



Livro Resumo 2025

PROGRAMA INSTITUCIONAL DE BOLSAS DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

XXXI Seminário Anual PIBIC
XXII Seminário Anual PROBIC
XV Seminário Anual PIBITI



26 e 27 de novembro de 2025



MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÃO



Avaliação Radiológica do Uso de resíduo NORM em materiais de

Lara Vitória Santos Couto e Barbara Paci Mazzilli
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN

INTRODUÇÃO

Os materiais de construção, por serem compostos essencialmente por minerais naturais, apresentam concentrações de radionuclídeos das séries do urânio e tório, além do isótopo radioativo do potássio. A presença desses elementos implica exposição radiológica que pode ocorrer de duas formas: externa, por meio da radiação gama emitida, e interna, pela inalação de radônio (^{222}Rn) e torônio (^{220}Rn), gases que se difundem através de materiais porosos. Para reduzir esse risco, a Comissão Europeia estabeleceu limites que restringem a dose efetiva adicional proveniente de materiais de construção a 1 mSv por ano e recomendou um nível de referência de $200 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ para a concentração de radônio em ambientes internos (EC, 1999) [1]. Como parâmetro de triagem, foi criado o **índice de atividade (I)**, calculado a partir das concentrações de ^{226}Ra , ^{232}Th e ^{40}K , conforme a Equação 1:

Equation 1 : Index I

$$I = \frac{C_{Ra}}{300} + \frac{C_{Th}}{200} + \frac{C_K}{3000}$$

Valores de I inferiores à unidade indicam que o material pode ser utilizado sem restrições, enquanto valores acima exigem estudos complementares para avaliação da segurança radiológica.

No Brasil, a rota do sulfato para a produção de dióxido de titânio gera cerca de 60 mil toneladas de pigmento ao ano, resultando em aproximadamente 30 mil toneladas de resíduo sólido denominado *Unreacted Ore Waste* (UOW). Devido à baixa solubilidade do ^{226}Ra no processo de sulfatação, esse elemento tende a se concentrar no resíduo, o que justifica sua classificação como material radioativo de ocorrência natural (NORM). Atualmente, o UOW é destinado a

aterros industriais, solução que envolve altos custos de manutenção e potenciais impactos ambientais. Nesse contexto, alternativas de reaproveitamento seguro ganham destaque, em conformidade com os princípios da economia circular e da sustentabilidade (IAEA, 2013) [2].

Estudos recentes no Brasil têm demonstrado que a incorporação do UOW em argamassas e blocos pode reduzir o consumo de matérias-primas e não comprometer as propriedades físicas e mecânicas dos produtos, desde que respeitados os limites radiológicos estabelecidos. Ensaios experimentais mostraram que teores de até 23% do resíduo em blocos de cimento e intertravados mantêm a exposição gama e a concentração de ^{222}Rn abaixo dos limites de investigação, atendendo também aos requisitos de proteção radiológica definidos pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN, 2016) [3]. Assim, a utilização do UOW em materiais de construção apresenta-se como alternativa promissora para reduzir passivos ambientais sem comprometer a saúde pública.

OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo avaliar as implicações radiológicas da incorporação do resíduo UOW na produção de blocos de cimento e intertravados, a fim de verificar sua viabilidade de uso seguro em larga escala.

METODOLOGIA

Foram preparados blocos de cimento e blocos intertravados com diferentes proporções de resíduo UOW (0%, 3,5% e 23%), utilizando cimento, areia natural e brita. As concentrações de ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{232}Th e ^{40}K foram determinadas por

espectrometria gama de alta resolução, com detector HPGe de 25% de eficiência relativa, tempo de contagem de 86.000 s e amostras seladas por 30 dias para equilíbrio radioativo. A quantificação foi feita a partir dos picos característicos dos radionuclídeos, com análise no software InterWinner 6.0 e participação em programa nacional de intercomparação para controle de qualidade. O índice de atividade (I) foi calculado para os diferentes materiais, considerando como limite seguro valores abaixo de 1 mSv/ano. Para validar a aplicação, construiu-se uma casa experimental com blocos contendo até 23% de UOW em paredes e pisos, enquanto outra parte foi feita sem o resíduo. Foram medidos a exposição gama externa, por dosímetros termoluminescentes (TLDs), e a concentração de radônio, com detectores CR-39, ao longo de três meses, em condições simuladas de ocupação.

RESULTADOS

As análises mostraram que o resíduo UOW apresentou concentrações muito mais elevadas de ^{226}Ra , ^{228}Ra e ^{232}Th em comparação às matérias-primas, enquanto o ^{40}K foi mais alto no cimento e na brita. Nos blocos produzidos, os valores do índice I variaram de 0,4 a 1,7. Para 3,5% de UOW, os índices foram inferiores a 1, indicando uso seguro sem restrições. Já a adição de 23% elevou o índice acima de 1, sugerindo exposição superior a 1 mSv, o que requer avaliação adicional.

Tabela 1: Concentrações de atividade ($\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$) e valores do índice I.

Amostra	^{226}Ra	^{232}Th	^{228}Ra	^{40}K	Índice I
Areia	5 ± 1	$3,1 \pm 05$	3 ± 1	10 ± 5	–
Cimento	27 ± 2	20 ± 4	19 ± 2	472 ± 29	–
Brita	$17,5 \pm 1,3$	57 ± 6	43 ± 3	895 ± 51	–

UOW	799 ± 46	933 ± 56	2600 ± 144	319 ± 24	–
Bl. int.0%	15 ± 1	34 ± 3	36 ± 3	514 ± 30	0,4
Bl.int.3,5%	35 ± 2	84 ± 4	90 ± 5	513 ± 31	0,7
Bl. int.23%	75 ± 4	147 ± 9	191 ± 11	733 ± 42	1,2
Bl. cim.0%	16 ± 1	39 ± 4	36 ± 3	618 ± 36	0,5
Bl. cim.3,5%	37 ± 3	96 ± 5	90 ± 4	616 ± 28	0,8
Bl. cim.23%	112 ± 6	220 ± 14	309 ± 17	765 ± 43	1,7

CONCLUSÕES

A incorporação de até 23% de UOW em blocos de cimento e intertravados mostrou-se segura, mantendo concentrações de radônio e exposição gama dentro dos limites regulatórios. Essa alternativa contribui para a gestão sustentável de resíduos industriais e favorece a economia circular.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] EUROPEAN COMMISSION. *Radiation Protection 112: Radiological Protection Principles concerning the Natural Radioactivity of Building Materials*. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 1999.
- [2] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA). *Management of NORM Residues*. IAEA-TECDOC-1712. Vienna: IAEA, 2013.
- [3] COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR (CNEN). *CNEN NN 3.01: Requisitos de Segurança e Proteção Radiológica para Instalações Minerárias Industriais*. Rio de Janeiro: CNEN, 2016.

APOIO FINANCEIRO

CNPq