



## O Gás Radônio Doméstico e a Radioatividade Natural Em Terrenos Metamórficos: o Caso do Município de Lucrecia (Rio Grande do Norte, Brasil)

T.F.C. Campos<sup>1</sup>, R.A. Petta<sup>1</sup>, A. Malanca<sup>1</sup>, V.F.S. Pastura<sup>3</sup>, S.E. Sichel<sup>4</sup>, A. Motoki<sup>5</sup>

Recebido em 30 de setembro de 2013/ Aceito em 14 de março de 2014

<sup>1</sup>Laboratório de Radioatividade Natural / Universidade Federal do Rio Grande do Norte (LARANA/UFRN); <sup>2</sup>Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN); <sup>3</sup>Universidade Federal Fluminense (UFF); <sup>4</sup>Universidade Estadual do Rio de Janeiro (UERJ) - Autor para correspondência: [thomascampos@geologia.ufrn.br](mailto:thomascampos@geologia.ufrn.br)

### Resumo

Um *pool* de estudo epidemiológico internacional realizado sobre uma coorte de mineiros de urânio demonstrou que a exposição contínua ao gás radônio aumenta fortemente o risco de se contrair câncer de pulmão. O Radônio Doméstico (*Domestic Radon*) ou Radônio Interior (*Indoor Radon*) foi identificado como o mais importante fator de risco ambiental para o câncer de pulmão. A cidade de Lucrecia no Rio Grande Norte-Brasil apresenta uma incidência de diferentes tipos de câncer anormalmente alta (incluindo o câncer de pulmão) em relação aos municípios vizinhos. Esta região é formada por rochas metamórficas de composição granítica e carbonática (mármore). Este trabalho apresenta os resultados das medidas obtidas por meio de 210 detectores passivos do gás Radônio, distribuídos em algumas residências do município, tanto da zona urbana, como natural. As medições foram realizadas durante dois períodos na estação seca (Dezembro - Fevereiro). A maioria das habitações não possui forro e são cobertas por telhas de cerâmica vermelha, com piso de cerâmica vitrificada e/ou cimento. O nível de radiação gama nas habitação variou entre 106 a 264 nGy/h (MED: 152; MA: 151; MG:150; DP: 28). Para os dois períodos o radônio doméstico variou entre 40-7679 Bq/m<sup>3</sup> (Mediana: 237; Média geométrica: 220 e Desvio Padrão: 957). No primeiro período medido, todas as habitações excederem o teor de Radônio-222 (intervalo: 170-6538; MED: 307; GM: 370; DP: 956) para o nível de ação estabelecido pela Organização Mundial de Saúde (OMS; ZEEB II, E SHANNOUN III, 2009) que é de 100 Bq/m<sup>3</sup>. Contudo, no segundo período medido, os dados são mais dispersos (intervalo: 42-7679; MED: 115; GM: 135; SD: 919) devido ao início precoce de uma anormal temporada de chuvas, mas a maioria das habitações continuou a apresentar valores que ultrapassam o limite máximo de contaminante estabelecido pela OMS.

**Palavras-chave:** Radônio Doméstico, Terrenos Metamórficos, Nordeste do Brasil

### Abstract

*A pool of international epidemiological study conducted on a cohort uranium miner has shown that continuous exposure to radon gas increases the risk of contracting lung cancer. The domestic Radon has been identified as the most important environmental risk factor for lung cancer.*

*The city of Lucrecia in Rio Grande Norte-Brazil presents an incidence of different types of abnormally high cancer (including lung cancer) in relation to neighboring municipalities. This region is formed by metamorphic rocks of granitic composition and carbonatic (marble). This work presents the results of 210 passive Radon detectors distributed in some residences, which were chosen randomly among the urban and rural area. The measurements were made during two periods in the dry season (December-February). Most of the dwellings has no roof and are covered by red ceramic tile, ceramic floor vitrified and/or cement. The level of gamma radiation in each housing varied between 106 a 264 nGy/h (MED: 152; MA: 151; MG:150; SD: 28). For the two periods, the "domestic radon" varied between 40-7679 Bq/m<sup>3</sup> (MED: 237; MG: 220 and DP: 957). In the first period, all homes exceed the content of Radon-222 to the level of action established by the World Health Organization (WHO; ZEEB II & SHANNOUN III. 2009) which is 100 Bq/m<sup>3</sup> (range: 170-6538; MED: 307; GM: 370; SD: 956). However, in the second period measured, the data are more dispersed (range: 42-7679; MED: 115; GM: 135; SD: 919) due to the early onset of abnormal a rainy season, but most houses continued to present values that exceed the maximum contaminant limit established by the WHO.*

**Keywords:** *Indoor Radon, Metamorphic Terrain, Northeastern Brazil*

## INTRODUÇÃO

Um "pool" de estudo epidemiológico internacional realizado sobre uma coorte de mineiros de urânio demonstrou que a exposição contínua ao gás radônio aumenta fortemente o risco de se contrair câncer de pulmão. O Radônio Interior foi identificado como o mais importante fator de risco ambiental para o câncer de pulmão. Consequentemente, a Organização Mundial de Saúde (WHO; ZEEB II & SHANNOUN III, 2009), o Conselho de Ciências da Associação Médica Americana (AMACS), a Agência para Substâncias Tóxicas e Registro de Doenças (ATSDR; KEITH et al., 2008), a Comissão da Nações Unidas sobre os Efeitos da Radiação Atômica (UNSCEAR, 2000) e a Comissão Internacional para a Proteção Radiológica (ICRP, 1991), pois exposições prolongadas ao Radônio e seus produtos de decaimento podem provocar câncer pulmonar, e que nenhum nível de radônio pode ser considerado seguro: "O risco de se desenvolver câncer do pulmão é diretamente proporcional aos níveis e tempo de exposição ao radônio, isto é, quanto mais alta for a concentração de radônio, mais alto o risco de se contrair câncer do pulmão". Por sua vez a Organização Mundial de Saúde (WHO; ZEEB II & SHANNOUN III. 2009) estima que 1 a 3 em cada 100 pessoas que,

durante a sua vida, inalem ar com concentrações de Radônio não inferiores a 100 Bq/m incorrem no risco de contrair câncer de pulmão. A dose efetiva anual de exposição à radiação natural da população humana varia entre 1 a 15 mSv, com média estimada em 2,4 mSv (WHO; ZEEB II & SHANNOUN III. 2009). O município de Lucrecia no Rio Grande Norte-Brasil apresenta uma incidência de diferentes tipos de câncer anormalmente alta (incluindo o câncer de pulmão) em relação aos municípios vizinhos. Este município se encontra inserido na região do Semiárido Nordeste, em uma área mineira geologicamente conhecida por Província Mineira da Borborema (PMB). Neste resumo apresentam-se os resultados de um estudo piloto, visando fornecer subsídios, no domínio ambiental e de saúde pública, ao município de Lucrecia-RN sobre a distribuição do agente cancerígeno radônio e seus descendentes nas habitações das áreas urbanas e rurais do referido município.

## LOCALIZAÇÃO

O Município de LUCRECIA, localiza-se no extremo oeste do estado Rio Grande do Norte (Brasil), em terrenos metagraníticos dos contrafortes da Serra dos Martins (Fig.1).

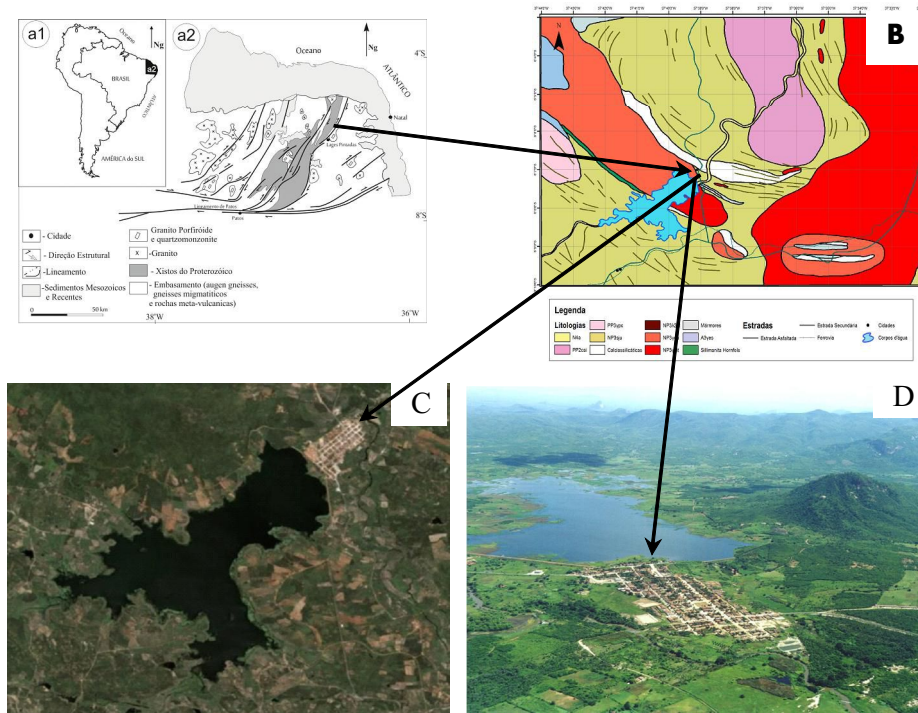


Fig. 1 - a) a1: Localização de Lucrecia da Província Borborema, a2) Mapa geológico da região do Seridó; b) Mapa geológico da região de Lucrecia; c) Imagem de satélite do Município de Lucrecia (2007); d) Fotografia aérea demonstrando as serras do entorno do açude e a área urbana do município de Lucrecia/RN entre o reservatório hídrico e o rio Umari (2006).

## MATERIALE MÉTODOS

A emanometria passiva de gás Radônio-222 nas residências da zona urbana e rural foi medida através do Sistema da RADELEC, que usa detectores do tipo “electret” (Fig. 2a, b e c). Os electretes são conhecidos como “verdadeiros integradores” por estarem constantemente “coletando e registrando” a geração de íons a partir do decaimento radioativo do Radônio no interior da câmara. Para efeito de cálculo da concentração do Radônio na atmosfera, a carga do electrete é lida antes e depois do período de exposição, através de um voltímetro especial para ler electretes (Fig.2a). Onde a diferencial de voltagem corresponde à ionização total referente ao período de exposição. Para controle da acurácia e precisão do registro no electretes e do leitor de electretes, distribuiu-se dois electretes em 20% das residências. Para cada electrete são realizadas cinco leituras, de onde se extrai a sua média, e a cada vinte leituras são realizadas três leituras com o electrete de referência (carga zero). A acurácia e precisão das medidas de radônio f i c a r a m

abaixo de 5% e 10%, respectivamente. Os electretes mais sensíveis são usados para medidas de curta duração (ST Electret®) e electretes menos sensíveis (LT Electret®) são usados para medidas de longa duração.

As medições ocorreram durante dois períodos de três meses na estação seca (Dezembro-Fevereiro). A maioria das habitações não possui forro e são cobertas por telha de cerâmica vermelha, com piso de cerâmica vitrificada ou de cimento (Fig. 3). A radiação natural foi medida através de espectrômetros de radiação Gama (RS-125 com cristal de NaI e RS-230 com cristal de BGO da TerraPlus Inc, Canadá) a cerca de 50 cm da superfície (Fig. 2d). A medição do background da radiação gama regional foi realizado de duas maneiras, uma pelo controle interno do instrumento e a outra através da medição da radiação gama em cima de uma coluna de água de mais de 5 m de profundidade e afastada das margens do açude onde foi realizada as medições. A espectrometria da

radiação Gama (U, Th e K) corresponde a média de emissão de todo material existente em um raio de 1,5 m. A radiação Alfa<sub>Total</sub> e Beta<sub>Total</sub> nas águas foram medidas por cintilometria líquida (Eberline SAC-4 para

a radiação Alfa e Eberline FHT - 770T para radiação Beta) nos Laboratórios de Poços de Caldas da Comissão Nacional de Energia Nuclear do Governo Brasileiro (CNEN).



Fig. 2 - Os componentes do E-PERM® System da RADELEC, consistem no leitor do electret (A), câmara para electrets de longa duração (B e C); D) Espectrometro de radiação gama, Modelo RS-125 da Radiation Solution.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados de medições de radônio foram obtidos a partir de 220 detectores passivos do gás Radônio distribuídos em algumas residências do município, tanto na zona urbana, como na rural. Os detectores foram fixados embaixo da cama do quarto principal de cada casa, cerca de trinta centímetro acima do piso, permanecendo ali por no mínimo 3 meses. As medições foram realizadas durante dois períodos na estação seca (Dezembro - Fevereiro). Em 20% das residências estudadas foram instalados dois detectores para diminuir as chances de insucesso devido a variabilidade das emanações do gás radônio (Fig.3).

Para os dois períodos, o “radônio doméstico” variou entre 40-7679 Bq/m<sup>3</sup> (Med: 237; MG: 220 e DP: 957 (Fig. 4). No primeiro período medido, todas as habitações excederem o nível de ação de Organização Mundial de Saúde (WHO, 2009) que é de 100 Bq/m<sup>3</sup> (intervalo: 170-6538; Mediana: 307; Média geométrica: 370; Desvio Padrão: 956). Contudo, no segundo período medido, os dados são mais dispersos (intervalo: 42-7679; Mediana: 115; Média geométrica: 135; Desvio Padrão: 919) devido ao início precoce de uma anormal da temporada de chuvas, mas a maioria das habitações continuou a apresentar valores que ultrapassam o limita máximo de contaminante da WHO.



Fig. 3: Casas típicas da região do Lucrecia, Rio Grande do Norte.



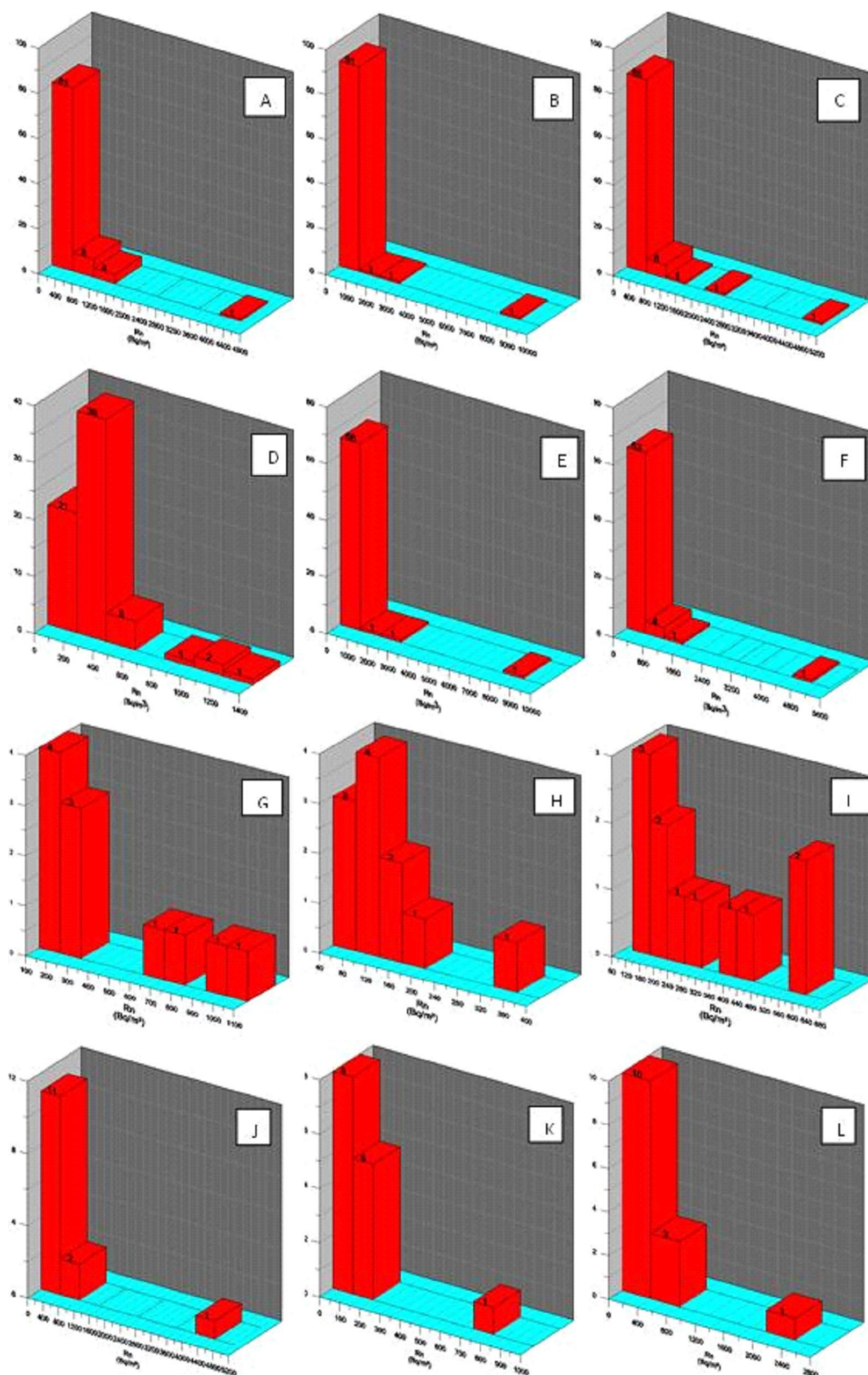


Fig. 4 - Histograma das medições “Radônio interior” medidos nas habitações de Lucrecia: A, B, C representa o primeiro período, segundo período e a média dos dois período para a todo o município de Lucrecia; D, E, F: o primeiro período, segundo período e a média dos dois período para a área urbana de Lucrecia; G, H, I: o primeiro período, segundo período e a média dos dois período para a área rural Lucrecia: Cacimbo de Vaca; J, K, L: o primeiro período, segundo período e a média dos dois período para a área rural Lucrecia: Várzea Grande.

A dose de exposição devida a radiação do Radônio para o município de Lucrecia variou entre: a) 98,79 a 5642,57 mSv para a Dose Cumulativa de Exposição (Mediana: 220,26, Média Geométrica: 272,00 e Desvio Padrão: 817,45. Fig.5a) e entre 1,41 a 80,61 mSv/a para a Dose de Exposição Anual (Mediana: 3,15; Média Geométrica: 3,89; Desvio Padrão: 11,68. Fig. 5b). Toda essa radiação Alfa gera uma probabilidade de se adquirir câncer que varia entre 1 a 71 % (Mediana:

4%; Média Geométrica: 4,75%; Desvio Padrão: 10. Fig. 5c).

A WHO e a IRCP recomendam uma dose de  $\cong 1$  mSv/a como Nível Máximo de Restrição para a exposição ao radônio para o público. Conseqüentemente, o valor médio da Dose Anual para o município de Lucrecia ultrapassa o valor sugerido pelos referidos organismo e que todos os domicílios estudados se encontra acima desse limite!

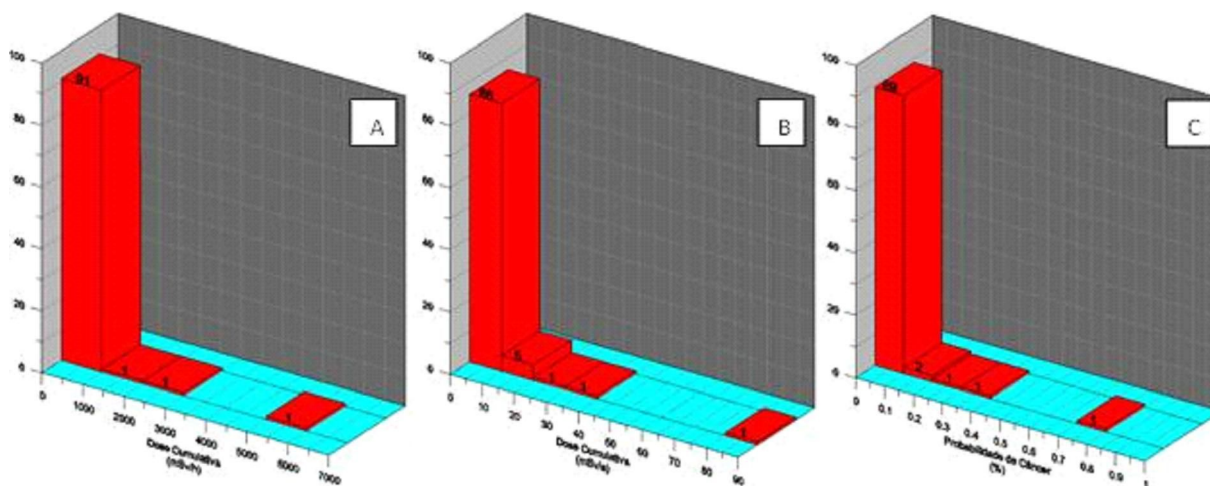


Fig. 5 - Histograma das doses de radiação do Radônio para o município de Lucrecia: a) Dose Cumulativa média (mSv/h), b) Dose Cumulativa Anual média (mSv/a), c) Probabilidade de Câncer (%) devida a radiação do Radônio.

O nível de radiação Gama também foi verificado no interior de cada habitação e variou entre 106 a 264 nGy/h (Mediana: 152; Média Geométrica:150; Desvio Padrão: 28; Fig.6). Na figura 6 apresentamos a Dose Absorvida referente à radiação Gama e a distribuição do equivalente do Urânio (ppm), Tório (ppm) e Potássio (%) obtidos por integração espectrométrica.

As dez amostras de água colhidas na barragem de Lucrecia possui uma radiação Alfa<sub>Total</sub> e Beta<sub>Total</sub> variando entre 0.17/0.47 Bq/l (período de estiagem) e 1.35 / 2.05 Bq/l (período de chuvas) respectivamente. Valores esses que ultrapassam o nível máximo de contaminante para a Alfa<sub>Total</sub> de 0.56 Bq/l admitido pela Agência Ambiental Americana (EPA-EUA).

Considerando uma vida média de 70 anos de idade, a probabilidade (P) de casos de câncer

município de Lucrecia devido ao gás radônio é de 4,75% (Fig. 7) A título de comparação na Figura 6 também se apresenta a probabilidade calculada por Malanca e Gaidolfh (1997) para outros municípios do estado do Rio Grande do Norte. Para o caçulo da probabilidade foram usadas as seguintes variáveis: 1) Fator de Equilíbrio igual a 0,4 (para concentrações de “radônio interior em habitações e em ambientes de trabalho); 2) Taxa de ocupação igual a 0,8 (80%); 3) 1 WL equivalente a 3746 Bq/m<sup>3</sup> (WL: Working Level); 4) Um WLM (WLM: Working Level Month) corresponde a uma exposição de 1WL por 170 horas; 5) Fator para a dose efetiva igual a 4 mSv/WLM (recomendado pela ICRP65/1994 para o público em geral); 6) Fator de Risco de Câncer por WLM igual a 0,0005/WLM.

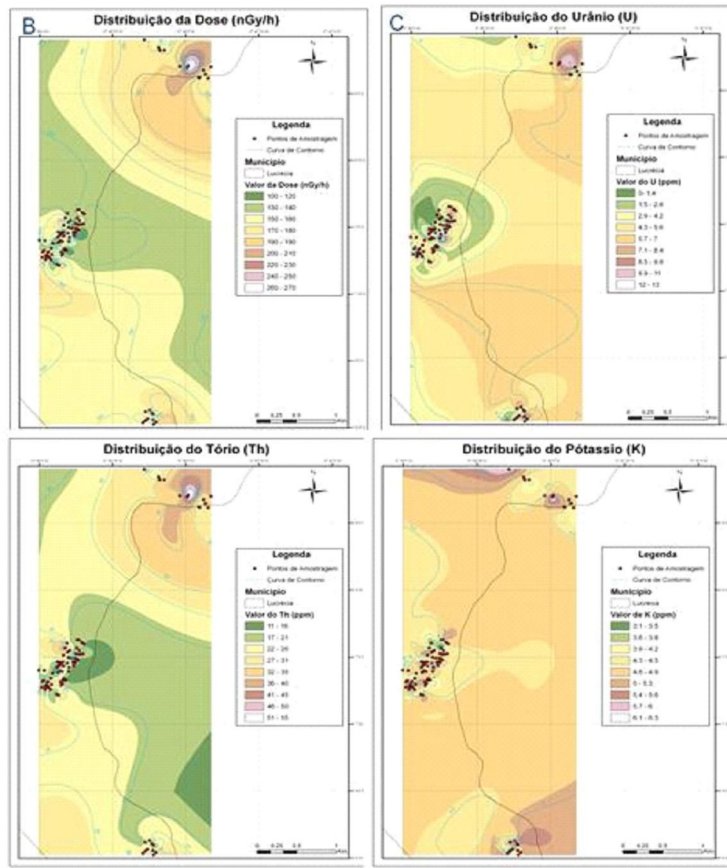


Fig. 6 - Mapas de Distribuição (iso-linhas): A) Dose absorvida (nGy/h); B) Equivalente de Urânio (PPM), C) Equivalente de Tório (PPM), D) Equivalente de Potássio (%).

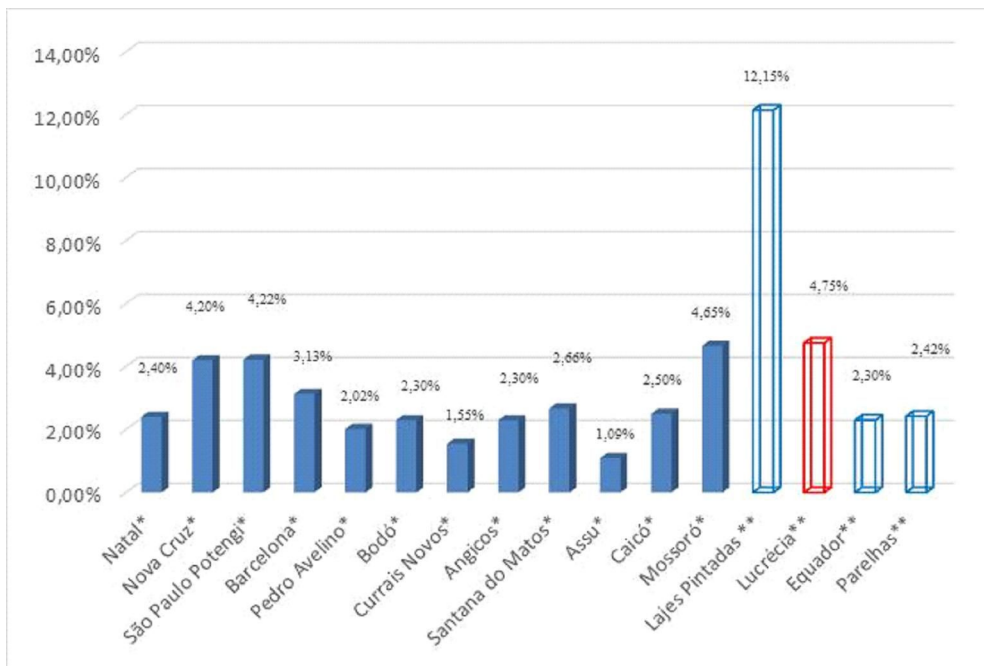


Fig. 7 - Gráfico de Probabilidade de câncer em alguns municípios do estado do Rio Grande do Norte, Brasil. Primas azuis: Dados de concentração média de Radônio 222 de Malanca e Gaidolfh (1996a, b, 1997); Primas azuis: Campos et al 2011a, b, c; 2009a, b; Prisma oco vermelho: Esse trabalho.



## CONCLUSÕES

\* Todas as habitações estudadas excederam o Nível de Ação para o Radônio Interior sugerido pela Organização Mundial de Saúde (100 Bq/m<sup>3</sup>).

\* Todas as habitações estudadas excederam o Nível Máximo de Exposição para o público sugerido pela WHO e ICRP (@ 1 mSv/a).

\* As águas do açude de Lucrecia possuem níveis de radiação Alfa<sub>Total</sub> que ultrapassam o nível máximo de contaminante para admitido pela Agência Ambiental Americana (EPA-EUA (0.56 Bq/l )

\* Os dados da radiação Gama ambiental interno foram considerados normais.

\* Devido à grande variabilidade do gás radônio, sugere-se que todas as habitações da cidade de Lucrecia devem ser monitoradas para o referido gás.

\* As águas do açude de Lucrecia não é potável em termos de radiação alfa, sugere-se que sejam implantados processos de aeração, de modo que se torne essa água potável em termo da referida radiação.

\* Espera-se ainda que estes resultados sobre a radioatividade ambiental no município estudado possam ajudar a estabelecer, definir e controlar (mitigar) as possíveis fontes causadoras dos elevados índices de câncer na população humana na região, e que as autoridades ligadas à saúde coletiva da população criem um programa de mitigação de modo a diminuir o risco de câncer associado ao Radônio 222 dos seus municípios.

## AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa foi financiada pelo Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Brasil (CNPq), pelo Centro de Geociências da Universidade de Coimbra e recebeu apoio laboratorial do Laboratório de Poços de Caldas do Comitê Nacional de Energia Nuclear (CNEN/LAPOC).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN MEDICAL ASSOCIATION (AMACS Publications) - [www.ama-assn.org](http://www.ama-assn.org) (consultada em 22/03/2010)

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR PUBLICATION) - <http://www.atsdr.cdc.gov> (consultada em 22/03/2010)

CAMPOS, T. F. C. ; GUEDES, A. G. ; PETTA, R. A. ; PASTURA, V. F. S. . Natural Radioactivity and the Risk of Malignity: the case of Lucrecia-RN Brazil. In: 18th International Conference on Medical Physics (ICMP-2011), 2011, Porto Alegre-RS. Proceeding of the 18th International Conference on Medical Physics. São Paulo Brasil: Associação Brasileira de Física Médica ABFM, 2011. v. 5. p. 45-45.

CAMPOS, T. F. C. ; PETTA, R. A. ; PASTURA, V. F. S. ; GUEDES, A. G. . The radon carcinogen agent in Lucrecia city, northeastern Brazil: gross gamma ray and indoor radon. In: 3th Hemispheric Conference on Medical Geology, 2009, Montevideo. Scinetfic program and Book of Abstract. Montevideo: Pronto Grafica SA, 2009. v. 1. p. 47-47.

CAMPOS, T. F. C. ; PETTA, R. A. ; PASTURA, V. F. S. ; SINDERN, S. ; NASCIMENTO, P. S. R. . Environmental and Safety Education Campaign on the Radioactivity and the Risk of Malignity in the Pegmatite Borborema Province: Preventive Measures to Avoid Contamination with U and Th. Estudos Geológicos (UFPE), v. 19, p. 77-92, 2009.

CAMPOS, T. F. C. ; PETTA, R. A. ; PASTURA, V. F. S. . Residential radon and the risk of malignity: the case of Lages Pintadas City, Northeastern Brasil. In: IV International Conference on Medical Geology, 2011, Bari-Italia. Geological and Medical Sciences for a Safer Environment, Book of Abstract. Gorgonzola: Digilabs Publications, 2011. v. 1. p. 176-176.



- CAMPOS, T. F. C. ; PETTA, R.A. ; Sichel, S.E. ; PASTURA, V. F. S. . O Radônio 222 (“Radônio Habitacional”) e Radiação Natural em Terrenos Pegmatíticos: o caso do município de Lages Pintadas (RN, Brasil). In: VIII Congresso Ibérico de Geoquímica, 2011, Castelo Branco Portugal. Livro de Actas. Castelo Branco: Serviços Gráficos do Instituto Politécnico de Castelo Branco, 2011. v. 2. p. 463-467.
- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (**IAEA Publications**) - [www.iaea.org](http://www.iaea.org) (consultada em 22/03/2010).
- INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION (ICRP Publications) - [www.icrp.org](http://www.icrp.org) (consultada em 22/03/2010).
- KEITH S; DOYLE, J.R.; HARPER, C; MUMTAZ, M; TARRAGO, O; WOHLERS D.W; DIAMOND G.L.; CINTRA M.; BARBER, L.E; 2008. Toxicological Profile for Radon: Draft report. Agency for Toxic Substances and Disease Registry Division of Toxicology and Environmental Medicine/ Applied Toxicology Branch, Georgia (ATSDR-USA (2008).
- MALANCA, A e GAIDOLF, L, 1996A. Natural radiation in a municipality of the Brazilian Sertão. *Environmental Int.* 22: 213-217.
- MALANCA, A e GAIDOLF, L, 1996B. Preliminary radiological survey in some towns of the northeaster Brazilian Sertão. *The Nucleus* 33(3): 139-144.
- MALANCA, A e GAIDOLF, L, 1997. Environmental radon in some Brazilian towns and mines. *Protection Dosimetry* 69(3): 211-216.
- UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATIONS (UNSCEAR Publications) - [www.unscear.org](http://www.unscear.org) (Consultada em 20/02/2010)
- ZEEB II, H. SHANNOUN III, F. 2009. WHO handbook on indoor radon: a public health perspective. Edited by Hajo Zeeb II and Ferid Shannoun III. World Health Organization. ISBN 9789241547673.
-

## REVISTA DE GEOLOGIA

ISSN-0103-2410

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

### VOLUMES PUBLICADOS

VOLUME 1, NÚMERO 1 .....	1988
VOLUME 1, NÚMERO 2 .....	1988
VOLUME 2, NÚMEROS 1/2 .....	1989
VOLUME 3 .....	1990
VOLUME 4 .....	1991
VOLUME 5 .....	1992
VOLUME 6 .....	1993
VOLUME 7 .....	1994
VOLUME 8 .....	1995
VOLUME 9 .....	1996
VOLUME 10 .....	1997
VOLUME 11 .....	1998
VOLUME 12 .....	1999
VOLUME 13 .....	2000
VOLUME 14 .....	2001
VOLUME 15 .....	2002
VOLUME 16, NÚMERO 1 .....	2003
VOLUME 16, NÚMERO 2 .....	2003
VOLUME 17, NÚMERO 1 .....	2004
VOLUME 17, NÚMERO 2 .....	2004
VOLUME 18, NÚMERO 1 .....	2005
VOLUME 18, NÚMERO 2 .....	2005
VOLUME 19, NÚMERO 1 .....	2006
VOLUME 19, NÚMERO 2 .....	2006
VOLUME 20, NÚMEROS 1/2 .....	2007
VOLUME 21, NÚMEROS 1/2 .....	2008
VOLUME 22, NÚMERO 1 .....	2009
VOLUME 22, NÚMERO 2 .....	2009
VOLUME 23, NÚMEROS 1/2 .....	2010
VOLUME 24, NÚMEROS 1/2 .....	2011
VOLUME 25, NÚMERO 1 .....	2012
VOLUME 25, ESPECIAL .....	2012
VOLUME 26, NÚMERO 1 .....	2013