

## Emprego do Fluxo de $^{222}\text{Rn}$ na Identificação de Falhas Geológicas em Áreas Periglaciais na Antártica

Heitor Evangelista<sup>1</sup>; Enio Bueno Pereira<sup>2</sup>. <sup>1</sup> Universidade do Estado do Rio de Janeiro/Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes/ Depto de Biofísica/ Laboratório de Radioecologia e Mudanças Globais-LARAMG; <sup>2</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Copyright 2003, SBGF - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 8<sup>th</sup> International Congress of The Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, 14-18 September 2003.

Contents of this paper were reviewed by The Technical Committee of The 8<sup>th</sup> International Congress of The Brazilian Geophysical Society and does not necessarily represents any position of the SBGF, its officers or members. Electronic reproduction, or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of The Brazilian Geophysical Society is prohibited.

### Abstract

Results of radon emanation at periglacial sites of King George Island / Antarctic Peninsula is presented owing to the correlation to geological aspects of the outcrop areas during the austral summer season. The nuclear track detectors employed, LEXAN, were installed at ground surface and exhibit local variations according to  $^{238}\text{U}$  occurrences and lithology. Average values of flux was  $1.61 \pm 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ Bq m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . The method contributed to the better understanding of the local geology limited by the high ice coverage of the island.

### Introdução

A pesquisa geológica na região antártica é extremamente limitada ao espaço física das áreas de degelo anual. A duração das atividades de campo também é limitada pelas drásticas condições climáticas e uma complexa logística associada. Desta forma, o emprego de técnicas de rastreamento aéreo e de sistemas integradores de dados de superfície são de grande importância para a aquisição de dados. Neste trabalho emprega-se uma técnica baseada na emanometria do  $^{222}\text{Rn}$  dos terrenos aflorantes como uma ferramenta ao estudo geológico de mapeamento de falhas e fraturas. Os processos físicos que viabilizam a exalação dos radioisótopos  $^{220}\text{Rn}$  e  $^{222}\text{Rn}$  dos meios sólidos dependem de agentes ambientais relacionados às características geológicas (litológicas) da crosta terrestre e aos condicionantes climáticos impostos pela atmosfera. A energia cinética associada ao recuo, decorrente da desintegração do  $^{226}\text{Ra}$  (aproximadamente 97 keV) é, para a maioria das formações rochosa, intensa o suficiente para proporcionar a liberação do átomo de radônio de sua estrutura cristalina original, para capilaridades adjacentes e disponibiliza-lo ao escape para outras regiões do meio [Torgersen et al, 1989]. A partir desta fase, a mobilidade do radônio é governada por processos de difusão molecular e/ou arraste. O alcance do  $^{222}\text{Rn}$  nas estruturas internas dos grãos minerais varia, de um modo geral, entre 10 e 100 Å. Esta descrição implica que o escape do radônio para a atmosfera livre está vinculado ao grau de alteração da rocha. Neste trabalho, buscou-se correlacionar as intensidades de fluxo de  $^{222}\text{Rn}$  com os mapeamentos de falha de geológica para a Ilha Rei

George no sentido de avaliar o potencial da técnica proposta para outras regiões da Península Antártica onde o mapeamento das áreas aflorantes é ainda incipiente.

### Área de Estudo

Este trabalho foi realizado na Ilha Rei George, localizada no Arquipélago das Ilhas Shetland do Sul na Península Antártica, parte integrante das áreas de atuação do Programa Antártico Brasileiro (PROANTAR). O Arquipélago das Ilhas Shetland do Sul representa a extremidade do Continente Antártico mais próxima de qualquer área continental circunvizinha, localizando-se a aproximadamente 1000 km do extremo meridional da América do Sul e a pouco mais de 100 km da Península Antártica, Figura 1. O clima predominante da região pode ser definido como Polar-Oceânico do Hemisfério Sul. Este domínio climático, caracterizado por baixas temperaturas no inverno, apresenta média anual sempre inferior a 0°C, Verão de longa duração e alta umidade relativa do ar e precipitação. Estas características foram, e continuam sendo, responsáveis por importantes alterações geomorfológicas em toda a região (crioclastismo), uma vez que proporcionam o congelamento e a fusão intermitentes da água intersticial nas rochas durante grande parte do ano, constituindo-se no principal agente do retalhamento marinho das praias e terraços adjacentes. Da mesma forma, a ação eólica sobre o relevo rochoso é bastante relevante. Rochas ígneas intrusivas, plutônicas, e extrusivas, vulcânicas, constituem-se na grande parte dos depósitos litológicos dos terrenos aflorantes. O período de maior atividade geodinâmica responsável por parte deste complexo vulcano-sedimentar teve origem nos períodos jurássico-cretáceo (mesozóico) e terciário (cenozóico).

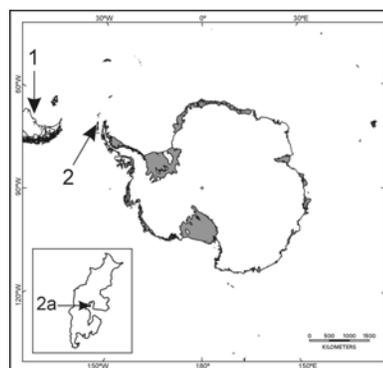


Figura 1 - Mapa de Localização da Ilha Rei George. (1) Patagônia; (2) Ilha Rei George; (2a) Estação Antártica Comandante Ferraz

## Metodologia

### Monitor Passivo de $^{222}\text{Rn}$

Neste trabalho empregou-se um método passivo, ou integrador, para a detecção do radônio. Esta técnica encontra aplicabilidade quando se deseja determinar a atividade média do radônio em bases temporais que variavam de semanas a anos. King [1978] reportou seu uso como precursor da atividade sísmica sobre a região da falha geológica de San Andreas no Estado Americano da Califórnia; Fleischer et al.[1978] em áreas de mineração de urânio com aplicações em prospecção mineral visando a detecção de corpos uraníferos em até 100 m de profundidade; [Sellmann & Delaney, 1990] ilustraram uma forma criativa de sua aplicação utilizando a exalação do radônio para o mapeamento do permafrost. A sensibilidade do detector, o tempo de exposição e a intensidade da fonte emanadora de  $^{222}\text{Rn}$  são os principais limitantes para a aplicação com sucesso do método. O detector utilizado foi o LEXAN (policarbonato), com espessura pelicular de  $\pm 1$  mm. A geometria utilizada foi um disco circular com área útil de detecção de aproximadamente  $13 \text{ cm}^2$ . Cada detector LEXAN foi instalado em uma câmara passiva de detecção de radônio composta por duas peças de fibra de carbono, Figura 2. Sua parte inferior é composta de 1 base contendo 3 orifícios através dos quais permite-se as trocas gasosas do interior da câmara para seu exterior; 1 filtro de quartzo impede o ingresso de aerossóis na câmara, pois podem conter emissores de radiação alfa em sua composição básica, elevando o ruído de fundo do sistema de medidas e ao mesmo tempo permitir a admissão do radônio por difusão. Este método é eficaz na discriminação do radioisótopo  $^{220}\text{Rn}$ , da série do  $^{232}\text{Th}$  e cuja meia-vida é de apenas 55 s. O arranjo experimental da câmara contendo o LEXAN foi instalado em um suporte cilíndrico de PVC cujas dimensões médias foram de 5 cm de diâmetro interno e 30 cm de altura. A extremidade inferior de cada unidade foi fechada com dupla folha de alumínio só removidas no ato da exposição do detector ao solo. As dimensões do suporte de PVC e da câmara basearam-se em Nelson [1987] & Piesch et al.[1981]. Os traços nucleares foram digitalizados e submetidos a processamento digital de imagem visando remoção de ruído observado após o processo de revelação, posteriormente executa-se o processo de contagem.

O suporte cilíndrico quando instalado na superfície do solo funciona como um tubo de difusão onde somente o radônio proveniente do terreno local se difunde-se livremente em seu interior até atingir a extremidade superior onde encontra-se a câmara passiva. O LEXAN após exposto ao solo são submetidos a um processo de revelação química (ou eletroquímica). Este procedimento, denominado de etching eletroquímico, permite a abertura do dano, ou seja, o alargamento da área sensibilizada no filme pela partícula alfa, possibilitando a sua visualização por processos de microscopia ou por reprografia amplificada. Uma descrição do processo de calibração pode ser encontrado em Piesch et al.[1981]. Todos os suportes foram instalados em áreas periglaciais que corresponde a cerca de 1% da cobertura total de gelo da

Ilha Rei George. A Figura 3 mostra uma imagem de umas das áreas aflorantes avaliadas neste trabalho.

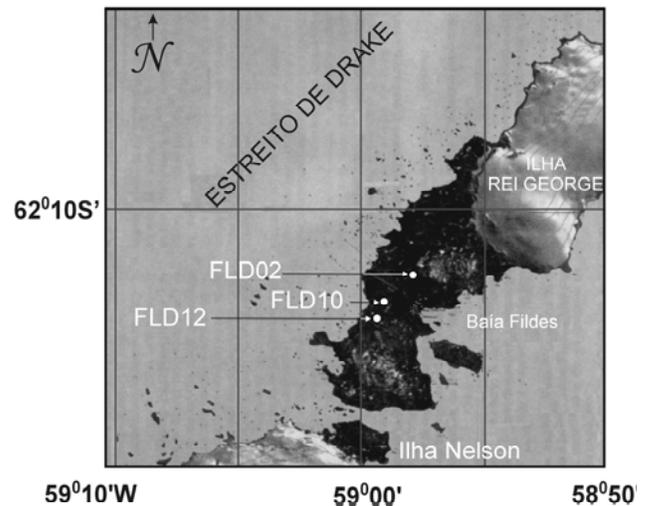


Figura 3 – Área de afloramento rochoso na Ilha Rei George. Os pontos indicam locais de instalação dos detectores de traço (FLD02, 10 e 12).

As áreas definidas localizaram-se em franjas periglaciais costeiras, algumas em zonas de morainas e de ablação glacial (áreas afetadas pelo degelo superficial das geleiras) outras em microrelevos que somente durante o inverno permanecem cobertos por camadas de gelo e neve. Quanto ao aspecto geológico, a distribuição proposta para as estações de amostragem considerou as principais unidades tectônicas da Ilha Rei George, segundo Birkenmajer [1989], citado por Vergara et al. [1992], uma vez que representam zoneamentos de grandes diferenças estratigráficas, de idade e litologia distintas.

### Espectrometria Gama Terrestre

A intensidade do fluxo de radônio é função do termo fonte  $^{226}\text{Ra}$  ou  $^{238}\text{U}$  (caso o equilíbrio secular possa ser considerado) como também de características físicas do solo como a permeabilidade, porosidade, densidade, saturação do solo em água, distância superfície-permafrost, gradiente geotérmico e parâmetros atmosféricos externos, principalmente pressão atmosférica ao nível do mar. Desta forma desenvolveu-se espectrometria gama in situ, com o objetivo de se avaliar se o terreno analisado apresentava homogeneidade quanto a distribuição superficial de  $^{238}\text{U}$ . A aplicação desta técnica, deu-se sobre terrenos aflorantes pertencentes ao interior da Baía do Almirantado, na Ilha Rei George, empregando-se para tal 1 detector NaI(Tl) de  $3'' \times 3''$  e 1 espectrômetro portátil de 1024 canais. O tempo médio na aquisição de cada espectro de radiação do solo foi em torno de 3,5 h. A geometria empregada no levantamento de campo foi de  $2\pi$  e seu método de calibração está descrito em Barreto et al. [1986]. A

energia do fotopico selecionadas para o trabalho foi de 1,76 MeV referente ao  $^{214}\text{Bi}$ .

### Resultados e Discussões

A Tabela 1 mostra a subdivisão das áreas aflorantes, as estações de amostragem respectivas e seus valores médios para o fluxo de  $^{222}\text{Rn}$ . A partir dos resultados da Tabela 1, definiu-se três padrões típicos para o regime médio de exalação do radônio dos terrenos aflorantes na Ilha Rei George. Nesta subdivisão, foram caracterizados os baixos fluxos de exalação do  $^{222}\text{Rn}$  como  $J^{222} \leq 1,47 \cdot 10^{-3} \text{ Bq m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , representando 65,85% das estações amostradas, os fluxos moderados de exalação como pertencentes ao intervalo  $1,48 \cdot 10^{-3} \text{ Bq m}^{-2} \text{ s}^{-1} < J^{222} \leq 2,94 \cdot 10^{-3} \text{ Bq m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , 19,51%, e os altos fluxos de exalação regionais como  $2,95 \cdot 10^{-3} \text{ Bq m}^{-2} \text{ s}^{-1} < J^{222}$ , 14,64%. A Figura 4 mostra a distribuição dos resultados deste trabalho, agrupados em ordem crescente. Nele os três padrões de exalação (baixo, moderado e alto) estão identificados como ①, ② e ③, respectivamente.

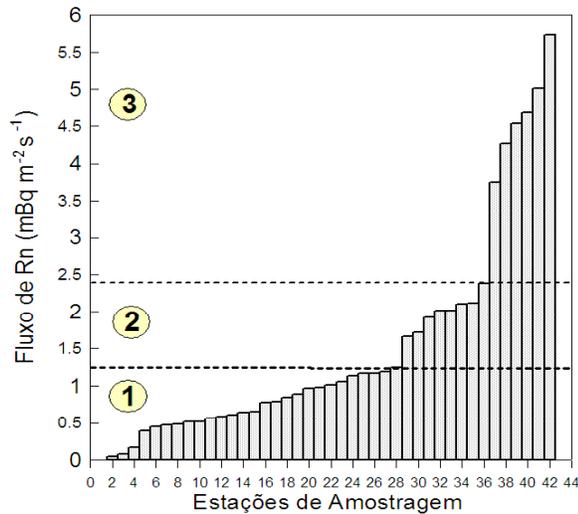


Figura 4 – Fluxos de  $^{222}\text{Rn}$  para a Baía do Almirantado, Ilha Rei George.

Devido a proximidade que o detector de traço, FER-40, foi instalado em relação às anomalias da Península Keller, pode-se atribuir ao aumento no valor do fluxo como decorrente da presença mais abundante de elementos-fonte para o  $^{222}\text{Rn}$ , pertencentes a série natural  $4n+2$ . A anomalia da Ponta Hannequin não apresentou boa correlação com os detectores de traço instalados na sua vizinhança. Esta discordância pode ser atribuída ao fato de que, na Península Keller a distância entre a localização da anomalia e a medida do fluxo foi em torno

de 200 m ao passo que na Ponta Hannequin esta distância foi na ordem de 800 m.

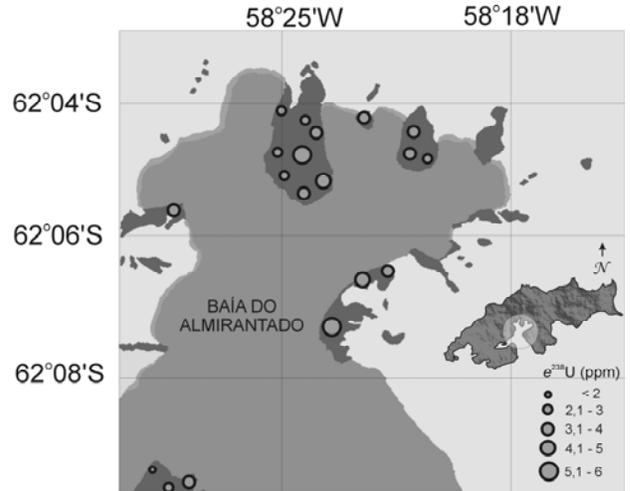


Figura 5 – Resultado para  $e^{238}\text{U}$  para a Baía do Almirantado, Ilha Rei George.

Isto sugere que as anomalias regionais de  $e^{238}\text{U}$  na região da Baía do Almirantado podem ser caracterizadas como hot spots, sendo responsáveis apenas por aumentos pontuais, no contexto geográfico dos afloramentos levantados, para a exalação do radônio para a atmosfera. No segundo de origem geofísica, os fluxos das Enseadas Martel, FERs-01-06-09-40, e Ezcurra, FERs-23 e 33, apresentam um visível alinhamento em conformidade com a falha geológica Ezcurra que atravessa as áreas aflorantes onde estas estações foram amostradas, Figura 6. Esta falha Geológica divide duas unidades tectônicas (Barton e Warsaw). As zonas de falhas geológica representam áreas de interface onde se verificam, freqüentemente, fraturas e microfaturas nas formações rochosas e daí gerando um aumento na densidade de espaço livre para a difusão, proporcionando maior probabilidade de escape do radônio para a superfície. A estação FLD-08, localizada na Enseada Martel, na Ponta Ullman também pode ter associação análoga, pois esta também encontrava-se sobre terreno de falha geológica. As demais monitorações de fluxo no afloramento da Ponta Ullman, desenvolveram-se fora do segmento que define a falha, no lado oposto do maciço que constitui esta região.



Schery, S.D.; Petschek, A.G. Exhalation of radon and thoron: the question of the effect of thermal gradients in soil. *Earth and Planetary Science Letters*, Vol.64: 56-60, 1983.

Sellmann, P.V.; Delaney, A.J. Radon measurements as indicators of permafrost distribution. (short communication) *Cold Regions Science and Technology*. Vol.18:331 – 336,1990.

Semkow, T.M.; Parekh, P.P. The Role of Radium Distribution and Porosity in Radon Emanation from Solids. *Geophysical Research Letters*, Vol.17, No.6:837-840, 1990.

Tani, M.; Kawasaki, I. Proceedings of the Fourth Symposium on Antarctic Geosciences, 1983. *Memoirs of National Institute of Polar Research*. Special Issue. No.33. 1984;

Torgersen, T.; Benoit, J.; Mackie, D. Lithological Control of Groundwater  $^{222}\text{Rn}$  Concentrations in Fractured Rock Media. *Isotopes of Noble Gases as tracers in*

*Environmental Studies*. Proceedings of a Consultants Meeting, pag. 263-283, Vienna, 29 de Maio - 2 de Junho 1989.

Urban, M.; Binns, D.A.C.; Estrada, J.J. Radon Measurements in Mines and Dwellings. *Kernforschungszentrum Karlsruhe*. KfK 3866, CNEN 1101. Janeiro, 1987.

Vergara, M.; Levi, B.; Cancino, A.; Avila, A.; Clavero, J. The Petrography and Geochemistry of the King George Island Supergroup and the Admiralty Bay Group Volcanics, South Shetland Islands. *Geologia de la Antartida Occidental*. III Congreso Geológico de España y VIII Congreso Latinoamericano de Geología. T.3.:61-64. 1992.

Wilkening, M. H.; Hand, J.E. Radon flux at the earth-air interface. *Journal of Geophysical Research*. Vol.65, No.10: 3367-3370, 1960.

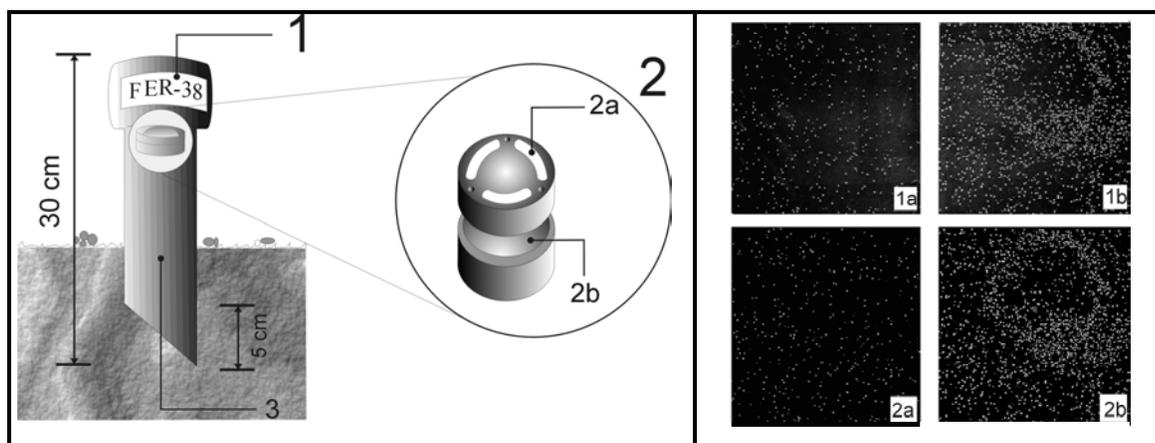


Figura 2 – (esquerda) Características do detetor de traço nuclear. (1) Câmara de difusão; (2) Detetor de radônio; (2a) LEXAN+filtro de quartzo; (2b) Base hemisférica. (direita) traços nucleares (1a e 1b: imagem original; 2<sup>a</sup> e 2b: imagem processada).

Tabela 1 - Fluxo médio ponderado para as principais áreas de afloramento.

Descrição do Afloramento	Estações	Fluxo Médio (mBq m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )
Ponta Stenhouse	FLD-06	0,47
Península Keller	FERs-17,14,26, 36,12, 40,11,	1,69
Ponta Ullman	FLDs-08,11,07	2,45
Ponta Crepin	FER-31	0,98
Ilha Dufayel	FER-24	0,88
Estação Antártica Arctowski (região entre Geleira Ecology e Italian Valey)	FERs-27,33	1,43
Refúgio Americano (região entre a Geleira Ecology e o maciço Sphinx)	FER-35	0,78
Região entre o maciço Sphinx e a Geleira Baranowski	FER-32	1,17
Região entre as Geleiras Baranowski e Windy	FERs-34,28,29	1,47
Região entre as Enseadas Herve e Monsimet	FER-16	1,66
Região entre a Enseada Monsimet e o icefall Gdansk	FER-22	0,85
Região entre o icefall Gdansk e a Geleira Zalewski	FER-23	4,68
Ponta Hannequin (região entre a Ponta Basalt e a Geleira Wanda)	FERs-08,01,06,10, 05,18,03	2,18
Região entre a Geleira Wanda e a Geleira Dobrawolski	FERs-15,02,19,21,09	1,54
Região entre a Geleiras Dobrawolski e Goetel	FER-04	0,96