



## Proposta de mitigação para radônio em água de poço da região do Pinheirinho em Curitiba/PR

S.A. Paschuk, J.N. Corrêa, J. Kappke, K.C. Mafra, F. Del Claro, A.F.N.Perna, M. Reque, L. Barbosa, A.L. Lara, C.A.M.P. Torres, A.C.França

Recebido em 12 de setembro de 2013/ Aceito em 19 de fevereiro de 2014

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) - Curitiba, PR – Brasil - Autora para correspondência [janine\\_nicolosi@hotmail.com](mailto:janine_nicolosi@hotmail.com), [janine@utfpr.edu.br](mailto:janine@utfpr.edu.br)

### Resumo

O presente trabalho apresenta uma proposta de mitigação de  $^{222}\text{Rn}$ , utilizando o processo de aeração e análise da concentração de radônio em águas de poço. Foram analisadas 10 amostras de água coletadas em poço na região do Pinheirinho, em Curitiba - PR. As medidas foram obtidas com o Equipamento AlphaGUARD (SAPHYMO), aparelho que verifica a concentração de radônio na faixa de  $2 - 2 \times 10^6$  Bq/L. Os níveis de concentração de  $^{222}\text{Rn}$  foram medidos através e calculados a partir de formulações adequadas que caracterizaram a concentração desse gás em água, corrigindo o tempo de decaimento devido ao atraso da coleta das amostras em relação às medições. O método de mitigação utilizado foi o chamado Aeração Difusora, na qual ocorre a gaseificação da água em um processo de injeção de ar por um aerador conectado em uma placa porosa durante o período de 4 dias. Inicialmente as amostras apresentaram concentrações de  $^{222}\text{Rn}$  de aproximadamente 40 Bq/L, nível acima de 11,11 Bq/L recomendado pela USEPA (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos). Após aplicar a medida de mitigação nessas amostras de água, as concentrações de  $^{222}\text{Rn}$  diminuíram satisfatoriamente e ficaram abaixo do valor esperado pelo decaimento natural do gás.

Palavras-chave: Radônio, Mitigação, Aeração Difusora.

### Abstract

*This paper presents a proposal for mitigation of  $^{222}\text{Rn}$  using the process of aeration of the water and analyzing the concentration of radon in well water. It was analysed 10 samples of well water collected in the region of Pinheirinho in Curitiba, Paraná St. Measurements were performed using with the Professional Radon Monitor AlphaGUARD (SAPHYMO), that provides radon measurements in the range of  $2 - 2 \times 10^6$  Bq/L. The concentration levels of  $^{222}\text{Rn}$  were measured by appropriate formulations considering the decay time due the delay in collecting the samples and the measurements. The method used was the mitigation of aeration, called Diffusion Aeration. The process of degassing occurs by injecting air through an aerator connected to a porous plate during the four days. The samples showed concentrations of  $^{222}\text{Rn}$  approximately 40 Bq/L, value that is above 11.11 Bq/L recommended by the USEPA (Environmental Protection Agency of the United States). After applying the mitigation procedure*

*Paschuk et al Proposta de mitigação para radônio em água de poço da região do Pinheirinho... in the water samples, the concentrations of  $^{222}\text{Rn}$  decreased to a level lower than expected by the natural decay of the gas.*

*Keywords: Radon. Mitigation. Aeration Diffuser.*

## INTRODUÇÃO

Uma das maiores contribuições da radiação natural se dá pela exposição ao radônio  $^{222}\text{Rn}$  e seus filhos, recebidos diretamente e diariamente pelos seres humanos. O  $^{222}\text{Rn}$  é um gás natural, incolor, inerte e radioativo, com meia-vida de 3,82 dias, proveniente do decaimento da série do urânio  $^{238}\text{U}$  e filho direto do rádio  $^{226}\text{Ra}$  (UNSCEAR, 2000; BUSHONG, 2001).

O radônio é responsável por 55% da radiação natural e os outros 45% advém de diversas radiações, como: raios cósmicos (8%); radiação terrestre (8%); radiação interna (11%); Raios X (11%); medicina nuclear (4%); usinas nucleares (1%) e outros produtos (1%) (UNSCEAR, 2000; BUSHONG, 2001).

Uma das características do radônio é ser um gás pesado, o que faz com que se acumule no subsolo e lençóis freáticos. Consegue emanar por rachaduras, fissuras e porosidades do solo para a atmosfera e se alojar em diversas construções como residências, prédios, escolas e minas subterrâneas.

O  $^{222}\text{Rn}$  encontrado em águas potáveis pode causar exposição pela inalação do gás liberado. Quando inalado, passa rapidamente aos pulmões e desse modo ao decair, emite partículas alfa e seus filhos de meia-vida curta contribuem para que seja considerado a segunda principal causa de câncer de pulmão (EPA, 1999).

Os limites estabelecidos pela Comissão Internacional de Proteção Radiológica para o  $^{222}\text{Rn}$  entre 0,04 e 204,9 Bq/L (BONOTTO, 2004).

Com relação às orientações, após a realização de medidas de nível de radônio em

água, se houver necessidade de mitigação, poderão ser utilizadas medidas como: a utilização de um filtro de carvão ativado granular (GAC), e um dispositivo de aeração. O GAC tem menor custo se comparado ao método da aeração, no entanto o problema é a manipulação, coleta e armazenagem desse filtro, já que ele é um material que vai absorver o radônio e, portanto manter sua emissão radioativa (EPA, 1999).

A aeração é um processo em que o ar e água ficam em estreito contato entre si, para a transferência de componentes indesejáveis da água para o ar, como alguma matéria orgânica natural e, portanto melhorar o tratamento da água. Esse método é utilizado para aumentar a velocidade do processo natural, para que ocorra equilíbrio entre substâncias voláteis, dissolvidas na água (EPA, 1999).

Vários tipos de equipamento de aeração são fabricados. Todos eles beneficiam o mesmo princípio físico: troca gasosa. E são muito capazes de reduzir as concentrações muito altas de Radônio em água potável para níveis aceitáveis (ANNANMÄKI, *et al.*, 2000).

Dentro do processo de aeração podem ser utilizados alguns métodos para redução do gás. Alguns métodos descritos na literatura (CLS, 1999; EPA, 1999, DRAGO, 1998), são resumidos a seguir.

### **Pacotes de Torre de Aeração**

Esse método é utilizado para remover gases voláteis indesejáveis da água e a introdução de gases, principalmente de oxigênio, na água. A água flui para baixo do alto de uma torre, em média de 3 a 9 metros de altura, assim escorrendo através de embalagem plástica ao mesmo tempo,

*Paschuk et al Proposta de mitigação para radônio em água de poço da região do Pinheirinho...*

um fluxo de ar é bombeado sobre a água, portanto ocorre uma eficiente transferência de massa, que proporciona um contato contínuo e profundo do líquido com o gás que minimiza a espessura da camada de água na embalagem.

Essa água é armazenada em um reservatório logo abaixo da Torre e bombeada para um tanque ou direcionada diretamente para a distribuição e consumo, e o radônio sai para atmosfera através de um orifício no alto da torre. Contudo ocorre a redução do radônio com esse método de fluxo contra a corrente.

### **Spray de Aeração**

Nesse método o fluxo de água é transformado em gotículas quando a água é forçada a sair por um bocal, essas gotículas são pulverizadas em varias direções. Assim são facilmente adaptadas em tanques de armazenamento, reduzindo a concentração de radônio.

### **Jato de Aeração**

Método utilizado em pequenos tanques de armazenamento de água. A água é bombeada através de um dispositivo, como um jato ejetor que aspira o ar para dentro da água. O radônio é liberado e a água tratada é armazenada em outro tanque. Esse processo deve ser repetido varias vezes para a remoção do radônio ser elevada.

### **Pressão de Aeração**

O ar é injetado em uma câmara pressurizada, assim o gás é liberado quando a água é mantida em pressão atmosférica. Esse método é utilizado em situações especiais, pois a energia necessária para injetar o ar pode ser muito alta.

### **Aeração Difusora**

O sistema de Aeração Difusora é o

método em que o ar é injetado na água através de bolhas, por meios de difusores submersos ou placas porosas. Quando o reservatório apresenta uma maior área de superfície por unidade de volume, ocorre uma maior transferência de massa.

As bolhas de ar produzidas pela aeração difusora através da água, criam turbulências e fornecendo uma oportunidade para a transferência de materiais voláteis como o radônio. A transferência do gás geralmente pode melhorar quando a profundidade do recipiente for maior, produzindo pequenas bolhas.

Os difusores de ar podem ser colocados ao lado do tanque para induzir turbulência e ajudar na transferência de gás. Quando utilizadas placas porosas, essas devem ficar localizadas na parte inferior do recipiente. Se forem usados tubos perfurados, esses podem ser suspensos a metade da profundidade do recipiente, para reduzir a compressão.

O radônio é reduzido dessa água quando o gás penetra nas bolhas e sobe para superfície sendo expelido para fora da unidade. Esse método pode chegar a 90% na redução do radônio (CLS, 1999; EPA, 1999).

O método de Difusão apresenta uma menor área interfacial de transferência de massa, mas, no entanto há um maior contato do líquido com o ar em um maior tempo, comparado com o do método de Pacotes de Torre de Aeração (DRAGO, 1998).

Assim, este trabalho foi motivado pelo interesse em analisar a concentração de radônio em um local onde a água de poço é a principal fonte de uso e em fazer uma proposta de mitigação no caso de concentrações acima dos limites estabelecidos.

## **METODOLOGIA**

Em medidas realizadas desde 2010, pelo Laboratório de Radiações Ionizantes da

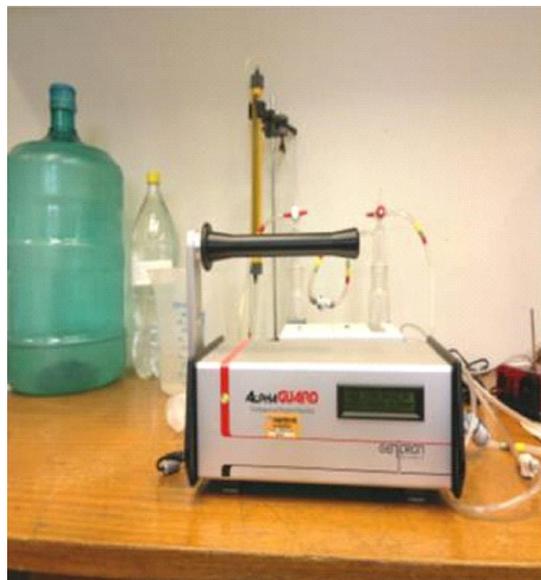
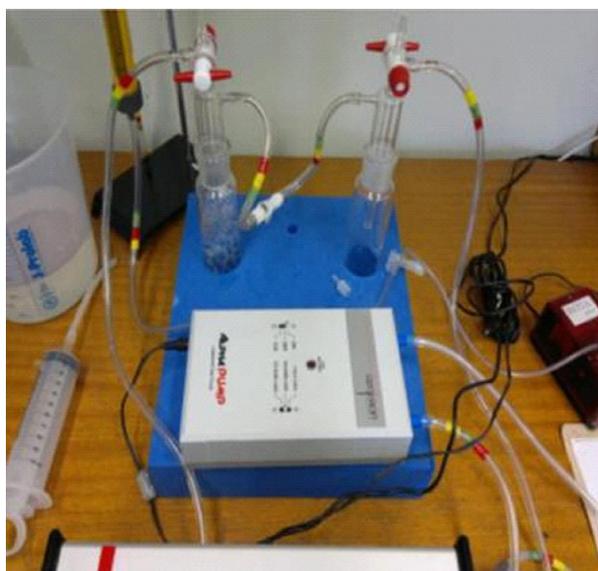
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), na análise da concentração de radônio em poços de Curitiba e Região Metropolitana, foram encontrados dados significativamente altos. Assim devido a importância deste fato, foi escolhido um dos locais onde as concentrações encontradas foram significativas para se fazer e testar uma proposta de mitigação.

Para avaliar as concentrações desse gás, foram realizadas medidas em as águas de poço de um dos locais pesquisados anteriormente pela UTFPR, com o monitor AlphaGUARD (SAPHYMO).

### Medidas das amostras de água

As amostras de água subterrânea foram coletadas de um poço que usa uma bomba para levar a água do fundo até a superfície para um registro de saída. Para a coleta das amostras, o registro foi aberto para deixar a água fluir por cinco minutos, tempo necessário para que se tenha certeza que a água coletada seja do fundo e não a que esteja nas tubulações.

A água foi armazenada em galões de 20 litros, preenchidos totalmente e evitando-se ao máximo a movimentação das amostras. Durante todo o processo foi verificado se havia a presença de ar no interior do galão, para evitar a liberação do radônio. O aparato experimental é mostrado na Figura 1.



*Fig. 1 - Aparato experimental*

O AlphaGUARD (SAPHYMO) é um equipamento portátil que contém uma câmara de ionização, pulso-ionização, onde verifica as medidas de concentração de radônio no ar, solo, água e materiais de construção, assim gravando dados como: a umidade relativa, a temperatura ambiental e a pressão atmosférica.

As amostras de água foram coletadas de um poço, que obtém uma bomba para levar a água do fundo até a superfície e um registro de saída. Todas as coletas das amostras ocorreram através dos seguintes procedimentos:

- O registro foi aberto para deixar a água fluir por cinco minutos, tempo necessário para que se

*Paschuk et al Proposta de mitigação para radônio em água de poço da região do Pinheirinho...*

tenha certeza que a água venha do fundo e não a que esteja nas tubulações;

- Foram coletadas as amostras de água em um galão de 20 litros, assim esperando que todo galão enchesse, evitando derrubar e movimentar a água, verificando se não havia ar no interior do recipiente;
- Todas às vezes foram verificados o fechamento

do galão, para evitar a entrada de ar, e para que não ocorresse a liberação do radônio a partir dele.

Anotados os dados, como a data, o horário e o local da retirada das amostras, conforme a folha de anotações representada na Figura 2, e levado ao Laboratório de Radiações Ionizantes da UTFPR.

MEDIÇÕES DE RADÔNIO EQUIPAMENTO - ALPHAGUARD							
MEDIÇÃO Nº	CORRIDA Nº	DATA AQUISIÇÃO	HORA AQUISIÇÃO	DATA MEDIÇÃO			
ORIGEM DA AMOSTRA							
ENDEREÇO							
CONTATO		TELEFONE					
	MEDIÇÃO APARELHO	MEDIÇÃO SOFTWARE			MEDIÇÃO SOFTWARE + ERRO		
INÍCIO							
TÉRMINIO							
TEMPERATURA (°C)							
PRESSÃO (mbar)							
UMIDADE (%)							
CONC. DE RADÔNIO (Bq/m <sup>3</sup> )							
CONC. Rn ÁGUA (Bq/l)							
CONC. Rn ÁGUA CORRIGIDA							
		MÍN.	MÉDIA	MÁX.	MÍN.	MÉDIA	MÁX.
OBSERVAÇÕES: _____							

Fig. 2 – Modelo da folha de anotações

A medida de gasificação utilizada foi a Aeração Difusora e foram realizados os seguintes passos:

- A água foi transferida do galão para o recipiente de 15 litros, esse com uma área de superfície de 0.070 m<sup>2</sup>.
- Foi inserida uma pedra porosa no recipiente,

para a gaseificação da água; Para medida de gaseificação foram utilizados uma pedra porosa, uma mangueira (Fig. 3), um fluxômetro (Fig. 4), uma bomba de ar (aerador) (Fig. 5) e um recipiente de 15 litros (Fig. 6).

- Em seguida foi ligada a bomba de ar e escolhido um fluxo de 10L/min.



Fig. 3 - Foto ilustrativa da pedra porosa e mangueira.



Fig. 4 - Foto ilustrativa do fluxômetro

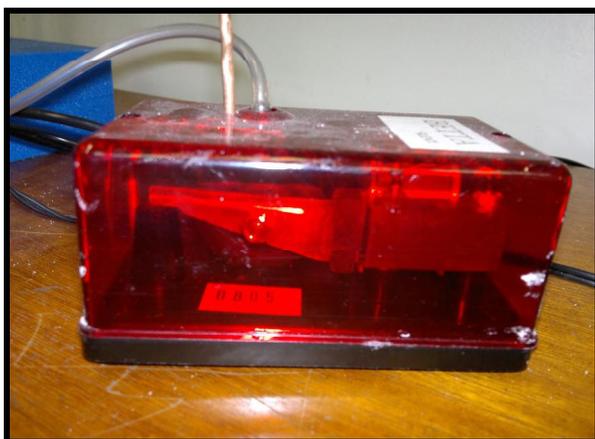


Fig. 5 - Foto ilustrativa do aerador



Fig. 6 - Foto ilustrativa do recipiente em

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos sobre a concentração média do  $^{222}\text{Rn}$  em amostras de água de poço em Curitiba, em conjunto com erros associados e concentração estimada sem e com o método de aeração, estão representados nas Tabelas 1 a 10 e nas Figuras 7 a 16.

Na Tabela 1 e na Figura 7 pode-se observar que a medida inicial da concentração de  $^{222}\text{Rn}$  era 34,798, essa diminuiu cerca de 47,5% nas primeiras 24hs, com a utilização do método de mitigação, sendo que sem a aeração diminuiria apenas 16,3%.

Paschuk et al Proposta de mitigação para radônio em água de poço da região do Pinheirinho...

Tab. 1 - Dados da amostra 1 - Coleta em 28/02

DATA	Rn-222 - COM AERAÇÃO (Bq/L)	ERRO (Bq/L)	LIMITE (Bq/L)	Rn-222 - SEM AERAÇÃO (Bq/L)
28/02/11	-	10	11,11	34,798*
01/03/11	18,282	10,01	11,11	29,119
02/03/11	11,322	7,881	11,11	24,298
03/03/11	6,464	6,414	11,11	20,275
04/03/11	4,496	5,793	11,11	16,91

\*Medida inicial

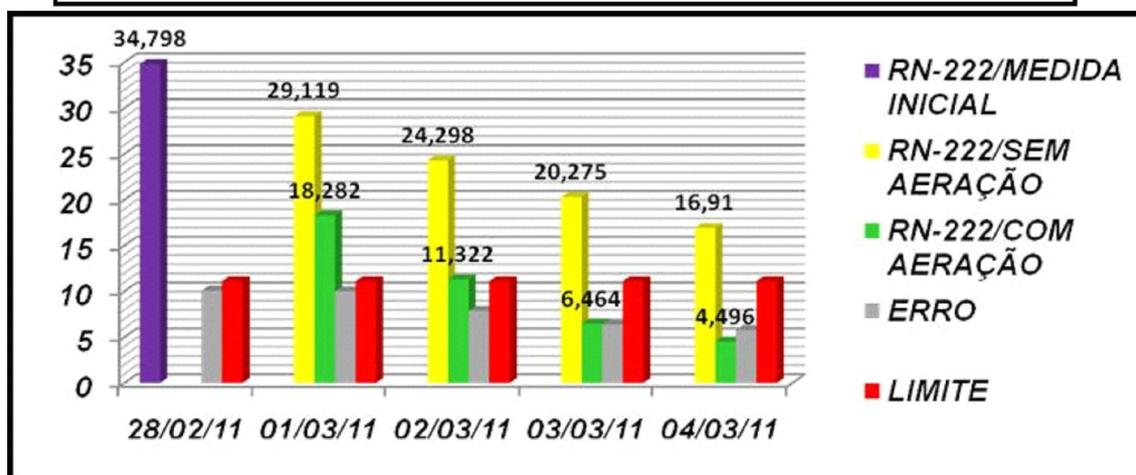


Fig. 7 - Gráfico dos dados da amostra 1- Coleta em 28/02

Na Tabela 2 e na Figura 8 pode-se observar que nas primeiras 24hs a concentração de radônio diminuiu 16,949, mais do que a

concentração que deveria ter no tempo de sua meia-vida (3,82 dias), que seria 18,532 Bq/L.

Tab. 2 - Dados da amostra 2 - Coleta em 28/03

DATA	Rn-222 - COM AERAÇÃO (Bq/L)	ERRO (Bq/L)	LIMITE (Bq/L)	Rn-222 - SEM AERAÇÃO (Bq/L)
28/03/11	-	11,486	11,11	37,059*
29/03/11	16,949	9,818	11,11	30,920
30/03/11	7,541	7,133	11,11	25,803
31/03/11	5,124	6,092	11,11	21,531

\*Medida inicial

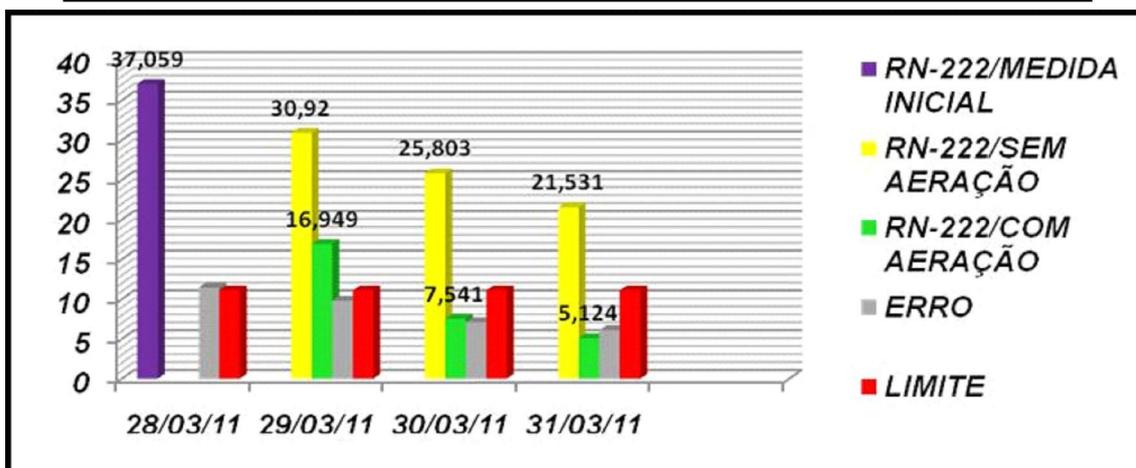


Fig. 8 - Gráfico dos dados da amostra 2- Coleta em 28/03

*Paschuk et al Proposta de mitigação para radônio em água de poço da região do Pinheirinho...*

Na Tabela 3 e na Figura 9, pode-se observar que nas primeiras 48hs a concentração do gás diminuiu cerca de 7,773 Bq/L.

Na amostra 4 (Tabela 4 e Figura 10) a concentração inicial de radônio diminuiu cerca de 43,54% com o método de aeração, sendo que deveria diminuir apenas 16,59%

com o decaimento natural do gás, assim tendo um ganho de 26,95%. Também se pode observar que com a Aeração Difusora, cada medida dessa amostra há um ganho aproximadamente de 26% em cima da concentração natural esperada de  $^{222}\text{Rn}$ .

Tab. 3 - Dados da amostra 3 - Coleta em 04/04

DATA	Rn-222 - COM AERAÇÃO (Bq/L)	ERRO (Bq/L)	LIMITE (Bq/L)	Rn-222 - SEM AERAÇÃO (Bq/L)
04/04/11	-	12,145	11,11	40,197*
05/04/11	18,126	10,005	11,11	33,541
06/04/11	7,773	6,630	11,11	27,988
07/04/11	5,088	6,307	11,11	23,354
08/04/11	4,094	5,153	11,11	19,487

\*Medida inicial

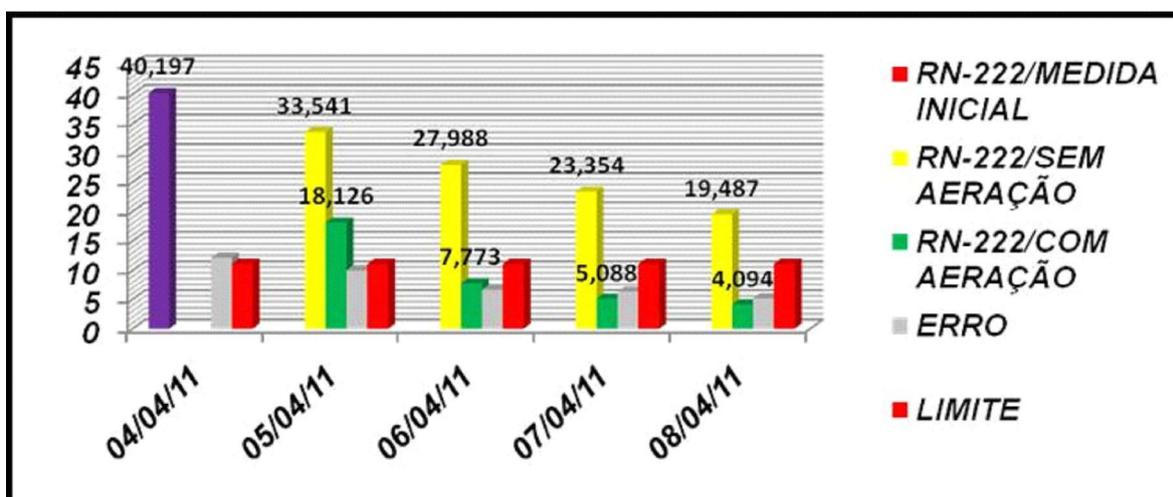


Fig. 9 - Gráfico dos dados da amostra 3 - Coleta em 04/04

Tab. 4 - Dados da amostra 4 - Coleta em 18/04

DATA	Rn-222 - COM AERAÇÃO (Bq/L)	ERRO (Bq/L)	LIMITE (Bq/L)	Rn-222 - SEM AERAÇÃO (Bq/L)
18/04/11	-	9,199	11,11	26,741*
19/04/11	15,096	8,945	11,11	22,304
20/04/11	11,652	8,138	11,11	18,604
21/04/11	8,669	7,499	11,11	15,517
22/04/11	6,214	7,061	11,11	12,943

\*Medida inicial

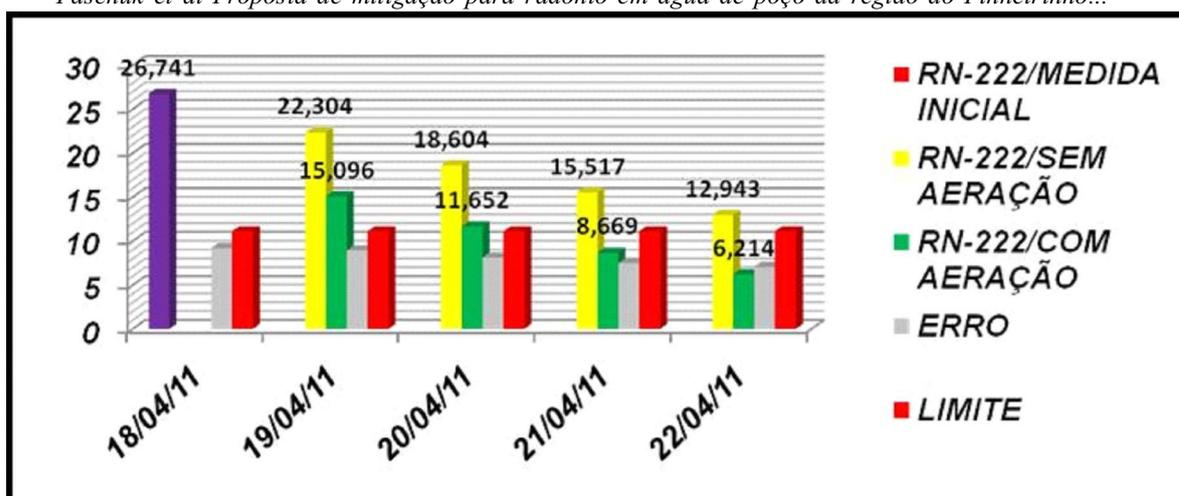


Fig. 10 - Gráfico dos dados da amostra 4 - Coleta em 18/04

Na amostra 5 (Tabela 5 e Figura 11) a concentração de Radônio-222 na primeiras 24hs, diminuiu cerca de 75,28% da concentração inicial e se apresentou menor do que a do limite estabelecido.

Na Tabela 6 (Tabela 6 e Figura 12) pode-se observar que na primeira medida com aeração a concentração de radônio diminuiu

cerca de 35,10% da medida inicial, no entanto a concentração desse gás naturalmente deveria diminuir apenas 16,55% dessa concentração. Assim a concentração teve uma queda de 18,55% com o método de aeração se comparada com o decaimento natural do <sup>222</sup>Rn. Já na última medida da amostra 6, a queda foi de 39,79%.

Tab. 5 - Dados da amostra 5 - Coleta em 25/04

DATA	Rn-222 - COM AERAÇÃO (Bq/L)	ERRO (Bq/L)	LIMITE (Bq/L)	Rn-222 - SEM AERAÇÃO (Bq/L)
25/04/11	-	10,195	11,11	31,102*
26/04/11	9,170	7,079	11,11	25,942
27/04/11	7,296	6,686	11,11	21,638
28/04/11	3,388	4,394	11,11	18,048
29/04/11	2,626	4,168	11,11	15,054

\*Medida inicial

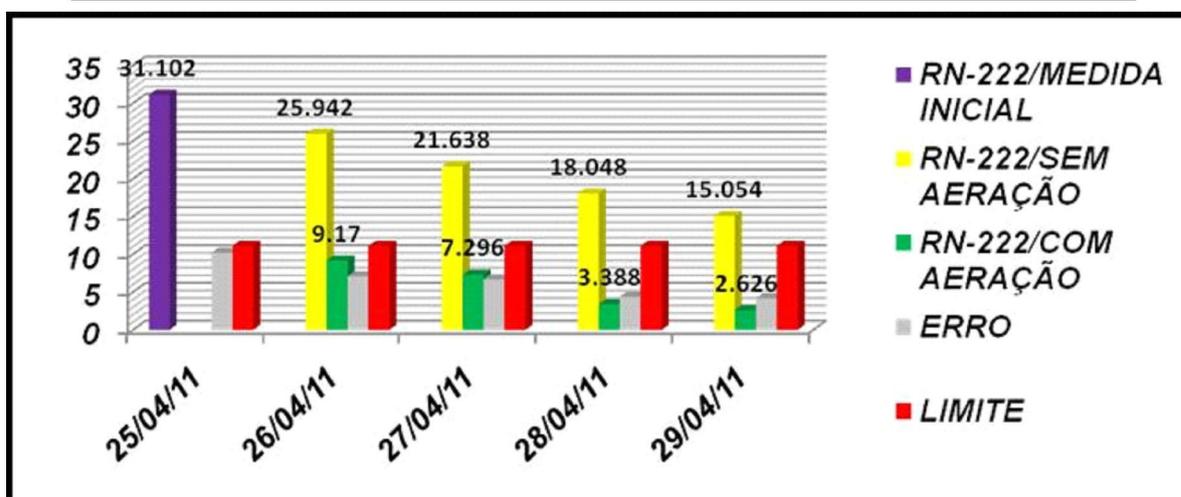


Fig. 11 - Gráfico dos dados da amostra 5 - Coleta em 25/04

Tab. 6 - Dados da amostra 6 - Coleta em 02/05

DATA	Rn-222 - COM AERAÇÃO (Bq/L)	ERRO (Bq/L)	LIMITE (Bq/L)	Rn-222 - SEM AERAÇÃO (Bq/L)
02/05/11	-	9,178	11,11	27,175
03/05/11	17,635	9,307	11,11	22,676
04/05/11	11,141	8,092	11,11	18,921
05/05/11	3,926	4,538	11,11	15,789
06/05/11	2,361	4,232	11,11	13,175
*Medida inicial				

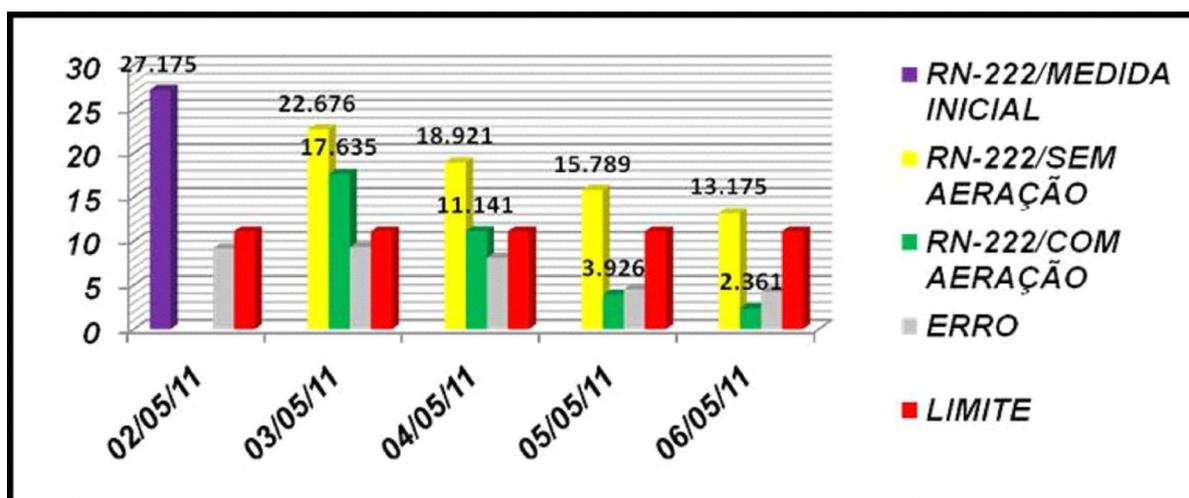


Fig. 12 - Gráfico dos dados da amostra 6 - Coleta em 02/05

Na amostra 7 (Tabela 7 e Figura 13) pode-se observar que a medida inicial diminuiu cerca de 80,5% no quarto dia utilizando o método de aeração, no entanto o gás diminuiria naturalmente 51,52%.

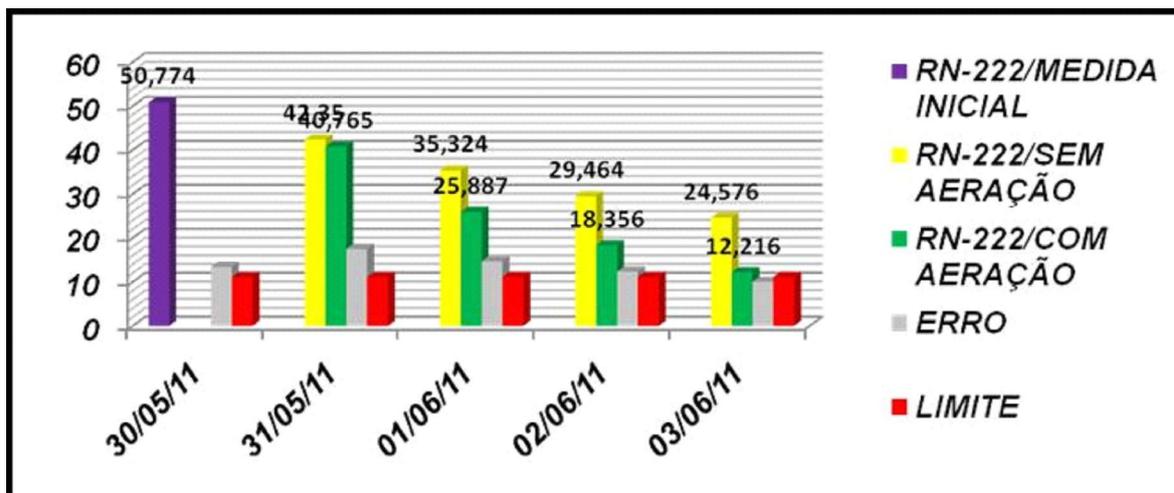
Pode-se observar na Figura 14 e na Tabela 8 que na primeira medida após

a utilização do método de mitigação, não houve uma queda muito representativa da concentração do radônio, se comparada com o decaimento natural do gás. No entanto, na quarta medida o valor da concentração do  $^{222}\text{Rn}$  diminuiu cerca de 50,29% comparada com o decaimento natural.

Tab. 8 - Dados da amostra 8 - Coleta em 30/05

DATA	Rn-222 - COM AERAÇÃO (Bq/L)	ERRO (Bq/L)	LIMITE (Bq/L)	Rn-222 - SEM AERAÇÃO (Bq/L)
30/05/11	-	13,423	11,11	50,774
31/05/11	40,765	17,481	11,11	42,350
01/06/11	25,887	14,700	11,11	35,324
02/06/11	18,356	12,319	11,11	29,464
03/06/11	12,216	10,034	11,11	24,576
*Medida inicial				

Fig. 14 - Gráfico dos dados da amostra 8 - Coleta em 30/05



Na amostra 9 (Tabela 9 e Figura 15) ocorreu um queda na concentração de radônio de 65,19% da medida inicial com a utilização do

método de mitigação. Dentre as medidas a que teve uma maior diferença na concentração de  $^{222}\text{Rn}$  foi a do segundo dia, onde obteve cerca de 5,191 Bq/L.

Tab. 9 - Dados da amostra 9 - Coleta em 06/06

DATA	Rn-222 - COM AERAÇÃO (Bq/L)	ERRO (Bq/L)	LIMITE (Bq/L)	Rn-222 - SEM AERAÇÃO (Bq/L)
06/06/11	-	8,440	11,11	20,974
07/06/11	12,092	7,853	11,11	17,494
08/06/11	9,460	7,508	11,11	14,591
09/06/11	8,292	7,266	11,11	12,171
10/06/11	7,302	7,423	11,11	10,152

\*Medida inicial

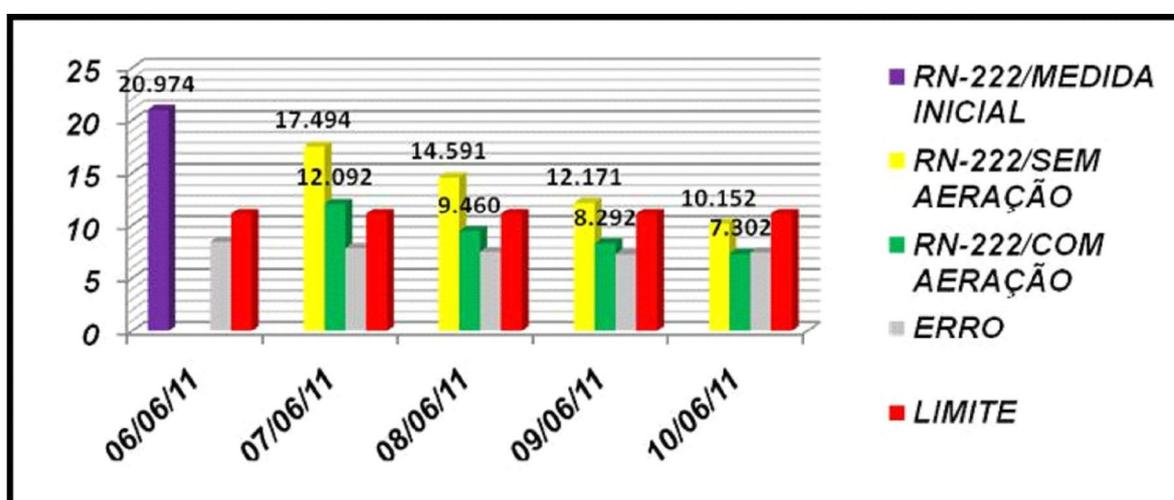


Fig. 15 - Gráfico dos dados da amostra 9 - Coleta em 06/06

*Paschuk et al Proposta de mitigação para radônio em água de poço da região do Pinheirinho...*

Na amostra 10 (Tabela 10 e Figura 16) houve uma pequena diferença nas concentração de radônio no segundo e terceiro dia, onde apenas

diminuiu cerca de 3,54% utilizando o método de aeração, no entanto ainda os valores são inferiores a concentração estimada natural do gás.

Tab. 10 - Dados da amostra 10 - Coleta em 13/06

DATA	Rn-222 - COM AERAÇÃO (Bq/L)	ERRO (Bq/L)	LIMITE (Bq/L)	Rn-222 - SEM AERAÇÃO (Bq/L)
13/06/11	-	7,644	11,11	16,508
14/06/11	9,150	6,878	11,11	13,769
15/06/11	6,774	6,659	11,11	11,485
16/06/11	6,534	6,233	11,11	9,579
17/06/11	5,000	5,700	11,11	7,990

\*Medida inicial

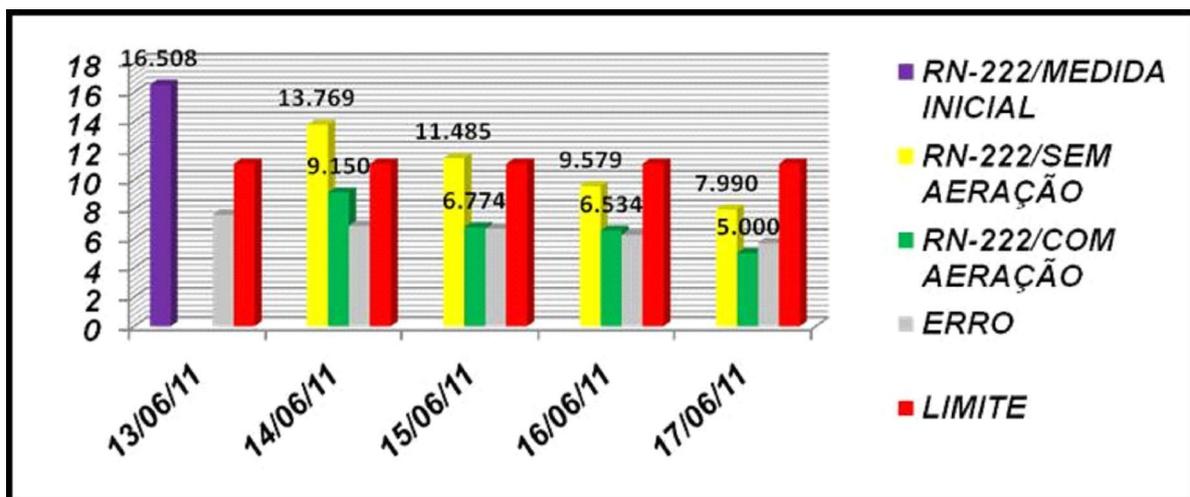


Fig. 16 - Gráfico dos dados da amostra 10 - Coleta em 13/06

Pode-se observar nas Tabelas 1 a 10, que as amostras no seu valor inicial, sem a mitigação, apresentaram valores de concentração de  $^{222}\text{Rn}$  acima do valor limite de 11,1 (Bq/L), recomendada pela USEPA (1999). Constata-se também que a medida de aeração utilizada apresentou resultados satisfatórios, já que nas primeiras 24 horas com a utilização do método de aeração, a concentração de  $^{222}\text{Rn}$  diminuiu aproximadamente a metade do valor inicial, o que deveria acontecer somente após 3,8 dias, ou seja meia-vida do elemento.

#### **Proposta de Mitigação de radônio na água**

Após várias realizações de medidas da

água de poço, foi verificado que seria necessária a implantação de mitigação, já que essas amostras tiveram concentrações de  $^{222}\text{Rn}$  iniciais (antes da aeração) acima de 11,1 Bq/L estabelecidos pela USEPA (1999).

Assim, constatando que a medida de mitigação aplicada nas amostras foi a de Aeração Difusora, essa proposta visa à construção de um sistema de aeração similar a utilizada durante a pesquisa, na qual foi utilizado um recipiente de 15 litros, uma pedra porosa e um aerador com fluxo de 10L/min, mas com parâmetros maiores, para suprir a necessidade do local.

Estima-se que o método de mitigação terá a mesma eficácia se utilizado com materiais adequados, sendo uma caixa de água de 250 litros

adaptada com um aerador com fluxo aproximado - 170L/min, mangueiras, 17 pedras porosas e um exaustor, representados nas Figuras 17 a 20.

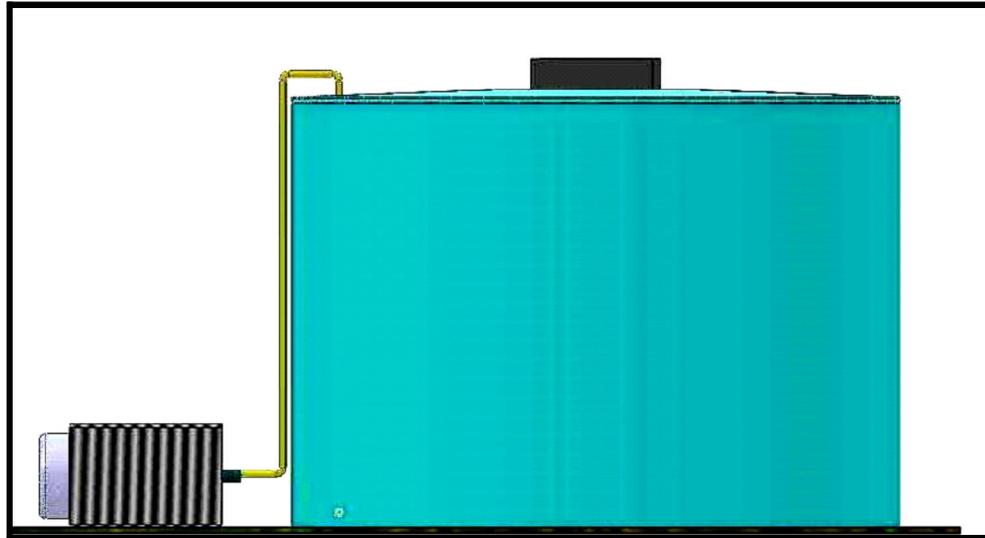


Fig. 17 - Imagem ilustrativa da caixa de água lateralmente

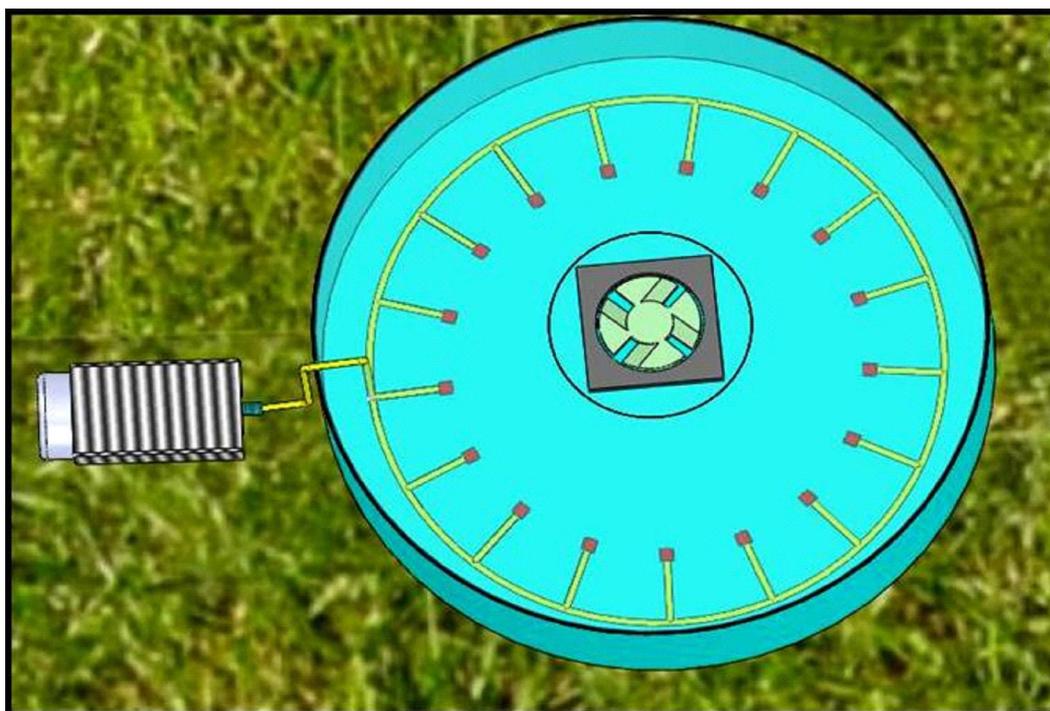


Fig. 18 - Imagem ilustrativa da caixa de água

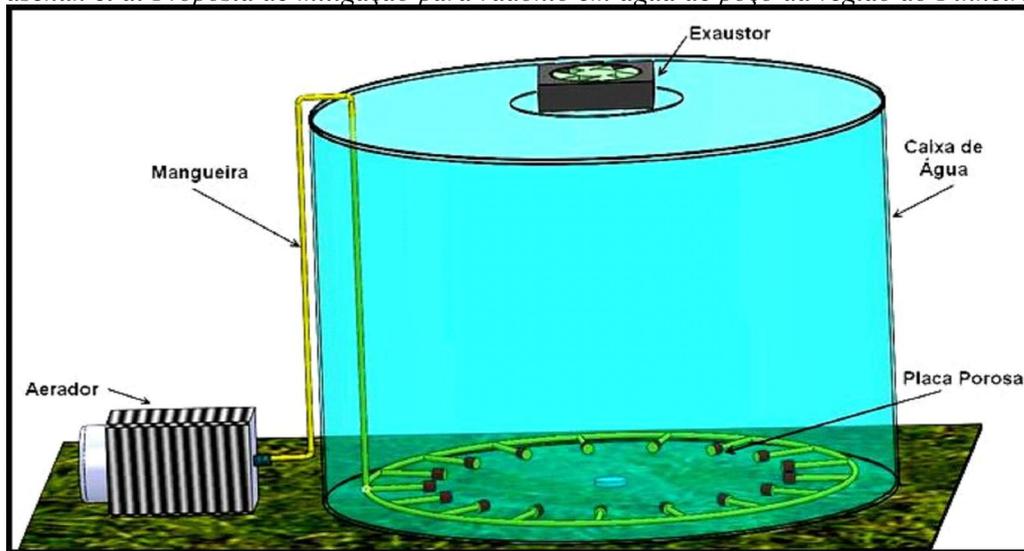


Fig. 19 - Imagem ilustrativa da caixa de água mostrando as placas porosas, o exaustor, as mangueiras e o aerador.

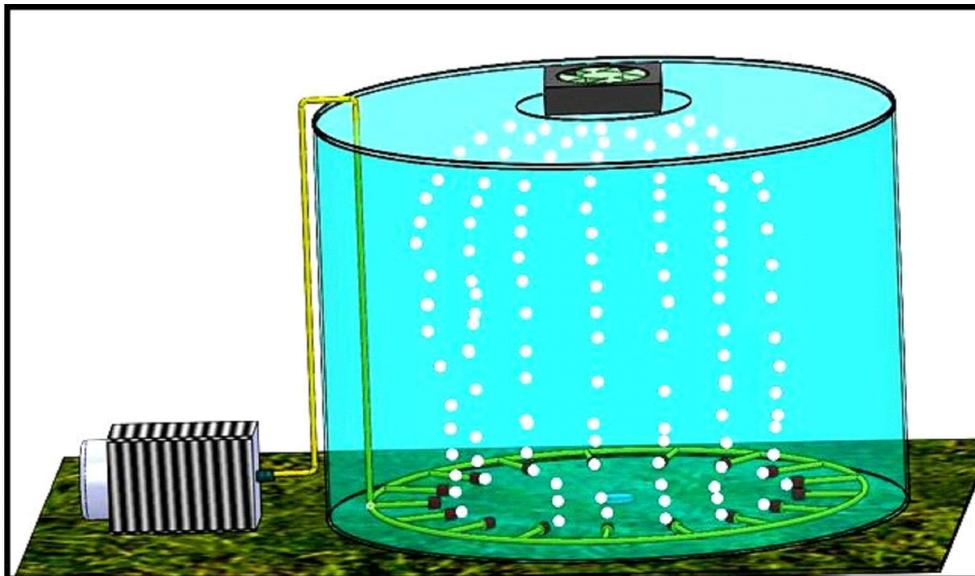


Fig. 20 - Imagem ilustrativa da caixa de água ocorrendo à aeração

O método de Aeração Difusora pode ser implantado em qualquer residência, escola, locais que necessitam utilizar água de poço contaminada pelo Radônio-222. O custo aproximado dos

materiais demonstrada na Tabela 11, pode não ser caro se comparando com o benefício que esse método traz em longo prazo para a população e meio ambiente.

Tab. 11 - Custo aproximado dos materiais

MATERIAL	ESPECIFICAÇÕES	QUANTIDADE	VALOR UNITÁRIO (REAIS)
Caixa de água	250L	01	93,00
Pedra porosa	-	17	0,60
Aerador	170L/min	01	500,00
Exaustor	-	01	100,00
<b>TOTAL</b>			<b>703,20</b>

**CONCLUSÕES**

A análise da concentração de radônio no local onde a água de poço é a principal fonte de uso se mostrou acima dos limites estabelecidos e assim se fez uma proposta de mitigação que possibilita a diminuição da concentração de  $^{222}\text{Rn}$  em águas de poços, para que a água possa ser utilizada, no que toca a quantidade de radioatividade alfa contida na mesma.

O método de aeração proposto apresentou-se bastante viável e conseguiu diminuir a concentração de radônio a níveis satisfatórios nas amostras de água. O custo estimado para a efetivação da proposta de mitigação foi apresentado e sua viabilidade deverá ser avaliada de acordo com o interesse dos habitantes.

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ANNANMÄKI, Martti, *et al.* **Treatment techniques for removing natural radionuclides from drinking water.** STUK—Radiation and Nuclear Safety Authority-A169. Helsinki, 2000.

BONOTTO, D.M. **Doses from  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ , and  $^{228}\text{Ra}$  in groundwater from Guarani aquifer, South America.** Departamento de Petrologia e Metalogenia, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista (UNESP). São Paulo: Rio Claro, 2004.

BUSHONG, Stewart C., **Radiologic science for technologists: physics, biology and protection.** 7. ed. Mosby, Elsevier, 2001.

CLS - COMMISSION ON LIFE SCIENCES. **RISK ASSESSMENT OF RADON IN DRINKING WATER.** NATIONAL ACADEMY PRESS. WASHINGTON, 1999.

DRAGO, Joseph A.. **Assessment of radon removal systems for drinking water supplies.** U.S.A: AWWA Research Foundation and American Water Works Association, 1998.

EPA - Environmental Protection Agency. **Radon in Drinking Water Health Risk Reduction and Cost Analysis;** Notice, Federal Register, v. 64, Washington: february 26, 1999.

UNSCEAR - United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. **Sources and Effects of Ionizing Radiation.** UNSCEAR Report to the United Nations General Assembly, 2000.

USEPA United States Environmental Protection Agency. **Office of groundwater and drinking water rule: technical fact sheet EPA 815-F-99-006.** Washington, DC: USEPA,1999.



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS**

**NÍVEL**

***MESTRADO E DOUTORADO***

**CONCEITO CAPES: 4 – M/D**

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO**

***GEOLOGIA***

**SUB-ÁREAS**

*Geologia Regional e Recursos Minerais*

*Hidrogeologia*

*Geologia Ambiental*

*Geofísica Aplicada*

**LINHAS DE PESQUISA**

*Geodinâmica e Recursos Minerais*

*Hidrogeologia e Gestão das Águas*

*Zoneamento Geoambiental e Geoquímica Ambiental*

*Geofísica Aplicada à Hidrogeologia e Tectônica*

*Paleontologia*

**Coordenação da Pós-Graduação** (geolpos@ufc.br)

Profª. Dr. José Araújo Nogueira Neto (nogueira@ufc.br)

Coordenador

Campus Universitário do Pici, Bloco 912

60.455-760 Fortaleza - CE

Tel.: (85) 3366-9873 / 3366-9866 Fax: (85) 3366-9874

<http://www.posgradgeo.ufc.br>

**Período de Inscrição:** Novembro

**Seleção:** Dezembro