

**apa**

agência portuguesa  
do ambiente



# EFEITOS DA EXPOSIÇÃO AO RADÃO NA SAÚDE

2º CURSO TEÓRICO-PRÁTICO SOBRE RADÃO

22 e 23 junho 2023, Universidade de Coimbra

CATARINA ANTUNES

Divisão de Planeamento e Proteção Ambiental | DEPR

[ana.antunes@apambiente.pt](mailto:ana.antunes@apambiente.pt)

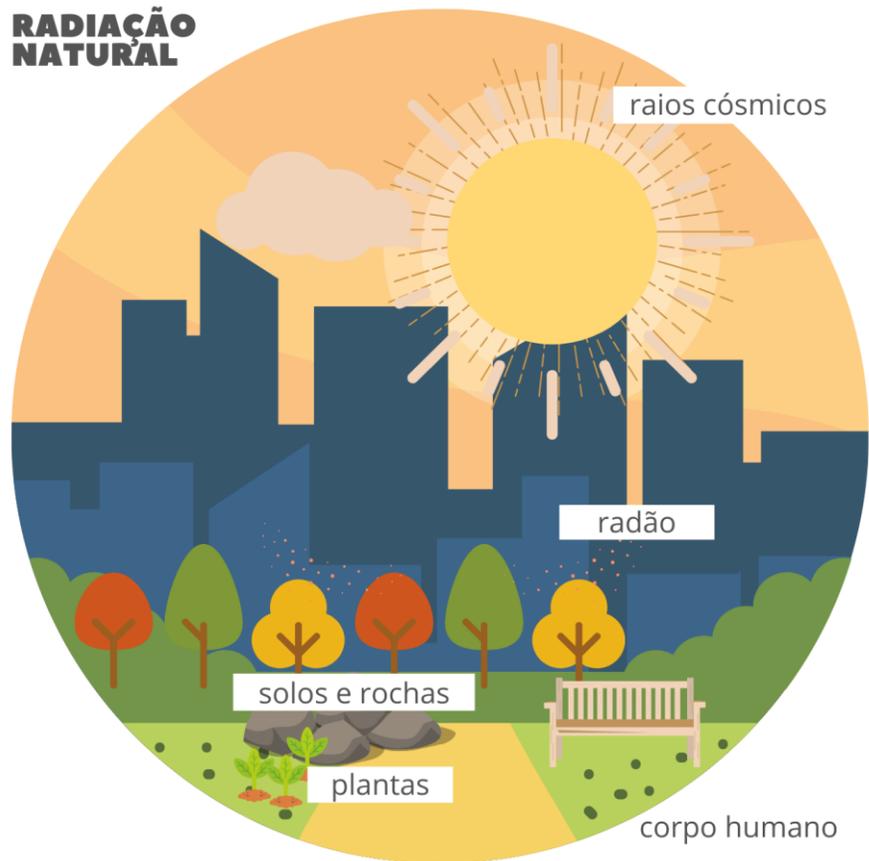


**REPÚBLICA  
PORTUGUESA**

AMBIENTE E  
AÇÃO CLIMÁTICA

# Radiação natural e radiação artificial

## RADIAÇÃO NATURAL



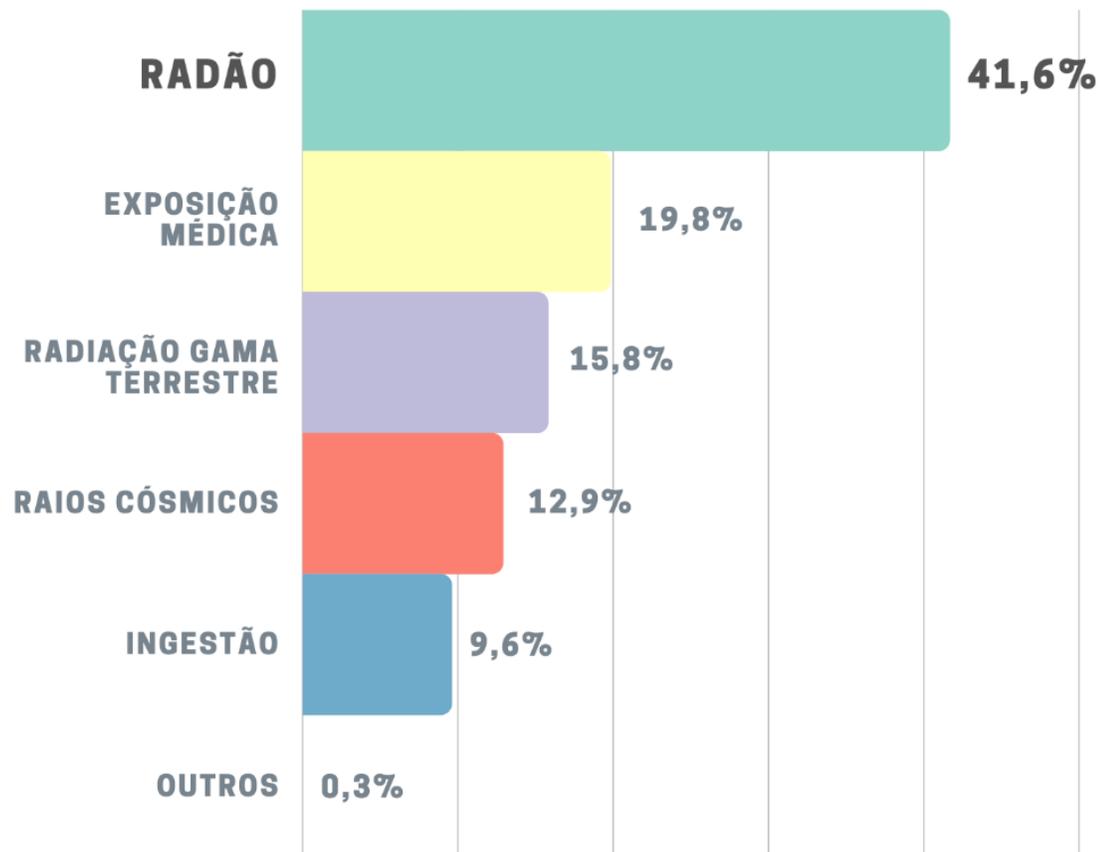
## RADIAÇÃO ARTIFICIAL





**Radão**

# Exposição ao radão



- **Maior fonte de exposição** à radiação ionizante da população
- Contribui em **mais de 40% para a dose** efetiva

*Percentagem da dose anual recebida pela população mundial.  
adaptado Sources and Effects of Ionizing Radiation, UNSCEAR 2008 Report, Vol. I*



# Efeitos na saúde

O radão está classificado como **agente carcinogénico** do Grupo 1

IARC, 1988

**Exposição ao radão** no interior das habitações aumenta o **risco de cancro do pulmão** na população

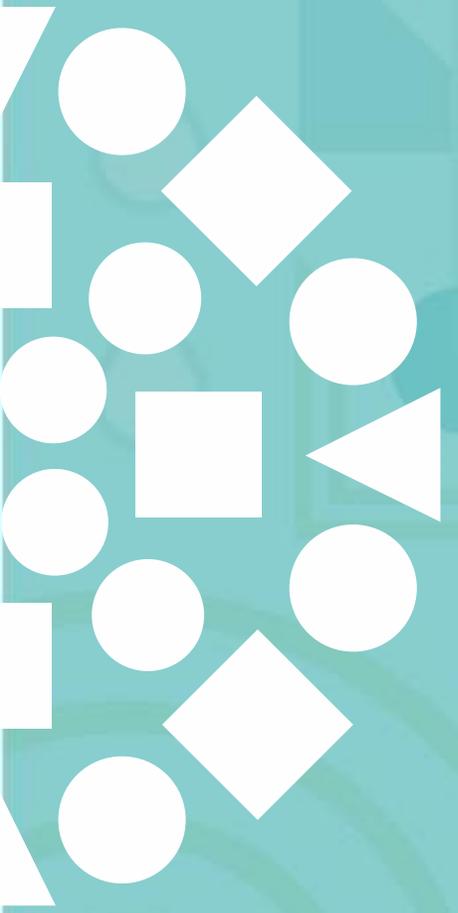
**RISCO DE CANCRO DO PULMÃO AUMENTA COM O TEMPO DE EXPOSIÇÃO**

**3 a 14%** dos **cancros do pulmão** a nível mundial são resultantes da **exposição ao radão**.

**Outras doenças** (pouca evidência):

- Fibrose pulmonar
- Enfisema
- Leucemia
- Cancro de estômago



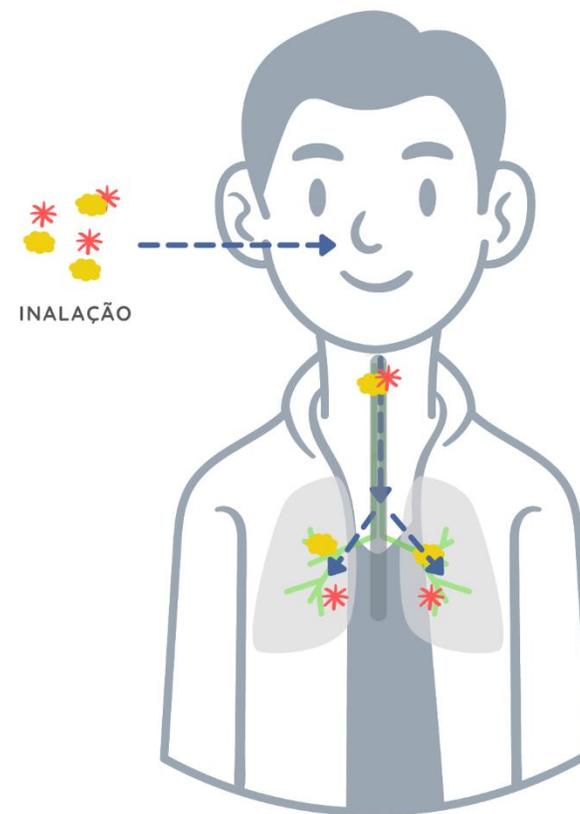


# Radão no organismo

# Radão no Organismo

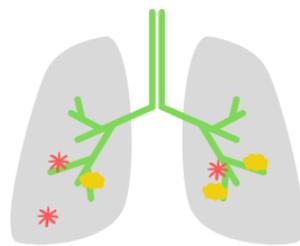
## Vias de entrada:

- **Inalação** (90% da dose atribuível ao radão provém da sua inalação)
- **Ingestão**



# Radão no organismo

cadeia de decaimento do U-238



*inalação de radão  
(incluindo descendentes  
de vida curta)*

**cancro do pulmão**

Não é só o **radão**,  
mas também são os  
**seus descendentes  
de vida curta** que  
contribuem para a  
dose que recebemos.

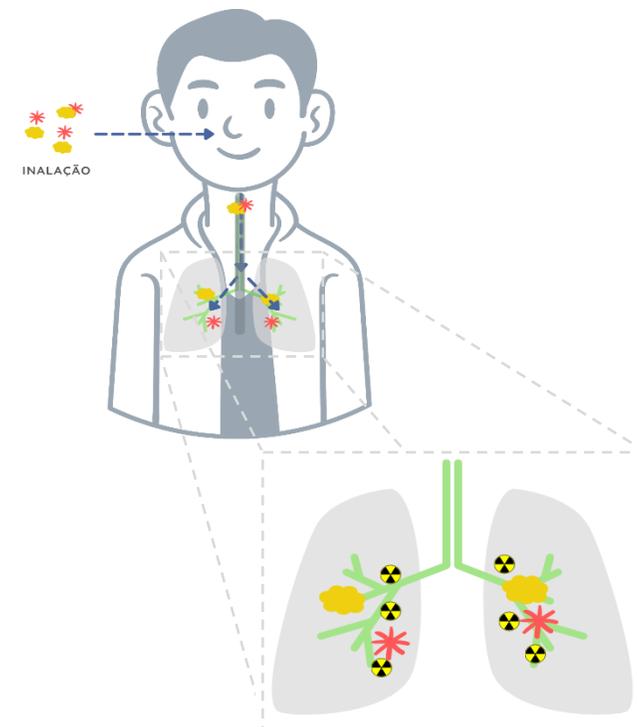
- O radão e seus descendentes produzem partículas radioativas no ar que respiramos.
- Essas partículas ficam retidas nas nossas vias respiratórias e aí emitem radiação provocando lesões nos pulmões. Estas lesões aumentam o risco de **cancro do pulmão**.



# Cancro do pulmão

## Mecanismos biológicos:

- Deposição irá ao longo do tempo induzir um conjunto de alterações, desde **mutações no DNA**, **modificação do ciclo celular**, entre outros efeitos citotóxicos associados à **regulação do ciclo celular** e **carcinogénese**.
- O radão e descendentes inalados fixam-se mais facilmente nas **vias aéreas principais**, havendo maior deposição aqui do que na periferia.



# Cancro do pulmão

## É possível associar à exposição ao radão?

### TIPOS DE CANCRO MAIS FREQUENTES:

Carcinoma de células pequenas

Adenocarcinoma

*(Embora as outras tipologias também possam estar presentes)*

### MUTAÇÕES FREQUENTES:

*EGFR e ALK*

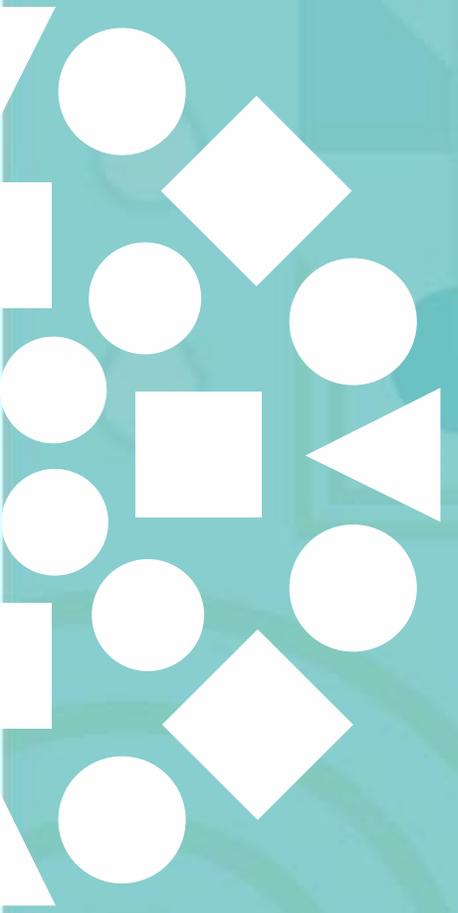
*(não-fumadores)*

### OUTROS BIOMARCADORES:

Desregulação massiva de microRNA

*(em casos de cancro do pulmão induzidos pelo tabaco e por carcinogénicos ambientais)*



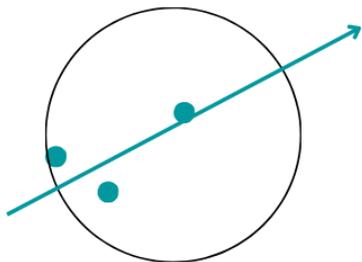


# Efeitos biológicos

# Efeitos biológicos

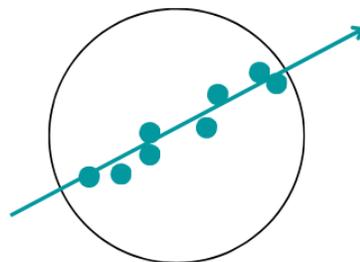
## baixo LET

raios-x, raios gama e partículas beta



## alto LET

partículas alfa e neutrões



## LET:

(*transferência linear de energia*)

quantidade de energia depositada na matéria;  
Indicado para qualificar os diferentes tipos de radiação e qual a sua importância do ponto de vista biológico.

## RBE:

(*Relative Biological Effectiveness = eficácia biológica relativa*)

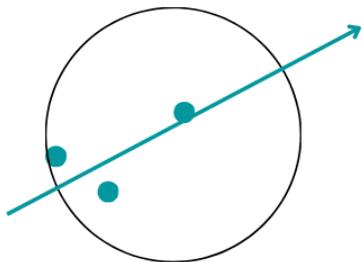
eficácia dos diferentes tipos de radiação em induzir um determinado resultado biológico.



# Efeitos biológicos

## baixo LET

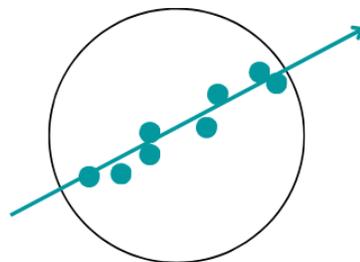
raios-x, raios gama e partículas beta



**MENOR EFEITO BIOLÓGICO**

## alto LET

partículas alfa e neutrões



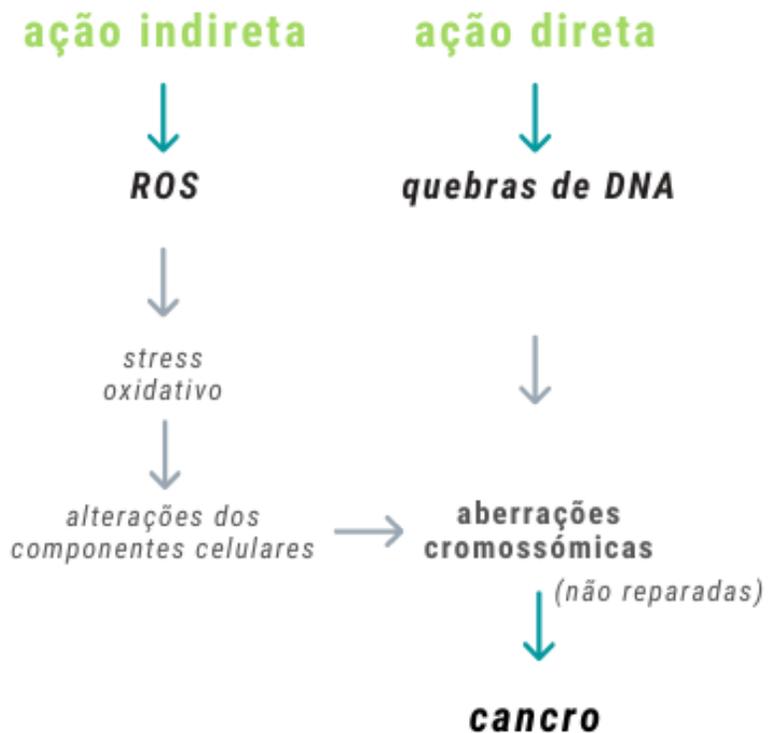
**MAIOR EFEITO BIOLÓGICO**

- Pouca capacidade de penetração
- Maior transferência de energia para o alvo

**RESULTA EM LESÕES NÃO REPARÁVEIS**



# Efeitos celulares da radiação ionizante



## AÇÃO DIRETA:

- Interage diretamente com a molécula de DNA
- Predominante para radiação de alto LET

## AÇÃO INDIRETA:

- Interação com as moléculas da água
- Produção de ROS
- Predominante para radiação de baixo LET



# Efeitos celulares da radiação ionizante

## Ação Direta:

**baixo LET**  
*raios-x, raios gama e  
partículas beta*



p.ex. danos em bases,  
quebras simples de DNA

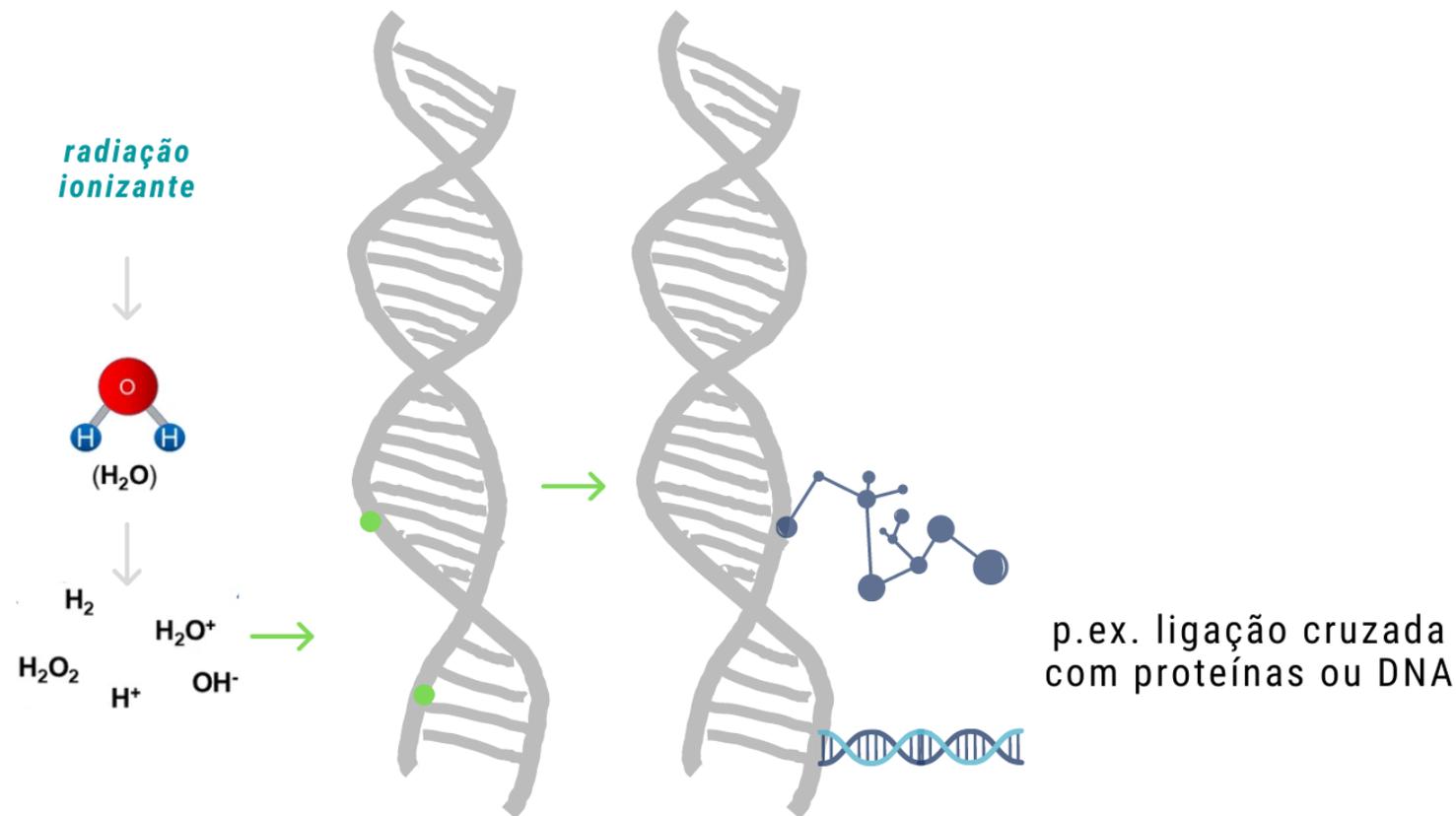
**alto LET**  
*partículas alfa e  
neutrões*

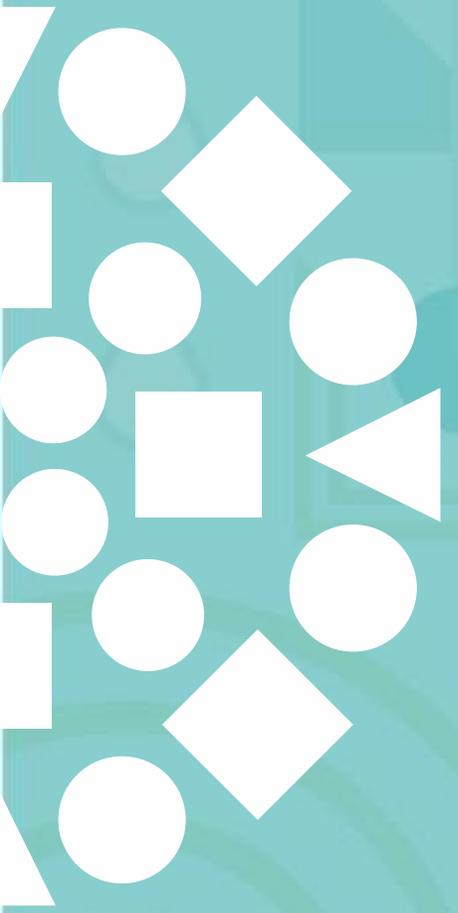


p.ex. quebras de  
cadeira dupla de DNA

# Efeitos celulares da radiação ionizante

## Ação Indireta:





# Dados de estudios epidemiológicos

# Dados epidemiológicos - EUROPA

## RISCO DE CANCRO DO PULMÃO

Por cada **100 Bq/m<sup>3</sup>** de aumento na concentração de radão:

### **RISCO: 20% mais elevado**

concentrações de radão entre **100 e 200 Bq/m<sup>3</sup>**

(quando comparado com medições abaixo de 100 Bq/m<sup>3</sup>)

### **GERAL:**

risco **aumenta 16%**.

### **GÉNERO:**

**Homens** – risco **aumenta 11%**

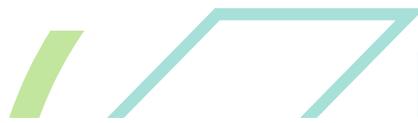
**Mulheres** – risco **aumenta 3%**

### **IDADE:**

**<55 anos** – risco **<0**

**55-64 anos** – risco **aumenta 14%**

**>64 anos** – risco **aumenta 7%**



# Dados epidemiológicos - EUROPA

## RISCO E MORTALIDADE: ALGUNS DADOS

### ALEMANHA:

**6%** casos de cancro pulmão  
são devidos ao radão  
~**1800 mortes/ano**

### REINO UNIDO:

**3%** casos de cancro pulmão  
são devidos ao radão  
~**1000 mortes/ano**

### FRANÇA:

**5%** casos de cancro pulmão  
são devidos ao radão  
~**1200 mortes/ano**



# Dados epidemiológicos - EUROPA

Segunda causa de cancro do pulmão em fumadores.

Primeira causa de cancro do pulmão em não-fumadores.

## RISCO DE MORTE POR CANCRO DO PULMÃO

### NÃO-FUMADORES:

0 Bq/m<sup>3</sup> – risco **4/1000**

100 Bq/m<sup>3</sup> – risco **5/1000**

800 Bq/m<sup>3</sup> – risco **10/1000**

### FUMADORES:

0 Bq/m<sup>3</sup> – risco **100/1000**

100 Bq/m<sup>3</sup> – risco **120/1000**

800 Bq/m<sup>3</sup> – risco **220/1000**

Efeito  
cumulativo  
com o **tabaco**

# Níveis de referência

## Recomendações da OMS

**100 Bq/m<sup>3</sup> – 300 Bq/m<sup>3</sup>**

- **100 Bq/m<sup>3</sup>** é o nível acima do qual a OMS **recomenda** que sejam tomadas **medidas para reduzir a exposição**;
- O nível de referência **nunca deve ser superior a 300 Bq/m<sup>3</sup>**;
- As medidas a implementar podem, de acordo com a legislação de cada país, ser obrigatórias ou recomendadas.



# Níveis de referência

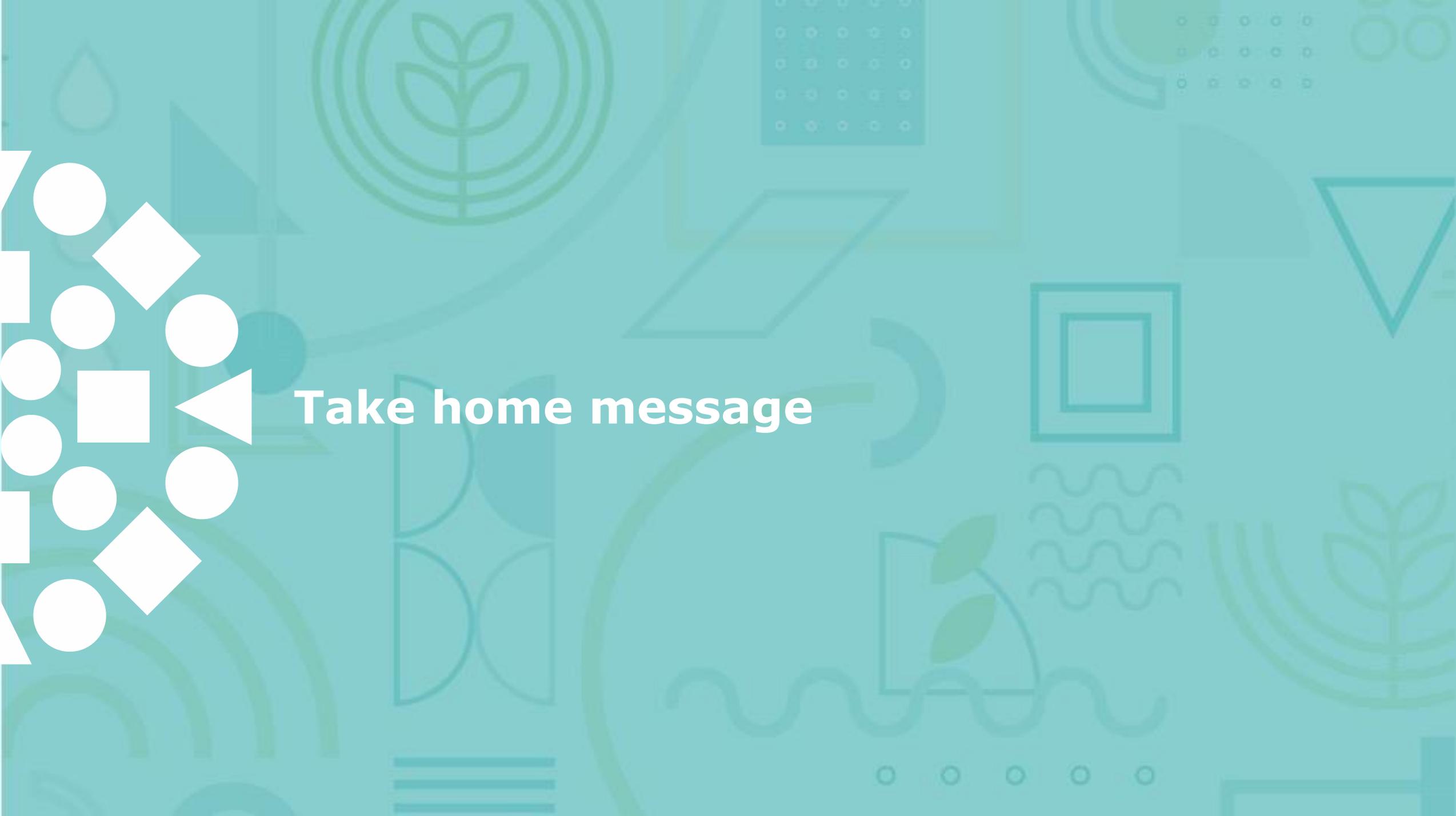
## Radão | raios-x ao tórax | tabaco, como comparar?

**100 Bq/m<sup>3</sup> – 300 Bq/m<sup>3</sup>**

**100 Bq/m<sup>3</sup>:** 135 raios-x/ano  
5 cigarros/dia

**300 Bq/m<sup>3</sup>:** 400 raios-x/ano  
16 cigarros/dia





**Take home message**



## Take home message

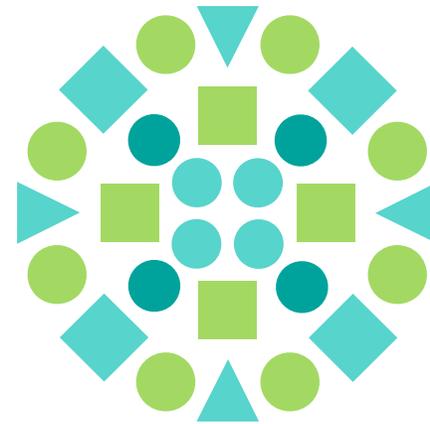
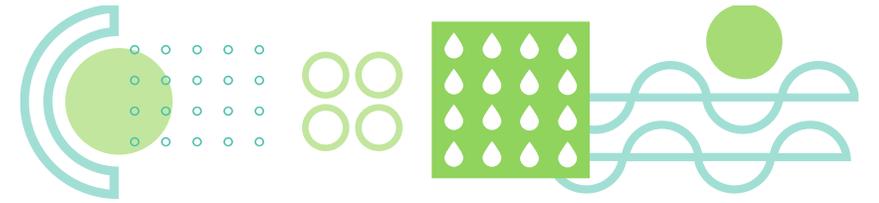
1. O radão é um **gás radioativo** e a sua concentração tende a ser mais elevada no interior dos edifícios
2. O radão pode causar **cancro do pulmão**
3. A **medição** do radão é **simples** e pouco dispendiosa
4. Existem **diversas técnicas construtivas** que ajudam a **diminuir a concentração** de radão



# Bibliografia

- Darby S. *et al* (2005) *Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies*. *BMJ*. 29;330(7485):223
- Darby S. *et al* (2006) *Residential radon and lung cancer: detailed results of a collaborative analysis of individual data on 7148 persons with lung cancer and 14,208 persons without lung cancer from 13 epidemiologic studies in Europe*. *Scand J Work Environ Health*. 32 Suppl 1:1-83
- IARC. (1988) *Summaries & Evaluations, VOL.: 43, (p. 173)*. INCHEM
- IAEA. (2010) *Radiation Biology: A Handbook for Teachers and Students, Training Course Series No. 42*, IAEA, Vienna
- IAEA. (2011) *Cytogenetic Dosimetry: Applications in Preparedness for and Response to Radiation Emergencies, Emergency Preparedness and Response*, IAEA, Vienna
- Kussainova A. *et al* (2022) *The Role of Mitochondrial miRNAs in the Development of Radon-Induced Lung Cancer*. *Biomedicines* 2022, 10, 428.
- Li C. *et al* (2020) *Residential Radon and Histological Types of Lung Cancer: A Meta-Analysis of Case-Control Studies*. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 17, 1457.
- Rodríguez-Martínez Á. *et al* (2018) *Residential radon and small cell lung cancer. A systematic review*. *Cancer Lett*. 426:57-62.
- UNSCEAR. (2008) *Sources and Effects of Ionizing Radiation, UNSCEAR 2008 Report, Vol. I*. United Nations Publication.
- WHO. (2009) *Handbook on Indoor Radon, A Public Health Perspective*. Hajo Zeeb and Ferid Shannoun.
- [www.apambiente.pt/radao](http://www.apambiente.pt/radao)





**apa**  
agência portuguesa  
do ambiente

**OBRIGADO**

[apambiente.pt](http://apambiente.pt)

