

## RADIOATIVIDADE EM ROCHAS GRANÍTICAS ORNAMENTAIS DO BRASIL

Humberto Terrazas Salas<sup>1</sup>, Hermínio Arias Nalini Jr.<sup>2</sup> e Júlio César Mendes<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear – CDTN/CNEN/MG  
Caixa Postal 941-Campus da UFMG-Pampulha

30161-970, Belo Horizonte, MG., Brasil. E-mail - salasht@cdtn.br

<sup>2,3</sup>Departamento de Geologia da Universidade Federal de Ouro Preto  
35400-000 Ouro Preto, MG, Brasil.

### RESUMO

O estudo da radioatividade em 100 amostras de rochas graníticas ornamentais, coletadas em diversas marmorarias de Belo Horizonte - MG, são procedentes, principalmente, dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo. Este estudo tem o propósito de acrescentar mais um parâmetro de qualidade tecnológica e ambiental. Dentre estas amostras, 23 foram analisadas em maior detalhe, por apresentarem concentração total de urânio e tório igual ou superior à 60ppm.

Os minerais radioativos estudados através de microscopia e microsonda eletrônica, foram identificados como sendo, principalmente, monazita, alanita e zircão. De forma secundária também foram observados outros minerais, tais como apatita, titanita, torita, bastnêsita e, possivelmente, gumita. Este último é um produto da alteração de pecheblenda ou uraninita. A análise por ativação neutrônica determinou concentrações de até 30ppm de urânio e 130ppm de tório, associados, principalmente, à terras raras leves.

Nas amostras com teores totais de urânio e tório superiores a 60ppm, utilizou-se os radionuclídeos <sup>232</sup>Th, <sup>40</sup>K e <sup>226</sup>Ra, analisados por ativação neutrônica paramétrica. Nesta análise, fez-se uso de um "cômodo padrão", com dimensões internas de 4x4x3 m<sup>3</sup>, considerando-se apenas o piso em rocha granítica, onde foram calculadas doses de radioatividade entre 0,11 a 0,34 mSv/ano. Estes resultados podem ser considerados não danosos ao público, uma vez que tais níveis de radioatividade são inferiores ao padrão internacional de exposição permitida, ou seja 1,0 mSv/ano.

### INTRODUÇÃO

Estas rochas, predominantemente, graníticas ou silicatadas (Salas *et al.* 2002), apresentam níveis de radioatividade (Salas 2003), provenientes, principalmente, do urânio e do tório contidos na monazita, alanita e zircão e, secundariamente, na titanita, apatita, como inclusões dos produtos das possíveis alterações da uraninita ou pecheblenda e também proveniente do resultado da desintegração do potássio.

O desenvolvimento do presente trabalho é justificado pela importância da distribuição geográfica destas rochas no Brasil, demonstrando um grande potencial para a atividade econômica. Diversos outros materiais são também derivados dessas rochas,

como as areias, argilas e bens metálicos (World Nuclear Association 1998). Por último, estas rochas por serem consideradas rochas férteis para U e Th, têm uma grande potencialidade para formar depósitos desses elementos.

### MATERIAIS E MÉTODOS

Para a execução desta pesquisa foi realizada uma amostragem em marmorarias de Belo Horizonte, de 100 tipos de "granitos", de diversas procedências, sendo predominantes dos Estados de Minas Gerais e Espírito Santo. Estas amostras, com aproximadamente 2 kg cada uma, provenientes das sobras ou rejeitos do material beneficiado, foram extraídas de forma representativa, de placas polidas com aproximadamente 300 kg. No material amostrado foram realizados todos os testes e análises previstos, como: estudos macroscópicos, petrográficos/mineralógicos, caracterização dos diferentes litotipos e a determinação dos minerais essenciais e acessórios (radioativos e não-radioativos).

Nas amostras preparadas especificamente foram submetidas a determinações químicas dos principais óxidos pela fluorescência de raios X, gravimetria, volumetria, absorção atômica e fotometria de chama. As terras raras foram determinadas através da espectrometria de energia de raios X, e nas análises de tório, rádio e potássio foi usada a ativação neutrônica paramétrica. Para a determinação da distribuição dos minerais radioativos na amostra polida foram utilizados os testes de autoradiografia, sendo que para os estudos mineralógicos aplicou-se a microscopia óptica e a microsonda eletrônica.

Pelos resultados obtidos, nos testes e análises, foram detalhados os estudos em 23 amostras, aquelas com presença de urânio e tório acima de 60ppm. Nestas amostras outras análises foram realizadas, tais como microanálise e a determinação dos níveis radioativos.

### CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA E AUTORADIOGRÁFICA

Pelos estudos macroscópicos estas amostras apresentam-se com cores claras, com coloração predominantemente amarelada, cinza e avermelhada, onde também ocorrem de forma escassa róseos, esbranquiçada, lilás e marrom.



O tamanho de seus grãos, de médio a grosseiro e também de coloração clara, definem texturas principalmente homogêneas (granitos, granulitos e charnoquitos) sem orientação e algumas orientadas (gnaisses e migmatitos), denominadas comercialmente de movimentadas.

A composição mineralógica essencial e a coloração clara destas amostras, estudadas ao microscópio petrográfico, determinam que proporções maiores que 80 % do total em cada amostra, são constituídas de quartzo (9,7 - 33,4 %), feldspato potássio (24,3 - 51,3 %) e plagioclásio sódico (24,8 - 41,4 %).

Outros minerais comuns nestas rochas são as micas (predominando biotita e em menor percentual a moscovita). Os minerais secundários, provenientes da alteração dos minerais essenciais, exibindo diferentes graus de alteração, são representados, principalmente, por "minerais de argila" (caulim e montmorilonita), sericita, carbonato, "óxidos de ferro" e clorita.

Os minerais acessórios, com teores menores que 1%, e ocasionalmente superiores, são representados, preferencialmente, pelo zircão, monazita, apatita, mineral opaco (magnetita, martita, ilmenita, pirita, pirrotita, goethita e calcopirita), titanita, alanita, rutilo, fluorita, epidoto, xenotima, bastnesita e gumita (Figura 1).

A amostra de coloração predominantemente marrom (CG-90), além da composição mineralógica diferente das demais, é constituída, principalmente, de feldspato potássico (73,4 %), onde ocorrem como minerais pouco comuns, o quartzo e o plagioclásio, porem contém freqüente piroxênio (augita), anfibólio (hornblenda) e mica (biotita).

A caracterização ao microscópio petrográfico foi realizada para determinar-se, quantitativamente, os constituintes mineralógicos no grupo das 100 amostras. Na classificação litológica foi utilizado o diagrama QAP de Streckeisen (1976) e citado por Le Maitre (1989).

Estes tipos litológicos foram classificados, predominantemente, como granitos monzoníticos, onde encontram-se presentes de forma subordinada outros tipos litológicos, tais como o granito sienítico, monzonito, monzonito quartzoso, granodiorito, monzogabro monzodiorítico, gabro quartzoso e sienito, com presença de gnaisses, migmatitos, charnoquitos e granulitos.

Os resultados da autoradiografia utilizando-se chapas fotográficas capazes de detectar as radiações com energia da ordem de 6 MeV, em teores superiores a 100ppm (partes por milhão =  $g.t^{-1} = mg.kg^{-1} = 10^{-6}$ ), permitiram localizar os minerais radioativos, demonstrando formas, tamanhos e intensidades das manchas enegrecidas, distribuídas irregularmente. Estas manchas verificadas pela microscopia e microsonda eletrônica, evidenciam ser na maior parte das amostras constituídas, principalmente, de monazita, alanita e zircão, outorgando-lhes halos ou fraturas radiais nos minerais onde encontram-se inclusos.

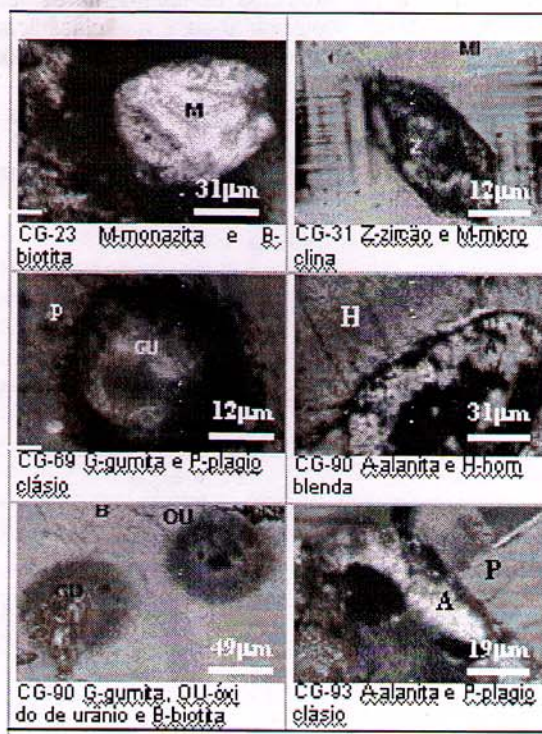


Figura 1 - Fotomicrografias de minerais radioativos em lâmina delgada com luz polarizada

## CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA

Através das análises químicas dos principais óxidos pela fluorescência de raios X, absorção atômica, volumetria e fotometria de chama nas 23 amostras, foram determinados teores de  $SiO_2$  (59,7 - 76,5 %),  $Al_2O_3$  (11,7 - 15,6 %),  $K_2O$  (3,8 - 7,4 %),  $Na_2O$  (1,91 - 4,52 %) e  $Fe_2O_3$  (1 - 8 %). Outros óxidos analisados como  $CaO$ ,  $MgO$  e  $TiO_2$ , encontram-se com teores menores que 1,33 %.

Nos resultados para  $U_3O_8$  e  $ThO_2$ , analisados pela ativação neutrônica paramétrica na amostra total, o urânio está variando entre 1 - 30 ppm e o tório entre 44 - 130 ppm. A presença destes óxidos, determinada através das análises por microsonda eletrônica, é atribuída, preferencialmente, à monazita, alanita e zircão.

Os teores de urânio e tório, nestas amostras, encontram-se, de uma forma geral, associados e com uma tendência a acompanhar as maiores concentrações das terras raras leves, determinadas pela espectrometria de energia de raios X, representadas pelo  $La_2O_3$  (50 - 300 ppm),  $Ce_2O_3$  (30 - 580 ppm),  $Pr_6O_{11}$  (20 - 580 ppm) e o  $Nd_2O_3$  (30 - 200 ppm).

Nas 23 amostras foram também analisadas pela microsonda eletrônica o plagioclásio e o feldspato potássico. No plagioclásio os teores de Ab apresentam-se entre 68,8 - 98,6 %; de An entre 6,2 - 30,8 % e Or menor que 2,5 %. No feldspato potássico os teores de Or ocorrem entre 80,7 - 95,9 %; de Ab entre 1,5 - 16,6 % e de An menor que 0,5 %.



Os resultados da análise pela fluorescência dos raios X e das análises complementares foram utilizados para determinar-se a classificação litogeoquímica, aplicando-se o diagrama de La Roche *et al.* (1964), calculando-se as proporções em milicimções dos principais óxidos e usando-se os parâmetros  $R1 = 4 \text{ Si} - 11 (\text{Na} + \text{K}) - 2 (\text{Fe} + \text{Ti})$  e  $R2 = 6 \text{ Ca} + 2 \text{ Mg} + \text{Al}$ . Pelo diagrama, define-se uma

classificação, predominantemente, como granitos sieníticos e granitos alcalinos, onde ocorrem também amostras classificadas de granito monzonítico, sienito quartzoso e sienito (Tabela 1). Também utilizaram-se os resultados obtidos pelos óxidos de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (A);  $\text{CaO}$  (C),  $\text{K}_2\text{O}$  (K) e  $\text{Na}_2\text{O}$  (N), para determinar-se os parâmetros de saturação em alumina nestas rochas, definidos no diagrama de Shand (1927), verificando-se que neste grupo de amostras ocorrem, principalmente, as rochas peraluminosas ( $A/\text{CNK} > 1$ ), onde excepcionalmente estão presentes a amostra CG-63 de composição peralcalina ( $A < \text{NK}$ ) e a amostra CG-90 de composição metaluminosa ( $A > \text{NK}$ ), (Tabela 1).

**Tabela 1 - Rochas graníticas ornamentais com  $\text{U}_3\text{O}_8$  e  $\text{ThO}_2$  total acima de 60ppm**

Amostra	Classificação		Densidade $\text{kg.m}^{-3}$	$\text{U}_3\text{O}_8$ (ppm)	$\text{ThO}_2$ (ppm)	$^{232}\text{Th}$	$^{226}\text{Ra}$	$^{40}\text{K}$	$H_{ET}$ mSv/ano
	Streckeisen (1976) e citado por Le Maitre (1989)	La Roche (1980)							
Cerâmica			1000			10	15	50	0,0068
CG-02	Granito Monzonítico	Granito Sienítico	2515	4	94	380	10	1600	0,21
CG-03	Granito Sienítico	Granito Sienítico/Alcalino	2698	5	100	410	170	1600	0,28
CG-20	Granito Monzonítico	Granito Alcalino/Sienítico	2653	2	70	240	222	1700	0,20
CG-23	Granito Monzonítico	Granito Alcalino	2602	6	56	230	80	1700	0,16
CG-24	Granito Monzonítico	Granito Sienítico	2711	5	57	230	10	1500	0,14
CG-30	Granito Monzonítico	Granito Alcalino	2645	20	59	240	400	1600	0,24
CG-31	Granito Monzonítico	Granito Alcalino/Sienítico	2618	5	76	310	30	1600	0,19
CG-33	Granito Monzonítico	Granito Alcalino/Sienítico	2399	6	74	300	222	1700	0,22
CG-35	Granito Monzonítico	Granito Alcalino	2600	16	55	220	440	1300	0,24
CG-37	Granito Sienítico	Granito Alcalino/Sienítico	2533	1	66	270	10	1800	0,16
CG-42	Gnaiss Monzonítico	Gnaiss Sienítico	2936	4	130	530	140	1600	0,34
CG-46	Granito Monzonítico	Granito Alcalino	2595	5	58	240	210	1600	0,19
CG-52	Gnaiss Monzonítico	Gnaiss Alcalino	2670	8	67	270	60	1300	0,17
CG-63	Monzonito Quartzoso	Granito Alcalino	2433	5	74	300	20	1500	0,17
CG-66	Granito Monzonítico	Granito Alcalino/Sienítico	2536	5	66	270	150	1500	0,19
CG-69	Gnaiss Monzonítico	Gnaiss Alcalino/Sienítico	2587	30	44	180	10	1300	0,11
CG-74	Gnaiss Monzonito Quartzoso	Gnaiss Sienito Quartzoso	2762	4	94	380	90	1700	0,24
CG-78	Gnaiss Monzonito Quartzoso	Gnaiss Alcalino	2527	7	66	270	220	1000	0,20
CG-90	Sienito	Sienito	2521	5	76	310	600	2300	0,33
CG-93	Granito Sienítico	Granito Sienítico	2823	3	81	330	10	1700	0,20
CG-97	Granito Monzonítico	Granito Monzonítico/Sienítico	2660	3	65	270	20	1600	0,16
CG-98	Gnaiss Monzonítico	Gnaiss Sienítico	2691	4	105	430	10	1800	0,25
CG-100	Granito Monzonítico	Granito Sienítico	2715	4	58	240	10	1500	0,15

Observação: A maior parte das amostras são peraluminosas, com exceção da CG-63 que é peralcalina e a CG-90 que é metaluminosa

## AVALIAÇÃO DA RADIOATIVIDADE

Para avaliar-se a radioatividade nas rochas graníticas ornamentais, com teores acima de 60ppm de urânio e tório, considerou-se um "cômodo padrão" com dimensões internas de 4 x 4 x 3m, sendo as quatro paredes de tijolo (duas com 10 cm e duas com 20 cm de espessura, simulando-se, respectivamente, paredes internas e externas de uma casa), a laje do teto com 12 cm de espessura e o piso em rocha granítica ornamental com 2 cm de espessura.

Foram considerados nos cálculos, uma taxa de ventilação de  $0,7\text{h}^{-1}$  (taxa de troca de ar de  $17,5\text{m}^3/\text{h}$  por pessoa), tempo de permanência neste cômodo 7.008 horas por ano, equivalente a 80 % das horas em um ano, e dimensões do tijolo de  $20 \times 10 \times 5$  cm.

No cálculo do acréscimo de dose das amostras graníticas, relativo a uma cerâmica utilizada como referência (Health Council of the Netherlands, 1985), foram considerados a densidade em  $\text{kg.m}^{-3}$  e os resultados de  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  e  $^{40}\text{K}$  (Tabela 1), obtidos através de análises por ativação neutrônica, em  $\text{Bq.kg}^{-1}$ .

O modelo de cálculo para um cômodo padrão, de Castro & Senne (1995), foi aplicado no cálculo de doses para a cerâmica e para as amostras de granito. Desta forma determinaram-se as taxas de dose equivalente deste cômodo padrão, calculando-se as doses devida à radiação gama.

A dose equivalente efetiva anual  $H_{E\gamma}$ , devida à radiação gama foi calculada através da seguinte expressão:



$$H_{E_y} = T \cdot b \cdot \overset{\circ}{D} \quad (1)$$

Onde:

$T$  = tempo de permanência no "cômodo padrão" [h.a<sup>-1</sup>];

$b$  = fator de conversão de dose absorvida no ar para dose equivalente efetiva [Sv.Gy<sup>-1</sup>]

$\overset{\circ}{D}$  = taxa de dose absorvida no ar [Gy.h<sup>-1</sup>].

A taxa de dose absorvida no ar,  $\overset{\circ}{D}$ , é expressa como sendo a soma das contribuições dos diferentes radionuclídeos presentes no material de construção:

A dose equivalente anual,  $H_{E_{Rn}}$ , devido ao radônio, produto do decaimento do urânio, presente no material de construção foi calculada através da seguinte expressão:

$$H_{E_{Rn}} = T \cdot r_{Rn} \cdot F_{Rn} \cdot C_{Rn,i} \quad (2)$$

Onde :

$T$  = tempo de permanência no "cômodo padrão" [h]

$r_{Rn}$  = fator para conversão do equilíbrio equivalente da concentração dos produtos de decaimento do radônio, no interior do "cômodo padrão", em taxa de dose equivalente [mSv.m<sup>-3</sup>.h<sup>-1</sup>.Bq<sup>-1</sup>];

$F_{Rn}$  = fator de equilíbrio e

$C_{Rn,i}$  = concentração de radônio resultante da concentração de <sup>226</sup>Ra no material de construção  $i$  em [Bq.m<sup>-3</sup>].

O cálculo para o tório, produto do decaimento do tório, é análogo ao cálculo para o radônio, substituindo-se Rn por Tn e Ra por Th, através da seguinte expressão:

$$H_{E_{Rn}} = T \cdot r_{Tn} \cdot F_{Tn} \cdot C_{Tn,i} \quad (3)$$

Onde agora os parâmetros referem-se ao tório

**Taxa de dose e acréscimo em mSv/ano, devido à utilização de rochas graníticas como piso no "cômodo padrão"**

Neste cálculo foram utilizados os seguintes valores para os parâmetros e constantes:

$$B = 0,7 \text{ Sv Gy}^{-12}$$

$$Q_k = 54 \times 10^{-12} \text{ Gy.h}^{-1} \cdot \text{Bq}^{-1} \cdot \text{kg}$$

$$Q_{Th} = 890 \times 10^{-12} \text{ Gy.h}^{-1} \cdot \text{Bq}^{-1} \cdot \text{kg}$$

$$Q_{Ra} = 620 \times 10^{-12} \text{ Gy.h}^{-1} \cdot \text{Bq}^{-1} \cdot \text{kg}$$

$$r_{Rn} = 8,7 \times 10^{-6} \text{ mSv.m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{Bq}^{-1}$$

$$F_{Rn} = 0,4 \text{ para uma taxa de ventilação de } 0,7 \text{ h}^{-1}$$

$$\lambda_{Rn} = 7,56 \times 10^{-3} \text{ h}^{-1}$$

$$S_G = 0,20; A = 16 \text{ m}^2; V = 48 \text{ m}^3; \lambda_v = 0,7 \text{ h}^{-1}; M_G = 0,20;$$

$$I_G = 0,01; \frac{K_G}{\epsilon_i} = 1,8 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ h}^{-1}$$

Onde: o subscrito "G" refere-se ao material granito.

As taxas de dose destas amostras (Tabela 1 e Figura 2) apresentam-se entre 0,11 - 0,34 mSv/ano, sendo que, a maior parte tem taxas inferiores a 0,20 mSv/ano. Em menor proporção ocorrem as amostras com taxas entre 0,20 - 0,34 mSv/ano. As maiores taxas de dose ocorrem, segundo Streckeisen (1976), citado por Le Maitre (1989), nos granitos monzoníticos e granitos sieníticos, que correspondem, na classificação de La Roche (1964) aos granitos alcalinos, granitos alcalino/sieníticos e sieníticos.

Com a taxa de dose da cerâmica em 0,0068 mSv/ano, obtida de dados de "Health Council of the Netherlands" (1985), o acréscimo de dose devida ao uso das rochas graníticas em lugar do piso do material cerâmico são menores que 0,01 mSv/ano em todas estas amostras.

Através dos radionuclídeos de <sup>232</sup>Th, <sup>226</sup>Ra e <sup>40</sup>K da amostra CG-90, do mesmo grupo das amostras com mais de 60 ppm de urânio e tório, foram determinadas hipoteticamente 3 situações no cômodo padrão, com base na planilha de cálculo: a) quando a utilização do granito é total (m = 100) como material de construção em todo o cômodo padrão, nas mesmas condições dos trabalhos de Sharaf *et al.* (1999), Kumar *et al.* (1999), Amrani & Tahtat (2001), Rizzo *et al.* (2001) e Kovler *et al.* (2002), foi obtido H (gama) = 3,8 mSv/ano e taxa de dose total de 9,04 mSv/ano; b) sem ventilação ( $\lambda_v = 0$ ) e o piso de granito representando 5% (m=5) do total do material de construção, foi obtido H (gama) = 0,189 mSv/ano, e taxa de dose total de 5,44 mSv/ano, e c) com ventilação ( $\lambda_v = 0,7$ ), obteve-se taxa de dose anual de 0,33 mSv/ano. Esta última situação foi aplicada para o cálculo da doses total em todas aquelas amostras com teores de urânio e tório acima de 60 ppm, onde foram encontradas doses de 0,11 - 0,34 mSv/ano.

## CONCLUSÕES

As 100 amostras classificadas no diagrama QAP (quartzo, feldspato potássico e plagioclásio) de Streckeisen (1976) e citado por Le Maitre (1989), são predominantemente de granito monzonítico (73%), subordinado granodiorito (9%), monzonito quartzoso (6%), monzonito (4%), granito sienítico (3%), sienito (3%), monzogabro monzodiorítico (1%) e gabro quartzoso (1%).

A maior parte das amostras classificadas, segundo La Roche (1964), como granito alcalino, granito alcalino/sienítico e granito sienítico, comparadas com os resultados da classificação no diagrama de Streckeisen (1976) e citado por Le Maitre (1989), correspondem, predominantemente, ao granito monzonítico e em menor proporção ao granito sienítico. As demais amostras, em menor quantidade,



caracterizadas pela geoquímica segundo La Roche (1964), como sienito e granito monzonítico correspondem, quando comparadas com a caracterização mineralógica-petrográfica de Streckeisen (1976), aos granitos sieníticos e monzoníticos; e monzonito e granodiorito, respectivamente.

O grupo das 23 amostras estudadas, apresenta urânio entre 1 - 30 ppm e tório entre 44 - 130 ppm, coloração predominantemente amarelada e em menor frequência cinza e avermelhada. São também, principalmente, de textura homogênea, ocorrendo em menor proporção as rochas suborientadas ou comercialmente denominadas movimentadas.

Estudos dos minerais ao microscópio petrográfico e na microsonda eletrônica, realizados nos pontos de radioatividade definidos pela autoradiografia, revelaram que estes se devem em sua maior parte à monazita, alanita e zircão. Estes minerais outorgam a seus hospedeiros, ou àqueles que ocorrem próximos a eles, normalmente, halos e fraturas radiais, devido a sua radioatividade.

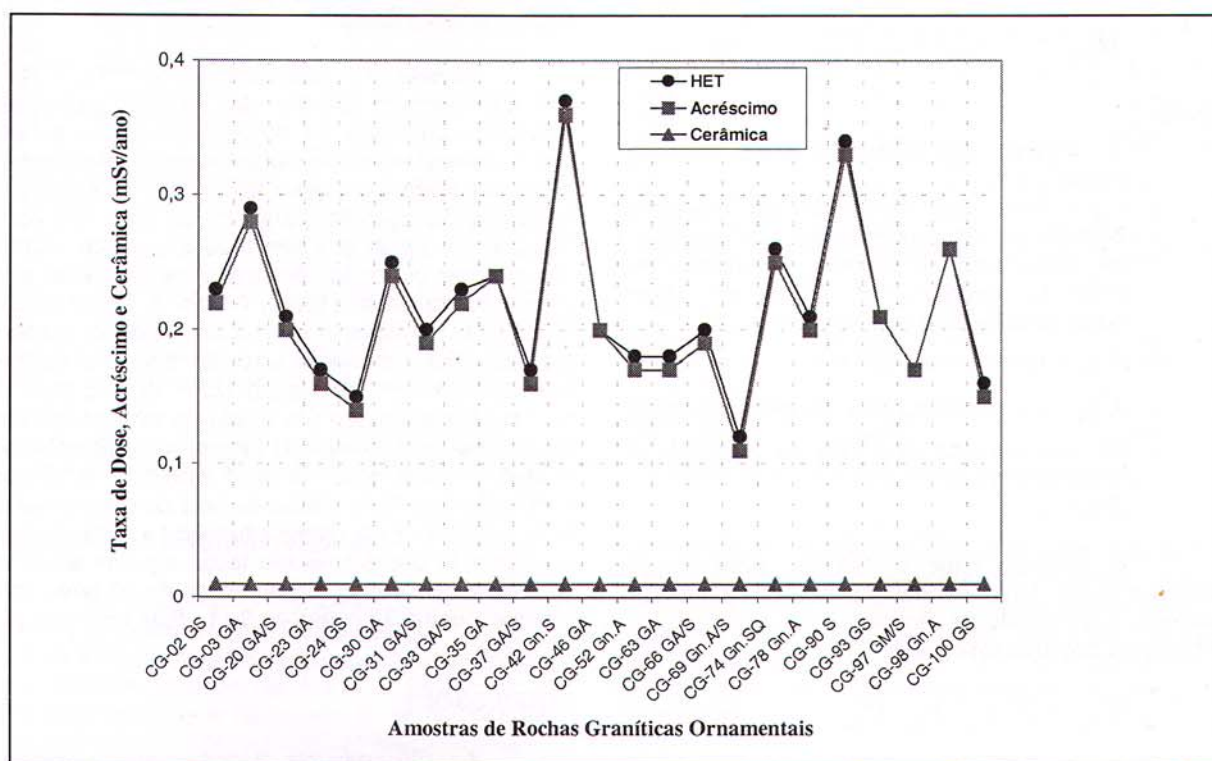


Figura 2- Taxa de dose, acréscimo utilizando-se rochas graníticas com elementos radioativos totais ( $U_3O_8$  e  $ThO_2$ ) acima de 60 ppm (GA - granito alcalino, Gn.A - gnaiss alcalino, GA/S - granito alcalino/sienítico, Gn.A/S - gnaiss alcalino/sienítico, GS - granito sienítico, Gn.S - gnaiss sienítico, GM - granito monzonítico, S - sienito e Gn.SQ - gnaiss sienito quartzoso) em lugar do material cerâmico



Os resultados das análises químicas na amostra total e a nível pontual, nos minerais radioativos, demonstram uma associação das terras raras leves (lantânio, cério, praseodímio e neodímio) com o urânio e tório, que são atribuídos, principalmente, a ocorrência da monazita, zircão e alanita.

Os resultados obtidos para o cálculo do acréscimo de dose não atingem níveis danosos para o público (Figura 2), por encontrarem-se em concentrações inferiores ao padrão internacional de exposição à radioatividade, que é de 1,0 mSv/ano, de acordo com as recomendações apresentadas na "National Council on Radiation Protection and Measurements", (1987).

Observa-se que a taxa de dose produzida pelo radônio e torônio, proveniente da utilização da rocha granítica, é consideravelmente aumentada quando a superfície relativa do material  $i$  no "cômodo padrão" [ $m^2$ ] representa maiores percentagens e também quando a taxa de ventilação [ $h^{-1}$ ] é ausente ou menor.

#### Agradecimentos

Ao Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN/CNEN), através dos Chefes imediatos Roberto Pellacani G. Monteiro e Dr. Vanderley de Vasconcelos, que proporcionaram apoio laboratorial e financeiro.

Aos colegas de trabalho pela contribuição no desenvolvimento desta pesquisa. À Fundação de Amparo a Pesquisa (FAPEMIG), órgão financiador do Laboratório de Microanálise do Consórcio Física - Geologia e Química da UFMG e CDTN/CNEN.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amrani, D., Tahtat, M. 2001. Natural Radioactivity in Algerian Building Materials. *Elsevier Science Ltd. Applied Radiation and Isotopes* 54, p. 687-689.
- Castro, J. O. N. M., Senne, Jr. M. 1995. Uso da "Lama Vermelha" na Fabricação de Tijolos e Telhas. Relatório Interno S/N. CDTN/CNEN. p.16.
- Health Council of the Netherlands. 1985. Radioactivity in Building Materials. *The Hague the Netherlands*. No. 1985/5, February 12. P. 93.
- International Commission on Radiological Protection. ICPR. 1984. *Principles for limiting exposure of the public to natural sources of radiation*. Publication 39, Oxford: Pergamon Press.
- Kovler, K., Haquin, G., Manasherov V., Ne'eman E., Lavi, N. 2002. Natural Radionuclides in Building Materials Available in Israel. *Elsevier Science Ltd. Building and Environment* 37, p. 531-537.
- Kumar, V., Ramachandran, T. V., Prasad, R. 1999. Natural Radioactivity of Indian Building Materials and By-products. *Elsevier Science Ltd. Applied Radiation and Isotopes* 51, p.93-96.
- La Roche, H. 1964. *Sur L'expression Graphique des Relations Entre la Composition Minéralogique Quantitative des Roches Cristallines. Présentation d' un Diagramme Destiné à l' étude Chimico-Minéralogique des Massifs Granitiques our Granodioritiques*. *Sci. Terre*, 9, 293-337.
- Le Maitre, R. W. 1989. *A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms*. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 13 p.
- NCRP. 1987. National Council on Radiation and Measurements. *Recommendations on Limits for Exposure to Ionizing Radiation*. ICPR Publication No 91; Bethesda, 63 pp.
- Rizzo, S., Brai, M., Basile, S., Bellia, S., Hauser, S. 2001. Gamma Activity Geochemical Features of Building Materials: Estimation of Gamma Dose Rate and Indoor Radon Levels in Sicily. *Elsevier Science Ltd. Applied Radiation and Isotopes* 55, p. 259-265.
- Salas, H.T., Nalini, Jr. H.A., Mendes, J.C. 2002. Ocorrência de Minerais Radioativos em Rochas Graníticas Ornamentais. In: VI INAC – International Nuclear Atlantic Conference, Rio de Janeiro, CD.
- Salas, H.T. 2003. Minerais Radioativos em Rochas Graníticas Ornamentais e de Revestimento: Aspectos Químico-Mineralógicos e Implicações Ambientais. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Ouro Preto – Escola de Minas – Departamento de Geologia, 207p.
- Shand, S.J. 1927. *Eruptive Rocks*. Wiley & Sons, New York. 370pp.
- Sharaf, M., Mansy M., Sayed A. El, Abbas E. 1999. Natural Radioactivity and Radon Exhalation Rates in Building Materials Used in Egypt. *Elsevier Science Ltd., Radiation Measurements* 31, p.491-495
- Streckeisen, A.1976. To each plutonic rock its proper name. *Earth Science Reviews. International Magazine for Geo-Scientists*. Amsterdam. Vol. 12. P –33.
- World Nuclear Association. 1998. Mineral Sands. Prepared from Australian Titanium Minerals Industry and CRA Information. 02p. (<http://www.world-nuclear.org/into/inf30appprint.htm>).