



## Influência de hidrocarbonetos na determinação do coeficiente de atenuação mássico utilizando densitometria gama e código MCNPX

L.O.C.Mello<sup>1,3</sup>, R.S.F. Dam<sup>2,3</sup>, W.L. Salgado<sup>2,3</sup>, J.C.Suita<sup>3</sup>, and C.M. Salgado<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*l.otavio.cmello@gmail.com, Universidade Federal do Rio de Janeiro – (UFRJ)  
Escola de Química, Centro de Tecnologia – (EQ/CT)  
Av. Athos da Silveira Ramos, 149, Bloco E – Sala 201  
Ilha do Fundão, RJ, Brasil*

<sup>2</sup>*rdam@coppe.ufrj.br; william.otero@coppe.ufrj.br, Universidade Federal do Rio de Janeiro – (UFRJ)  
Programa de Engenharia Nuclear – (PEN/COPPE)  
Avenida Horácio de Macedo, 2030, Bloco G – Sala 206  
21941-914 Cidade Universitária, RJ, Brasil*

<sup>3</sup>*suita@ien.gov.br; otero@ien.gov.br,  
Instituto de Engenharia Nuclear – (IEN)  
Rua Hélio de Almeida, 75  
21941-906 Cidade Universitária, RJ, Brasil*

### 1.Introdução

O petróleo e seus derivados são matérias-primas essenciais no ramo industrial devido à grande demanda desses produtos. Atividades como extração, refino e distribuição são de grande importância para a economia de um país e do mundo. Para produção e transporte de petróleo, há uma clara necessidade de utilização de dispositivos que possibilitem a avaliação correta do escoamento dentro dos políditos. Por isso, é de grande importância o uso e desenvolvimento de métodos que possibilitem a avaliação em tempo real de parâmetros importantes no transporte de diferentes fluidos, tais como vazão, região de interface e fração de volume.

Desta forma, técnicas nucleares não invasivas têm sido utilizadas na indústria de petróleo para monitorar sistemas de subprodutos do petróleo [1]. Portanto, essa pesquisa busca estudar a influência dos hidrocarbonetos na determinação do coeficiente de atenuação mássico ( $\mu_m$ ) utilizando densitometria gama e o código MCNPX [2].

### 2.Metodologia

A geometria de medição consiste de um detector de  $1\frac{1}{4} \times \frac{3}{4}$ " de NaI(Tl), uma fonte de radiação gama com feixe divergente de abertura 0.1415 rad (8°), um colimador de chumbo de abertura 4,2mm e diversas amostras de hidrocarbonetos, como pode ser visto na Fig. 1. O modelo do detector utilizado nas simulações foi validado experimentalmente com fontes de calibração em trabalhos anteriores [3].

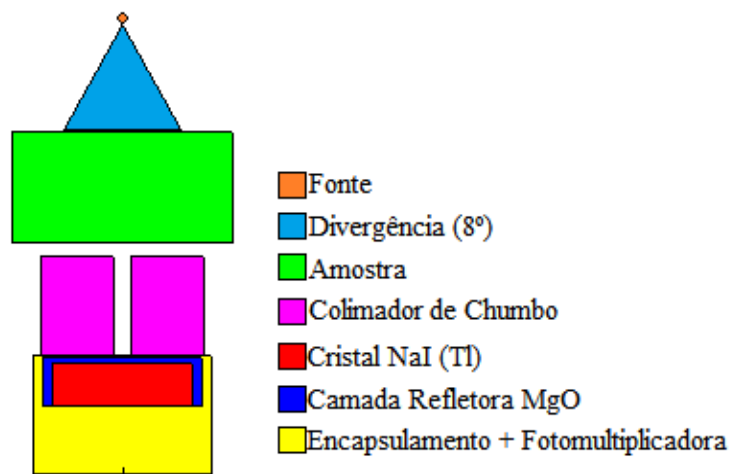


Figura 1: Geometria da simulação para obtenção do coeficiente de atenuação mássico de materiais.

Primeiramente, foram realizados testes para validar a geometria de medição utilizando as energias das fontes radiação de  $^{241}\text{Am}$  (0,0595 keV),  $^{137}\text{Cs}$  (0,662 keV),  $^{60}\text{Co}$  (1,173 e 1,332 keV), com amostras de alumínio puro ( $d = 2.6989 \text{ g/cm}^3$ ). Os resultados foram, então, comparados com os valores de referência presentes no NIST [4].

Em seguida, o procedimento foi repetido utilizando diferentes hidrocarbonetos: óleo combustível ( $d = 0,95 \text{ g/cm}^3$ ); gasolina ( $d = 0.721 \text{ g/cm}^3$ ); óleo hidráulico ( $d = 0.871 \text{ g/cm}^3$ ) e petróleo bruto – Texas ( $d = 0.875 \text{ g/cm}^3$ ). A fração mássica dos materiais e suas respectivas densidades foram retiradas do compêndio do código MCNPX [5]. Por fim, foi possível prosseguir com as simulações e obter curvas de coeficiente de atenuação mássico num intervalo de energia de 50keV até 1400keV, variando de 50 em 50keV.

### 3. Resultados e Discussão

O resultado dos testes iniciais da geometria de medição é apresentado na Tabela 1. Os valores de coeficiente de atenuação mássico calculados (código MCNPX) foram comparados com valores de referência (NIST) e o erro relativo máximo encontrado foi de 5,02% para a energia do  $^{241}\text{Am}$ . Com isso, considerou-se que os valores obtidos foram satisfatórios.

Tabela 1: Resultados comparando os valores calculados e valores de referência.

Amostras	Fonte	$\mu_m$ (MCNPX)	$\mu_m$ (NIST)	Erro Relativo (%)
Alumínio	$^{241}\text{Am}$ (59,5 keV)	2,707E-01	2,843E-01	5,02
	$^{137}\text{Cs}$ (662 keV)	7,392E-02	7,466E-02	1,01
	$^{60}\text{Co}$ (1173 keV)	5,651E-02	5,676E-02	0,43
	$^{60}\text{Co}$ (1332 keV)	5,297E-02	5,321E-02	0,45
Óleo combustível	$^{241}\text{Am}$ (59,5 keV)	1,923E-01	1,981E-01	3,04
	$^{137}\text{Cs}$ (662 keV)	8,582E-02	8,672E-02	1,05
	$^{60}\text{Co}$ (1173 keV)	6,562E-02	6,607E-02	0,68
	$^{60}\text{Co}$ (1332 keV)	6,141E-02	6,189E-02	0,78
Gasolina	$^{241}\text{Am}$ (59,5 keV)	1,942E-01	2,002E-01	3,11
	$^{137}\text{Cs}$ (662 keV)	8,810E-02	8,922E-02	1,28
	$^{60}\text{Co}$ (1173 keV)	6,723E-02	6,798E-02	1,12
	$^{60}\text{Co}$ (1332 keV)	6,282E-02	6,368E-02	1,37
Óleo hidráulico	$^{241}\text{Am}$ (59,5 keV)	2,536E-01	2,626E-01	3,53
	$^{137}\text{Cs}$ (662 keV)	7,849E-02	7,949E-02	1,28

	$^{60}\text{Co}$ (1173 keV)	5,996E-02	6,050E-02	0,90
	$^{60}\text{Co}$ (1332 keV)	5,603E-02	5,669E-02	1,18
Petróleo bruto Texas	$^{241}\text{Am}$ (59,5 keV)	1,932E-01	1,991E-01	3,05
	$^{137}\text{Cs}$ (662 keV)	8,561E-02	8,653E-02	1,08
	$^{60}\text{Co}$ (1173 keV)	6,544E-02	6,592E-02	0,73
	$^{60}\text{Co}$ (1332 keV)	6,121E-02	6,175E-02	0,87

Em seguida, foram obtidas as curvas com coeficiente de atenuação mássico de diferentes amostras de hidrocarbonetos num intervalo de energia de 50 a 1400 keV. Os resultados obtidos nas simulações com o código MCNPX foram comparados com os valores de referência do NIST, conforme é mostrado na Fig. 2.

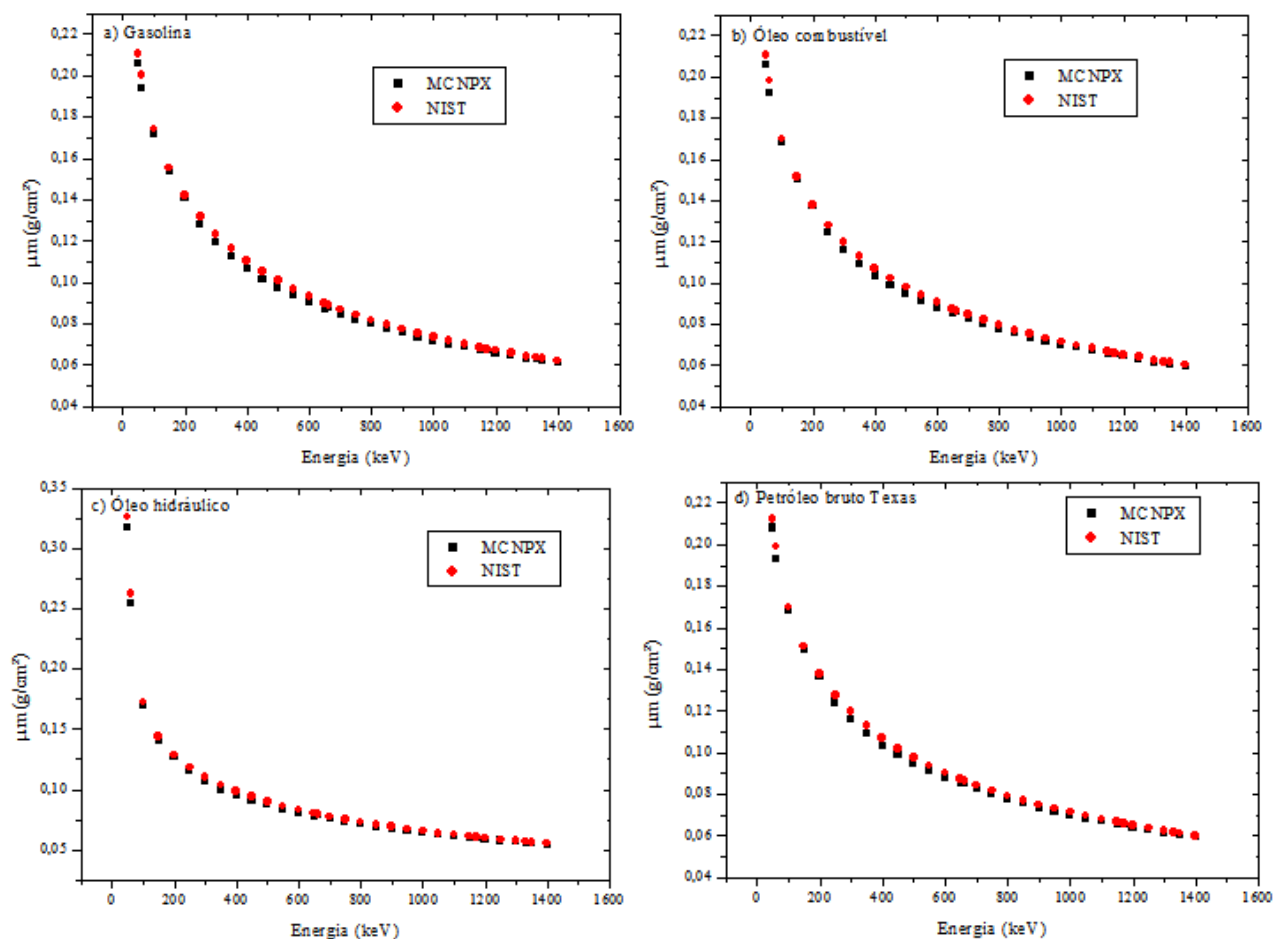


Figura 2: Coeficiente de atenuação mássico para um intervalo de energia de 50-1400keV para: a) gasolina; b) óleo combustível; c) óleo hidráulico; d) petróleo bruto (Texas).

É possível notar que há uma pequena divergência entre os valores calculados e os valores de referência em baixas energias, no entanto, a medida que a energia aumenta, os valores de coeficiente de atenuação mássico tendem a se aproximar. Em um estudo anterior, sem a utilização do colimador de chumbo, os resultados para baixas energias divergiram dos valores do NIST, com erros relativos entre 5 a 10%. Com isso, pode-se afirmar que, com a adição do colimador no detector, os resultados obtidos foram melhores.

#### 4. Conclusões

O presente estudo teve como objetivo analisar a influência de hidrocarbonetos na obtenção do coeficiente de atenuação mássico utilizando densitometria gama e o código MCNPX. Os resultados apresentados foram satisfatórios e mostraram a potencialidade do código MCNPX. Foi constatado que, para altas energias, os resultados se aproximam dos valores de referência do NIST. Enquanto que, para baixas energias, há uma inconsistência que será investigada. Em estudos futuros, a metodologia será validada experimentalmente utilizando fontes de calibração. Desta forma, com a caracterização desses hidrocarbonetos, é possível aumentar a precisão de medidores multifásicos, para que seu uso na indústria de petróleo possa ser avaliada.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de Iniciação Científica, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) –FinanceCode 001, e ao Instituto de Engenharia Nuclear (IEN).

#### Referências

- [1]W.L. Salgado, R.S.F. Dam, C.M. Barbosa, A.X. Silva, C.M. Salgado, “Monitoring system of oil by-products interface in pipelines using the gamma radiation attenuation”, *Applied Radiation and Isotopes*, Vol 160,109125, (2020).
- [2]D.B. Pelowitz, *MCNP-XMCNPX TM User’s Manual, Version 2.5.0, LA-CP-05-0369*, Los Alamos NationalLaboratory, USA, (2005).
- [3] C. M., Salgado, L. E. B., Brandão, R., Schirru, C. M. N. A., Pereira, C. C, Conti, “Validation of a NaI(Tl) detector’s model developed with MCNP-X code”, *Progress in Nuclear Energy*, Vol. 59, pp. 19 - 25 (2012).
- [4]NIST XCOM: Element/Compound/Mixture, (1996). Available online at: <<https://physics.nist.gov/PhysRefData/Xcom/html/xcom1.htm>>
- [5] R.J. McConn Jr, C.J. Gesh,R.A. Rucker, R.G. Williams II, *Compendium of Material Composition Data for Radiation Transport Modeling. PNNL-15870*, Rev. 1, Pacific Northwest National Laboratory, USA, (2011).