

# OCORRÊNCIA DE RADÔNIO-222 NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO DISTRITO FEDERAL – DADOS PRELIMINARES

Iêda Gomes Nícoli<sup>1</sup>; Roberto Márcio Macedo dos Santos<sup>2</sup>; Dejanira da C. Lauria<sup>3</sup>;  
Rosângela da Silveira Corrêa<sup>4</sup>; José Salvador Coelho<sup>4</sup>; Lucinei R. Pimenta<sup>5</sup> & Heliana F. da Costa<sup>5</sup>

**Resumo** – Os níveis de Radônio-222 foram medidos em águas subterrâneas que suprem parte da população do Distrito Federal e variaram entre  $17\pm 1$  Bq.l<sup>-1</sup> a  $144\pm 4$  Bq.l<sup>-1</sup>. As amostras foram coletadas em duplicata em 10 poços tubulares profundos operados pela Companhia de Saneamento do Distrito Federal (CAESB), em Sobradinho e na Papuda (em rochas quartzíticas) e em São Sebastião (três em rochas carbonáticas e dois em filitos). A coleta do gás radônio é o ponto mais importante e crítico nesta metodologia. Para evitar a difusão do gás radônio para o ar, as amostras de águas subterrâneas foram recolhidas e misturadas diretamente em frascos de vidros de cintilação contendo solução Permafluor. O sistema de contagem de cintilação em meio líquido usado foi da Packard, modelo LSA TR 2700. A eficiência de contagem foi de  $70\pm 2\%$ , a atividade mínima detectável foi de 3 Bq.l<sup>-1</sup>, tempo de contagem de 50 minutos e um erro associado com um intervalo de confiança de 2 sigma ( $\pm 2\sigma$ ). Informações como geologia local, hidrogeologia do aquífero, volume de água disponível, entre outros, serão usados para investigar os níveis de <sup>222</sup>Rn em águas subterrâneas e os riscos potenciais para a saúde da população da capital federal.

**Abstract** – Level of Radon-222 were measured in the groundwater that are part of the supply of the city of Brasília, the capital of Brazil and have ranges between  $17\pm 1$  Bq.l<sup>-1</sup> to  $144\pm 4$  Bq.l<sup>-1</sup>. Samples were double collected in 10 deep tubulares wells, operated by the company that is responsible for sanitation (CAESB) at the Federal District. Five of them are crystalline rocks (city of Sobradinho and at Papuda Prison)) and five of them at São Sebastião city, are carbonatics and

<sup>1</sup> D.Sc., Químico da Comissão Nacional de Energia Nuclear, Distrito do Planalto Central, SQN, Qd. 4, Ed. Varig, sala 602 A, Brasília, DF, CEP 70714-900, tel. (61) 327-2353, fax (61) 327-2228, e-mail: ieda@cnen.gov.br.

<sup>2</sup> M.Sc., Geólogo da Companhia de Saneamento do Distrito Federal, SAIN, Área Especial, ETA-R1, Laboratório Central, CAESB, Brasília, DF, CEP 70620-000, tel. (61) 214-7919, fax (61) 342-1606, e-mail: robertosantos@caesb.df.gov.br.

<sup>3</sup> D.Sc., Químico da Comissão Nacional de Energia Nuclear, Instituto de Radioproteção e Dosimetria, Avenida Salvador Allende, S/N, Barra da Tijuca, Rio de Janeiro, RJ, CEP 22780-160, tel. (21) 3411-8102, e-mail: dejanira@ird.gov.br.

<sup>4</sup> M.Sc., Centro Regional de Ciências Nucleares do Centro-Oeste, BR 060, Km 174,5, Abadia de Goiás, GO, CEP 75345-000, tel. (62) 503-3000, fax (62) 503-3020, e-mail: rcorrea@cnen.gov.br e jcoelho@cnen.gov.br

<sup>5</sup> Técnicos do Centro Regional de Ciências Nucleares do Centro-Oeste, BR 060, Km 174,5, Abadia de Goiás, GO, CEP 75345-000, tel. (62) 503-3000, fax (62) 503-3020.

filites rocks. The most important and critical point of this methodology is the radon sampling. To avoid gas diffusion to the environment, the groundwater samples were collected and mixed up directly into the scintillation glass vials it contains Permafluor. The samples were measured in a liquid scintillation counter (Packard, model LSA TR-2700). Counting efficiency was  $70\pm 2\%$  and the minimal detection activity limits for radon in water was  $3 \text{ Bq.l}^{-1}$  with a 50 minutes count time. with an associated error of two-sigma confidence interval ( $\pm 2\sigma$ ). Local geology, hydrogeology of the aquifer size, of water resource and consumption rate was performed to controlling  $^{222}\text{Rn}$  level concentration and the potential risks for the District Federal population.

**Palavras-Chave** – Distrito Federal; águas subterrâneas; radônio; radioatividade natural.

## INTRODUÇÃO

O Centro Regional de Ciências Nucleares do Centro-Oeste (CRCN-CO), da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) desenvolveu um projeto piloto para a implantação de metodologias para verificação de níveis de radônio e outros radionuclídeos naturais em águas subterrâneas utilizadas para o abastecimento público do Centro-Oeste visando suas aplicações em estudos hidrológicos de forma a obter informações que permitam subsidiar futuros gerenciamentos dos recursos hídricos da região. No Distrito Federal a CNEN e a CAESB trabalharam em parceria neste projeto com a intenção de trazer benefícios para a sociedade local com a avaliação dos níveis de radioatividade natural e dos riscos que possam advir do uso desta água para a população.

A Companhia de Saneamento do Distrito Federal (CAESB) vem nos últimos anos incrementando a produção de mananciais subterrâneos destinados ao abastecimento público. Tal fato deve-se à descoberta de aquíferos promissores do ponto de vista operacional, além do intenso processo de crescimento urbano ocorrido no Distrito Federal, o qual demandou um atendimento rápido às necessidades de abastecimento.

Até a década de 90, a utilização de poços tubulares profundos pela CAESB era feita de maneira provisória até a implantação de um sistema de abastecimento definitivo sustentado por captações superficiais. A descoberta de aquíferos de alta produtividade, a crescente necessidade do atendimento a novas demandas em áreas urbanas ou isoladas, além da saturação da oferta das captações superficiais, gerou na CAESB uma nova concepção com relação aos mananciais subterrâneos. Iniciou-se então a implantação de sistemas de abastecimento, isolados ou mistos, concebidos para operar de forma definitiva a partir da captação por poços tubulares profundos.

No ano de 2003 a capacidade de produção dos poços da CAESB em áreas urbanas era de  $1630 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$  ( $453 \text{ l.s}^{-1}$ ), representando cerca de 5 % da capacidade total do Sistema Produtor da

CAESB para áreas urbanas, tendo sido produzidos cerca de 4400 mil m<sup>3</sup>. Este incremento constante na oferta de águas subterrâneas para abastecimento público gera a necessidade de melhor conhecimento do funcionamento dos sistemas aquíferos da região.

Os radionuclídeos naturais mais comuns que ocorrem nas águas subterrâneas e podem trazer algum risco para a saúde humana são <sup>222</sup>Rn, <sup>226</sup>Ra e <sup>228</sup>Ra. O Urânio, se presente em grandes quantidades na água potável, é prejudicial devido à alta toxicidade química. O <sup>222</sup>Rn, com meia vida de 3,824 dias, emissor alfa, é um gás nobre gerado pelo decaimento radioativo de <sup>226</sup>Ra provenientes das rochas. O Radônio é um gás que se difunde facilmente pelos poros das rochas, desgaseificando quando em contato com o ar. Quando em contato com as águas subterrâneas migram a grandes distâncias e se concentram na fase aquosa. Assim o <sup>222</sup>Rn é encontrado em diferentes concentrações nas águas subterrâneas, está em equilíbrio com <sup>226</sup>Ra e esse equilíbrio depende do conteúdo de <sup>226</sup>Ra, do tipo de rocha do aquífero e das características físico-químicas das águas (Gascoyne,1998). O gás radônio permanece em solução no aquífero até que ele seja descarregado ou até que ele decaia na cadeia natural de urânio até o <sup>206</sup>Pb.

Radionuclídeos naturais como <sup>210</sup>Pb, isótopos de Ra, U e Th entre outros tem sido usados também como traçadores para estudo da dinâmica da água e dos sedimentos. A determinação <sup>14</sup>C permite determinar a origem e a idade das águas subterrâneas e como os aquíferos se interligam.

A taxa de consumo da população, o volume do aquífero, a hidrologia e hidrogeologia são os principais fatores que afetam os níveis de concentração de radônio nos aquíferos utilizados para o abastecimento público. Pesquisas mundiais indicaram uma concentração média de <sup>222</sup>Rn em águas subterrâneas de cerca de 183 Bq.l<sup>-1</sup> (NCRP,1984). Os estudos no Brasil sobre os levantamentos de radônio em águas subterrâneas potáveis foram iniciados recentemente. Esse é o motivo pelo qual pouco se conhece sobre as concentrações de <sup>222</sup>Rn em nossas reservas subterrâneas. Diante desta carência de dados, o CRCN-CO em parceria com outras entidades públicas decidiu caracterizar as águas subterrâneas da região Centro-Oeste implantando em seus laboratórios metodologias de amostragens e análises para verificar os níveis de radônio. Pretende-se, ainda, implantar em seus laboratórios a coleta e medida de outros radionuclídeos naturais e cosmogênicos, em águas subterrâneas. Estas informações permitirão gerenciar e avaliar a vida útil do recurso hídrico para o abastecimento e consumo da população. A concentração de <sup>222</sup>Rn pode ser utilizada também para traçar processos hidrológicos tais como estimar a taxa de infiltração de água de chuva no aquífero, delimitar zonas de recarga, porosidade entre outras (Lee & Hollyday,1987; Hoehn & Gunten,1989 e Hamada, 2000).

O presente trabalho tem como objetivo determinar a ocorrência de <sup>222</sup>Rn em águas subterrâneas no Distrito Federal em diferentes formações geológicas e hidrológicas bem como

verificar os níveis naturais de radônio nessas águas de abastecimento público e avaliar se há risco de saúde para a população da capital federal.

## **GEOLOGIA / HIDROGEOLOGIA**

O Distrito Federal está situado na Província Hidrogeológica do Escudo Central, onde predominam aquíferos fissurais cobertos por um manto de intemperismo de espessura variável. A região é um alto regional que divide as bacias hidrográficas de três dos maiores rios Brasileiros (Rio São Francisco a leste, Rio Tocantins a norte e Rio Paraná a sul-sudoeste). Deste modo, a região não possui rios de grande porte, predominando drenagens superficiais de pequenas vazões nem sempre suficientes para atender as demandas de água. Neste contexto, as águas subterrâneas captadas através de poços tubulares profundos constituem-se num recurso estratégico para abastecimento público.

No Distrito Federal os volumes de água que alcançam os reservatórios naturais, podem ser armazenados de duas formas distintas. Na porosidade dos solos e nas fraturas das rochas cristalinas. Desta forma, segundo a proposta de Campos & Freitas-Silva (1998), existem dois grandes domínios hidrogeológicos no DF: domínio poroso e domínio fraturado. Os autores classificaram os aquíferos em sistemas, que no caso do domínio poroso são baseados na classe de solo predominante, unidade geológica subjacente, espessura e condutividade hidráulica. Para o domínio fraturado, os aquíferos foram classificados em sistemas e subsistemas, com base na unidade geológica e na média das vazões dos poços existentes em cada unidade.

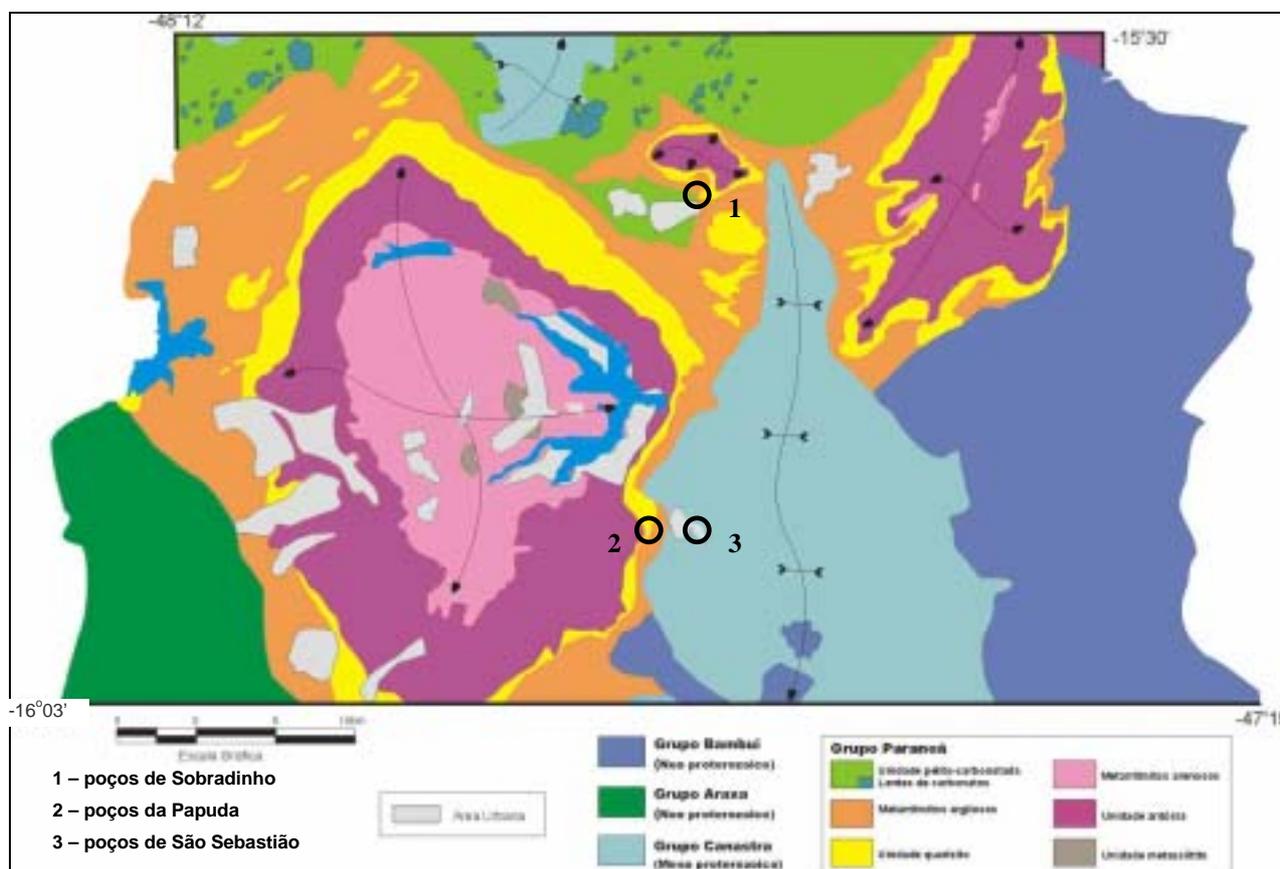
As rochas do domínio fraturado são os maiores reservatórios da região e apresentam as maiores vazões. No domínio fraturado os aquíferos são normalmente livres ou semi-confinados, em parâmetros hidráulicos controlados principalmente pela densidade de fraturas abertas existentes. Conforme Campos & Freitas-Silva (1998), pode-se considerar que a água subterrânea no domínio fraturado encontra-se distribuída nos sistemas aquíferos Paranoá, Canastra, Araxá e Bambuí, sendo que os sistemas Paranoá e Canastra foram ainda classificados em subsistemas aquíferos específicos, devido à ampla ocorrência de unidades litoestratigráficas distintas e com características petrográficas próprias. No sistema Paranoá ocorrem os subsistemas **S/A**, **A**, **R<sub>3</sub>/Q<sub>3</sub>**, **R<sub>4</sub>** e **PPC**, enquanto que no sistema Canastra ocorrem os subsistemas **F** e **F/Q/M**, conforme Tabela 1, que mostra uma síntese das características de cada sistema e subsistema aquífero do domínio fraturado, bem como suas respectivas áreas de ocorrência dentro do Distrito Federal.

O mapa geológico simplificado do Distrito Federal é apresentado na Figura 1. Nele também podem ser identificadas as áreas dos poços selecionados para a coleta de amostras. Verifica-se que, do ponto de vista técnico, a escolha dos poços a serem amostrados objetivou a amostragem do

aquífero de maior extensão areal dentro do Distrito Federal (aquífero R<sub>3</sub>/Q<sub>3</sub>), assim como o aquífero com maior vazão média dos poços (aquífero F/Q/M).

**Tabela 1** - Características dos sistemas aquíferos do domínio fraturado no Distrito Federal (modificado de Cadamuro, 2002).

Sistema	Subsistema	Unidade	Q <sub>média</sub> (m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> )	Área (Km <sup>2</sup> )
Paranoá	S/A	metassilito	12,70	29,30
	R <sub>3</sub> /Q <sub>3</sub>	quartzito/metarritmito arenoso	12,20	1389,10
	R <sub>4</sub>	metarritmito argiloso	6,15	1010,80
	PPC	psamo-pelito-carbonatada	9,10	458,90
	A	ardósia	4,39	541,60
Canastra	F	filitos	7,50	913,50
	F/Q/M	filitos c/ níveis carbonatados	33,00	46,10
Bambuí	-----	-----	5,21	1047,60
Araxá	-----	-----	3,15	353,70



**Figura 1** - Mapa geológico simplificado do Distrito Federal, com a localização dos pontos de coleta

Segundo estimativas de Coimbra (1987) e Souza (2001), a recarga dos aquíferos do domínio poroso é da ordem de 5 a 15% do excedente hídrico da precipitação pluviométrica que infiltra nos solos. Souza (2001) considera ainda que apenas 10% desse volume que recarrega o domínio poroso é transmitido para o domínio fraturado, recarregando os aquíferos fissurais. Cadamuro (2002), por

meio da realização de balanços hidrogeológicos em área de chapada elevada, típica região de recarga regional de aquíferos do Distrito Federal, calculou valores entre 14 e 25% do volume total precipitado em um ano hidrológico, para recarga no domínio poroso e valores entre 0 e 17% para a recarga no domínio fraturado. Conforme Cadamuro (2002), é necessário que ocorra uma recarga mínima de 15% do volume total precipitado no ano hidrológico para que seja possível a ocorrência da recarga natural no domínio fraturado.

## OS SISTEMAS DE ABASTECIMENTO

O Sistema Produtor de Água de São Sebastião foi inaugurado no final do ano de 1997 e tem como fonte única de produção 20 poços tubulares profundos instalados na zona urbana da cidade. Os poços operam alimentando dois centros de reservação (com capacidades de 4000 m<sup>3</sup> e 2000 m<sup>3</sup>, respectivamente), a partir dos quais a água é distribuída para as redes. Até o final de 2004 a desinfecção será feita através de bombas dosadoras de cloro instaladas em 8 dos 20 poços existentes, sendo que a instalação de UTSs junto aos reservatórios está prevista para o final deste mesmo ano. O sistema possui uma capacidade máxima de produção de 1033 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>, ou 287 l.s<sup>-1</sup>. Estes poços respondem por cerca de 3 % da capacidade instalada de todo o sistema produtor da CAESB no DF e vem atendendo uma população urbana estimada de mais de 60000 habitantes. Os poços possuem profundidade média de 150 metros e exploram água exclusivamente do aquífero fraturado.

O Sistema de Abastecimento de Água de Sobradinho é composto de 7 poços tubulares profundos, sendo 3 no setor denominado Sobradinho I e 4 situados no setor denominado Sobradinho II. Estes poços integram um sistema misto de abastecimento no qual as vazões provenientes de captações superficiais constituem a maior parte das vazões produzidas. Em Sobradinho I, local onde foram coletadas as amostras, os poços alimentam os reservatórios de distribuição. A capacidade de produção máxima dos poços de Sobradinho é de 239 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup> ou 66 l.s<sup>-1</sup>. A profundidade média dos poços é de 110 metros. As vazões mais frequentes giram em torno de 25 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>, destacando-se a ocorrência de dois poços com vazões de 67 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup> cada.

O Sistema de Abastecimento do Complexo Penitenciário da Papuda compõem-se de captações superficiais e captações por poços tubulares profundos. O setor oeste do complexo é abastecido exclusivamente por poços tubulares profundos, sendo que a unidade denominada PDF, na qual foram coletadas as amostras para análise, é abastecida por seis poços. A capacidade de produção desses poços é de 47 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>, ou 13 l.s<sup>-1</sup>, e a profundidade média é de 113 metros. Estes poços abastecem cerca de 5000 pessoas, incluídas a população carcerária e os funcionários do presídio.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O procedimento para medir a concentração de atividade de radônio em amostras de água subterrâneas é rápido e simples. A amostragem e medida de  $^{222}\text{Rn}$  por cintilação em meio líquido foram otimizadas e implantadas nos laboratórios do CRCN-CO. A coleta do gás radônio é o ponto mais importante e crítico nesta metodologia. Para evitar a difusão do gás radônio para o ar, as amostras de águas subterrâneas foram recolhidas e misturadas diretamente em frascos de vidros de cintilação contendo solução cintiladora Permafluor da Packard (Perkin Elmer), desta forma, o gás radônio migra da fase aquosa para a fase orgânica da solução cintilante. Um sistema de contagem de cintilação em líquidos da Packard, modelo LSA TR 2700 foi utilizado.

Foram selecionadas três regiões estrategicamente selecionadas dentro do Distrito Federal com diferentes formações geológicas levando-se em consideração os poços de abastecimento público que atendem a um grande número de pessoas. A amostragem foi realizada no período de chuvas, entre os dias 26 a 27 de maio de 2004, em dez poços de abastecimento público. A água foi coletada em duplicata e um GPS (Garmin, modelo 45 XL) foi utilizado para localizar geograficamente os poços de abastecimento público escolhidos no Distrito Federal. Frascos de cintilação foram levados ao campo contendo o Permafluor. A água foi retirada com o auxílio de uma bomba elétrica diretamente do poço por meio de um tubo deixando-a fluir por 30 minutos no interior de um balde. Uma seringa médica de 20 ml de capacidade foi utilizada para amostrar a água do interior desse recipiente e lentamente 10 ml foi injetada diretamente no frasco de cintilação. Foi usado um protocolo de campo contendo: local de amostragem, dia e hora da coleta, altitude, latitude, longitude e profundidade. As amostras foram armazenadas em recipiente térmico com gelo até serem medidas em um sistema de cintilação em meio líquido, em um período que variou de 19 a 39 horas após a amostragem. Para a contagem do background (branco) foram utilizadas águas livres da presença de radônio. Também foi coletada 1 litro de amostra para posterior análise de  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$  e  $^{210}\text{Pb}$ .

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

A escolha dos poços a serem amostrados objetivou a amostragem do aquífero de maior extensão areal dentro do Distrito Federal (aquífero R<sub>3</sub>/Q<sub>3</sub>), Sistema Paranoá, assim como o aquífero com maior vazão média dos poços (aquífero F/Q/M), Sistema Canastra (Tabela 1).

A Tabela 2 mostra os resultados das análises onde são apresentados o: local da coleta, o tipo de rocha, a altitude do poço, a profundidade, a vazão e a concentração de atividade de radônio em Bq.l<sup>-1</sup> nas amostras de águas subterrâneas de poços de abastecimento público da CAESB no Distrito Federal. No Sistema de Abastecimento de Água de Sobradinho, que abastece 150000 pessoas, foram selecionados três poços em rochas quartzíticas numa altitude média de 1170 metros, dois

poços no Sistema de Abastecimento do Complexo Penitenciário da Papuda que abastece 5000 pessoas, em rochas quartzíticas numa altitude média de 1150 metros e seis poços no Sistema Produtor de Água de São Sebastião (60000 pessoas), três em rochas carbonáticas e dois em filitos, com altitude média de 900 metros.

**Tabela 2 - Concentração de  $^{222}\text{Rn}$  em amostras de água subterrânea de poços de abastecimento público da CAESB no Distrito Federal**

Local de Amostragem	Tipo de rocha	Altitude (m)	Profundidade do poço (m)	Vazão ( $\text{l.h}^{-1}$ )	Concentração $^{222}\text{Rn}$ ( $\text{Bq.l}^{-1}$ )
Papuda1	quartzito	1153	120	9000	62±2
Papuda2	quartzito	1152	121	9000	64±2
S.Sebastião1	carbonática	905	150	30600	18±1
S.Sebastião2	carbonática	907	100	26000	17±1
S.Sebastião3	carbonática	914	177	33000	138±4
S.Sebastião4	filito	916	100	12000	107±3
S.Sebastião5	filito	895	131	25000	144±4
Sobradinho1	quartzito	1175	92	67000	68±2
Sobradinho2	quartzito	1176	107	67000	62±2
Sobradinho3	quartzito	1158	150	19000	66±2

Os resultados das coletas em duplicatas do gás radônio mostraram que não houve difusão do gás para o ar (Lauria *et al.*, 2004). A eficiência de contagem foi de  $70\pm 2\%$  e a atividade mínima detectável foi de  $3 \text{ Bq.l}^{-1}$  para um tempo de contagem de 50 minutos e um erro associado com um intervalo de confiança de 2 sigma ( $\pm 2\sigma$ ). Os valores das concentrações de  $^{222}\text{Rn}$  variaram entre  $17\pm 1 \text{ Bq.l}^{-1}$  e  $144\pm 4 \text{ Bq.l}^{-1}$ .

Os resultados dos níveis de concentração de  $^{222}\text{Rn}$  em poços de Sobradinho e da Papuda apresentaram em média valores concordantes entre si entretanto menores que os encontrados em Piedmont, Estados Unidos da América do Norte, também perfurados em rochas cristalinas, que foram em média de cerca de  $110 \text{ Bq.l}^{-1}$ . Levantamentos mundiais de  $^{222}\text{Rn}$  em águas subterrâneas indicaram uma concentração média de  $183 \text{ Bq.l}^{-1}$  (NCRP, 1984), níveis três vezes maiores aos encontrados em Sobradinho e na Papuda, poços estes localizados em rochas quartzíticas.

Os valores dos níveis de radônio dos poços subterrâneos de São Sebastião 1 e 2, em rochas carbonáticas, foram comparativamente os mais baixos encontrados. Os maiores valores encontrados foram em São Sebastião 3, 4 e 5. No momento atual não há evidências plausíveis para discutir os mesmos. Sugere-se que novas amostragens e novas investigações, na época da seca, deverão ser feitas, para discutir detalhadamente estes valores.

## CONCLUSÕES

Resultados preliminares neste presente estudo mostraram que os valores das concentrações de  $^{222}\text{Rn}$  variaram entre  $17\pm 1 \text{ Bq.l}^{-1}$  e  $144\pm 4 \text{ Bq.l}^{-1}$ . Esses valores foram inferiores ao nível máximo proposto pelo EPA, que é de  $150 \text{ Bq.l}^{-1}$ , para água de consumo (EPA,1999). Portanto, não há potencial de risco para a população estudada. Entretanto, sugere-se que um novo levantamento deverá ser feito, durante a estação da seca no Distrito Federal, para confirmar e investigar os níveis de  $^{222}\text{Rn}$  encontrados.

Essa segunda campanha de coleta nestes poços selecionados no Distrito Federal, durante a estação da seca será também imprescindível para verificar as estimativas de Cadamuro (2002). Os níveis de concentrações de  $^{222}\text{Rn}$  encontrados poderão estimar a taxa de infiltração de água de chuva na água subterrânea, delimitar zonas de recarga, porosidade e outras propriedades de formação e assim realizar estudos que permitam estabelecer procedimentos para a utilização de  $^{222}\text{Rn}$  como traçador nesses processos hidrológicos (Lee e Hollyday,1987; Hoehn e Gunten,1989; Hamada,2000).

Novas investigações nestes poços ainda serão feitas, no período de seca, para determinar os radionuclídeos naturais:  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$  e  $^{210}\text{Pb}$  e isótopos de Urânio, presentes nas águas subterrâneas, principalmente nas rochas carbonáticas, os quais servirão de traçadores para entender melhor os processos hidrológicos nas presentes litologias, nos domínios fraturados e porosos como também avaliar a qualidade das águas consumidas pela população do Distrito Federal.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] GASCOYNE, M.1989, High Levels of Uranium and Radium in Ground Waters, Canada's Underground Research Laboratory, Lac du Bonnet, Manitoba, Canada, Applied Geochemistry, 4, 557-591.
- [2] NCRP.1984. National Council on Radiation Protection and Measurements. Exposures from the Uranium Series with Emphasis on Radon and its Daughters. NCRP Report No. 77, Bethesda, MD.
- [3] LEE R.W, & HOLLIDAY E.F. 1987. Radon Measurement in streams to determine localization and magnitude of ground-water seepage. Radon in groundwater, Chelsea, Lewis Publishers, 241-249.
- [4] HOEHN, E., & GUNTEN, H.R., 1889. Radon in groundwater: mA tool to assess infiltration from surfaces waters to aquifers. Water Resources Research 25 (8), 1795-1803.
- [5] HAMADA H., 2000, Estimation of groundwater flow rate using the decay of  $^{222}\text{Rn}$  in a well, Journal of Environmental Radioactivity 47, 1-13.

- [6] CADAMURO, A.L.M. 2002. Proposta, Avaliação e Aplicabilidade de Técnicas de Recarga Artificial em Aquíferos Fraturados Para Condomínios Residenciais do Distrito Federal, Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências - IG, Universidade de Brasília - UnB, Brasília, DF, 126 p.
- [7] CAMPOS J. E. G. & FREITAS-SILVA, F. H. 1998. Hidrogeologia do Distrito Federal. In: Inventário Hidrogeológico e dos Recursos Hídricos Superficiais do Distrito Federal, vol. IV, 1998. Brasília, IEMA/SEMATEC/UnB, 85 p.
- [8] COIMBRA, A.R.S.R. 1987. Balanço hídrico preliminar do Distrito Federal. In: Inventário Hidrogeológico do Distrito Federal. (GDF/CAESB) Brasília DF. P. 50-78.
- [9] SOUZA, M. T. 2001. Fundamentos para Gestão dos Recursos Hídricos do Distrito Federal. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências – IG, Universidade de Brasília- UnB, Brasília, DF, 94 p.
- [10] LAURIA, D. et al, (2004) Radônio em águas subterrâneas de Goiás, III Simpósio de Recursos Hídricos do Centro-Oeste, Goiânia.
- [11] KASZTOVSZKY Z., SAJÓ-BOHUS L. & FAZEKAS B., 2000, Parametric changes of  $^{222}\text{Rn}$  concentration in ground water in Northeastern Hungary, Journal of Environmental Radioactivity 49, 171-180.
- [12] Ministério da Saúde (2000). Normas e padrão da potabilidade de água destinada ao consumo humano. Portaria No.36/GM.
- [13] EPA (1999). Health risk reduction and cost analysis for radon in drinking water. Federal Register, 64 (38), 9559.