



CONCENTRAÇÃO DO RADÃO E PRESSÃO ATMOSFÉRICA

A. FIÚZA
F. BARREIRA

Comissão de Estudos de Energia Nuclear (I. A. C.)
Núcleo de Química-Física
Faculdade de Ciências
Lisboa - 2

Compararam-se os resultados das determinações da concentração de radão com os valores da pressão atmosférica. O coeficiente de correlação entre as duas grandezas é muito baixo e o parâmetro t de Student tem um valor tal que confirma a falta de correlação. Este resultado está de acordo com as ideias geralmente aceites para a génese do radão atmosférico e sua difusão.

1 — INTRODUÇÃO

A concentração do radão existente na atmosfera sofre oscilações apreciáveis às quais não serão estranhos factores inerentes ao estado da atmosfera. Segundo as ideias de ELSTER & GEISEL (1) apresentadas no primeiro trabalho sobre a radioactividade atmosférica natural, o radão provém do rádio contido no solo, difundindo-se depois para a atmosfera. Na generalidade, estes factos têm sido amplamente verificados na medida em que a cobertura do solo por uma camada de água sob a forma líquida ou de neve conduz a mais baixas concentrações de radão, como resultado do entupimento dos capilares por onde a difusão teria lugar.

Num trabalho anterior (2) verificámos que as concentrações em radão são sistematicamente mais baixas, em Lisboa, sempre que os ventos dominantes são marítimos, em concordância com a origem assinalada para o radão atmosférico.

Seguindo, nas suas linhas gerais, o esquema de MOSES *et al.* (3), podemos sintetizar da forma seguinte os factores de que depende a concentração do radão atmosférico, em qualquer ponto:

- 1 — Produção de radão no solo;
- 2 — Difusão no solo;
- 3 — Difusão atmosférica vertical;
- 4 — Transporte horizontal na atmosfera, pelo vento;
- 5 — Decadência radioactiva.

O simples enunciado destes factores, todos eles complexos, mostra claramente que a concentração final observada, num determinado local, dificilmente poderá ser relacionada, de forma directa, com qualquer deles.

A velocidade de produção do radão no solo depende, evidentemente, da concentração em rádio, a qual varia largamente de ponto para ponto. A difusão no solo será função da distância ao local em que foi produzido e do coeficiente de difusão local. Neste intervêm vários factores, como sejam a própria natureza do solo, a humidade, a pressão e a temperatura. O assunto foi estudado por ALIVERTI & LOVERA (4), que admitiram que os capilares podiam ser assemelhados a poços de paredes impermeáveis. À custa deste modelo, obtiveram uma equação de difusão, supondo que o processo não é perturbado por quaisquer efeitos externos,

resumindo-se à difusão do material do fundo do poço para a superfície. O modelo é sobressimplificado e é evidente que pode ser facilmente perturbado, nomeadamente quando correntes verticais tenham lugar nos poços. Um aumento de pressão com origem no exterior irá provocar uma corrente descendente, contrariando a difusão para a superfície. Um abaixamento de pressão no exterior provocará uma corrente ascendente que favorece a difusão.

Ao contrário das alterações provocadas pelas variações de pressão, os valores instantâneos não têm influência, pois se trata de um simples problema de difusão de gases, regido pela lei de Graham, em que o único factor que interessa é a raiz quadrada das massas moleculares.

A difusão vertical na atmosfera pode igualmente ser descrita (5) por uma expressão em que a pressão não aparece explicitamente, por razões análogas.

As variações de pressão, essas sim, irão provocar modificações na concentração, por alterarem os regimes do transporte — quer vertical quer horizontal — que se incluíram nos factores gerais.

Somos levados a concluir que a pressão atmosférica, encarada instantaneamente, não será um factor importante na concentração do radão, enquanto que as suas modificações podem, pelo contrário, ter grande influência.

A análise experimental directa destas hipóteses, dada a complexidade e multiplicidade de factores, não é praticável. É, no entanto, possível submeter os resultados obtidos a um ensaio de correlação e, do grau desta, tentar deduzir a validade das hipóteses de apoio ao mecanismo considerado.

2 — PARTE EXPERIMENTAL

Na determinação da concentração do radão atmosférico utilizámos o método já anteriormente descrito (6, 7), que consiste essencialmente na filtração de um certo volume de ar, a fluxo constante, com o fim de reter as poeiras em suspensão, nas quais se supõe estarem condensados os produtos da decadência do radão. Admitindo que existe equilíbrio radioactivo na atmosfera, a partir da actividade dos descendentes, depositados a fluxo constante, é possível deduzir a concentração do radão. O estudo da curva de crescimento da actividade sobre o filtro dá uma medida desse equilíbrio, como foi demonstrado (7).

Na prática fizemos sempre o registo contínuo das curvas de crescimento da actividade sobre o filtro e, como é conhecida a sua evolução teórica, torna-se possível detectar os casos de não equilíbrio e rejeitar as determinações que, por esta razão, deixaram de ser significativas.

Com base no tratamento teórico estabelecido (6, 7), é possível determinar a concentração em radão na atmosfera a partir da actividade em qualquer ponto da curva de crescimento, utilizando os valores convenientes dos parâmetros característicos da instalação de medida.

Ao estudar-se um possível efeito da pressão atmosférica sobre a concentração do radão, tem interesse analisar as condições em que é medido o fluxo de ar filtrado.

Usámos um rotâmetro com flutuador de alumínio. A altura do flutuador é mantida constante durante toda a experiência, com o auxílio de válvulas que regulam o débito da bomba aspirante. Segundo a teoria aplicável a estes rotâmetros, a altura a que se encontra o flutuador varia de forma sensivelmente linear com o fluxo mássico de ar e com a raiz quadrada da diferença entre as densidades do flutuador e do fluido. Intervêm ainda outros parâmetros geométricos que são constantes em cada instrumento.

A densidade do ar aspirado depende da pressão e temperatura a que se encontra. A densidade do ar é, no entanto, cerca de 10^3 vezes menor que a do flutuador e, assim, as variações que aquela sofra representam efeitos desprezáveis na diferença entre as duas quantidades. Tendo ainda em conta que a quantidade que interessa é a raiz quadrada da diferença, verifica-se facilmente que o efeito é de ordem tal que pode ser desprezado em face da precisão que se atinge em medições deste género.

Trabalhando com este tipo de instrumentos obtém-se uma concentração do radão, por unidade de massa de ar, ou, o que é o mesmo, por unidade de volume medido em certas condições de pressão e temperatura. Todos os valores que apresentamos referem-se a concentrações de radão por litro de ar a 15°C e 1 atm.

As determinações foram sempre efectuadas à mesma hora, para minimizar os efeitos da variação diurna. Os resultados que seguidamente se analisam foram obtidos no período de Maio de 1964 a Outubro de 1966, cobrindo, portanto, épocas de variadas situações meteorológicas.

3 — RESULTADOS E SUA ANÁLISE

Os resultados que são objecto da presente análise, e que são em número de 457, estão resumidos no quadro 1, para facilidade de expressão. As pressões atmosféricas medidas agruparam-se em intervalos de 1mm Hg, de que se indica, no quadro, o valor mediano. Não tem relevância indicar as características de abertura do intervalo, em face do instrumento de medida utilizado nas determinações da pressão.

Nas leituras não se processou aproximação além das unidades.

Quanto à concentração do radão, adoptaram-se intervalos de largura de 5×10^{-14} ci l⁻¹, abertos à direita e fechados à esquerda.

A escolha da largura dos intervalos obedeceu ao critério de nem serem tão grandes que deixassem de ser discriminativos, mas também que não fossem tão estreitos que muitos ficassem sem qualquer resultado. A observação do quadro mostra ter-se atingido esse objectivo, pois que, à parte alguns intervalos em que há um pouco mais de acumulação de valores, os outros se discriminam perfeitamente.

Uma primeira observação do quadro não revela qualquer orientação específica, o que não é prejudicado pela distribuição em intervalos que foi adoptada.

Com os dados do quadro 1 pode aprofundar-se com maior rigor a dependência entre as duas grandezas, fazendo uma análise de correlação, usando a técnica dos dados agrupados.

Obteve-se um coeficiente de correlação igual a 0,0718, que é manifestamente baixo. O cálculo do parâmetro *t* de Student-Fisher conduz ao valor 1,54. Para este número de graus de liberdade a distribuição ocasional conduz aos valores 1,96 e 2,62 para o parâmetro *t*, aos níveis de probabilidade de 95 e 99 %. A comparação dos valores citados é de molde a levar a aceitar a hipótese nula, com independência das duas variáveis, com uma probabilidade de errar não superior a 1 %. As equações de regressão que se obtêm com as duas variáveis são

$$\begin{aligned}C &= 0,301 P - 226,8 \\P &= 0,0171 C + 762,9\end{aligned}$$

onde por *C* e *P* se representaram respectivamente, a concentração em radão e a pressão atmosférica. As rectas estão representadas na fig. 1.

A posição das rectas é também significativa no que

respeita à independência das duas variáveis, o que está em perfeito acordo com as hipóteses formuladas, segundo as quais a pressão atmosférica não seria factor determinante do valor da concentração do radão atmosférico.

Não dispomos de dados relativos às variações da pressão, os quais influem, como se supôs, nas correntes de difusão vertical, quer no solo quer na atmosfera. De resto, em relação às determinações efectuadas, a cotas baixas é difícil prever a direcção dos efeitos. Um aumento de pressão diminuirá a corrente de difusão vertical no solo, baixando o fluxo de radão que daí provém, mas, ao mesmo tempo, diminuindo também

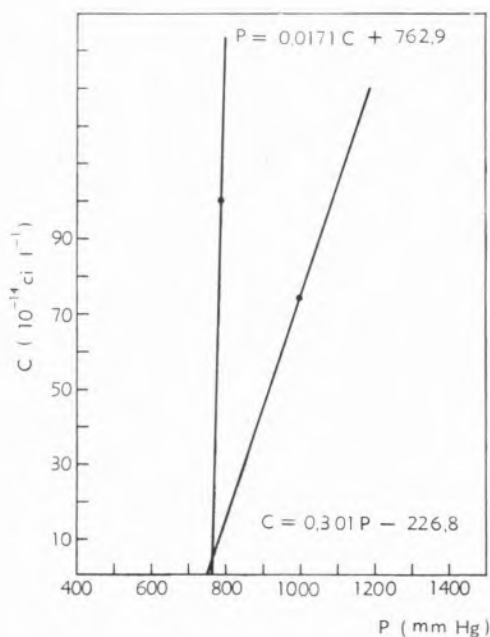


Fig. 1

a sua difusão para as camadas superiores. Em relação a pontos próximos do solo, os dois efeitos são contraditórios e não é possível saber qual o balanço final. Com os abaixamentos de pressão tudo se passará em sentido contrário, sem que a previsão do efeito global seja também possível. O trabalho de Moses *et al.* (8), que registaram a concentração do radão acompanhada de outras observações meteorológicas, não permite, no que respeita à pressão, chegar a conclusões diferentes das nossas, embora os seus dados não tenham sido submetidos a uma análise quantitativa tão completa.

Quadro I

PRESSÃO ATMOSFÉRICA (mm Hg)

	748	749	750	751	752	753	754	755	756	757	758	759	760	761	762	763	764	765	766	767	768	769	770
0-5		1					3	1			1	1	6	8	4	7	4	9	8	3	3		
5-10			1				1	1	1	1		1	6	1	8	14	17	3	2	1	1	2	3
10-15						2	2		1	2	1	4	3	3	10	8	15	4	4	4	2	2	2
15-20				1	1		3	1			3	2	5	3	11	12	5	3	5	3	3		1
20-25	1		1		1		1		1		1	3	4	6	5	4	3	8	2	5		2	2
25-30		1				1		1		1	1		3	3	4	3	2	4	2	2	1	1	
30-35							1				2	4		1	7	5	3	2	4	2	4	2	1
35-40								3	2		2	1	1		2		2		3	2			
40-45				1	1				1			1	4	2	1	2		2		1	1		
45-50											1			1	3	2			1	1			1
50-55							1	1		1				1		2		2			1	1	1
55-60									1			2	1			1	1		2	1			
60-65											1	1	1	1		2	2				1		
65-70										1	1		1			1							
70-75								1						1		1	1						
75-80									1							1							

Concentração do radão no ar (10^{-14} ci l $^{-1}$)

BIBLIOGRAFIA

1. Elster, J. e Geitel, H., *Phys. Z.*, **4**, 138 (1903).
2. Barreira, F., *Nature*, **190**, 1092 (1961).
3. Moses, H., Stehney, A. F. e Lucas, H. F., «Semiannual Report of the Radiological Physics Division», Argonne National Laboratory, ANL 5919, 1958, p. 102.
4. Aliverti, G. e Lovera, G., *Ann. Geofis. (Rome)*, **2**, 92 (1949).
5. Wilkening, M. H., *J. Geophys. Res.*, **64**, 521 (1959).
6. Barreira, F. e Laranjeira, M., *Rev. Fac. Ciênc. Univ. Lisboa*, 2.^a série B, **4**, 23 (1955).
7. Barreira, F. e Machado, J. M., *Rev. Fac. Ciênc. Univ. Lisboa*, 2.^a série B, **7**, 57 (1959).
8. Moses, H., Lucas, H. F. e Gunther, A. Z., «Semiannual Report of the Radiological Physics Division», Argonne National Laboratory, ANL, 6474, 1961, p. 58.

ABSTRACT

The atmospheric radon concentration has been correlated with the atmospheric pressure. The correlation coefficient we got is very low and the *t* parameter of Student supports the lack of relation between the two quantities. The conclusion agrees with the generally accepted ideas on the origin and the diffusion of the atmospheric radon.