

**EXISTE RADÔNIO NO BRASIL? INVESTIGAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE RADÔNIO EM IMÓVEIS  
DA REGIÃO METROPOLITANA DA CIDADE DE SÃO PAULO, BRASIL**

**Robson Petroni** – laboratoriofq@conforlab.com.br

**Solange C. Lima** – solange@conforlab.com.br

Conforlab Engenharia Ambiental Eireli, www.conforlab.com.br

LN – F2 Qualidade Ambiental Interna

**Resumo.** De acordo com a Organização Mundial da Saúde, o radônio é um importante problema de saúde pública em todo o mundo. Apesar disso, ainda é um tema muito pouco estudado no Brasil. A Organização Mundial da Saúde classifica o radônio como a segunda principal causa de mortes referentes ao câncer de pulmão. Estima-se que mais de 21 mil pessoas morrem todos os anos devido a exposição crônica a ambientes contendo elevada concentração de gás radônio (somente nos Estados Unidos). Este trabalho apresenta os resultados obtidos para a investigação da concentração de gás radônio em ambientes confinados (climatizados ou não) de imóveis localizados na região metropolitana da cidade de São Paulo. O projeto incluiu a amostragem de ar para 61 ambientes. Todas as amostragens foram realizadas entre os meses de fevereiro e agosto de 2017, totalizando 91 amostras coletadas (incluindo as amostras de controle da qualidade). De acordo com as recomendações da USEPA, a concentração máxima de radônio em um ambiente não deve ultrapassar 4 pCi/L. Neste estudo, 7 dos 61 ambientes investigados apresentaram concentração de radônio maior que 4 pCi/L, sugerindo um iminente risco à saúde dos ocupantes desses ambientes. Em outras palavras, 11 % dos ambientes investigados apresentaram resultados não conformes para a concentração de radônio, confirmando a hipótese de que o radônio pode ser um fator de risco à saúde da população dos brasileiros.

**Palavras-chave:** Radônio, Qualidade do ar interno, Análise de radônio.

## 1. INTRODUÇÃO

O radônio é um gás insípido, inodoro e incolor abundante em toda a crosta terrestre. Sua importância ao ser humano se dá ao fato de que o radônio é um gás radioativo, isto é, emissor de radiação alfa altamente energética cuja incidência em tecidos vivos está relacionada ao aumento da probabilidade de desenvolvimento de câncer. Por este motivo a Organização Mundial da Saúde (OMS) e a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) classificam o radônio como um importante fator de risco para o aumento da probabilidade de desenvolvimento de câncer de pulmão.

O radônio presente em um ambiente confinado tem sua procedência atribuída a três principais vias de emissão: o solo (sobre o qual o imóvel foi construído), a água (advinda de poços ou lençol freático) e os materiais utilizados na construção e decoração (areia, cimento, cerâmica, pedras ornamentais, esculturas, etc.). Destes três, o solo é o fator de maior contribuição. O grande problema relacionado ao radônio é o fato de que, ao emanar do solo e encontrar um ambiente confinado o radônio é pré-concentrado tornando-se um contaminante indesejável, responsável por milhares de mortes todos os anos em todo o globo terrestre.

De acordo com a OMS o radônio é o segundo maior causador de câncer de pulmão, sendo responsável por mais de 21 mil óbitos todos os anos somente nos Estados Unidos (NIH, 2017) e cerca de 20 mil óbitos por ano nos países da União Européia. Para a minimização dos riscos associados ao radônio, a USEPA estabeleceu o limite de 4 pCi/L como valor máximo desejável para a concentração de radônio em ambientes confinados. Acima deste valor o ambiente não é considerado seguro e deve ser evitado.

Em 2006, a *United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation* (UNSCEAR, 2006) publicou dados com a concentração média de radônio em ambientes internos para diversos países e continentes. De acordo com os resultados apresentados, o Brasil é classificado como um país de risco moderado para a presença de radônio, apresentando concentração média geográfica de 2,2 pCi/L.

No Brasil, os dados referentes a concentração de radônio em ambientes confinados são bastante escassos. Em projeto realizado na cidade de Poços de Caldas entre os anos de 2004 e 2013, cerca de 20% das residências investigadas na região urbana e rural apresentaram resultados para a concentração de radônio acima dos limites estipulados pela USEPA (ANTONIAZI *et. al.*, 2013). Antes, disso, Amaral (1992) encontrou valores médios de 5,5 pCi/L para a concentração de radônio na cidade de Poços de Caldas/MG e valor máximo de 28,3 pCi/L. Em 2003, Veiga estudou a mesma região obtendo resultados médios de 5,9 pCi/L e máximo de 27,7 pCi/L.

Estudo realizado na cidade de Monte Alegre/PA obteve média aritmética dos resultados de 3,6 pCi/L e valor máximo de 9,1 pCi/L (NEMAN, 2004). Na cidade de São Paulo, Da Silva encontrou resultados médios em 3,5 pCi/L e máximo de 16,6 pCi/L (DA SILVA, 2005). A OMS divulgou dados com a estimativa de que cerca de 10 a 15% dos imóveis em todo o mundo apresentam concentração de radônio acima do limite máximo estipulado pela USEPA.

Neste trabalho avaliou-se a concentração de radônio em 61 ambientes confinados de imóveis comerciais e residenciais localizados na região metropolitana da cidade de São Paulo/SP. As análises foram realizadas de acordo com

as orientações descritas nos protocolos MAH-14 Protocol For Conducting Measurements Of Radon And Radon Decay Products In Homes (ANSI/AARST MAH, 2015) e MALB-14 Protocol for Conducting Measurements of Radon and Radon Decay Products in Schools and Large Buildings (ANSI/AARST MALB, 2015).

## 2. METODOLOGIA ANALÍTICA

Para desenvolvimento dos procedimentos analíticos, utilizou-se o método de amostragem passiva com detecção por diferença de potencial elétrico para a câmara de íons. Neste sistema, o radônio presente no ar é transferido por difusão para o interior da câmara de amostragem, onde ocorre o evento de decaimento radioativo, por meio de emissão de partículas alfa e gama (radiação ionizante). A quantidade de radiação emitida é proporcional a concentração de radônio no ambiente.

A quantificação de radônio ocorre da seguinte maneira. A radiação alfa emitida pelos átomos de radônio gera a ionização das moléculas de ar. Em função da diferença de potencial elétrico os elétrons oriundos do fenômeno de ionização do ar são atraídos para a câmara de íons ocasionando a aniquilação de carga elétrica e, conseqüentemente, uma variação de sinal medido. A variação de potencial elétrico observada para a câmara de íons é relativamente proporcional a quantidade de radiação incidente e conseqüentemente à concentração de radônio no ambiente. As figuras 1 e 2 apresentam a metodologia utilizada neste estudo.



Figura 1. Célula de amostragem utilizada nos experimentos (esquerda), caixa de amostragem (centro) e sistema de amostragem em operação (direita)



Figura 2. Sistema de detecção composto por uma câmara de íons (seguro pela mão na foto à esquerda) e voltímetro utilizado nas medições de radônio

O cálculo da concentração de radônio no ar se dá pela Equação 1.

$$RnC = \{[(I - F) - (0,066667 t)] (fc t)^{-1}\} - 0,087BG \quad (1)$$

onde  $RnC$  é o valor da concentração de radônio no ar (pCi/L);

$I$  é o valor para potencial elétrico do electret antes da amostragem (V);

$F$  é o valor para potencial elétrico do electret após da amostragem (V);

$t$  é o tempo de amostragem (dias);

$fc$  é o fator de correção em função da câmara de amostragem utilizada (Eq. 2);

e,  $BG$  é o valor para a radiação de fundo, *background*, característico para o ambiente amostrado ( $\mu R \cdot h^{-1}$ )

O termo  $fc$  é obtido conforme Equação 2.

$$fc = A + B [0,5 (I + F)] \quad (2)$$

onde  $fc$  é o fator de correção em função da altitude (pCi/L);

$A$  e  $B$  são constantes para cada sistema de amostragem. Para o sistema de amostragem utilizado temos  $A = 1,69776$  e  $B = 0,0005742$ ;

$I$  é o valor para potencial elétrico do electret antes da amostragem (V);

e,  $F$  é o valor para potencial elétrico do electret após da amostragem (V).

Visando-se a padronização dos resultados, todos os experimentos foram realizados de acordo com a metodologia apresentada no protocolo de medição de radônio em residências *MAH-14 Protocol For Conducting Measurements Of Radon And Radon Decay Products In Homes* (ANSI/AARST MAH, 2015) e protocolo de medição de radônio em escolas e edifícios *MALB-14 Protocol for Conducting Measurements of Radon and Radon Decay Products in Schools and Large Buildings* (ANSI/AARST MALB, 2015).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todos os pontos de coleta tiveram a amostragem realizada no período de fevereiro a agosto de 2017. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 1 e na Figura 3 (os resultados obtidos para os ambientes “09861-740 - Amb.3” (16,2 pCi/L), “04785-000 - Amb.1” (43,3 pCi/L) e “06083-160 - Amb.5” (24,8 pCi/L) foram ocultados na Figura 3, visando-se uma melhor apresentação visual dos resultados).

De acordo com os resultados obtidos pode-se verificar que a concentração de radônio nos ambientes investigados variou entre 0,97 pCi/L para o ambiente “02308-140 - Amb.1” e 43,3 pCi/L para o ambiente “05518-330 - Amb.1”. A variação observada para os resultados referentes a concentração de radônio é interpretada como normal, visto que ambientes localizados em locais distintos são susceptíveis a muitos fatores que podem favorecer ou não a acumulação de radônio em seu interior. Sabe-se que a principal fonte de emissão do radônio é o próprio solo sobre o qual o imóvel foi construído, fato que por si só já justificaria a grande variação observada para os resultados. Por outro lado, o fator de acumulação de radônio em um ambiente está relacionado ao projeto de construção e com as condições de manutenção do ambiente, destacando-se que cada ambiente é um ambiente diferente, da mesma maneira que cada caso é um caso (no sentido da remediação do problema).

A média aritmética dos resultados para os 61 ambientes foi 3,75 pCi/L e o desvio padrão de 6,22 pCi/L. Contudo, os resultados para média e desvio padrão devem ser interpretados com cautela neste estudo. É possível observar-se que 54 ambientes estudados apresentaram concentração de radônio dentro do limite máximo estipulado pela USEPA (<4,0 pCi/L). Isto significa que 90% dos ambientes estudados apresentaram-se satisfatórios em relação a concentração de radônio.

Comparando-se a média dos resultados obtidos neste estudo com a média dos resultados obtidos por Da Silva (2005), verifica-se que as mesmas são bastante similares. Enquanto que para o estudo realizado em 2005 a média dos resultados foi 3,6 pCi/L, neste estudo resultado obtido foi 3,75 pCi/L. Verificou-se ainda que o percentual de ambientes cuja concentração de radônio esteve acima do limite máximo estipulado pela USEPA (10%) está de acordo com a estimativa feita pela OMS de que cerca de 10 a 15% dos ambientes ao redor do mundo apresentem não conformidade para a concentração de radônio.

A média dos resultados obtidos neste estudo apresentou-se superior à média nacional publicada pela UNSCEAR (2006) que obteve valor médio para a concentração de radônio igual a 2,2 pCi/L. Em relação ao valor máximo obtido, o resultado obtido neste estudo (43,3 pCi/L) é maior quando comparado ao publicado pela UNSCEAR (8,4 pCi/L) e por Da Silva (16,6 pCi/L).

As condições de amostragem podem influenciar – e muito – os resultados obtidos nas análises, fazendo-se de grande importância a padronização dos procedimentos analíticos. Neste estudo, o tempo de amostragem para cada uma das amostras foi de 48 horas (tempo característico para o método empregado), divergindo muito do tempo de amostragem prescrito por outros autores (cujo tempo de amostragem foi sazonal entre 3 e 9 meses). Visando uma rápida tomada de ação é preferível que os resultados sejam obtidos no menor intervalo de tempo possível, especialmente quando o motivo da análise for a avaliação inicial do ambiente, isto é, quando ele for analisado pela primeira vez.

Foram realizadas análises em duplicata para cerca de 25% dos ambientes investigados. Por meio da análise dos resultados em duplicata tem-se uma evidência prática quanto ao desempenho relacionado a exatidão do método. Os resultados obtidos para desvio padrão relativo (para desvio padrão e média dos resultados para  $n = 2$  medições) foram menores que 5% para todas as amostras investigadas, indicando uma excelente precisão do método de medição. Todos os equipamentos utilizados foram previamente calibrados e submetidos a ensaios com materiais de referência certificados visando-se com isso a garantia da exatidão dos resultados. De acordo com estudos prévios realizados a incerteza padrão expandida característica para o método de ensaio é 21% e o limite de quantificação do método é 1 pCi/L.

**MERCOFRIO 2018 - 11º CONGRESSO INTERNACIONAL DE  
AR CONDICIONADO, REFRIGERAÇÃO, AQUECIMENTO E VENTILAÇÃO**

**Tabela 1:** Concentração de radônio em imóveis da Região Metropolitana da cidade de São Paulo

<b>Data da Amostragem</b>	<b>Local e identificação do ponto amostral</b>	<b>Concentração de radônio (pCi/L)</b>
22/02/2017	Conforlab - Sala de Reunião Unid 475	1,69
22/02/2017	Conforlab - Logística Unid 453	2,96
22/02/2017	Conforlab - Lab Contagem Unid 475	2,32
24/02/2017	Conforlab - Tratamento Químico Unid 453	2,17
24/02/2017	Conforlab - Almojarifado Unid 453	3,03
25/02/2017	Conforlab - Sala de Reunião Unid 475	1,21
25/02/2017	Conforlab - Lab Micro II Unid 475	3,02
03/03/2017	Conforlab - Lab Micro I Unid 475	2,30
03/03/2017	Conforlab - Lab Físico Químico Unid 475	2,76
03/03/2017	Conforlab - Lab Gravimetria Unid 475	1,81
03/03/2017	Conforlab - Autoclave Unid 475	2,27
10/03/2017	Residência Daniela - Amb.1	1,93
10/03/2017	Residência Daniela - Amb.2	2,10
10/03/2017	Residência Daniela - Amb.3	1,76
18/03/2017	Residência Brooklin Novo - Amb.1	2,41
18/03/2017	Residência Brooklin Novo - Amb.2	2,86
18/03/2017	Residência Brooklin Novo - Amb.3	2,38
20/03/2017	04612-002 - Amb.1	1,85
20/03/2017	04612-002 - Amb.2	1,62
20/03/2017	04612-002 - Amb.3	1,85
20/03/2017	04612-002 - Amb.4	1,68
20/03/2017	04612-002 - Amb.5	1,61
20/03/2017	06083-160 - Amb.1	1,75
20/03/2017	06083-160 - Amb.2	1,47
24/03/2017	09861-740 - Amb.1	1,91
24/03/2017	13760-000 - Amb.1	1,29
24/03/2017	13760-000 - Amb.2	1,07
28/03/2017	06083-160 - Amb.3	2,45
28/03/2017	06083-160 - Amb.4	2,06
28/03/2017	09861-740 - Amb.3	1,89
31/03/2017	09861-740 - Amb.2	*4,31
31/03/2017	04507-100 - Amb.1	2,88
31/03/2017	04507-100 - Amb.2	2,88
31/03/2017	09350-315 - Amb.1	1,80
31/03/2017	09350-315 - Amb.2	3,61
05/04/2017	USP - Fac. Eng. Minas e Petróleo - Amb.1	3,85
05/04/2017	USP - Fac. Eng. Minas e Petróleo - Amb.2	3,36
05/04/2017	USP - Fac. Eng. Minas e Petróleo - Amb.3	2,61
05/04/2017	USP - Fac. Eng. Minas e Petróleo - Amb.4	2,87
05/04/2017	USP - Fac. Eng. Minas e Petróleo - Amb.5	2,84
05/04/2017	USP - Fac. Eng. Minas e Petróleo - Amb.6	3,56
12/04/2017	09861-740 - Amb.3	*16,2

**Tabela 1:** Concentração de radônio em ambientes de imóveis da Região Metropolitana da cidade de São Paulo (continuação)

Data da Amostragem	Local e identificação do ponto amostral	Concentração de radônio (pCi/L)
12/04/2017	09861-740 - Amb.4	2,20
13/04/2017	USP - Inst. Pesq. Energ. e Nucleares - Amb.1	*5,96
13/04/2017	USP - Inst. Pesq. Energ. e Nucleares - Amb.2	3,36
13/04/2017	USP - Inst. Pesq. Energ. e Nucleares - Amb.3	2,43
13/04/2017	USP - Inst. Pesq. Energ. e Nucleares - Amb.4	2,14
13/04/2017	USP - Inst. Pesq. Energ. e Nucleares - Amb.5	1,45
16/04/2017	04891-000 - Amb.1	2,18
10/06/2017	09812-570 - Amb.1	2,00
10/06/2017	09812-570 - Amb.2	1,50
10/06/2017	05518-330 - Amb.1	*5,60
24/06/2017	011740-000 - Amb.1	1,11
23/06/2017	04846-010 - Amb.1	2,37
27/06/2017	04785-000 - Amb.1	*43,3
30/06/2017	06083-160 - Amb.5	*24,8
09/07/2017	02308-140 - Amb.1	0,97
07/07/2017	01544-001 - Amb.1	3,26
07/07/2017	05867-390 - Amb.1	3,00
09/07/2017	05818-330 - Amb.1	*6,62
29/07/2017	90050-240 - Amb.1	2,48

\* Resultados em **vermelho** representam ambientes com concentração de radônio acima do limite máximo de 4pCi/L estipulado pela USEPA.

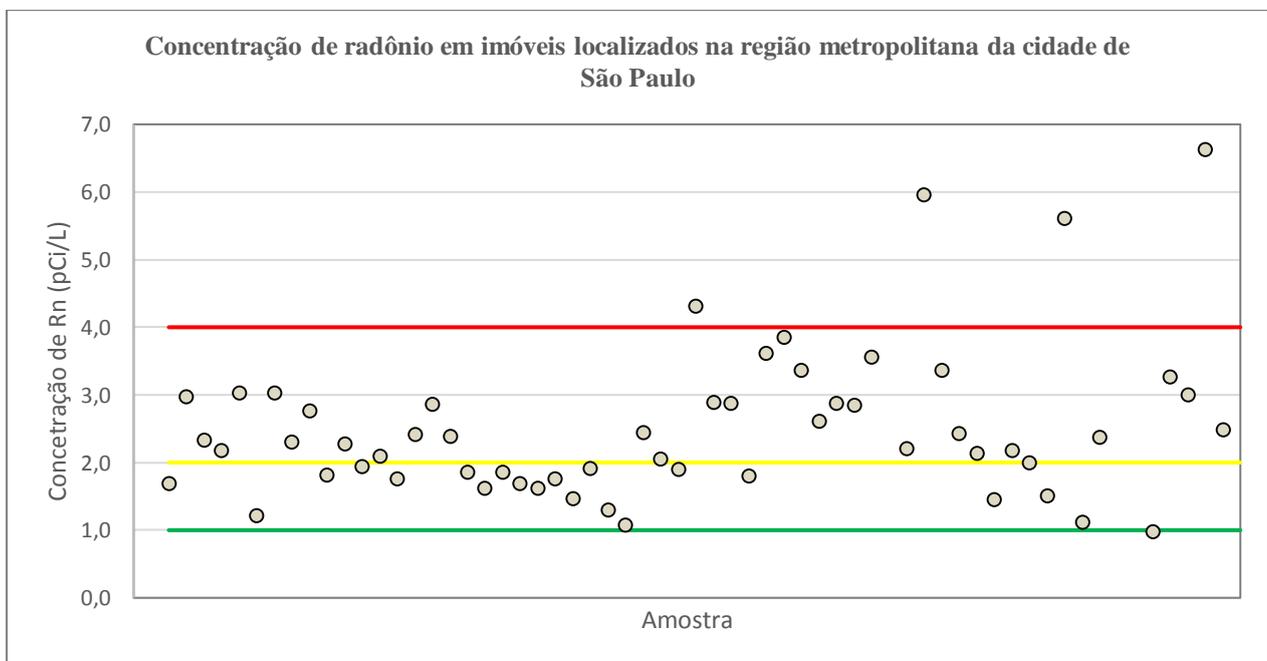


Figura 3. Resultados para análise de radônio em ambientes localizados na região metropolitana da cidade de São Paulo

#### 4. CONCLUSÃO

Apesar de ser tratado como prioridade em países da União Europeia e Estados Unidos a investigação da concentração de radônio no Brasil é muitas vezes – senão todas – negligenciada, bem como os riscos associados à saúde da população quanto a presença deste elemento em ambientes confinados. Diante do exposto, este trabalho apresenta uma singela contribuição para o entendimento da dinâmica do radônio e sua respectiva concentração em imóveis comerciais e residenciais localizados na região metropolitana da cidade de São Paulo – SP, Brasil. Resultados preliminares indicam que 10% dos ambientes investigados em diferentes bairros da região metropolitana da cidade de São Paulo apresentam concentração de radônio acima do limite máximo estipulado pela USEPA. Em outras palavras, apesar do número relativamente pequeno de ambientes investigados (61 ambientes) foi possível constatar-se que existe radônio em nos imóveis na cidade de São Paulo, constatando-se que o problema relacionado à exposição ao radônio também ocorre no Brasil. A medida que novas amostragens forem realizadas obter-se-á um banco de dados mais representativo e robusto.

A USEPA recomenda que sempre que verificada a concentração de radônio acima do limite de 4 pCi/L deve ser elaborado um plano para remediação deste contaminante no ambiente (aumento da taxa de renovação do ar interior, reformas estruturais, modificações na planta do imóvel, etc.). Para tanto se faz necessária a divulgação do conhecimento de que todos os ambientes confinados possuem radônio e o investimento constante na conscientização e formação técnica (nosso país é muito carente em profissionais qualificados para a remediação de ambientes que contem radônio). A única dúvida que devemos ter não é a de que se há radônio no ambiente, mas o quanto há de radônio no ambiente. E a única maneira de se obter essa resposta é fazendo-se a análise de radônio em diferentes ambientes do imóvel. Isto porque ambientes com níveis de radônio acima 4 pCi/L de tornam-se potencialmente perigosos à saúde e quanto maior a concentração de radônio maior o risco a que os ocupantes estão expostos.

Por meio dos resultados obtidos neste estudo espera-se dar início a um debate referente a esta questão com os profissionais responsáveis pela engenharia e manutenção de ambientes climatizados (apresentando a importância deste tema em todas as esferas da sociedade, inclusive governamental), levando-se em consideração os riscos associados a presença deste elemento tão pouco estudado em nosso país. O radônio é o segundo maior responsável por causar câncer de pulmão em seres humanos e estudos recentes sugerem que o radônio está relacionado a 25 % dos óbitos associados a leucemia. Este tema é tratado como prioridade em diversos países do mundo e existe a iminente necessidade de ser tratado com a mesma relevância em nosso país.

Como proposta futura e continuação deste trabalho, sugere-se a realização de mais amostragens e análises de radônio dentro da Região Metropolitana da Cidade de São Paulo para aumentar a representatividade e robustez do banco de dados apresentado neste estudo. Se faz necessária a realização de estudos para investigação da concentração de radônio em todos os estados federativos de modo a entender o real quadro risco a que a população brasileira está exposta em relação à exposição ao gás radônio. Ainda, é proposto pelos autores a elaboração de um website com o georreferenciamento e mapeamento da concentração de radônio típica para diferentes bairros da cidade, visando-se facilitar a elaboração de planos de remediação para imóveis localizados em regiões com altas concentrações de radônio, semelhantemente ao trabalho desenvolvido pela USEPA nos Estados Unidos.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Conforlab Engenharia Ambiental Eireli pela disponibilização de toda infraestrutura e suporte financeiro necessário para a realização deste trabalho.

#### 6. REFERÊNCIAS

- ANSI/AARST MAH, 2015. *Standard MAH-2014: Protocol For Conducting Measurements Of Radon And Radon Decay Products In Homes*. AARST Consortium on National Radon Standards. Fletcher, USA
- ANSI/AARST MALB, 2015. *Standard MALB-2014: Protocol for Conducting Measurements of Radon and Radon Decay Products in Schools and Large Buildings*. AARST Consortium on National Radon Standards. Fletcher, USA
- DA SILVA, A. A. R., 2005. *Radônio e filhos em residências da cidade de São Paulo*. São Paulo, 2005. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo.
- NHI - National Cancer Institute, 2018. *Radon and cancer*. Disponível em <https://www.cancer.gov/about-cancer/causes-prevention/risk/substances/radon/radon-fact-sheet>
- NEMAN, R. S., 2000. *Medida separada de radônio-222 e de seus filhos no ar: monitoração na cidade de Poços de Caldas - MG e comparação de atividades envolvendo 2 outras técnicas de medida de Rn-222 no ar Campinas*. Campinas, SP: 2000. Tese de doutorado, Universidade Estadual de Campinas.
- UNSCEAR, 2006. *Effects of Ionizing Radiation*. UNSCEAR Report to the United Nations General Assembly. Vienna, Austria.

**IS THERE RADON IN BRAZIL? INVESTIGATION OF THE RADON CONCENTRATION IN BUILDINGS LOCATED IN THE SAO PAULO METROPOLITAN REGION, BRAZIL**

**Abstract.** *According to the World Health Organization, the radon is an important public health problem worldwide. Nevertheless, the radon it is a rarely subject studied in Brazil. The World Health Organization classifies the radon as the second main factor related with the lung cancer deaths. It estimated that more than 21,000 people die every year due to chronic exposure to environments containing high concentration of radon gas (only in the United States of America). This work presents the results obtained for the investigation of the radon concentration in confined environments (climatized or not climatized) of real estate located in the metropolitan region of the city of São Paulo, Brazil. The study included the air sampling to 61 environments. All the air sampling (to radon measure) were performed between February and August of 2017, totaling 91 air samples collected (when include the quality control samples). According to US EPA recommendations, the radon concentration in an environment should not be higher than 4 pCi/L. In this study, 7 of 61 environmental investigated presented radon concentration results greater than 4 pCi/L, suggesting an imminent health risk to the occupants of these environments. In other words, 11% of the environments investigated presented nonconforming results for the radon concentration, confirming the hypothesis that radon may be an important health risk factor for the Brazilian population.*

**Keywords:** *Radon, Indoor air quality, Radon analysis.*