

**Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN**  
**Diretoria de Radioproteção e Segurança Nuclear – DRS**

# **Métodos Analíticos Aplicados em Amostras NORM: Química e Radioquímica**

**Rodrigo L. Bonifácio**  
**LAPOC/CNEN**

# Porque caracterizar NORM?

---

Compreender níveis de radiação de base pré-operacional

---

Compreender as características dos materiais (minério, resíduos, etc.)

---

Para fins regulatórios (determinar classificação – isenção e liberação da regulamentação)

---

Para informações adicionais sobre avaliações de dose

---

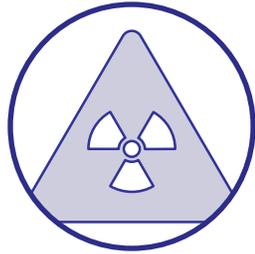
Remediação para áreas contaminadas com NORM

---

Tomada de decisão informada sobre o gerenciamento de resíduos e rejeitos de NORM

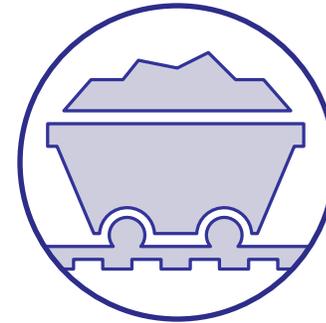


# Entendendo o material NORM



## Propriedades radiológicas

- 36 radionuclídeos são encontrados nas séries de decaimento naturais
- Quais radionuclídeos devem ser analisados e quantificados?
- Foco em radionuclídeos de meia-vida longa



## Propriedades não-radiológicas

- O material pode conter minerais que resultam na formação de ácidos
- Solubilidade das matrizes
- O material gera poeira/particulados?

# Amostragem



Método de amostragem e os requisitos de sensibilidade da análise dependem da natureza do material e do tipo de avaliação.



As técnicas de amostragem devem ser baseadas em critérios estatisticamente rigorosos.



É importante obter uma amostra representativa do material para análise.



Muitas amostras podem precisar ser coletadas, misturadas e homogeneizadas para se obter uma amostra representativa.

# Instrumentação Específica de Medida de Radioatividade

Processo operacional

## Preparação de amostras sólidas



**Britagem**



**Moagem**

**Abertura de amostras sólidas:**

**Ataque ácido**

**Fusão alcalina**

**Fusão TBLI**

# Instrumentação Específica de Medida de Radioatividade

Processo operacional

## Espectrômetro de Fluorescência de Raios X

### Amostras Sólidas

- **Determinações: Urânio, Tório e Varreduras Semiquantitativa**
- **Desafio: Materiais de referência certificados para U e Th**

As seguintes conversões de massa para atividade radionuclídeo podem ser utilizadas:

→ 1 ppm de urânio = 12,3 mBq de  $^{238}\text{U}$  por grama de material;

→ 1 ppm de tório = 4,1 mBq de  $^{232}\text{Th}$  por grama de material.



# Instrumentação Específica de Medida de Radioatividade

Processo operacional

## Espectrômetro de emissão ótica - ICPOES



**Amostras líquidas e sólidas (após abertura)**

**Determinações: Espécies estáveis –  
caracterização de matrizes**

# Instrumentação Específica de Medida de Radioatividade

Processo operacional

## Espectrômetro de massas por plasma - ICP-MS



**Amostras líquidas e sólidas (após abertura)**

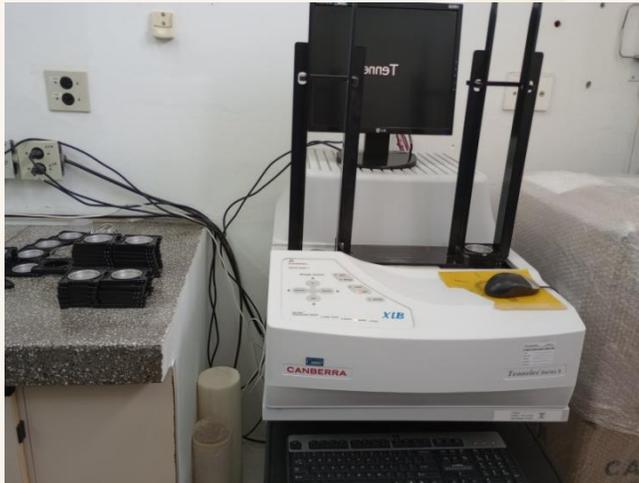
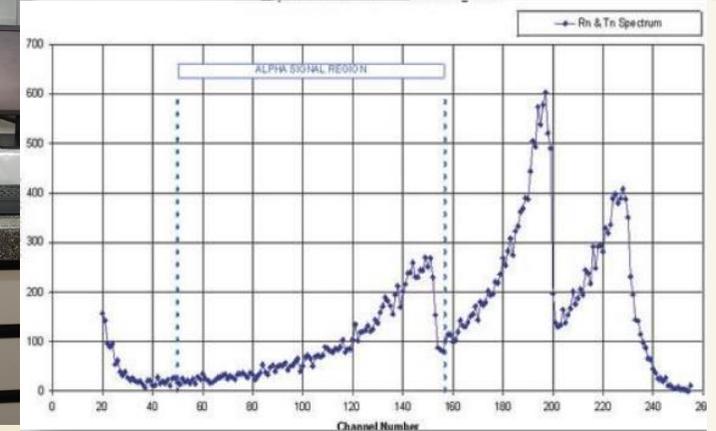
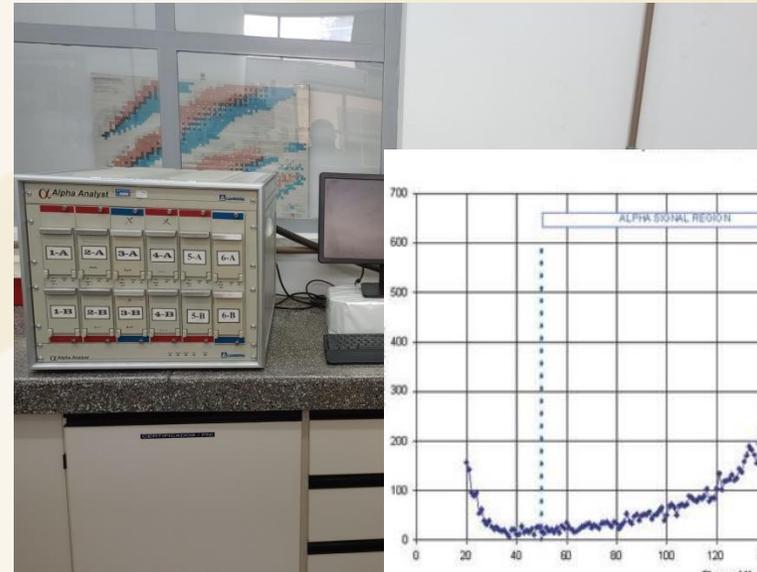
**Determinações: Urânio e Tório por massa**

**Desafio: Custo e robustez do instrumento**

# Instrumentação Específica de Medida de Radioatividade

Processo operacional

Amostras Líquidas



Separação sequencial para determinação de Pb-210, Ra-226 e Ra-228 por contagem alfa e beta

## Espectrometria alfa

- Separação U do Th por resina específica
- Eletrodeposição/Microprecipitação
- Obtenção dos espectros alfa

Determinação de U-238, U-234, Th-228, Th-232, Th-230 e Po-210

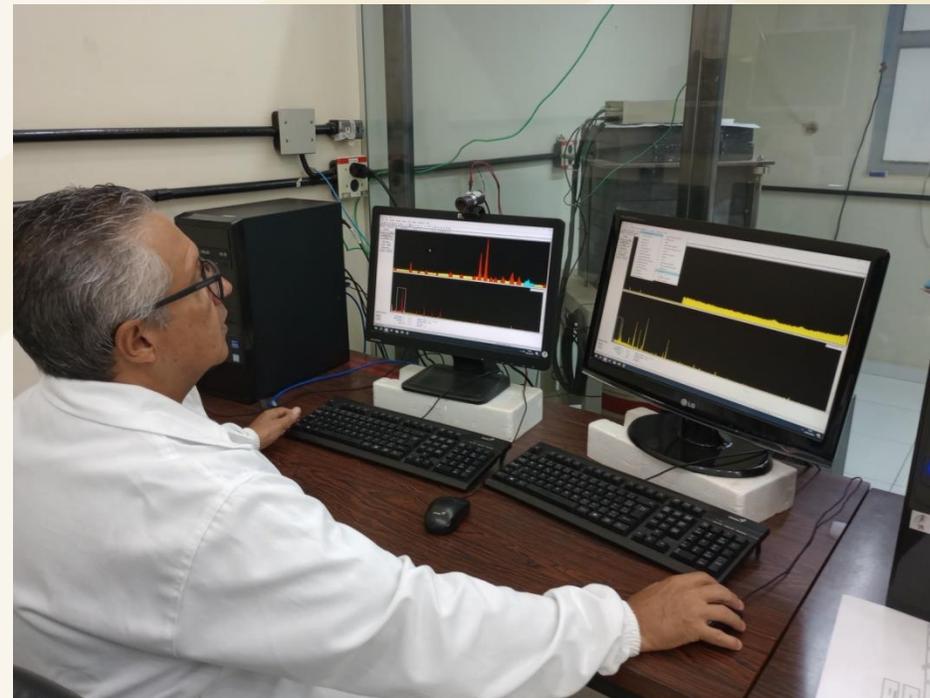
# Instrumentação Específica de Medida de Radioatividade

Processo operacional

## Espectrometria gama para amostras sólidas



**Detector de HPGe**



**Espectros obtidos para quantificação dos radionuclídeos**

**Determinações: Pb-210, Ra-226 e Ra-228**

# O LAPOC é a maior referência brasileira em caracterização NORM



Mais de 30 anos de experiência nestes ensaios

Membro da Rede de Laboratórios da AIEA (ALMERA) desde sua fundação

Integrante da RANET/IAEA (Suporte Radioanalítico a Emergências) desde 2021

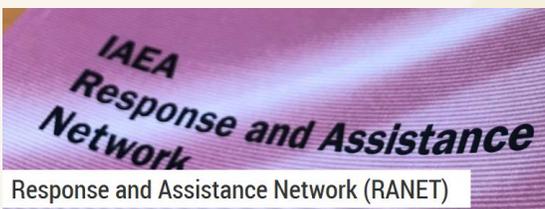


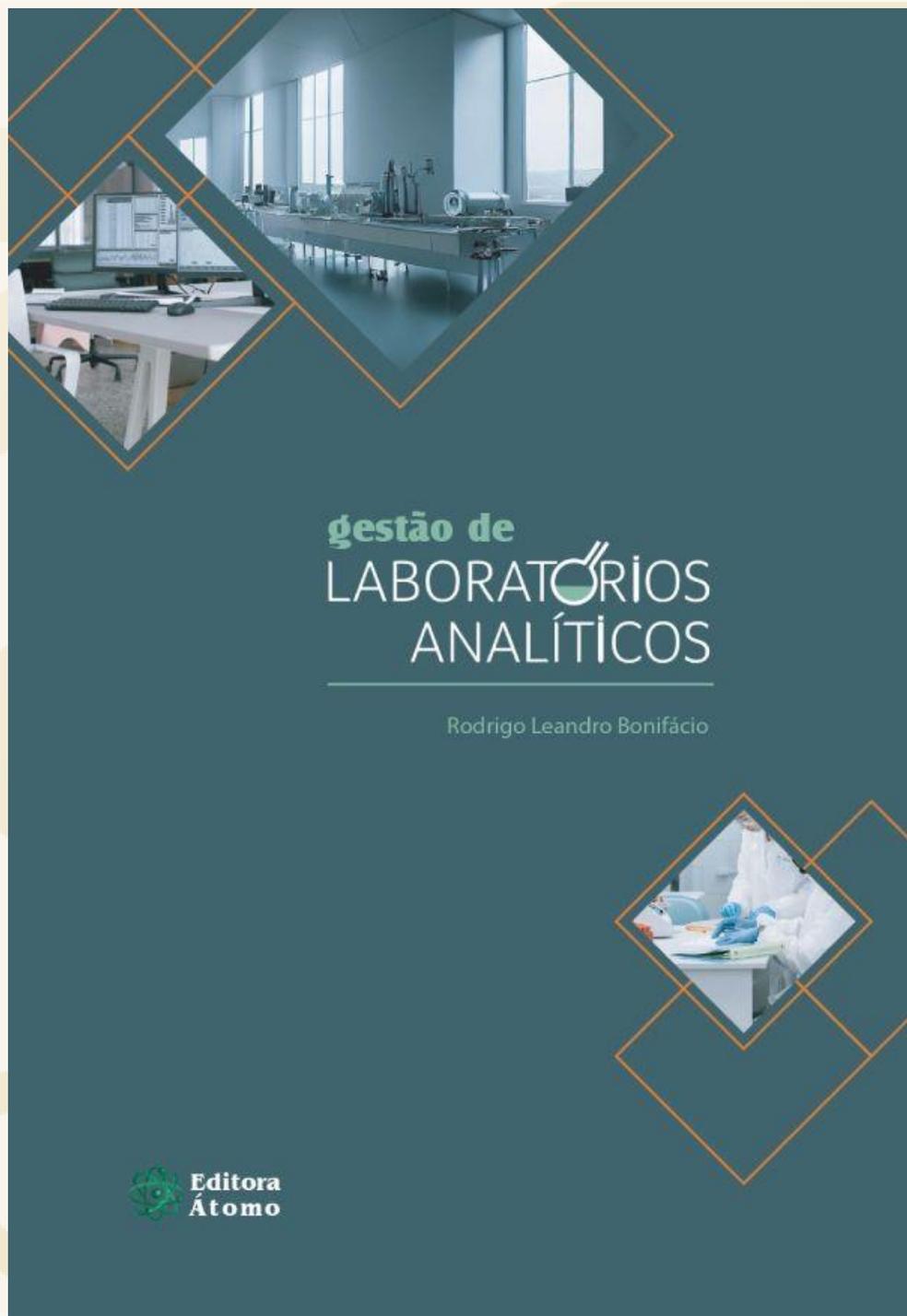
Primeiro laboratório brasileiro acreditado ISO 17025 (ensaios de mediação e radiação ionizante) desde 2017

Disponibilidade de toda instrumentação necessária

Atualização e aprimoramento constante do corpo radioanalítico

Difusor de conhecimento de âmbito internacional: treinamentos *on-the job*; gestão do conhecimento; *fellowships* nacionais e internacionais





gestão de  
LABORATÓRIOS  
ANALÍTICOS

Rodrigo Leandro Bonifácio

Editora  
Átomo

A large, stylized yellow graphic of a person's head and neck, composed of thick, rounded lines. The head is tilted slightly to the right, and the neck extends downwards. The graphic is positioned in the background, behind the text.

# Obrigado

[rodrigo.bonifacio@cnen.gov.br](mailto:rodrigo.bonifacio@cnen.gov.br)