



# VARIAÇÃO SAZONAL DAS CONCENTRAÇÕES DE $^{226}\text{Ra}$ , $^{228}\text{Ra}$ E $^{210}\text{Pb}$ DAS FONTES DE ÁGUA MINERAL DO PARQUE DAS ÁGUAS DE CAMBUQUIRA E MARIMBEIRO, MG.

Laíssa A. B dos Santos<sup>1</sup> (M), Sandra R. Damatto<sup>1</sup> (D) e Joselene de Oliveira<sup>1</sup>(D)

1 – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN, São Paulo – SP, [lbonifacio@ipen.br](mailto:lbonifacio@ipen.br)

**Resumo:** Os elementos radioativos podem ser extraídos e arrastados pelas águas subterrâneas, porém quando se fala de águas minerais provindas de fontes subterrâneas uma característica marcante são as concentrações dos radionuclídeos  $^{226}\text{Ra}$  e  $^{222}\text{Rn}$  originalmente dissolvidos. No entanto, outros radionuclídeos naturais como  $^{228}\text{Ra}$  e  $^{210}\text{Pb}$ , quando presentes, também contribuem para a irradiação interna do indivíduo. Assim determinou-se as concentrações de  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$  e  $^{210}\text{Pb}$  em dez fontes minerais localizadas no Parque das Águas de Cambuquira e Marimbeiro. Os radionuclídeos foram determinados por procedimento radioquímico em quatro coletas em diferentes estações do ano. As concentrações variaram de  $4 \pm 1$  mBq/L a  $509 \pm 32$  mBq/L para  $^{226}\text{Ra}$ , de  $< 3,7 \pm 0,1$  mBq/L a  $594 \pm 35$  mBq/L para  $^{228}\text{Ra}$  e  $5 \pm 1$  mBq/L a  $59 \pm 4$  mBq/L para  $^{210}\text{Pb}$ .

**Palavras-chave:** Água mineral, Cambuquira e Marimbeiro,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$  e  $^{210}\text{Pb}$ , radionuclídeos naturais

*Seasonal variation of  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$  and  $^{210}\text{Pb}$  concentrations of the mineral waters from park of waters of Cambuquira and Marimbeiro, MG.*

**Abstract:** This paper verified the seasonal variation of the  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$  and  $^{210}\text{Pb}$  concentrations determined in the mineral waters from park of waters of Cambuquira and Marimbeiro located in Minas Gerais.

**Keywords:** Mineral water, Cambuquira e Marimbeiro,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$  e  $^{210}\text{Pb}$ , natural radionuclides

## Introdução

A hidrologia pode ser compreendida como a ciência que estuda a água, tanto a água superficial quanto a originada da atmosfera e subsolo; uma subdivisão da hidrologia é o estudo sobre as águas minerais (Mourão 1992).

Segundo Macedo (2007), a definição de água mineral proposta no Brasil é definida no Decreto Lei Nº 7.841 de 08.03.1945 como: "Águas minerais são aquelas provenientes de fontes naturais ou artificialmente captadas que possuem composição química ou propriedades físicas ou físico-químicas distintas das águas comuns com características que lhes confirmam uma ação medicamentosa".

Essas características distintas das águas minerais originou o estudo da crenoterapia (palavra de origem grega, "krenos", que significa fonte ou manancial), que consiste em técnicas que usam a água com fins medicinais tanto por meio da ingestão, quanto de seu uso externo (balneoterapia) (Mourão 1992).

Os elementos químicos estáveis, assim como os radioativos, podem ser extraídos e carregados pelas águas subterrâneas, originando águas de diferentes composições químicas, pois esta dependerá da geologia do solo por onde a água passa até a sua captação.

Uma característica marcante das águas minerais são as concentrações dos radionuclídeos  $^{226}\text{Ra}$  e  $^{222}\text{Rn}$  originalmente dissolvidos (Eisenbud 1987). Vários estudos foram realizados para avaliar as concentrações de  $^{222}\text{Rn}$  em águas minerais. Um estudo realizado na cidade de Recife-PE apresentou

valores de  $^{222}\text{Rn}$  para águas minerais comercializadas na cidade, variando  $5 \pm 0,2$  Bq/L a  $373,2 \pm 7,2$  Bq/L. (Santos 2010).

Outro estudo no estado de São Paulo e Minas Gerais encontrou uma concentração de atividade de  $^{222}\text{Rn}$  no Intervalo de 0,02 Bq/ L e 112,5 Bq/ L ( Bonotto 2014)

Deve-se ressaltar, contudo, quando se refere às práticas baseadas na ingestão de água, banhos térmicos de imersão e uso de lamas medicinais, outros radionuclídeos são de importância relevante, como exemplo, o  $^{228}\text{Ra}$  e  $^{210}\text{Pb}$ , pois podem contribuir em grande parte para a irradiação interna e externa dos indivíduos.

Cambuquira é uma cidade localizada ao sul de Minas Gerais, que outrora fora uma fazenda que pertencia a uma família composta por três irmãs. O local ganhou fama, por conta de suas águas minerais e hoje a cidade conta com dois Parques, um Cambuquira e outro em Marimbeiro que atraem pessoas de varias partes do Brasil, a fim do uso medicinal dessas águas minerais, por isso o objetivo desse trabalho foi determinar as concentrações de atividade (mBq/L) dos radionuclídeos naturais  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$  e  $^{210}\text{Pb}$  ao longo de 12 meses, com coletas trimestrais a fim de verificar uma possível variação sazonal.

## Experimental

### Área de Estudo

As áreas de estudo do presente trabalho foram os Parques das Águas de Cambuquira e Marimbeiro, ambos localizados na cidade de Cambuquira, Minas Gerais ,  $21^{\circ}51'30''\text{S}$   $45^{\circ}17'28''\text{O}$ . A população da cidade é estimada em 13.040 pessoas em área territorial de 246,380 km<sup>2</sup> (IBGE 2016). A morfologia da cidade é definida por morros de encostas suaves, onde a rocha predominante é um quartzito micáceo, intemperizado (CPRM 1999). O Parque das águas de Cambuquira concentra as fontes: Regina Werneck( Gasosa), que possui três saídas de água, as quais no presente trabalho foram numeradas como I, II e III, Souza Lima (Sulforosa), Fernandes Pinheiro (Férrea), Augusto Ferreira (Magnesiana) e Roxo Rodrigues (Litinada), sendo a última utilizada em uma unidade engarrafadora de água mineral da cidade de Cambuquira. O Parque também possui um lago, e um balneário.

A outra área de estudo é o Parque das Águas de Marimbeiro localizado cerca de 3 km do centro da cidade de Cambuquira; o local apresenta mais três captações que foram denominadas Marimbeiro 1, 2 e 3. Os parques são administrados pela CODEMIG. (CPRM 1999). Também foi coletada uma amostra de uma fonte em uma propriedade particular, próxima ao parque de Cambuquira, aberta à população, denominada fonte do Laranja/Dico.

### Amostragem

De cada fonte foram coletadas 10 L de água trimestralmente, em fracos de polietileno, em junho de 2016 (outono), agosto de 2016 (inverno), dezembro de 2016 (primavera) e fevereiro de 2017 (verão), as quais foram aciduladas com ácido nítrico para minimizar as perdas devido à adsorção dos radionuclídeos nas paredes do frasco. Em cada campanha trimestral de amostragem foram avaliados *in situ* a temperatura e no laboratório o pH. Além das águas minerais das fontes, foi coletado também 10 L de água do abastecimento publico de Cambuquira.

### Determinação Radioquímica de $^{226}\text{Ra}$ , $^{228}\text{Ra}$ e $^{210}\text{Pb}$

Os radionuclídeos  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$  e  $^{210}\text{Pb}$  foram determinados utilizando um procedimento radioquímico seqüencial descrito em Oliveira (1993) e Moreira (1993). As amostras de água foram pré-concentradas de 2 L para 1 L por evaporação, em duplicada, e os radionuclídeos foram inicialmente precipitados com  $\text{H}_2\text{SO}_4$  3 mol/L em pH básico de  $\text{NH}_4\text{OH}$ . O precipitado foi dissolvido com ácido nítrico tri-acético em pH básico e reprecipitado com ácido acético e sulfato de amônio como sulfato. Os radionuclídeos  $^{226}\text{Ra}$  e  $^{228}\text{Ra}$  permaneceram no precipitado e foram reprecipitados em pH básico como  $\text{Ba}(\text{Ra})\text{SO}_4$ ;  $^{210}\text{Pb}$  que permaneceu no sobrenadante foi

precipitado com  $\text{Na}_2\text{CrO}_4$  como  $^{210}\text{PbCrO}_4$ . Ambos os precipitados foram filtrados utilizando papel de filtro de fibra de vidro e a recuperação química foi determinada gravimetricamente. As concentrações de atividade dos radionuclídeos  $^{226}\text{Ra}$  e  $^{228}\text{Ra}$  foram determinadas por medida de alfa e beta total, respectivamente, e  $^{210}\text{Pb}$  por medida beta total através do seu produto de decaimento  $^{210}\text{Bi}$  em um detector proporcional de fluxo gasoso de baixa radiação de fundo, marca Berthold.

## Resultados e Discussão

A fonte Souza Lima (Sulforosa) não foi analisada neste trabalho, por que durante o período de coleta a mesma estava em manutenção. Na coleta do outono de 2016 a fonte do Laranjal/Dico não foi amostrada. Na Tabela 1 são apresentados os valores de pH e temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) das amostras de água coletadas. As temperaturas das amostras variaram de  $16^{\circ}\text{C}$  para água potável até  $23^{\circ}\text{C}$ , podendo classificar estas águas como frias (Macedo 2007). O pH variou de 4,35 a 7,06, valores próximos encontrados em estudo feito em outubro de 1997 pelo Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM (CPRM 1999).

**Tabela 1** - pH e temperatura das amostras de água mineral dos parques das águas de Cambuquira e Marimbeiro

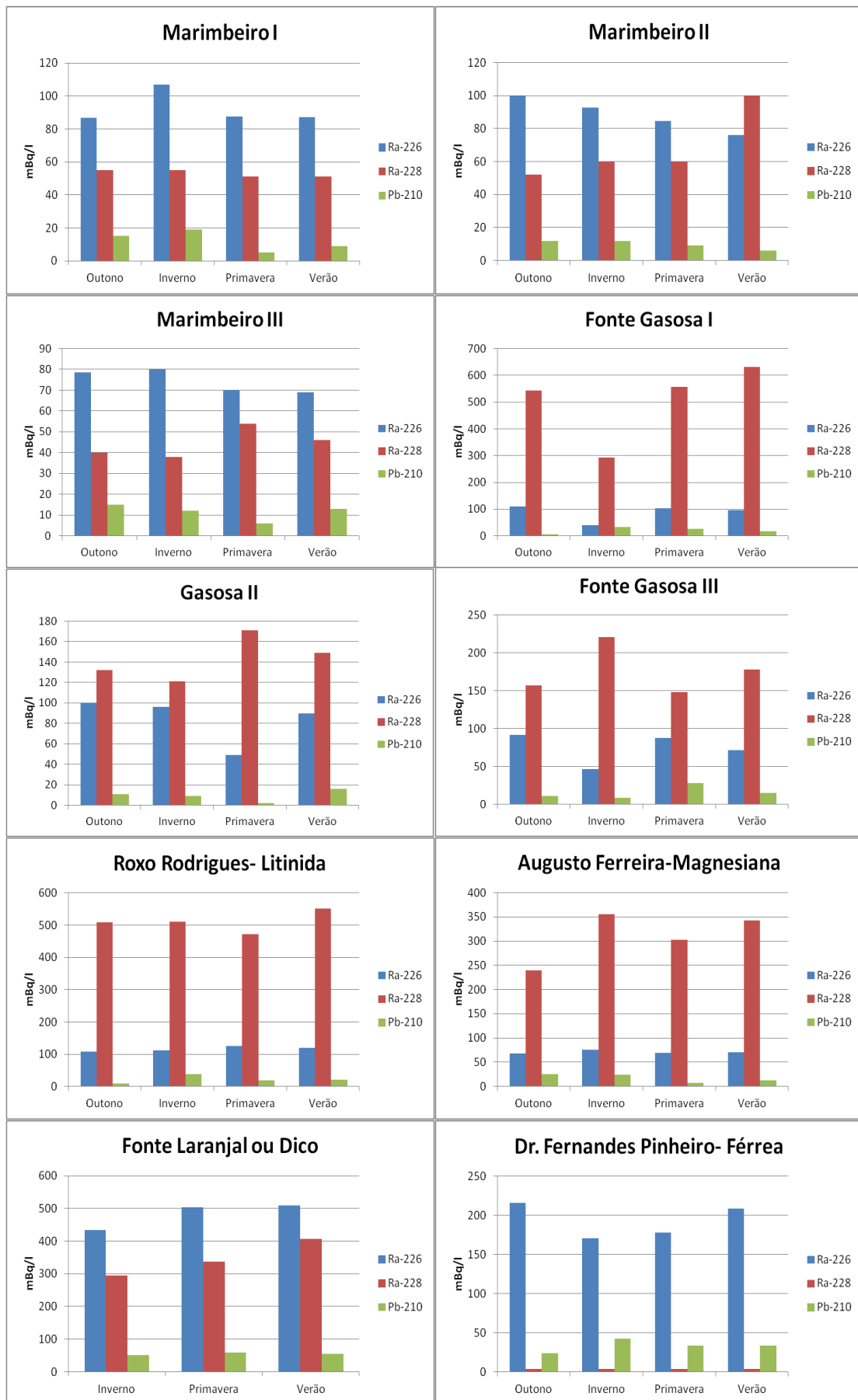
Fontes	Outono 2016		Inverno 2016		Primavera 2017		Verão 2017	
	pH	T ( $^{\circ}\text{C}$ )	pH	T ( $^{\circ}\text{C}$ )	pH	T ( $^{\circ}\text{C}$ )	pH	T ( $^{\circ}\text{C}$ )
Marimbeiro I	-	21	5,79	21	6,13	21	5,80	21
Marimbeiro II	-	21	5,63	21	5,93	21	5,90	21
Marimbeiro III	-	21	5,58	21	5,68	21	5,79	21
Augusto Ferreira-Magnésiana	-	22	4,47	22	4,53	22	4,50	21
Dr. Fernandes Pinheiro- Férrea	-	21	5,64	22	5,24	22	5,33	22
Roxo Rodrigues- Litinida	-	22	4,70	22	5,00	23	4,72	21
Fonte Gasosa I	-	22	4,35	21	4,60	23	4,70	23
Fonte Gasosa II	-	22	4,43	22	4,67	23	4,80	23
Fonte Gasosa III	-	22	4,67	22	5,02	23	5,48	23
Fonte Laranjal /Dico	-	*	6,01	22	6,80	21	6,14	22
Água potável Cambuquira	-	16	6,98	17	6,68	19	7,06	20

- não determinado

\* não amostrado

Nas Fig. 1 e Fig. 2 são apresentados as concentrações dos radionuclídeos  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$  e  $^{210}\text{Pb}$  em mBq /L, por estação do ano e por fonte nas quatro coletas realizadas, respectivamente. Os resultados apresentaram diferentes concentrações dos radionuclídeos, embora algumas fontes estejam localizadas relativamente próximas umas das outras. Este fato pode ser observado principalmente nas fontes Dr. Fernandes Pinheiro (Férrea) que apresentou valores de  $^{226}\text{Ra}$   $216 \pm 2$  mBq /L e valor abaixo do limite de detecção para  $^{228}\text{Ra}$   $<3,7 \pm 0,3$  mBq /L referente a coleta do outono, e a fonte Roxo Rodrigues (Litinida) que apresentou concentração de  $119 \pm 5$  mBq /L para  $^{226}\text{Ra}$ , e  $594 \pm 35$  mBq /L para  $^{228}\text{Ra}$  na coleta realizada no verão.

Os radionuclídeos  $^{226}\text{Ra}$  e  $^{228}\text{Ra}$  apresentaram as maiores concentrações na maioria das amostras em relação ao  $^{210}\text{Pb}$ , pois os elementos Ra, U e Rn são os que apresentam maior solubilidade em ambientes aquáticos. A fonte que apresentou maior concentração foi a Laranjal/Dico para  $^{226}\text{Ra}$   $509 \pm 32$  mBq/L na coleta referente ao verão. Para  $^{228}\text{Ra}$  a maior concentração também foi obtida na coleta do verão,  $631 \pm 27$  mBq/L, para a fonte Gasosa I. Para o radionuclídeo  $^{210}\text{Pb}$  a fonte que apresentou maior concentração em todas as coletas também foi a fonte Laranjal/Dico com valor de concentração de  $59 \pm 4$  mBq/L referente a coleta da primavera. A água potável coletada apresentou valores que variaram de  $4 \pm 1$  mBq/L a  $6 \pm 1$  mBq/L para  $^{226}\text{Ra}$ ,  $37 \pm 3$  mBq/L a  $47 \pm 7$  mBq/L para  $^{228}\text{Ra}$  e  $9 \pm 1$  mBq/L a  $17 \pm 2$  mBq/L para  $^{210}\text{Pb}$ .



**Figura 1** – Concentração em mBq/L  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$  e  $^{210}\text{Pb}$  nas fontes do Parque das Águas de Cambuquira e Marimbeiro

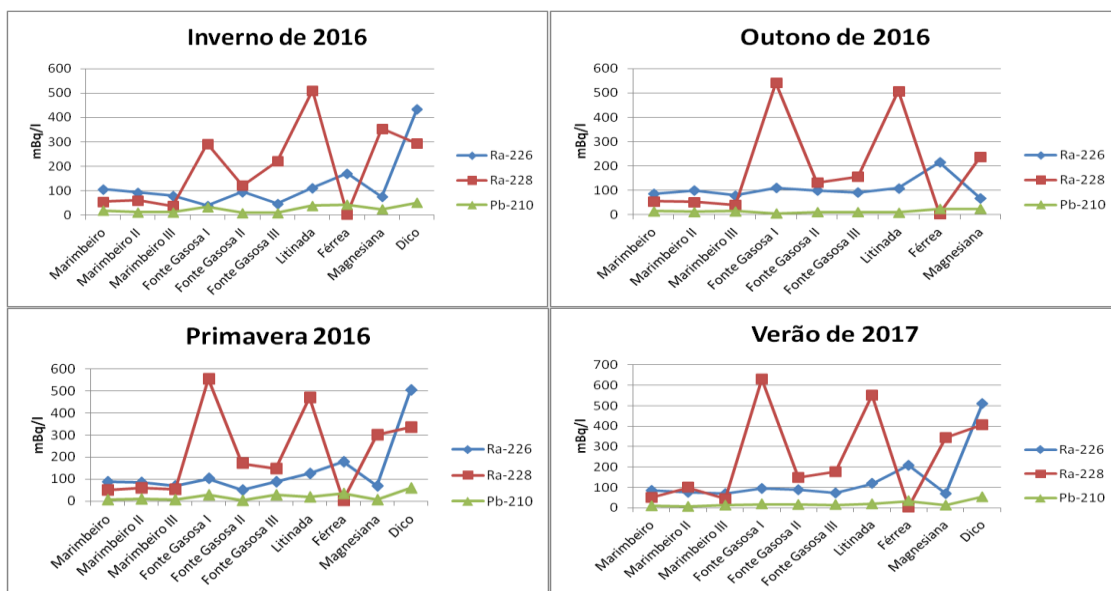


Figura 2- Variação sazonal das concentrações de  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$  e  $^{210}\text{Pb}$ , em mBq/L

## Conclusões

Os valores de pH e temperatura medidos em todas as águas minerais apresentaram pequenas variações de uma coleta para outra, indicando uma mínima influência da sazonalidade nos valores determinados. A fonte que apresentou maior concentração foi a Laranjal/Dico para  $^{226}\text{Ra}$   $509 \pm 32$  mBq/L na coleta referente ao verão. Para  $^{228}\text{Ra}$  a maior concentração também foi obtida na coleta do verão,  $631 \pm 27$  mBq/L, porém para a fonte Gasosa I. Para o radionuclídeo  $^{210}\text{Pb}$  a fonte que apresentou maior concentração em todas as coletas também foi a fonte Laranjal/Dico com valor de concentração de  $59 \pm 4$  mBq/L referente a coleta da primavera. O parque das águas de Cambuquira apresentou fontes com maiores concentrações de  $^{228}\text{Ra}$  em sua maioria, e o Parque de Marimbeiro apresentou maiores concentrações para  $^{226}\text{Ra}$ . Observou-se que as maiores concentrações de  $^{226}\text{Ra}$  foram obtidas no inverno, para  $^{228}\text{Ra}$  as maiores concentrações foram obtidas no verão e para o  $^{210}\text{Pb}$  as maiores concentrações foram obtidas também no inverno, sugerindo uma provável variação sazonal destes radionuclídeos estudados.

## Agradecimentos

A CODEMIG administradora do Parque das águas de Cambuquira e Marimbeiro e ao CNPQ pelo fornecimento da bolsa de mestrado.

## Referências Bibliográficas

- Macêdo, Jorge Antonio Barros. 2007. *Águas & Águas*. Belo Horizonte – MG: CRQ-MG.
- CPRM - Serviço Geológico do Brasil. 1999. *Estudos geoambientais das fontes hidrominerais de Cambuquira, Caxambu, Conceição do Rio Verde, Lambari e São Lourenço*. Belo Horizonte. Projeto Circuito das Águas do Estado de Minas Gerais.
- Mourão, Mario B. 1992. *Moderna Terapêutica das águas Minerais e Estâncias de Cura*. Medicina Hidrológica. São Paulo, Editora Prima e E. R. Ind. Gráficas. 1ª Edição.
- Eisenbud, Merrill. 1987. *Environmental radioactivity*. Orlando, Academic Press.
- Bonotto, Daniel M. 2014.  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{220}\text{Rn}$  and other dissolved gases in mineral waters of southeast Brazil. pp 21-30, Journal of Environmental Radioactivity 132.
- Oliveira, Joselene. 1993. *Determinação de  $^{226}\text{Ra}$  e  $^{228}\text{Ra}$  em águas minerais da região de Águas da Prata*. Ms. São Paulo, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo.
- Moreira, Sandra Regina Damatto. 1993. *Determinação de  $^{210}\text{Pb}$  em águas minerais da cidade de Águas da Prata*, Ms., São Paulo, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. Universidade de São Paulo.
- Santos, Fernanda Pessoa de Carvalho. 2010. *Radionuclídeos naturais em águas minerais comercializadas na cidade de Recife –PE*. PERNAMBUCO, Ms. Departamento de Energia Nuclear, UFPE.
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). 2016. Acesso em 4 de abril de 2017 (<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=311070>)