

## Geoprocessamento no monitoramento da radioatividade natural das instalações de petróleo do Canto do Amaro (RN)

Reinaldo Antonio Petta<sup>1,2</sup>  
Thomas Ferreira da Costa Campos<sup>1,2</sup>  
Paulo Sergio de Rezende Nascimento<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>LAGEOMA- Laboratório de Geomática  
Depto de Geologia UFRN - Campus Universitário - Natal (RN) 59072-970  
petta@ccet.ufrn.br

<sup>2</sup>LARANA - Laboratório de Radioatividade Natural  
Depto de Geologia UFRN - Campus Universitário - Natal (RN) 59072-970  
{petta, paulo, tcampos}@geologia.ufrn.br

**Abstract:** The paper details the Geoprocessing actions (RS and GIS) used in the preparation of a system intended to monitor the shallow environmental radiometric and radioactive dosage in the oil field of Canto do Amaro (Mossoró - RN) through emanometric sampling (active and passive) performed for evaluate the distribution of radon in oil installations and the definition of "Radon Risk" for workers. Was conducted several types of measures in the areas of pipelines, treatment plants and waste storage; lines and transport operations and also in mud, soil, waste and sludge extraction. The majority of the samples were analyzed as was collected, without pretreatment. To collect the data from gamma radiation was used the spectrometer Gamma RS-125 (Radiation Solutions) and for the active emanometry of radon gas in soils was used the AlphaGuard (Genitron). GIS tools were used to produce a statistical characterization of the relationship of radon with its physical variables, lithology, soil and climatic variables, using geostatistical models such kriging to interpolate the values analyzed. The measures, after treatment, demonstrating that the studied locations and activity concentrations was below the exemption level. But in some cases, were reported values above the exemption which are reported here.

**Palavras-Chave:** Radônio, Petróleo, Dutos, SIG

### 1. Introdução

O ambiente e os seres humanos estão normalmente expostos a radiações ionizantes. As fontes naturais de radiação podem ser raios cósmicos, radionuclídeos produzidos pela interação da radiação cósmica com a atmosfera, solo e água e radionuclídeos primordiais, principalmente das séries naturais do urânio, tório e potássio-40. A maior parte dos elementos radioativos que ocorrem na natureza são membros de uma das três séries radioativas: a do urânio (em que o pai é  $^{238}\text{U}$ ), do actínio ( $^{235}\text{U}$ ) e do tório ( $^{232}\text{Th}$ ).

O Radônio é um gás inerte natural que se origina do rádio, um membro das séries de decaimento do urânio e tório. Está presente em praticamente todos os lugares da crosta terrestre, e por ser um gás, tem a propriedade de se acumular em ambientes fechados. Estudos recentes desenvolvidos pelo EPA (Environmental Protection Agency), órgão americano que monitora as taxas de radônio nos Estados Unidos, comprova que o radônio é a segunda maior fonte de câncer de pulmão, perdendo apenas para o cigarro. Dados atestam que a exposição do radônio é causa de 6 a 15% do câncer de pulmão no mundo.

Substâncias radioativas naturais: são encontradas no subsolo rochoso e por vezes acompanham alguns materiais de interesse econômico, como petróleo e gás, e durante sua exploração podem ser trazidas para a superfície e difundir-se no meio ambiente. Quantidades significativas de materiais radioativos naturais provenientes da rocha reservatório são encontradas durante as fases de exploração, produção, manutenção e transporte do óleo.

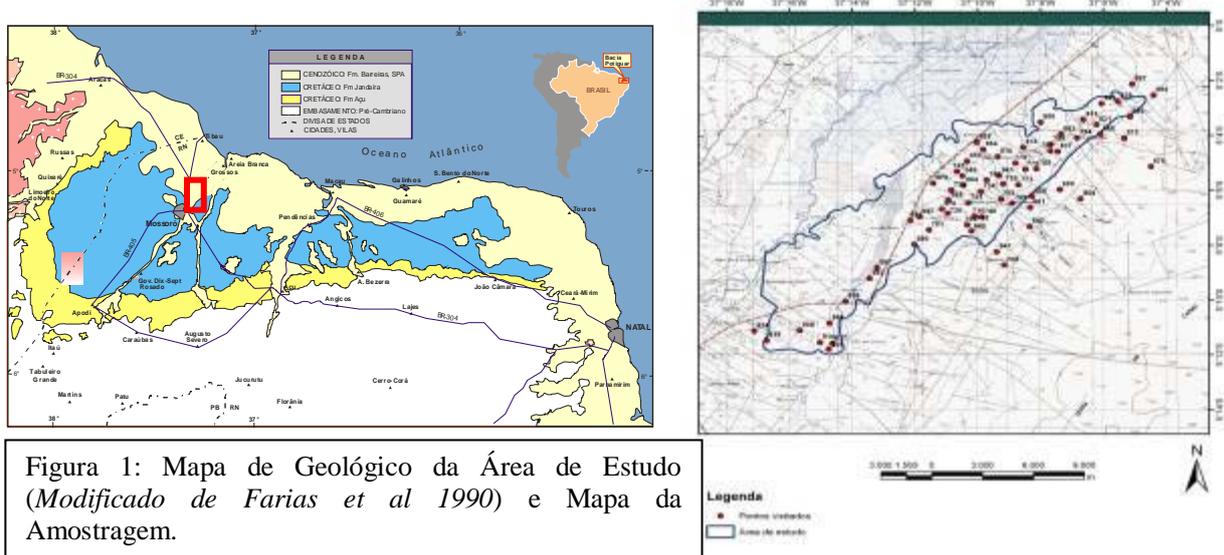
Existem duas categorias de material radioativo que os trabalhadores do petróleo precisam se preocupar (i) material radioativo de ocorrência natural (NORM) que provém das rochas e

sedimentos do subsolo e (ii) material radioativo de ocorrência natural tecnologicamente realçado (TENORM), que são os radionuclídeos que foram concentradas pelo processo de extração, transporte e/ou produção, tais como o acúmulo de lodo e resíduos de petróleo nos equipamentos de extração.

Os fluidos produzidos durante a exploração, incluindo a água, podem conter radionuclídeos, principalmente o Rádio-226, Rádio-228 e Radônio dissolvido a partir da rocha-reservatório, que são transportados juntamente com seus descendentes quando esta água é trazida à superfície durante a exploração de óleo e gás, e devido às mudanças de temperatura e pressão pode acumular ricas precipitações de sulfato e carbonato de rádio nas paredes internas dos equipamentos de produção (e.g.: tubos, válvulas, bombas).

O Rn-222 comumente chamado de Radônio (meia-vida de 3,8 dias) tem como subprodutos de desintegração radioativa de meia-vida curta o Po-218, o Pb-214, o Bi-214 e o Po-214, que podem ser liberado para atmosfera, enquanto a água produzida e a lama da perfuração, contendo rádio são colocadas em lagoas ou poços de evaporação, para sua reutilização ou recuperação. E mesmo um trabalhador que atue nas perfuratrizes pode inalar o radônio na boca do poço, aumentando o risco de câncer de pulmão. A radiação gama pode também penetrar na pele e elevar o risco de câncer. (U.S. Environmental Protection Agency (EPA))

O estudo que é apresentado neste artigo tem seu foco na elaboração de um Sistema de Informações Georeferenciadas (SIG) que foi constituído com a finalidade de avaliar e consequentemente monitorar as medições dos níveis de radiação nas instalações petrolíferas do Canto do Amaro (Mossoró-RN) tendo como finalidade avaliar o nível regional da radiação (e background) e o nível de segurança da radiação em algumas áreas de dutos e instalações, tanto no presente como no futuro. Avaliações dos níveis da radioatividade em áreas de exploração de petróleo, além de aferir os níveis de exposição podem as bases para se formular ações de orientação de segurança a ser seguidos pelos trabalhadores.



Determinados órgãos como o UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation) e o ICRP (International Commission of Radiological Protection) tem definido os limites aceitáveis de exposição do radônio pelos seres humanos, de 148 Bq/m<sup>3</sup> e 200 Bq/m<sup>3</sup>, respectivamente.

Atualmente, com o avanço da tecnologia e a preocupação crescente com este gás, várias instituições nacionais e internacionais de pesquisa, como por exemplo, a EPA (Environmental Protection Agency – Agência de Proteção do Meio Ambiente dos Estados Unidos) e o CDTN

(Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear do Brasil) estão se empenhando em estudar e entender melhor o comportamento deste gás.

No Brasil, ainda não existem dados estatísticos suficientes para um mapeamento detalhado das regiões com maior concentração de radônio e nem legislação específica.

A área de trabalho compreende o campo de petróleo denominado de Campo do Amaro (Fig.1). O campo engloba os municípios de Mossoró, Areia Branca e Serra do Mel, todos no RN, sendo explorado pela Petrobrás, e é o maior campo terrestre produtor de óleo do Brasil, contando com mais de 1500 poços em atividade, além de grande rede de dutos e estruturas de armazenamento, estruturas de transporte de gás e óleo, lagoas de estabilização e de tratamento de dejetos, estações coletoras e de bombeamento, localizados em uma área de 250KM<sup>2</sup>. Geologicamente o Canto do Amaro esta inserido na Bacia Potiguar, que é uma bacia Cretácea, formada por sedimentos neocretáceos e terciários que se distribuem em um Rift Neocomiano de direção NE-SW.

## 2. Metodologia

O conhecimento da composição química das rochas é de suma importância quando se trata de radônio, uma vez que concentrações de urânio (U) e tório (Th) podem influenciar de forma expressiva a atividade de radiação no ambiente. Os solos, que têm sua formação controlada pelo intemperismo da rocha fonte, estabelecem que a quantidade de radioelementos nele contida está correlacionada diretamente com a quantidade de radioelementos (tipo tório e urânio) presentes na rocha fonte e com suas quantidades de concentração de radônio. Na área do projeto foram medidas as radiações em rochas calcárias, areníticas e sedimentos quaternários. Na região do Canto do Amaro foram mapeados oito tipos de solos que foram identificados como: (i) Latossolos Vermelho, (ii) Argissolos Vermelho Amarelos, (iii) Neossolos, (iv) Neossolos Litólicos, (v) Neossolos Quartzarênicos, (vi) Neossolos Flúvicos, (vii) Gleissolos Tiomórficos, e (viii) Cambissolos Háplicos.

As concentrações de radônio são medidas através de sua atividade radiométrica, utilizando uma unidade chamada Bequerel (Bq). A unidade de medida deste trabalho foi Bq/m<sup>3</sup> (Bequerel por metro cúbico). A radiação Gama superficial foi medida através de dois espectrômetro radiação Gama RS-125 (cristal de NaI) e RS-230 (cristal de BGO), ambos da Radiation Solutions. Por sua vez, o radônio nos gases de solo e rochas foi medido por emanometria ativa através do instrumento AlphaGuard da Genitron (Fig.2). Além de solos e litologias, as medidas foram realizadas em áreas de linhas de dutos, estações de tratamento de dejetos e de armazenamento, sobre linhas e operações de transporte e também em lama, solos, e resíduos de lamas de extração. A maioria das amostras foi analisada tal como encontradas, isto é, sem pré-tratamento gerando o arquivo Radônio.shp.

Essas medidas, quando espacializadas por meios de ferramentas de geoprocessamento, permitiram realizar importantes e abrangentes análises que apoiaram as avaliações e consentiram a compreensão da distribuição de processos inerentes à exploração do petróleo e a interação entre eles, os solos, rochas e o ambiente. O sistema de coordenadas utilizado para a coleta da posição dos pontos foi o sistema de coordenadas geográficas, com Datum WGS84, com medidas em graus decimais. Para fazer as associações necessárias com os dados de radônio, foram utilizadas bases vetoriais em formato shapefile (\*.shp).

As bases de Litologias (Geologia.shp) e Pedologia (Solos.shp) que foram utilizadas neste trabalho (escala 1:50.000) são pertencentes a Rede Marisco - Monitoramento de Áreas de Risco, das Redes Norte Nordeste de Petróleo e Gás. Para complementar as análises, usou-se como referência a própria base de pontos de medição com a identificação das estações do ano em que as amostras foram coletadas, gerando assim a base de Estações do Ano (Clima.shp). Foi realizada uma correção dos dados, a fim de eliminar inconsistências de sistema de projeção e valores vazios ou anômalos.



Fig. 2. Equipamentos e Metodologia de Mensuração

Na etapa pré-análise foi realizada uma junção espacial (Join spatial) para unir todos os três arquivos em um único, intitulado de Rdiaotividade.shp. Nessa junção foram apagados os valores vazios e anômalos, com cada ponto agora representado com os valores respectivos de litologia, pedologia e estação do ano. A partir do banco de dados foram gerados gráficos de dispersão entre a média e o desvio padrão e com rótulos de séries por meio natural adequado, ou seja, litologia, pedologia e estação do ano.

### 3. Resultados e Discussão

Para a Pedologia, nenhum valor de média avaliado ultrapassou os valores aceitáveis segundo o UNSCEAR. Os valores mais baixos foram encontrados no grupo dos Neossolos Litólicos, Neossolos Quartzarênicos, Neossolos Flúvicos, Gleissolos Tiomórficos, e Cambissolos Háplicos (média, de 90 Bq/m<sup>3</sup>). No caso específico do grupo dos Latossolos, o tipo de solo Latossolo vermelho-amarelo apresentou a maior média, de 155 Bq/m<sup>3</sup>, sendo distinto dos outros latossolos encontrados na região. Os Argissolos Vermelho Amarelos apresentaram também valores altos (média de 132 Bq/m<sup>3</sup> e com picos de 145 Bq/m<sup>3</sup>)

Analisando os resultados da relação entre a Litologia e a concentração de radônio na região do Canto do Amaro e sua estatística básica de média e desvio padrão, pode-se verificar que três litologias se destacam com altas médias de concentração de atividade (Bq/m<sup>3</sup>), quais sejam: Calcário da Formação Jandaíra, Arenito da Formação Açú e os sedimentos quaternários próximos ao estuário do Rio Mossoró. Porém destas, somente a litologia Calcário, tem um valor aceitável da amostra, que é expresso através de oito amostras analisadas, cinco das quais são consideradas boas de serem amostradas. As amostras das outras duas litologias possuem uma grande variável de medidas que não permitiram uma avaliação considerável aceitável.

Nos resultados gerados para as Estações do Ano, percebe-se que os valores coletados no verão possuem médias superiores às representadas nas outras estações.

A distribuição da radiação superficial Gama total, atividades de U, Th, K e da respectiva dose de radiação nas instalações de petróleo e do gás do Canto do Amaro são mostrados na Fig. 3. Os dados demonstram que cerca de 75% das amostras de resíduos apresentaram concentrações de U, Th e K dentro da faixa normal de concentração em solos (UNSCEAR, 2000). Cerca de 97% dos pontos amostrados emitem uma dose de radiação inferior a média da crosta terrestre (55 nGy/h).

As frequências cumulativas de Radônio nos solos, radiação Gama Total e da radiação Gama Total + Radiação Alfa (Radônio) são dadas na figura 3 e 4. As figuras mostram a distribuição de concentração de rádio em cada tipo de resíduos. Cerca de 90% das amostras estudadas apresentaram uma concentração de Rn 222 e a respectiva dose de radiação emitida dentro da normalidade para os solos (UNSCEAR, 2000)..

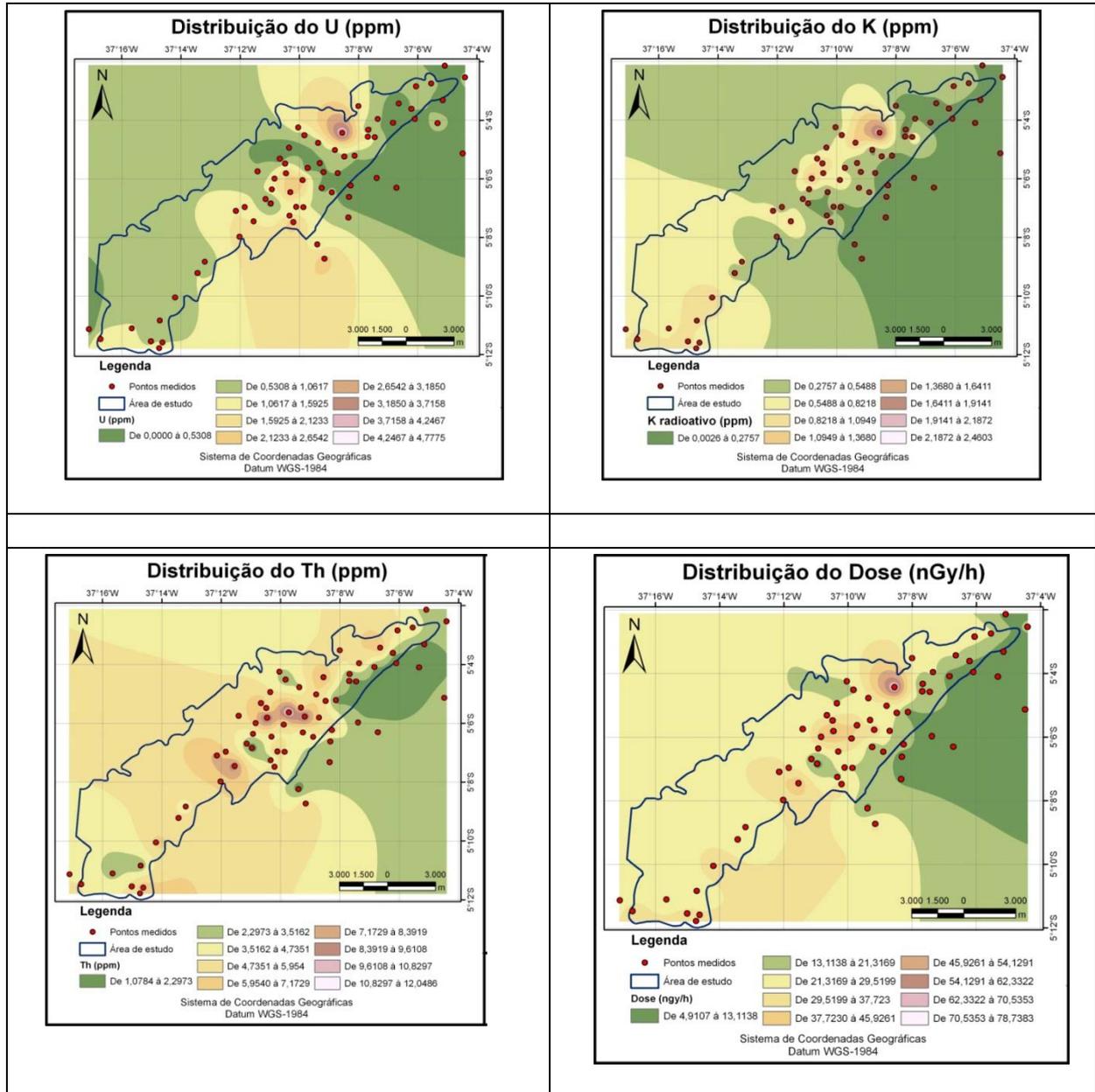


Fig. 3. Mapas da Distribuição Espacial de U, K, Th e Dose emitida, na área estudada.

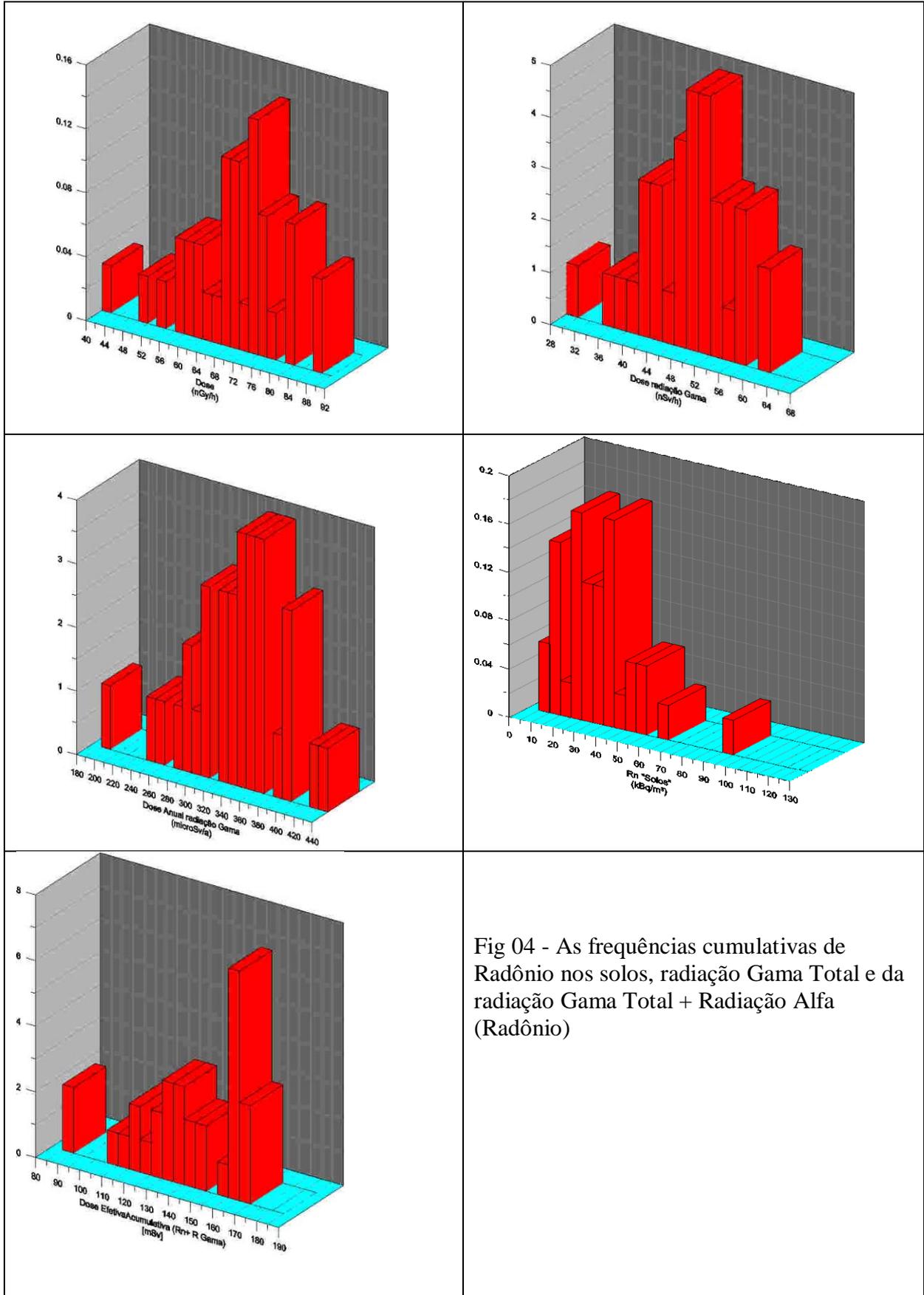


Fig 04 - As frequências cumulativas de Radônio nos solos, radiação Gama Total e da radiação Gama Total + Radiação Alfa (Radônio)

#### **4. Conclusões**

As ferramentas de geoprocessamento que foram utilizadas nesta pesquisa possibilitaram avaliar a distribuição espacial da radioatividade e relacionar a concentração do gás radônio com a litologia, pedologia e estações do ano. Dos resultados obtidos pode-se aferir que: (i) Os solos do tipo Latossolos e Argissolos foram as unidades que apresentaram os maiores valores de radioatividade natural; (ii) A litologia que apresentou os mais altos valores radioativos foi o calcário, porém as demais litologias devem ser avaliadas com mais cautela e em número maior de pontos, pois possuem indícios de serem tipos litológicos propício a acumular maiores concentrações de radônio; (iii) Em relação às estações do ano, o verão apresentou as maiores concentrações, porém deve-se analisar estes dados com cautela pois não foi feito um estudo aprofundado (as amostras não foram coletadas com a finalidade de estudar a relação radônio/estações); (iv) No SIG elaborado foi possível se realizar a modelagem e a análise espacial do problema estudado, e verificou-se que as instalações estudadas, na sua maioria apresentaram concentrações de atividade abaixo do nível de isenção. Porém em poucos casos, foram notificados valores acima do valor de isenção.

Dessa forma, a prática investigada - exploração e produção de petróleo - não é isenta e estará sujeita aos requisitos de controle especificados. Cabe, então, à Empresa que explora a área, a tarefa de controlar qualquer instalação que origine níveis de radioatividade elevada (geração de TENORM), ou ainda onde haja práticas que deem origem a doses nos trabalhadores superiores aos limites primários para indivíduos do público.

A empresa que explora esta área deve também implementar um Plano de Proteção Radiológica Ocupacional na região de estudo, de modo que as doses recebidas pelos trabalhadores sejam tão baixas quanto possíveis, independentemente de quão rápida ou baixa seja a exposição. Existem condições reais onde as exposições podem ser elevadas se nada for feito. Seria recomendável que fossem adotadas ações nas instalações, para avaliação, por um período de 5 anos. Levando em conta as considerações anteriores, e tomando por base a sugestão deste trabalho, deve ser disponibilizado, pela Autoridade Regulatória, algum tipo de guia, recomendação ou diretriz, de modo a regular e orientar os operadores na fase inicial. Adicionalmente, deve ser disponibilizada legislação mais ampla, levando em conta também os aspectos do meio ambiente e controlar as exposições ocupacionais e do público.

Sugerem-se estudos adicionais de modo a melhor avaliar a influência e adequação do uso da concentração do radônio e na determinação do valor limite de atividade por unidade de massa a ser utilizado em futuros regulamentos. Devem ser desenvolvidos estudos para tratar e resolver a questão de rejeitos tais como tubos e materiais metálicos, pois a quantidade gerada deste tipo de material acumulado é grande.

Sugere-se ainda a realização de medições constantes da concentração de radônio, principalmente na boca do poço quando perfurado, mas também nas linhas de transporte e nas instalações de exploração e armazenamento, a fim de verificar a situação do nível da radioatividade nestas instalações.

#### **Agradecimentos**

Esta pesquisa foi financiada pela FINEP/CNPq através das Redes Norte Nordeste de Petróleo e Gás e recebeu apoio laboratorial do LARANA (UFRN).

### **Referências Bibliográficas**

- ATSDR, 2008. Toxicological Profile for Radon: Draft report. Agency for Toxic Substances and Disease Registry Division of Toxicology and Environmental Medicine/Applied Toxicology Branch, Georgia-USA.
- CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear. Ministério da Ciência e Tecnologia. 2005 Posição Regulatória 3.01/007. Níveis de intervenção e de ação para exposição crônica. Rio de Janeiro, Brasil,.
- CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear. Ministério da Ciência e Tecnologia. NN 3.01 Diretrizes básicas de proteção radiológica (2005) Rio de Janeiro, Brasil. Disponível em: <<http://www.cnen.gov.br>> . Acessado em: Março de 2010.
- EPA - <http://www.epa.gov/aboutepa/administrator.html> (acessado em Nov 2011)
- IAEA Safety Report No. 49 2006 - "Assessing the need for Radiation Protection Measures in Work Involving Minerals and Raw Materials" The IAEA Safety Report No. 49 published in November.
- ICRP - International Commission on Radiological Protection. ICRP 106 2008 - Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals. Oxford: Pergamon Press, v. 38, n. 1-2,.
- MALANCA, A., GAIDOLFH, P. 1997. Environmental radon in some Brazilian towns and mines, Radiation Protection Dosimetry, Vol 69, 3, 211-216 (1997).
- UNSCEAR 1988. Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. New York-USA (1988).
- UNSCEAR 2000: Report on Sources and Effects of Ionizing Radiation to the General Assembly (2 Volumes), United Nations, Vienna (2000).
- UNSCEAR 2001: Report on Hereditary Effects of Radiation to the General Assembly, United Nations, Vienna (2001).
- UNSCEAR 2006 - Report to the United Nations General Assembly.77 UNSCEAR - United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Effects of Ionizing Radiation, anexo E,. UNSCEAR Report to the United Nations General Assembly.
- WHO – World Health Organization. 2009. Handbook on Indoor Radon. A Public Health Perspective,. Edited by Hajo Zeeb II and Ferid Shannoun III. World Health Organization (WHO).