



CNEN
Comissão Nacional
de Energia Nuclear

Análise de segurança para a dispensa condicional de rejeitos contendo Ra-226 e Ra-228 em aterros industriais

III ENCONTRO DE REGULADORES E REGULADOS DA CNEN

Poços de Caldas, 20 a 22 de agosto de 2024

Nerbe Ruperti
DIREJ/DRS

OBJETIVO

- Derivar valores de concentração em atividade e de atividade total de radionuclídeos presentes em rejeitos NORM da indústria de óleo e gás para a disposição segura em aterros industriais para resíduos perigosos.

CONTEXTO DA ANÁLISE DE SEGURANÇA

- Em 2022 foi criado o grupo de trabalho em colaboração com o Centro de Desenvolvimento Tecnológico e Nuclear – CDTN, por meio de solicitação da Diretoria de Radioproteção e Segurança Nuclear – DRS.
- O Grupo de Estudos realizou reuniões mensais desde abril de 2022, desenvolvendo as seguintes atividades:
 - i) análise de modelos de avaliação de impacto radiológico ambiental adaptados às condições do Brasil;
 - ii) definição do conjunto de parâmetros e informações necessárias para o modelo conceitual;
 - iii) coleta de informações de aterros industriais Classe I (ABNT, 2004) utilizados como referências no estudo;
 - iv) detalhamento de cenários e vias de exposição a serem considerados no modelo; e
 - v) realização de análises de segurança para as fases operacional e de pós-fechamento dos aterros.

CONTEXTO DA ANÁLISE DE SEGURANÇA

- Grupo de trabalho:

Flávia Schenato	DRS/DIREJ
Nerbe Ruperti	DRS/DIREJ
Rafael Soares S. Pimenta de Almeida	CDTN/SEGRE
Ricardo Gomes Passos	CDTN/SEAMA
Stela Dalva Santos Cota	CDTN/SEAMA
Valeria Cuccia	CDTN/SEGRE
Vanderley de Vasconcelos	CDTN/SETRE

CONTEXTO DA ANÁLISE DE SEGURANÇA

Premissas da Análise de Segurança:

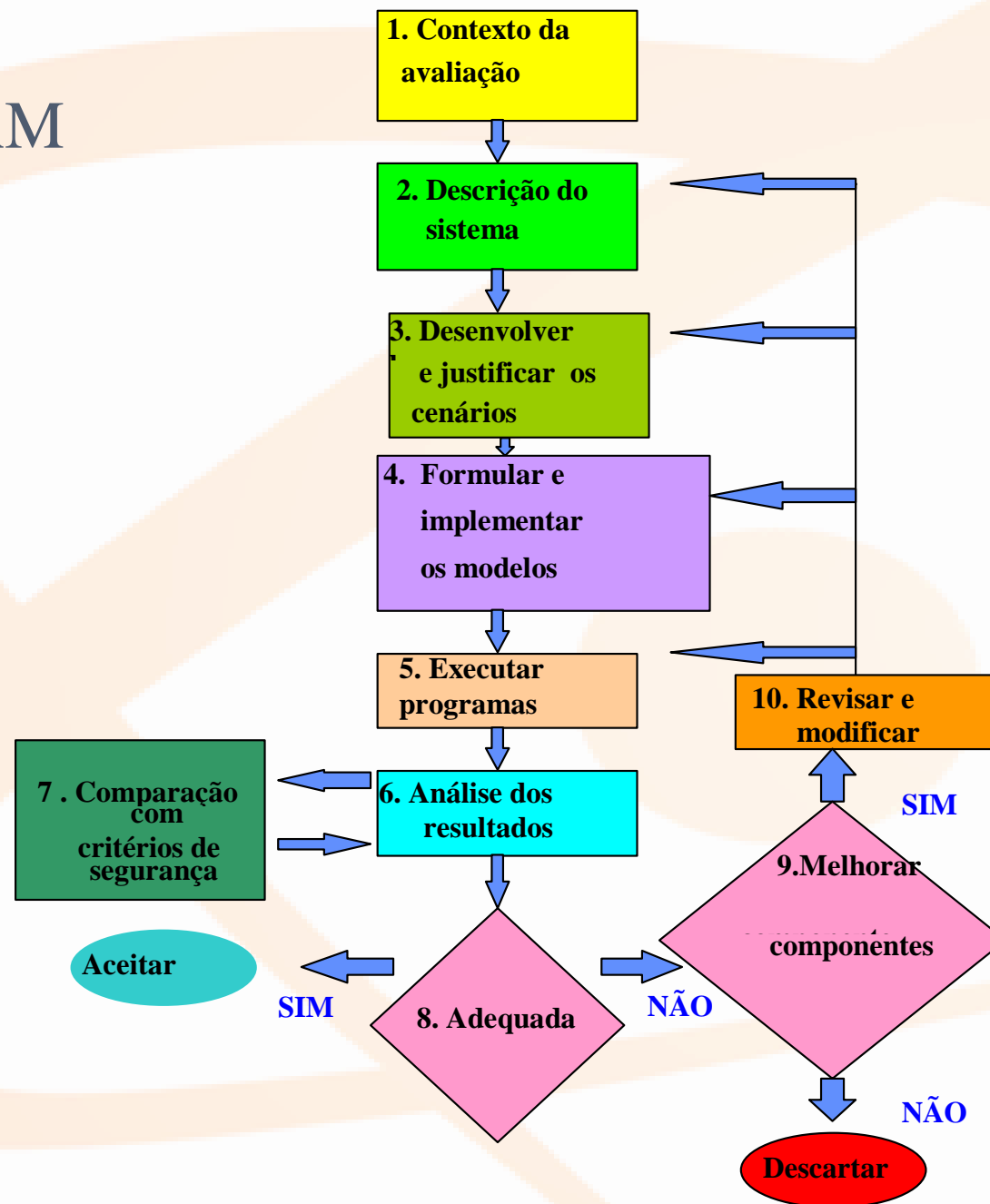
- i. Deposição de embalados de rejeitos NORM da E&P de óleo e gás em aterros de resíduos perigosos Classe I;
- ii. inventário de rejeitos NORM Classe 2.2 (CNEN, 2014) contendo embalados com radionuclídeos da série do urânio e tório;
- iii. estabelecimento de um cenário de referência pós-fechamento tomando como base o cenário genérico de avaliação realizada para o projeto de uma instalação para depósito de rejeitos de baixo e médio níveis no Brasil (COTA, 2021), simplificado e adaptado conservativamente para o caso de rejeitos NORM de E&P de óleo e gás depositados em aterros Classe I.

CONTEXTO DA ANÁLISE DE SEGURANÇA

A metodologia ISAM (Improvement of Safety Assessment Methodologies for Near Surface Disposal Facilities) (IAEA, 2004) foi utilizada para orientar as análises de segurança, fazendo sempre, quando aplicáveis, simplificações conservativas, para adaptar ao caso em estudo e facilitar as análises.



A Metodologia ISAM



FORMULAÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO DE MODELOS

- Transporte no aquífero

$$R \frac{\partial C(z, t)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(D \frac{\partial C(z, t)}{\partial z} \right) - w \frac{\partial C(z, t)}{\partial z} - R\gamma C(z, t)$$

$$0 < z < \infty, \quad t > 0$$

$$-D \frac{\partial C}{\partial Z} + wC = f(t), \quad z = 0$$

FORMULAÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO DE MODELOS

- Cálculo da dose efetiva anual (mSv):

$$D = D_{ext} + D_{ina} + D_{ing}$$

onde

$$D_i = C_i U_i FCD_i$$

C_i : concentração do radionuclídeo no meio ambiente;

U_i : fator de uso (taxa de utilização do meio pelo homem);

FCD_i : fator de conversão de dose para o radionuclídeo.

CONTEXTO DA ANÁLISE DE SEGURANÇA

O código RESRAD-OFFSITE versão 4.0, desenvolvido pelo Argonne National Laboratory, foi utilizado para realizar as simulações computacionais. Este código é utilizado para avaliar o impacto radiológico em indivíduos do público residindo ou trabalhando dentro ou fora de áreas contaminadas. A família de códigos RESRAD é utilizada em mais de 100 países.



The screenshot shows the website for RESRAD Family of Codes. The navigation bar includes links for HOME, CODES, DOWNLOAD, TRAINING, DOCUMENTS, FAQs, CONTACT US, and USER CENTER. The main content area features a circular icon for RESRAD-OFFSITE, the title 'RESRAD-OFFSITE', and buttons for 'Download' and 'Version History'. A descriptive text box states: 'RESRAD-OFFSITE is used to assess radiation exposures of a human receptor located on top of or at some distance from soils contaminated with radioactive materials.' Below this is a section titled 'Objectives' which explains that RESRAD-OFFSITE inherits and expands upon the objectives of RESRAD-ONSITE, estimating radiation doses and cancer risks to an individual located on site, off site, or both, and deriving radionuclide soil guideline levels.

RESRAD Family of Codes [HOME](#) [CODES](#) [DOWNLOAD](#) [TRAINING](#) [DOCUMENTS](#) [FAQS](#) [CONTACT US](#) [USER CENTER](#)

 **RESRAD-OFFSITE** [Download](#) [Version History](#)

RESRAD-OFFSITE is used to assess radiation exposures of a human receptor located on top of or at some distance from soils contaminated with radioactive materials.

Objectives

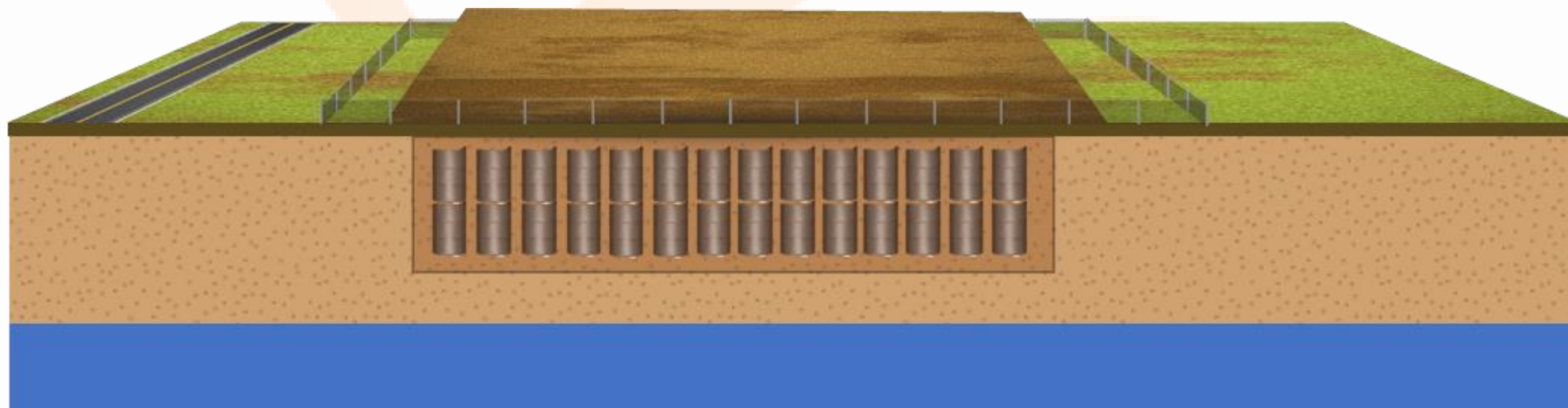
RESRAD-OFFSITE inherits and expands upon the objectives of [RESRAD-ONSITE](#). It estimates radiation doses and cancer risks to an individual located on site, i.e., within the boundary of the primary contamination in soil (as considered by RESRAD-ONSITE), off site, or both on site and off site (with a time fraction at each location). It also derives radionuclide soil guideline levels for the primary contaminated area corresponding to a specific dose criterion. Because of the extension to off-site locations, RESRAD-OFFSITE simulates actual exposure conditions more realistically, and can be applied to evaluate more complicated decommissioning conditions (with restriction) and the effectiveness

DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE DEPOSIÇÃO

- O aterro modelado foi resultado da consolidação de dados obtidos para sete aterros de resíduos classe I localizados em seis estados brasileiros e dos requisitos da norma brasileira NBR 10157 (ABNT, 1987).
- Aterro de referência com dimensões de 54,3 m x 32,5 m x 10 m, com impermeabilização de fundo ($K = 1E-7$ cm/s) com camada de argila com espessura de 1 m com revestimento de Polietileno de Alto Desempenho (PEAD) com espessura de 1,0 mm e camada de cobertura com espessura de camada de argila de 1 m.
- A caracterização do uso futuro da área do aterro e região próxima após o fechamento e a liberação total do controle institucional considera uma residência rural típica localizada no topo da área de deposição, diversas culturas (hortaliças, frutas, grãos e pastagens), e um poço localizado no limite a jusante da área de descarte destinada ao consumo humano e pecuário e irrigação de culturas.

DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE DEPOSIÇÃO

Diagrama Esquemático



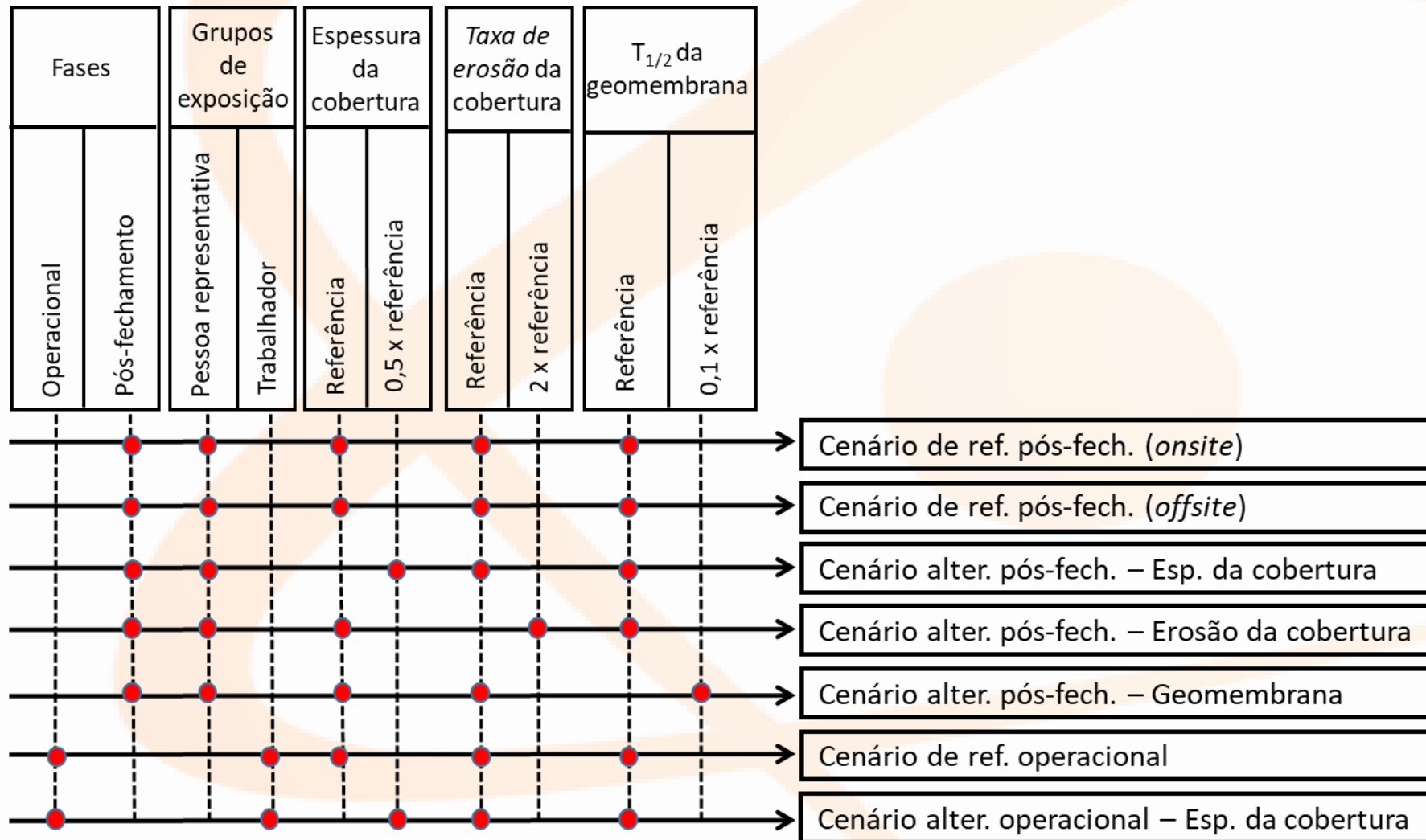
DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE DEPOSIÇÃO

Grupo	Parâmetro	Valor (unidade)
Preliminary inputs	Basic radiation dose limit	1 mSv/yr
Inventory	Specific concentrations for Ra-226, Ra-228, Pb-210	1 Bq/g
Hydrology	Precipitation	1.5 m
	Rainfall erosion index	462.6
Clean cover	Thickness	1 m
	Erosion rate (calculated)	1.77E-4 m/yr
	Cover soil erodibility	0.23
Primary contamination (PC)	X-Y-Z dimensions	54.3 x 32.5 x 10 m
	Hydraulic conductivity	3.15 m/yr
	Erosion rate (calculated)	3.0E-4 m/yr
	Evapotranspiration coefficient	0.77
	Slope-length-steepness factor	1
	Fraction area of fruit crops	0.178
	Depth root of non-leafy vegetables	1 m

DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE DEPOSIÇÃO

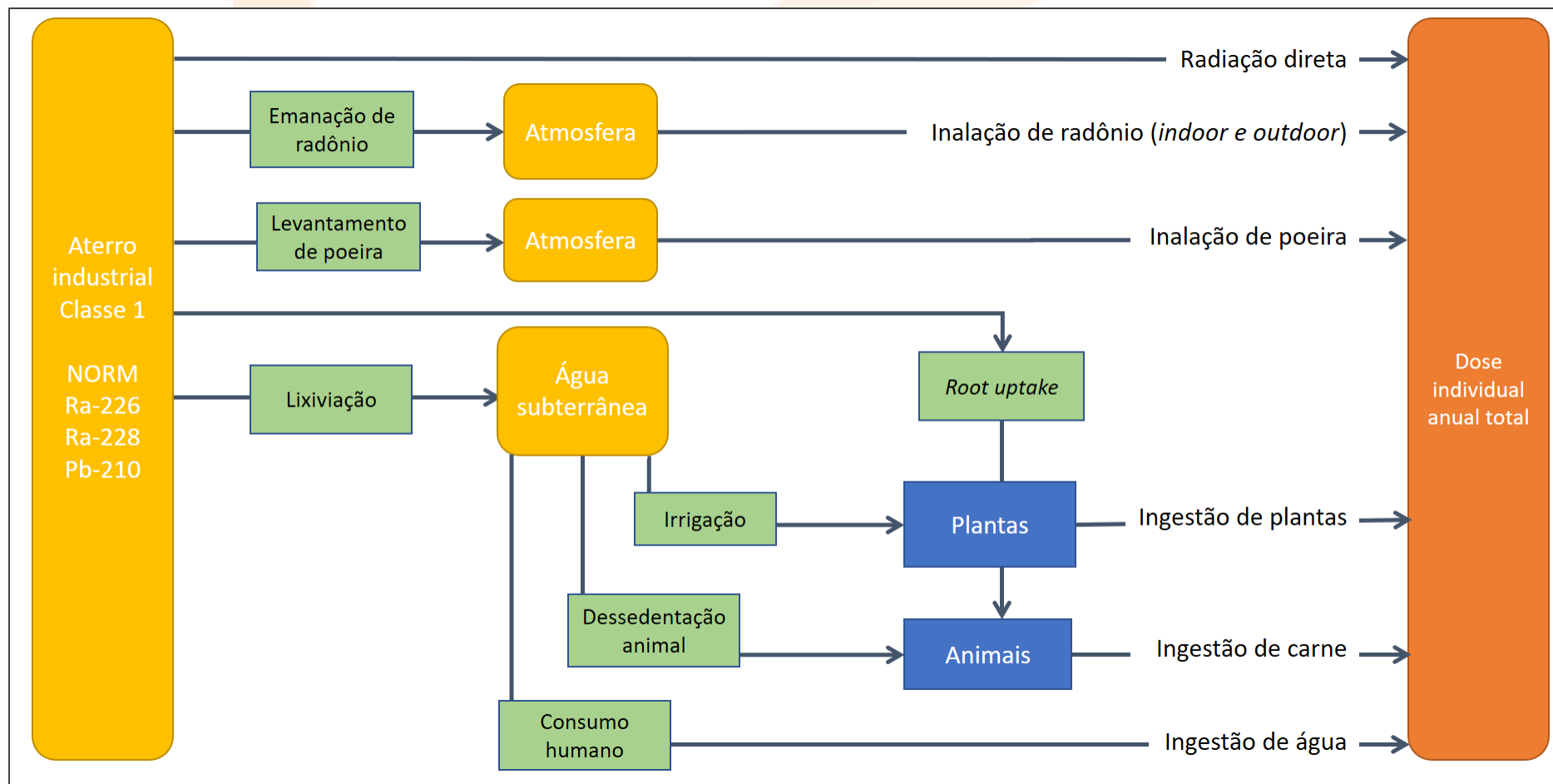
Unsaturated zone	Thickness	1.5 m
	Hydraulic conductivity	3.15 m/yr
Saturated zone	Distance from PC edge to well	0 m
	Hydraulic conductivity	3.15 m/yr
	Total/effective porosity	0.45
	Hydraulic gradient to well	0.15
	Depth of aquifer contributing to well	10 m
Transport	Bulk density	1.46 g/cm ³
	Kd for Ra, Pb, Th, Po	2500, 2000, 1900, 210 cm ³ /g (respectively; same for all areas)

DESENVOLVIMENTO DE CENÁRIOS



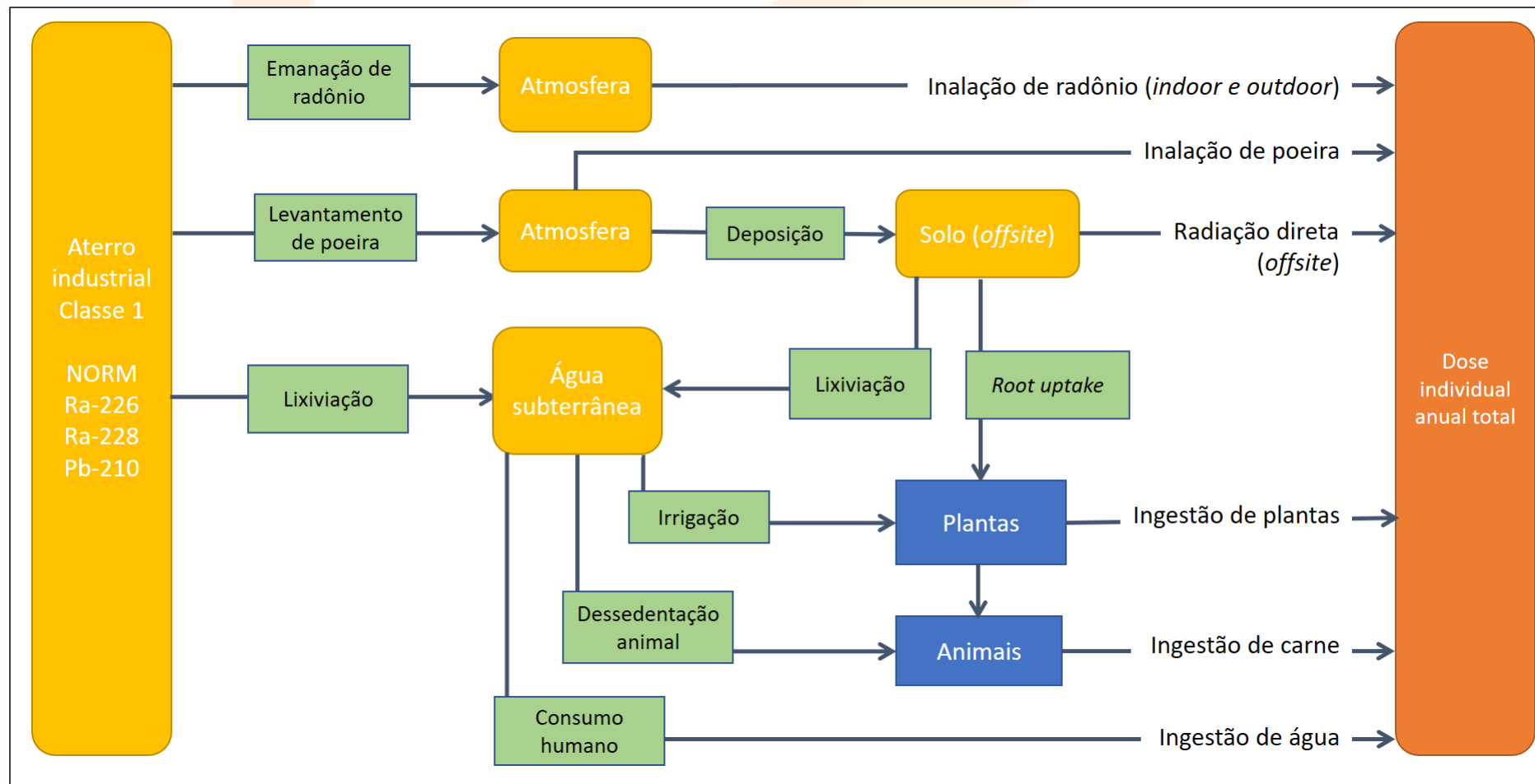
DESENVOLVIMENTO DE CENÁRIOS

Fase de pós-fechamento (*onsite*)



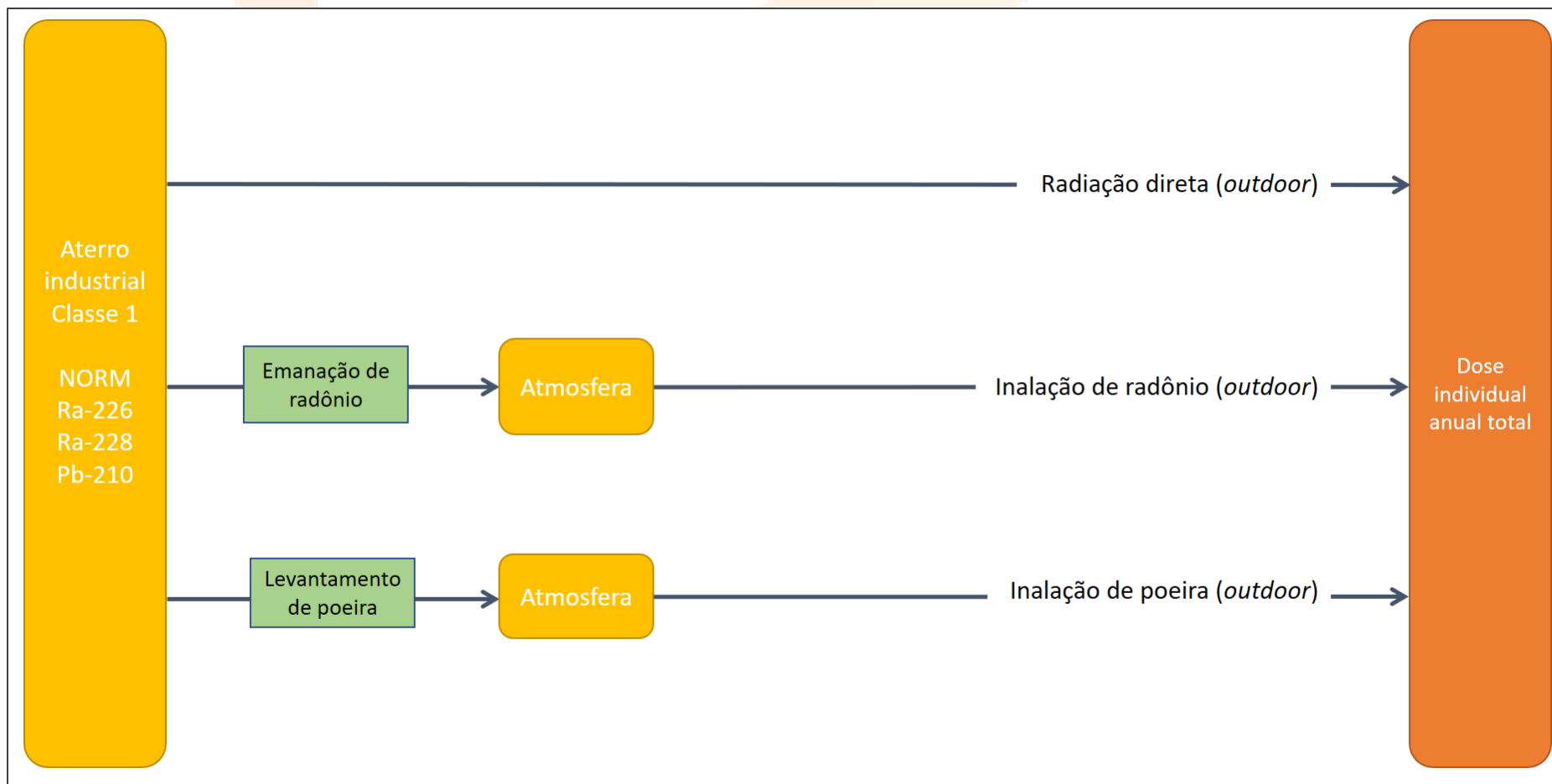
DESENVOLVIMENTO DE CENÁRIOS

Fase de pós-fechamento (*offsite*)



DESENVOLVIMENTO DE CENÁRIOS

Trabalhador na fase operacional



DETERMINAÇÃO DOS LIMITES DE DISPENSA CONDICIONAL

- Todos os resultados de doses foram obtidos ao se considerar uma atividade unitária (1Bq/g) dos radionuclídeos de interesse e devem ser lidos como doses específicas ((mSv/ano)/(Bq/g)).
- O efeito do radônio na dose foi estimado separadamente para o cenário de referência para a fase pós-fechamento com a pessoa de referência localizada na área de deposição (onsite), por ser o cenário mais conservador.
- Radionuclídeos de interesse: Ra-226, Ra-228 e Pb-210.

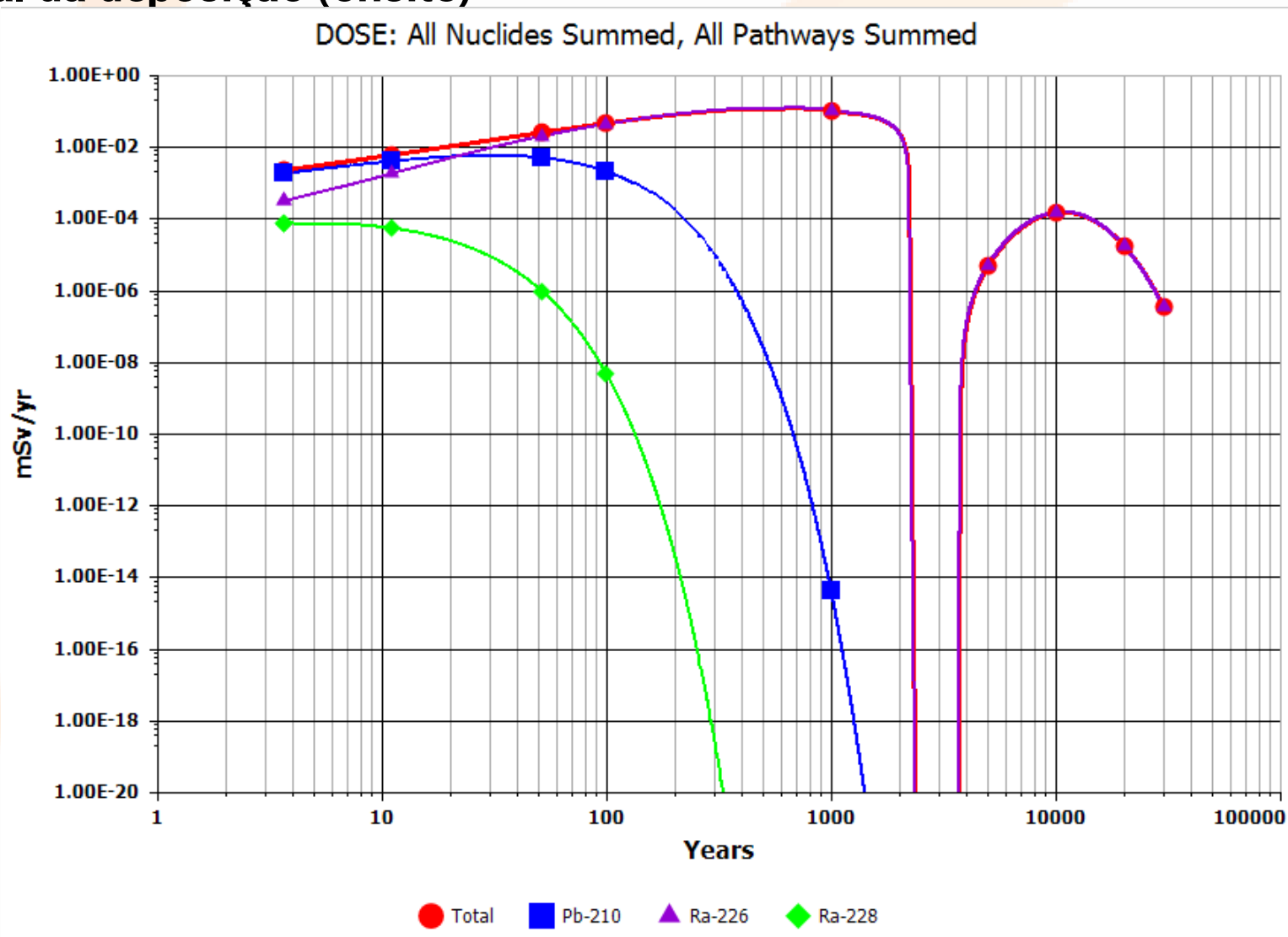
DETERMINAÇÃO DOS LIMITES DE DISPENSA CONDICIONAL

- Requisitos regulatórios (Norma CNEN NN 3.01):
 - Dose anual para indivíduos do público < 1 mSv;
 - Concentração de radônio < 300 Bq/m³.
- Uma vez obtidos os valores de $Q_{i,1}$ (Bq/g) para cada radionuclídeo, a obtenção dos limites de atividade da mistura de radionuclídeos é obtida usando a regra de soma:

$$\sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{Q_{i,1}} \leq 1$$

RESULTADOS

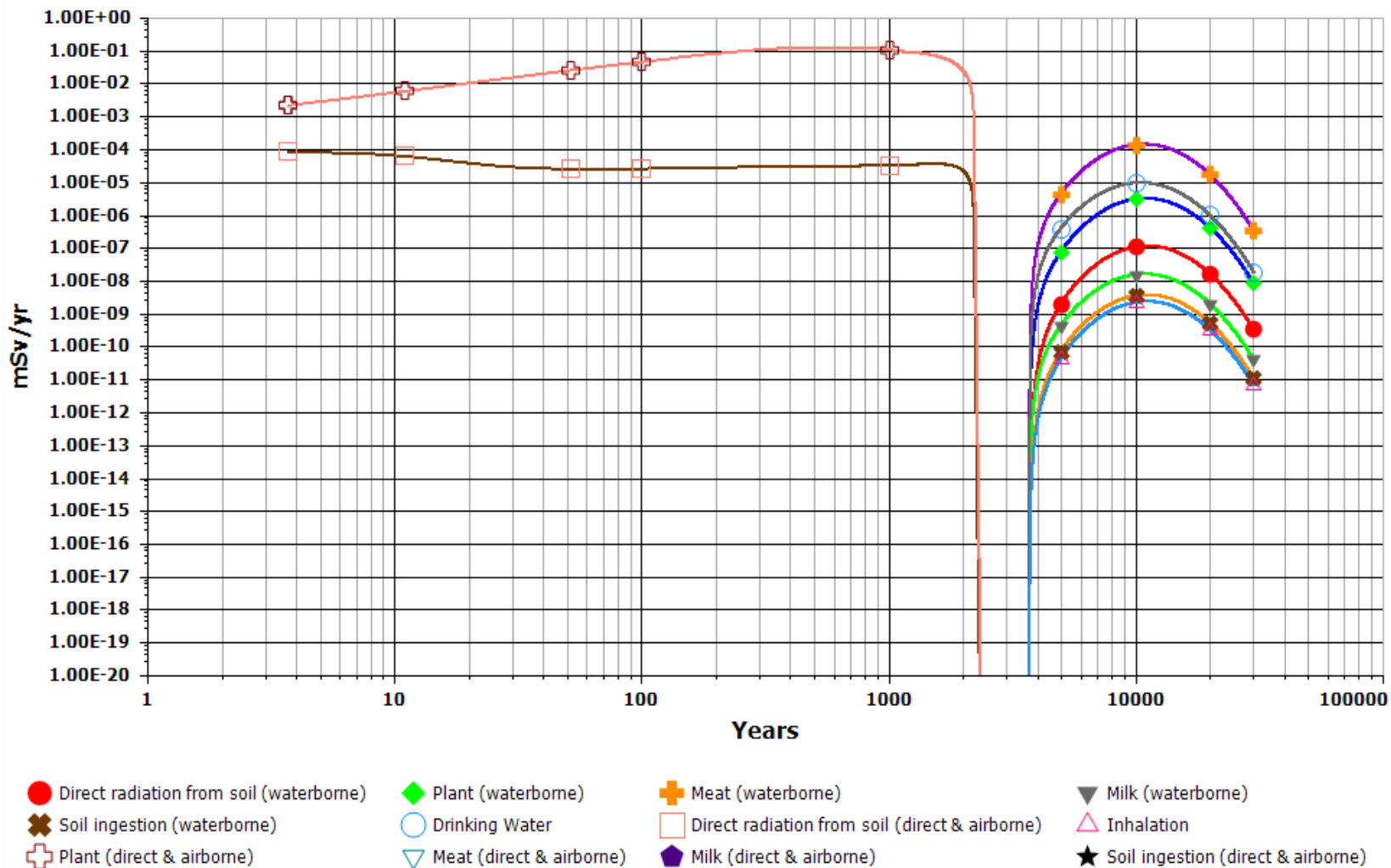
Doses totais para a fase de pós-fechamento com indivíduo do público vivendo no local da deposição (onsite)



RESULTADOS

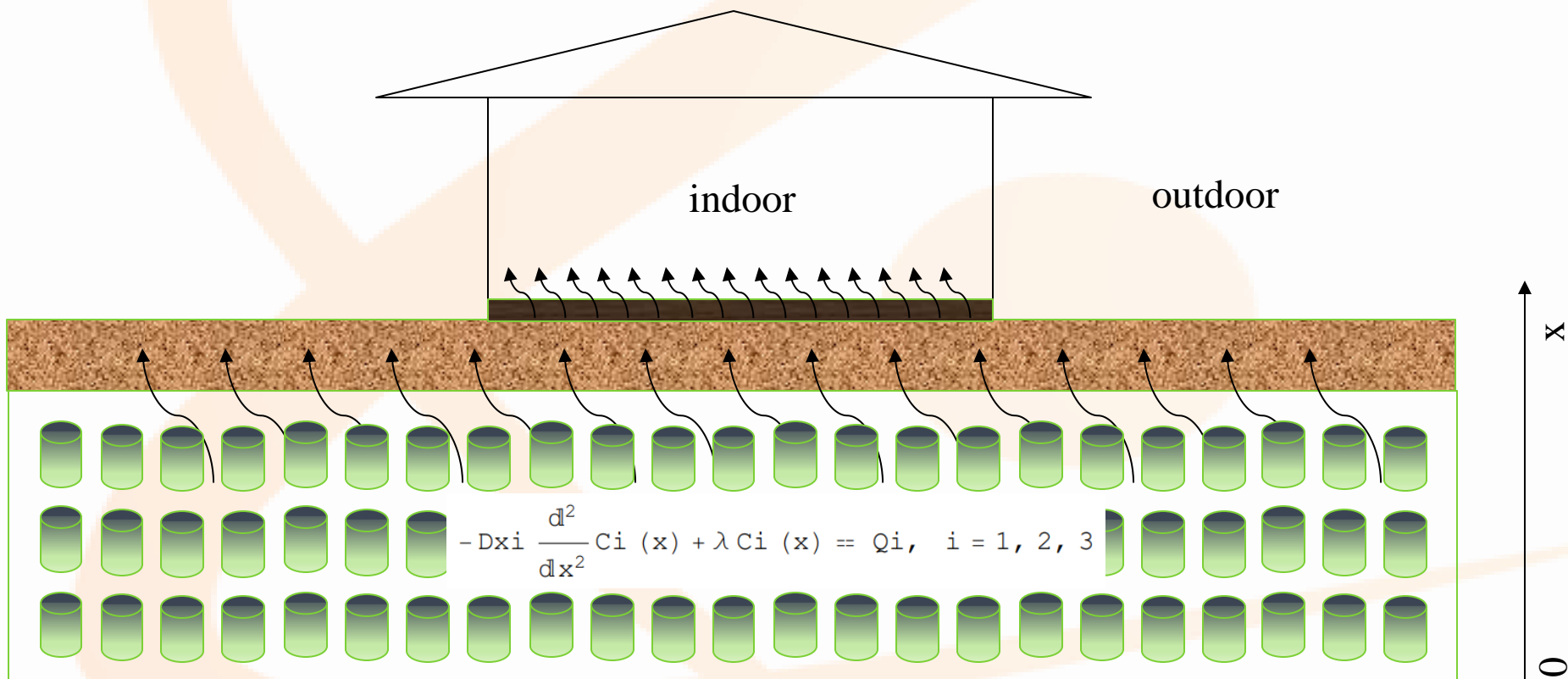
Doses por via de exposição para a fase de pós-fechamento com indivíduo do público vivendo no local da deposição (onsite)

DOSE: All Nuclides Summed, Component Pathways



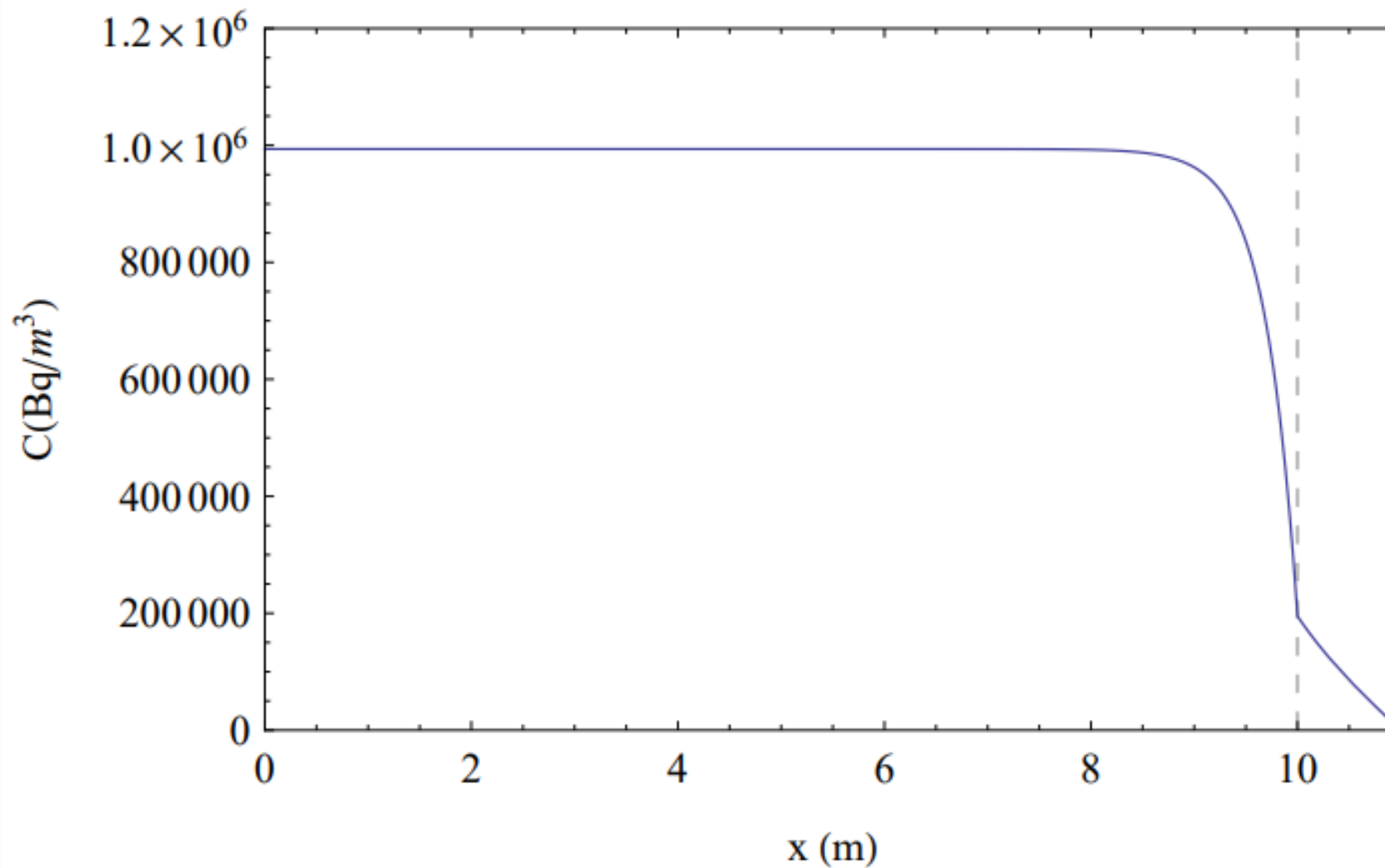
TRANSPORTE DE RADÔNIO (ONSITE)

Cenários indoor e outdoor



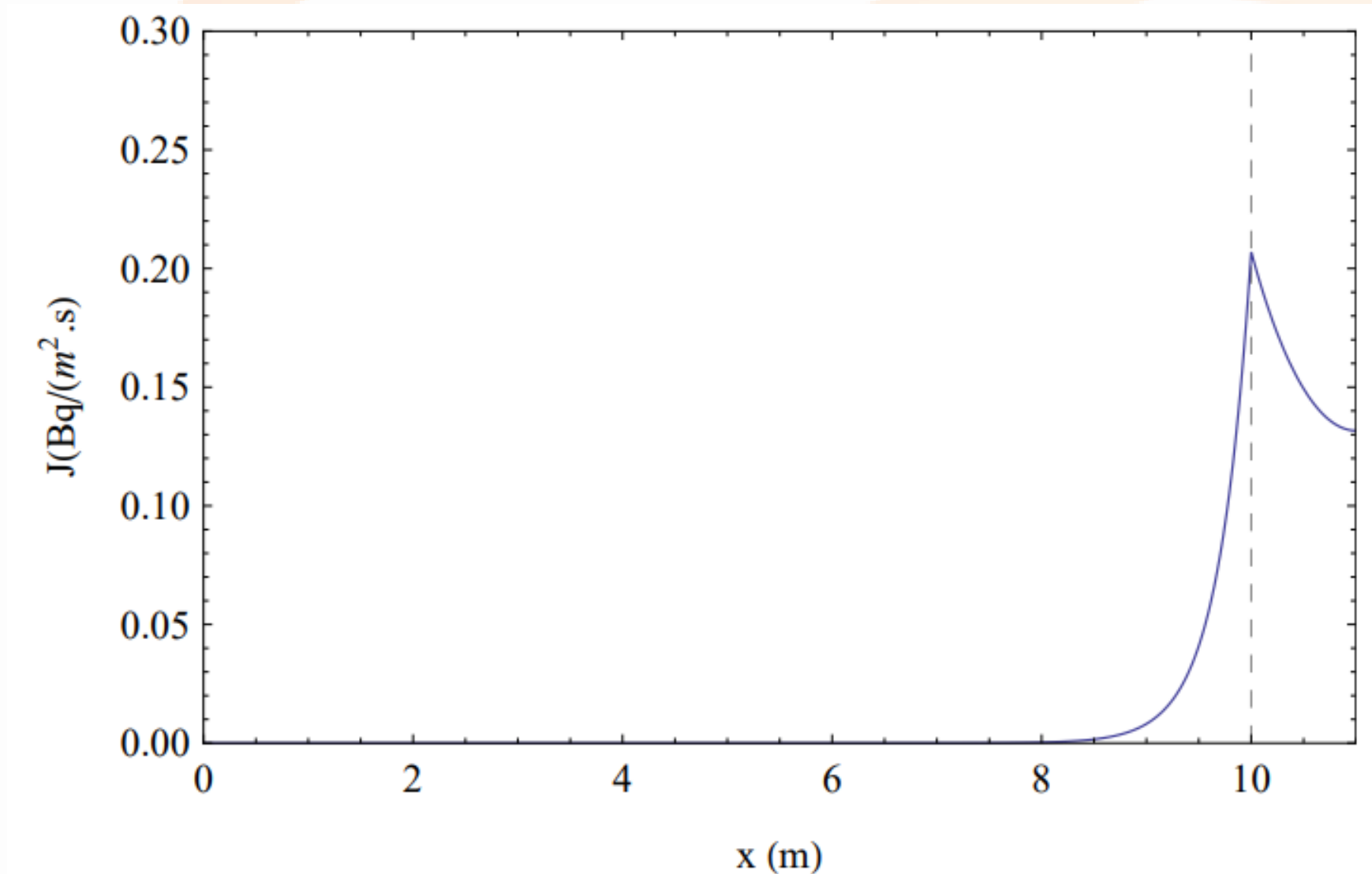
TRANSPORTE DE RADÔNIO (ONSITE)

Perfil de concentração de Rn-222 na PC e na cobertura (outdoor)



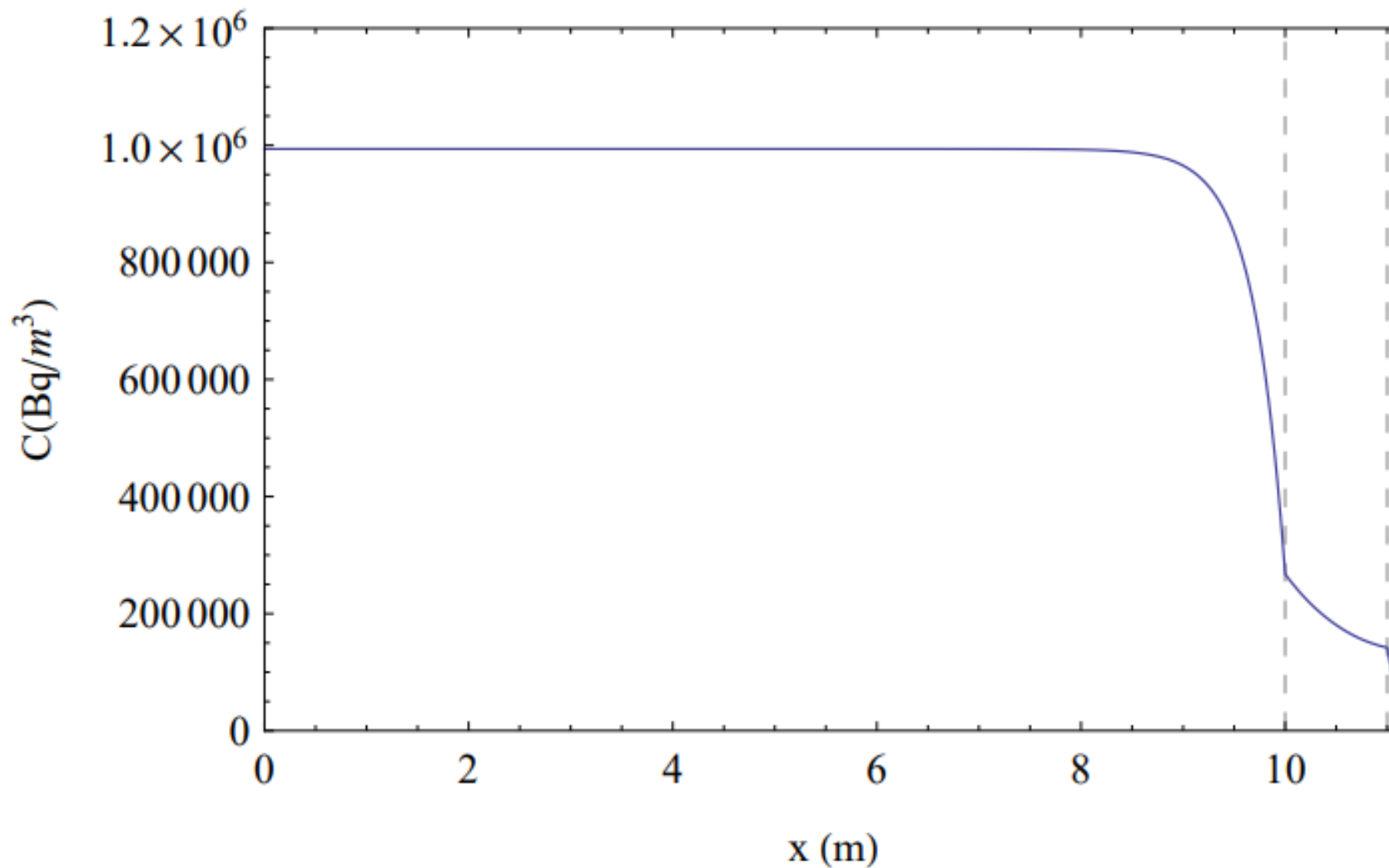
TRANSPORTE DE RADÔNIO (ONSITE)

Perfil de fluxo de Rn-222 na PC e na cobertura (outdoor)



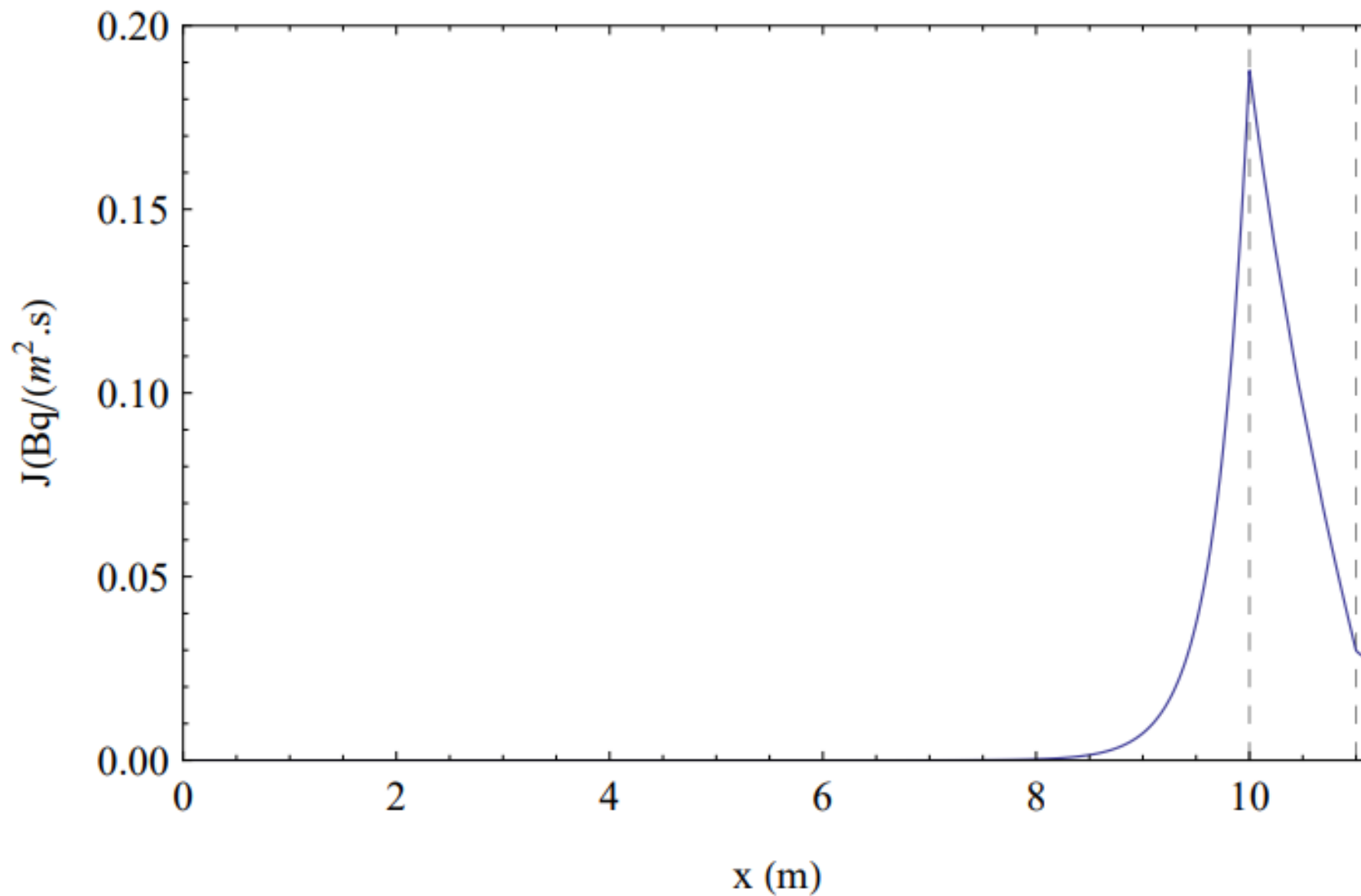
TRANSPORTE DE RADÔNIO (ONSITE)

Perfil de concentração de Rn-222 na PC, na cobertura e na fundação (indoor)



TRANSPORTE DE RADÔNIO (ONSITE)

Perfil de fluxo de Rn-222 na PC, na cobertura e na fundação (indoor)



CONCLUSÕES

- Estima-se que uma quantidade significativa do inventário total dos rejeitos gerados pela indústria de O&G no Brasil poderia ser condicionalmente liberada dos requisitos de radioproteção, para ser depositada em aterros industriais para resíduos perigosos;
- Resultados preliminares indicam que o limite de concentração em atividade dos radionuclídeos de interesse investigados deverá ficar na faixa de 1 Bq/g a 10 Bq/g.

OBRIGADO

nerbe.ruperti@cnen.gov.br