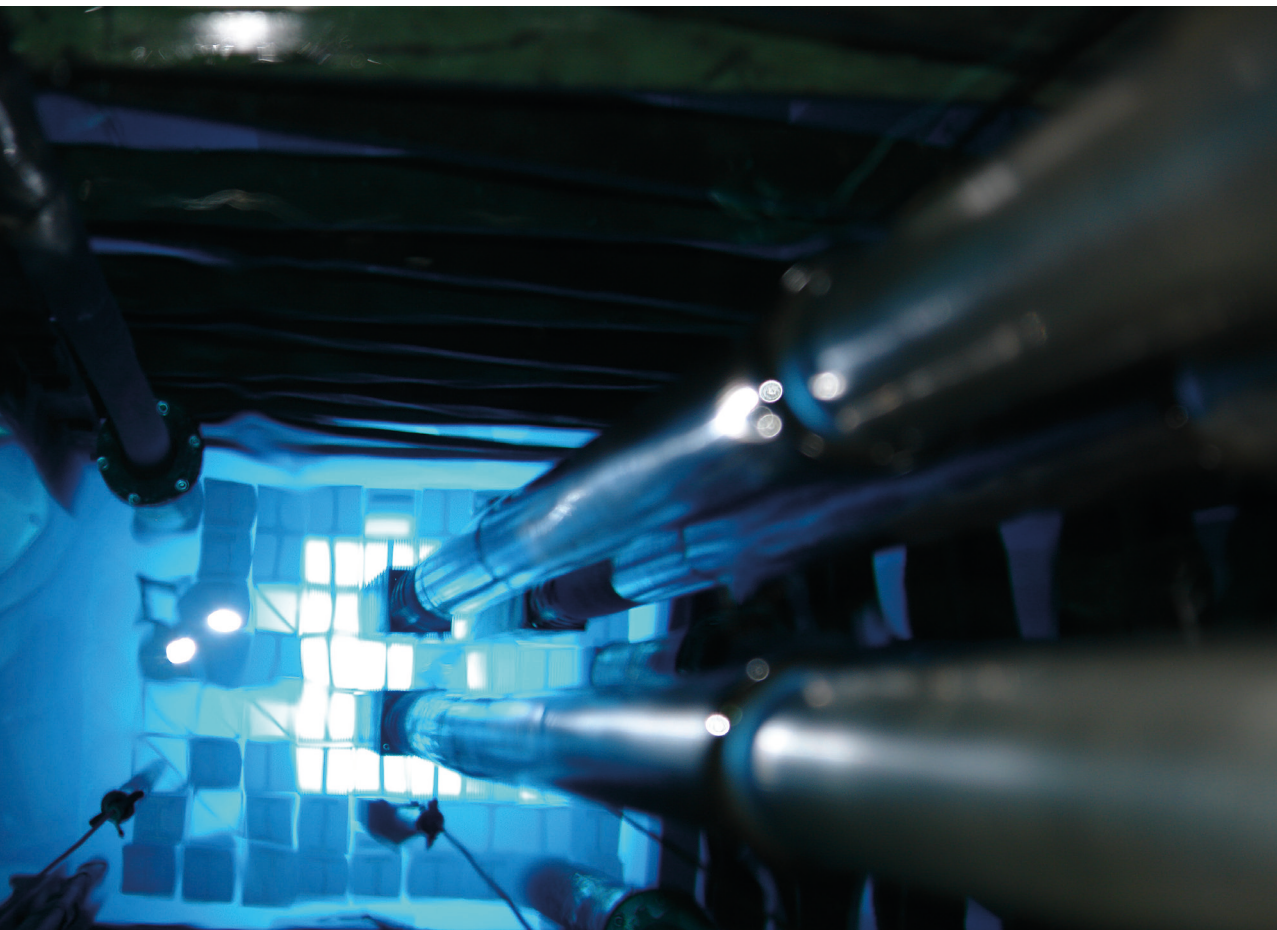


Paulo Sergio Cardoso Da Silva  
Guilherme Soares Zahn  
Francisco De Assis Souza  
organizadores

# CONTRIBUIÇÕES DO REATOR IEA-R1 PARA A PESQUISA NUCLEAR

WARP2: II Workshop Anual do Reator de Pesquisas



CONTRIBUIÇÕES DO  
REATOR IEA-R1 PARA A  
PESQUISA NUCLEAR

*Conselho editorial*

André Costa e Silva

Cecilia Consolo

Dijon de Moraes

Jarbas Vargas Nascimento

Luis Barbosa Cortez

Marco Aurélio Cremasco

Rogério Lerner

**Blucher** Open Access

PAULO SERGIO CARDOSO DA SILVA  
GUILHERME SOARES ZAHN  
FRANCISCO DE ASSIS SOUZA  
(organizadores)

CONTRIBUIÇÕES DO  
REATOR IEA-R1 PARA A  
PESQUISA NUCLEAR  
WARP2: II Workshop Anual do  
Reator de Pesquisas

21 e 22 de novembro de 2019  
Centro do Reator de Pesquisas  
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares

2022

*Contribuições do Reator IEA-R1 para a Pesquisa Nuclear*

*WARP2: II Workshop Anual do Reator de Pesquisas*

© 2022 Paulo Sergio Cardoso da Silva, Guilherme Soares Zahn e Francisco de Assis Souza

Editora Edgard Blücher Ltda.

*Publisher* Edgard Blücher

*Editor* Eduardo Blücher

*Coordenação editorial* Jonatas Eliakim

*Produção editorial* Thaís Costa

*Diagramação* Taís do Lago

*Capa* Laércio Flenic

---

# Blucher

Rua Pedroso Alvarenga, 1245, 4º andar  
04531-934 – São Paulo – SP – Brasil  
Tel 55 11 3078-5366  
contato@blucher.com.br  
www.blucher.com.br

Segundo Novo Acordo Ortográfico, conforme 5. ed.  
do *Vocabulário Ortográfico da Língua Portuguesa*,  
Academia Brasileira de Letras, março de 2009.

É proibida a reprodução total ou parcial por quaisquer  
meios, sem autorização escrita da Editora.

---

Todos os direitos reservados pela Editora  
Edgard Blücher Ltda.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Angélica Ilacqua CRB-8/7057

---

Workshop anual do reator de pesquisas (2. : 2019 :  
São Paulo)  
Contribuições do reator IEA-R1 para a pesquisa  
nuclear WARP 2 / organizado por Paulo Sergio Cardoso  
da Silva, Guilherme Soares Zahn, Francisco de Assis  
Souza. -- São Paulo : Blucher, 2022.  
478 p : il.  
21 e 22 de novembro de 2019 - Centro do Reator de  
Pesquisas  
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares  
Bibliografia  
ISBN 978-65-5550-147-6 (impresso)  
ISBN 978-65-5550-148-3 (eletrônico)  
1. Pesquisa nuclear 2. Física nuclear I. Título II. Silva,  
Paulo Sergio Cardoso da III. Zahn, Guilherme Soares IV.  
Souza, Francisco de Assis IV. IPEN

21-5617

CDD 539.7

---

Índices para catálogo sistemático:

1. Pesquisa nuclear

*COMITÊ ORGANIZADOR*

Paulo Sergio Cardoso da Silva

Guilherme Soares Zahn

Francisco de Assis Souza

*COMITÊ CIENTÍFICO*

Paulo Sergio Cardoso da Silva

Guilherme Soares Zahn

Francisco de Assis Souza

Frederico Antônio Genezini

*APOIO*

O Comitê Organizador agradece o apoio do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), do Departamento de Ensino do IPEN e da Marinha do Brasil, para a realização do II Workshop Anual do Reator de Pesquisas.



# 16 ANOS DE RESULTADOS DE DETERMINAÇÃO DE RADIONUCLÍDEOS EMISSORES GAMA NA ÁGUA DA PISCINA DO REATOR IEA-R1: UMA RETROSPECTIVA

*Marcelo Francis Máduar, Marcos Medrado de Alencar,  
Luiz Flávio Lopes Teixeira, Marcelo Bessa Nisti*

Centro de Metrologia das Radiações – IPEN-CNEN/SP  
Av. Professor Lineu Prestes, 2242  
05508-000 São Paulo – SP  
mmaduar@ipen.br

## RESUMO

A avaliação dos parâmetros técnicos na operação do Reator de Pesquisas IEA-R1, em particular as características físico-químicas da água da piscina do IEA-R1, é parte integrante das atividades coordenadas pelo CRPq (Centro do Reator de Pesquisas) do IPEN. O Serviço de Gestão de Radiometria Ambiental realiza desde meados de 2003 a análise rotineira por espectrometria gama em amostras

da água da piscina do IEA-R1. Os radionuclídeos usualmente detectados são: Ag-110m, Co-58, Co-60, Cr-51, I-131, Mn-54, Na-24, Np-239, Te-132, W-187 e Zn-65. Alguns nuclídeos são detectados raramente, como Cs-137, Ba-140/La-140 e Ru-103. O radionuclídeo que apresenta regularmente a maior atividade é Na-24, com concentrações na faixa de 100 a 150 kBq/L, corrigida para o horário de desligamento do IEA-R1. Outros apresentam radioatividade da ordem de  $10^2$  a  $10^3$  Bq/L (Ag-110m, Co-58, Co-60, Cr-51 e W-187) e os restantes, poucos Bq/L. A principal conclusão, ao longo do tempo, é que o tempo de espera após o desligamento e coleta das amostras é o fator fundamental na definição de quais radionuclídeos são e quais não são passíveis de quantificação radiométrica. As medidas realizadas entre cinco e sete dias após o desligamento do reator fornecem um compromisso ótimo na detecção de nuclídeos de meia-vida inferior a um dia e limites de detecção aceitáveis para nuclídeos de meia-vida superior a dez dias.

## 1. INTRODUÇÃO

O CRPq, como parte de seu programa de Garantia da Qualidade, coordena a avaliação dos parâmetros técnicos na operação do Reator de Pesquisas IEA-R1, e particularmente a determinação regular e rotineira de diversos parâmetros físico-químicos da água da piscina do IEA-R1. Nesse programa, o SEGRA (Serviço de Gestão de Radiometria Ambiental), como prestação de serviços internos ao IPEN realiza desde meados dos anos 1990 a análise rotineira por espectrometria gama em amostras de água da piscina do IEA-R1, coletadas e encaminhadas regularmente pelo CRPq.

Neste trabalho, são apresentados os resultados agregados das análises no período de 2003 a 2019 e é feita uma avaliação qualitativa das particularidades na detecção de radionuclídeos específicos.

## 2. MÉTODOS

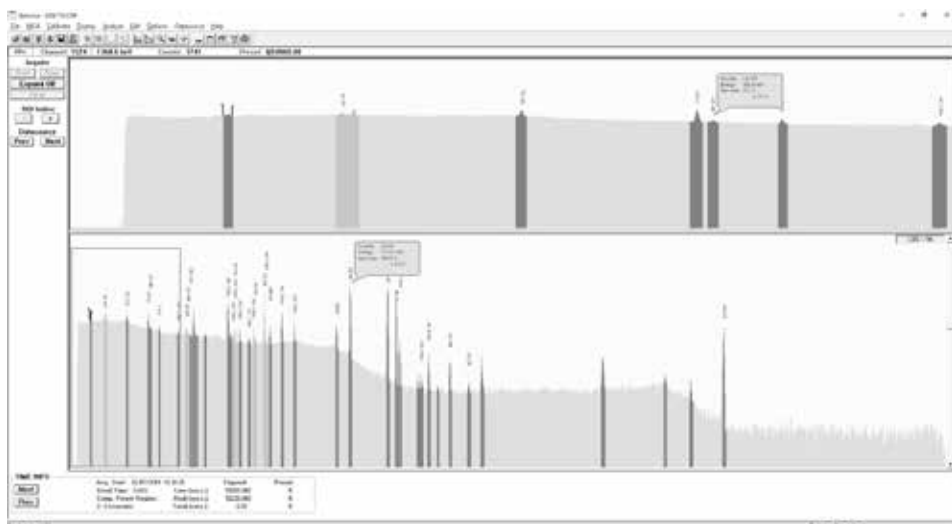
As amostras de água são semanalmente recebidas pelo Laboratório de Radiometria Ambiental (LRA/SEGRA/CMR) desde meados dos anos 1990, que realiza inicialmente o registro e guarda das amostras até o momento da medida. A preparação da amostra para a medida é feita pela homogeneização manual e transferência de um volume de 850 mL para um frasco de polietileno de secção retangular, que é uma geometria padronizada no laboratório.

O sistema de medida é composto de um detector de germânio de alta pureza (HPGe) marca Intertechnique de configuração horizontal, com eficiência relativa



nominal de 15% na energia de 1,33 MeV. O frasco é colocado a uma distância de 1 cm da face frontal do encapsulamento do detector.

**Figura 1** – Espectro de radiação gama da água da piscina do IEA-R1 obtido em 02/07/2019 e analisado por meio do Genie 2k.



O espectro gama resultante é adquirido com o uso do aplicativo Maestro e analisado com o uso do Genie 2k [1]. A Figura 1 apresenta um espectro de radiação gama típico da água da piscina do Reator IEA-R1, medido seis dias após o desligamento do mesmo e por um tempo útil de 50.000 segundos.

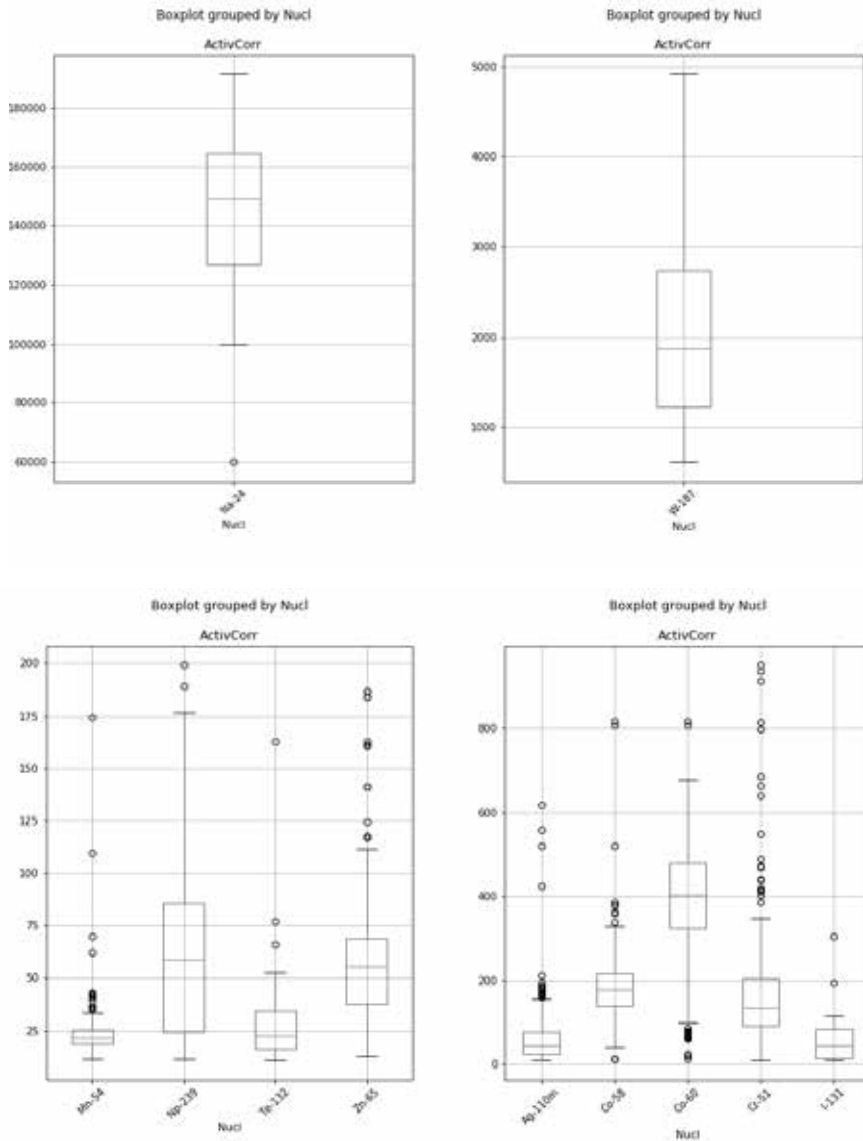
### 3. CONCENTRAÇÕES DOS RADIONUCLÍDEOS

Nas condições descritas, os radionuclídeos usualmente detectados são: Ag-110m, Co-58, Co-60, Cr-51, I-131, Mn-54, Na-24, Np-239, Te-132, W-187 e Zn-65. Alguns nuclídeos são detectados raramente, como Cs-137, Ba-140/La-140 e Ru-103.

A Figura 2 apresenta os dados agregados na forma de diagrama de caixa. Para cada radionuclídeo, são mostrados a mediana e o primeiro e terceiro quartis das concentrações de atividade em Bq/L na água da piscina do IEA-R1, de agosto de 2003 a julho de 2019.

O radionuclídeo que apresenta regularmente a maior atividade é Na-24, com concentrações na faixa de 100 a 150 kBq/L, corrigida para o horário de desligamento do Reator. Outros apresentam radioatividade da ordem de  $10^2$  a  $10^3$  Bq/L (Ag-110m, Co-58, Co-60, Cr-51 e W-187) e os restantes, poucos Bq/L.

**Figura 2** – Diagramas de caixa das concentrações dos radionuclídeos em Bq/L, entre 2003 e 2019.



## 4. DISCUSSÃO

Em virtude dos radionuclídeos gerados possuírem ampla faixa de meias-vidas e de concentrações típicas na água, medidas após dezenas de minutos da coleta mostram o predomínio da atividade de gases nobres radioativos, especialmente Ar-41, Kr-87, Kr-88 e Xe-133. Porém, devido à subida da linha base do espectro,

a consequente elevação dos limites de detecção dos outros nuclídeos presentes pode inviabilizar a quantificação destes últimos.

Por sua vez, tempos de medida superiores a oito dias já comprometem a determinação de radionuclídeos com meia-vida inferior a um dia, como Na-24 e W-187.

Na época em que essa rotina foi estabelecida um estudo preliminar permitiu definir o tempo ótimo de medida da amostra, considerando a eficiência geral do sistema de medida, a geometria da amostra preparada para medida e as concentrações experimentais dos vários radionuclídeos detectados. Assim, o tempo de medida útil (live time) foi estabelecido em 50.000 segundos.

## 5. CONCLUSÕES

A principal conclusão, ao longo do tempo, é que o tempo de espera após o desligamento e coleta das amostras é o fator fundamental na definição de quais radionuclídeos são e quais não são passíveis de quantificação radiométrica.

As análises rotineiras mostraram, ao longo dos anos, que as medidas realizadas entre cinco e sete dias após o desligamento do Reator fornecem um compromisso ótimo na detecção de nuclídeos de meia-vida inferior a um dia e limites de detecção aceitáveis para nuclídeos de meia-vida superior a dez dias. Assim, na atualidade as análises são realizadas preferencialmente neste intervalo de tempo de espera.

## AGRADECIMENTOS

Os autores são gratos a toda a equipe da Radiometria Ambiental que colabora no processo de análises da água do IEA-R1 e à equipe do Centro do Reator de Pesquisas envolvida na amostragem e encaminhamento das amostras. E também a desenvolvedores de código aberto em Python, que oferecem poderosas ferramentas como NumPy [2] (biblioteca de análise numérica) e Pandas [3] (bancos de dados), indispensáveis na análise de dados agregados.

## REFERÊNCIAS

1. CANBERRA Inc. *Genie 2000 gamma analysis software*. 2005. Disponível em: [http://www.canberra.com/pdf/Products/SW\\_pdf/5gamma.pdf](http://www.canberra.com/pdf/Products/SW_pdf/5gamma.pdf).
2. OLIPHANT. T. E. *A guide to NumPy*. Trelgol Publishing: EUA, 2006.
3. MCKINNEY, W. Data Structures for Statistical Computing in Python. In: 9<sup>th</sup> PYTHON IN SCIENCE CONFERENCE. 2010. *Proceedings* [...], 2010. p. 51-56.