente. Posteriormente, a metodologia BEIR VII combina os resultados encontrados fazendo a média ponderada apresentada na EQ. 2.

$$\text{LAR} = (\text{LAR}_R)^w (\text{LAR}_A)^{1-w} \quad (2)$$

Onde LAR_R é o LAR obtido a partir do modelo ERR, LAR_A o LAR obtido do modelo EAR e w o peso aplicado conforme tipo de câncer.

Os valores combinados de LAR foram corrigidos pelo fator de eficácia da dose taxa de dose (DDREF) de 1,5. Expressos em casos por 100 mil indivíduos expostos a uma dose única de 0,1Gy, tais valores permitem calcular os fatores de risco de incidência e de mortalidade para câncer em diversas situações conforme idade, sexo (gênero) e órgão ou tecido considerado.

3. RESULTADOS

As distribuições das doses para um indivíduo que caminha ao longo de uma calçada de 60 m com a fonte localizada no centro será conforme a Figura 2.

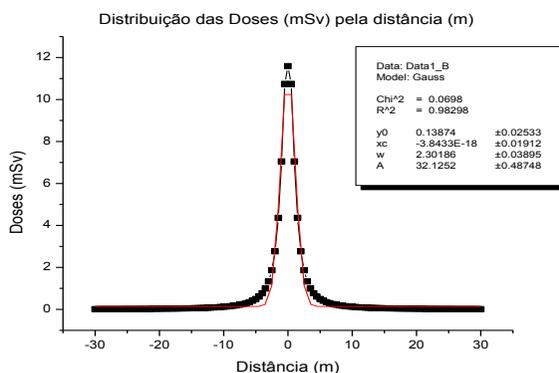


Figura 2. Gráfico de Distribuição Equivalente de Dose Ambiente, em mSv, ao longo da trajetória (m) para uma fonte de Cs-137. Melhor ajuste da curva: modelo gaussiano ($r^2=0,98298$)

O somatório do equivalente de dose ambiente calculado foi de 80,06 mSv na altura do tórax nas condições admitidas na modelagem. À luz da metodologia BEIR VII (baixas doses), optou-se por estudar a Probabilidade de Risco de mortalidade e incidência para homens e mulheres em sítios específicos como no estômago, pulmão, próstata (homens) e ovário (mulheres), incluindo-se o somatório da probabilidade para todos os cânceres sólidos. Em ambos os casos, as doses calculadas apresentam riscos de incidência e mortalidade mais elevados para indivíduos mais jovens e com maior frequência nos pulmões, sendo menos otimista a previsão para mulheres, que apresentam chances de desenvolver morbidades quando comparadas aos homens na mesma situação do cenário por um fator 2. Entretanto, quando se considera o risco de incidência e mortalidade para cânceres sólidos em geral em ambos os sexos, percebe-se que a mortalidade para homens jovens é maior que para as mulheres por um fator próximo a 3 em todas as idades.

Espera-se contribuir de forma significativa para o uso da modelagem como ferramenta de avaliação de consequências em cenários radiológicos. A modelagem de consequências, como método de

apoio ao processo decisório, pode ter fundamental importância na comunicação do risco e potencial redução de estado de pânico na população em geral.

4. CONCLUSÕES

Este tipo de estudo mostra-se relevante como ferramenta de avaliação de potenciais consequências do uso indiscriminado de agente radioativo nas proporções de uso industrial, podendo levar a substanciais danos à sociedade.

Exceto pelo fato de já se ter conhecimento sobre a dispersão de um agente radiológico no cenário escolhido, analisando dados sobre os riscos associados a morbidades possíveis de serem apresentadas no futuro pelos radioacidentados, dificilmente, os agentes públicos de saúde e de segurança fariam associação com o evento radiológico, que quanto no passado menos dados podem ser mantidos prejudicando as correlações possíveis entre o evento radiológico e o desenvolvimento de qualquer morbidade associável.

Outrossim, fato é que existem poucos países com estrutura de saúde que tenha equipes treinadas e capacitadas para atendimento de radioacidentados em escala de evento de massa. Este problema se intensifica quando a fase de triagem, onde os indivíduos são separados em categorias para atendimento adequado, não registra a informação de um evento radiológico.

Desta forma, a modelagem de consequências, como método de apoio ao processo decisório, pode ter fundamental importância na qualidade da informação com efeito sobre a comunicação do risco e redução de estado de um estado de desinformação que pode levar a uma situação de pânico na população em geral. A utilização de dados provenientes das modelagens de consequências pode oferecer informação de tal relevância que implique em melhoria da qualidade

do risco informado à população promovendo melhores condições de gerenciamento da crise instalada e maior conforto ao processo decisório sobre a questão radiológica.

Agradecimentos

Pela parceria e intercâmbio na troca de experiências dos pesquisadores e professores do IME, UERJ, CTEEx, CNEN e UFRJ.

Referências

- Attix, F. H. (1986). Introduction to radiological physics and radiation dosimetry. New York: Wiley.
- Braga, K. L. (2016). Estudo, utilizando o código MCNPX, da radiação espalhada e produzida pelas paredes de salas de radioterapia e seus efeitos sobre doses equivalentes, doses efetivas e fatores de risco para carcinogêneseradioinduzida nos pacientes. (master's thesis). 101p. Instituto Militar de Engenharia, Seção de Engenharia Nuclear.
- CNEN-NN (2011). C. N. E. N. 3.01 – Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica. Ministério da Ciência e Tecnologia. Rio de Janeiro, Brasil
- Health risks from exposure to low levels of ionizing radiation: BEIR VII Phase 2. (2006). Washington, D.C.: National Academies Press.
- IAEA. (1996). Methods for Estimating the Probability of Cancer from Occupation Radiation Exposure. IAEA-TECDOC –870. Vienna, Austria.
- IAEA. (2003). Categorization of Radioactive Sources. IAEA-TECDOC-1344. Vienna, Austria.
- ICRP. (2007). Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 103, New York, Pergamon Press, Oxford, 2007.
- LARA. (2015, Novembro 21). Bibliothèque d'émissions gamma et alpha. Disponível em <http://laraweb.free.fr/>
- REMM. (2016, Janeiro 20). Guidance on Diagnosis and Treatment for Healthcare Providers. Disponível em <http://www.remm.nlm.gov/index.html>
- X-5 Monte Carlo Team. (2003) MCNP — A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version5. Volume I to III: Overview and Theory.