



**CAPTAR**  
ciência e ambiente para todos

volume 1 • número 2 • p 127-135

## **RADÃO E EDIFÍCIOS. Qualidade do ar interior**

Fernando P Carvalho\*

Vários estudos epidemiológicos realizados nos últimos anos em Países Europeus e Norte-Americanos vieram revelar que a exposição prolongada ao gás radioactivo radão, o qual se acumula no interior das habitações e dos edifícios em geral, é responsável por uma parte importante dos casos de cancro do pulmão. O risco aumenta quando se combinam a exposição ao radão e a exposição ao fumo de tabaco. Em face destes resultados, a Organização Mundial de Saúde encetou em 2005 um programa internacional de sensibilização para o problema do radão na atmosfera de interiores. Em Portugal, um País com regiões uraníferas, é elevado o potencial para a exposição significativa ao radão no interior dos edifícios. É, pois, necessário agir sobre este problema. Para tal, há que começar por caracterizar e conhecer a exposição ao radão nas habitações e locais de trabalho interiores e, com base nos resultados, promover as alterações porventura necessárias nos edifícios existentes e adoptar normas para as novas construções a fim de reduzir a exposição a este gás radioactivo.

Instituto Tecnológico e Nuclear,  
Departamento de Protecção Radiológica e  
Segurança Nuclear.

### **Palavras-chave**

gas radioactivo  
exposição a radão  
exposição ao fumo de tabaco  
acumulação de radão em edifícios

\*carvalho@itn.pt

**ISSN 1647-323X**

## UM GÁS RADIOACTIVO

O radão é um gás nobre, radioactivo, sem cheiro, cor ou sabor. Não pode pois ser detectado pelos sentidos e a sua detecção e medição requer equipamento especializado. O radão ocorre naturalmente no ambiente pois é um produto da desintegração radioactiva do rádio ( $^{226}\text{Ra}$ ), um elemento da família radioactiva do urânio ( $^{238}\text{U}$ ). Este, por seu turno, é um elemento radioactivo de origem natural e presente, ainda que em concentrações variáveis, nas rochas, solos, betão, tijolos e outros materiais (Tabela I). O urânio é, pois, um elemento que se encontra em todo o lado na superfície terrestre, especialmente em rochas graníticas e solos vulcânicos, dando origem ao radão, que, sendo um gás, difunde-se nos materiais sólidos e líquidos e é exalado para a atmosfera (Anónimo, 2002).

TABELA I. Concentrações médias, em actividade específica e massa, de urânio, rádio e radão no ambiente (Carvalho, 2000).

	$^{238}\text{U}$		$^{226}\text{Ra}$		$^{222}\text{Rn}$	
	Bq Kg <sup>-1</sup>	mg Kg <sup>-1</sup>	Bq Kg <sup>-1</sup>	mg Kg <sup>-1</sup>	Bq Kg <sup>-1</sup>	mg Kg <sup>-1</sup>
Crusta terrestre	33	3	33	$1 \times 10^{-6}$	33	$6 \times 10^{-12}$
Água do mar	0.037	$3 \times 10^{-3}$	$3.7 \times 10^{-3}$	$1 \times 10^{-10}$	$7.4 \times 10^{-3}$	$1.3 \times 10^{-15}$
Atmosfera	-	-	-	-	$1 \times 10^{-6}$	$1.7 \times 10^{-19}$

O radão ( $^{222}\text{Rn}$ ) é um radionuclido com um período de semi-vida curto ( $T_{1/2} = 3.8$  dias), que se desintegra originando outros elementos radioactivos. Os descendentes imediatos do radão têm períodos muito curtos, de mili-segundos a dezenas de minutos, e, alguns deles, tal como o radão, emitem radiação alfa muito energética, sendo responsáveis por doses de radiação elevadas.

Quando respiramos, inalamos radão e os seus descendentes (Figura 1). Uma boa parte do radão inalado com o ar inspirado é exalado antes de se desintegrar, mas as partículas de radiação alfa emitidas pelos seus descendentes originam doses de radiação apreciáveis nos tecidos do pulmão.

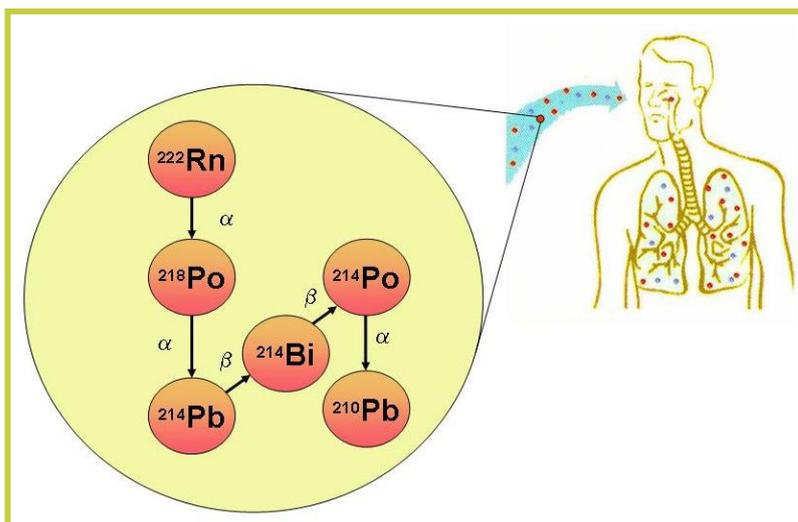


FIGURA 1: Radão e seus descendentes radioactivos de período curto.

As concentrações de radão na atmosfera (ar exterior) são geralmente baixas (Quadro I). Contudo no interior de subterrâneos, minas e edifícios, o radão acumula-se e pode atingir concentrações muito elevadas. Em atmosferas com elevadas concentrações de radão, a exposição continuada a este gás radioactivo pode causar danos biológicos no pulmão. Este efeito sobre a saúde é conhecido há muito nas minas de urânio, onde se verificou uma maior incidência do cancro do pulmão entre os mineiros. Contudo, estudos

epidemiológicos recentes concluíram que a exposição ao radão no interior das habitações, onde passamos a maior parte do nosso tempo, está também relacionada com o cancro do pulmão verificando-se a sua maior incidência nas regiões onde o radão é mais elevado.

## RADÃO NAS CASAS

A concentração do radão no interior das casas depende das concentrações de urânio e rádio no solo e subsolo sob a construção, bem como das vias de infiltração daquele gás e, ainda, do arejamento da casa. Usualmente, o radão forma-se nas matérias rochosas sob o assentamento do edifício e difunde-se e exala das rochas, entrando nos edifícios por fendas, passagens de cabos e canalizações (Figura 2).

Frequentemente as concentrações de radão são mais elevadas no interior das caves e salas de rés-do-chão que nos andares superiores. As trocas de ar com o exterior dependem dos hábitos de arejamento dos ocupantes e da ventilação natural das casas. É habitual, também, verificar-se a flutuação das concentrações do radão com a hora do dia e com as estações do ano.

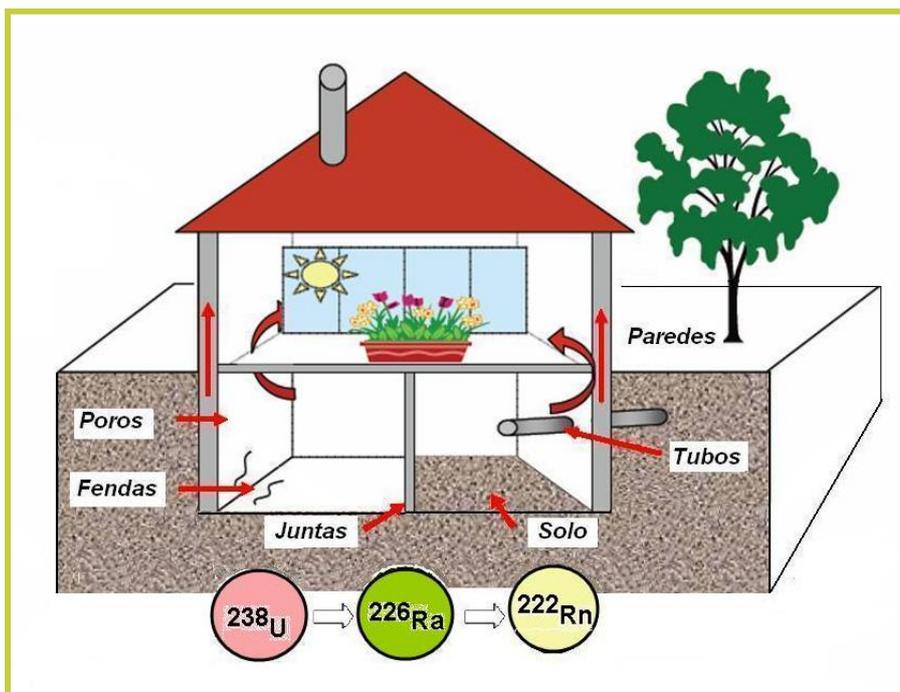
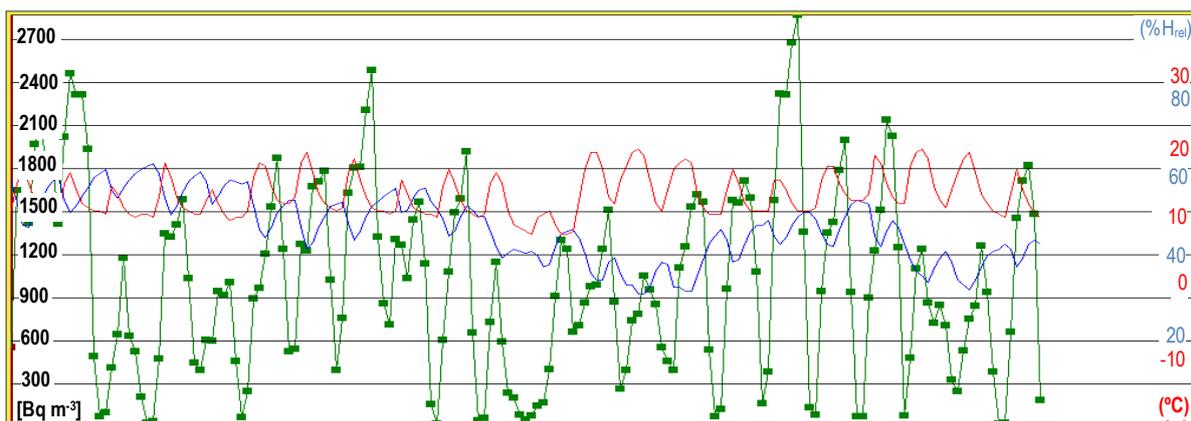
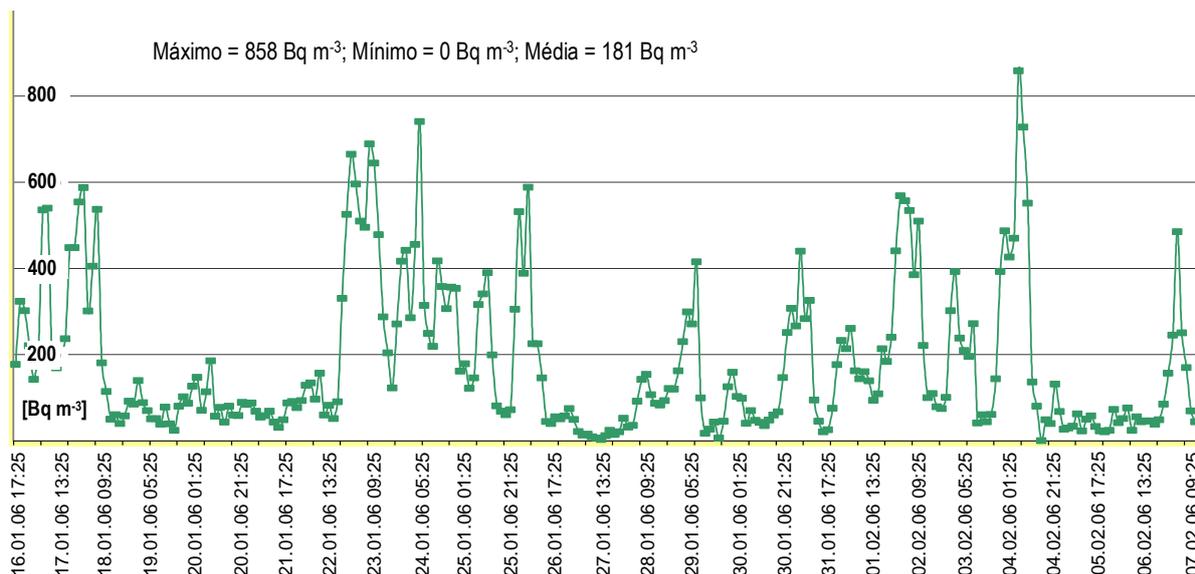


FIGURA 2: Vias de entrada do radão exalado pelo solo nas habitações.

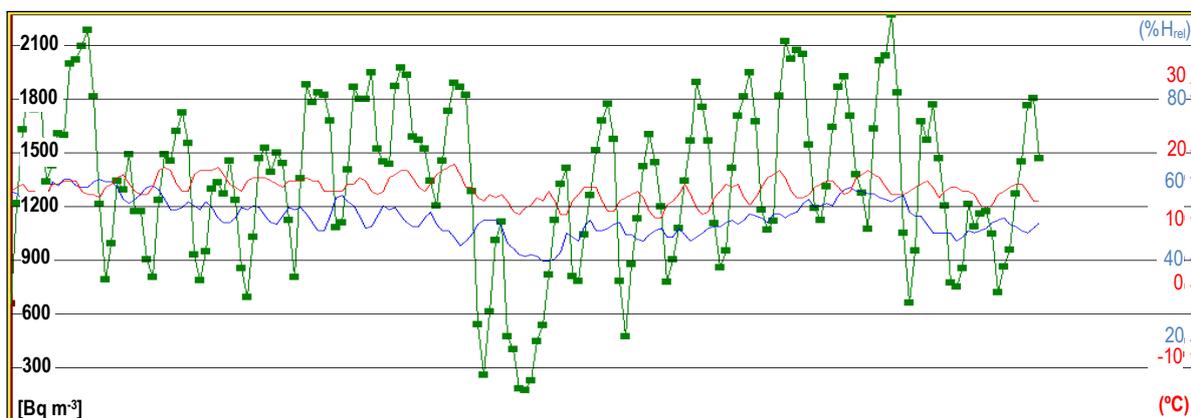
A concentração de radão no ar é medida em becquerel

(símbolo Bq). Um becquerel corresponde a uma desintegração nuclear por segundo. A concentração de radão no ar é expressa pelo número de desintegrações nucleares por  $m^3$  e por segundo. No ar exterior, na zona de Lisboa, a concentração média de radão no ar é de  $1 \text{ Bq m}^{-3}$  e varia geralmente entre  $0,1$  e  $10 \text{ Bq m}^{-3}$  (Carvalho, 1995). Também na região de Lisboa a concentração de radão no interior das casas é mais elevada que no exterior, mas é, ainda assim, muito baixa. Numa casa bem arejada pode variar entre  $10$  e  $20 \text{ Bq m}^{-3}$ . Contudo, também se registaram valores mais elevados, dependendo da localização e dos materiais de construção. No interior das casas nas regiões graníticas do centro e Norte do País, já as concentrações de radão são mais elevadas, podendo os valores médios atingir  $500$  ou mesmo  $1000 \text{ Bq m}^{-3}$  (Figura 3). Concentrações acima de  $1000 \text{ Bq m}^{-3}$  são usualmente medidas em regiões uraníferas ou zonas de solos com elevada permeabilidade, facilitando a exalação do radão (Carvalho e Reis, 2006).

Os materiais de construção, como contêm concentrações de urânio e rádio variáveis, podem ser também uma fonte de radão exalado para o interior dos edifícios. Contudo, regra geral, a principal fonte do radão é o solo sob os edifícios (Carvalho et al., 2006).



Nº de registos = 175; Período de amostragem = 01.06.2006 16:22 – 02.07.2006 13:22; Tempo de exposição = 525 horas.  
 Aparelho nº 59; Média = 1007 Bq m<sup>-3</sup>; Exposição = 528818 Bqh m<sup>-3</sup>.



Nº de registos = 175; Período de amostragem = 01.06.2006 15:15 – 02.07.2006 12:15; Tempo de exposição = 525 horas.  
 Aparelho nº 60; Média = 1349 Bq m<sup>-3</sup>; Exposição = 708224 Bqh m<sup>-3</sup>.

FIGURA 3: Concentração de radão na atmosfera exterior (em cima) e na atmosfera interior em duas habitações (no centro e em baixo), no Distrito de Viseu. Radão (Bq/m<sup>3</sup>), linha verde e quadrados; temperatura do ar (°C), linha vermelha; humidade do ar (%), linha azul. Medições efectuadas em Janeiro-Fevereiro de 2006 (Carvalho e Reis, 2006).

## **RADÃO NA ÁGUA DE CONSUMO**

Em muitos países, cidades e aldeias inteiras obtêm a água para consumo de aquíferos subterrâneos através de nascentes ou de poços e furos profundos. A água dos lençóis subterrâneos circula nas porosidades de rochas com minérios de urânio e tório, os quais, por desintegração espontânea, produzem radão. O gás radão dissolve-se nas águas de circulação subterrânea e quando estas afloram à superfície contêm, normalmente, concentrações muito mais elevadas de radão que as águas de superfície (rios e lagos). No nosso país é comum as águas de superfície apresentarem concentrações de radão inferiores a 10 Bq L<sup>-1</sup>, enquanto as águas subterrâneas apresentam concentrações de radão por vezes superiores a 1000 Bq.L<sup>-1</sup> (Carvalho, 2007).

Alguns estudos sugerem que o consumo destas águas com radão elevado pode estar relacionado com o cancro do aparelho digestivo, mas os dados epidemiológicos não são suficientes para conclusões definitivas sobre esta associação. No entanto, uma parte do gás radão dissolvido na água que sai das torneiras e chuveiros, escapa-se para a atmosfera no interior das habitações, podendo dar um contributo para a concentração de radão no ar no interior da habitação. Este contributo é, no entanto, geralmente pequeno em comparação com o radão exalado do solo.

## **EFEITOS NA SAÚDE HUMANA**

O principal risco resultante da exposição prolongada a concentrações altas de radão é o aumento da probabilidade de contrair cancro do pulmão. Esta conclusão resultou de estudos epidemiológicos efectuados em mineiros de minas de urânio e, recentemente, de estudos epidemiológicos em populações vivendo em regiões com níveis de radão elevados. É o caso dos estudos realizados em França, Reino Unido e EUA. Actualmente a Organização Mundial de Saúde (OMS), bem como a Agência Internacional para a Investigação sobre o Cancro (IARC), classificam o radão como um agente cancerígeno (Tabela II).

As estimativas da proporção de casos de cancro do pulmão atribuível ao radão variam de 6% a 15% sendo, após o fumo de tabaco, a segunda causa do cancro de pulmão (OMS, 2007).

TABELA II - Agentes carcinogénicos e radão, segundo vários organismos internacionais.

<b>Reino Unido • Principais agentes carcinogénicos nos locais de trabalho</b>	<b>União Europeia • Principais factores ambientais causadores de doenças</b>	<b>OMS/IARC • Radão</b>
Amianto	Poeiras (PM 2.5)	Agente carcinogéneo
Radão	Radão	Rn no ar interior contribui para 6% a 15% dos casos de cancro de pulmão.
Fumo de tabaco (passivo)	Organoclorados, Dioxinas	O risco aumenta de 16% para cada 100 Bq/m <sup>3</sup> de aumento da concentração de Rn.
Radiação solar	Metais (Pb, Cd, Hg)	O risco é 25x maior para os fumadores (sinergia).
Fumos de diesel	Radioactividade - baixas doses	
<i>Health Protection Agency, UK, 2006</i>	<i>European Environmental Agency, Rep nº 10, 2005</i>	<i>OMS, Fact sheet 291, Junho 2005</i>

Uma reavaliação recente dos resultados de vários estudos epidemiológicos Europeus concluiu que o risco de cancro de pulmão aumenta de 16% por cada aumento de 100 Bq m<sup>-3</sup> na concentração de radão no ar respirado. A relação dose-resposta parece ser linear e sem evidência de um limiar, o que sugere que o risco de cancro de pulmão aumenta proporcionalmente com o aumento de exposição ao radão (Tirmarche et al., 2004).

O mesmo estudo concluiu, ainda, que à exposição de um não-fumador ao radão em concentrações de 0, de 100 e de 400 Bq m<sup>-3</sup>, corresponde a probabilidade de desenvolver cancro do pulmão, pela idade de 75 anos, de 4, de 5 e de 7 em mil, respectivamente. Contudo, para os fumadores, o risco de cancro de pulmão é 25 vezes mais elevado, ou seja será de 100, 120, e 160 em 1000, respectivamente. A maioria dos casos de cancro de pulmão atribuíveis à exposição ao radão ocorre, assim, nos fumadores.

O aumento do risco de cancro do pulmão nos fumadores resulta do efeito de atracção eléctrica das partículas de fumo sobre os radionuclidos descendentes do radão (iões positivos) os quais, assim que se formam, são colectados pelas partículas do fumo. Ao serem inaladas estas partículas transportam para o pulmão uma radioactividade mais elevada do que no caso do não fumador. Esta radioactividade devida aos iões de radionuclidos descendentes do radão, soma-se à radioactividade já existente nas partículas de fumo e que tem origem na combustão do tabaco (Carvalho e Oliveira, 2006).



## LIMITES RECOMENDADOS DE RADÃO

Um grande número de países adoptou já valores máximos tolerados para a concentração de radão no ar no interior dos edifícios. A União Europeia adoptou a recomendação de 200 Bq m<sup>-3</sup> como máximo tolerado para as novas construções e 400 Bq m<sup>-3</sup> para as construções já existentes. Se a concentração média de radão exceder estes valores deverão ser tomadas medidas para reduzir o radão no ar interior.

Estes limites estão já adoptados na legislação portuguesa, Dec.-Lei nº 79/2006 de 4 Abril (Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios).

No que respeita à água para consumo, as recomendações da OMS apontam para a necessidade de controlo quando a concentração de radão na água para consumo do público excede 100 Bq L<sup>-1</sup>. Nos Estados Unidos foi adoptado o limite de 150 Bq L<sup>-1</sup> para os abastecimentos de água privados. Para abastecimentos públicos a Comissão Europeia recomenda que se adoptem medidas correctivas quando a concentração de radão na água de consumo exceder 100 Bq L<sup>-1</sup>.

Quanto à contribuição do radão dissolvido na água da torneira para o radão na atmosfera do interior da casa, registe-se que uma água de torneira com uma concentração de radão de 1000 Bq L<sup>-1</sup> contribui com 100 a 200 Bq m<sup>-3</sup> para o radão no ar do interior da casa.



## MEDIDAS DE MITIGAÇÃO

A ocorrência de concentrações excessivamente elevadas de radão no interior de edifícios, sejam habitações ou locais de trabalho, certamente não é rara em Portugal. Efectivamente, como uma parte do território é granítico e existem ocorrências de minério de urânio em diversas zonas, designadamente nas Beiras e no

Alentejo, há condições naturais que favorecem a exalação de actividades elevadas de radão e a acumulação deste gás na atmosfera interior dos edifícios.

Com base em trabalho de investigação efectuado em anos anteriores (medidas de radão com dosímetros passivos) foi esboçado um mapeamento, ainda que pouco detalhado, das regiões do país onde se mediram concentrações elevadas de radão. (Faísca, 1995) Outros estudos, efectuados com o registo contínuo das concentrações de radão, mostraram que, em habitações localizadas em regiões de fundo radioactivo elevado, há concentrações de radão que, em média, excedem os 1000 Bq m<sup>-3</sup>. Comparadas com as concentrações medidas no ar exterior essas concentrações são 10 a 30 vezes mais elevadas (Carvalho e Reis, 2006).

A OMS encetou em 2005 um programa internacional sobre o radão destinado a encorajar os países a adoptar medidas para mitigação da exposição ao radão e, a prazo, conducentes à redução da incidência do cancro do pulmão.

Os ensaios efectuados em alguns países mostraram que as ocorrências anómalas de radão podem ser tratadas de forma a diminuir, substancialmente, as concentrações de radão nos interiores. Algumas medidas simples, como a aplicação de vedantes nas placas de cimento e a selagem de passagens de tubos e cabos eléctricos, podem reduzir a infiltração do radão do solo nos edifícios. Noutros casos, a colocação de mecanismos activos de extracção do radão, ou de ventilação sob a casa, ou a instalação de pressão positiva na atmosfera interior da casa para impedir a infiltração de radão, poderão ser necessárias. Ou seja, existem diversas soluções, muitas delas de baixo custo, que poderão ser usadas nas construções existentes, tanto nas antigas e tradicionais como nas modernas, para ajudar a reduzir a exposição da população a concentrações elevadas de radão. Contudo, em Portugal não há ainda um conhecimento adequado para permitir a escolha das medidas de mitigação do radão mais eficazes e sensatas, nem existe sensibilização do público e dos construtores para o problema do radão. Simultaneamente, o assunto tem sido abundantemente tratado pela imprensa mas foi completamente abandonado à especulação e ao alarmismo que têm, frequentemente, acompanhado as notícias sobre radão nas casas e nos edifícios escolares.

Por outro lado, de acordo com as recentes exigências legais (Dec-Lei nº 79/2006 de 4 Abril), a construção de novos edifícios e habitações, deverá assegurar que a concentração de radão no interior não excede o limite recomendado de 200 Bq/m<sup>3</sup>. Para tal, a construção deverá incluir medidas estruturais eficazes na redução da infiltração de radão nos edifícios. Contudo estas medidas, ou novas normas de construção, não estão ainda testadas nem esboçadas (Carvalho et al., 2006).



### **POR ONDE COMEÇAR?**

Todos os estudos efectuados mostram que a exposição da população ao radão, em concentrações elevadas e de forma prolongada, representa um sério risco para a saúde. Em termos populacionais, o risco de incidência de cancro do pulmão associado ao radão será provavelmente elevado no nosso País, dado que uma percentagem importante do território tem concentrações médias ou até elevadas de urânio. Mas o território não é uniforme. Há, pois, toda a vantagem em medir o radão e avaliar primeiro a exposição, para

testar depois as medidas de redução da exposição ao radão. Sem dúvida, primeiro é preciso saber onde é necessário agir para, em seguida, adoptar as medidas de mitigação que serão eficazes nas habitações portuguesas. Isto pode ser conseguido facilmente e permitirá a escolha das soluções mais eficazes e de custos mais baixos.

Parece, pois, adequado abordar o problema em várias vertentes de trabalho. Estas incluem:

1. Pôr em prática um plano nacional de medições de radão para caracterizar a exposição ao radão por regiões e avaliar o potencial impacto sobre a saúde.
2. Testar medidas de mitigação e analisar casos-piloto de casas com medidas anti-radão a fim de identificar soluções eficazes e de baixo custo que possam ser recomendadas.
3. Definir as medidas (ou normas) de construção de novos edifícios para reduzir o radão na atmosfera interior.
4. Promover um plano de sensibilização para a necessidade de adoptar medidas sensatas e eficazes para a mitigação do radão.

No presente, para que um tal processo possa ser iniciado é necessário passar por uma etapa de investigação científica. A importância em termos de protecção radiológica da população e a dimensão social do problema aconselham que os organismos responsáveis pela ciência e tecnologia aprovelem projectos de ID&D (Investigação, Desenvolvimento & Demonstração) relevantes. Infelizmente, estes organismos têm-se mostrado alheados desta problemática e pouco dispostos a apoiar o arranque dos estudos.

Numa segunda fase, o envolvimento das associações de produtores de materiais de construção e de construtores na elaboração das normas de construção, será indispensável para desenvolver a sensibilidade dos parceiros sociais e produzir as necessárias orientações para o sector.

Numa terceira fase, a divulgação das informações sobre o radão e promoção das soluções de mitigação poderão ser efectuadas através dos organismos dos sectores da saúde e do ordenamento do território.

Sendo necessário e vantajoso reduzir a exposição da população ao radão, como recomenda a OMS, não restam dúvidas que os sectores da construção civil, qualidade do ar interior e gestão energética dos edifícios não deverão ficar alheados desta problemática.

---

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anónimo (2002). “Radão: um gás radioactivo de origem natural. Ed. Instituto Tecnológico e Nuclear, Sacavém, 12 pp.
- Carvalho FP (1995). “Origins and concentrations of  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{210}\text{Bi}$  and  $^{210}\text{Po}$  in the surface air at Lisbon, Portugal, at the Atlantic edge of the European continental landmass”. *Atmospheric Environment* 29: 1809-1819.
- Carvalho FP (2000). A Radioactividade no Ambiente. Radionuclidos de origem natural e artificial. Relatório DPRSN, Série B, Nº 10. Instituto Tecnológico e Nuclear, Sacavém.
- Carvalho FP, Oliveira JM (2006). Polonium in Cigarette Smoke and Radiation Exposure of Lungs. (Proceedings of the 15<sup>th</sup> Radiochemical Conference). *Czechoslovak Journal of Physics* 56(Suppl. D): 697-703.
- Carvalho FP, Paiva JV, Carvalho J, Batista MJ (2006). Qualidade do Ambiente Interior e Certificação dos Produtos de Construção para a Radioactividade. *Construção Magazine* 18: 32-37.
- Carvalho FP, Reis MC (2006). Radon in Portuguese Houses and Workplaces. In: E Oliveira Fernandes, M Gameiro da Silva, J Rosado Pinto (eds.), Proceedings of the International Conference Healthy Buildings HB2006, Lisboa, pp. 507-511 (vol. II).
- Carvalho FP (2007). O ciclo hidrológico e os radionuclidos da série do Urânio. *Tecnologia da Água* I(2007): pp. 20-25.
- Faísca MC (1995). O risco da exposição ao radão. *Protecção Civil* Ano VII (5): 25-30.
- OMS - Organização Mundial da Saúde (2007). Radon and cancer. Fact Sheet Nr. 291. WHO, Genève.
- Tirmarche M, Baysson H, Telle-Lamberton M (2004). Uranium exposure and cancer risk: A review of epidemiological studies. *Revue d'Epidemiologie et de Santé Publique* 52(1): 81-90.