

# Comparação do tempo de resposta entre três detectores na qualidade de radiação N-60 da norma ISO 4037-1

## Comparison of time response between three detectors in ISO 4037-1 N-60 radiation quality

Beatriz S. Assis<sup>1,2</sup>, Leonardo C. Pacífico<sup>3</sup>, José Guilherme P. Peixoto<sup>1</sup>, Luís A. G. Magalhães<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes, Instituto de Radioproteção e Dosimetria, Rio de Janeiro, Brasil

<sup>2</sup>Instituto de Física, Universidade Federal Fluminense, Niterói, Brasil

<sup>3</sup>Departamento de Ciências Radiológicas, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil

### Resumo

Os testes de Levantamento Radiométrico são cruciais para o IOE ter conhecimento da resposta temporal de seu detector. Com isso, o objetivo deste trabalho foi fazer um estudo comparativo do tempo de resposta entre três detectores específicos para radioproteção. As aquisições das medidas se basearam na qualidade de radioproteção N-60 da norma ISO 4307-1. Foram utilizadas duas câmaras de ionização, a Fluke Victoreen 451B-RYR de 600 cm<sup>3</sup> e a câmara PTW 23361 cilíndrica de 30 cm<sup>3</sup>, e um detector de estado sólido Unfors Raysafe U8201021-CX1. Assim, foi comparada a resposta temporal dos três diante de correntes de 0,3 mA, 0,5 mA, 2,5 mA e 10 mA em tempos de exposição que variaram de 0,1 segundo até 10 segundos. Neste estudo, a CI cilíndrica apresentou certa limitação eletrônica ao ser exposta à radiação em tempos muito curtos, apresentando ruídos quando trabalhada próximo ao tempo 0, e levou cerca de 15 s para se estabilizar em todas as correntes estudadas. A CI de 600 cm<sup>3</sup> apresentou maior dependência temporal quando trabalhada com as correntes de 0,3 mA e 0,5 mA, levando cerca de 5 s para atingir a estabilidade, porém, para as demais correntes, levou 1,5 s. O detector de estado sólido levou 1,5 s para atingir a estabilidade, porém com uma menor variação ao ser trabalhado em baixas exposições temporais, apresentando um crescimento exponencial mais evidente que os demais dispositivos nestas condições.

**Palavras-chave:** tempo de resposta; detector de radiação; câmara de ionização; radioproteção.

### Abstract

*Radiometric survey tests are crucial for the IOE to know the temporal response of its detector. The aim of this work was therefore to carry out a comparative study of the time response between three specific detectors for radioprotection. The measurements were acquired based on the N-60 radioprotection quality of the ISO 4307-1 standard. Two ionizing chambers were used, the 600 cm<sup>3</sup> Fluke Victoreen 451B-RYR and the 30 cm<sup>3</sup> PTW 23361 cylindrical chamber, and an Unfors Raysafe U8201021-CX1 solid-state detector. The time response of the three was compared when exposed to currents of 0,3 mA, 0,5 mA, 2,5 mA and 10 mA at exposure times ranging from 0.1 second to 10 seconds. In this study, the cylindrical IC showed a certain electronic limitation when exposed to radiation for very short times, showing electronic noise when working near time 0, and took around 15 s to stabilize at all the currents studied. The 600 cm<sup>3</sup> IC showed greater time response when working with the 0,3 mA and 0,5 mA currents, taking around 5 s to reach stability, but it took 1,5 s for the other currents. The solid-state detector took 1,5 s to reach stability, but with less variation when working with low time exposures, showing a more obvious exponential growth than the other devices under these conditions.*

**Keywords:** time response; radiation detector; ionizing chamber; radiation protection.

## 1. Introdução

O teste de Levantamento Radiométrico trata-se de uma monitoração de área para avaliação dos níveis de radiação de uma instalação (1). Nesse contexto, a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), que é responsável por todos os aspectos de radioproteção na medicina e na indústria, inspeciona as instalações radiativas realizando o Levantamento Radiométrico, para de assegurar que a exposição às radiações ionizantes não exceda os níveis de limite de dose permissíveis (2).

Este procedimento utiliza monitores de área para a monitoração em tempo real, com objetivo de estimar os riscos iminentes aos Indivíduos Ocupacionalmente Expostos (IOE) e público. Os monitores utilizados, são as câmaras de ionização (CI) e detectores semicondutores, sendo necessário averiguar fatores como precisão, faixa de energia, linearidade e tempo de resposta, que é o foco deste trabalho (3,4). Na

realização de testes de Levantamento Radiométrico, é crucial para o profissional ter conhecimento do tempo de resposta de seu detector, já que uma escolha equivocada pode culminar em uma reprovação do teste e ônus financeiros para quem o solicitou, além de questões legais, como a interdição do estabelecimento.

O presente trabalho tem como objetivo fazer um estudo comparativo o tempo de resposta entre três detectores específicos para radioproteção, sendo utilizada a qualidade de referência da série N da norma ISO 4037-1, a N-60, implantada no LCR (5,6).

## 2. Materiais e Métodos

As aquisições das medidas se basearam nas qualidades de radioproteção N-60 da norma ISO 4307-1. Foram utilizados um tubo de raios x industrial Comet, alvo de W, modelo MXR-160/22 com tensão e corrente nominais máximas de 160 kV e 40 mA, respectivamente, com janela de 0,8 mm de Be e

filtração inerente de 0,3 mm de Alumínio; câmara de ionização Fluke Victoreen de 600 cm<sup>3</sup> modelo: 451B-RYR NS. 1540; detector de radiação semiconductor Unfors Raysafe modelo U8201021-CX1 NS.163852; conjunto dosimétrico composto pelo eletrômetro Keythley modelo 6517B e câmara de ionização cilíndrica de 30 cm<sup>3</sup> dedicada para radioproteção PTW 23361, faixa de resposta 30 keV à Co-60, que possui energia média de 1,25 MeV; disparador (*Shutter*) AGFA e painel de controle MP1; colimador com 3 cm de diâmetro e 5 mm de espessura de chumbo; um colimador com 5 cm de diâmetro e 4 mm de espessura de chumbo; filtração de Alumínio (3,7mm); filtração de cobre (0,6mm) e lasers de posicionamento transversal e longitudinal (6). Os detectores utilizados constam nas Figuras 1, 2 e 3.



Figura 1. Câmera de ionização Fluke Victoreen, modelo 451B-RYR.



Figura 2. Câmera de ionização cilíndrica PTW, modelo 23361.



Figura 3. Detector de estado sólido Unfors Raysafe, modelo U8201021-CX1.

A distância foco-detector considerada foi de 100 cm. O primeiro colimador foi colocado a 30 cm do ponto focal do tubo e o segundo a 50 cm, como está

ilustrado na Figura 4. Todos os detectores foram posicionados com auxílio dos lasers. Foram utilizados filtros de cobre e alumínio, nessa ordem, e pré-estabelecidos os tempos de exposição dos detectores de 0,1 s a 0,9 s, e depois, 1 s, 1,5 s, 2 s, 5 s e 10 s, de modo que o disparador foi configurado para obedecê-los. As correntes usadas foram de 0,3 mA, 0,5 mA, 2,5 mA e 10 mA. Todos os valores apresentados já consideram os coeficientes de calibração dos respectivos certificados de calibração, sendo a unidade final a taxa de equivalente de dose ambiente H\*(10) (7).

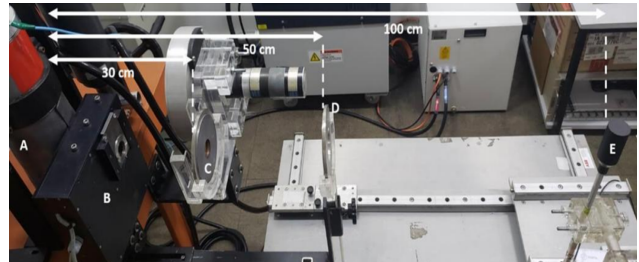
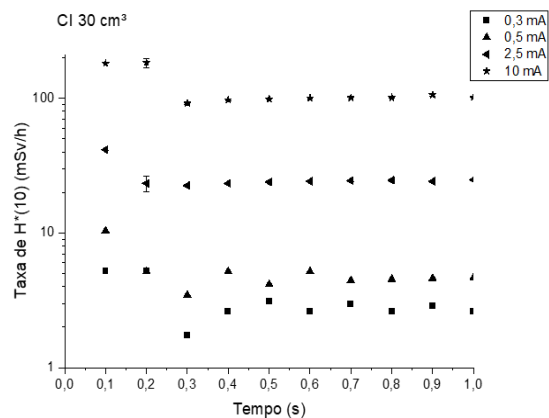
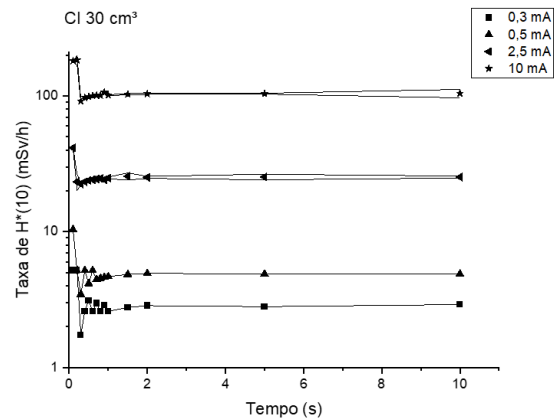


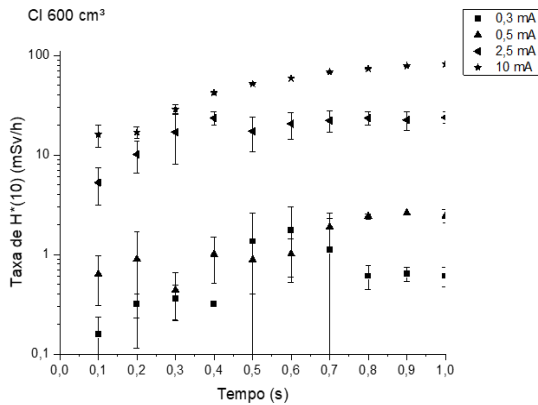
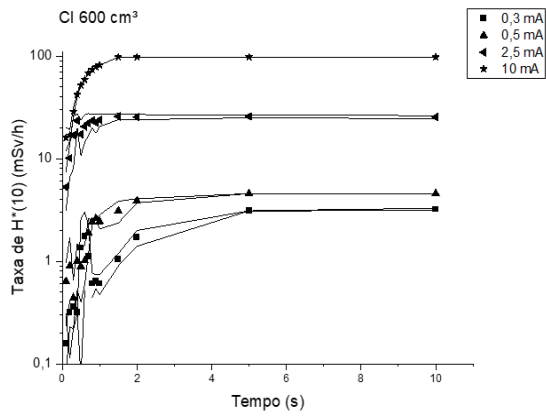
Figura 4. Arranjo experimental para a aquisição das medidas (6).

### 3. Resultados

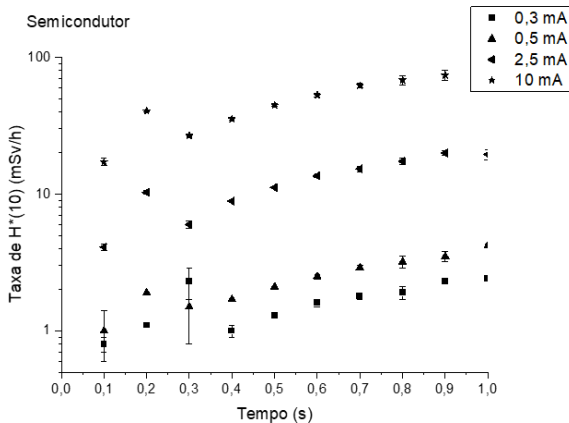
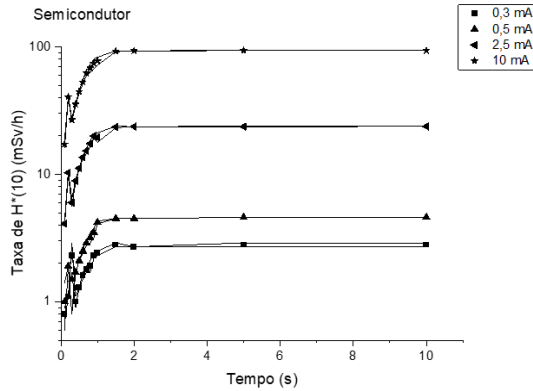
As Figuras 5 a 10 apresentam a variação da taxa de H\*(10) em função do tempo para as correntes estudadas em uma visão geral, de 0,1 s a 10 s, e para o intervalo de 0,1 s a 1 s, região de maior dependência temporal.



Figuras 5 e 6. Variação da taxa de H\*(10) de dose em função do tempo de exposição para diferentes correntes para a CI cilíndrica e suas barras de incerteza.



**Figuras 7 e 8.** Variação da taxa de  $H^*(10)$  em função do tempo de exposição para diferentes correntes para a CI  $600\text{cm}^3$  e suas barras de incerteza.



**Figuras 9 e 10.** Variação da taxa de  $H^*(10)$  em função do tempo de exposição para diferentes correntes para o detector semicondutor e suas barras de incerteza.

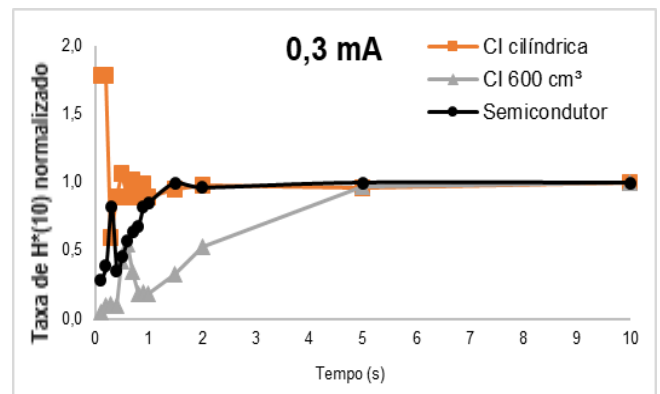
A Tabela 1 mostra o tempo de estabilização em função da corrente (mA), que foi considerado a partir do tempo que a taxa de  $H^*(10)$  ficou constante para os três fabricantes, caracterizando o tempo de resposta de cada detector.

**Tabela 1.** Tempo de estabilização (s) da taxa de dose dos detectores.

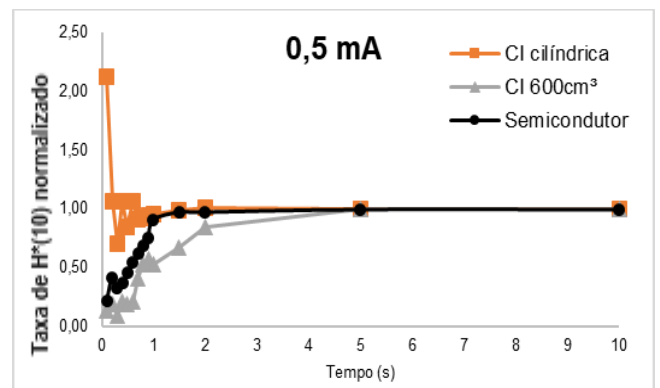
Aparelho	mA			
	0,3	0,5	2,5	10
CI Cilíndrica	1,5	1,5	1,5	1,5
CI $600\text{cm}^3$	5	5	1,5	1,5
Semicondutor	1,5	1,5	1,5	1,5

Fonte: O autor (2024).

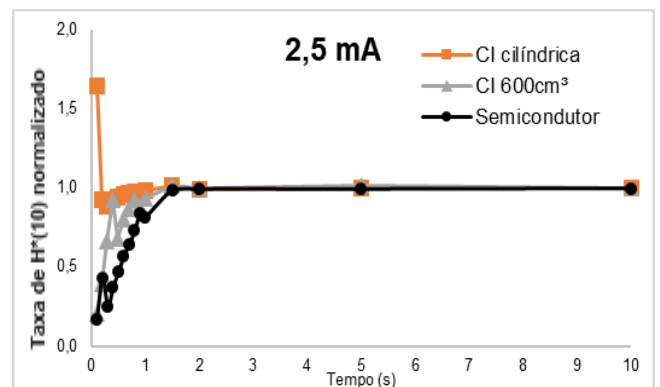
As Figuras 11 a 14 apresentam os gráficos da estabilização da taxa de dose normalizada dos três detectores, considerando as correntes estudadas de 0,3 mA a 10 mA.



**Figura 11.** Comparação do tempo de resposta entre os três detectores na corrente de 0,3 mA.



**Figura 12.** Comparação do tempo de resposta entre os três detectores na corrente de 0,5 mA.



**Figura 13.** Comparação do tempo de resposta entre os três detectores na corrente de 2,5 mA.

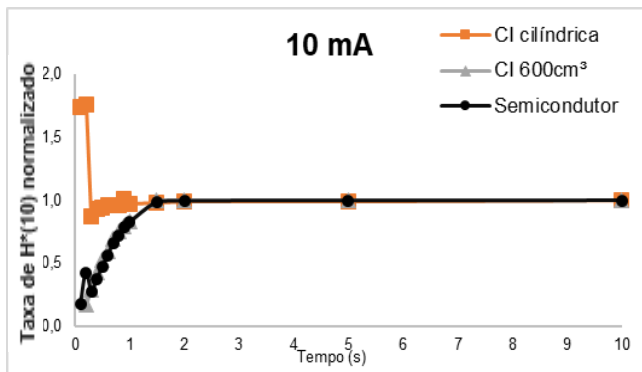


Figura 14. Comparação do tempo de resposta entre os três detectores na corrente de 10 mA.

#### 4. Discussão

Com base na análise dos gráficos, a CI cilíndrica manifestou um padrão de comportamento semelhante, quando exposta às três correntes estudadas. O dispositivo apresentou ruídos eletrônicos ao ser irradiado para baixos tempos próximo ao tempo 0,1 s, sendo minimizados à medida que a corrente era aumentada, e estabilizando em 1,5 s. O valor calculado para a corrente de fuga desta câmara foi de 7,67 fA sendo menor que o valor de referência fornecido pelo fabricante (10 fA), portanto o comportamento desordenado para tempos menores não é devido a uma possível corrente de fuga, e sim por uma provável característica eletrônica.

A CI de 600 cm<sup>3</sup> apresentou ruídos, principalmente quando trabalhada nas correntes mais baixas (0,3 mA e 0,5 mA). Porém, obteve um crescimento exponencial mais evidente até atingir sua estabilização, que levou 5 s para as correntes mais baixas e 1,5 s para as demais.

O detector de estado sólido obteve um tempo de estabilização de 1,5 s para todas as correntes estudadas, porém com uma menor variação ao ser trabalhado em baixas exposições temporais, apresentando um crescimento exponencial mais evidente que os demais dispositivos.

Neste trabalho não foi considerado a contribuição do obturador (shutter) na aquisição das medidas. Tal contribuição será abordada em trabalhos futuros, de forma a complementar o atual.

#### 5. Conclusões

A CI 600 cm<sup>3</sup>, mesmo que com tempos de respostas superiores para as correntes de 0,3 mA e 0,5 mA, obteve tempos de estabilização coerentes em relação aos dos outros detectores para as demais correntes. Além disso, o detector semicondutor e a CI cilíndrica demonstraram ter tempos de estabilização idênticos, com diferenças apenas em ruídos eletrônicos quando trabalhados próximos ao tempo 0.

Os autores puderam concluir que, nesta análise experimental, a CI 600 cm<sup>3</sup> apresentou uma maior dependência temporal que os demais detectores, quando trabalhada em correntes mais baixas. Ademais, a CI cilíndrica foi o detector que apresentou uma maior limitação eletrônica para tempos muito curtos de exposição.

#### Agradecimentos

Gostaria de agradecer ao IRD, CNPq e CNEN pelo financiamento da bolsa 164811/2023-0, ao LCR pela cooperação com o trabalho, e a todos os integrantes do grupo de pesquisa IRTech, que foram essenciais pelo direcionamento do trabalho.

#### Referências

1. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. RESOLUÇÃO DA DIRETORIA COLEGIADA - RDC Nº 611, DE 9 DE MARÇO DE 2022. Brasília; 2022.
2. CNEN. Norma CNEN NN 6.02. Licenciamento de Instalações Radiativas. 2020 May.
3. ISO 4037-2. Radiological protection — X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and doserate meters and for determining their response as a function of photon energy - Part 2. Geneva; 2017.
4. American Association of Physicists in Medicine. Recommendations on performance characteristics of diagnostic exposure meters. AAPM Report no. 35. Report of task group no. 6. 1992.
5. ISO 4037-1. Radiological protection — X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and doserate meters and for determining their response as a function of photon energy - Part 1: Radiation characteristics and production methods. 2017.
6. Pacífico L de C. Caracterização das qualidades de radioproteção N10 a N150 no laboratório de metrologia do Departamento de Ciências Radiológicas LABMETRO/DCR/IBRAG/UERJ. [Rio de Janeiro]: UERJ; 2020.
7. International Commission on Radiation Units and Measurements. ICRU Report 95, Operational Quantities for External Radiation Exposure. 2020.

#### Contato:

Beatriz Silva de Assis  
Instituto de Radioproteção e Dosimetria  
Av. Salvador Allende, 3773 - Barra da Tijuca, Rio de Janeiro - RJ  
biaassis01@gmail.com