

VI Congresso Internacional de Meio Ambiente Subterrâneo –
CIMAS

Belo Horizonte, 18-19 Novembro 2019

Análise de segurança radiológica de áreas contaminadas e repositórios de rejeitos radioativos

Stela Cota

Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear – CDTN/CNEN

Belo Horizonte, MG

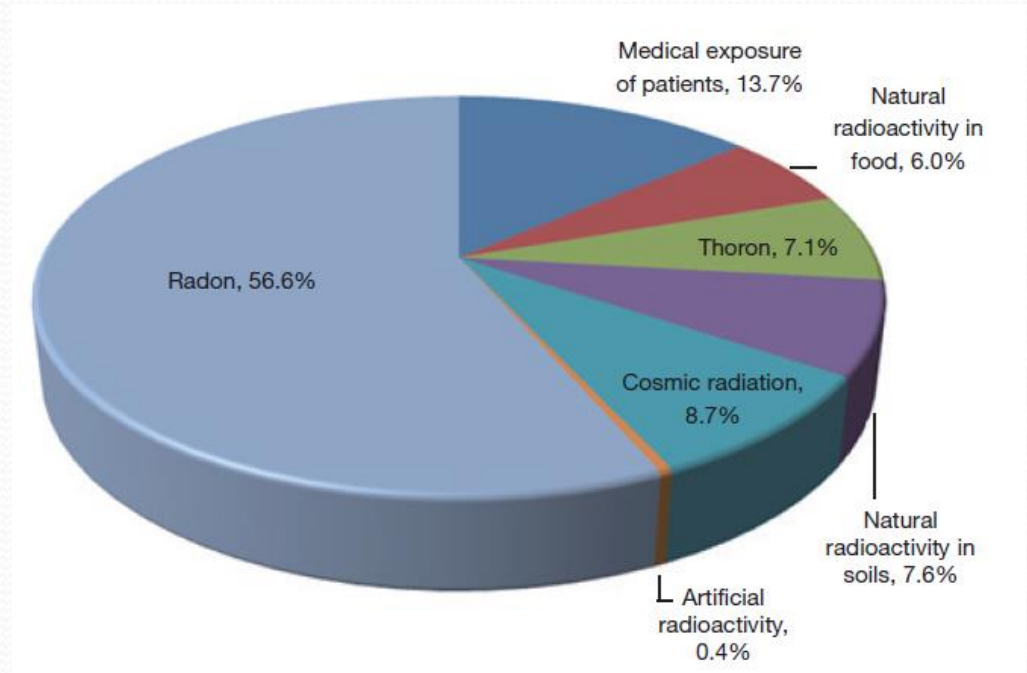
Radioatividade está em todo lugar...

- Fontes naturais:

- Raios cósmicos
- Alimentação
- Minerais
- Nossos corpos...

- Atividades humanas:

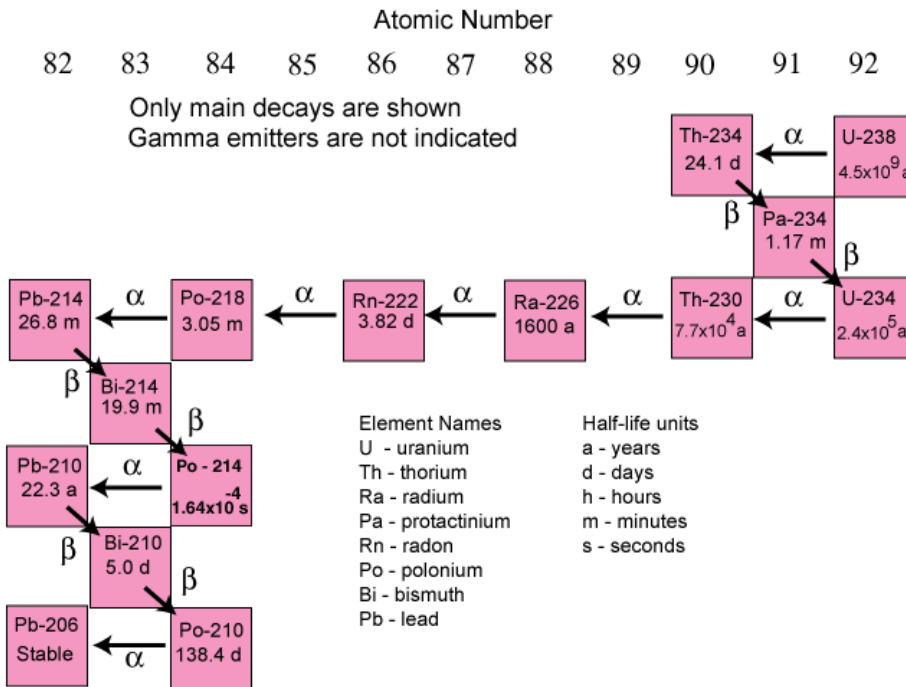
- Medicina
- Industriais



Wang et al., Cancer Biol Med 2013;10:61-71

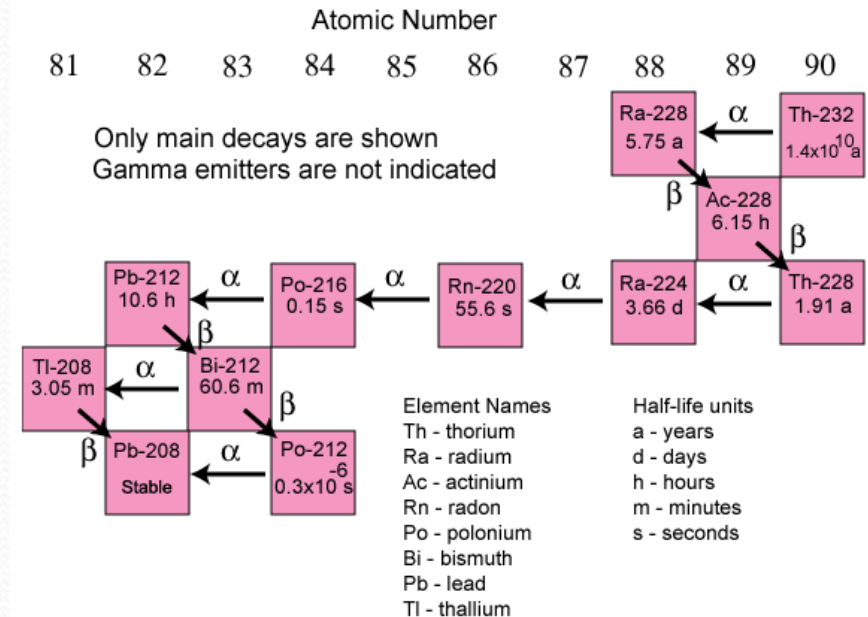
Séries naturais U-238 e Th-232

The Uranium-238 Decay Chain



<https://pubs.usgs.gov/of/2004/1050/uranium.htm>

The Thorium-232 Decay Chain



<https://pubs.usgs.gov/of/2004/1050/thorium.htm>

Conceitos de atividade e dose efetiva

Grandeza	Atividade	Dose efetiva
Conceito	Número de desintegrações por unidade de tempo	Soma ponderada pelo peso das doses equivalentes em todos os tecidos ou órgãos do corpo
Significado	Remete à quantidade de radionuclídeos presente em um material	Remete à energia depositada em um organismo devido à radiação
Unidades (SI)	Becquerel (Bq)	Sievert (Sv)

Exposições à radiação ionizante



Ao comer uma banana, ingere-se cerca de 15 Bq de K-40 (0,1 μ Sv)

Exposições à radiação ionizante

Living within 50 miles of a nuclear power plant for a year

Living near a nuclear power plant for a whole year exposes you to less radiation than eating one banana – and less than living near a coal power plant.



0.9 BANANAS
0.09 μSv



Exposições à radiação ionizante



Exposições à radiação ionizante

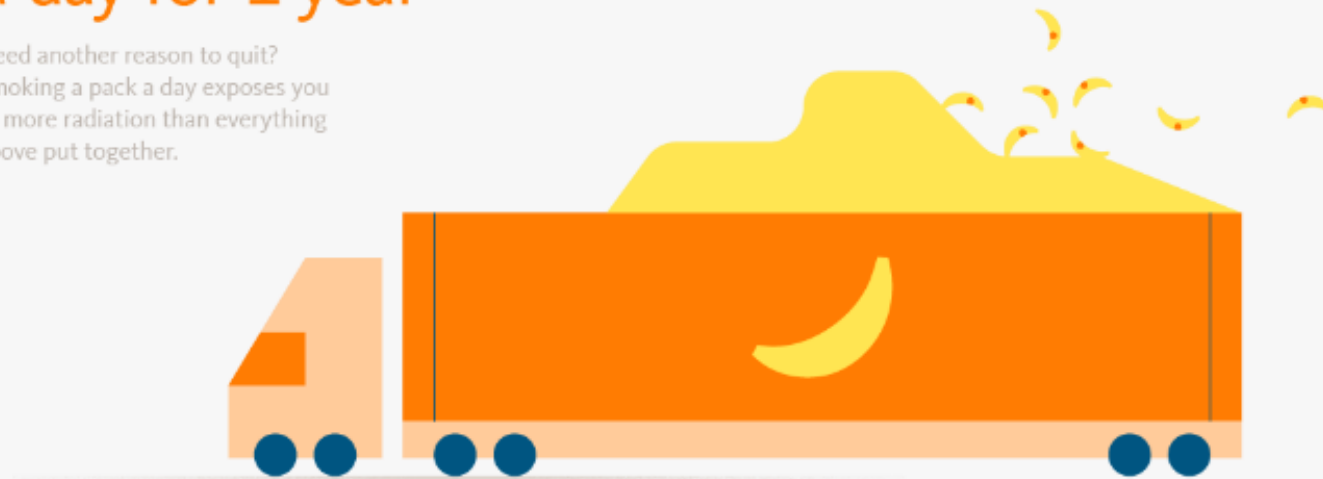


Exposições à radiação ionizante

Smoking a pack of cigarettes a day for 1 year

Need another reason to quit?
Smoking a pack a day exposes you to more radiation than everything above put together.

240,000 BANANAS
24,000 μSv



Exclusão e isenção de requisitos de proteção radiológica

- Posição Regulatória 001 (2011) da Norma CNEN NN-3.01 (2014);
- **Exclusão:** aplica-se a quaisquer exposições cuja intensidade ou probabilidade de ocorrência não possa ser reduzida por ações de proteção radiológica;

Exemplos: K-40 no corpo, radiação cósmica ou concentrações não alteradas de radionuclídeos naturais.

Exclusão e isenção de requisitos de proteção radiológica

- **Isenção:** Envolve a demonstração que os impactos radiológicos individuais e coletivos resultantes são suficientemente baixos, incluindo probabilidades irrelevantes da ocorrência de cenários não-conformes;
- Materiais radioativos são considerados isentos quando a atividade total ou a concentração de atividade de um dado radionuclídeo presente a qualquer momento não exceda os níveis de isenção (p.ex., < 1 Bq/g para Unat);
- Aplica-se a quantidades moderadas de material (máximo de 1 tonelada).

Requisitos de proteção radiológica para instalações mínero-industriais

- Norma CNEN NN-4.01 (2016);
- Autorização para Posse, Uso e Armazenamento de Minérios, Matérias-Primas e Demais Materiais Contendo Radionuclídeos das Séries Naturais do Urânio e/ou Tório em instalações mínero-industriais nas quais sejam lavrados, beneficiados e industrializados, incluindo locais de armazenamento inicial de escórias e resíduos radioativos;

Exemplos de atividades mínero-industriais

Produto	Fonte	Radionuclídeos
Alumínio	Minério	Séries U/Th
Cobre	Minério	Séries U/Th
Estanho	Minério	Séries U/Th/Ra
Ferro	Minério	Séries U/Th
Monazita	Areias	Séries U/Th
Petróleo	Água de produção Lama	Ra
Fosfato	Minério	Séries U/Th Ra
Terras raras	Minério	Séries U/Th

Requisitos de proteção radiológica para instalações mínero-industriais

- Não se aplica a:
 - Extração de urânio e/ou tório;
 - Instalações reguladas pela CNEN NN-6.02 (radiativas);
 - Uso ou industrialização de materiais em concentrações inferiores à isenção;
 - Deposição final de rejeitos radioativos;
 - Dose efetiva anual ocupacional $< 1 \text{ mSv}$ **E**

valor médio de concentração de atividade $< 10 \text{ Bq/g}$ (em três anos) **OU** dose anual do grupo crítico ou indivíduo representativo $< 0,3 \text{ mSv}$.

Requisitos de proteção radiológica para instalações mínero-industriais

CAPÍTULO VII DAS MEDIDAS MITIGADORAS OU AÇÕES DE REMEDIAÇÃO

Art. 15 A CNEN pode determinar a implementação de medidas mitigadoras ou de ações de remediação, nos seguintes casos:

I - quando o incremento das doses para indivíduos do grupo crítico excederem 0,3 mSv por ano, devido a liberação de efluentes (líquidos ou aerotransportados), a drenagens resultantes de rebaixamento de aquíferos ou a desvios de cursos d'água;

II - quando áreas externas à instalação apresentarem contaminação radioativa proveniente de resíduos ou rejeitos da instalação;

III - quando aquíferos apresentarem contaminação radioativa por emissões líquidas provenientes da instalação que impliquem em incrementos de dose para indivíduos do grupo crítico superiores a 0,3 mSv por ano; ou

IV - quando os níveis de Rn-222 em locais de trabalho em minas subterrâneas e em galpões de armazenamento de materiais radioativos forem superiores a 1.000 Bq/m^3 , considerando um fator de equilíbrio igual a 0,4.

De atividade até dose efetiva

Radioatividade em um material inserido em um meio natural (atividade)



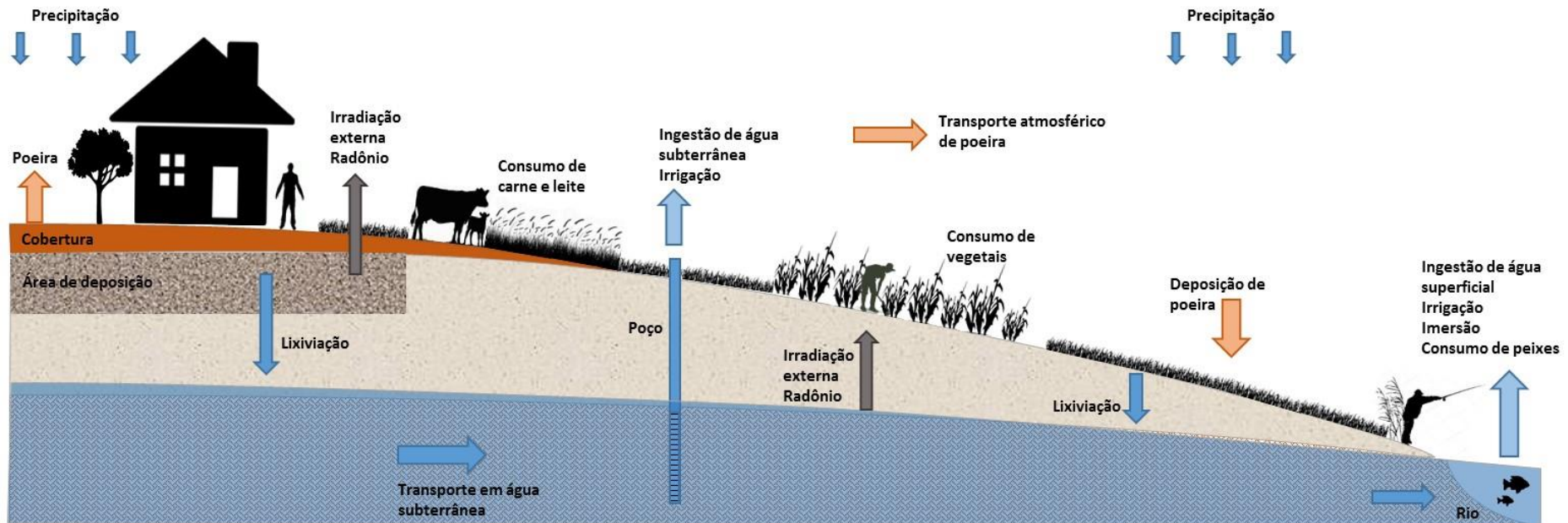
Impacto radiológico em um indivíduo (dose efetiva)



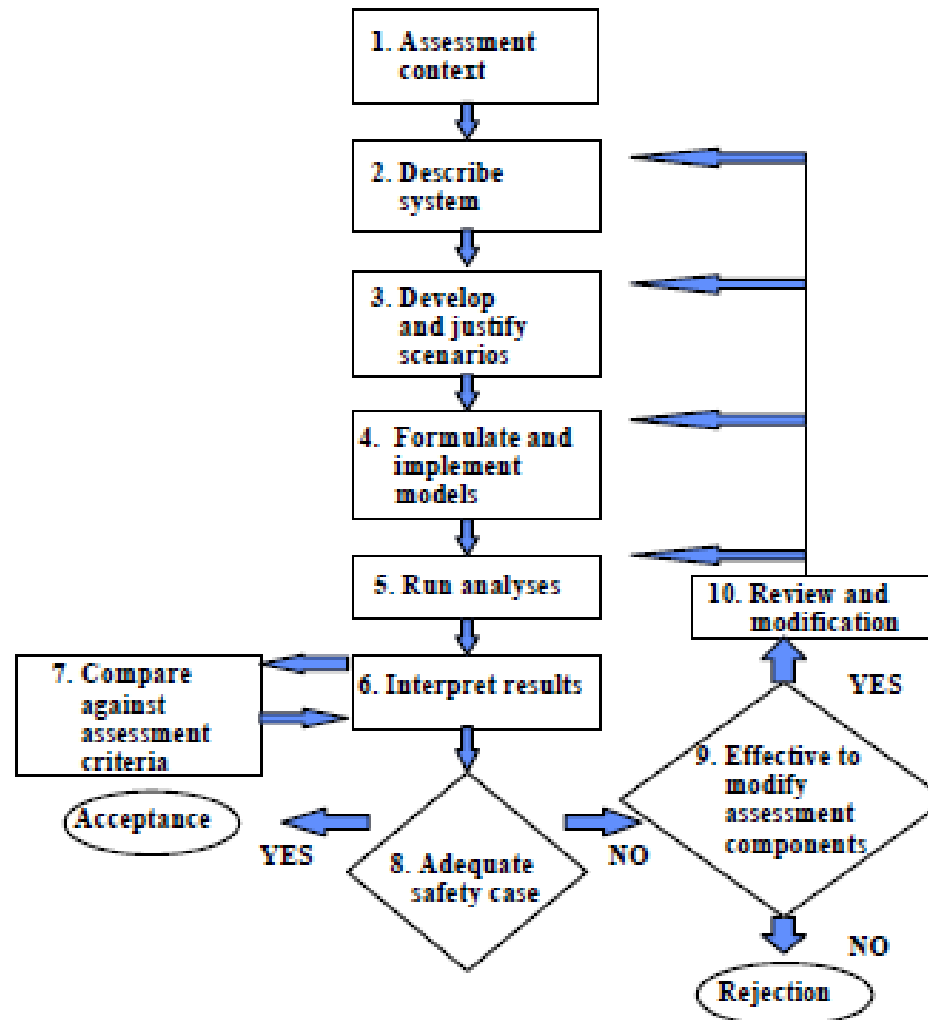
Análise de segurança radiológica (ou de impacto radiológico):

Processo sistematizado com objetivo de demonstrar que os requisitos de segurança de uma instalação ou atividade são seguidos.

Exposição à radiação a partir de uma área de deposição de rejeitos ou contaminada

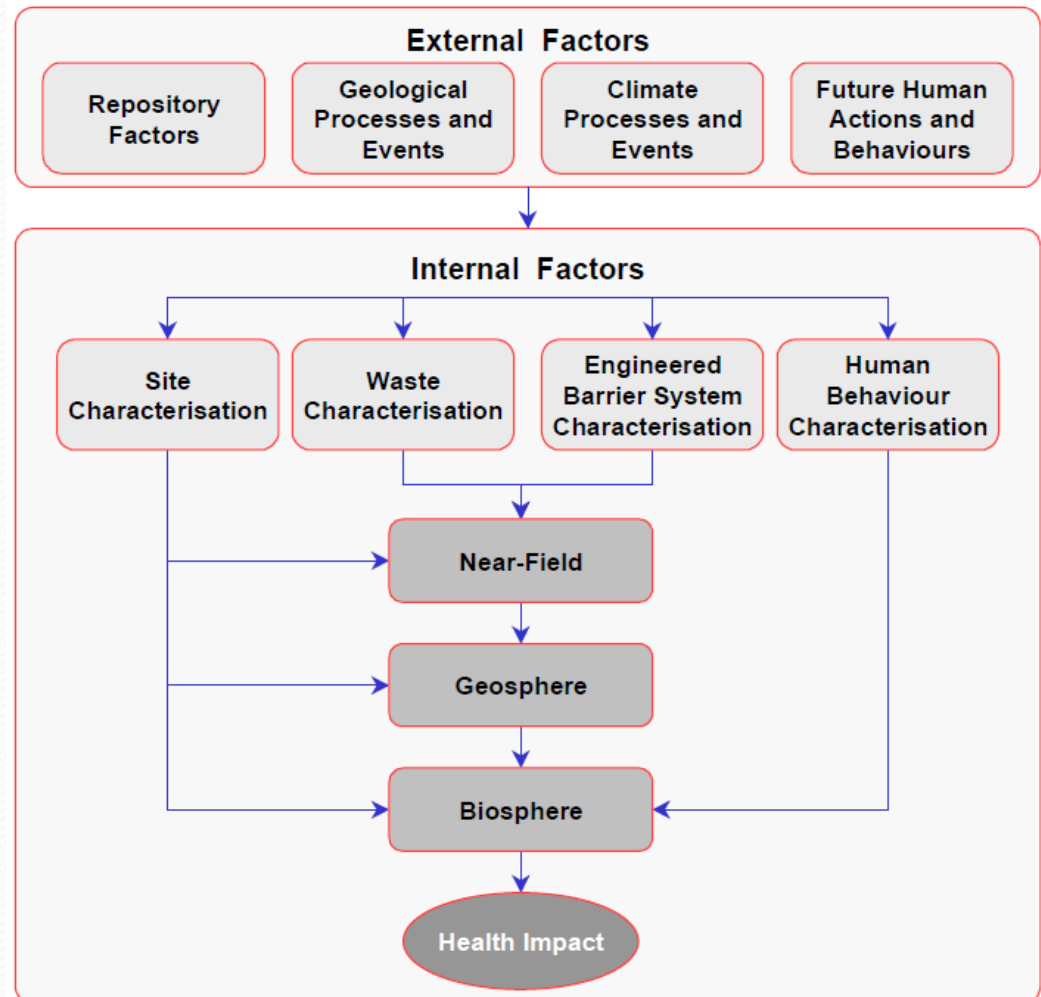


Processo de análise de segurança radiológica

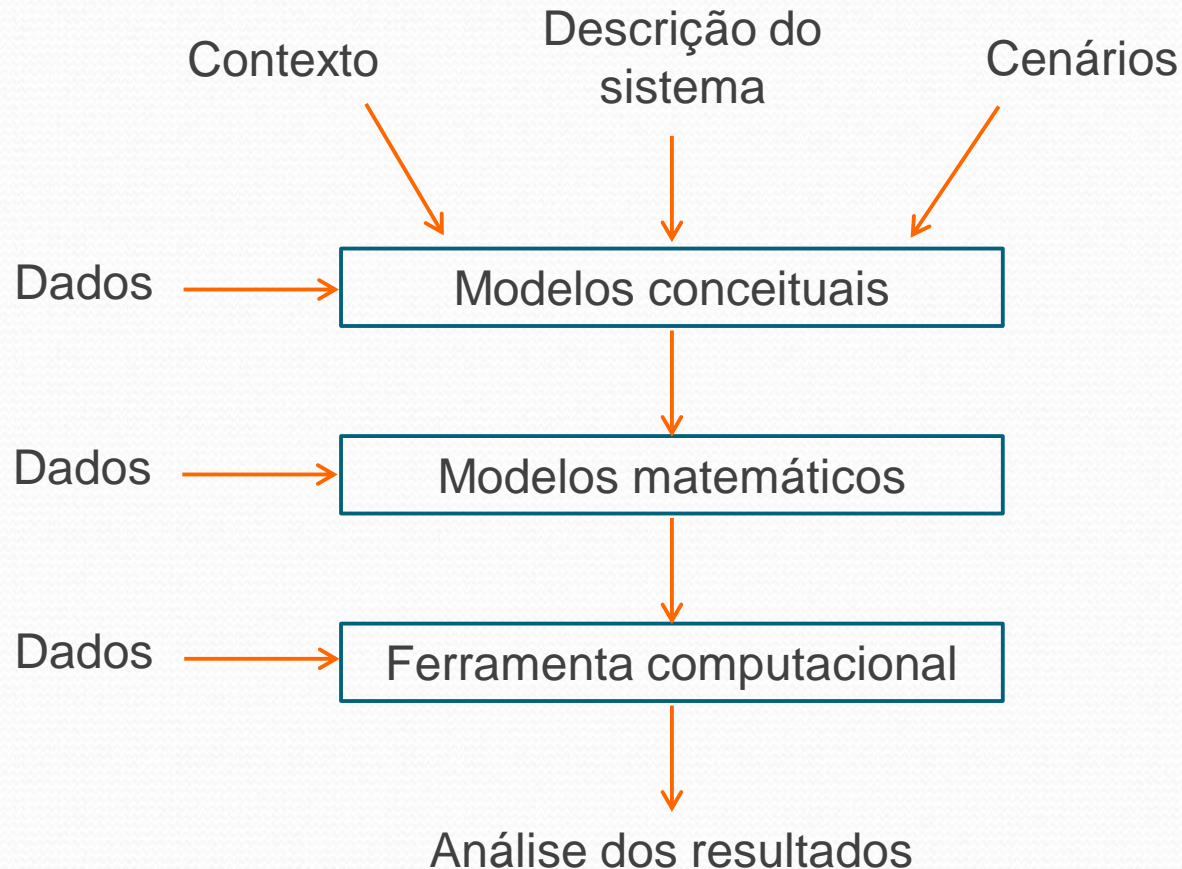


Desenvolvimento e justificativa de cenários

Cenários são sequências hipotéticas de eventos e processos construídas para ilustrar futuros comportamentos e estados possíveis em um sistema, com o propósito de avaliar sua segurança.



Ferramentas computacionais



Ferramentas computacionais

Exemplo: RESRAD (gratuito)

Código para estimativa da dose radiológica em pessoas que vivem/trabalham em uma área com solo contaminado (RESidual RADioactive materials in soil).

Desenvolvido na década de 80 pelo Argonne National Laboratory e lançado em 1989.

Vários outros códigos auxiliares foram desenvolvidos ao longo do tempo para aumentar as potencialidades do código original.

RESRAD-OFFSITE foi desenvolvido em 1993 e possibilita avaliar as consequências radiológicas em um receptor localizado fora da área contaminada.

Ferramentas computacionais

RESRAD - OFFSITE Site1.ROF (Modified)

File Pathways Site Data View Form Options Help

1) External Gamma
2) Inhalation
3) Plant Ingestion
4) Meat Ingestion
5) Milk Ingestion
6) Aquatic Foods
7) Drinking Water
8) Soil Ingestion
9) Radon

File
Change Title
Set Pathways
Modify Data
Run
View Output
Quit

Preliminary Inputs

Radiological Units
Activity: [Bq] Dose: [m] [Sv]

Basic Radiation Dose Limit: .25 mSv/yr
Exposure Duration (for Risk): 30 years
Number of Unsaturated Zones: 1
Submerged fraction of Primary Contamination: 0 unitless

Default Release Mechanism:
 Version 2 Release Methodology
 First Order Rate Controlled Release with Transport
 Instantaneous Equilibrium Desorption Release

Save Cancel

Groundwater Transport

Sub Screens

Distance in the direction parallel to aquifer flow from downgradient edge of contamination to well: 100 meters
 surface water body: 450 meters

Distance in the direction perpendicular to aquifer flow from center of contamination to well: 0 meters
 right edge of surface water body: -150 meters
 left edge of surface water body: 150 meters

Convergence criterion (fractional accuracy desired): .001

Number of sub zones (to model dispersion of progeny produced in transit): 1
 Main sub zones in primary contamination: 1
 Main sub zones in submerged primary contamination: 1
 Main sub zones in each partially saturated zone: 1
 Main sub zones in saturated zone: 1

nuclide specific retardation in all sub zones, longitudinal dispersion in all but the sub zone of transformation
 longitudinal dispersion in all sub zones, nuclide specific retardation in all but the sub zone of transformation, parent retardation in zone of transformation
 longitudinal dispersion in all sub zones, nuclide specific retardation in all but the sub zone of transformation, progeny retardation in zone of transformation

Save Cancel

Iconic Navigator

Problem Pathways/ Input Results Help

Source

Nuclide Concentration: 100 Bq/g

List of ICRP107 Nuclides with half life of at least 30 days

Add Ac-227 21.772y
Delete
Release
Distribution Coefficients
Deposition Velocities
Transfer factors
All nuclide factors

Ac-227
Ag-105
Ag-108m
Ag-110m
Al-26
Am-241
Am-242m
Am-243
Ar-37 No DCFs
Ar-39 No DCFs
Ar-42 No DCFs
As-73
Au-195
Ba-133
Be-10
Be-7
Bi-207
Bi-208
Bi-210m
Bk-247

OK

Physical and Hydrological

Site properties
 Precipitation: 1 meters/year
 Wind Speed: 0.89 meters/s

Sub-area properties

Save Cancel

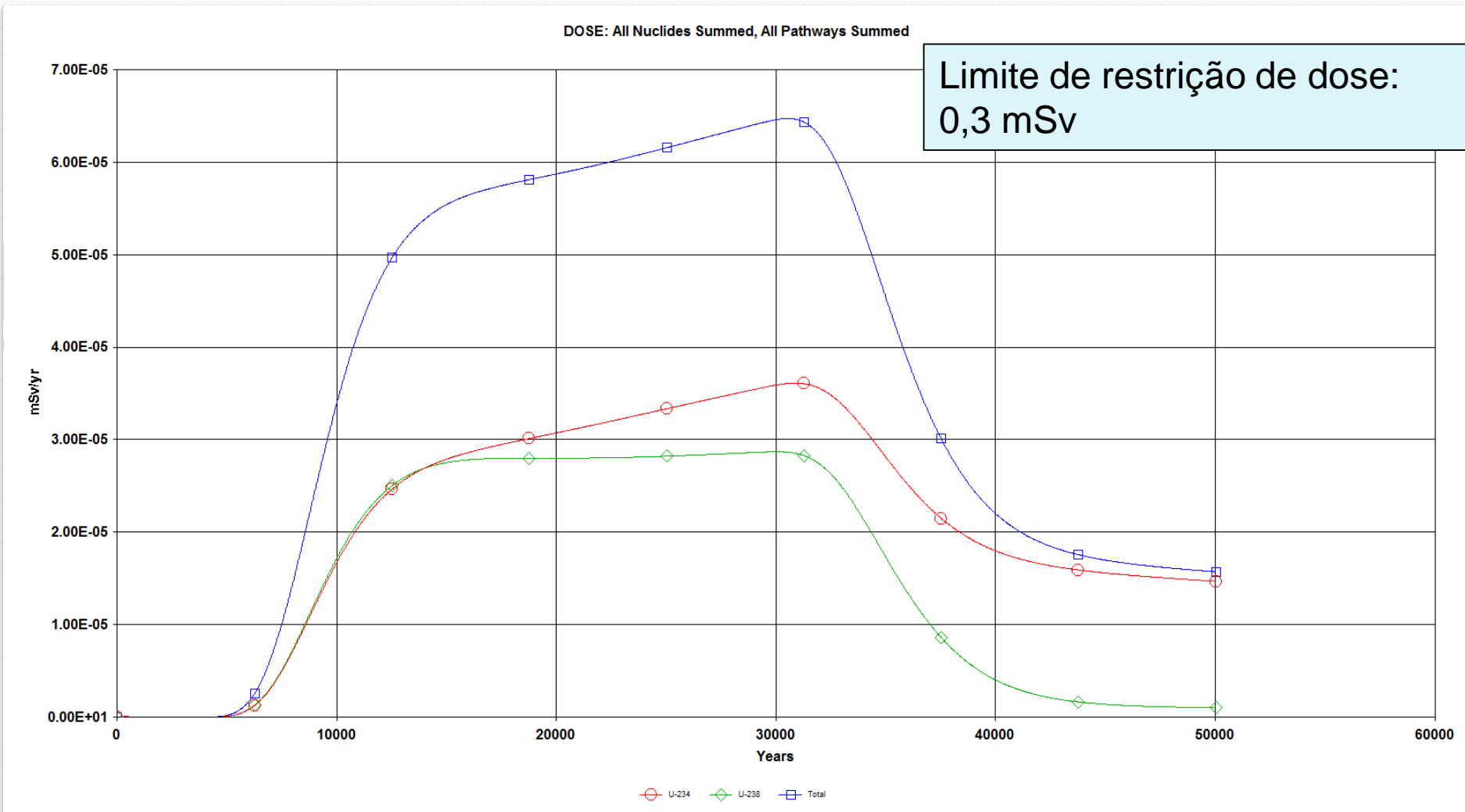
Ingestion Rates

	Consumption rate	Liters/year	Fraction from affected area
Drinking water	510	Liters/year	1
Fish	5.4	kg/year	.5
Crustacea and mollusks	.9	kg/year	.5
Fruit, grain, non-leafy vegetables	160	kg/year	.5
Leafy vegetables	14	kg/year	.5
Meat	63	kg/year	1
Milk	92	Liters/year	1
Soil (incidental)	36.5	grams/year	

Save Cancel

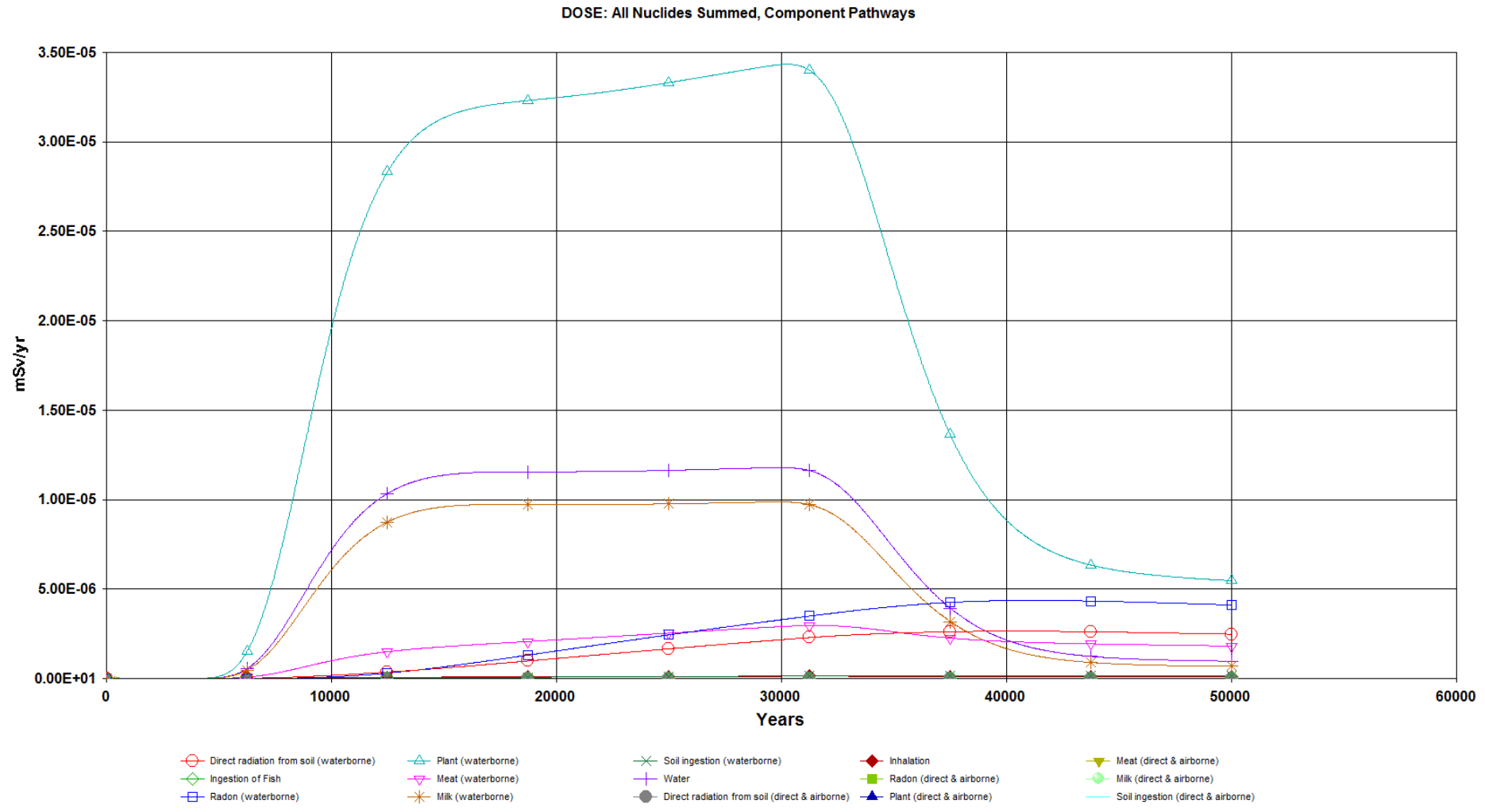
Resultados

Dose por nuclídeo pai (total para a cadeia de decaimento)



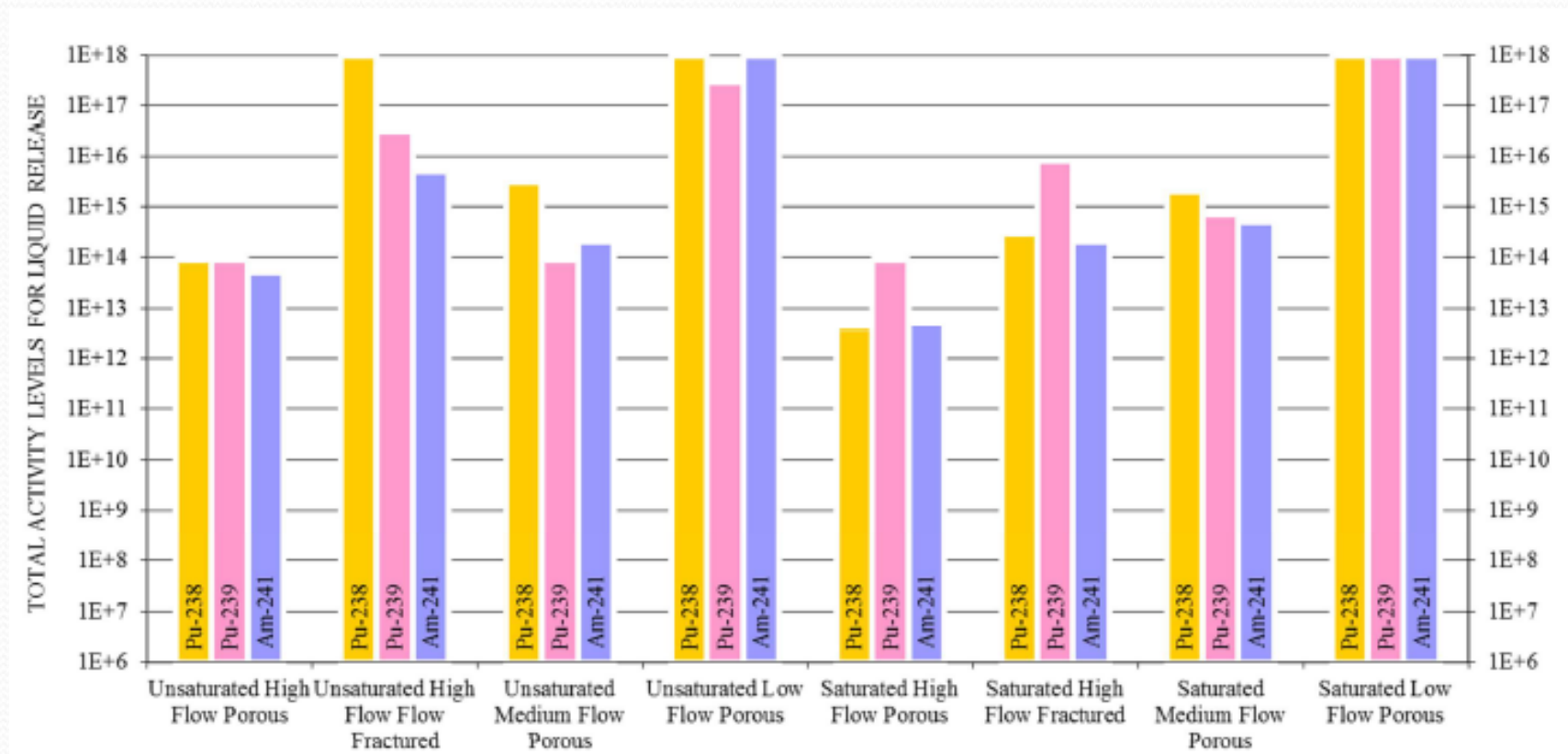
Resultados

Dose por via de exposição



Resultados

Atividade máxima permitida



Considerações finais

- A análise pode ser usada para diferentes propósitos, tais como investigar uma proposta de remediação, ou de um novo projeto de repositório, ou quais características hidrogeológicas são importantes;
- Verificar a necessidade de incluir outros aspectos no contexto da análise (por exemplo, impacto radiológico durante o período operacional e aspectos não radiológicos);
- É um processo essencialmente multidisciplinar, que requer a participação de diferentes profissionais;

Considerações finais

- A documentação de todas as decisões tomadas no processo, acompanhadas das evidências que as justificam, é essencial para aumentar a confiança na análise;
- Devido à complexidade do processo, é fortemente recomendável investir em ferramentas de construção de confiança, tais como análises de sensibilidade e de incerteza probabilística.



CNEN - CDTN

CDTN
Centro de Desenvolvimento
de Tecnologia Nuclear

CNEN
Comissão Nacional de
Energia Nuclear

Ministério da
Ciência e Tecnologia

Bem-vindo / Welcome

Obrigada !

Contato: sdsc@cdtn.br