

ARTIGO

Estudo da concentração de radônio no ar em imóveis da região metropolitana de São Paulo, Brasil

Robson Petroni^{1*}

Leonardo Cozac de Oliveira Neto¹

¹ Departamento de Pesquisa e Desenvolvimento, Conforlab Engenharia Ambiental.

*Autor correspondente: robsonpetroni@yahoo.com.br

RESUMO

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), o radônio (Rn) é um importante problema de saúde pública em todo o mundo, sendo classificado como a segunda principal causa de mortes referentes ao câncer de pulmão. Estima-se que mais de 21 mil pessoas morrem todos os anos somente nos Estados Unidos devido a exposição crônica a ambientes contendo elevada concentração de gás radônio. 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 (RMSP). O projeto incluiu a amostragem de ar em 61 ambientes, com amostragens realizadas entre os meses de fevereiro e agosto de 2017. Neste estudo, 7 dos 61 ambientes investigados apresentaram concentração de Rn 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 Rn, confirmando a hipótese de que esse elemento pode ser um fator de risco à saúde da população brasileira, estando presente nos imóveis da RMSP.

Palavras-chave: radônio, qualidade do ar interno, análise de radônio, e-perm, câmara de ionização de elétrons

ABSTRACT

According to the World Health Organization (WHO), radon is an important public health problem worldwide, being classified as the second leading cause of deaths from lung cancer. It is estimated that more than 21,000 people die every year in the United States alone due to chronic exposure to environments containing high concentrations of radon gas. This work presents the results obtained to the investigation of the radon concentration in indoor environments of buildings located in the São Paulo metropolitan region (SPMR). The project included air sampling for 61 indoor environments, with sampling carried out between February and August 2017. In this study, 7 of the 61 indoor environments investigated showed radon concentrations greater than 4 pCi/L, suggesting an imminent risk to the health of the occupants of these environments. In other words, 11 % of the investigated environments presented non-conforming result for radon concentration, confirming the hypothesis that radon may be a risk factor to the health of the Brazilian population, being present in buildings in the SPMR.

keywords: radon, indoor air quality, radon analysis, e-perm, electret ion chamber.

INTRODUÇÃO

O radônio (Rn) é um gás natural quimicamente inerte, incolor, inodoro e insípido, proveniente do ciclo de decaimento radioativo do urânio, cuja principal fonte de emissão é o próprio solo. O perigo relacionado a este elemento está no fato de que devido as suas características inertes, o Rn difunde-se facilmente através do solo e rochas – devido a porosidade destes materiais, por rachaduras, tubulações, perfurações de lençóis freáticos ou até mesmo por escavações realizadas – chegando a superfície do solo. Ao ser liberado pelo solo dentro de um ambiente fechado (casas, escolas e outras construções) o radônio é pré-concentrado e passa a apresentar riscos à saúde das pessoas que utilizam estes ambientes.

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), a exposição crônica ao Rn em ambientes internos é o principal fator associado o número de óbitos por câncer de pulmão em indivíduos não fumantes, sendo de 21 mil óbitos por ano somente nos Estados Unidos (NIH, 2017) e cerca de 20 mil óbitos por ano nos países da União Europeia. Ainda de acordo com estimativas da OMS, o Rn é responsável por cerca de 15 % dos óbitos associados à incidência de câncer de pulmão em humanos (em fumantes e não fumantes) em todo o mundo.

Diante deste cenário, a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) estabeleceu o limite máximo de 4 pCi/L para a concentração de ²²²Rn em ambientes climatizados, sendo que, quando presente em concentrações acima do limite deve

haver um plano para remediação deste elemento dentro do ambiente (aumento da taxa de renovação do ar interior, modificações na planta do imóvel, etc). A OMS recomenda que a concentração de Rn em ambientes internos não ultrapasse 100 Bq/m³, isto é, cerca de 2,7 pCi/L.

No Brasil não há legislação específica ou estatísticas relacionadas ao Rn. De acordo com o Instituto Nacional de Câncer (INCA), o tumor maligno mais incidente no Brasil é o de pele não melanoma (31,3 % do total de casos), seguido pelos de mama feminina (10,5 %), próstata (10,2 %), cólon e reto (6,5 %), pulmão (4,6 %) e estômago (3,1 %). São esperados cerca de 704 mil casos novos de câncer no Brasil para cada ano do triênio 2023-2025, sendo que destes, cerca de 32.000 novos casos de câncer de pulmão, com destaque para as regiões Sul e Sudeste, que concentram cerca de 70 % da incidência (INCA, 2024).

Devido ao fato de que o Rn advém principalmente do solo e das rochas, os materiais utilizados nas construções tais como areia, brita, cimento, granito e rochas ornamentais são potenciais fontes de emissão em ambientes fechados (contudo a contribuição destas fontes é muito pequena quando comparada a contribuição do solo). Isto significa que todos os imóveis são potenciais fontes de emissão e a concentração deste elemento é única para cada ambiente investigado o que torna o problema ainda mais complexo e de difícil abordagem.

No Brasil, os dados referentes a concentração de radônio em ambientes internos são 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). Estudos realizados na Dinamarca e Grécia indicam que cerca de 7 a 10 % das residências apresentam concentração de radônio acima dos limites estabelecidos pela USEPA (BRAUNNER et al., 2012; CLOUVAS et al., 2013). Em 1992, Amaral encontrou valores médios em 204 Bq/m³ para análise de radônio na cidade de Poços de Caldas/MG e valor máximo de 1.046 Bq/m³. Em 2003 Veiga estudou a mesma região obtendo resultados médios de 220 Bq/m³ e máximo de 1024 Bq/m³. Estudo realizado na cidade de Monte Alegre/PA obteve média aritmética dos resultados de 133 Bq/m³ e valor máximo de 338 Bq/m³ (NEMAN, 2004). Na cidade de São Paulo, Da Silva encontrou resultados médios em 131 Bq/m³ e máximo de 615 Bq/m³ (DA SILVA, 2005). Convertendo-se os resultados obtidos por Da Silva em pCi/L, tem-se o valor médio de 3,6 pCi/L e valor máximo de 17 pCi/L para amostragens realizadas na cidade de São Paulo.

Em 2006, a United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR, 2006) publicou dados com a concentração média de Rn em ambientes internos para diversos países e continentes. De acordo com os resultados apresentados, o Brasil apresenta concentração média de 82 Bq/m³ com valor máximo de 310 Bq/m³. Estes valores diferem dos publicados por diversos autores que encontraram resultados bastante antagônicos.

Ainda de acordo com publicação da UNSCEAR (2006), o Irã é o país com estudo que apresentou a maior média aritmética para a concentração de radônio com resultado igual a 2.750 Bq/m³ (74 pCi/L), seguido por Espanha com 749 Bq/m³ (20 pCi/L) e 600 Bq/m³ (16 pCi/L). Em contrapartida, países como Chipre, Cuba e Egito apresentaram as menores médias dentre todos os países estudados, com resultados de 7 Bq/m³ (0,19 pCi/L), 7,7 Bq/m³ (0,21 pCi/L) e 9 Bq/m³ (0,24 pCi/L) respectivamente. Os maiores valores históricos foram encontrados na Suécia com ambientes apresentando concentração de 84.000 Bq/m³ (2.270 pCi/L) de radônio, seguido por República Tcheca com valores de 70.000 Bq/m³ (1.892 pCi/L) para resultados em duas diferentes campanhas (UNSCEAR, 2006).

O objetivo deste trabalho foi o levantamento de dados referentes à concentração de ²²²Rn em ambientes internos de imóveis comerciais e residenciais da cidade de São Paulo/SP, de acordo com a metodologia recomendada pelos protocolos USEPA (1993) e ANSI/AARST MALB (2014), comparando os resultados obtidos ao valor máximo estabelecido pela USEPA (4 pCi/L). A região metropolitana da cidade de São Paulo é a mais populosa do país e este trabalho tem por justificativa contribuir para a compreensão do grau de exposição da população ao Rn para a elaboração de políticas públicas assertivas.

MÉTODOS

Existem 3 isótopos conhecidos de radônio, o ^{219}Rn da série do ^{235}U , o ^{220}Rn da série do ^{232}Th , e o ^{222}Rn da série do ^{238}U . Dentre todos os isótopos, o ^{222}Rn assume maior importância devido às suas características nucleares (tal como o tempo de meia vida e abundância isotópica) que possibilitam a correta quantificação dos níveis deste elemento em ambientes climatizados (casas, escolas, shopping centers, etc). A Figura 1 apresenta a esquematização da série de decaimento do radioisótopo do ^{238}U , passando por ^{226}Ra e ^{222}Rn .

Neste trabalho, utilizou-se o método de amostragem passiva com detecção por diferença de potencial elétrico para a câmara de íons (electret). Neste sistema, o ^{222}Rn presente no ar é transferido por difusão para o interior da câmara de amostragem, onde ocorre o evento de decaimento radioativo do ^{222}Rn , por meio de emissão de partículas alfa e gama (radiação ionizante). Estas partículas emitidas são altamente energéticas e ocasionam a ionização das moléculas de ar. A quantificação de Rn ocorre da seguinte maneira. A radiação alfa emitida pelos átomos de Rn 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 Rn. Em função da

diferença de potencial elétrico e do tempo de exposição da câmara de amostragem, é possível calcular-se a concentração de ^{222}Rn no ar. As Figuras 2 a 4 apresentam a metodologia utilizada neste estudo.

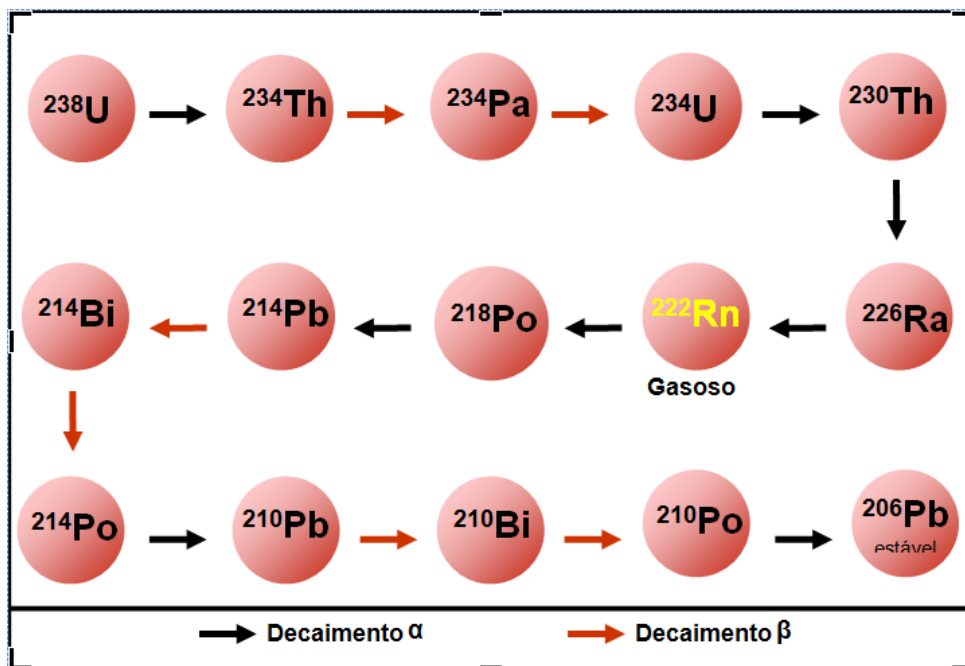


Figura 1. Série de decaimento radioativo para os isótopos de ^{238}U , passando por ^{226}Ra e ^{222}Rn
Fonte: PEREIRA, 2009.



Figura 2. Célula de amostragem utilizada nos experimento



Figura 3. Caixa de amostragem (esquerda) e sistema de amostragem em operação (direita)



Figura 4. Sistema de detecção composto por um disco *electret* e voltímetro utilizado nas medições de radônio

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

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

f_c 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 ($\mu\text{R}\cdot\text{h}^{-1}$)

O termo f_c é obtido conforme Equação 2.

$f_c = A + B [0,5 (I + F)]$	(Eq. 2)
-----------------------------	---------

onde:

f_c 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 a padronização dos resultados, todos os experimentos foram realizados de acordo com a metodologia apresentada no protocolo de medição de Rn em residências USEPA Report EPA 402-R-92-003 Protocol for Radon and Radon Decay Products Measurements in Homes (USEPA, 1993) e protocolo de medição de radônio em escolas e edifícios ANSI/AARST MALB Protocol for Conducting Measurements of Radon and Radon Decay Products in Schools and Large Buildings (ANSI/AARST MALB, 2014).

Todos os experimentos foram realizados com o tempo de amostragem entre 48 e 72 h em ambientes climatizados localizados no térreo e/ou subsolo das residências e edificações. As caixas e células de

amostragem foram dispostas sobre uma superfície plana de altura entre 85 e 100 cm de altura, a uma distância mínima de 100 cm de paredes de divisa com ambiente exterior e portas. Ainda, foram dispostos a uma distância mínima de 30 cm de prateleiras, paredes de divisa com ambientes internos e janelas.

Os ambientes investigados permaneceram fechados por um período de 12 h antes do início da amostragem, visando o equilíbrio radioativo do Rn. Durante o período de amostragem, todas as portas e janelas do ambiente foram mantidas fechadas para preservação do ambiente de amostragem. Eventuais aberturas de portas foram permitidas para circulação mínima de pessoas e o funcionamento de sistemas

de condicionamento de ar foram mantidos em operação normal durante a realização dos procedimentos de amostragem. Ainda, todas as caixas de amostragem foram dispostas em locais abrigados quanto a incidência de luz solar direta e de fluxo direto de ar forçado, advindo dos sistemas de condicionamento de ar.

Cerca de 120 participantes foram convidados a participar do estudo, sendo

que 23 aceitaram o convite. Todos os pontos de coleta tiveram a amostragem realizada no período de fevereiro a agosto de 2017.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 1 e na Figura 5.

Tabela 1. Concentração de radônio em diferentes imóveis da Região Metropolitana de São Paulo

DATA DA AMOSTRAGEM	LOCAL (CEP) E IDENTIFICAÇÃO DO PONTO AMOSTRAL	CONCENTRAÇÃO DE RADÔNIO (PCI/L)
22/02/2017	04612-002 - Sala de Reunião	1,69
22/02/2017	04612-002 - Sala de Logística	2,96
22/02/2017	04612-002 - Laboratório Contagem	2,32
24/02/2017	04612-002 - Tratamento Químico	2,17
24/02/2017	04612-002 - Almoarifado	3,03
25/02/2017	04612-002 - Sala de Reunião	1,21
25/02/2017	04612-002 - Laboratório Micro II	3,02
03/03/2017	04612-002 - Laboratório Micro I	2,30
03/03/2017	04612-002 - Laboratório Físico Químico	2,76
03/03/2017	04612-002 - Laboratório Gravimetria	1,81
03/03/2017	04612-002 - Sala de Autoclave	2,27
10/03/2017	04653-210 - Dormitório	1,93
10/03/2017	04653-210 - Sala	2,10
10/03/2017	04653-210 - Estoque	1,76
18/03/2017	04559-010 - Dormitório 1	2,41
18/03/2017	04559-010 - Dormitório 2	2,86
18/03/2017	04559-010 - Dormitório 3	2,38
20/03/2017	04612-002 - Recebimento de Amostra 1	1,85
20/03/2017	04612-002 - Gravimetria	1,62
20/03/2017	04612-002 - Estoque DTA	1,85
20/03/2017	04612-002 - Sanitário Térreo	1,68
20/03/2017	04612-002 - Estoque Dutos	1,61

Tabela 1. Concentração de radônio em diferentes imóveis da Região Metropolitana de São Paulo

20/03/2017	06083-160 - Dormitório casal	1,75
20/03/2017	06083-160 - Dormitório filho	1,47
24/03/2017	09861-740 - Sala	1,91
24/03/2017	13760-000 - Dormitório	1,29
24/03/2017	13760-000 - Despensa	1,07
28/03/2017	06083-160 - Porão Loja	2,45
28/03/2017	06083-160 - Loja	2,06
30/06/2017	06083-160 - Criatório	*24,8
28/03/2017	09861-740 - Cozinha	1,89
31/03/2017	09861-740 - Despensa	*4,31
31/03/2017	04507-100 - Dormitório	2,88
31/03/2017	04507-100 - Garagem	2,88
31/03/2017	09350-315 - Ambiente 1	1,80
31/03/2017	09350-315 - Ambiente 2	3,61
05/04/2017	05508-010 - Entrepiso do Laboratório 1	3,85
05/04/2017	05508-010 - Laboratório 1	3,36
05/04/2017	05508-010 - Entrepiso do Laboratório 2	2,61
05/04/2017	05508-010 - Laboratório 2	2,87
05/04/2017	05508-010 - Laboratório 3	2,84
05/04/2017	05508-010 - Porão	3,56
12/04/2017	09861-740 - Porão (sob a pia)	*16,2
12/04/2017	09861-740 - Banheiro	2,20
13/04/2017	05508-000 - Laboratório de Abertura de Coelhos	*5,96
13/04/2017	05508-000 - Laboratório INAA	3,36
13/04/2017	05508-000 - Sala Pós Graduação	2,43
13/04/2017	05508-000 - Sala Coordenação	2,14
13/04/2017	05508-000 - Laboratório Homogeneização	1,45
16/04/2017	04891-000 - Amb 1	2,18
10/06/2017	09812-570 - Dormitório	2,00
10/06/2017	09812-570 - Banheiro	1,50
10/06/2017	05518-030 - Dormitório Principal	*5,60
24/06/2017	11740-000 - Despensa Térreo	1,11
23/06/2017	04846-010 - Loja	2,37
27/06/2017	04785-000 - Garagem	*43,3
09/07/2017	02308-140 - Dormitório	0,97
07/07/2017	01544-001 - Dormitório	3,26
07/07/2017	05867-390 - Dormitório	3,00
09/07/2017	05818-330 - Armário Concreto Sala do Poço	*6,62
29/07/2017	01206-001 - Auditório	2,48

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

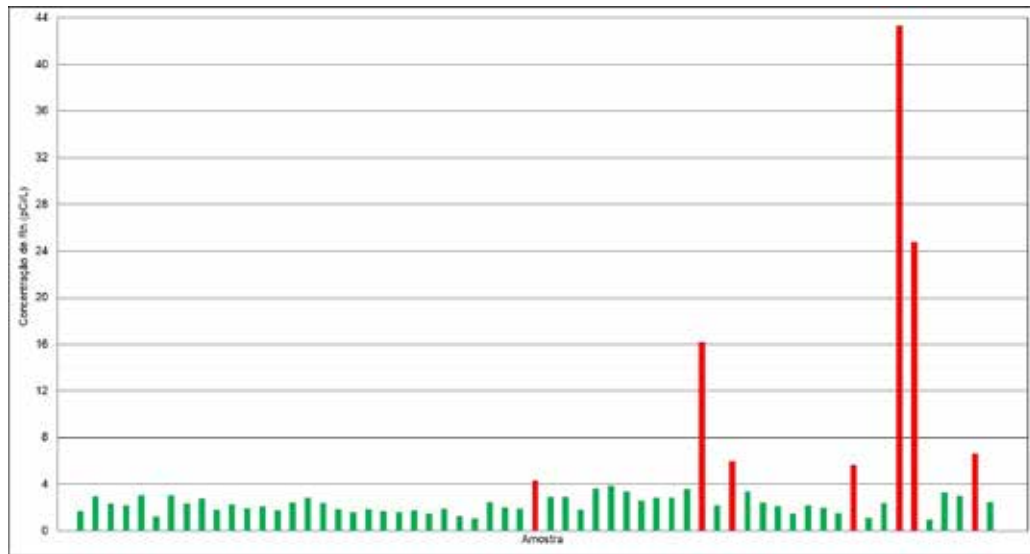


Figura 5. Resultados para análise de radônio em ambientes localizados na região metropolitana da cidade de São Paulo.

A concentração de Rn 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 Rn é interpretada como dentro da faixa aceitável, visto que ambientes localizados em locais distintos são susceptíveis a muitos fatores que podem favorecer ou não a acumulação em seu interior. A principal fonte de emissão 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 Rn 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.

A média aritmética dos resultados para os 61 ambientes foi $3,75 \pm 6,22$ pCi/L. Contudo, os resultados para média e desvio padrão devem ser interpretados com cautela neste estudo. É possível observar que 54 ambientes estudados apresentaram concentração dentro do limite máximo estipulado pela USEPA ($< 4,0$ pCi/L). Isto significa que 89 % dos ambientes apresentaram-se satisfatórios em relação a concentração de radônio. O percentual de ambientes cuja concentração de Rn esteve acima do limite máximo estipulado pela USEPA (11 %) 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. Resultados maiores que 4 pCi/L foram encontrados nos seguintes CEP/bairro/cidade: 06083-160/Jardim Bela Vista/

Osasco (1 ambiente), 09861-740/Chacara Dublin/São Bernardo do Campo (2 ambientes), 05508-000/Butantã/São Paulo (1 ambiente), 05518-030/Jardim Trussardi/São Paulo (1 ambiente), 04785-000/Jardim Santa Helena/São Paulo (1 ambiente) e 05818-330/Jardim Vergueiro/São Paulo (1 ambiente).

As concentrações médias de Rn obtidas nesse estudo (3,8 pCi/L) são similares às encontradas por Da Silva (2005) (3,6 pCi/L), porém superior à média nacional publicada pela UNSCEAR (2006) (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 nos resultados obtidos nas análises, sendo de grande importância a padronização dos procedimentos analíticos. Neste estudo, o tempo de amostragem para cada uma das amostras foi de 48 h, 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 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.

Apesar de ser tratado como prioridade em países da União Europeia e Estados Unidos a investigação da concentração de Rn no Brasil é 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 contribuição para o entendimento da dinâmica do Rn e sua respectiva concentração em imóveis comerciais e residenciais localizados na região metropolitana da cidade de São Paulo – SP, Brasil.

A USEPA recomenda que sempre que verificada a concentração de Rn acima do limite de 4 pCi/L deve ser elaborado um plano para remediação deste contaminante no ambiente, tais como 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 Rn e o investimento constante na conscientização e formação técnica.

Por meio dos resultados obtidos neste

estudo espera-se dar início a um debate referente a esta questão com os profissionais responsáveis pela arquitetura, medicina, engenharia e manutenção de ambientes interiores, 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 Rn 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.

CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos neste estudo, conclui-se que cerca de 11 % dos ambientes investigados apresentaram concentração de radônio maior que 4 pCi/L, valor máximo aceitável pela USEPA. A média aritmética dos resultados obtidos para 61 ambientes analisados foi 3,75 pCi/L, estando este resultado em conformidade com o encontrado por outros estudos no país. 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).

Como proposta futura e continuação deste trabalho, sugere-se a realização de mais amostragens e análises de radônio dentro da Região Metropolitana 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 Rn 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.

CONFLITO DE INTERESSE

Os autores deste trabalho declaram não possuir nenhum conflito de interesse.

COLABORAÇÕES

Robson Petroni - coleta das amostras, interpretação de dados e escrita
Leonardo Cosac - revisão do artigo

REFERÊNCIAS

ANSI/AARST MALB (2014). Protocol for Conducting Measurements of Radon and

Radon Decay Products in Schools and Large Buildings, 2014.

Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR Report to the United Nations General Assembly. Vienna, Austria, 2006.

Brauner, E. V., Rasmussen, T. V, Gunnarsen, L. (2013). Variation in residential radon levels in new Danish homes. *Indoor Air*, v. 23, n. 4, pp. 311-317, 2013.

USEPA (United States Environmental Protection Agency) (1993). Protocols for radon and radon decay product measurements in home - Protocol. R-92-003, 1993.

Clouvas, A. et al. Follow-up study of indoor radon in Greek buildings. *Radiation Protection Dosimetry*, 2013. Disponível em: <http://www.ncbi.nih.gov/pubmed/23704362>. Acessado em 06/04/2024.

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, 2005.

INCA (Instituto Nacional do Cancer) (2023). Estimativa 2023 – Incidência de Câncer no Brasil. Acessado em < [https://bvsms.saude.gov.br/inca-lanca-a-estimativa-2023-incidencia-de-cancer-no-brasil/#:~:text=O%20tumor%20maligno%20mais%20incidente,est%C3%B4mag%20\(3%2C1%25](https://bvsms.saude.gov.br/inca-lanca-a-estimativa-2023-incidencia-de-cancer-no-brasil/#:~:text=O%20tumor%20maligno%20mais%20incidente,est%C3%B4mag%20(3%2C1%25)>. Acessado em 12/04/2024

National Cancer Institute (NIH), 2017. Radon and câncer. Disponível em < <https://www.cancer.gov/about-cancer/causes-prevention/risk/substances/radon/radon-fact-sheet>>. Acessado em 12/04/2024. Estudo da concentração de radônio no ar em imóveis da região metropolitana de São Paulo, Brasil

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. Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, 2000.

Pereira, C.M.A. (2009). Mapeamento de aquíferos fraturados empregando métodos geoeletricos e emissão natural de radônio. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 72p

UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the effects of Atomic Radiation) (2006).