



## Avaliação dos Níveis de Concentração de Radônio em Marmorarias de Curitiba/PR

Gustavo MACIOSKI<sup>1</sup>, Nicolle Talyta Arriagada SOTO<sup>1</sup>, Wellington MAZER<sup>2</sup>,  
Janine Nicolosi CORRÊA<sup>2</sup>

**Resumo:** O radônio é um gás radioativo que emana de rochas e solos e tende a concentrar-se em espaços fechados como minas subterrâneas ou casas. Quando o este gás é inalado as partículas alfa emitidas por decaimento radioativo podem interagir com o tecido dos pulmões e aumentar a chance de câncer nesse órgão. Através do corte, polimento e armazenamento de peças de origem rochosa as marmorarias podem estar expondo seus trabalhadores à este risco, uma vez que os materiais sempre possuem traços de minerais radioativos. O *National Council on Radiation Protection & Measurements*, principal órgão internacional regulador deste tipo de radiação, considera como normal as concentrações de radônio em ambientes internos em até 200 Bq/m<sup>3</sup>. O objetivo deste trabalho é avaliar os níveis de concentração de radônio <sup>222</sup>Rn em marmorarias na região de Curitiba-PR. As medidas da concentração do gás Radônio foram realizadas em 7 empresas avaliando-se diferentes ambientes de trabalho. O levantamento foi efetuado por meio de detectores do estado sólido CR-39 e, a partir dos resultados, observou-se que as concentrações se mostraram dentro da normalidade. Concluiu-se ainda que a maioria dos valores ficou abaixo de 100 Bq/m<sup>3</sup> e apenas um caso isolado ficou entre 200 e 400 Bq/m<sup>3</sup>, que poderia indicar a necessidade de ações mitigadoras. Levantamentos como este são fundamentais para garantir a segurança dos trabalhadores expostos à radiação natural e servem como uma contribuição para dados sobre o radônio no Brasil.

**Palavras-chave:** Radônio, Radiação ionizante, Segurança do Trabalho, Marmoraria.

**Abstract:** Radon is a radioactive gas that emanates from rocks and soils and tends to concentrate in enclosed spaces such as underground mines and homes. When radon gas is inhaled, alpha particles emitted by decay can interact with the tissue in the lungs and increase the chance of cancer in that organ. By cutting, polishing and storage parts of rocks, marble factory may be exposing their workers to this risk, once every material always present traces of radioactive minerals. The NCRP, for example, consider as normal indoor concentrations of radon until 200 Bq/m<sup>3</sup>. The aim of this study is to evaluate radon concentration levels of <sup>222</sup>Rn in marble shops in Curitiba-PR region. Measures of radon gas concentration were held in seven companies evaluating different working

<sup>1</sup> Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil - UTFPR

<sup>2</sup> Departamento Acadêmico de Construção Civil - UTFPR

Autor para correspondência: Gustavo Macioski

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Ecoville, R. Dep. Heitor de Alencar Furtado, 5000, Ecoville, Bloco A, Curitiba-PR - 81.280-340 - (41) 3279-4505 - gmacioski@utfpr.edu.br

Recebido em 20 de Janeiro de 2016 / Aceito em 25 de Agosto de 2016.

*environments. The study used solid-state detectors CR-39 and from the results, it was observed that the concentrations were within the normal range. It was observed that most values were below 100 Bq/m<sup>3</sup> and only one isolated case was between 200 and 400 Bq/m<sup>3</sup>, which could indicate the need of mitigating actions. Studies like this are important to ensuring the safety of workers exposed to natural radiation and serve as a contribution to data on radon in Brazil.*

**Keywords:** Radon, Ionizing radiation, Occupational Safety Engineering, Marble.

## 1. INTRODUÇÃO

Em média, metade de toda radiação absorvida por um ser humano, incluindo as naturais e artificiais, é devida ao radônio. Ao ser inalado, o radônio passa a ser um causador potencial do câncer de pulmão (UNSCEAR, 2000). Assim, dentre seus isótopos, o radônio <sup>222</sup>Rn é o mais estudado por apresentar uma meia vida de 3,8 dias, sendo assim capaz de percorrer grandes distâncias entre a fonte de emissão e o aparelho respiratório humano.

O NCRP (1985) limita as concentrações em ambientes internos da seguinte forma: normal até 200 Bq/m<sup>3</sup>, atenção de 200 a 400 Bq/m<sup>3</sup>, remediação de 400 a 600 Bq/m<sup>3</sup>, e intervenção acima de 600 Bq/m<sup>3</sup>. Já a USEPA (2000) sugere prática de intervenção em residência com valores de concentração acima de 148 Bq/m<sup>3</sup>.

Diversos estudos avaliaram a concentração do gás radônio na região de Curitiba: Corrêa (2011) avaliou os níveis de concentração de radônio <sup>222</sup>Rn em residências, postos de trabalho e águas de poços; Del Claro (2013) avaliou os níveis de concentração do gás radônio no ar em postos de trabalho e Fior (2008) estudou a variação da concentração do gás em células teste construídas com materiais de construção originados na região metropolitana de Curitiba.

Diversos autores e documentos de agências internacionais indicam que as maiores concentrações de radônio se encontram no solo, águas subterrâneas e

principalmente em rochas (SMITH e COTHERN, 1987; WILKENING, 1990; WHO, 2009). Deste modo, estudos da concentração de radônio em locais que trabalham com pedras decorativas (granitos, basaltos e mármore) se faz necessária para avaliar a exposição de trabalhadores à esta radiação. Contudo não foi encontrado trabalho técnico apresentando levantamento da concentração de radônio em marmorarias, local que justifica estudo uma vez que é possível que a maior emissão do radônio aconteça durante as operações de corte e polimento das peças de mármore e granito durante os primeiros dias nas marmorarias.

Assim, o objetivo desta pesquisa é avaliar os níveis de concentração de radônio <sup>222</sup>Rn em marmorarias na região de Curitiba, no estado do Paraná, de modo a buscar correlações entre as concentrações de radônio e os locais de trabalho e propor soluções para mitigação com relação aos níveis de concentração de radônio nos postos de trabalho de marmorarias.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. O mercado de rochas ornamentais

As rochas ornamentais, de acordo com Carvalho (2007), podem ser definidas como a matéria-prima de origem mineral utilizada como material de construção com funções essencialmente

decorativas. O setor de rochas ornamentais tem características inerentes a uma indústria tradicional. Trata-se de uma atividade extrativa cujos traços mais marcantes são: o processamento de recursos naturais; a baixa intensidade tecnológica; a reduzida exigência em termos de escala mínima de produção; o caráter exógeno da inovação tecnológica, pois ela costuma vir incorporada nos equipamentos; e o fato da capacidade empreendedora do dirigente ser um fator crítico para a competitividade (SPÍNOLA *et al.*, 2004). A Figura 1 apresenta as principais etapas da indústria de rochas.

É possível observar que provavelmente a maior emissão de gás radônio ocorre nas primeiras etapas de

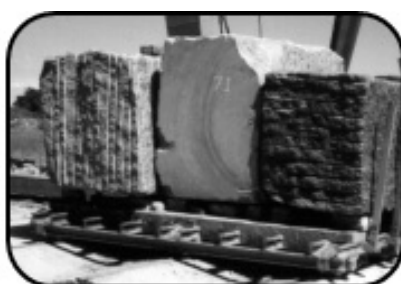
extração da matéria prima ou ainda durante o corte das placas (desdobramento). Contudo as indústrias presentes na região do Paraná de extração e desdobramento não permitiram o levantamento de radônio nestas etapas. Assim o foco deste estudo foi na etapa de beneficiamento do material.

Segundo últimos dados levantados dados pela MINEROPAR (2003), a participação média anual da Região Metropolitana de Curitiba (RMC) na produção mineral paranaense no período de 1995 a 2000 ficou em 57% do valor da produção (R\$ 75 milhões) do total do estado.



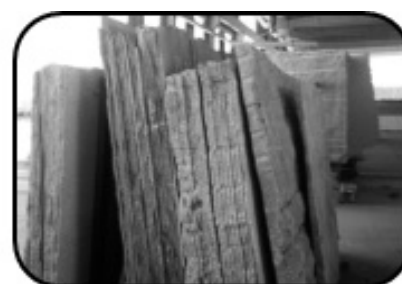
**Extração**

- Pedreira
- Jazida



**Desdobramento**

- Serraria



**Beneficiamento**

- Marmoraria

Figura 1: Etapas produtivas da indústria de mineração.

Fonte: Adaptado de Spínola *et al.* (2004)

## 2.2. O gás Radônio ( ${}_{222}\text{Rn}$ )

O gás Radônio ( ${}_{222}\text{Rn}$ ) distribuído no solo e rochas da crosta terrestre, podem liberar gás para os capilares e poros de forma a atingir níveis da ordem de 1000 vezes maior do que o ar exterior normal (WILKENING, 1990). Segundo o mesmo autor, materiais de construção refletem concentrações de suas fontes da crosta terrestre podendo atingir 70 Bq/kg em concretos e tijolos. Quando o gás radônio é inalado, as partículas alfa - emitidas por produtos de decaimento de radônio - podem interagir com o tecido

biológico nos pulmões e conduzir a danos no DNA (PETTA e DA COSTA CAMPOS, 2014).

Assim, é de grande importância realiza levantamento das quantidades de radiação emitidas por minerais, em especial, pedras decorativas; bem como elaborar estimativas da emissão de radônio em ambientes devido à estas radiações (AHN e LEE, 2005; ANJOS *et al.*, 2011; MAROCCHI *et al.*, 2011; AZEVEDO *et al.*, 2014).

Anjos *et al.* (2011), por sua vez,



avaliaram a concentração de radônio em uma sala de (5,0 x 4,0 x 2,8) m com baixa ventilação (0,1 renovação de ar por hora) revestida com diferentes granitos nas paredes e piso. A Figura 2 apresenta as concentrações de radônio encontradas a partir de diferentes rochas.

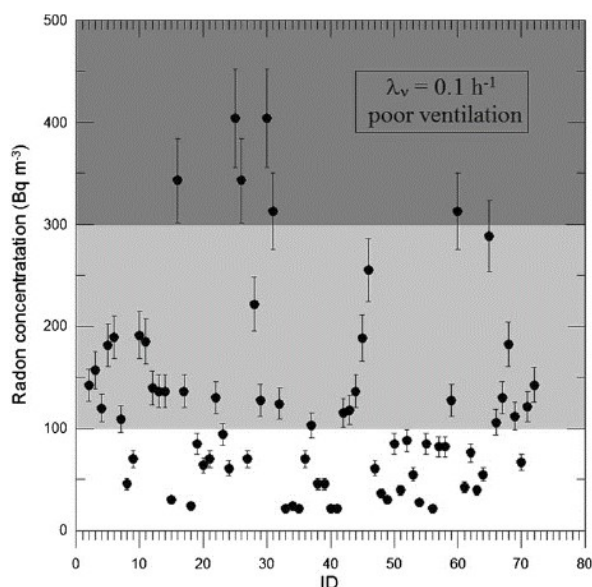


Figura 2: Concentrações de radônio em ambientes com pedras decorativas.

Fonte: Anjos et al. (2011)

Com os resultados apresentados na Figura 2 os autores concluíram que em um ambiente mal ventilado, 49% dos granitos brasileiros apresentam concentrações de radônio inferiores a 100 Bq/m<sup>3</sup>, 42% irá apresentar valores entre 100 e 300 Bq/m<sup>3</sup>, e apenas 9% irá apresentar valores acima de 300 Bq/m<sup>3</sup>. Assim mesmo rochas com baixa emissão, conforme verificado por Ahn e Lee (2005), pode causar altas concentrações de radônio em um local com baixa ventilação.

Também está sendo definida uma nova legislação que estabelece que todas as substâncias químicas exportadas para a União Européia, comercializadas como tal ou como componentes de preparações e de artigos, devem se enquadrar nas suas regras (IBRAM, 2008). Esta legislação aplica-se ao setor de rochas

ornamentais, quando seus produtos são tratados com resinas (principalmente de polimento) e hidro-óleo-repelentes, ou quando se utilizam embalagens plásticas ou de madeira tratada.

Neste sentido, muitas rochas e placas provenientes de minerais, por exemplo, são exportadas como material de construção e ao entrar nos outros países – por falta de controle do produto – o mesmo passa a ser classificadas como material radioativo pela alta concentração de minerais que emitem radiação natural.

### 2.3. Segurança do trabalho em marmorarias

Os estudos e levantamento de riscos em marmorarias se concentram basicamente em medidas de luminância, temperatura, ergonomia e principalmente ruído e qualidade do ar (TAVARES et al., 2000; SANTOS et al., 2007; MACHADO et al., 2012).

Os dados do Ministério da Previdência Social sobre a quantidade de acidentes do trabalho, por situação do registro, segundo a Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE), no estado do Paraná entre 1999 e 2012 são apresentados na Figura 3. Os dados dos anos de 2013 a 2015 não foram divulgados ainda.

Os dados da Figura 3 referem-se aos acidentes com e sem CAT, registrados na fabricação de produtos de minerais não-metálicos que incluem a aparelhamento de placas e execução de trabalhos em mármore, granito, ardósia e outras pedras. A partir dos dados é possível observar um aumento dos registros de acidente e que o estado do Paraná possui uma baixa contribuição para os valores totais. Cabe ainda destacar que a maior parte dos acidentes de trabalho neste setor estão relacionados a agentes físicos.

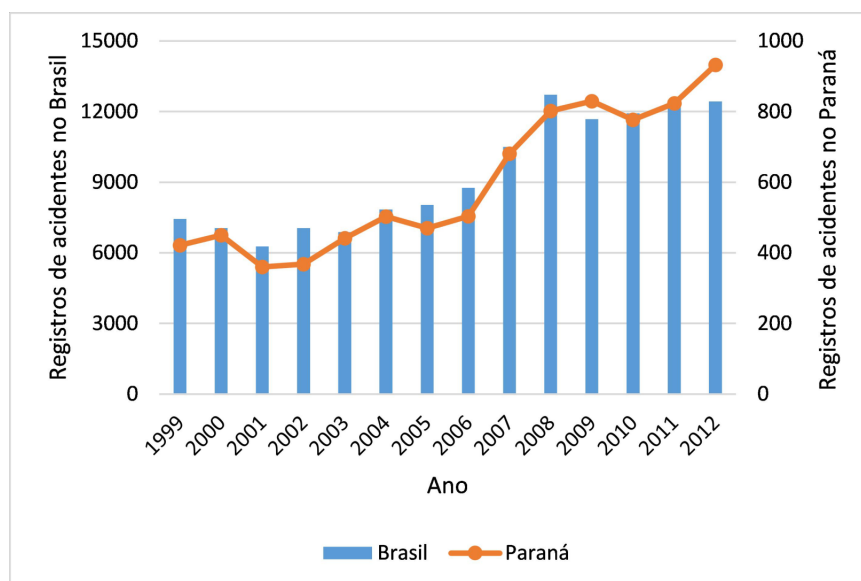


Figura 3: Registros de acidente de trabalho na área de produção de granito.

Fonte: Adaptado de Brasil (2015)

Ainda segundo dados do Ministério da Previdência Social, 7% da incidência dos diferentes tipos de neoplasias (tumores) malignas registrados como acidente de trabalho entre os anos de 1999 e 2012 no Brasil são ligados ao aparelho respiratório. Registros de acidente relacionados à incidência de câncer de pulmão seriam o único indicador possível para avaliar a influência do radônio, uma vez que este seria o principal sintoma nos trabalhadores da área de mineração, contudo, a previdência social não disponibiliza registros de neoplasia relacionados às atividades econômicas.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Ambientes estudados

As medidas de concentração de radônio foram restritas à sete marmorarias da região de Curitiba, através da avaliação de diferentes ambientes. A Tabela 1 apresenta os ambientes analisados e a quantidade de detectores utilizados nas medidas. É possível observar ainda que foi realizada

a instalação de 4 detectores como background – para correção dos traços já registrados até o início das medições.

#### 3.2 Medidas da concentração de radônio

A realização das medidas de radônio foi feita através de detectores do estado sólido SSNTD (*Solid State Nuclear Track Detectors*), colocados em câmaras de difusão.

Os detectores são compostos de uma câmara de difusão, filtro, detector CR-39 e tampa. A câmara é feita com fibra de carbono na forma de semi-esfera com 3 cm de diâmetro com uma tampa vazada para a passagem de ar. O CR-39, de acordo com Corrêa (2011) e Ferreira (2013), é um detector da família dos SSNTD, sensível à radiação alfa, e foi escolhido devido a diversos fatores que incluem sua boa sensibilidade, estabilidade e alto grau de transparência óptica. O conjunto desmontado pode ser observado na Figura 4.

Tabela 1: Postos de trabalho analisados e suas atividades.

Área	Descrição	Medidores
Corte	Área equipada com uma serra diamantada para corte de peças de mármore e granitos com uso de água corrente para redução de partículas finas no ar.	7
Acabamento	Área destinada ao polimento de peças e montagem de elementos em pedra, sem sistema de contenção de partículas finas. Uso de produtos químicos na colagem e polimento de peças.	13
Depósito	Região onde placas recém cortadas permanecem armazenadas após confecção até envio para clientes.	7
Escritório	Área destinada a administração das empresas, usualmente utilizada como showroom com peças de granito como amostras.	9
Background	Medidores destinados à calibração das medidas, acompanhados durante a instalação dos sensores e mantidos em ambiente controlado.	4
TOTAL		40

Fonte: Autor (2016)



Figura 4: Câmara de difusão e detector CR-39.

Os detectores foram fixados nos diferentes ambientes afastados do piso e, sempre que possível, afastados de paredes e na altura das vias aéreas de um adulto durante o tempo de exposição de 145 dias (ou 4,8 meses). A Figura 5 apresenta um detector antes e depois da exposição.

Observa-se, na Figura 5, a existência de grande quantidade de pó gerada durante os processos de corte e polimento, que poderiam aumentar a emissão de radônio durante esses processos.

O processo de revelação dos traços dos detectores CR-39 foi baseado na metodologia desenvolvida por Ahn e Lee (2005) e adaptada por Corrêa (2011) para detectores CR-39 que consiste em um banho químico em solução de 6M de NaOH, a 70°C, por 14 horas. Após revelação, foi realizada a contagem dos traços – semelhante ao observado por Corrêa (2011) na Figura 6 - em um microscópio ótico com aumento de 100 vezes, com o auxílio de um contador automático, em uma área preparada pelo fabricante de 1cm<sup>2</sup>.



Figura 5: Câmaras com detectores CR-39 antes e após exposição.

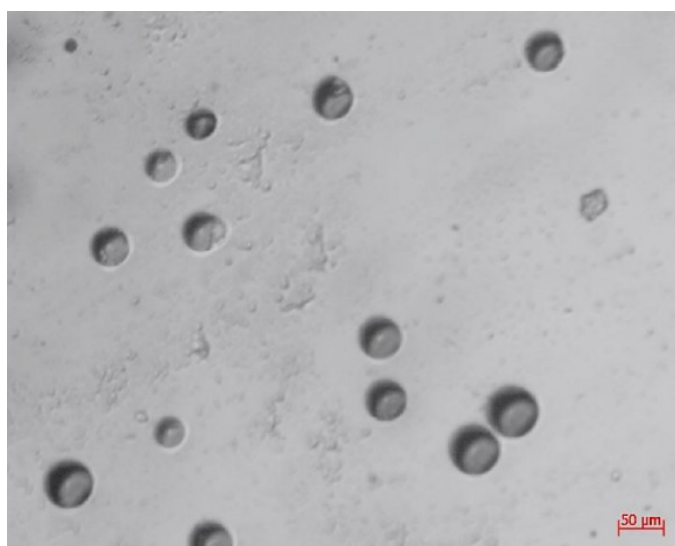


Figura 6: Imagem microscópica de traços presentes no detector CR-39.

Fonte: Corrêa (2011)

O processo de análise dos dados foi realizado com base em uma equação de calibração elaborada pelo laboratório de radiações da UTFPR com base em exposições realizadas em um ambiente controlado. O resultado desta calibração resultou na Equação 1. Antes do cálculo da concentração foram descontados os traços medidos nos detectores de background.

$$C = (405 \pm 30) \cdot n \quad (1)$$

Sendo:

C = Concentração de radônio ( $\text{Bq}/\text{m}^3$ )  
 n = Número de traços/hora de exposição em  $1\text{cm}^2$  do detector ( $\text{Bq}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{h}/\text{m}^3$ )

### 3.3 Análise estatística

Foi realizada a análise para exclusão de dados espúrios pelo critério de rejeição de Chauvenet. A análise dos resultados consistiu em testes paramétricos tradicionais baseado no intervalo de confiança da distribuição t-student. Os dados também foram tratados seguindo a teoria dos erros e o método de propagação de erros.

## 4. RESULTADOS

A seguir são apresentados os resultados obtidos nas diferentes medidas realizadas de concentração de radônio em marmorarias, bem como a análise da influência do ambiente e das



empresas nos resultados.

Com base nos parâmetros da Equação 1 de calibração do detector, calculou-se as concentrações de  $^{222}\text{Rn}$  nos detectores expostos nas marmorarias. A Tabela 2 apresenta as concentrações nos ambientes após descontar a densidade de traços do background

(14 traços lidos em  $1\text{cm}^2$ ).

A partir dos dados corrigidos da Tabela 2 foi possível elaborar um histograma com as frequências de resultados sem dados espúrios, como apresentado na Figura 7. A concentração dos ambientes foi em média de  $15,5 \pm 4,6 \text{ Bq/m}^3$ .

Tabela 2: Medidas de concentração nas marmorarias.

Empresa	Local	Densidade de traços (nº de traços / $\text{cm}^2$ )	Tempo de exposição (dias)	Concentração ( $\text{Bq/m}^3$ )	Erro ( $\text{Bq/m}^3$ )
A	Acabamento	64	140	7,72	0,57
A	Acabamento	69	140	8,32	0,62
A	Depósito	82	140	9,89	0,73
A	Escritório	110	140	13,27	0,98
A	Corte	173	140	20,8	1,5
B	Acabamento	80	145	9,31	0,69
B	Acabamento	66	145	7,68	0,57
B	Corte	72	145	8,38	0,62
B	Depósito	119	145	13,8	1,0
B	Escritório	148	145	17,2	1,2
C	Acabamento	128	145	14,9	1,1
C	Corte	144	145	16,7	1,2
C	Escritório	161	145	18,7	1,3
C	Acabamento	175	145	20,3	1,5
C	Depósito	189	145	22,0	1,6
C	Acabamento	249	145	28,9	2,1
D	Escritório	85	140	10,24	0,76
D	Escritório	88	140	10,61	0,79
D	Acabamento	127	140	15,3	1,1
D	Depósito	134	140	16,1	1,2
D	Corte	141	140	16,9	1,2
E	Escritório	79	137	9,73	0,72
E	Depósito	118	137	14,5	1,0
E	Acabamento	173	137	21,3	1,5
E	Escritório	196	137	24,1	1,7
E	Corte	225	137	27,7	2,0
F	Depósito	97	145	11,30	0,84
F	Escritório	147	145	17,1	1,2
F	Acabamento	151	145	17,5	1,3
F	Acabamento	168	145	19,5	1,4
F	Corte	272	145	31,6	2,3
G	Escritório	73	145	8,50	0,63
G	Acabamento	158	145	18,3	1,3
G	Acabamento	163	145	18,9	1,4
G	Corte	254	145	29,5	2,1
G*	Depósito*	3122*	145*	363*	27*

\* Dado espúrio por critério de rejeição de Chauvenet

Fonte: Autor (2016)



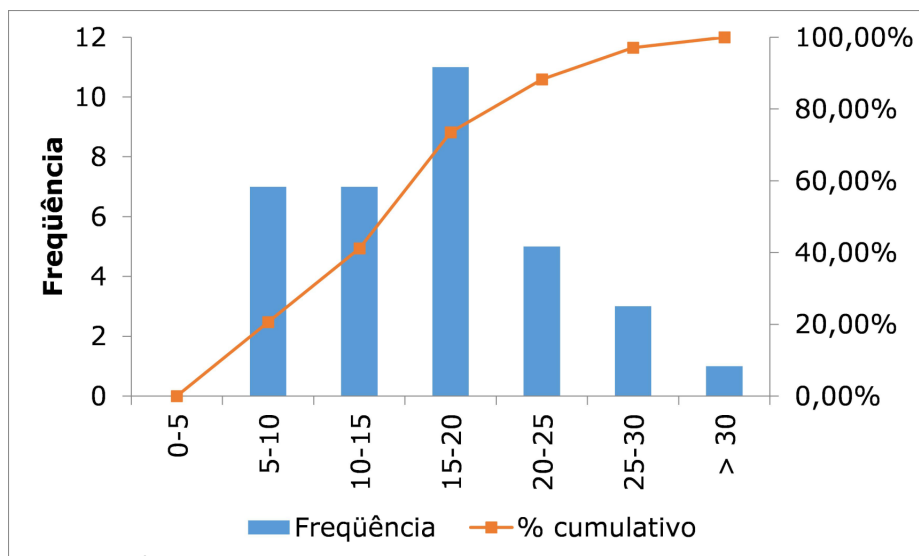


Figura 7: Histograma de frequências das medidas de concentração.

Nota-se que os dados se comportam como distribuição normal e seus valores em médias se encontram na faixa considerada segura para a saúde humana.

#### 4.1 Concentração por grupo de interesse

A seguir, na Figura 8, serão apresentados os resultados da concentração de radônio por empresa estudada.

A partir dos resultados apresentados na Figura 8 é possível observar que em média as concentrações variaram entre  $11,29 \pm 2,01$  e  $20,3 \pm 2,5$  Bq/m<sup>3</sup>. Os valores encontrados estão abaixo do nível de 200 Bq/m<sup>3</sup> considerado normal pela NCRP (1985). Da mesma forma, a Figura 9 apresenta a análise dos resultados de concentração por ambiente.

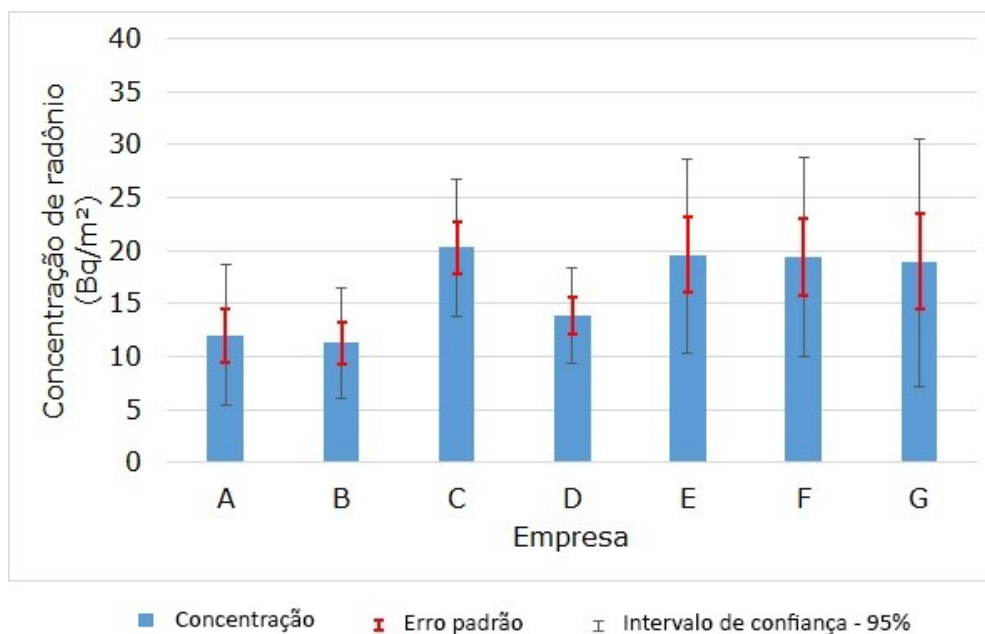


Figura 8: Concentração de radônio por empresa.

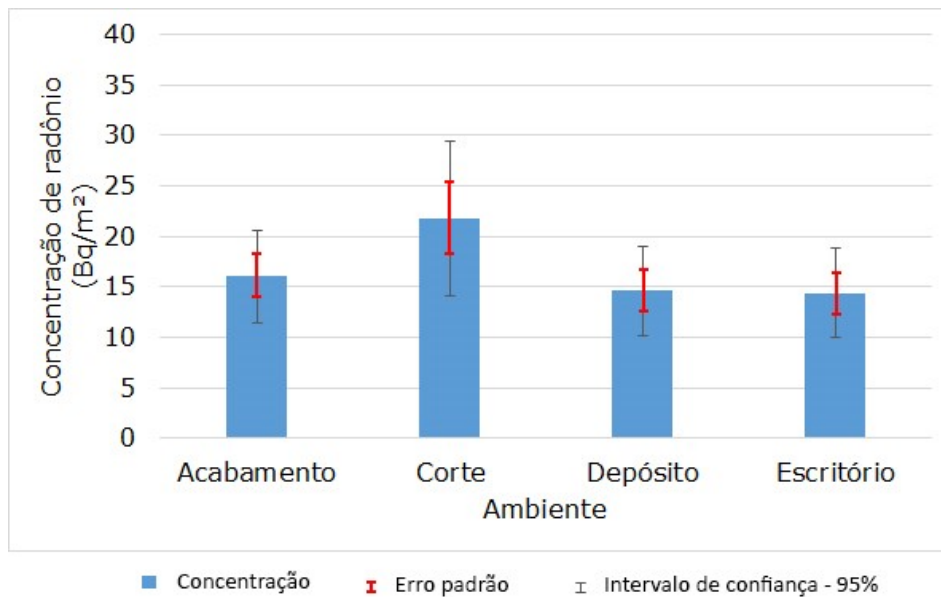


Figura 9: Concentração de radônio por ambiente.

Para os resultados por ambiente (Figura 9), os valores de concentração variaram entre  $14,40 \pm 2,04$  e  $21,7 \pm 3,5$  Bq/m<sup>3</sup>. Após realizada análise por intervalo de confiança para um nível de significância de 5% em distribuição t de *student*, não foi possível afirmar que ocorreram diferenças significativas nos resultados agrupados por empresa ou por ambiente monitorado. Mas é possível observar uma tendência de valores superiores na área de corte. Portanto, a um nível de significância de 5% (ou grau de confiança de 95%), não existe efeito significativo da empresa analisada ou do ambiente nos resultados de concentração.

#### 4.2 Ações mitigadoras

A seguir serão esclarecidos alguns fatores que poderiam influenciar na mitigação do gás radônio nas marmorarias e a melhor forma de reduzir a concentração deste gás nos ambientes, garantindo, assim, a saúde dos trabalhadores.

Nos resultados apresentados na Tabela 2 foi encontrado um valor para

medida de concentração de radônio de 364 Bq/m<sup>3</sup> que foi considerado como dado espúrio para as análises. Contudo, este valor foi de fato registrado durante o período de ensaios e a concentração pode classificar o ambiente como nível de “atenção” - de acordo com o NCRP (1985), no qual já seria necessária a adoção de práticas que possam reduzir a concentração do gás. Assim, por este estudo ser sido realizado em uma quantidade reduzida de marmorarias é possível que ocorram registros de alta concentração do gás radônio em outras empresas.

Suspeita-se que este valor medido esteja relacionado à uma placa recém cortada, com presença de minerais radioativos, que permaneceu por alguns dias no depósito (local medido) permitindo que o detector CR-39 registrasse os traços do gás radônio. Desta forma, se faz necessário sugerir ações de mitigação em marmorarias para que a concentração deste gás seja reduzida e não possa gerar um risco aos trabalhadores.

Inicialmente, vale ressaltar existem alguns métodos de mitigação do radônio

que consistem no armazenamento do ar ou da água que apresenta alguns traços deste gás por um período de tempo. Assim a quantidade de radônio seria reduzido ao longo do tempo, uma vez que o material radioativo sofreria decaimento de acordo com sua meia vida até que a concentração do gás se tornasse aceitável. Contudo, esta técnica não é válida para locais onde o mineral radioativo se encontra, como é o caso das rochas em marmorarias, uma vez que, mesmo com o decaimento do radônio, sempre haveria mais geração de radônio pelo decaimento dos outros elementos radioativos das séries  $^{238}\text{U}$ ránio,  $^{235}\text{U}$ ránio e  $^{232}\text{T}$ ório.

Portanto, a única forma de reduzir a concentração do gás radônio nos ambientes seria garantir uma boa ventilação dos postos de trabalho. O método mais barato que poderia ser aplicado seria garantir a ventilação natural. Novas instalações poderiam prever ventilação cruzada e fluxos forçados de correntes no ambiente, simulando uma exaustão natural do ar dentro da indústria. Outra opção para as empresas é a instalação de equipamentos de exaustão de ar e de ventilação forçada, em especial no caso de ambientes pequenos e com baixa ventilação.

Indica-se que após a melhoria da circulação de ar seja realizado um monitoramento periódico dos ambientes, garantindo assim uma concentração aceitável do gás. Outra prática aconselhável seria manter a menor quantidade possível de rochas nos postos de trabalho ou em ambientes em que ocorra a permanência dos trabalhadores.

Mais uma das medidas que poderiam auxiliar no controle dos materiais radioativos presente em pedras ornamentais em marmorarias seria a obrigatoriedade dos fornecedores

realizarem um controle da composição mineralógica das jazidas antes da extração. Desta forma, as empresas que adquirirem este material já estariam cientes da presença de minerais radioativos e poderiam tomar medidas preventivas ou evitar a compra deste tipo de material. Esta medida facilitaria ainda a exportação deste tipo de produto para países que já realizam este tipo de controle.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados apresentados, com relação à exposição ao radônio Rn em marmorarias da região de Curitiba, as concentrações mostraram-se dentro da normalidade, com a maioria dos valores abaixo de  $100 \text{ Bq/m}^3$  e apenas um caso isolado entre 200 e  $400 \text{ Bq/m}^3$ , que poderia indicar a necessidade de ações mitigadoras.

De uma forma geral a metodologia adotada se apresentou efetiva para avaliar os ambientes com pouco impacto nas atividades desenvolvidas. Também não houve uma correlação estatisticamente significativa entre os ambientes de trabalho e as concentrações do gás, diferentemente do esperado.

Com relação às sugestões para trabalhos futuros sugere-se aprofundar o estudo da emissão de radônio em marmorarias com um controle nas etapas de extração e desdobramento das rochas, bem como análise da microestrutura e composição química das mesmas.

Há também sugestões para o desenvolvimento de um banco de dados que permita a estimativa da emissão de gás radônio a partir de materiais de construção bem como estudos da permeabilidade deste gás ou das radiações através dos materiais permitindo, assim, estimar o tempo de

emissão do radônio e a quantidade recebida por usuários dos ambientes.

## REFERÊNCIAS

- AHN, G. H.; LEE, J.-K. Construction of an environmental radon monitoring system using cr-39 nuclear track detectors. *Nuclear Engineering and Technology*, v. 37, n. 4, p. 395–400, 2005. Korean Nuclear Society. Disponível em: <[http://www.koreascience.or.kr/article/ArticleFullRecord.jsp?cn=OJRHBJ\\_2005\\_v37n4\\_395](http://www.koreascience.or.kr/article/ArticleFullRecord.jsp?cn=OJRHBJ_2005_v37n4_395)>. Acesso em: 11/7/2015.
- ANJOS, R. M.; JURI AYUB, J.; CID, A. S.; CARDOSO, R.; LACERDA, T. External gamma-ray dose rate and radon concentration in indoor environments covered with brazilian granites. *Journal of Environmental Radioactivity*, v. 102, n. 11, p. 1055–1061, 2011. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvrad.2011.06.001>>.
- AZEVEDO, L. R. P., ARTUR, A. C., BONOTTO, D. M., & NETO, J. D. A. N. Correlação entre emissão de gás radônio e porosidade de rochas ornamentais do Estado do Ceará, Brasil. *Revista de Geologia*, 27(1), 2014.
- BRASIL, M. DA PREVIDÊNCIA SOCIAL. Base de dados históricos de acidente de trabalho. Disponível em: <<http://www3.dataprev.gov.br/aeat/>>. Acesso em: 22/7/2015.
- CARVALHO, J. Rochas Ornamentais, Pedras Naturais ou Pedras Dimensionais? *Boletim de Minas* 42, v. 42, n. 2, p. 157–159, 2007.
- CORREIA, J. N. Avaliação dos níveis de concentração de radônio em ambientes e águas de poços no Estado do Paraná. Tese. CPGEI, 2011. Disponível em: <[http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/\\_Public/43/066/43066319.pdf](http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/43/066/43066319.pdf)>.
- Acesso em: 11/7/2015.
- DEL CLARO, F. Avaliação da concentração de radônio-222 no ar de postos de trabalho de Curitiba/PR. Dissertação de mestrado. CPGEI, 2013.
- FERREIRA, A.D.O. Avaliação da radioatividade natural em algumas rochas graníticas do estado do Paraná e sua utilização na construção civil. Tese de doutorado, 2013.
- FIOR, L. Análise da concentração de radônio proveniente dos materiais de construção. Dissertação de mestrado, 2008.
- IBRAM. REACH: política de controle de substâncias químicas da UE impõe restrições para exportações. *Indústria da mineração. Revista.*, n. Ano III. n° 19, 2008.
- MACHADO, E.O.; ALMEIDA, A.R.S.; GALVÃO, R. O.; DILVA, M. T. C. A importância dos EPIs para segurança do trabalhador em marmorarias do centro de São Gonçalo. Trabalho de conclusão de curso, n. 6, 2012.
- MAROCCHI, M.; RIGHI, S.; MARIA BARGOSI, G.; GASPAROTTO, G. Natural radionuclides content and radiological hazard of commercial ornamental stones: An integrated radiometric and mineralogical-petrographic study. *Radiation Measurements*, v. 46, n. 5, p. 538–545, 2011. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.radmeas.2011.03.017>>.
- MINEROPAR. Perfil dos insumos minerais no Paraná. *Relatórios Panorama de produção mineral no Paraná*, 2003.
- NCRP. Evaluation of Occupational and to Radon and ad on Daughters in the United States. 1985.
- PETTA, R. A.; DA COSTA CAMPOS, T. F. O gás radônio e suas implicações para a saúde pública. *Revista de Geologia*, v. 26, n. 02, 2013.



- SANTOS, A. M. D. A.; CANÇADO, R. Z. L.; ANJOS, R. M. DOS; AMARAL, N. C. DO; LIMA, L. C. A. Características da exposição ocupacional a poeiras em marmorarias da cidade de São Paulo. *Revista Brasileira de Saúde Ocupacional*, v. 32, n. 116, p. 11–23, 2007.
- SMITH, J.; COTHERN, R. *Environmental Radon*. 1987.
- SPÍNOLA, V.; GUERREIRO, L. F.; BAZAN, R. *A Indústria De Rochas Ornamentais. Relatório da agência de fomento do estado da Bahia*, 2004.
- TAVARES, J. C. F.; MASCULO, F. S.; SILVA, F. DE A. G. Condições de trabalho em marmorarias: um estudo de caso. *Nacional de engenharia de produção. Anais do encontro*, 2000.
- UNSCEAR. Report of the united nations scientific committee on the effects of atomic radiation. *American journal of human genetics*, v. 22, n. 5, p. 600–601, 2000.
- USEPA. *Protocols for Radon and Radon Decay Product Measurements in Homes*. , p. 1–47, 1993.
- WILKENING, M. *Radon in the Environment. Studies in Environmental science* 40. Elsevier, 1990.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Who Handbook on Indoor Radon*. , p. 110, 2009. Disponível em: <<http://apps.who.int/bookorders/anglais/detart1.jsp?sesslan=1&codlan=1&codcol=15&codcch=763>>.