

08 a 11 de Outubro de 2018  
Instituto Federal Fluminense  
Búzios - RJ

## **SIMULAÇÃO DE CURVAS DE ISODOSE POR TÉCNICA DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL PARA AVALIAÇÃO DE MISTURAS LIQUIDO-LIQUIDO EMPREGANDO-SE RADIOTRAÇADORES**

**Santos, R.F.G<sup>1</sup>** –rsantos@con.ufrj.br  
**Domingues, A.M<sup>2</sup>** – alessandrodomingues@msn.com  
**Brandão, L.E.B<sup>3</sup>** – brandao@ien.gov.br  
**Kenup-Hernandes, H.O<sup>4</sup>** - hkenup@ien.gov.br  
**Gonçalves, E.R<sup>5</sup>** – eduardoprofisica@yahoo.com.br  
**Thalhofer J.L<sup>6</sup>** - jardellt@yahoo.com.br

<sup>1,6</sup> Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós Graduação (PEN/COPPE-UFRJ) - Rio de Janeiro, RJ, Brazil  
<sup>2,3,4,5</sup> Instituto de Energia Nuclear (IEN/CNEN)-Rio de Janeiro, RJ, Brazil

**Resumo:** *Muitos problemas associados ao processo de mistura são detectados em indústrias, resultando em um processo ineficiente da mistura. A técnica envolvendo a medida das funções de distribuição do tempo de residência (RTD) utilizando radiotraçadores tem sido utilizada para a determinação do tempo de homogeneização da mistura em misturadores industriais e detecção de problemas diversos. A utilização de radiotraçadores em instalações industriais requer a aferição da dose produzida pelo radiotraçador na região onde ocorrerão os experimentos, de forma a assegurar a radioproteção dos indivíduos que de alguma maneira serão expostos à radiação. A otimização e planejamento da injeção do radiotraçador em um misturador pode ser realizada utilizando simulação computacional. Desta maneira, é possível medir dose a diferentes distâncias simulando uma situação real de injeção de um radiotraçador em um misturador. O presente trabalho apresenta a simulação de um tanque usado no laboratório de Radiotraçadores (IEN), simulando a geometria do tanque misturador e avaliando os valores de dose medidos a diferentes distâncias. Os resultados indicam os parâmetros que devem ser considerados para classificação das áreas como livres, controladas e proibidas, tendo como padrão a indicação dos valores de dose estabelecidos pela CNEN; de  $0,5\mu\text{Sv/h}$  para indivíduo público e  $10\mu\text{Sv/h}$  para indivíduo ocupacionalmente exposto. Os resultados obtidos se mostraram satisfatórios e foi possível através da análise dos valores obtidos indicar possíveis alterações a fim de manter a segurança dos trabalhadores.*

**Palavras Chave:** Radiotraçadores, Misturador, Radioproteção, Simulação Computacional

## 1. INTRODUÇÃO

Radiotraçadores são amplamente utilizados para a avaliação de misturadores industriais (OTHMAN,2014). Esta tecnologia tem desempenhado importante papel em diversos setores da indústria como petroquímicos, petróleo e gás, bem como tratamento de efluentes e plantas. A técnica consiste na injeção de um composto químico marcado com um isótopo radioativo e na detecção da radiação emitida pelo radiotraçador durante o processo industrial.

Essa metodologia é amplamente empregada para avaliação de unidades industriais e permite a localização de falhas operacionais, contribuindo para a melhora na eficiência do processo (OTHMAN,2014).

Em misturadores industriais o uso de radiotraçadores tem se mostrado uma técnica eficiente devido à aplicação não invasiva e possibilidade de monitoração sem necessidade do desligamento. A operação unitária de agitação ou mistura de fluidos desempenha importante papel nos processos industriais, podendo ser empregada com diversas finalidades, entre as quais, cita-se: a mistura de líquidos miscíveis ou imiscíveis; na aceleração de trocas térmicas; para promover incorporação de sólidos em meios líquidos; na formação de soluções ou suspensão (STEGOWSKI,2004).

A utilização de radiotraçadores na indústria requer o estabelecimento de um programa radioproteção em cada estágio do processo (exposição e controle de contaminação) otimizando a proteção de trabalhadores e do público. A otimização da proteção deve começar no projeto inicial devido a maior flexibilidade de introdução de mudanças, continuando na fase operacional, com a capacidade de responder a situações inesperadas. A CNEN exige que aqueles que estão ocupacionalmente expostos tenham suas doses avaliadas e que os valores de dose equivalente para indivíduos públicos, estabelece a faixa considerada como área livre para dose inferior a  $0,5\mu\text{Sv/h}$ , área supervisionada e para área controlada  $10\mu\text{Sv/h}$  ( indivíduos ocupacionalmente expostos,IOE)(CNEN NN3.01). Dessa forma é fundamental que o supervisor de proteção radiológica estabeleça esses limites de área considerando que os trabalhadores da indústria onde sera feita a operação não são IOE. O estabelecimento dos limites deve ser realizado através do mapeamento da dose, a fim de estabelecer parâmetros operacionais da planta. Este mapeamento pode ser realizado através da obtenção das curvas de isodose, que informam os valores de dose nos arredores do local onde ocorrerá a pratica com utilização de material radioativo. As curvas de isodose são geralmente medidas usando dosímetros distribuídos ao redor de todo o dispositivo e este procedimento consome uma grande quantidade de dosímetros, tempo de irradiação e mão de obra (OLIVEIRA, 2000). O uso de métodos matemáticos códigos de transporte podem reduzir significativamente esse problema e por vezes, podem ser necessários a utilização de códigos complexos e demorados. Códigos computacional como o MicroShield possibilitam a obtenção de diversos parâmetros como fluência, fluxo, dose absorvida. Para a realização de uma simulação computacional de transporte da radiação é necessário o fornecimento de um input contendo especificações da geometria,do tipo de radiação a ser simulada,interações físicas que podem ocorrer na simulação, técnicas de redução de variança, constituição química dos materiais usados na simulação e o tipo de resposta esperada (SOHRABPOUR, 2002).MARINCEL e colaboradores analisaram utilizando o Microshield, a dose ao redor de barrís de combustível,concluindo que há superestimação nos valores de dose na norma vigente.

Husamuddin e colaboradores avaliaram usando Microshield a exposição causada por amostras irradiadas no reator Triga Puspatti concluindo que a simulação produziu resultados satisfatórios quando comparados aos medidos.

No presente trabalho o software MicroShield 5.3 foi usado para avaliação de curvas isodose para diversas distâncias, desde a etapa de injeção do radiotraçador até a mistura final.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Para as simulações realizadas neste trabalho foi usado o código computacional MicroShield, que é um programa abrangente de blindagem de raios gama e fótons / raios gama. Este código é amplamente utilizado para projetar blindagens, estimar a energia da fonte a partir de medições de radiação, minimizar a exposição a pessoas sinalizando a blindagem adequada baseada na medição de dose e outras grandezas simuladas. O MicroShield usa um método matemático chamado de quadratura de Gauss para integração numérica de ponto-kernel para cálculos de integração. Neste método, a fonte é separada em um número de kernels determinados pela ordem de quadratura. Em geral, quanto maior a ordem de quadratura, os resultados serão mais precisos.

### 2.2 SIMULAÇÃO DO MISTURADOR

A simulação do misturador e a obtenção dos valores de dose foram realizadas seguindo as seguintes etapas:

- 1) obtenção das medidas reais do misturador e simulação no software computacional.
- 2) Simulação das situações de injeção
- 3) Simulação da obtenção da dose nos pontos desejados

Como vaso de mistura foi usado um tanque cilíndrico de PVC com volume total de 60 L que possui duas entradas laterais e uma na base, como mostrado na Figura 1.

O tanque foi preenchido com água (40 L) e como radiotraçador foi empregado I-131 (5 ml solução aquosa de NaI). A fonte foi simulada em duas situações: primeira com a fonte esférica (raio = 1 cm), simulando o processo de injeção com a fonte totalmente concentrada. E uma segunda situação considerando a fonte totalmente diluída no volume de 40 L de água (158,7 g em 100 ml de água).



Figura1: Vaso misturador utilizado na simulação.O dispositivo possui raio de 19 cm e altura de 35,2 cm. Foi simulado a utilização de 80% do volume total do tanque, equivalente a 40 L.

As informações relativas a geometria do tanque foram utilizadas como input no código. Foi simulado 6 posições de isodose pontuais destinados a quantificar a dose a diferentes distâncias do vaso.As distâncias foram escolhidas observando as seguintes situações:

- Posição 1: Posição do detector usado nas medições de tempo de residência.
- Posição 2: Posição do pesquisador/aluno responsável pela injeção do radiotraçador.
- Posição 3: Posição do pesquisador/alunos que acompanha o experimento e não participa do processo de injeção.

A simulação do vaso misturador e da posição dos detectores são ilustradas na Figura 2. A visualização foi realizada utilizando o software Moritz.

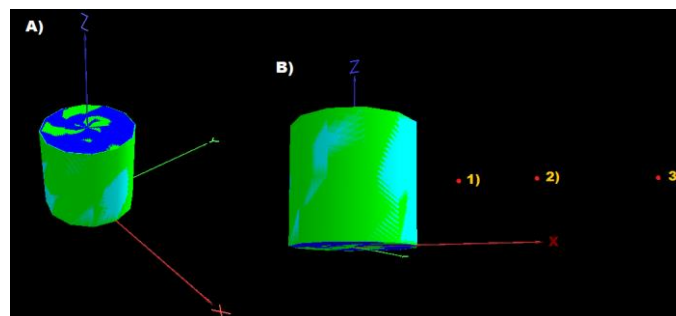


Figura 2: A) visualização do vaso misturador: os orifícios de entrada e demais dispositivos são irrelevantes na análise da exposição, sendo desprezados na simulação. B) Posição dos pontos de isodose em relação ao vaso misturador.

A distância adotada como referência dos pontos foram de 10,50 e 100 cm do vaso misturador, baseado nos critérios adotados acima. A Tabela 1 indica em três dimensões as posições dos pontos no espaço.

Tabela 1: Posição dos pontos 1, 2, e 3.

Pontos	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)
1	10	35,2	0
2	50	35,2	0
3	100	35,2	0

Após a demarcação dos pontos, foram simulados três situações que retratam possíveis comportamentos da concentração de I-131 no misturador. A situações 1-a e 1-b são demonstradas na Figura 3.

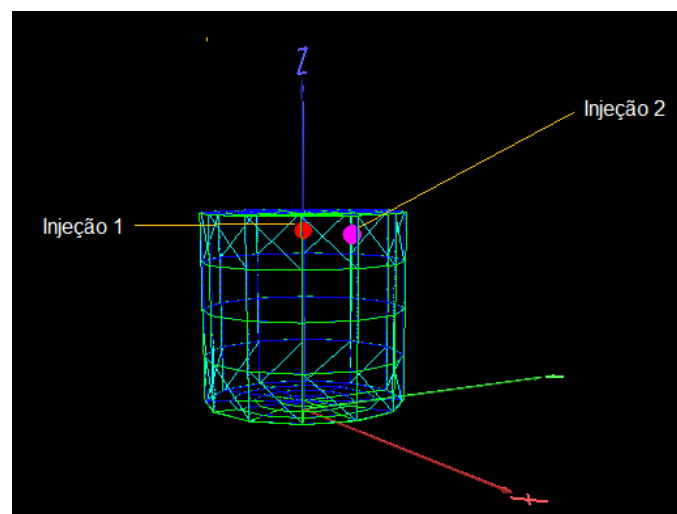


Figura 3: Injeção 1: Simulação da injeção do radiotraçador no tanque de mistura para duas posições: posição 1-a, injeção no centro do tanque e posição 1-b injeção na borda do tanque.

Na situação 2 é considerado que toda fonte é diluída em 40 L de água, tendo por consequência que toda água do tanque se transforma em uma fonte. A Figura 4 ilustra o vaso misturador preenchido pela mistura água+fonte.

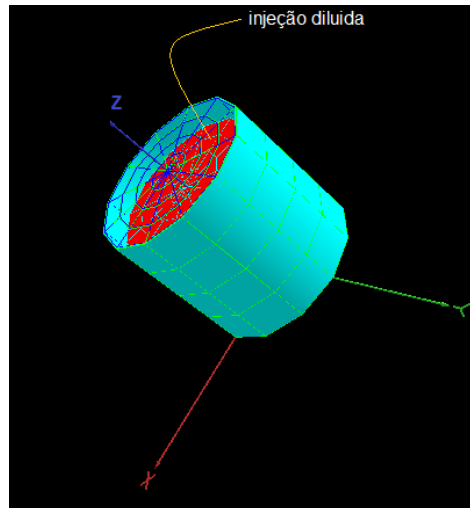


Figura 4: Fonte totalmente diluída na água presente no misturador. A diluição da fonte na água produz aproximação dos indivíduos a fonte.

A simulação computacional forneceu a exposição nas distâncias mostradas acima. Para a análise da dose foi necessária a realização da conversão de cada valor de exposição obtido. A unidade de exposição obtida foi a  $\frac{mR}{h}$  (mili Roentgen/hora). Os valores foram convertidos para  $\mu\text{Sv/h}$  (micro-Sievert/hora) usando a seguinte expressão:

$$D = 10. R \quad (1)$$

Onde D é a dose em (micro-Sievert/hora) e R é a exposição em (mili Roentgen/hora).

### 3. RESULTADOS

O valor de dose não decai seguindo a lei do inverso do quadrado da distância devido a fonte ter sido simulada como fonte volumétrica. Portanto, somente para uma distancia significativa (muito maior que o raio do volume da fonte) o valor de dose decairia seguindo o inverso do quadrado da distância. As Figuras 5,6 e 7 demonstram a variação da dose em torno do tanque.

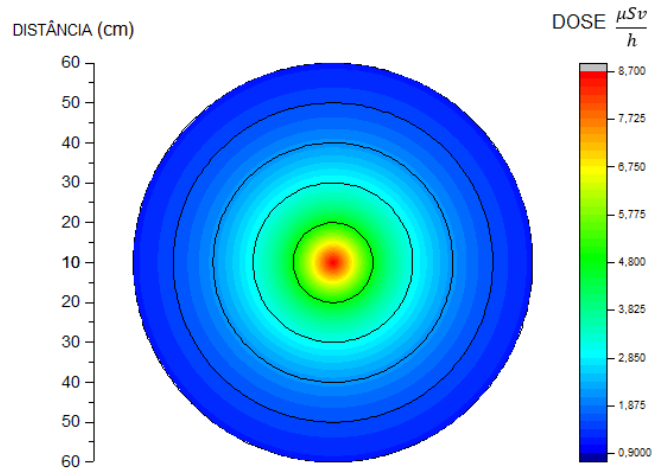


Figura 5: Curvas de isodose na situação em que a fonte está concentrada, no centro do tanque.

A situação em que a fonte está concentrada no centro do tanque representa uma possibilidade do comportamento do radiotraçador no momento da injeção. Nessa situação a radiação emitida é atenuada uniformemente pela água e pelo ar, gerando baixos valores de dose a partir da distância de 60 cm do tanque. Outra possibilidade no instante da injeção é que a fonte está concentrada e esteja encostada na borda do tanque. A figura 6 demonstra a distribuição de dose em torno do tanque.

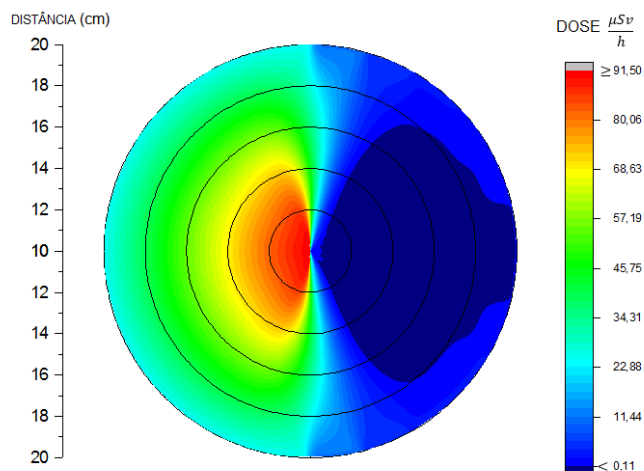


Figura 6: Curvas de isodose na situação em que a fonte está concentrada, encostada na borda do tanque

Nessa situação os valores de dose comportam-se de maneira desuniforme em torno do tanque. Próximo a borda do tanque, onde a fonte está concentrada e encostada apenas em uma fina camada de pvc, a dose atinge altos valores. O valor da dose se torna decrescente na direção diametrialmente oposta a fonte, atingindo baixos valores devido a atenuação da radiação pela água no tanque.

A Figura 7 mostra o comportamento dos valores de dose em torno do tanque considerando que a fonte totalmente diluída no tanque. Os valores de dose são mais intensos em torno do tanque devido a aproximação do radiotraçador aos pontos de análise da dose,. Consequentemente, a área controlada se expande até a distancia de 80 cm do tanque.

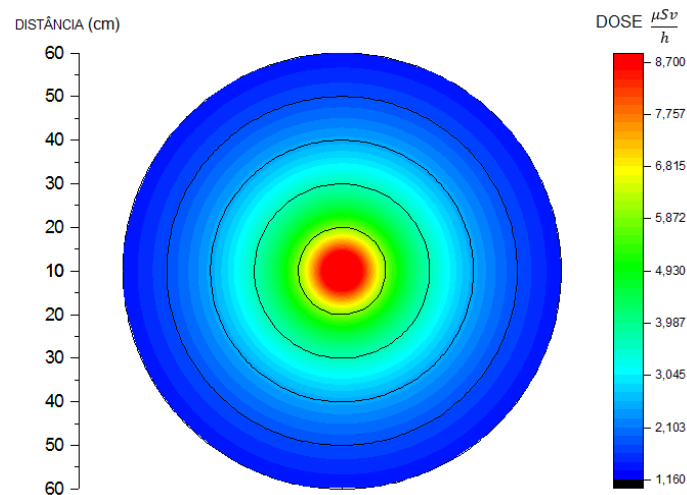


Figura 7: Curvas de isodose na situação em que a fonte foi totalmente diluída em água

A Figura 8 mostra as distâncias do tanque nas diferentes situações relativas a posição da fonte. Na figura é indicado as áreas proibidas (vermelho) para valores maiores que  $10\mu Sv/h$ , controladas (amarelo) para valores menores  $10\mu Sv/h$  e menores que  $0,5\mu Sv/h$  e livres (verde) para valores menores que  $0,5\mu Sv/h$ . Os limites foram considerados para um indivíduo que trabalhe uma semana de 40 horas e 50 semanas em 1 ano.



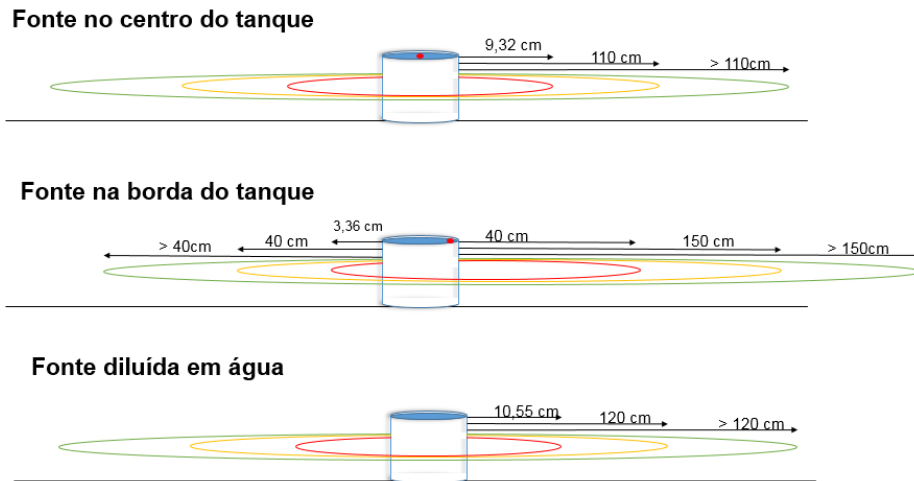


Figura 8: Curvas de isodose nas três situações, demarcando as áreas proibidas, controladas e livres.

#### 4. CONCLUSÃO

O objetivo principal do trabalho foi elaborar o procedimento que simule as condições reais de um processo de mistura líquido/ líquido utilizando I-131 como radiotraçador e estabelecer as fronteiras das áreas livres e supervisionada segundo as normas de proteção radiológica. Essa etapa é fundamental pois aqui se define qual é a atividade mínima necessária a ser empregada para que as avaliações reais ocorram segundo o programa ALARA (As Low As Reasonably Achievable) tão baixo quanto razoavelmente exequível. Conforme mostrado nas curvas, para um radiotraçador com as características demonstrada nesse trabalho, as áreas de atuação e manejo de detectores encontram-se em área controlada, inviabilizando a seguridade da atuação de um indivíduo público. A atividade do radiotraçador simulado nesse trabalho foi considerada alta, sendo recomendado a utilização de um radiotraçador com atividade mais baixa a fim de garantir a segurança dos indivíduos envolvidos no projeto.

## 5. BIBLIOGRAFIA

Anna, M.C.S. et al., (2012) “Assessment of Technology IN Static Mixer From The Analysis of Patents Applications” Revista GEINTEC. São Cristóvão/SE –. Vol. 2/n. 3/ p.205-213.

Brandão; L.E.B. (2001) “Otimização de Unidades de Tratamento de Águas Residuais Urbanas e Industriais Empregando-se Traçadores Radioativos”; Tese Doutorado. COPPE/UFRJ

CNEN-NN – 3.01, Diretrizes Básicas de proteção Radiológica, Comissão Nacional de Energia nuclear – CNEN, 2011

Danckwerts, P.V., “Continuous flow systems. Distribution of residence times, ” (1953) Chemical Engineering Science, vol. 2, no. 1, pp. 1 – 13, 1953.

Othman, N. and Kamarudin S.K. (2014), “Radiotracer Technology in Mixing Processes for Industrial Applications ” *The Scientific World Journal*, Hindawi Publishing Corporation, volume 2014, 1-15.

SAFETY REPORTS SERIES N° 423, (2004) Radiotracer applications in industry : a guidebook. — Vienna : International Atomic Energy Agency.

Stegowski, Z. and Furman, L., (2004) “Radioisotope tracer investigation and modeling of copper concentrate dewatering process, ” *International Journal of Mineral Processing*, vol. 73, no. 1, pp. 37 – 43.

MicroShield and Grove Software, MicroShield, Grove Software.

Marincel, M.K. and Weiner, R.F., (2007) “Microshield Analysis to Calculate External Radiation Dose Rates for Several Spent Fuel Casks” Waste Management Symposium, Arizona, USA.

Oliveira A. D. and Oliveira C. (2005) “Comparison of Deterministic and Monte Carlo Methods in Shielding Design”. *Radiation Protection Dosimetry*. Vol. 115, No. 1–4, pp. 254–257

Husamuddin, M. et al. (2010) “Evaluation of Dose Exposure from Irradiated Samples at Reaktor Triga Puspati (RTP)” Seminar 2010: Research and Development Seminar 2010; Bangi (Malaysia); 12-15 Oct 2010; Also available in Malaysian Nuclear Agency Document.

## **SIMULATION OF ISODOSE CURVES BY USING COMPUTER SIMULATION FOR EVALUATION OF LIQUID-LIQUID MIXTURES USING RADIOTRACER**

**Abstract:** *Many problems associated with the blending process are detected in industries, resulting in an inefficient blending process. The technique involving the measurement of residence time distribution (RTD) functions using radiotracers has been used to determine the homogenization time of the mixture in industrial mixers and to detect various problems. The use of radiotracer in industrial installations requires the measurement of the dose produced by the radiotracer in the region where the experiments will take place, in order to ensure the radioprotection of the individuals who will somehow be exposed to the radiation. The optimization and planning of radiotracer injection in a mixer can be performed using computational simulation. In this way, it is possible to measure dose at different distances simulating a real situation of injection of a radiotracer in a mixer. The present work presents the simulation of a tank used in the laboratory of Radiotracer (IEN), simulating the geometry of the mixer tank and evaluating the dose values measured at different distances. The results indicate the parameters that should be considered for the classification of the areas as free, controlled and prohibited, with the indication of the dose values established by CNEN as a standard; of  $0,5\mu\text{Sv} / \text{h}$  for public individual and  $10\mu\text{Sv} / \text{h}$  for occupationally exposed individual. The results obtained were satisfactory and it was possible through the analysis of the values obtained to indicate possible changes in order to maintain the safety of the workers.*

**Keywords:** *Radiotracers, Mixer, Radioprotection, Computational simulation.*