

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
Instituto de Geociências e Ciências Exatas  
*Campus de Rio Claro*

PAULO GIOVANY QUADROS DO AMARAL

**CARACTERIZAÇÃO RADIOMÉTRICA E DE EXALAÇÃO DE  
RADÔNIO EM ROCHAS ORNAMENTAIS SILICÁTICAS  
BENEFICIADAS NO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Campus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geologia Regional.

Orientadora: Profa. Dra. Tamar Milca Bortolozzo Galembeck  
Co-Orientador: Prof. Dr. Daniel Marcos Bonotto

Rio Claro (SP)  
2011

552      Amaral, Paulo Giovany Quadros do  
A485c      Caracterização radiométrica e de exalação de radônio em  
              rochas ornamentais silicáticas beneficiadas no estado do  
              Espírito Santo / Paulo Giovany Quadros do Amaral. - Rio  
              Claro : [s.n.], 2011  
              193 f. : il., figs., gráfs., tabs., quadros, fots., mapas

              Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,  
              Instituto de Geociências e Ciências Exatas  
              Orientador: Tamar Milca Bortolozzo Galembeck  
              Co-Orientador: Daniel Marcos Bonotto

              1. Petrologia. 2. Radiometria de radônio. 3.  
              Radioatividade. 4. Gás radônio. I. Título.

Ficha Catalográfica elaborada pela STATI - Biblioteca da UNESP  
Campus de Rio Claro/SP

Comissão Examinadora:

Profa. Dra. Tamar Milca Bortolozzo Galembeck  
IGCE/Unesp/Rio Claro(SP)

Prof. Dr. Antonio Carlos Artur  
IGCE/Unesp/Rio Claro(SP)

Prof. Dr. Fabiano Cabas Navarro  
ICT/Universidade Federal de Alfenas/Poços de Caldas(MG)

Resultado: **Aprovado**

Rio Claro, SP 2 de Maio de 2011

*Dedico a todos que acreditam no meu potencial e me deram apoio para sempre seguir em frente e especialmente a minha família (mãe, pai, irmã, cunhado e sobrinha na qual sou padrinho) que é a minha base de vida.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que me ajudaram e apoiaram para realização deste trabalho, pois sozinho ninguém consegue fazer nada.

À minha orientadora Profa. Dra. Tamar Milca Bortolozzo Galembeck, por ter me aceitado ser seu orientado e assumido comigo o compromisso deste trabalho, dando o seu apoio e sua orientação.

Ao co-orientador Prof. Dr. Daniel Marcos Bonotto por suas sugestões e ter disponibilizado o Laboratório de Isótopos Instáveis.

Ao Prof. Dr. Antonio Carlos Artur por suas ajudas e a sua co-orientação não oficial no qual possibilitou avançar nas pesquisas.

Ao Prof. Dr. Antenor Zarnado que participou da qualificação e foi sempre atencioso durante o período do mestrado.

À Profa. Dra. Maria Margarita Torres Moreno pela atenção dada como professora e educadora.

Aos demais professores, técnicos, funcionários e amigos da Unesp, no qual sempre me trataram bem e tiveram tempo para me atender.

Ao CNPq pela bolsa de formação de mestrado, processo nº: 132366/2009-6.

Ao Centro Tecnológico do Mármore e Granito - CETEMAG e meus amigos de Cachoeiro de Itapemirim - ES pelo marketing realizado com o meu nome, sendo assim possível conseguir as amostras junto às empresas.

## RESUMO

O trabalho realizou avaliações relativas ao comportamento radiométrico e de exalação do gás radônio em rochas ornamentais e de revestimento exploradas nos estados brasileiros de Minas Gerais e Espírito Santo. Sabendo que as rochas apresentam em sua constituição determinados teores de elementos radioativos tais como  $^{87}\text{Rb}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  e  $^{232}\text{Th}$ , sendo os três últimos a gerar em suas séries por decaimento o Rn e, apesar da baixa concentração natural do mesmo nos diversos ambientes e de sua curta meia vida de 3,8 dias, adquire importância pelo fato de seu decaimento gerar os elementos metálicos  $^{218}\text{Po}$ ,  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$  e  $^{214}\text{Po}$  que podem se fixarem nos pulmões causando patologias importantes nas vias respiratórias, especificamente na indução de metástases. Devido à importância de conhecer as concentrações do gás radônio nos ambientes de convívio humano foram escolhidas 10 rochas silicáticas de variedade geológica e de destaque comercial beneficiadas por empresas de Cachoeiro de Itapemirim – ES, compreendendo rochas magmáticas dadas por diorito, sienito, charnockito, monzogranito e três pegmatitos graníticos e por três rochas metamórficas. O estudo, envolvendo os dados radiométricos de U, Th, K e de monitoramento de exalação do gás  $^{222}\text{Rn}$ , revela uma boa correlação entre os parâmetros petrográficos e índices físicos das rochas. Os teores de U variaram de 2,9 ppm a 37 ppm e Th de 0,3 ppm a 84 ppm, mostrando que as concentrações destes radionuclídeos característicos para cada tipo de rocha, revelam a perfeita coerência entre a presença ou ausência de minerais acessórios detentores de elementos radioativos. A quantidade de exalação de radônio fornecida pelas rochas está diretamente relacionada aos aspectos petrográficos de cada material, principalmente ao grau e tipos de microfissuras e dos contatos entre os minerais, determinantes da rede microporosa das rochas, conduzindo assim a uma maior ou menor permeabilidade, que por sua vez controla a exalação. Ao comparar a quantidade de  $^{222}\text{Rn}$  gerado pela rocha com o que é efetivamente exalado, constata-se que a taxa de gás exalada é ínfima e, além do mais, nem sempre a rocha que produz mais Rn será a rocha que irá exalar mais. Os resultados dosimétricos do gás radônio situaram nove amostras abaixo do limite de 4 pCi/L estabelecido pela EPA e um pegmatito acima deste limite atingindo 7,92 pCi/L, conforme estudos de simulações efetuadas através da aplicação dos materiais estudados como piso em ambiente fechado visando a avaliação cumulativa dos níveis de radiação gerados pela exalação do radônio pelas rochas.

Palavras Chaves: Rochas Ornamentais; gás radônio; radioatividade.

## ABSTRACT

This work carried out assessments on the radiometric behavior and exhalation of radon gas in dimensional and surfacing stones exploited in the Brazilian states of Minas Gerais (MG) and Espírito Santo (ES). The rocks usually contain different levels of the radionuclides  $^{87}\text{Rb}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  and  $^{232}\text{Th}$ , the last three forming radioactive decay series, where different Rn isotopes occur. Despite its low natural activity concentration in the environment,  $^{222}\text{Rn}$  (half life = 3.8 days) is an important radioactive noble gas because can generate the heavy metals  $^{218}\text{Po}$ ,  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$  and  $^{214}\text{Po}$  which can settle in the lungs, causing major diseases in the respiratory tract, including the induction of metastasis. Ten silicate rocks of variable composition and commercial use have been selected for evaluating the radon presence in human environments. They have been benefited by companies in Cachoeiro de Itapemirim (ES) and include magmatic (diorite, syenite, charnockite, monzogranite, granitic pegmatite) and metamorphic rocks. The study involved the acquisition of U, Th and K radiometric data, as well the monitoring of the  $^{222}\text{Rn}$  gas exhalation, coupled with petrographic and physical rock indices. The U and Th content range was 2.9-37 and 0.3-84 ppm, respectively, where the radioelements content was consistent with the presence or absence of accessory minerals hosting them. The amount of radon emanated from the rocks was directly related to the petrography of each material, especially the degree and types of microcracks and the contacts between minerals that are determinants of the rocks microporous net, thus, leading to a greater or lesser permeability, which in turn controls the exhalation. The comparison of the  $^{222}\text{Rn}$  generated by the rock with the amount effectively exhaled indicated that the exhalation rate is negligible and also no correspondence between the more Rn-productive and Rn-exhalative rocks. Simulations of the application of the studied materials as flooring indoors have been performed in order to evaluate the cumulative radiation levels generated by the radon gas exhalation of the rocks. The results indicated that nine samples yielded values below the 4 pCi/L guideline value established by EPA, whereas, the pegmatite provided 7.92 pCi/L that is above it.

**Keywords:** dimension stone; radon gas; radioactivity.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Séries de decaimento radioativo modificado de Kaplan (1983). .....	25
Figura 2.2 – Distribuição de urânio em rochas ígneas (Rogers e Adams, 1969). .....	32
Figura 4.1 – Sistema espectrométrico gama instalado no LABIDRO (DUARTE, 2002). .....	47
Figura 4.2 – Calibração do espectrômetro gama (DUARTE, 2002). .....	49
Figura 4.3 – Curva de calibração do U em concentração (DUARTE, 2002). .....	50
Figura 4.4 – Curva de calibração do Th em concentração (DUARTE, 2002). .....	51
Figura 4.5 – Curva de calibração do K em concentração (DUARTE, 2002). .....	52
Figura 4.6 – Esquema de um instrumento ICP-MS onde as linhas pontilhadas representam a amostra introduzida na forma de vapor e as linhas cheias na forma de aerossol (adaptado de Jarvis <i>et all</i> por Pinto; 2010). .....	53
Figura 4.7 – Sistema usado para medir a exalação do gás radônio nas amostras estudadas composto de (1) espectrômetro alfa; (2) bomba de ar; (3) garrafão e (4) sistemas de válvulas e, o (5) sentido da circulação do ar interno conforme especificação do aparelho. ....	59
Figura 5.1. – Mapa geológico simplificado com a localização das amostras estudadas pertencentes ao estado de Minas Gerais (CPRM, 1987). .....	64
Figura 5.2 – Mapa geológico simplificado com a localização das amostras estudadas pertencentes ao estado do Espírito Santo (CPRM, 1987). .....	65
Figura 6.1 – Valores de massa específica aparente seca e saturada das amostras estudadas relacionados com o índice de minerais pesados. ....	101
Figura 6.2 – Valores de porosidade, absorção d'água e grau de microfissuramento. ....	101
Figura 6.3 – Relação em porcentagem dos tipos de microfissuras das rochas estudadas. ....	102
Figura 6.4 – Representação das concentrações de U (ppm) nas rochas estudadas. ....	106
Figura 6.5 – Valores das concentrações de <sup>40</sup> K (ppm) e Th (ppm) nas rochas estudadas. ....	107
Figura 6.6 – Evolução da taxa de exalação do radônio vs. tempo de contagem das rochas denominadas comercialmente de Preto São Gabriel (PSG), Ocre Itabira (OI), Verde Labrador (VL), Cinza Corumbá (CC), Timbalada (TI), Mascarello (MS), (GI), Icarai Light (IL), Golden Cristal (GC) e Crema Bordeuax (CB). .....	110
Figura 6.7 – Evolução da exalação do radônio até o 25º ciclo. ....	112
Figura 6.8 – Quantidade exalada de Rn (Bq/m <sup>3</sup> ) nas amostras. ....	112
Figura 6.9 – Relação da quantidade de U e Th em relação a exalação do Rn. ....	113
Figura 6.10 – Relação entre porosidade e exalação do gás radônio entre as rochas. ....	115

Figura 6.11 – Relação entre a quantidade e o tipo de microfissuras com a exalação do radônio. ....	116
Figura 6.12 – Relação entre os teores de urânio, índice de porosidade com a exalação do Rn. ....	117
Figura 6.13 – Diluição do radônio no ar simulado num apartamento de 90m <sup>2</sup> . ....	122

## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 – Séries de decaimento radioativo e meia vida (KAPLAN, 1983). ....	24
Quadro 2.2 – Fator de qualidade (IPEN, 2002; TIPLER, 2000 apud FIOR, 2008). ....	27
Quadro 2.3 – Grandezas e unidades de medidas (IPEN, 2002; TIPLER, 2000 apud FIOR, 2008). ....	27
Quadro 2.4 – Concentração média de tório para alguns tipos de rochas (ROGERS & ADAMS, 1969). ....	31
Quadro 3.1. – Isótopos naturais do gás radônio. ....	35
Quadro 4.1– Relação das amostras utilizadas. ....	41
Quadro 4.2 – Quantidades, dimensões e tipo de acabamento das amostras estudadas. ....	56

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 – Distribuição média de urânio nas rochas terrestres. ....	29
Tabela 2.2 – Teor de urânio em minerais de rochas ígneas. ....	30
Tabela 4.1 – Calibração em energia para o sistema utilizado. (DUARTE, 2002). ....	48
Tabela 4.2 – Dados obtidos para os nuclídeos de interesse, baseados em fontes de urânio, tório e potássio. ....	49
Tabela 5.1 – Relação das rochas estudadas. ....	63
Tabela 5.1. – Sinópsese dos resultados da caracterização petrográfica. ....	68
Tabela 5.2 (continuação). Sinópsese dos resultados da caracterização petrográfica. ....	69
Tabela 6.1 – Síntese dos resultados médios dos Índices Físicos. ....	99
Tabela 6.2. – Concentrações de U, Th e K presentes nas rochas estudadas. ....	105

Tabela 6.3 – Valores obtidos em Bq/m <sup>3</sup> no final de cada ciclo das amostras. ....	108
Tabela 6.4 – Eficiência de exalação do Rn através do <sup>222</sup> Rn calculado e exalado das rochas. ....	119
Tabela 6.5 – Valores de radônio obtidos simulando de um ambiente de 90,86m <sup>2</sup> .....	121

## ÍNDICE DE FOTOS

Foto 4.1 – Blindagem de chumbo e amplificador ORTEC à direita. ....	48
Foto 4.2 – Sistema para medição da emanção do gás radônio composto da esquerda para direita de aparelho medidor (1), bomba de vácuo (2) e garrafão de vidro (3) com as amostras confinadas em seu interior sendo conectados por um sistema de válvulas (4). ....	58

## ÍNDICE DE PRANCHAS

Prancha 5.1 – Aspecto macroscópico polido (Foto1) e bruto (Foto2) e, microscópicos (fotomicrografias 3 e 4) do diorito Preto São Gabriel. Fotomicrografia 3 mostrando a presença de microfissuras nos plagioclásios à nicóis cruzados. Fotomicrografia 4 mostrando inclusões de biotita e opacos no hiperstênio à nicóis descruzados. ....	71
Prancha 5.2 – Aspecto macroscópico polido (Foto1) e bruto (Foto2) e, microscópicos (fotomicrografias 3 e 4) do hornblenda sienito Ocre Itabira. Fotomicrografia 3 mostrando aglutinação de feições mimerquíticas no plagioclásio à nicóis cruzados. Fotomicrografia 4 mostrando a hornblenda intensamente fraturada com bordas biotitizadas à nicóis descruzados. ....	74
Prancha 5.3 – Aspecto macroscópico polido (Foto1) e bruto (Foto2) e, microscópicos (fotomicrografias 3 e 4) do charnockito Verde Labrador. Fotomicrografia 3 mostrando o ortopiroxênio ao centro bastante bastitizado e oxidados à nicóis descruzados. Fotomicrografia 4 mostrando o quartzo com formas vermiculares no interior do cristal de plagioclásio à nicóis cruzados. ....	77
Prancha 5.4 – Aspecto macroscópico polido (Foto1) e bruto (Foto2) e, microscópicos (fotomicrografias 3 e 4) do monzogranito Cinza Corumbá. Fotomicrografia 3 mostrando o	

microclínio micropertítico com cristais de quartzo em sua estrutura à nicóis cruzados. Fotomicrografia 4 mostrando a titanita bem eudral com a apatita em sua estrutura na matriz de plagioclásio que possui fraturas preenchidas por sericitas e hidróxidos de ferro à nicóis descruzados. ....	80
Prancha 5.5 – Aspecto macroscópico polido (Foto1) e bruto (Foto2) e, microscópicos (fotomicrografias 3 e 4) do pegmatito hidrotermalizado Timbalada. Fotomicrografia 3 mostrando vários cristais de quartzo com fraturas preenchidas por sericitas, onde seu contato com outros minerais mudam de côncavo-convexo a reto quando o mesmo faz contato com a muscovita, visto à nicóis cruzados. Fotomicrografia 4 mostrando a albita no centro apresentando certa sericitização à nicóis cruzado. ....	83
Prancha 5.6 – Aspecto macroscópico polido (Foto1) e bruto (Foto2) e, microscópicos (fotomicrografias 3 e 4) do pegmatito granítico Mascarello. Fotomicrografia 3 mostrando a muscovita à esquerda e feldspato potássico à direita com fraturas preenchidas por hidróxidos de ferro à nicóis cruzados. Fotomicrografia 4 mostrando inclusões a albita parcialmente sericitizado à nicóis cruzados. ....	86
Prancha 5.7 – Aspecto macroscópico polido (Foto1) e bruto (Foto2) e, microscópicos (fotomicrografias 3 e 4) do pegmatito granítico Giallita. Fotomicrografia 3 mostrando a granada apresentando bem microfraturada na matriz de feldspato à nicóis descruzados. Fotomicrografia 4 mostrando concentrações de sillimanita ao centro associada a biotita à nicóis cruzados. ....	89
Prancha 5.8 – Aspecto macroscópico polido (Foto1) e bruto (Foto2) e, microscópicos (fotomicrografias 3 e 4) do granulito Icaraí Light. Fotomicrografia 3 mostrando o quartzo com suas formas anedrais irregulares e com contato côncavo-convexo com feldspato potássico e granada à nicóis cruzados. Fotomicrografia 4 mostrando a granada com suas formas irregulares, microfraturadas e contato entre os demais minerais com os interstícios preenchidos por óxidos e hidróxidos de ferro à nicóis descruzados. ....	92
Prancha 5.9 – Aspecto macroscópico polido (Foto1) e bruto (Foto2) e, microscópicos (fotomicrografias 3 e 4) do gnaiss migmatizado Golden Cristal. Fotomicrografia 3 mostrando o feldspato potássico pertítico sobre a forma de fios fazendo contato com quartzo, predominando contato côncavo-convexo à nicóis cruzados. Fotomicrografia 4 mostrando a biotita dispersa na matriz de quartzo e feldspato com o seu hábito tabular associado a sillimanita à nicóis descruzados. ....	95
Prancha 5.10 – Aspecto macroscópico levigado e umedecido para realçar a coloração da rocha (Foto1) e bruto (Foto2) e, microscópicos (fotomicrografias 3 e 4) do migmatito	

gnaisificado Crema Bordeaux. Fotomicrografia 3 mostrando o quartzo ao centro, com suas fraturas cicatrizadas, com contatos côncavo-convexo à nicóis cruzados. Fotomicrografia 4 mostrando o mesmo cristal de quartzo à nicóis descruzados onde observa os contatos com os outros minerais e microfissuras preenchidas por filossilicatos. ....98

## SUMÁRIO

Capítulo 1 - Introdução .....	15
1.1. Apresentação .....	15
1.2. Objetivo .....	1
1.3. Importância do Tema .....	1
Capítulo 2 - Considerações sobre a Radioatividade .....	19
2.1. Conceitos Básicos .....	19
2.2. Radioatividade .....	19
2.3. Decaimento Alfa .....	20
2.4. Decaimento Beta .....	21
2.5. Radiação Gama .....	22
2.6. Atividade, unidade de atividade e meia-vida do elemento radioativo.....	23
2.7. As Séries Naturais de Decaimento Radioativo .....	23
2.8. Radiações e suas Grandezas e Unidades da Física .....	2
2.9. Geoquímica do Urânio, Tório e Potássio .....	28
2.9.1. Urânio .....	28
2.9.2. Tório .....	31
2.9.3. Ocorrência de urânio e tório nas rochas ígneas .....	32
2.9.4. Potássio .....	33
Capítulo 3. O Gás Radônio .....	34
3.1. Contaminação ambiental devido a presença de $^{222}\text{Rn}$ e filhos .....	34
3.2. A formação de isótopos de $^{222}\text{Rn}$ e seus filhos .....	35
3.3. Fontes de Radônio e suas características de exalação .....	3
3.4. Exposição de $^{222}\text{Rn}$ no aparelho respiratório .....	3
3.5. Dosimetria de $^{222}\text{Rn}$ e filhos .....	38
Capítulo 4 - Material e Métodos .....	40
4.1. Materiais Utilizados .....	40
4.2. Revisão Bibliográfica .....	41
4.3. Métodos .....	41
4.3.1. Caracterização Petrográfica .....	42
4.3.2. Determinação dos Índices Físicos .....	45
4.3.3. Espectrometria Gama .....	4

4.3.3.1. O Espectrômetro .....	4
4.3.3.2. Calibração do Sistema de Energia .....	48
4.3.3.3. Calibração do Sistema em Concentração .....	49
4.3.3.4. Preparação das Amostras para Espectrometria Gama .....	52
4.3.4. Espectrometria de Massa com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-MS).....	53
4.3.5. Monitoramento do Rn nas Amostras .....	54
4.3.5.1. O Detector .....	55
4.3.5.2. Preparação das Amostras .....	55
4.3.5.3. Calibração do Sistema do Aparelho.....	5
4.3.5.4. Sistema Empregado .....	5
4.3.5.5. Rotina de Ensaio .....	58
4.3. . Simulação de Adição para o Nível de Radônio de uma Residência .....	0
Capítulo 5 Análise Petrográfica e Contexto Geológico das Rochas Estudadas .....	2
5.1. Rochas Pertencentes ao Estado de Minas Gerais .....	2
5.2. Rochas Pertencentes ao Estado do Espírito Santo .....	3
5.3. Petrografia .....	
5.3.1. Preto São Gabriel (hiperstênio diorito com quartzo) .....	0
5.3.2. Ocre Itabira (hornblenda sienito com quartzo) .....	2
5.3.3. Verde Abrador (charnockito com granada) .....	5
5.3.4. Cinza Corumbá (monzogranito) .....	8
5.3.5. Timbalada (muscovita pegmatito granítico hidrotermalizado) .....	80
5.3. . Mascarello (pegmatito granítico) .....	84
5.3. . Gialitta (pegmatito granítico) .....	8
5.3.8. Icará Light (granulito quartzo-feldspático com sillimanita) .....	90
5.3.9. Golden Cristal (biotita gnaiss migmatizado) .....	92
5.3.10. Crema Bordeaux (migmatizado gnaissificado) .....	95
Capítulo Resultados e Discussão .....	99
1. Índices Físicos .....	99
2. Resultados Radiométricos .....	104
2.1. Concentração de Urânio, Tório e Potássio .....	104
2.2. Detecção Ativa de <sup>222</sup> Rn e Filhos .....	108
3. Correlações dos Dados .....	113
4. Simulação de Adição para o nível de <sup>222</sup> Rn em uma Residência .....	120

.4.1. Condições e variáveis da Simulação .....	120
Capítulo 7 Considerações Finais e Conclusão .....	124
Capítulo 8 Referências Bibliográficas .....	132
ANEXO A INDICES FISICOS .....	13
ANEXO B ESPECTROMETRIA GAMA .....	143
ANEXO C ICP-MS .....	14
ANEXO D MONITORAMENTO DO <sup>222</sup> RN .....	15
ANEXO E SIMULAÇÃO DE ADIÇÃO PARA O NÍVEL DE <sup>222</sup> RN EM UMA RESIDÊNCIA .....	18

## Capítulo 1 – Introdução

### 1.1. Apresentação

O homem está exposto a fontes de radiações em seu ambiente, seja por ocorrência natural ou modo artificial. A radiação artificial se deve a fontes produzidas pelo homem, como o caso de equipamentos usados na medicina, onde se estabelece limites de radioproteção.

Os radionuclídeos de ocorrência natural estão presentes em todos os meios, no solo, ar, água, rochas e materiais orgânicos. Dentre estes radionuclídeos, os mais importantes sob o ponto de vista de exposição humana são  $^8\text{Rb}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  e  $^{232}\text{Th}$ , sendo que os três últimos geram, por decaimento, uma série de outros radionuclídeos (FERREIRA, 2004).

O urânio e o tório, principais elementos radioativos, decaem para formar outros elementos, como o gás radônio (Rn), principal elemento dessa pesquisa. Comparando-se a atividade dos materiais geológicos em relação à radioatividade artificial, esta pode ser considerada desprezível, mas ganha importância ao se pensar num efeito acumulativo, o qual seria a exposição diária de um indivíduo durante um longo período de tempo.

As partículas alfa emitidas pelo Rn são altamente ionizantes, mas possuem pouco poder de penetração, sendo que a energia gerada não é capaz de atravessar a pele humana, mas o gás, ao ser inalado, não consegue escapar dos pulmões no corpo humano porque se desintegra para partículas sólidas e deposita toda sua energia ocasionando lesões ou patologias de gravidade diversa (BINNS et al., 1995).

O gás radônio é a causa número 2 de câncer pulmonar nos Estados Unidos, perdendo apenas para o cigarro, sendo responsável pela morte de aproximadamente 20 mil pessoas por ano segundo estudos da U. S. Environmental Protection Agency – EPA (2003).

A construção civil utiliza a matéria prima de origem geológica, como os casos de brita, areia e materiais para revestimentos que podem apresentar teores anômalos de radioatividade, destacando-se o  $^{222}\text{Rn}$ , considerado como cerca de 20 vezes mais importante que o  $^{220}\text{Rn}$  e  $^{219}\text{Rn}$ , devido a sua meia vida maior, de aproximadamente 3,83 dias, o que faz possuir um maior tempo de permanência num ambiente em relação aos outros dois radionuclídeos.

A taxa de exalação do gás radônio de uma rocha está relacionada com o teor de U, reflexo da própria gênese da rocha e também da influência das feições texturais e estruturais

do material. Quando o  $^{22}\text{Ra}$  desintegra-se, um átomo de radônio e uma partícula alfa são formados sendo simultaneamente e etados em sentidos opostos. Este mecanismo pode ocasionar expulsão do átomo de radônio da estrutura cristalina ou molecular em que o átomo de rádio se alo ava e dependendo das características petrográficas das rochas, como por exemplo, estado microfissural, granulação, orientação, grau de alteração e contatos entre os seus constituintes, influenciam diretamente na porosidade, par metro que pode contribuir para exalação do mesmo facilitando o fluxo de transporte interno até ao meio externo nas rochas.

De forma geral, toda rocha pode ser empregada com finalidades ornamentais e para revestimento. Porém, para que determinado material rochoso possa ser empregado, ele deve ser capaz de suportar esforços e solicitaç es de variada natureza impostas pelo meio e também pelas aç es do homem.

Algumas agências de comunicação dos EUA informaram que os níveis de radioatividade no interior de uma residência devida o gás radônio, podem ter sido aumentados devido o emprego de rochas ornamentais, principalmente usadas como *counter tops* (bancadas) (ABIROC AS, 2008).

O ornal The New York Times (2008) noticia que a adição dos níveis de radioatividade no interior de uma residência pode está relacionada com o emprego popularizado de bancadas de rochas consideradas ex ticas ou movimentadas provenientes do Brasil e da Namíbia.

Essa mesma matéria comenta que alegaç es a este respeito foram levantadas periodicamente ao longo da ltima década pelos fabricantes e distribuidores de materiais concorrentes as rochas ornamentais.

Ressalta-se neste período que ocorreu este fato, o setor financeiro imobiliário dos EUA entrou em crise, onde gerou um aumento de concorrência e do protecionismo americano.

Como o Brasil ocupa uma posição de destaque no Setor de Rochas Ornamentais e para revestimento por possuir uma grande diversidade litol gica encontrada em todo seu territ rio, sendo que em 2008 foi o maior produtor e o maior exportador em relação produção mundial e ao mercado internacional de rochas ornamentais e de revestimento segundo informaç es da edição da Marmomacc de 2009 e, tem os EUA como principal comprador (ABIROC AS, 2011), torna-se clara a necessidade de estudos sobre esse tema.

Enfocando assim este assunto com a compreensão das relaç es entre as características petrográficas, propriedades tecnol gicas e ambientes de aplicação das rochas visando aplicação correta e valorando-as como produto de acabamento.

As pesquisas desenvolvidas no presente trabalho representam um aprofundamento dos estudos iniciados com Moura (2005), em sua tese de doutorado defendida no programa de Pós-graduação em Geologia Regional onde foram comparados teores de U, Th e  $^{40}\text{K}$  e da atividade específica de  $^{222}\text{Rn}$  em rochas ornamentais de diferentes séries magmáticas. Nesta etapa atual das pesquisas, consolidado nos laboratórios de Isótopos Instáveis e de Rochas Ornamentais do DPM/IGCE/UNESP – Campus de Rio Claro – SP, além da quantificação dos elementos radioativos supracitados, avançaram rumo ao monitoramento de  $^{222}\text{Rn}$  efetivamente exalado pelas rochas estudadas.

Dessa forma, o presente trabalho visa contribuir para um melhor entendimento no comportamento radiométrico de exalação do gás  $^{222}\text{Rn}$  em rochas silicáticas geradas em diferentes ambientes geológicos que são usadas para fins ornamentais.

## 1.2. Objetivo

Este trabalho tem por objetivo principal a caracterização das propriedades radiométricas e de exalação de radônio em rochas silicáticas utilizadas para fins ornamentais e de revestimento para avaliar o uso desses materiais em condições de ambientes fechados.

## 1.3. Importância do Tema

As rochas ornamentais e para revestimento apresentam grande variedade de utilização podendo ser aplicadas em diferentes ambientes e normalmente utilizadas sem nenhum diagnóstico.

Essas rochas em sua aplicação são submetidas a vários esforços físicos-mecânicos e ataques de compostos químicos agressivos, para isso, ensaios de caracterização são usados para adquirir informações sobre os parâmetros tecnológicos auxiliando na escolha do material a ser usado numa edificação. Entre os ensaios solicitados e normatizados, não existe a exigência em relação à caracterização radiométrica e, no ano de 2000 foi difundido entre os consumidores americanos, o principal destino das placas aqui beneficiadas, que as rochas brasileiras seriam radioativas e responsáveis pelos altos níveis do gás radônio detectados nos

interiores das residências e nas demais edificações causando sérios prejuízos no que diz respeito à exportação das rochas brasileiras.

Estudos enfocando a radioatividade em rochas são bastante recentes e, portanto, extremamente escassos tanto ao nível nacional como internacional. No Brasil alguns trabalhos relacionados à radioatividade de rochas são devidos a Anjos et al. (2005) e Moura (2005), que, além da quantificação dos principais elementos radioativos de rochas ornamentais, procuram correlacionar a radioatividade das rochas às suas respectivas origens geológicas.

Os estudos da taxa de exalação de radônio (taxa do gás que é liberado da superfície do material para o ar circundante) é um assunto complexo, com poucos registros na literatura, cabendo menção aos trabalhos de Bonotto e Andreoli (1999) em água e de Chyi (2008) em rochas graníticas.

Devido à importância do tema e à carência de literatura do mesmo, surgiu a necessidade de investigar acerca da exalação do gás radônio proveniente de rochas silicáticas usadas para fins ornamentais e para revestimento em ambientes fechados, que tendem a ter pouca renovação do ar interno, facilitando a permanência do gás radônio e assim aumentando sua adição na área de exalação, ressaltando que o referido gás é um dos indicadores de câncer de pulmão segundo a EPA (2003).

## Capítulo 2 – Considerações sobre a Radioatividade

### 2.1. Conceitos Básicos

Tudo o que conhecemos na Natureza é constituído por átomos, a menor estrutura da matéria na qual apresenta as propriedades de um elemento químico, formado por um núcleo onde concentra sua massa e partículas denominadas elétrons girando ao seu redor.

O núcleo é formado por partículas de cargas positivas denominadas prótons e partículas do mesmo tamanho, mas sem carga denominadas nêutrons. O número de prótons (número atômico) é o que identifica o elemento químico. O número de nêutrons no núcleo pode ser variável por não possuir carga elétrica, sendo assim um mesmo elemento químico pode ter massas diferentes, com mesmo número de prótons, portanto átomos de um mesmo elemento químico com massas diferentes são denominados átomos isotópicos. Como exemplo, o urânio com 92 prótons no núcleo possui três isotópicos:

U-234 com 142 nêutrons

U-235 com 143 nêutrons

U-238 com 144 nêutrons.

Os isotópicos radioativos também são conhecidos como radionuclídeos.

### 2.2. Radioatividade

Em 1896, Antoine Henri Becquerel, ao deixar um sal de urânio extraído do mineral pechblenda, que contém alto teor de urânio, sobre um filme fotográfico virgem, acabou revelando o filme. Este fenômeno foi denominado de radioatividade, tendo Marie Skłodowska Curie, em 1898, provado que essa propriedade não era apenas do urânio e os elementos que apresentavam esta propriedade foram chamados de elementos radioativos.

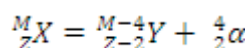
Na natureza, todos os elementos tendem adquirir a maior estabilidade possível, quando um núcleo muito energético por ter excesso de partículas ou de carga, tende a estabilizar-se, emitindo o excesso de energia na forma de radiação. A radioatividade natural é a que se manifesta espontaneamente nos elementos radioativos e nos isotópicos através da desintegração

do número atômico, resultando na emissão de partículas (alfa, beta) ou radiação eletromagnética (raios gama).

Todos os elementos com número atômico maior que 83 são radioativos, sendo conhecidos 58 radionuclídeos naturais que ao serem somados aos artificiais e aos produtos de fissão do urânio, resultam em mais de 1.500 radionuclídeos (BONOTTO, 1997).

### 2.3. Decaimento Alfa

Proveniente da radiação alfa é caracterizado pela emissão de um grupo de partículas positivas, constituídas por dois prótons e dois nêutrons, núcleos de átomos de hélio, de certos elementos radioativos. Portanto quando um átomo radioativo emite uma partícula alfa, a massa atômica (M) do átomo resultante diminui de quatro unidades e o número atômico (Z) de duas unidades. Esse decaimento de certo nuclídeo a partir de outro, pode ser descrito conforme abaixo:



Como por exemplo, o  ${}^{238}_{92}\text{U}$ , no qual a série de seu decaimento irá surgir o gás radônio, temos:



Sendo:

Th: elemento produto do decaimento

$\alpha$ : partícula alfa (gás nobre estável que não reage quimicamente com os demais elementos) e,

$Q_\alpha$ : quantidade da energia total do decaimento alfa.

Uma partícula alfa com a interação dos átomos do ar, perde em média 33,85 MeV de energia por ionização. Uma partícula alfa de 4,8 MeV emitida pelo  ${}^{226}\text{Ra}$ , produz no ar cerca de 142 mil ionizações, em uma distância menor que 3,5 cm. Uma partícula alfa é mais pesada e de maior carga sendo menos penetrante que as partículas beta e as radiações  $\gamma$ , conseguindo

atingir apenas a superfície da pele humana, sendo facilmente blindadas, mas devido possuir alta densidade de ionização essa energia pode trazer consequências à saúde humana quando ingeridos ou inalados seus radionuclídeos emissores alfa (EPA, 2003).

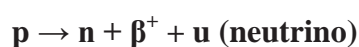
## 2.4. Decaimento Beta

Proveniente da radiação beta ocorre quando existe no núcleo atômico um excesso de nêutrons em relação aos prótons, podendo ocorrer a transformação de um nêutron em um próton. Para isto acontecer é necessário que ocorra a liberação de um elétron pelo núcleo atômico, ou seja, o núcleo atômico irá liberar um elétron, ou melhor, uma sub-partícula carregada negativamente, também conhecida como partícula beta ou  $\beta^-$  (négatron) e de um antineutrino de elétron. Por outro lado, quando o número de nêutrons for insuficiente para estabilizar a quantidade de prótons presentes no núcleo atômico, poderá ocorrer a transformação de um próton em um nêutron. Para esta transformação ocorrer, será necessária a liberação de uma sub-partícula positiva do núcleo atômico. Será emitida uma partícula beta positiva,  $\beta^+$ , também, conhecida, como pósitron e de um neutrino de elétron.

Quando o nêutron se transforma em um próton e um elétron (expelido do núcleo como partícula beta negativa), o número atômico do átomo sofre aumento de uma unidade e o número de nêutrons sofre redução de uma unidade. A partícula  $\beta^-$  possui a mesma natureza dos elétrons orbitais sendo originária do núcleo com a seguinte reação:



A partícula  $\beta^-$ , constitui-se na antipartícula mais simples conhecida, interage com elétrons formando duas radiações gama de 0,511 MeV de energia cada com a reação descrita por Fermi (1934) apud Moura (2005) onde o número atômico,  $Z$ , diminui em uma unidade:



Em relação às partículas  $\alpha$ , as partículas  $\beta$  são menores, mais leves e mais penetrantes, produzem uma densidade de ionização menor e um alcance maior. Uma partícula  $\beta$  de 3 MeV

possui um alcance no ar de 12 0cm e 1,5 cm no tecido humano. Os nêutrons, que são muito penetrantes, por serem sem carga, não produzem ionização, mas transferem energia para outras partículas que podem ionizar, podendo ser blindados com matérias que possuem o elemento hidrogênio ( AP AN, 1983).

## 2.5. Radiação Gama

Após ocorrer a emissão de uma partícula  $\alpha$  ou  $\beta$ , como visto acima, o núcleo resultante é deixado em estado excitado, apresentando energia em excesso. Esse núcleo ao retornar em seu estado fundamental de energia produz a emissão de fótons ou onda eletromagnética da mesma natureza da luz na forma de radiação gama ( $\gamma$ ).

Os raios  $\gamma$  por não possuírem massa e nem carga, possuem alto poder de penetração, isto acontece por esta radiação não ser uma partícula, mas sim uma onda. Estes raios percorrem grandes distâncias no ar, sendo blindados por chumbo (por ser um elemento muito fechado).

A radiação  $\gamma$  interage com a matéria sendo emitidos ou criados elétrons ou pósitrons que ionizam os átomos do meio.

A diferença entre partículas e ondas eletromagnéticas, é que a partícula possui massa, carga elétrica e velocidade que depende do valor de sua energia e as ondas eletromagnéticas não possuem massa e se propagam com velocidade de 300 000 m/s independentemente do valor de sua energia.

Com isso o poder de penetração das radiações ionizantes é diferente, onde a partícula alfa é blindada por uma folha de papel, a partícula beta blindada por uma folha de alumínio e os raios gama são blindados por chumbo ou uma camada espessa de concreto, sendo que ao atravessar o material, cedem energia para os átomos do material por meio de ionização (remoção de um elétron de um átomo deixando-o com carga positiva) ou excitação (interação da radiação com elétron ou com núcleo de um átomo) (IPEN, 2002 TIP ER, 2000 MURPHY, 198 apud FIOR, 2008).

## 2.6. Atividade, unidade de atividade e meia-vida do elemento radioativo

Conforme visto, as radiações nucleares podem ser em partículas ou ondas. As partículas possuem massa, carga elétrica e velocidade dependentes do valor de sua energia. As ondas eletromagnéticas não possuem massa, nem carga e se propagam com a velocidade da luz de 300.000 km/s independentes de sua energia.

Os núcleos instáveis de um mesmo elemento químico chamados de radioisótopos realizam as emissões de radiação de um modo imprevisível, não sendo determinado o momento em que o núcleo irá emitir a radiação. Para a grande quantidade de átomos existente em uma amostra, estima-se certo número de emissões ou transformações em cada segundo. Essa taxa de transformações é denominada atividade e é medida em Becquerel (Bq - uma desintegração por segundo) e Curie ( $3,7 \times 10^{10}$  Bq).

Cada elemento radioativo se transmuta ou decai em um espaço de tempo que lhe é característico. Nos processos radioativos o tempo necessário que um radioisótopo leva para desintegrar metade de sua massa, isto é, ter sua atividade reduzida à metade da atividade inicial, é denominado de meia-vida ou período de semidesintegração deste isótopo. Então cada meia-vida do elemento que passa, a atividade vai sendo reduzida à metade anterior, até atingir um valor insignificante representada pelo símbolo  $T_{1/2}$ . Os períodos de semidesintegração oscilam entre milésimos de segundos e bilhões de anos, dependendo do grau de instabilidade do radioisótopo.

## 2.7. As Séries Naturais de Decaimento Radioativo

Na natureza os núcleos dos elementos radioativos emitem radiações do tipo alfa, beta ou gama até que os núcleos atinam uma configuração estável. Estes elementos decaem sucessivamente até obter o equilíbrio sendo cada um deles mais organizado que o núcleo anterior. Esse processo pode se estender por vários estágios, formando uma série de gerações de núcleos relacionados um ao próximo da série como pai para filho. Estas séries são denominadas de séries radioativas ou de decaimento radioativo ou cadeias de decaimento radioativo.

Os núcleos radioativos se agrupam em quatro cadeias ou séries de decaimento onde o decaimento  $\alpha$  ocasiona uma diminuição de quatro unidades no número atômico e no número de massa do núcleo pai para o núcleo filho e os decaimentos  $\beta$  e  $\gamma$  não ocasionam mudança nesse número atômico.

As cadeias de decaimento radioativo, naturais, constatadas são três, conhecidas como Série do Urânio, Série do Actínio e Série do Tório, todas terminam em isotópicos estáveis do chumbo, respectivamente,  $Pb-206$ ,  $Pb-207$  e  $Pb-208$  e ocorrem naturalmente porque os respectivos núcleos pais têm meias vidas muito longas. A quarta série a do Netúnio não ocorre naturalmente porque a meia vida do respectivo núcleo pai é curta comparada ao tempo de vida da Terra. A meia-vida do  $^{237}Np$  ( $2,2 \times 10^6$  anos), decaiu quase completamente desde a formação da Terra, sendo difícil detectar traços desse nuclídeo.

As séries diferem por múltiplos de quatro, sendo que a série  $4n$  começa com o núcleo de tório 232, a série  $4n - 1$  que começa com o núcleo de netúnio 237, a série  $4n - 2$  começa com o núcleo de urânio 238 e, a série  $4n - 3$ , que começa com o núcleo de urânio 235 (Quadro 2.1).

Série	Núcleo Pai	Meia Vida (em anos)
$4n$	Tório 232	$2,01 \times 10^{10}$
$4n - 1$	Netúnio 237	$3,25 \times 10^6$
$4n - 2$	Urânio 238	$4,52 \times 10^9$
$4n - 3$	Urânio 235	$1,02 \times 10^9$

Quadro 2.1 - Séries de decaimento radioativo e meia vida (AP AN, 1983).

Os pais das cadeias naturais de decaimento radioativo são o urânio e o tório, onde o elemento U possui duas séries, a série do urânio ( $^{238}U$ ) e a série do actínio ( $^{235}U$ ), e o elemento Th a série do tório ( $^{232}Th$ ), onde decai por uma série de emissões  $\alpha$  e  $\beta$  até chegar o elemento de estudo desta pesquisa o Rn, ainda não estável, continuando a decair até atingir estabilidade nos isotópicos de chumbo (Figura 2.1).

A série do Urânio inicia-se com o  $^{238}U$  e após 14 transformações, 8 emissões  $\alpha$  e 6 emissões  $\beta$  gera o elemento estável  $^{206}Pb$ . Nesta série na transformação é gerado como filho o  $^{222}Rn$ , sendo entre os isotópicos de radônio, o de maior meia-vida (3,83 dias) sendo assim, é o alvo de maior interesse desta pesquisa.

Série do Urânio	Série do Actínio	Série do Tório
$^{238}\text{U}$ 4,49x10 <sup>9</sup> a	$^{235}\text{U}$ ,13x10 <sup>8</sup> a	$^{232}\text{Th}$ 1,39x10 <sup>4</sup> a
$\alpha\downarrow$	$\alpha\downarrow$	$\alpha\downarrow$
$^{234}\text{Th}$ 24,1d	$^{231}\text{Th}$ 25, h	$^{228}\text{Ra}$ , a
$\beta\downarrow$	$\beta\downarrow$	$\beta\downarrow$
$^{234}\text{Pa}$ 1,1 m	$^{231}\text{Pa}$ 3,43x10 <sup>4</sup> s	$^{228}\text{Ac}$ ,13h
$\beta\downarrow$	$\alpha\downarrow$	$\beta\downarrow$
$^{234}\text{U}$ 2,48x10 <sup>5</sup> a	$^{22}\text{Ac}$ 2,2s	$^{228}\text{Th}$ 1,9a
$\alpha\downarrow$	$\beta\downarrow$	$\alpha\downarrow$
$^{230}\text{Th}$ ,5x10 <sup>4</sup> a	$^{22}\text{Th}$ 1 , d	$^{224}\text{Ra}$ 3, 4d
$\alpha\downarrow$	$\alpha\downarrow$	$\alpha\downarrow$
$^{22}\text{Ra}$ 1 22a	$^{223}\text{Ra}$ 11,1d	<b><math>^{220}\text{Rn} - 54,5\text{s}</math></b>
$\alpha\downarrow$	$\alpha\downarrow$	$\alpha\downarrow$
<b><math>^{222}\text{Rn} - 3,83\text{d}</math></b>	<b><math>^{219}\text{Rn} - 3,52\text{s}</math></b>	$^{21}\text{Po}$ 0,1 s
$\alpha\downarrow$	$\alpha\downarrow$	$\alpha\downarrow$
$^{218}\text{Po}$ 3,05d	$^{215}\text{Po}$ 1, x10 <sup>-3</sup> s	$^{212}\text{Pb}$ 10, h
$\alpha\downarrow$	$\alpha\downarrow$	$\beta\downarrow$
$^{214}\text{Pb}$ 2 ,5m	$^{211}\text{Pb}$ 3 ,1m	$^{212}\text{Bi}$ 0,5s
$\beta\downarrow$	$\beta\downarrow$	$\alpha\downarrow$ $\beta\downarrow$
$^{214}\text{Bi}$ 19, m	$^{211}\text{Bi}$ 2,1 m	$^{208}\text{Tl}$ 3,1m $^{212}\text{Po}$ 3,0x10 <sup>-6</sup> s
$\beta\downarrow$	$\alpha\downarrow$	$\beta\downarrow$ $\alpha\downarrow$
$^{214}\text{Po}$ 1, x10 <sup>-4</sup> s	$^{20}\text{Tl}$ 4, 9m	$^{208}\text{Pb}$ estável
$\alpha\downarrow$	$\beta\downarrow$	
$^{210}\text{Pb}$ 22,2a	$^{20}\text{Pb}$ estável	
$\beta\downarrow$		
$^{210}\text{Bi}$ 50d		
$\beta\downarrow$		
$^{210}\text{Po}$ 138d		
$\alpha\downarrow$		
$^{20}\text{Pb}$ estável		

Figura 2.1 – Séries de decaimento radioativo modificado de aplan (1983).

A série do Actínio inicia-se com o  $^{235}\text{U}$  e após 11 transformações, geradas por decaimento  $\alpha$  e 4 geradas por decaimento  $\beta$ , origina o elemento estável  $^{20}\text{Pb}$ . Nesta série,

como na anterior, na transformação aparece por decaimento o isótopo  $^{219}\text{Rn}$ , o de menor meia-vida entre seus isótopos com apenas 3,52 segundos.

A série do Tório inicia-se com o  $^{232}\text{Th}$  e após 12 decaimentos radioativos, por decaimento  $\alpha$  e 5 por decaimento  $\beta$ , gera o  $^{208}\text{Pb}$  como elemento estável. Nesta série, na 5ª transformação é gerado por decaimento o isótopo  $^{220}\text{Rn}$  de 54,5 segundos de meia-vida.

## 2.8. Radiações e suas Grandezas e Unidades da Física

O ambiente em que o homem vive é exposto a fontes de radiações podendo ser de ocorrência natural ou artificial. A United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation - UNSCEAR (2010) estimou que cada indivíduo da população mundial está exposto, em média, aproximadamente a um valor de dose efetiva de 2,4 mSv/a proveniente de radiação cósmica, do solo, da água e do ar. Veremos abaixo alguns conceitos da física usados para radiação.

### Atividade

Conforme comentado anteriormente, é a unidade de medida em relação ao número de desintegração ou decaimento por unidade de tempo, expressando a quantidade de material radioativo.

O símbolo é **A** e a unidade de medida é o becquerel (Bq), estabelecido pelo SI (Sistema Internacional de Medidas) e corresponde a uma desintegração por segundo. A unidade antiga era o Curie (Ci) que corresponde a  $3,7 \times 10^{10}$  desintegrações por segundo (dps) que corresponde a atividade de 1g de Ra. Então:

$$1\text{Bq} = 1\text{dps} = 2,7 \times 10^{-11}\text{Ci} \text{ e } 1\text{Ci} = 3,7 \times 10^{10}\text{dps} = 3,7 \times 10^{10}\text{Bq}$$

### Exposição

é a grandeza que mede a carga elétrica (ionizações) total produzida pelos raios  $\alpha$  e  $\gamma$  em quilogramas de ar.

Segundo o Sistema Internacional de Medidas, o símbolo é **X** e a unidade de medida é Coulomb (C) por quilograma sendo relacionado medida com o tempo, C/(kg/h) ou C/(kg/s).

### Dose absorvida

a quantidade de energia proveniente da radiação ionizante ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  e raios X) depositada na matéria em uma determinada massa conhecida.

O símbolo é **D** e a unidade de medida é o gray (Gy) correspondente a 1 J/kg estabelecido pelo SI.

### Dose equivalente

O símbolo é **H** e se relaciona pelo produto entre **D** (dose absorvida) e **Q** e **N**, que são fatores de qualidade variando conforme o tipo de radiação e a influência da dose equivalente por unidade de tempo, ver Quadros 2.2 e 2.3, no tecido humano. A unidade de medida estabelecida pelo SI é o sievert (Sv) e a fórmula é: **H=D.Q.N**.

Tipo de Radiação	Q
Raios Gama	1
Raios X	1
Raios Beta e elétrons de energia < 0,03 Me	1
Raios Beta e elétrons de energia > 0,03 Me	1,
Nêutrons rápidos e pr tons	10
Partículas Alfa	20
N (valor atual)	1

Quadro 2.2 Fator de qualidade (IPEN, 2002 TIP ER, 2000 apud FIOR, 2008).

Grandeza	Símbolo	Unidade Antiga			Unidade Atual		
		Nome	Símbolo	Valor	Nome	Símbolo	Valor
Atividade	A	Curie	Ci	3, x10 <sup>10</sup> dps	Becquerel	Bq	1dps
Exposição		Roentgen	R	2,58x10 <sup>-2</sup> C/kg	Coulomb / Quilograma	C/kg	1C/kg
Dose Absorvida	D	Radiation absorbed dose	rad	10 <sup>-2</sup> /kg	Gray	Gy	1 /kg
Dose Equivalente		Roentgen equivalent dose	rem	10 <sup>-2</sup> /kg.Q.N	Sievert	Sv	1 /kg.Q.N

Quadro 2.3 Grandezas e unidades de medidas (IPEN, 2002 TIP ER, 2000 apud FIOR, 2008).

## 2.9. Geoquímica do Urânio, Tório e Potássio

### 2.9.1. Urânio

A distribuição do elemento urânio na crosta terrestre está relacionada com as atividades magmáticas da formação da Terra, sendo que esse processo de transferência ainda está ativo nos dias atuais, sendo de origem global.

A distribuição global de urânio, de acordo com o modelo meteorítico diferenciado, o urânio está enriquecido cerca de 230 vezes na crosta e 3 vezes no manto superior e empobrecido 3 vezes no manto inferior e 25 vezes no núcleo, sendo assim, a tendência do urânio é migrar para a crosta com outros silicatos leves em vez de se dirigir para o núcleo sob a ação da gravidade (LINDBERG, 1992; GABRIEL, 1992 apud BONOTTO e EIRA, 2000).

Isso se deve ao fato deste elemento apresentar carga iônica alta (+4) e ao seu grande raio iônico (1,05 Å) não se ajustando à maior parte das estruturas cristalinas dos silicatos, sendo então concentrado nas fases finais dos processos magmáticos a sua tendência a volatilizar ou formar combinações voláteis a temperaturas menores que de outros metais do núcleo e também forte tendência de se combinar com o flúor, cloro e oxigênio (LINDBERG, 1992; GABRIEL, 1992 apud BONOTTO e EIRA, 2000).

O urânio e o tório por causa de suas configurações eletrônicas semelhantes têm propriedades químicas similares, ambos ocorrem na natureza em estado de oxidação +4 e como também tem raios iônicos semelhantes podem ser substituídos entre si. Mas, sob condições oxidantes o urânio tem valência +6, quase sempre encontrado na forma de uranila ( $\text{UO}_2^{2+}$ ), forma compostos solúveis em água e mais móveis que os de valência +4, enquanto o tório existe somente em estado +4 e como compostos insolúveis em água (LINDBERG, 1992; GABRIEL, 1992 apud BONOTTO e EIRA, 2000).

A abundância média de urânio na crosta continental é de 1,3 ppm, com concentração mais elevada na crosta continental superior (2, ppm) e menor na crosta inferior (0,2 ppm) (URBRIC *et. al.*, 1981).

A ocorrência de urânio é mais marcante em rochas graníticas, pegmatitos graníticos e em sienitos. A tabela 2.1 apresenta a distribuição do urânio em rochas, onde se observa uma

maior concentração do urânio na superfície. Segundo o modelo de Gabelman (1963), usado também por Bonotto e Silveira (2003) o urânio atinge enriquecimento máximo de 500 vezes no granito e 50 vezes no sienito.

Tabela 2.1 Distribuição média de urânio nas rochas terrestres.

Rocha	U (ppm)	Profundidade (Km)	Camada Terrestre				
Arenito	1,4		Cobertura sedimentar	Crosta superior	Crosta		
Arenito acinzentado	4,2						
Arenito carbonoso	53,0						
Calcário	1,9						
Riolito	5,0		Embasamento de escudo síálico				
Granito	3,	5					
Fonólito, nefelina sienito	,5						
Embasamento metamórfico síálico	3,5						
Embasamento de anfibolito	2,3	15					
Embasamento de granulito	0,5						
Basalto alcalino	0,99	20					
Plataforma Basáltica	0,53						
Gabro	0,84		Crosta inferior				
Andesito	0,9		Margem continental				
Basalto alcalino com olivina	0,53						
Basalto toleítico	0,14		Crosta oceânica				
Espilito	0,22	35					
Anfibolito	Enriquecimento de urânio: 500		Manto Superior				
Granulito							
Eclogito							
Dunito							
Peridotito	0,01		Manto				
	Enriquecimento de urânio: 500(riolito) 100(sienito)	400					
		1500					

Fonte: Gabelman (1963).

Outros fatores interferem na concentração de urânio na crosta terrestre, como a profundidade, condições de cristalização dos magmas, intensidade dos fenômenos

tardimagmáticos (metassomáticos e hidrotermais), existência de rochas hospedeiras permeáveis ou condições de percolação de fluídos, estrutura favorável do arcabouço tectônico e condições físico-químicas favoráveis associadas aos processos de intemperismo (ALORONI MACIE, 1985 apud BONOTTO SILVEIRA, 2004).

O urânio é constituinte numa grande variedade de minerais, encontrando-se nos principais minerais formadores de rocha, nos minerais secundários e acessórios ou formando seus próprios minerais. Neste caso se concentra em poucas espécies de menor abundância, como por exemplo, a uraninita ( $UO_2$ ).

A distribuição de urânio, presente como traços nos minerais formadores de rochas ígneas como quartzo e feldspato pode estar ligada aos processos de substituição isomórfica, concentração e adsorção em minerais imperfeitos, inclusão no retículo cristalino e em microcristais como sugerido por Pertlik et al., (1974) apud Bonotto Silveira, 2004. A biotita retém de 19 a 22% do total de urânio e os minerais pesados como, zircão, monazita, apatita, magnetita, ilmenita e riebeckita contêm de 1 a 5% deste teor (MOREIRA-NORDEMANN, 1974 apud BONOTTO SILVEIRA, 2004). Ver Tabela 2.2.

Tabela 2.2 Teor de urânio em minerais de rochas ígneas.

Mineral	U (ppm)
Quartzo	1,
Feldspatos	2,
Biotita	8,1
Muscovita	2,8
Ornblenda	0,2 - 0
Piroxênio	0,1 - 50
Olivina	0,05
Alanita	30 - 1000
Apatita	10 - 100
Epídoto	20 - 200
Granada	30
Uttonita	3 x 10 <sup>4</sup>
Magnetita e opacos	1 - 30
Monazita	500 - 3000
Titanita	10 - 100
Ilmenita	300 - 4 x 10 <sup>4</sup>
Zircão	100 - 1000

Fonte: Pertlik et al. (1974) apud Bonotto Silveira, 2004.

### 2.9.2. Tório

O Th existe somente em estado tetravalente e como composto insolúvel em água, seu íon tem raio parecido com o do U, podendo um substituir o outro.

Ocorre naturalmente na forma de dois isótopos com meia vida longa, o  $^{230}\text{Th}$ , produto de decaimento alfa do  $^{234}\text{U}$ , da cadeia de decaimento radioativo do  $^{238}\text{U}$ , e o  $^{232}\text{Th}$ , pai desta série que decai até o elemento  $^{208}\text{Pb}$ . Existem mais quatro isótopos com meia vida curta, sendo dois da série de decaimento radioativo do  $^{235}\text{U}$ , o  $^{231}\text{Th}$  e o  $^{227}\text{Th}$ , um da série do  $^{238}\text{U}$ , o  $^{234}\text{Th}$  e, o  $^{228}\text{Th}$ , membro da série de decaimento radioativo do  $^{232}\text{Th}$ .

Durante a fusão parcial e da cristalização fracionada do magma, o U e o Th são incorporados aos produtos mais ricos em sílica, sendo assim, as rochas de composição graníticas estão mais enriquecidas com esses elementos do que rochas de composição basálticas e ultramáficas, podendo ser observado pelo Quadro 2.4 e Figura 2.2.

São raros os minerais que contêm tório puro em sua formação como o caso da torianita ( $\text{ThO}_2$ ) e da torita ( $\text{ThSiO}_2$ ), mas a sua ocorrência é mais expressa em um grupo de minerais que contêm urânio e terras raras, como a monazita.

O Quadro 2.4, abaixo, mostra a concentração média do tório em algumas rochas.

	Rochas	Th (ppm)
Rochas Ígneas	Graníticas	21,5
	Gabrícas	3,84
	Basálticas toleíticas	0,5
	Ultramáficas	0,05
	Eclogitos	0,3
	Alcalinas intrusivas	1,1
Rochas Sedimentares	Arenitos	4,2
	Folhelhos	11,4
	Bauxita	48,9
	Bentonita	5,8
	Calcárias	1,5
Rochas Metamórficas	Gnaissícas	,4
	Anfibolíticas	5,0
	istos	10
	Granulito	5,5
	Filito	,5

Quadro 2.4 – Concentração média de tório para alguns tipos de rochas (ROGERS ADAMS,

### 3.9.3. Ocorrência de urânio e tório nas rochas ígneas

O urânio e tório sempre aparecem associados nas rochas ígneas de composição granítica quando comparadas com as de composição basáltica ou ultramáfica. No decorrer da fusão parcial e da cristalização fracionada do magma estes elementos se concentram na fase líquida, sendo incorporados aos produtos mais ricos em sílica. A frequência destes elementos nas rochas ígneas pode ser observada na Figura 2.2 onde se verifica o enriquecimento dos mesmos nas rochas de composição mais ácida em relação às de composição mais básica.

Embora associados no ciclo magmático, o urânio e tório se diferenciam na fase hidrotermal, pois no primeiro caso se cristalizam sob as mesmas condições, sofrendo influência de seus raios iônicos enquanto que no segundo caso, o meio se torna mais oxidante e o urânio de tetra passa a hexavalente, forma esta altamente solúvel em soluções aquosas, como descrito anteriormente, enquanto o tório permanece insolúvel na forma tetravalente.

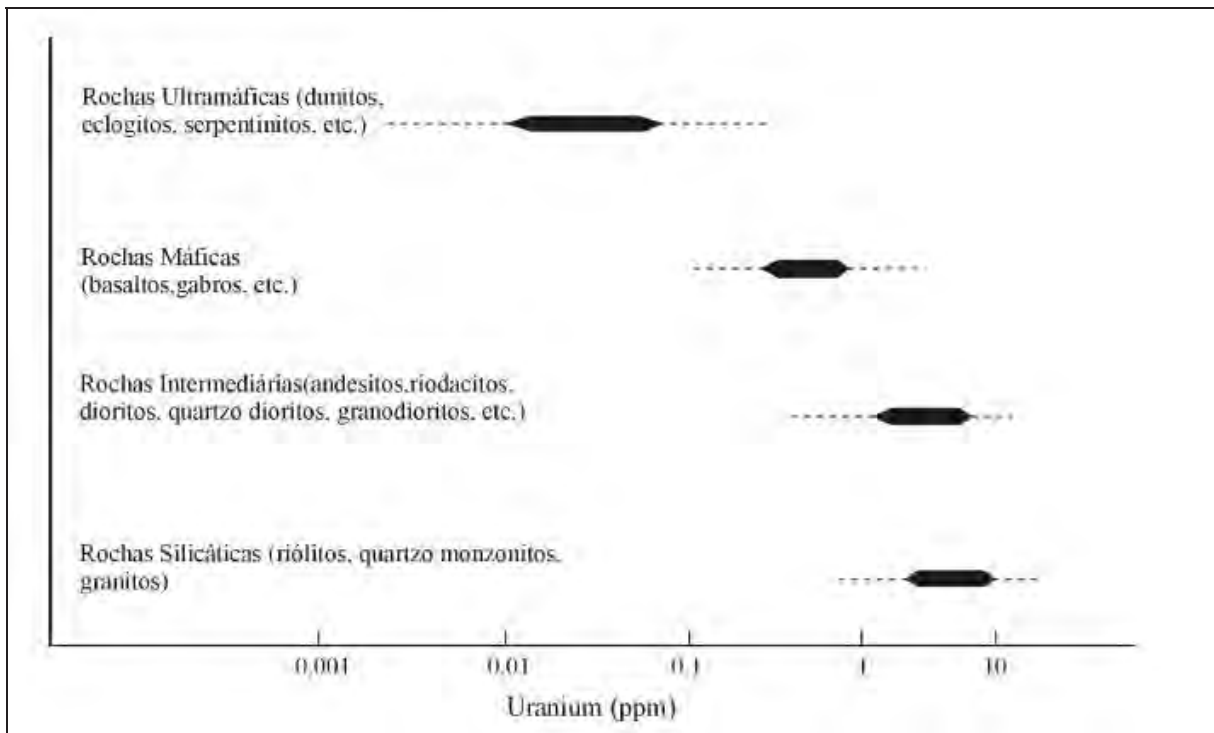


Figura 2.2 - Distribuição de urânio em rochas ígneas (Rogers e Adams, 1999).

### 3.9.4. Potássio

O potássio se torna um importante elemento por constituir minerais, como feldspatos e micas, que compõem grande variedade de rochas. Na natureza ocorrem três isótopos de potássio, o  $^{39}$ ,  $^{40}$  e  $^{41}$ .

O  $^{40}$  é um isótopo radioativo, que é o menos abundante, onde decai por captura de elétrons para  $^{40}\text{Ar}$  e por emissão  $\beta^-$  para  $^{40}\text{Ca}$ . Tem sua importância na geoquímica onde é utilizado na datação geocronológica e, bem como participação na geração de calor terrestre (FAURE, 1988).

O potássio é um elemento principal das principais rochas ígneas geradas na crosta, e assim, utilizado na classificação petrográfica e petrogenética dessas rochas a partir da quantidade de potássio existente na rocha (STRECKEISEN, 1962). O volume de potássio na crosta terrestre está contido principalmente nos álcali feldspatos, onde os mesmos ocorrem no estado monoclinico e triclinico (DANA E HURLBURT, 1969).

O ortoclásio tem ocorrência em algumas rochas ígneas de níveis mais rasos e mais profundos, não alteradas, além de rochas metamórficas de alto grau. A sanidina, monoclinica, normalmente é encontrada em rochas vulcânicas. Nos feldspatos triclinicos, o microclínio é um feldspato comum em granitos, gnaisse e xistos (KINZLER, 1962).

## Capítulo 3. O Gás Radônio

### 3.1. Contaminação ambiental devido a presença de $^{222}\text{Rn}$ e filhos

Relacionando todas as contaminações radioativas a que o homem está sujeito, incluindo as naturais e artificiais, a mais insalubre sob o ponto de vista da população como um todo em ambientes de convívio humano é a que diz respeito à presença de átomos de  $^{222}\text{Rn}$  e filhos no ar (MARMIER & SEDON, 1961 apud in PAULO, 1991).

De acordo com o Relatório de Riscos de Radônio em Casas da Agência de Proteção Ambiental Americana (EPA, 2003), é estimado em cerca de 21.000 mortes por câncer de pulmão ao ano nos E.U.A. como consequência da contaminação ambiental devido ao  $^{222}\text{Rn}$  e filhos.

Essa taxa de mortalidade correspondente à inalação do gás radônio se compara a outros fatores não radioativos como acidentes automobilísticos e certas atividades humanas como o hábito de fumar (ERR, 1988 apud in PAULO, 1991).

Os primeiros estudos dos efeitos da inalação do gás radônio ocorreram na observação de males pulmonares que afetavam trabalhadores de minas subterrâneas. No século XIX foi questionada a presença de radônio em minas de urânio na Inglaterra devido à alta incidência de câncer pulmonar (UNSCEAR, 1993).

Em 1951, foi demonstrado que os verdadeiros responsáveis pela dose de radioatividade recebida pelo aparelho respiratório são na verdade os filhos do radônio (radionuclídeos gerados por decaimento radioativo) nos quais são inalados da mesma forma que o próprio pai (RENN ROSEN & PETT 1959 apud in PAULO, 1991).

Segundo Paulo (1991), o trabalho pioneiro sobre medidas de concentrações de  $^{222}\text{Rn}$  em residências aconteceu em 1950 na Suécia, descobrindo-se nas décadas de 60 e 80 a sua influência significativa sobre a saúde humana.

A origem do radônio inicia do decaimento radioativo do urânio e tório que ocorrem naturalmente nas rochas e solos. Por ser um gás, difunde-se através de fissuras até alcançar lençóis freáticos ou diretamente a superfície terrestre. Como os materiais usados para construção civil têm suas origens em matérias primas vindas da natureza, assim como a base onde é construída, o solo ou mesmo a água encanada que chegam às residências podem

apresentar um teor significativo de  $^{222}\text{Rn}$ , elevando assim, os índices de concentração no seu interior.

As rochas usadas para fins ornamentais e de revestimento contêm diferentes concentrações de urânio e outros elementos radioativos que ocorrem naturalmente. Apesar, segundo a EPA (2003), que a principal fonte de radônio em residência é proveniente do solo que entra em contato com o assoalho das residências, as rochas ornamentais podem vir a ocasionar uma adição na quantidade do gás retido no interior das residências.

### 3.2. A formação de isótopos de $^{222}\text{Rn}$ e seus filhos

O radônio é um gás nobre, assim chamado por ser relativamente inerte, o mais pesado dos gases e o único que não possui isótopos estáveis, ocorrendo na forma de três isótopos naturais, onde todos são emissores alfa vindo da cadeia de decaimento de três séries radioativas. O mais expressivo é o  $^{222}\text{Rn}$  por possuir uma meia vida maior conforme visto no Quadro 3.1., onde ele possui um tempo maior para se propagar enquanto não decai:

Isótopos de Rn	Série Radioativa	Meia-Vida
$^{222}\text{Rn}$	$^{238}\text{U}$ (série do Urânio)	3,82 dias
$^{220}\text{Rn}$	$^{232}\text{Th}$ (série do Tório)	54,5 segundos
$^{219}\text{Rn}$	$^{235}\text{U}$ (série do actínio)	3,52 segundos

Quadro 3.1. Isótopos naturais do gás radônio.

Todos os isótopos naturais do radônio são emissores alfa e filhos dos isótopos de rádio, seus descendentes são os sólidos de Po, Pb e Bi. Como visto no capítulo anterior (Tabela 2.1) e no quadro acima, o decaimento dos pais do Rn irá surgir por uma série radioativa, através de vários elementos até chegar ao radônio, que por ser um gás, tem a capacidade de se difundir através dos interstícios das rochas ou do solo podendo ser exalado para o interior dos ambientes.

Por ser solúvel em água podem ocorrer concentrações consideráveis de radônio em rochas que contêm pouca representatividade de urânio ou tório.

Quanto menor for a ventilação do ambiente, maior será o acúmulo do  $^{222}\text{Rn}$ . Também não significa que em ambientes ventilados o risco se a menor. O que determina o nível de

contaminação no interior de ambientes é a taxa de exalação e não a taxa de ventilação (PAU O, 1991).

### 3.3. Fontes de Radônio e suas características de exalação

Como visto, sua principal fonte vem do decaimento do urânio, sendo assim produzido no interior de rochas e solos que contenham urânio. A quantidade de radônio que escapa depende da quantidade sendo liberada, influenciado pela porosidade, pressão atmosférica ou o grau de saturação da água. Segundo Moura (2005), diversos fatores contribuem para as concentrações de radônio em ambientes externos:

- Ruptura ou fragmentação de rochas causada por explosões que vêm aumentar a permeabilidade influenciando numa maior circulação de ar na interface rocha-solo

- Textura dos diferentes tipos de rochas, como no caso dos milonitos, o cisalhamento reduz o tamanho dos grãos e também contribui para o aumento do teor do urânio, pois este é mobilizado e concentrado na foliação do cisalhamento

- O intemperismo, como no caso dos milonitos ocorre ao longo das foliações expondo o urânio ainda mais e aumenta a permeabilidade das rochas

- Planos de falhas que fornecem caminhos para emanção de radônio da parte inferior da crosta.

Como apresentado no início do capítulo, a concentração do gás no interior dos ambientes está ligado aos materiais usados na construção civil, podendo ser também influenciado pelo solo onde está localizada a edificação e assim como a água que percorre nos encanamentos.

No caso das rochas ornamentais, a superfície de acabamento é importante, pois além de ser polida com ou sem resina, a rocha pode ser assentada bruta ou com acabamentos do tipo flameado ou apicoados. Carrera *et al.* (1999 apud Moura, 2005) concluiu que será a estrutura interna assim como a estrutura superficial do material que determinará a taxa de exalação do gás radônio nas superfícies das rochas, onde a superfície polida e tratada tende a diminuir os poros e fissuras que facilitam a saída do Rn.

Quando o rádio decai por emissão alfa, alguns isótopos de radônio são liberados da matriz sólida por recuo, possuindo como principais fatores determinantes para a saída do meio em que se encontra a localização do átomo de rádio no grão mineral, a densidade do

meio e a direção que o átomo de radônio assume no momento de sua emissão. Se o átomo de rádio estiver localizado em uma região muito interna na estrutura do mineral, dificilmente o radônio é liberado para a atmosfera, mas se estiver localizado próximo a sua superfície e sua direção for nesse sentido, ele poderá se libertar e se difundir para o espaço de poro entre os grãos ou planos de fraturas da rocha (SANTOS, 2008).

Por difusão molecular ou por diferença de pressão, o  $^{222}\text{Rn}$  pode ser exalado dos materiais e se difundir na atmosfera continuamente, a uma taxa determinada pelas diferentes estruturas geológicas, geoquímicas (teor de  $^{226}\text{Ra}$ ) e ambientais (umidade, gradiente térmico, pressão do ar, velocidade do vento), podendo em ambientes fechados atingir níveis de concentração muito elevados.

Segundo Santos (2008), o fluxo de radônio de um material é definido como o fluxo do gás por unidade de área e por unidade de tempo ( $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ), sendo funções de dois fenômenos que seria o transporte de  $^{222}\text{Rn}$  da matriz sólida para o interstício do poro e, do poro até a superfície da matriz. O primeiro fenômeno é causado pela energia cinética da emissão da partícula alfa do  $^{226}\text{Ra}$  no momento do seu decaimento e o consequente recuo do átomo de  $^{222}\text{Rn}$  recém formado sendo chamado de emissão. A difusão do  $^{222}\text{Rn}$  provocada por forças decorrentes de gradientes de concentração e de pressão entre o material e o meio externo é a causa do segundo fenômeno. A exalação é o processo decorrente dos dois fenômenos.

### 3.4. Exposição de $^{222}\text{Rn}$ no aparelho respiratório

Os filhos do  $^{222}\text{Rn}$  ( $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$  e  $^{214}\text{Po}$ ) quando inalados num ambiente atmosférico que os contém, podem ficar retidos no interior das vias respiratórias, onde uma fração dos descendentes irá aderir às partículas de aerossol suspensas no ar e uma parte ficará livre.

Conforme Santos (2008), quanto maior a quantidade de partículas, maior será a probabilidade dos descendentes aderirem a elas e seguirem o caminho delas através do ar, onde essas partículas têm muito mais massa que um único átomo, elas são menos móveis e flutuam no ar, como exemplo, carregando o átomo de  $^{218}\text{Po}$ . Este, ao se depositar no sistema respiratório, bombardeia os tecidos com emissão alfa e dá seqüência ao decaimento,  $^{214}\text{Pb}$  por radiação  $\beta$ ,  $^{214}\text{Bi}$  por radiação  $\beta$ ,  $^{214}\text{Po}$  por radiação  $\alpha$  e  $^{210}\text{Pb}$  por radiação  $\beta$  que tem a meia vida de 22,2 anos, sendo o processo de decaimento mais prejudicial à saúde humana.

Sabe-se que através de resultados experimentais, que uma  $\alpha$ partícula determinada energia é cerca de 20 vezes mais danosa aos tecidos pulmonares que uma partícula  $\beta$  de mesma energia, onde para efeito de cálculo, define-se energia potencial como a energia que é transferida ao tecido pulmonar, em decorrência da inalação de um determinado radionuclídeo e quando está relacionada a átomos de  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$  e  $^{214}\text{Po}$  é igual a  $9\text{ MeV}$ . Para os átomos de  $^{218}\text{Po}$ , a energia potencial é igual a  $13,9\text{ MeV}$  ( $13,9\text{ MeV}$ ), onde cada átomo de  $^{218}\text{Po}$  que emite uma partícula alfa de  $9\text{ MeV}$  acaba se transformando em um átomo de  $^{214}\text{Po}$  que emite uma partícula alfa de  $9\text{ MeV}$  (Paulo, 1991).

Essa dose de radioatividade que representa a quantidade de energia que é transferida a certa massa do tecido, para fim de cálculo, estabeleceu-se a unidade de dose *working level*.

### Working Level

O *working level* (WL) ou nível de trabalho, criado em 1955 pela Public Health Service (EUA), foi adotado como um indicador de limite legal quando se descobriu que os filhos do  $^{222}\text{Rn}$  causavam problemas pulmonares em trabalhadores de minas. Tornou-se então uma unidade para se avaliar o quanto que a energia potencial recebida no aparelho respiratório do mineiro, excede o valor de 1 WL.

Um *working level* é definido com qualquer combinação dos descendentes de meia vida curta de radônio em um litro de ar que resultarão na emissão de  $1,3 \times 10^{-5}\text{ MeV}$  de energia pela partícula alfa, que corresponde a uma concentração de atividade de  $3000\text{ Bq/m}^3$  para o  $^{222}\text{Rn}$  ou  $2,08 \times 10^{-5}\text{ WLM}$  no Sistema Internacional (Santos, 2008).

Ainda estimou-se o *working level month*, sendo o tempo em que uma pessoa fica exposta a um determinado nível de atividade dos filhos de  $^{222}\text{Rn}$ , supondo-se que fique 10 horas num mês de trabalho, onde para o  $^{222}\text{Rn}$ ,  $1\text{ WLM} = 3,54 \times 10^{-3}\text{ h/m}^3$  (SANTOS, 2008).

### 3.5. Dosimetria de $^{222}\text{Rn}$ e filhos

O radônio é radioativo e uma dose de radiação está ligada a exposição do mesmo e, concentração e dose são termos muito usados, onde a concentração de radônio é dada pela unidade  $\text{Bq/m}^3$  e a dose é normalmente expressa na unidade de  $\text{mSv}$  (Chen 2005).

Segundo Chen (2005), existem grandes incertezas nas avaliações de dosimetria, assim como numa análise epidemiológica. Alguns cuidados devem ser tomados em relação aos fatores de conversões, onde a dose absorvida é dada na unidade de Gray, sendo que a dose equivalente e a dose efetiva tem a mesma unidade em Sievert (mSv), onde além de seus diferentes significados, também varia muito em valores numéricos.

Para a avaliação da dosimetria dos níveis de radônio para o ser humano, a International Commission on Radiological Protection (ICRP, 1993) considera dois ambientes distintos, o residencial e o de trabalho. Para o residencial, estima um tempo de ocupação do indivíduo em 7.000 horas por ano e, sendo recomendado para intervenção entre 200 e 1.000 Bq/m<sup>3</sup> para concentração média anual de radônio e dose anual efetiva de radiação entre 3 mSv a 10 mSv por ano. E, para os locais de trabalho, estima um tempo de 2.000 horas por ano com níveis recomendados para intervenção entre 500 a 1.500 Bq/m<sup>3</sup> e dose anual efetiva de radiação entre 3 mSv a 10 mSv por ano.

A United States Environmental Protection Agency (EPA, 2003), recomenda níveis de concentrações de radônio abaixo de 148 Bq/m<sup>3</sup> (4 pCi/l) em residências, onde 11% dos domicílios pesquisados pela agência excedeu esses níveis.

Mancini (2003) ressalta em seu trabalho que no Brasil não há uma norma da Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN que trate apenas de limites específicos para o radônio e filhos. O que consta na norma CNEN é para instalações radioativas, envolvendo toda a cadeia de decaimento radioativo, correlacionando radionuclídeo e produto de decaimento, cujo limite é de 110 Bq/m<sup>3</sup>.

## Capítulo 4 – Materiais e Métodos

Para a realização da caracterização radiométrica e de exalação de radônio em rochas utilizadas para fins ornamentais e de revestimento, procurou-se buscar na literatura os artigos pertinentes mais relacionados ao tema e o que pode ser adaptado para ser usado em rocha ornamental. A partir destas informações foi possível desenvolver rotinas para serem aplicadas em laboratório, selecionando melhor os materiais a serem utilizados e os métodos que ajudaram alcançar os objetivos.

### 4.1. Materiais Utilizados

Para a realização da pesquisa foram escolhidos 10 diferentes tipos litológicos de rochas utilizadas para fins ornamentais. Estas rochas são extraídas nos estados do Espírito Santo e Minas Gerais, beneficiadas nas empresas da cidade de Cachoeiro de Itapemirim-ES e comercializadas tanto no mercado interno quanto no externo.

Os materiais escolhidos foram obtidos em empresas sediadas no Estado do Espírito Santo devido ser o principal polo de beneficiamento e exportação de Rochas Ornamentais do Brasil (ABIROC AS, 2008). Na seleção dessas rochas foram adotados dois critérios, o primeiro foi o de abranger os mais diferentes tipos litológicos e o segundo de buscar rochas que tenham certo destaque no mercado comercial, conhecidas tanto no nacional quanto no internacional, como os casos de materiais de origem pegmatítica os quais têm proporcionado grande destaque ao Brasil no cenário mundial.

Para a realização dos ensaios foram coletadas placas polidas a serem utilizadas no monitoramento da exalação do gás radônio e pedaços de casqueiro (sobras das laterais dos blocos na serradas não utilizadas para chapas) para a determinação dos índices físicos.

As amostras foram identificadas com siglas para este estudo relacionadas com seus nomes comerciais (Quadro 4.1).

Nome Comercial	Sigla	UF
Preto São Gabriel	PSG	ES
Ocre Itabira	OI	ES
Verde Labrador		ES
Cinza Corumbá	CC	ES
Timbalada	TI	MG
Mascarello	MS	MG
Giallita	GI	ES
Icarai Light	I	ES
Golden Cristal	GC	MG
Crema Bordeaux	CB	ES

Quadro 4.1 Relação das amostras utilizadas.

## 4.2. Revisão Bibliográfica

Constou da leitura e consulta de trabalhos nacionais e internacionais que envolvem o tema, abordando geoquímica do urânio, tório e potássio radioatividade de rochas caracterização petrográfica e tecnológica de rochas ornamentais métodos de análise e ensaios para a determinação de radônio em rochas. A pesquisa bibliográfica envolveu também o comportamento do radônio no ar, água e solo em relação ao seu comportamento em rochas, principalmente as ornamentais, bem como aspectos geológicos regionais e locais de interesse ao estudo.

## 4.3. Métodos

Na busca do conhecimento de algumas propriedades intrínsecas das rochas como aspectos composicionais, texturais e estruturais através de análises petrográficas e de micro-descontinuidades via determinação dos respectivos índices físicos a determinação do teor de urânio, tório e  $^{40}\text{K}$  para se avaliar o grau de radioatividade de cada rocha e no monitoramento da real exalação do gás radônio nas rochas estudadas, foram escolhidos métodos á

consagrados na literatura e implantados novos, caso da quantificação do Rn em rochas, que serão apresentados a seguir.

Os dados obtidos através das análises e dos monitoramentos são tratados de forma integrada a fim de se obter o melhor entendimento da relação de radioatividade entre os diferentes tipos litológicos das rochas aqui estudadas.

Os ensaios foram feitos no Departamento de Petrologia e Metalogenia do Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Unesp – Campus Rio Claro nos laboratórios de Isótopos Instáveis e de Rochas Ornamentais e nos laboratórios da Acme Labs no Canadá.

#### **4.3.1. Caracterização Petrográfica**

Item fundamental para obter informações para a classificação das rochas objeto de estudo, além de fornecer dados para correlações entre as propriedades petrográficas e a difusão do gás radônio. Por isso, além da caracterização mineralógica qualitativa e quantitativa macro e microscópica das rochas selecionadas, analisou-se também os aspectos estruturais e texturais, como granulação e microfissuras, relações e tipos de contatos entre os minerais, alterações e presença de minerais deletérios e solúveis, contribuindo assim para as interpretações de emanção do gás  $^{222}\text{Rn}$  nas rochas estudadas. Este estudo levou em consideração as determinações da norma NBR-12768 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1992a) e os trabalhos de Navarro (2006), Meyer (2003) e Moura (2005).

#### **Quantificação mineralógica e classificação petrográfica das rochas**

A determinação da composição modal das rochas de granulação fina a média foi realizada pela combinação das contagens dos minerais em seções delgadas e em placas de rochas, sendo a microscópica para os minerais máficos e acessórios e a macroscópica para os minerais félsicos através da técnica de colorimetria descrita por Morais e Rodrigues (1978), aplicada principalmente para as rochas de granulação grossa. Ambos os resultados foram, em seguida, integrados com a contagem microscópica. A contagem mineral em seções delgadas foi efetuada em microscópio binocular computando-se em média 400 a 500 pontos por lâmina. A contagem macroscópica dos minerais após ataque de placas de rochas com ácido fluorídrico e tratadas com cobalto-nitrito de sódio que permite distinguir o feldspato potássico

em relação ao sódico, devido cor amarela do primeiro mineral, foi efetuada sobre malhas em plástico transparente com espaçamentos de 0,5 x 0,5cm, 1x1cm ou de 2x2cm, dependendo do tamanho dos minerais nas amostras, computando-se em média 360 pontos. A classificação petrográfica das rochas estudadas seguiu as recomendações da International Union of Geological Sciences - IUGS (TREMPERLEY, 1976).

### **Classificação das rochas quanto ao tamanho relativo dos cristais**

As rochas foram classificadas em

- equigranulares textura de rochas onde os grãos minerais têm o mesmo tamanho ou quando as dimensões dos grãos variam dentro de uma estreita faixa
- inequigranulares textura de rochas onde os grãos minerais diferem de tamanho numa relação de até 1:10, sem que os grãos maiores sobressaiam em relação aos menores
- porfiróide textura das rochas que apresentam megacristais no mínimo cinco vezes maiores que a dimensão média dos grãos da matriz e que se sobressaem nitidamente em relação à granulação média a grossa da matriz
- porfírica quando as rochas apresentam megacristais no mínimo cinco vezes maiores que a dimensão média dos grãos da matriz e que se sobressaem em relação à granulação fina da matriz.

### **Classificação das rochas quanto à granulação**

- fina diâmetro médio dos cristais inferior a 1,0 mm
- média-fina diâmetro médio dos cristais entre 1 e 3 mm
- média diâmetro médio dos cristais entre 3 e 7 mm
- média-grossa diâmetro médio dos cristais entre 7 e 10 mm
- grossa diâmetro médio dos cristais entre 10 a 20 mm
- muito grossa diâmetro médio dos cristais maior do que 20 mm.

### **Relações de contato entre os minerais**

entre os tipos de contatos descritos na literatura adotou-se para as rochas estudadas os tipos mais comumente deparados como plano, côncavo-convexo e serrilhado. A

quantificação de cada tipo foi feita de acordo com a média das contagens executadas em microscópio, com aumento de 5x.

### **Microfissuramento**

microfissuramento do mineral, importante dado para correlação com a emissão do gás radônio foi determinado em números de microfissuras por  $\text{mm}^2$  e separando em percentual os tipos de microfissuras encontradas. As microfissuras foram classificadas em termos de comunicabilidade e preenchimento, nos seguintes tipos intragrãos e intergrãos preenchidas e não preenchidas. Quando preenchidas procurou-se observar o material de preenchimento. Quanto ao grau de microfissuramento seguiu-se a classificação

- microfissuramento alto                      4,0 microfissuras  $\text{mm}^2$
- microfissuramento moderado              3,0 a 4,0 microfissuras  $\text{mm}^2$
- microfissuramento baixo                    3,0 microfissuras  $\text{mm}^2$

### **Grau de alteração mineral**

grau de alteração observado em microscópio foi quantificado para cada mineral passível de alteração, tais como sericitização, epidotização e transformação para carbonatos dos plagioclásios transformação para argilominerais do feldspato potássico cloritização, epidotização e transformações para óxidos e hidróxidos dos minerais máficos. De acordo com a intensidade do mesmo os minerais foram classificados como portadoras de

- grau de alteração incipiente                até 10    da rocha alterada
- grau de alteração fraco                      10 a 40    da rocha alterada
- grau de alteração médio                    40 a 60    da rocha alterada
- grau de alteração alto                        60 a 80    da rocha alterada
- grau de alteração muito alto                80 a 100    da rocha alterada

### 4.3.2. Determinação de Índices Físicos

Os índices físicos de uma rocha de acordo com a norma NBR 12766 (ABNT, 1992b) são as propriedades de massa específica aparente (seca e saturada), a porosidade aparente e a absorção d'água. Estes índices foram determinados no laboratório de Rochas Ornamentais do PM I E NE P segundo a norma supracitada, exceto no que se refere preparação dos corpos de prova, que foram serrados no formato aproximadamente cúbico ao invés de quebrados em formato irregular.

As determinações de tais propriedades refletem a presença de micro-descontinuidades da rocha como vazios, que podem ser correlacionados com poros ou fraturas os quais facilitam percolação de fluídos e como consequência a difusão de gás. Neste caso, a porosidade aparente que representa o volume de espaços vazios de uma rocha é um índice importante, pois auxilia no entendimento da emissão do gás radônio para a atmosfera ou seu aprisionamento.

Para cada tipo litológico foram confeccionados 10 corpos de prova com formato aproximadamente cúbico e dimensões com cerca de 5 cm de lado, pesando entre 300 a 400g. Os corpos foram lavados em água corrente e secos em estufa por 24h  $\pm$  10%. Após esse tempo, os corpos foram retirados da estufa e resfriados a temperatura ambiente e pesados individualmente obtendo-se o peso seco (massa **C**). Em seguida, foi efetuada a imersão e saturação dos corpos de prova em dissecador por 24 horas, auxiliado por bomba de vácuo durante as 3 horas iniciais. Após 24 horas os corpos foram retirados da água e secos superficialmente e pesados ao ar, determinando-se, assim, o peso saturado (massa **B**). Depois foram pesados novamente em balança hidrostática, suspensos em um recipiente contendo água, obtendo-se assim o peso submerso (massa **A**).

Os cálculos para cada corpo de prova seguiram as equações abaixo e, ao final, foram calculadas as médias aritméticas para cada tipo litológico.

**Massa específica aparente seca:  $C / (B - A)$  (kg/m<sup>3</sup>)**

**Massa específica aparente saturada:  $B / (B - A)$  (kg/m<sup>3</sup>)**

**Porosidade aparente:  $(B - C) / (B - A) \times 100$  (%)**

**Absorção d'água aparente:  $(B - C) / C \times 100$  (%)**

### 4.3.3. Espectrometria Gama

Segundo Duarte (2002), o propósito da espectrometria gama é de identificação e quantificação de elementos radioativos (U, Th e  $^{40}\text{K}$ ) com base nas propriedades radioativas desses elementos.

A espectrometria de raios gama traça dois objetivos, a detecção direta de depósitos de urânio, tório e potássio e também a delimitação da distribuição desses elementos na superfície de rochas e solos em mapeamentos geológicos (ARRAT, 1981 apud MARRAS, 2005).

Sabendo-se que existem três isótopos naturais do gás radônio ( $^{219}\text{Rn}$ ,  $^{220}\text{Rn}$  e  $^{222}\text{Rn}$ ) gerados por uma série de decaimento radioativo proveniente dos radionuclídeos  $^{238}\text{U}$  e  $^{235}\text{U}$  e  $^{232}\text{Th}$  e que o método da espectrometria gama permite quantificar tais elementos, essa técnica foi utilizada com o objetivo de se determinar as concentrações de U e Th em ppm nos diferentes tipos litológicos de rochas ornamentais, componentes da proposta de estudo. Devido a adaptações no aparelho, o espectro do tório não pode ser obtido, sendo realizado por ICP-MS juntamente com o elemento U.

A espectrometria de raios gama possui algumas vantagens em relação aos outros métodos, como a espectrometria alfa, pois é um método que não destrói por ataques químicos as amostras utilizadas, não correndo o risco de perder o material. A amostra utilizada para o ensaio (o material pulverizado a ser utilizado), não recebe nenhum reagente químico a preparação das amostras é simples para as leituras pode-se analisar simultaneamente mais de um radioelemento e em quantidade maior por amostra, conseguindo-se deste modo uma melhor representatividade do material, principalmente quando se trata de rochas pegmatóides.

#### 4.3.3.1. O Espectrômetro

Para o desenvolvimento deste trabalho foi utilizado o espectrômetro de raios gama do laboratório de Isótopos Instáveis (LII) do IPEM de Rio Claro. Ele é formado basicamente por um sensor gama e circuitos eletrônicos que separam a radiação incidente no cristal em dois ou mais componentes de energia, onde ocorre a interação entre a radiação gama emitida por uma fonte radioativa e um cristal cintilador de NaI(Tl), produzindo pulsos de pequena amplitude no ânodo de uma fotomultiplicadora, onde cada pulso é pré-

amplificado e enviado a um amplificador, se adequando para ser analisado no próximo estágio (Bonotto, 1990).

Como os pulsos gerados apresentam alturas diferentes dependendo da energia das radiações é usado um analisador de altura de pulsos para discriminá-los e fornecer os espectros relacionados com a energia da radiação gama emitida nas transições nucleares (Bonotto, 1990).

Ainda, segundo o mesmo autor supracitado, o sistema espectrométrico usado no laboratório de Isótopos Instáveis, é formado por uma blindagem de chumbo, estando instalado dentro do seu interior, o pré-amplificador, a fotomultiplicadora e o cristal de NaI(Tl), ligados a uma fonte de energia.

O pré-amplificador é conectado ao amplificador que envia os sinais para uma placa no microcomputador, convertendo em dados através do software Maestro II, da E

RTE. As amostras são condicionadas dentro desta blindagem de chumbo (figura 4.1 e foto 4.1).

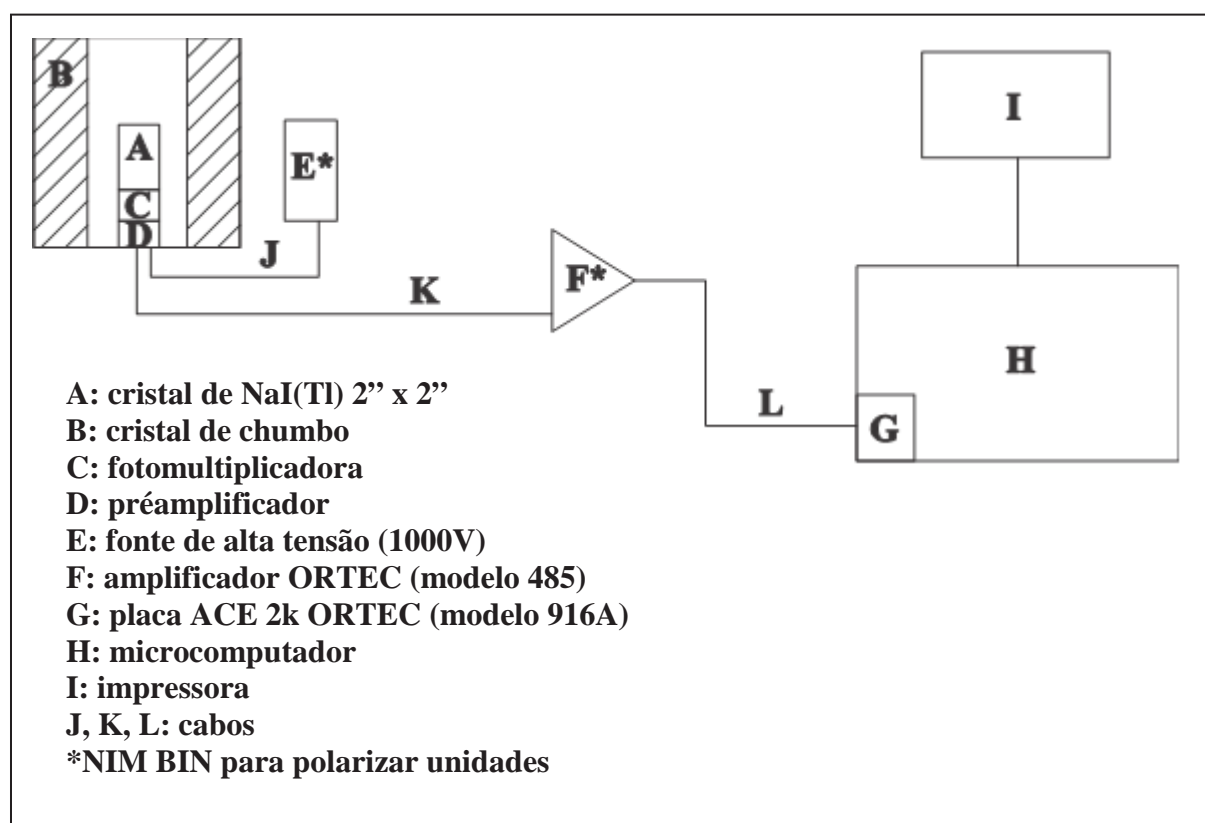


figura 4.1 - sistema espectrométrico gama instalado no ABI R (ARTE, 2002).



Figura 4.1 – Blindagem de chumbo e amplificador RTE (direita).

#### 4.3.3.2. Calibração do Sistema em Energia

Para obter uma leitura espectrométrica confiável, efetua-se uma calibração no sistema, utilizando-se fontes monoenergéticas de energia conhecida,  $^{137}\text{Cs}$  e  $^{60}\text{Co}$ , conforme demonstrado por Duarte (2002) cujos dados para calibração estão apresentados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Calibração em energia para o sistema utilizado. (Duarte, 2002).

Nuclídeo	Canal	Energia (MeV)
$^{137}\text{Cs}$	416	0,661
$^{60}\text{Co}$	736	1,173
$^{60}\text{Co}$	832	1,332
$^{60}\text{Co}$	1568	2,405

Fonte: Duarte (2002)

Para a investigação dos nuclídeos de interesse ( $^{40}\text{K}$ ,  $^{214}\text{Bi}$  e  $^{208}\text{Tl}$ ), Duarte (2002) utilizou amostras de pechblenda, areia monazítica e  $^{60}\text{Co}$ , para obter os espectros e poder construir os dados apresentados na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Dados obtidos para os nuclídeos de interesse, baseados em fontes de urânio, tório e potássio.

Nuclídeo	Canal	Energia (Me V)
$^{40}\text{K}$	876	1,46
$^{214}\text{Bi}$	1000	1,76
$^{208}\text{Tl}$	1485	2,62

Fonte: Duarte (2002)

A curva de calibração do sistema gamaespectrométrico pode ser construída com base nas energias e canais representados, conforme consta na figura 4.2.

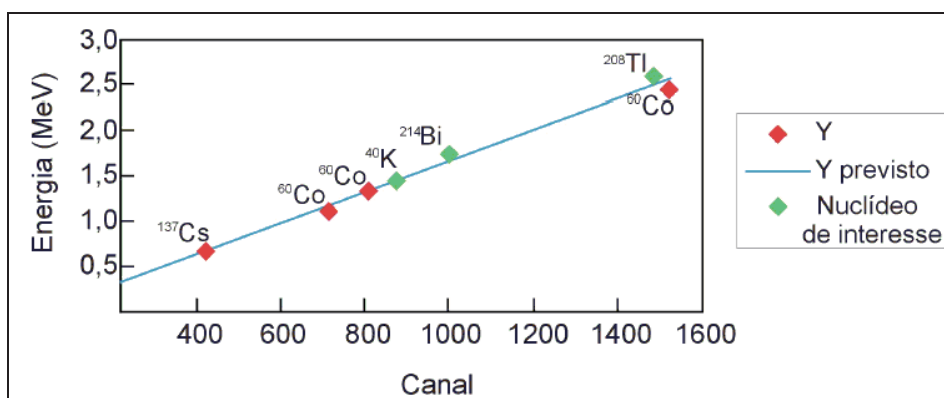


Figura 4.2 – Calibração do espectrômetro gama (Duarte, 2002).

#### 4.3.3.3. Calibração do Sistema em Concentração

Duarte (2002) efetuou a calibração em concentração do sistema gamaespectrométrico, utilizando padrões com concentrações conhecidas dos nuclídeos de interesse.

Para o urânio, empregou padrões adquiridos do Neutronics Laboratory do Departamento of Energy Argonne, Illinois, Estados Unidos, de pechblenda (códigos NB -101-A, NB -102-A, NB -103-A, NB -104-A, NB -105-A) e de areia monazítica (códigos NB -106-A e NB -107-A), procedendo a determinação da taxa de contagem no

fotopico do  $^{214}\text{Bi}$ , obtendo a intensidade efetiva do urânio ( $I_U$ ) expressa por taxa de contagem por massa e posteriormente a concentração de urânio ( $C_U$ ) em ppm, sendo traçado a curva de calibração da  $C_U$  em função da  $I_U$ , que é linear e expressa pela equação

$$\log C_U = 1,057 * (\log I_U) + 2,578 \quad (\text{ilustrado na figura 4.3})$$

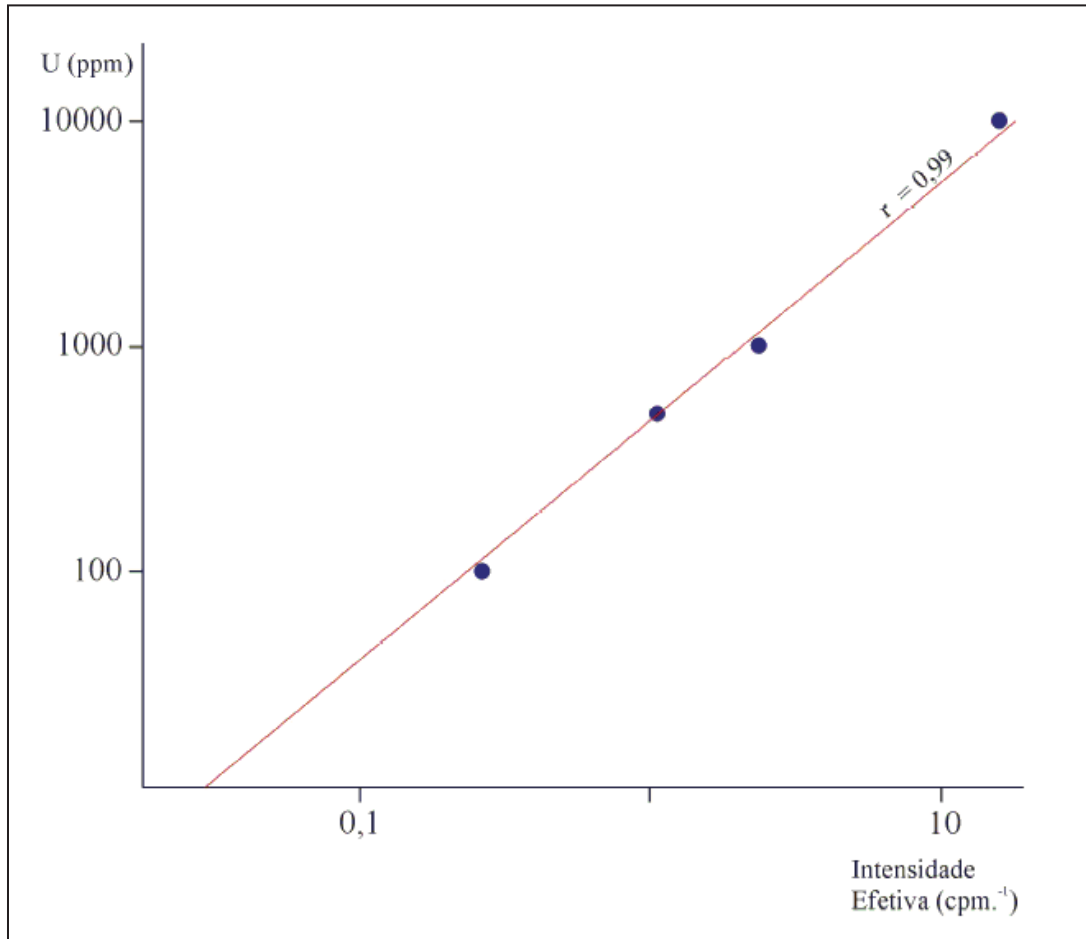


figura 4.3 – curva de calibração do urânio em concentração ( $C_U$ ) em função da Intensidade Efetiva ( $I_U$ ) (ARTE, 2002).

Para o caso do tório adotou padrões de areia monazítica do Ne Brunswick Laboratory do Departamento of Energy Argonne, Illinois, Estados Unidos, (códigos NB-106-A, NB-107-A, NB-108-A, NB-109-A, NB-110-A) e um padrão elaborado no ABI-R a partir de amostra proveniente do Morro do Ferro, Poços de Caldas-MG (códigos II-M-2 e II-M-3), conforme elemento anterior, sendo traçado a curva de calibração da concentração do tório ( $C_{Th}$ ) em função da intensidade efetiva ( $I_{Th}$ ), expressa pela equação

$$\log C_{Th} = 1,075 * (\log I_{Th}) + 3,273 \quad (\text{ilustrado na figura 4.4})$$

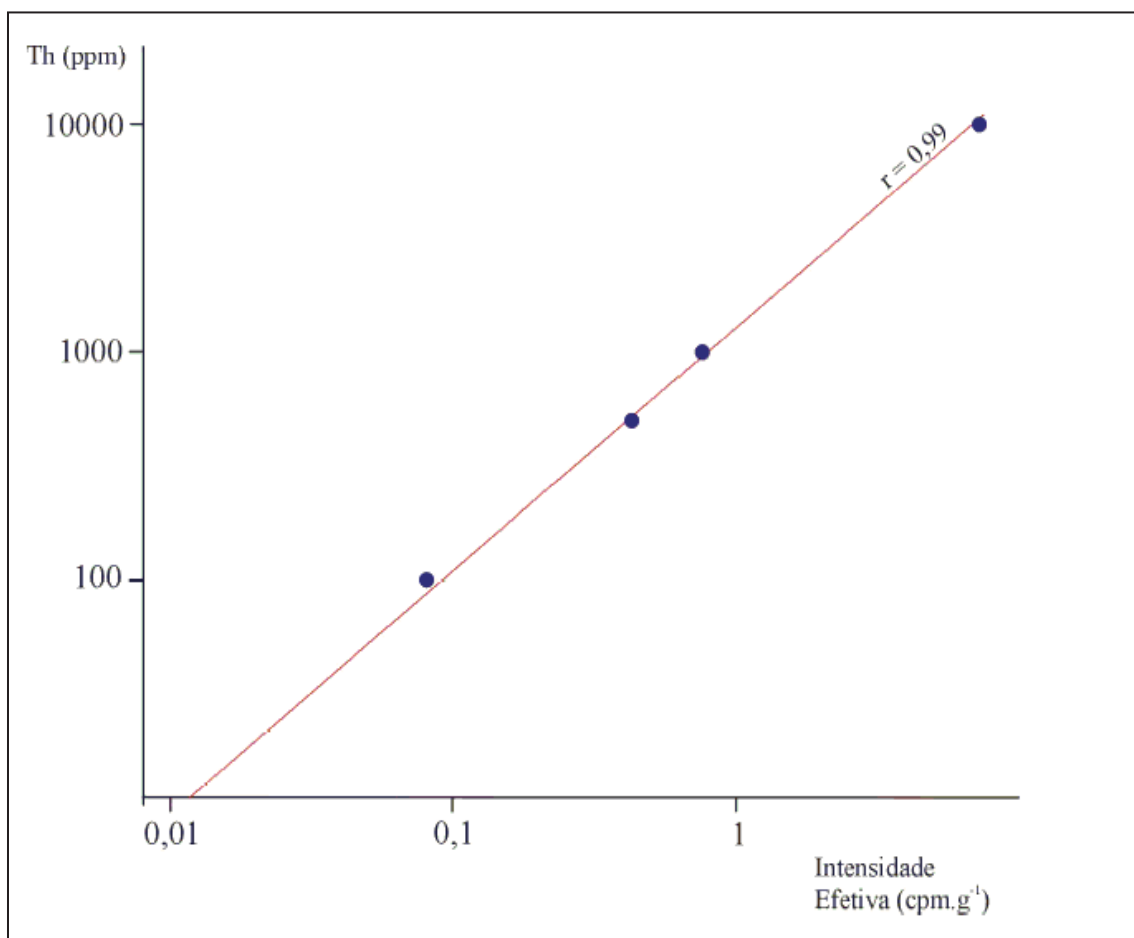


figura 4.4 – curva de calibração do Th em concentração ( ARTE, 2002).

Para o potássio, utilizou-se  $^{40}\text{K}$  puro, correspondente a uma concentração de 52 Bq/g (código II-1-1) e padrões com mistura e homogeneização de sílica pura, adicionando-se 54,16g de sílica a 28,90g de  $^{40}\text{K}$  (código II-1-2), 80,12g de sílica pura a 5,80g de  $^{40}\text{K}$  (código II-1-3), 82,11g de sílica a 2,90g de  $^{40}\text{K}$  (código II-1-4) e 84,72g de sílica a 0,50g de  $^{40}\text{K}$  (código II-1-5).

Assim como, para os dois nuclídeos descritos anteriormente, traçou-se a curva de calibração expressa pela equação

$$\log C_K = 0,953 * (\log I_K) + 1,459 \quad (\text{ilustrado na figura 4.5})$$

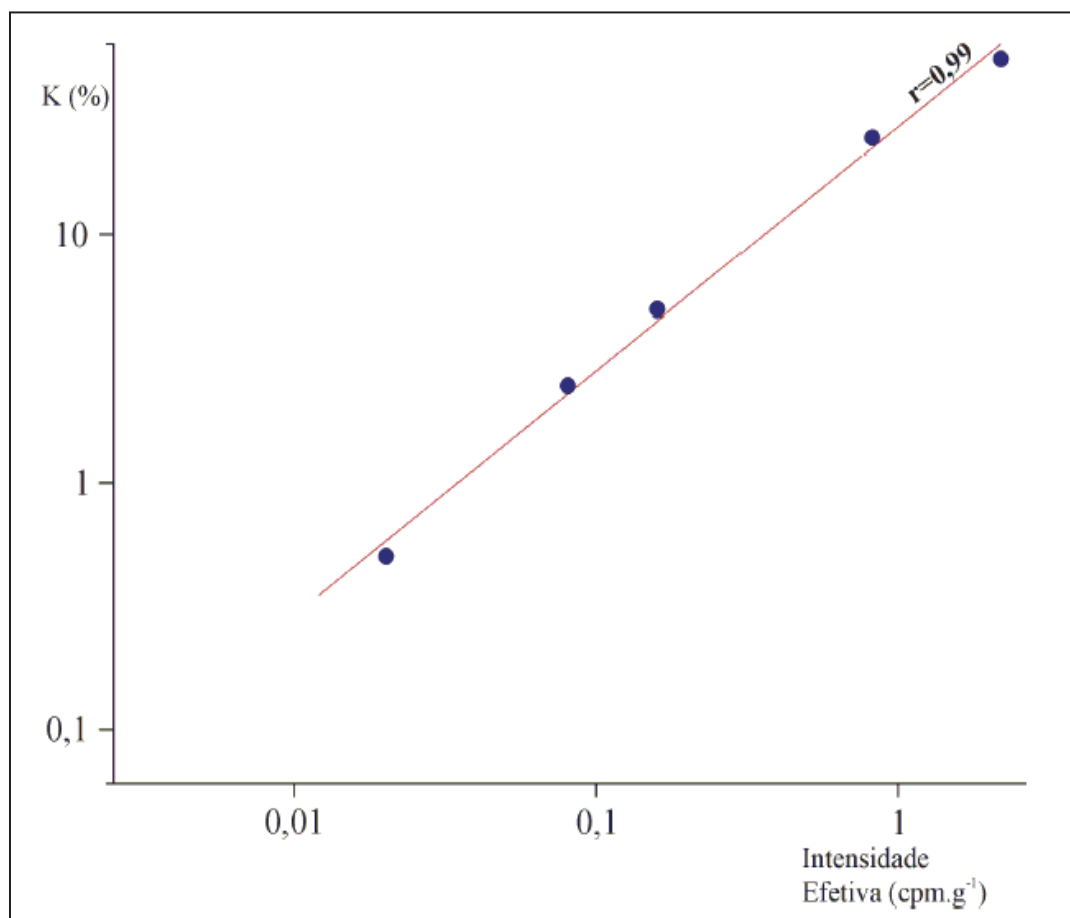


figura 4.5 – urva de calibração do em concentração ( ARTE, 2002).

#### 4.3.3.4. Preparação das Amostras para Espectrometria Gama

As rochas usadas no estudo possuem padrão textural variado, sendo algumas homogêneas e outras heterogêneas, por isso a escolha das amostras para a realização da espectrometria gama foi cuidadosa tanto no que se refere ao padrão textural quanto ao tamanho para se obter o máximo de representatividade.

O preparo das amostras consistiu na seguinte seqüência: seleção, quebra com auxílio de martelo, quartejamento, britagem em britador de mandíbulas, pulverização em moinho oscilante em panela de ágata até 200 mesh, e condicionamento em cápsulas cilíndricas de alumínio. Em seguida, aguardou-se aproximadamente 30 dias a fim de se atingir o equilíbrio radioativo secular e, obter a leitura dos espectros no espectrômetro gama. Depois foram calculadas as concentrações de urânio.

#### 4.3.4 Espectrometria de Massa com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-MS)

uma técnica recomendada devido ter características favoráveis como a capacidade de análise multielementar, alta sensibilidade com determinações de elementos terras raras e medida da razão isotópica (PINTO, 2010) e utilizada em diferentes campos como a geologia, pedologia, ciências dos alimentos e medicina.

espectrômetro de massa com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS), representado na figura 4.6 consiste basicamente em três componentes segundo Pinto (2010)

- um plasma indutivamente acoplado de argônio convencional operando a temperaturas de 6000 a 10000 K, estando o plasma mantido por uma bobina de radiofrequência após iniciação produzida por descarga elétrica de uma bobina de Tesla
- a interface com um cone mostrador e um cone *skimmer* que realiza a amostragem do plasma para o interior do analisador de massas e
- um espectrômetro de massa com analisador quadrupolar.

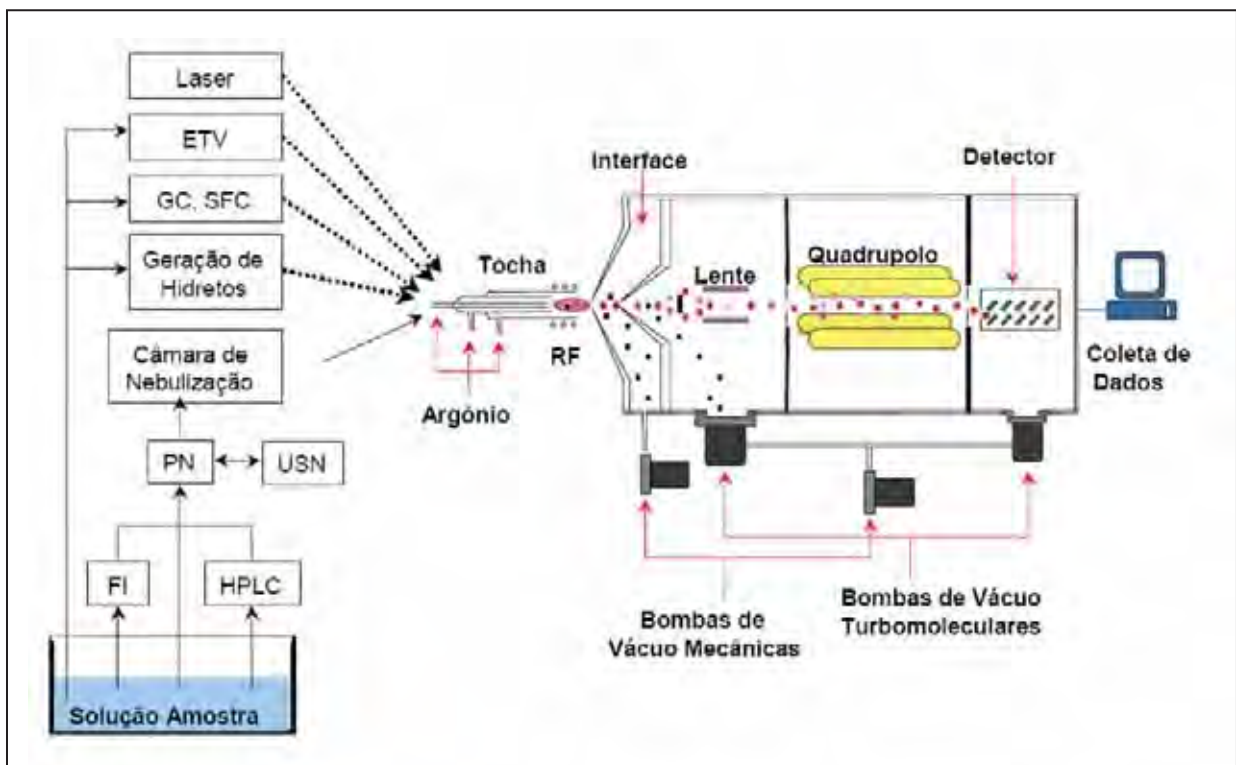


figura 4.6 - Esquema de um instrumento ICP-MS onde as linhas pontilhadas representam a amostra introduzida na forma de vapor e as linhas cheias na forma de aerossol (adaptado de Arvis *et al* por Pinto 2010).

As amostras foram quarteadas, pulverizadas no moinho de ágata e encaminhadas para o Acme Analytical laboratories Ltd, no Canadá, para análise dos principais elementos químicos incluindo os de interesse (U, Th e Pb) no pacote de serviços oferecido pela empresa (Grupo 4A4B), onde a composição química das rochas usadas foi obtida por fusão com metaborato tetraborato de lítio e solubilização em ácido nítrico e água régia (mistura de ácido nítrico com clorídrico) e determinação das concentrações por espectrometria de massa com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS).

#### 4.3.5. Monitoramento do Rn nas Amostras

Para determinação da taxa de exalação do gás radônio podem ser usadas duas técnicas, a detecção passiva, que utiliza detectores plásticos e a detecção ativa, a qual utiliza um equipamento de medição instantânea.

Para esse estudo, usou-se o método de detecção ativa, executado nos laboratórios de Isótopos Instáveis e de Rochas Ornamentais, do PMI E NE P Campus de Rio Claro P, tendo as amostras sido condicionadas num vácuo superior a 400 mmHg com limite de 470 mmHg, por períodos de tempo determinado, dentro de um recipiente de vidro Pyrex, no formato de garrafão, com rolha de 5 cm de diâmetro para vedação do ar exterior em relação ao interior.

Para a medição da exalação do gás radônio foi utilizado o equipamento Alpha AR da empresa Genitron. O método empregado é semelhante ao empregado por Hyi, (2008) e Asmin *et al* (2009). A seguir serão detalhadas as condições de análise e medição para a detecção do gás radônio das amostras estudadas.

Ressalta-se neste trabalho, que o desafio da implantação da linha de monitoramento do gás radônio em rochas ornamentais idealizada pelos professores doutores Daniel Marcos Bonotto e Antonio Carlos Artur, coordenadores dos laboratórios supracitados, foi alcançado.

#### 4.3.5.1. O Detector

Para medição do nível de exalação do gás radônio utilizou-se o equipamento da empresa Enitron usado para monitoramento de radônio com o nome comercial Alpha AR .

Este aparelho fornece medições simultâneas de temperatura, umidade relativa do ar, pressão e emanação de radônio em Bq m<sup>-3</sup>, programadas para serem atualizadas a cada minuto.

seu uso é empregado para monitoramento de radônio em mina subterrânea, solo, água ou no ar livre conforme especificado pelo fabricante, sendo que permite obter desde baixas concentrações de Rn de 2 Bq m<sup>-3</sup> até altas concentrações de 2.000.000 Bq m<sup>-3</sup>.

espectrômetro alfa usado é constituído em uma câmara de pulso otimizado de ionização, onde o gás é difundido em uma câmara cilíndrica com filtro de fibra de vidro, retendo todos os produtos de decaimento do radônio.

Os sinais ou pulsos são quantificados e digitalizados na saída da câmara. No centro do eletrodo I taxas de ionização como pulsos, que são processados por uma unidade pré-amplificadora muito sensível, sendo que três canais independentes em uma rede de processamento digital permitem realizar uma diferenciação eficaz entre eventos alfa real e diferentes efeitos de interferência, medir as concentrações de radônio e avaliar suas elevadas concentrações (BAR et al 2002).

#### 4.3.5.2. Preparação das Amostras

As amostras utilizadas para este estudo e condicionadas posteriormente dentro dos garrafões foram cortadas em formato prismático, sendo nove amostras polidas, retiradas de chapas a serem comercializadas, podendo estar resinadas ou teladas e uma amostra em estado bruto conforme quadro 4.2

Sigla	Denominação comercial	Acabamento da superfície	Quantidade amostras	Tamanho (cm)
P	Preto ão abriel	Polida	5	30 x 4,5 x 1,5
I	cre Itabira	Polida	4	30 x 4,5 x 2
	erde abrador	Polida	4	30 x 4,5 x 2
	inza orumbá	Polida	4	30 x 4,5 x 2
TI	Timbalada	Polida, Resinada e Telada	4	30 x 4,5 x 2
M	Mascarello	Polida, Resinada e Telada	4	30 x 4,5 x 2
I	ialitta	Polida, Resinada e Telada	4	30 x 4,5 x 2
I	Icaraí ight	Polida	4	30 x 4,5 x 2
	olden ristal	Polida	4	30 x 4,5 x 2
B	rema Bordeaux	Bruta	4	30 x 4,5 x 2

quadro 4.2 – quantidades, dimensões e tipo de acabamento das amostras estudadas.

epois as amostras foram limpas com pano embebido em álcool e colocadas na estufa a 70 por um período de tempo de aproximadamente 24 horas para retirada da umidade ocasionada pela limpeza. Após serem retiradas da estufa, aguardou-se o seu resfriamento natural e depois foram colocadas nos garrafões de vidro.

As amostras foram condicionadas em garrafões de vidro de 19 litros, lacrados com rolha de borracha e colocadas ao vácuo de aproximadamente 450mmg g de ar retirado do garrafão, a fim de se obter a exalação do gás radônio e impedir a contaminação com o ar do ambiente externo para a posterior contagem de sua respectiva taxa.

#### 4.3.5.3. Calibração do Sistema do Aparelho

aparelho já vem calibrado de fábrica com garantia de 5 anos certificado pelo Experimento de alibração Internacional - I E 94 com participação de vários laboratórios, onde 16 aparelhos são depositados numa câmara de 300 litros, expostos a uma fonte de radônio (amostra de petchblenda com fator de emanação conhecido) e usado um canister de carvão ativo para medição do nível zero, segundo o fabricante.

#### 4.3.5.4. Sistema Empregado

A fim de se obter uma curva de emanção das amostras selecionadas foram empregados ciclos de aprisionamento das rochas em sistema fechado.

Esses ciclos (assim chamados no estudo) foram pré-estabelecidos em dias de aprisionamento (5, 10, 15, 20, 25 dias) registrando-se o dia inicial e a hora do fechamento do sistema e o dia final e a hora da abertura do sistema, sendo transformados posteriormente os dias em horas, para obter um gráfico pela razão de emanção em Bq m por tempo em horas.

As amostras foram confinadas em garrações de vidro Pirex (vidro borossilicatado resistente ao calor e ao ataque químico de compostos agressivos), lacrados por uma rolha acoplada a um sistema de válvulas a qual permite a entrada e saída de ar, sendo que o ar foi sugado num vácuo de até 450 mmg g (limite de segurança estabelecido para não ultrapassar a resistência dos garrações, abaixo do limite do fabricante que seria de 650 mmg g ocorrendo o risco de implodir), não se permitindo a saída ou entrada de ar. Estabeleceu-se um limite de até 300 mmg g para posterior medição da emanção de radônio caso o vácuo inicial não se mantivesse por períodos longos de tempo.

epois de atingir o período de confinamento proposto, o garração contendo a amostra é conectado através de tubos de plástico flexível ao aparelho de medição da taxa de exalação do radônio e a uma bomba para fazer a circulação do ar para dentro do aparelho conforme demonstra a foto 4.2, fechando o sistema.



oto 4.2 – istema para medição da emissão do gás radônio composto da esquerda para direita de aparelho medidor (1), bomba de vácuo (2) e garrafão de vidro (3) com as amostras confinadas em seu interior sendo conectados por um sistema de válvulas (4).

#### 4.3.5.5. Rotina do Ensaio

Para realização dos ensaios de quantificação da exalação do gás radônio, a seguinte rotina foi utilizada no final de cada ciclo para realização da medição da emissão do gás radônio nas amostras confinadas

- Instala-se o sistema conforme visto na foto 4.2.
- Liga-se o aparelho e anotam-se os dados iniciais do aparelho, observando-se se o nível de marcação do radônio está no zero ou com a taxa de erro bem maior que os números iniciais.
- Aciona-se a bomba que irá ejetar e puxar ar do garrafão para dentro do aparelho em 1 min.
- Abre-se as válvulas para começar a circulação do ar interno entre o garrafão e o aparelho.
- A bomba permanece ligada por 10 minutos, depois é desligada e anotado os dados que podem ser verificados no ANE , onde após cada 10 minutos decorridos também são

coletados os dados, gastando-se um total de 30 minutos para medição. O aparelho é configurado internamente no modo de fluxo em 1 minuto, ou seja, a cada 1 minuto ele faz a leitura do gás, mas a anotação do tempo só ocorre a cada 10 minutos de medição. É realizada a média das três últimas leituras anotadas de cada ciclo para posterior utilização.

- No final da medição de um ciclo, o sistema é desmontado e o espectrômetro alfa é limpo ejetando-se o ar filtrado através de um filtro de carvão ativo até que os níveis de radônio zerem, só depois, está liberado para a medição de outra amostra.

- Para o preparo de cada ciclo, é ejetado o ar no garrafão para a retirada de qualquer vestígio de gás do ciclo anterior e depois o sistema é fechado, sendo retirado o ar interno até atingir  $-450 \text{ mg/g}$  de ar. Em seguida, anotam-se o dia, a hora e a quantidade de vácuo aplicada.

A Figura 4.7, representa o sistema empregado, onde o espectrômetro alfa (1) se conecta a bomba de ar (2) e ao garrafão (3) onde as amostras são aprisionadas. A circulação de ar é liberada através de um sistema de válvulas (4) conectadas por mangueiras plásticas, com um sentido de circulação (5) estabelecido conforme especificações do aparelho.

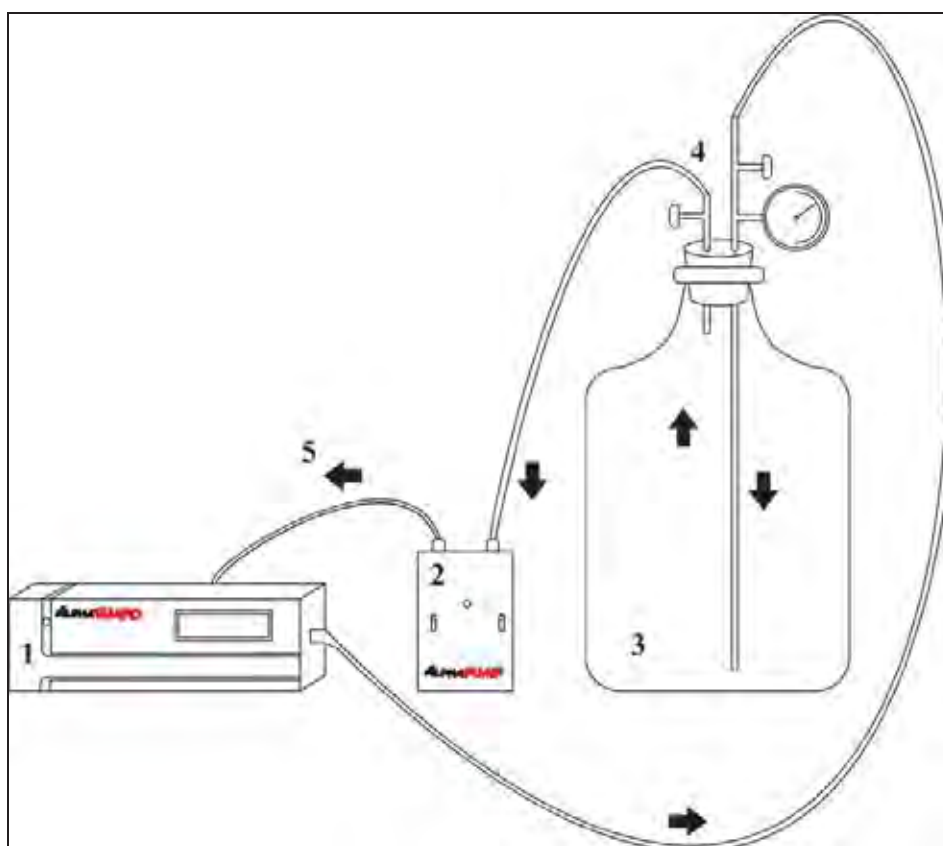


Figura 4.7 Sistema usado para medir a exalação do gás radônio nas amostras estudadas composto de (1) espectrômetro alfa (2) bomba de ar (3) garrafão e (4) sistemas de válvulas e, o (5) sentido da circulação do ar interno conforme especificação do aparelho.

#### 4.3.6. Simulação de adição para o nível de radônio de uma residência

Existem vários meios de o gás radônio entrar em um ambiente numa casa, um meio proposto nesse trabalho é através da influência de rochas usadas para fins ornamentais nas edificações.

Com a quantificação da taxa de exalação do gás radônio obtida, surgiu a necessidade de trabalhar em cima desses dados para saber se as amostras utilizadas atingiriam certos limites de dosimetria do Rn ao serem aplicadas dentro de uma residência.

Observando o trabalho de Chihi (2008) que usou uma regra de três composta para diluir a quantidade de radônio aprisionado em seu experimento em um ambiente maior, sendo assim, adaptou-se neste trabalho, com o objetivo de simular o quanto a rocha aplicada irá adicionar no nível do gás radônio no interior de uma residência ou ambiente qualquer.

Para realizar a simulação utilizou-se, hipoteticamente, um modelo de apartamento de 100,96 m<sup>2</sup> de área construída. As medidas aqui utilizadas são extraídas dessa residência para ter noção dos espaços, no qual considera 90,86m<sup>2</sup> de área de ambiente de circulação (somas das áreas internas dos ambientes) e com pé direito, a altura padrão utilizada na maioria das obras de 2,80m.

Neste apartamento avaliou-se a quantidade de rochas ornamentais aplicada, no caso deste trabalho considerou somente piso, ou seja, 90,86m<sup>2</sup> de material rochoso aplicado em seu interior, e a partir daí estimou-se a quantidade de radônio que seria adicionado.

No caso da rocha que ultrapassa o limite de 4 pCi sugerido pela EPA (2003), fez-se a avaliação considerando apenas os pisos das áreas de banho e uma bancada de 3 m x 0,60 m x 0,02 m para a cozinha, podendo assim se fazer uma comparação do ar da casa toda e somente com esses ambientes.

Fatores como as trocas de ar do interior dos ambientes para o exterior, foram desconsiderado, pois um dos maiores riscos do radônio está em sua acumulação num ambiente, que ocorre geralmente em ambiente fechado.

A fórmula utilizada para este trabalho é a seguinte

$$Rn_{Amb.} = \frac{td \text{ Bq m} \times 2}{1} \text{ Bq m}$$

onde  $Q$  em Bq m<sup>3</sup> é a quantidade de radônio exalado pela rocha obtido na medição no monitoriamento do Rn nas amostras (item 4.3.5 deste capítulo).

O cálculo envolve dois fatores, assim chamado, para simular a exalação do gás radônio (obtida através do item 4.3.5 deste capítulo) com o ambiente aplicado, o fator de diluição de ar ( fator 1) e o fator de amplificação do material utilizado ( fator 2).

O fator 1 seria o volume de ar recorrente de dentro do apartamento em razão do volume de ar interno do garrafão, onde

$$1 = \frac{\text{ar ambiente}}{\text{ar garrafão}}$$

O fator 2 é a razão do material em m<sup>2</sup> aplicado na casa pela relação da metragem das amostras utilizadas no monitoramento do Rn, onde

$$2 = \frac{\text{m}^2 \text{ aplicado ambiente}}{\text{m}^2 \text{ amostras monitoradas}}$$

Os resultados são obtidos por Bq m<sup>3</sup> e posteriormente convertidos para pCi l<sup>-1</sup>.

## Capítulo 5 – Análise Petrográfica e Contexto Geológico das Rochas Estudadas

Os tipos litológicos estudados neste projeto estão localizados em dois estados brasileiros, Espírito Santo e Minas Gerais. Apesar do Estado do Espírito Santo ter grande destaque em produção de rochas ornamentais, seu conhecimento geológico é restrito a poucos trabalhos, destacando os trabalhos da PRM (1987), sendo retomados os estudos em 2004, mas, sem publicações recentes sobre a geologia regional.

As rochas estudadas estão contidas nas folhas geológicas E.24 Rio doce (PRM, 1987) e 23 24 Rio de Janeiro itória (PRM, 1987), das quais foram obtidas informações para a confecção do mapa geológico simplificado e localização das amostras.

A extração dessas rochas ocorre nos maciços da Província Mantiqueira, que é uma entidade geotectônica instalada a leste dos crátons São Francisco e Rio de la Plata Paraná ao final do Neoproterozóico e início do Paleozóico (PRM, 2003).

Até 1987, essa área da Província Mantiqueira era subdividida em duas subprovíncias denominadas de Araçuaí e Médio Rio doce, atualmente é classificada como orógeno Araçuaí Rio doce (PRM, 2003), que se estende desde a borda sudeste do cráton São Francisco, no litoral Atlântico, e é limitado entre os paralelos de 15 e 21°S (Pedrosa- Soares *et al*, 2007).

Em virtude da natureza do presente trabalho os materiais utilizados para os estudos serão apenas enquadrados em seus respectivos contextos geológicos, sem maiores detalhamentos litoestratigráficos. Entretanto, a análise petrográfica é tratada de forma mais aprofundada, especialmente em relação aos aspectos composicionais, texturais e estruturais, cujas informações são fundamentais para o entendimento do comportamento radiométrico e de exalação do gás radônio de cada rocha estudada.

Na Tabela 5.1 estão listadas as rochas estudadas, as quais são identificadas segundo suas denominações comerciais, classificações petrográficas, siglas empregadas e respectivos estados de origem.

### 5.1. Rochas Pertencentes ao Estado de Minas Gerais

As rochas que pertencem ao Estado de Minas Gerais são o gnaiss migmatítico oldenitista e os pegmatitos graníticos Mascarello e Timbalada, cujas localizações estão

representadas na figura 5.1. São rochas voltadas exclusivamente para o mercado externo pela empresa extratora.

Tabela 5.1 - Relação das rochas estudadas.

Nome Comercial	Classificação Petrográfica	Sigla	UF
Preto São Gabriel	iperstênio -iorito com quartzo	P	E
cre Itabira	ornblenda -ienito com quartzo	I	E
erde Abrador	harnoc -ito com granada		E
inza Orumbá	Monzogranito		E
Timbalada	Pegmatito -ranítico hidrotermalizado	TI	M
Mascarello	Pegmatito -ranítico	M	M
iallita	Pegmatito -ranítico	I	E
Icaraí Light	ranulito quartzo-feldspático com sillimanita	I	E
olden Ristal	Biotita -gnaisse migmatizado		M
rema Bordeaux	Migmatito -naissificado	B	E

Os pegmatitos estão localizados nos arredores do distrito de Taquaral, pertencente ao município de Itinga (M ). O gnaisse migmatizado Olden Ristal situa-se nos arredores da localidade denominada Pasmado, também pertencente ao município de Itinga (M ). Essas rochas estão dentro da formação Alinas, constituída por quartzo-biotita xistos, localmente com intercalações rítmicas de biotita-quartzo xistos, com ou sem granada e ou sillimanita, e porfiroblastos de cordierita lentes de calcossilicáticas e quartzitos. Dentro da formação Alinas ocorrem intrusões da Suíte Intrusiva Itinga, que litologicamente compõe-se de biotita-granitos de granulação média a grosseira, eventualmente porfiróides, com megacrístais de feldspatos dispersos aleatoriamente e também de granitos e granodioritos a duas micas, com estrutura orientada e pegmatitos filiados ( PRM, 2003 RA AMBRA I , 1987).

## 5.2. Rochas Pertencentes ao Estado do Espírito Santo

As rochas originárias do Estado do Espírito Santo e estudadas neste projeto são em número de sete, sendo rochas comercializadas tanto no mercado interno quanto no externo. São extraídas por métodos de lavra a céu aberto, retiradas diretamente do maciço onde, algumas como o charnoc -ito Erde Abrador e o monzogranito Inza Orumbá, são extraídas

tanto na forma de matacões quanto em bancadas no maciço rochoso. A localização geográfica e dos respectivos contextos geológicos estão representados na figura 5.2.

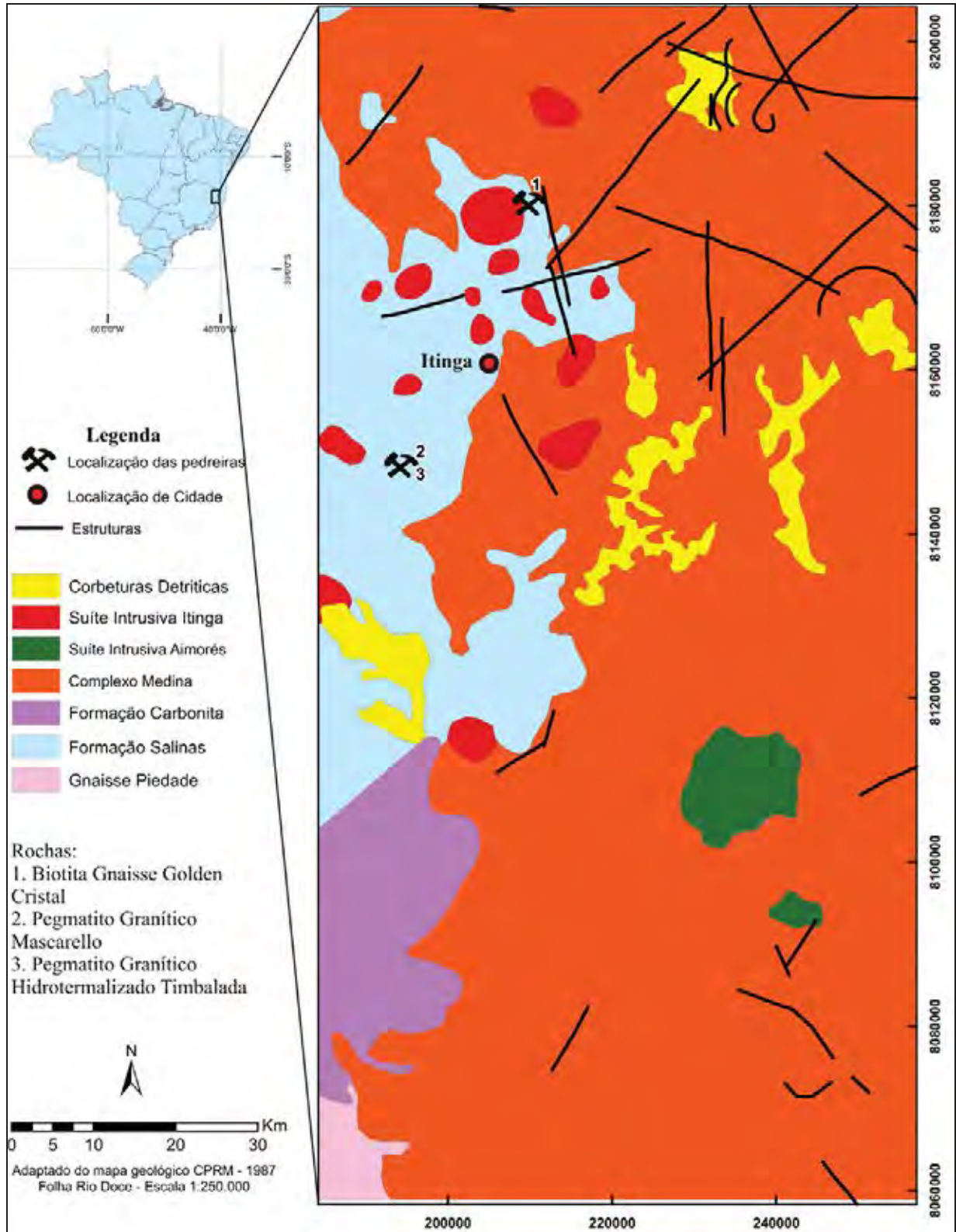


figura 5.1. Mapa geológico simplificado com a localização das amostras estudadas pertencentes ao estado de Minas Gerais (PRM, 1987).

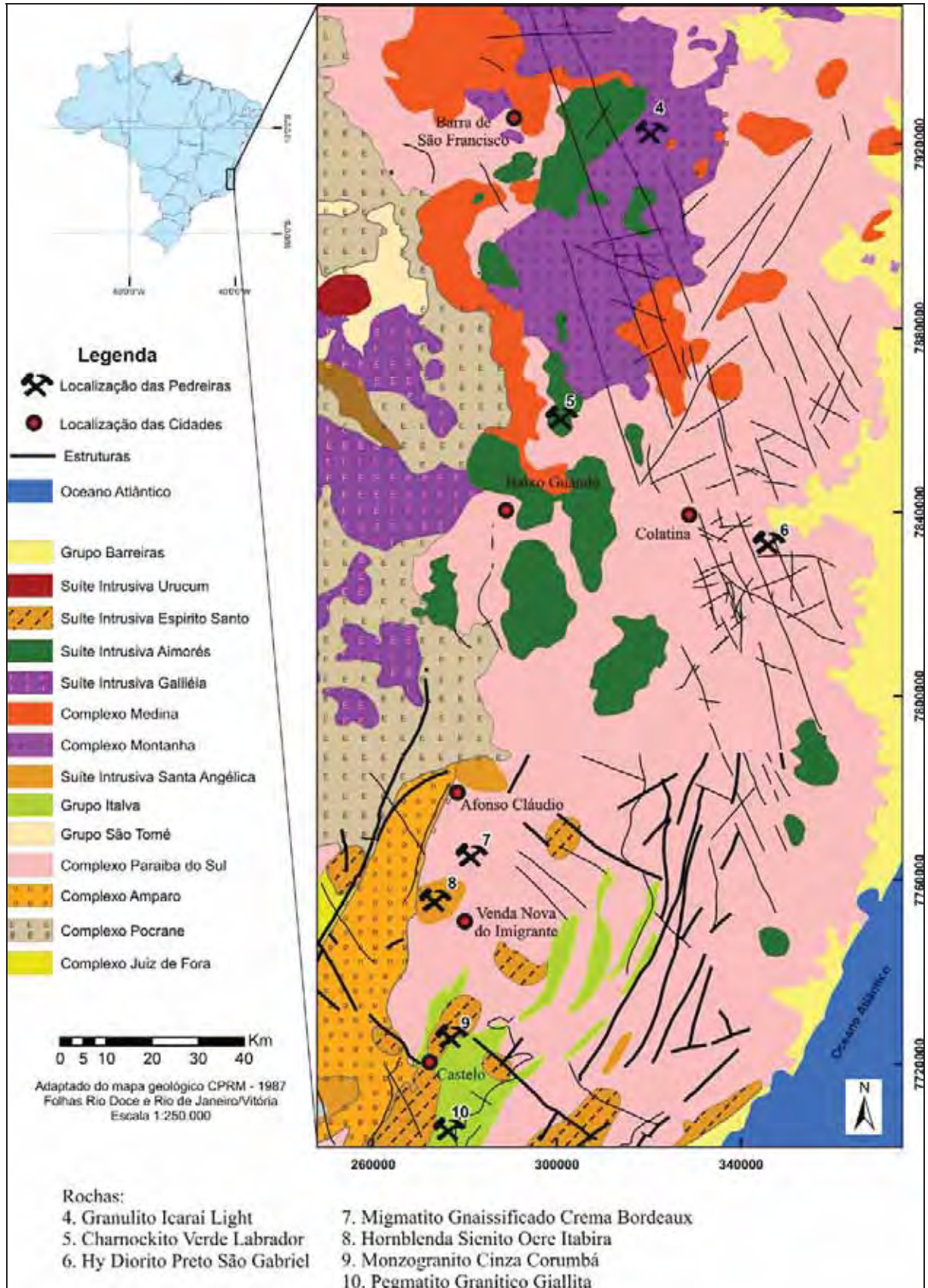


figura 5.2 Mapa geológico simplificado com a localização das amostras estudadas pertencentes ao estado do Espírito Santo ( CPRM, 1987).

gnaisse sienogranítico Icaraí Light é extraído em maciço rochoso na região do córrego da Prata, distrito de Vila Paulista, pertencente ao município de Barra do Franciscó. Está localizado no complexo Montanha em área de dominância de granitognaisse grosseiros pré-cambrianos, com estrutura do tipo *augen* (RA AMBRA I, 1987). Evidente as feições estruturais concordantes com o complexo Paraíba do Sul, assim também pelos contatos gradacionais evidenciados com esta unidade no terreno, este complexo torna-se sintectônico em relação ao ciclo Brasileiro (RA AMBRA I, 1987).

Charnocito verde abrasador, localizado nos arredores de Baixo Guandu - E e que aflora tanto sob forma de matacões e quanto em maciço, está atribuído a suíte Intrusiva Aimorés, onde existe discordância na literatura quanto a sua origem, ígnea ou metamórfica, mas há unanimidade em afirmar que são rochas charnocíticas com composição mineralógica a base de ortopiroxênio, biotita, quartzo, feldspatos e localmente granada com uma coloração de maneira geral esverdeada e granulação de média a grossa (RA AMBRA I, 1987).

Hiperstênio diorito Preto São Gabriel é extraído na região de Baunilha, município de Colatina - E. Esta rocha é extraída em maciço que pertence a corpos litológicos do complexo Paraíba do Sul intercalados com biotitagnaisse, rochas calcossilicatadas, rochas básicas e leucossomas. Trata-se de uma unidade de origem metassedimentar, relacionada em sua maioria a sedimentos pelíticos aluminosos e porções restritas de arenitos em rochas carbonáticas e tufos, representados por gnaisse aluminosos migmatizados (RA AMBRA I, 1987).

Também o migmatito gnaissificadorema Bordeaux de cor avermelhada explorado na região de córrego do Cedro, no município de Afonso Láudio, corresponde, pelo mapa geológico da PRM (1987) a uma das unidades litoestratigráficas integrante do complexo Paraíba do Sul.

Hornblenda sienito cre Itabira, o qual também tem sido comercializado sob a denominação Marrom raphite, é extraído por lavra em maciço rochoso no município de Venda Nova do Imigrante. Geologicamente faz parte da suíte Intrusiva Santa Angélica, grupo formado pelos Maciços Santa Angélica, Afonso Láudio, Venda Nova e Acutinga-Torre (Silva *et al.*, 1976). Maciço de Venda Nova, no qual está inserida esta rocha, é um corpo elíptico, com diâmetro maior na direção nordeste, com dimensões de 9 x 12 m estando circundado em sua maior parte por migmatitosa do complexo Paraíba do Sul (Silva *et al.*, 1976 apud RA AMBRA I, 1987). Esse maciço é constituído em sua parte externa por granodioritos e sienitos grosseiros, pórfiros, de matriz escassa e coloração cinza a cinza-claro. Em sua parte central, há ocorrências de rochas escuras, homogêneas, de granulação média a

grosseira e composição básica e ou intermediária. No sentido centro leste para borda sudoeste do maciço, é descrita a existência de uma transição entre tipos mais básicos, intermediários a sieníticos, respectivamente, do centro para a periferia. Identificaram no mesmo corpo rochas como granodiorito, gabro, sienito e anfibolito, considerando-os como diferentes associados (Ilva *et al.*, 1976 apud RA AMBRA I, 1987).

monzogranito inza orumbá é extraído tanto de matacões quanto de maciço rochoso. Está localizado na região de orumbá, município de astelo, tido como integrante da suíte Intrusiva Espírito Santo, que é constituída de uma associação geológica bastante variada, onde predominam tipos graníticos a granodioríticos com intrusões em fases sin- e pós-tectônicas, em relação ao ciclo Brasileiro (RA AMBRA I, 1987). Entre os maciços que compõem essa suíte, destaca-se o Maciço de astelo, do qual é extraído o material como rocha ornamental. Este maciço apresenta dimensões de cerca de 20 a 5 m, estendendo-se na direção nordeste a partir da cidade homônima, sendo que a rocha característica em toda a parte sul do corpo é um granito cinza-claro, homogêneo e de granulação fina a média, mais ao norte, no pico do morro grande, ocorrem tipos porfiróides grosseiros (RA AMBRA I, 1987).

pegmatito granítico ialitta é extraído nos arredores de antana, distrito de ironde que pertence cidade de achoeiro de Itapemirim. É um pegmatito granítico com granulação grosseira, possuindo feldspato com dimensões de até 20cm e granadas vermelhas milimétricas na matriz envolvendo quartzo. Está dentro do grupo Italva que é um conjunto de litotipos com hornblenda gnaisses, anfibolitos, sillimanita-granada-biotita gnaisses, bandados ou não, com lentes de metaultrabásicas, quartzitos, mármore e calcossilicáticas (RA AMBRA I, 1987). As unidades do grupo Italva distribuem-se de forma descontínua constituindo uma faixa de direção nordeste-sudoeste (RA AMBRA I, 1987).

### 5.3. Petrografia

Neste item são apresentadas as informações das análises petrográficas das rochas estudadas obtidas segundo metodologia tradicional, descrito no capítulo anterior, a fim de obter um melhor entendimento e interpretação da exalação do gás radônio nos distintos materiais analisados. A sinopse das propriedades petrográficas das rochas de interesse está expressa nas Tabelas 5.1 e 5.2, abaixo.

Tabela 5.1. - Análise dos resultados da caracterização petrográfica.

Mineralogia (%)	Preto São Gabriel	Ocre Itabira	Verde Labrador	Cinza Corumbá	Timbalada	
Quartzo	5,0	4,0	25,0	31,6	31,0	
feldspato Potássico	4,0	58,0	40,0	31,0	40,0	
Plagioclásio	58,0	22,0	19,0	25,0	15,5	
Biotita	9,0	4,5	6,0	7,5	0,5	
Ornblenda	4,0	7,0	0,5	-	-	
Alinopiroxênio	4,0	-	1,0	-	-	
Alrtopiroxênio	12,0	-	3,0	-	-	
Amfíbios	3,5	2,0	0,5	0,4	0,5	
Apatita	0,5	Tr	0,4	1,0	Tr	
Monoclinho	Tr	Tr	0,1	0,4	-	
Titanita	Tr	2,0	0,5	1,0	-	
Allanita	-	Tr	-	0,1	-	
Rutilo	-	Tr	Tr	Tr	-	
Granada	-	-	4,0	-	-	
Turmalina	-	-	-	-	Tr	
Topázio	-	-	-	-	0,5	
Muscovita	-	-	-	-	7,5	
Almicrita	Tr	Tr	Tr	2,0	1,5	
Almorita	Tr	Tr	Tr	Tr	-	
Epidoto	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	
Bastita	Tr	-	Tr	-	-	
Alcoethita	-	-	-	-	1,5	
Alhidróxido de ferro	-	-	-	-	1,5	
Carbonatos	Tr	0,5	Tr	Tr	-	
Minerais Pesados (%)	33,0	16,0	16,0	12,4	13,5	
Tamanho (mm)	Variação	0,5 a 10,0	0,5 a 25,0	0,3 a 30,0	0,3 a 30,0	2,0 a 80,0
	Predomin. Matriz	2,0 a 6,0	2,0 a 6,0	3,0 a 7,0	2,5 a 5,0	10,0 a 30,0
Estrutura	Isotrópica	Isotrópica	Isotrópica	Isotrópica	Isotrópica	
Textura	Equigranular	Porfírica	Porfírica	Inequigranular	Pegmatítica	
Microfissuras mm <sup>2</sup>	1,73	2,90	6,39	2,21	4,20	
Microfissuras (%)	Intragrãos preenchida	47,2	24,4	41,2	33,6	58,2
	Intragrãos não preench.	23,0	62,2	48,8	62,4	36,3
	Intergrãos preenchida	18,7	11,0	5,4	2,7	3,8
	Intergrãos não preench.	11,1	2,4	4,6	1,3	1,7
Orientação (%)	ôncavo convexo	49,8	62,8	58,7	61,8	40,5
	Reto	47,8	31,6	36,9	32,4	44,2
	errilhado	2,4	5,6	4,4	5,8	15,3
Alteração Mineral	feldspato Potássico	Incipiente	Incipiente	Incipiente	Incipiente	raco
	Plagioclásio	Incipiente	Incipiente	Incipiente	Moderado	raco
	Biotita	Incipiente	Incipiente	raco	Incipiente	Muscovitizada
	Aliperstênio	Incipiente	--	Incipiente	--	--
<b>Classificação (QAP)</b>	Aliperstênio Alioritocitico	Ornblenda Alienitocitico	Alharnocitico Alcitrato	Monzogranito	Pegmatito Alranitico Alidrotermalizado	

Tabela 5.2 (continuação). Inóse dos resultados da caracterização petrográfica.

Mineralogia (%)		Mascarello	Giallita	Icaraí Light	Golden Cristal	Crema Bordeaux
uartzo		29,0	25,0	35,0	28,0	26,0
eldspato Potássico		42,0	41,0	39,0	39,0	28,0
Plagioclásio		14,5	24,0	17,0	21,0	34,0
Biotita		Tr	5,0	3,5	8,5	5,5
pacos		0,5	Tr	Tr	Tr	Tr
Apatita		Tr	Tr	Tr	Tr	Tr
ircão		Tr	-	-	Tr	Tr
Titanita		-	-	-	-	Tr
ranada		-	1,0	4,0	-	-
Allanita		-	-	-	-	Tr
illimanita		-	0,5	1,5	2,5	Tr
Topázio		0,3	-	-	-	-
Muscovita		8,7	3,5	-	Tr	3,0
Espinelio		-	-	Tr	-	-
ericita		2,0	Tr	Tr	Tr	2,0
Epidoto		Tr	Tr	Tr	Tr	1,5
oethita		1,5	-	-	-	-
idróxido de erro		1,5	Tr	-	1,0	Tr
arbonatos		-	-	Tr	-	-
Minerais Pesados ( )		14,5	10,0	9,0	12,0	12,0
rã (mm)	ariação	2,0 a 50,0	2,0 a 200,0	0,2 a 25,0	0,5 a 10,0	0,3 a 25,0
	Predomin te	10,0 a 20,0	20,0 a 80,0	2,0 a 5,0	2,0 a 4,0	3,0 a 8,0
Estrutura		Isotrópica	Isotrópica	naissificada	Migmatítica	náissica
Textura		Pegmatítica	Pegmatítica	ranoblástica Inequigranular	Inequigranular	Inequigranular
Microfissuras mm <sup>2</sup>		3,4	3, 2	2,8	4,9	3,8
Microfissuras ( )	Intragrãos preenchida	52,0	35,4	19,6	24,6	57,0
	Intragrãos não preenchida	46,6	58,2	60,1	68,8	40,2
	Intergrãos preenchida	0,0	1,4	17,3	3,3	1,9
	Intergrãos não preenchida	1,4	5,0	3,0	3,3	0,9
ontatos ( )	ôncavo convexo	53,6	64,0	66,5	59,1	53,6
	Reto	34,8	25,1	29,5	34,4	34,8
	errilhado	11,6	10,9	4,0	6,5	11,6
Alteração Mineral	eldspato Potássico	Incipiente	Incipiente	Incipiente	Incipiente	Incipiente
	Plagioclásio	Incipiente a moderado	Incipiente	Incipiente	Incipiente	Moderado a Intenso
	Biotita	Incipiente	raco a Intenso	raco	raco	Incipiente
<b>Classificação (QAP)</b>		Pegmatito granítico	Pegmatito granítico	ranulito qtzo-feldspático c sillimanita	Biotita gnaisse migmatizado	Migmatito gnaissificado

### 5.3.1 Preto São Gabriel (hiperstênio diorito com quartzo)

corresponde a um hiperstênio diorito com quartzo de cor cinza escuro de estrutura isotrópica com textura fanerítica de granulação média a média-grossa, pouco inequigranular, e de aspecto geral bastante homogêneo (Prancha 5.1, fotos 1 e 2). A granulação visual oscila entre 1 mm e 2 mm a mais ou menos cerca de 5 mm a 6 mm, com os maiores cristais representados por feldspato, salpicados por minerais máficos destacados por biotita e opacos metálicos (magnetita). Macroscopicamente exhibe baixo grau de microfissuramento mineral.

Microscopicamente exhibe grau de microfissuramento relativamente baixo com cerca de 1,73 microfissuras mm<sup>2</sup>, predominantemente do tipo intragrãos preenchidas (47,2 %), sendo as intergranulares representadas por 18,7 % preenchidas e 11,1 % não preenchidas (Prancha 5.1, fotomicrografia 3).

O grau de alteração dos constituintes minerais é incipiente, praticamente restrita a discreta saussuritização com liberação de carbonatos relacionadas aos cristais de plagioclásio e de transformações parciais do ortopiroxênio para biotita e hornblenda acompanhados pela liberação de opacos disseminados.

Os contatos entre os minerais são em sua maioria côncavo-convexos (49,8 %), seguidos pelos retos (47,8 %) devido a presença de cristais tabulares de plagioclásio e de lamelas de biotita, com 2,4 % do tipo serrilhado.

#### *Mineralogia*

A mineralogia é constituída por cerca de 58 % de plagioclásio, 5 % de quartzo, 4 % de feldspato potássico, 9 % de biotita, 4 % de hornblenda, 16 % de piroxênios (12 % de ortopiroxênio e 4 % de clinopiroxênio), além de 3,5 % de opacos (magnetita) e traços de apatita e zircão (Tabela 5.1). Como minerais secundários ocorrem traços de sericita, epidoto, bastita e carbonatos.

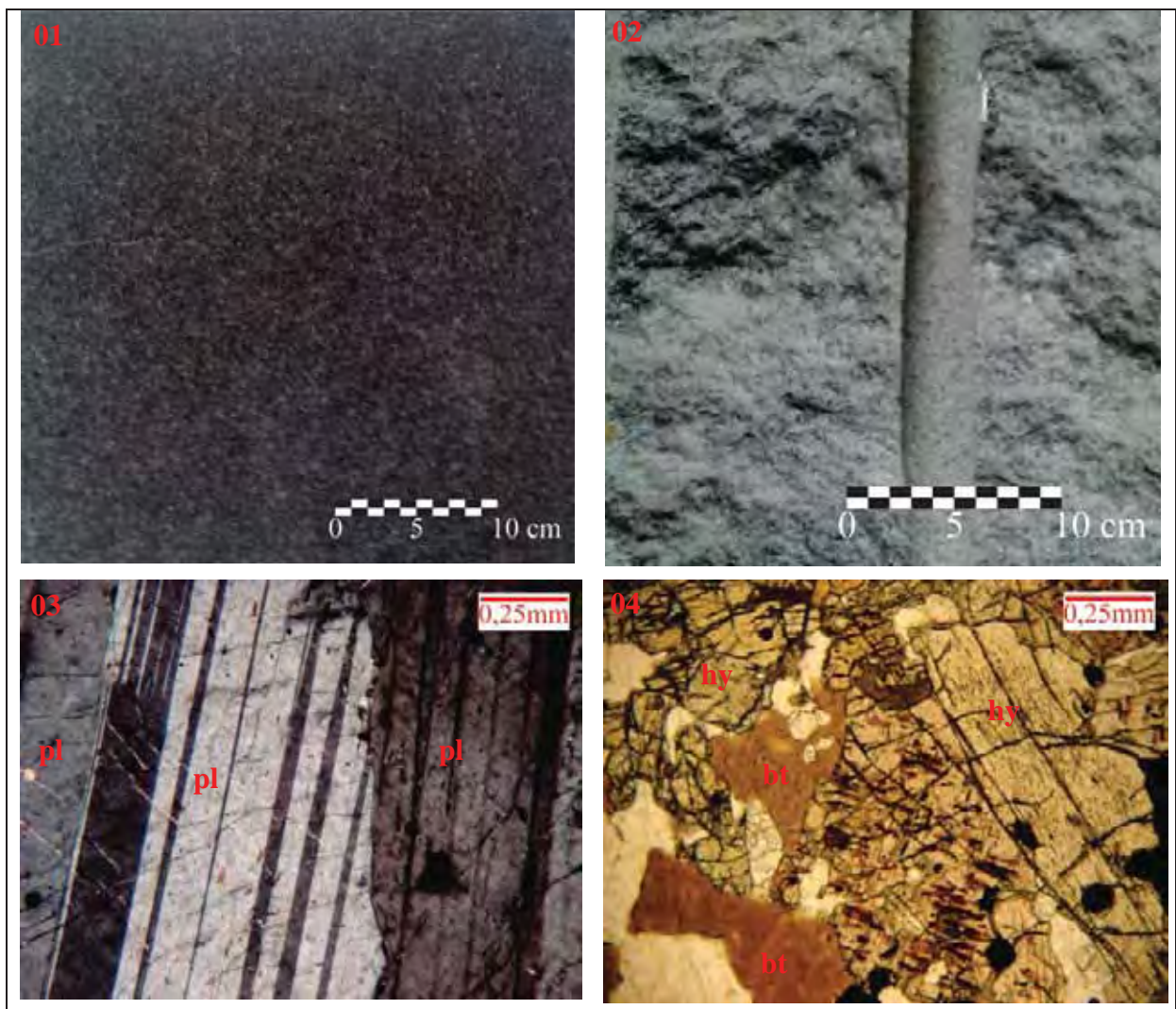
O plagioclásio está representado por andesina, por vezes fortemente zonados, com contatos que variam de plano a côncavo-convexo, sendo o contato plano em sua maioria encontrado principalmente nos minerais com hábitos tabulares relativamente bem definidos.

O microfissuramento pode ser relativamente elevado, sendo preenchido principalmente por sericita e algum hidróxido e ou óxido de ferro.

quartzo ocorre sob forma intersticial ou em pequenos cristais com no máximo 3 mm, apresentando formas anedrais e com extinção ondulante e contatos côncavo-convexos. As vezes aparecem alongados entre os cristais de plagioclásios.

A biotita ocorre sob a forma de palhetas com seu pleocroísmo castanho amarelado a marrom escuro, com contatos predominantemente retos a discretamente irregulares. Alteração é incipiente, limitando-se a bordas de reação com a hornblenda.

hiperst nio exhibe pleocroísmo amarelado a esverdeado, devido a passagens para hornblenda e biotita, normalmente marcado por marcante fraturamento interno (intragranular) e rico em inclusões de biotita e opacos disseminados (Prancha 5.1, otomicrografia 4).



Prancha 5.1 Aspecto macroscópico polido (oto 1) e bruto (oto 2) e, microscópicos (fotomicrografias 3 e 4) do hiperst nio diorito Preto ão abriel. otomicrografia 3 presença de microfissuras nos cristais de plagioclásios (nicóis cruzados). otomicrografia 4 inclusões de biotita e opacos no hiperst nio (nicóis descruzados). legenda pl (plagioclásio), bt (biotita), hy (hiperst nio).

### 5.3.2 Ocre Itabira (hornblenda sienito com quartzo)

Esta rocha é comercializada no mercado de rocha ornamental com as denominações de cre Itabira ou Marron raphite. Trata-se de um hornblenda sienito com quartzo de coloração castanho clara (Prancha 5.2, fotos 1 e 2), com estrutura compacta a discretamente orientada e textura porfirítica, inequigranular, onde se destacam fenocristais de feldspato potássico que podem ultrapassar os 2,5 cm ao longo da maior dimensão numa matriz fanerítica de granulação média, entre 2 mm a 6 mm. No geral o teor de megacristais de feldspato potássico oscila entre cerca de 40 a 60 do volume da rocha, podendo, localmente, constituir pequenas concentrações onde perfazem até 70 da rocha.

A matriz apresenta textura hipidiomórfica a localmente poligonizada, inequigranular, enriquecida em agregados mimerquíticos, caracterizada por agregados milimétricos compostos por biotita, hornblenda, opacos e titanita.

Os contatos entre os minerais são côncavo-convexos (62,8 %), retos (31,6 %) e serrilhados (5,6 %). O grau de alteração dos constituintes minerais pode ser considerado como incipiente.

O microfissuramento é bastante pronunciado, com 2,9 microfissuras mm<sup>2</sup> (Tabela 5.1) na sua maioria dado por microfissuras intragrãos (62,2 %), não preenchidas, sobretudo nos megacristais de feldspato potássico. As microfissuras intergrãos preenchidas perfazem cerca de 11 % e as não preenchidas ao redor de 2,4 %.

#### **Mineralogia**

A mineralogia é constituída por feldspato potássico (58 %), plagioclásio (22 %), hornblenda (7 %) e com pouco quartzo (4 %). Como minerais acessórios ocorrem biotita (4,5 %), titanita, opacos e traços de apatita, zircão, rutilo e allanita, tendo como minerais secundários a sericita e clorita.

O feldspato potássico, representado pelo ortoclásio perítico, ocorre predominantemente como megacristais com dimensões seriadas exibindo formas ovaladas a prismáticas, quadráticas ou ainda irregulares, que podem atingir a casa dos 2,5 cm ao longo das maiores dimensões, com predominância entre 1,5 cm e 2,0 cm. Alguns megacristais apresentam discreto zoneamento nas bordas realçado por coloração mais clara, além de parcialmente envolvidos por delgados anéis de plagioclásio (oligoclásio) esbranquiçados. Os

megacristais são praticamente desprovidos de inclusões de minerais máficos, podendo, entretanto, conter vênulos ou filetes isolados de plagioclásio esbranquiçado. Os contatos com demais minerais são do tipo côncavo-convexos, muitas vezes interpenetrados, denotando bom engrenamento mineral. Também são frequentes texturas mirmequíticas nos contatos com cristais de plagioclásio. Os megacristais exibem microfissuras intragranulares preenchidas por sericita e por óxidos e hidróxidos de ferro.

Os cristais de ortoclásio da matriz são anedrais a localmente subedrais. Exibem dimensões desde submilimétricas a 1,0 cm, com contatos lobulados com plagioclásio e minerais máficos da matriz. Nas frações mais finas podem exibir contatos planos, tipicamente poligonizados.

O plagioclásio corresponde ao oligoclásio, com geminação polissintética característica, distribuídos pela matriz sob forma de cristais anedrais a subedrais ou formando pequenos agregados poligonizados, além de compor delgados anéis parciais nas bordas dos megacristais de ortoclásio. Também são frequentes cristais de plagioclásio ostentando marcantes feições mirmequíticas (Prancha 5.2, fotomicrografia 3). Os contatos com feldspato potássico são em sua maioria planos. O microfissuramento é baixo, e normalmente preenchido por fina massa sericítica e algum hidróxido de ferro. Alteração mineral é bastante localizada, compreendendo discreta argilomineralização.

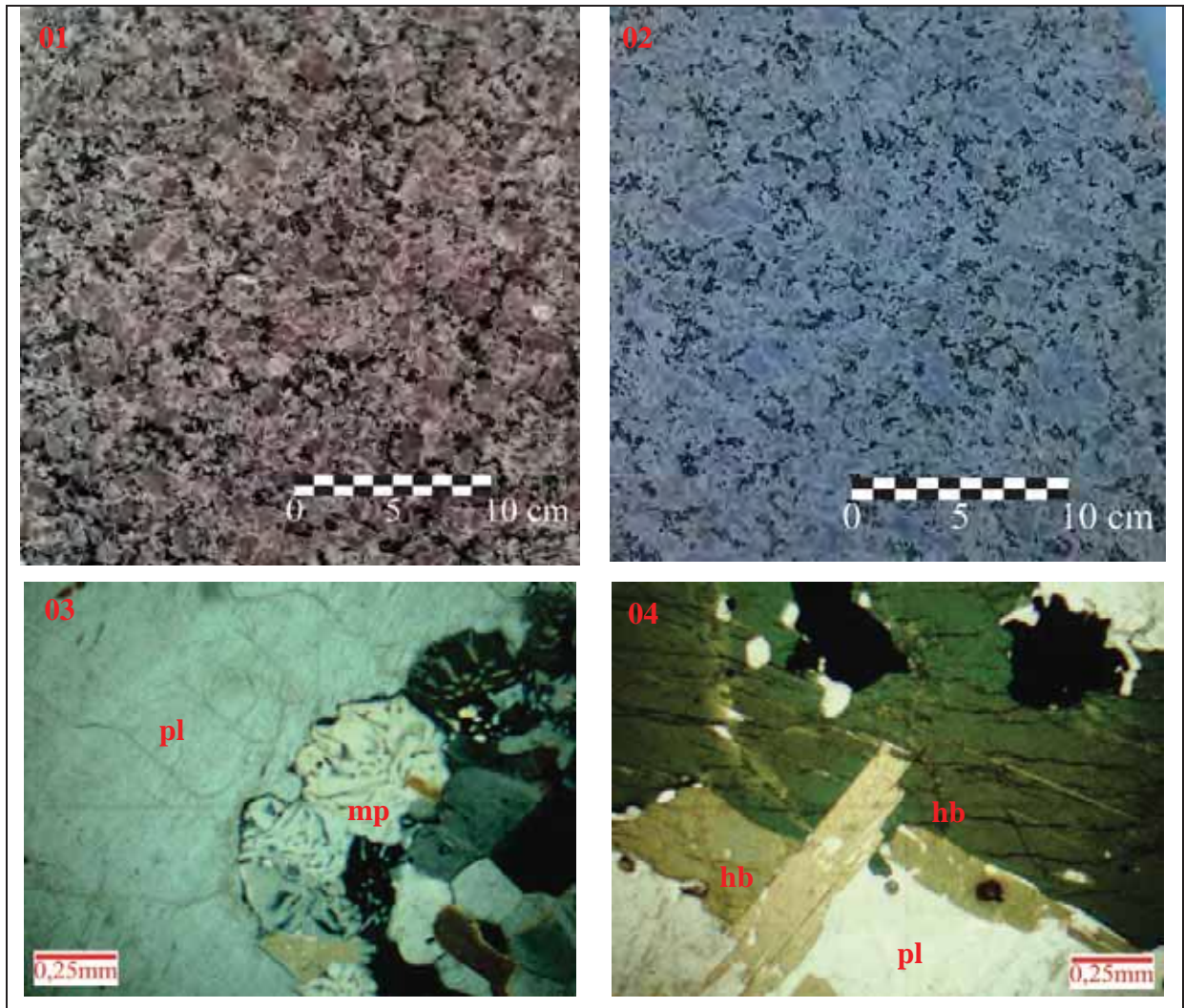
Os cristais de quartzo ocorrem isoladamente, essencialmente intersticial, com dimensões máximas ao redor de 2 mm. Apresentam formas anedrais irregulares, encontrando-se às vezes alongadas, com forte extinção ondulante e contatos côncavo-convexos. Apresentam incipiente microfissuramento intragrãos preenchido por sericita ou óxido hidróxido de ferro. Aparece também nos interstícios dos plagioclásios, sob formas ovaladas ou vermiformes, atingindo até 0,5 mm.

A biotita ocorre tanto isoladamente, sob forma de palhetas esparsas de dimensões submilimétricas a no máximo 1,5 mm, quanto associada a hornblenda. Exibe pleocroísmo castanho amarelado a marrom escuro, contatos predominantemente retos e formas subédricas a anédricas. São comuns inclusões de minúsculos cristais de zircão evidenciadas pela presença nítida de halos pleocróicos no interior das lamelas de biotita. Alteração é incipiente, limitando-se a bordas de reação com a hornblenda.

A hornblenda ocorre formando agregados com formas variadas, alongadas a estiradas, irregulares ou contornando parcialmente os megacristais, com dimensões oscilando entre 1 mm a 2 mm até cerca de 1,0 cm. Constituem cristais anedrais e subedrais prismáticos associados a biotita, intensamente fraturados, com característico pleocroísmo verde amarelado

a verde oliva. Localmente exibem bordas biotitizadas e, mais raramente, cloritizadas (Prancha 5.2, fotomicrografia 4).

Como minerais acessórios ocorrem titanita, normalmente como cristais primários bastante fraturados e deformados, apatita sob a forma granular com bastonetes variando de 0,3 a 1,0 mm, além de menores quantidades de opacos, zircão e allanita.



Prancha 5.2 Aspecto macroscópico polido ( foto 1) e bruto ( foto 2) e, microscópicos (fotomicrografias 3 e 4) do hornblenda sienito de Itabira. Fotomicrografia 3 aglutinação de textura gráfica no plagioclásio (nicóis cruzados). Fotomicrografia 4 hornblenda intensamente fraturada com bordas parcialmente biotitizadas (nicóis descruzados). Legenda pl (plagioclásio), mp (micropegmatito), hb (hornblenda).

### 5.3.3 Verde Labrador (charnockito com granada)

Corresponde a um charnockito megaporfírico serial de coloração verde escuro com matriz fanerítica média a média-grossa, hipidiomórfica, de estrutura isotrópica (Prancha 5.3, fotos 1 e 2). O feldspato potássico é o mineral predominante da rocha e ocorre basicamente como megacristais com formatos variados, predominantemente quadráticos a ligeiramente prismáticos e irregulares com bordas frequentemente corroídas ou mesmo irregulares, com dimensões máximas entre 1,5 cm e 2,0 cm. A matriz apresenta granulação entre milimétrica e cerca de 1,0 cm, predominantemente entre 3,0 mm e 5,0 mm, bastante quartzosa, e contendo cristais de plagioclásio subedrais a anedrais.

O microfissuramento é moderado a elevado em partes da rocha, num total considerado alto, com 6,39 microfissuras mm<sup>2</sup>, principalmente intragranular, por vezes intergranulares e transgranulares, principalmente presentes nos cristais maiores de quartzo, de feldspato potássico, de granada e do ortopiroxênio, onde a maior parte é do tipo intragranos não preenchidas (48,8 %). As microfissuras intragranos preenchidas representam cerca de 41,2 % e as intergros não preenchidas ao redor de 4,6 %.

A alteração é incipiente a fraca, praticamente restrita aos cristais de ortopiroxênio que se apresentam parcialmente bastitizados e oxidados (Prancha 5.3, foto 3). Os feldspatos mostram discretas pontuações de sericita, com o grau de alteração de aspecto pulverulento menor do que 10 % da superfície dos cristais.

Os tipos de contatos mais encontrados foram os côncavo-convexos (58,7 %), seguidos dos retos (36,5 %) e serrilhados (4,4 %), denotando bom engrenamento mineral.

#### ***Mineralogia***

A rocha é constituída por 40 % de feldspato potássico, seguido por 25 % de quartzo e 19 % de plagioclásio. Como minerais secundários e constituintes da matriz aparecem biotita, hornblenda, granada e hiperstênio. Encontram-se também, como minerais acessórios, traços de opacos, apatita e zircão.

O feldspato potássico dado pelo ortoclásio destaca-se como cristais maiores de formas tabulares ovaladas medindo até 15 mm ou como constituintes menores na matriz com dimensões médias entre 0,3 mm a 1,5 mm. Apresentam-se como cristais peritéticos, com geminação tipo Karlsbad e alteração (argilização sericitização) incipiente. Quando maiores

apresentam microfissuramento elevado, sendo que as microfissuras estão preenchidas por sericita, óxidos e hidróxidos de ferro e biotita de pleocroísmo verde. Os contatos são côncavo-convexos, exibem inclusões de microcristais de quartzo, plagioclásio, piroxênio e opacos. Os cristais menores são anédricos, exibem contatos côncavo-convexos e ausência de microfissuramentos.

plagioclásio presente é do tipo andesina, por vezes zonados, exibindo geminação polissintética e às vezes Karlsbad. Exibem formas tabulares e ripiformes euédricas a subédricas e leve saussuritização de aspecto pulverulento sobre as superfícies dos cristais.

quartzo ocorre tanto como cristais isolados com forte extinção ondulante, formas anédricas irregulares às vezes alongadas, e em contatos côncavo-convexos quanto sob forma de agregados de grãos anédricos, que no conjunto desenvolvem uma verdadeira malha ou rede interligada, de aspecto ligeiramente achatado a estirada, que envolve os demais cristais da rocha. Também ocorre compondo texturas gráficas e mirmequíticas nas bordas dos feldspatos, sendo comum nos interiores de cristais de plagioclásio, com formas vermiculares atingindo dimensões que superam 0,5 mm (Prancha 5.3, foto 4).

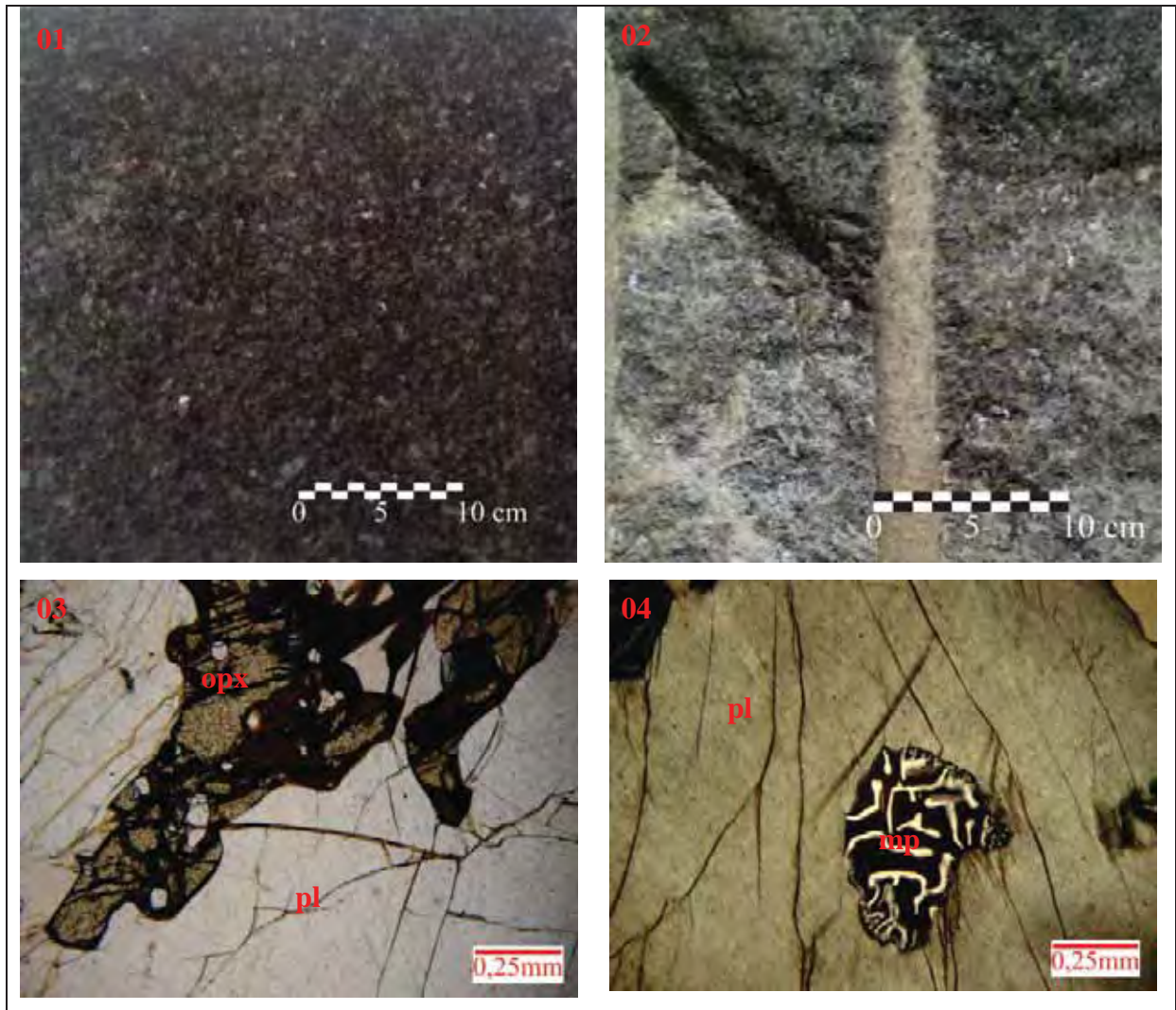
A biotita se apresenta tanto como lamelas primárias quanto resultantes da alteração parcial de cristais de piroxênios. No primeiro caso forma lamelas individualizadas ou sob pequenos agregados irregulares intersticiais com dimensões desde milimétricas a cerca de 2,5 mm, com pleocroísmo castanho amarelado a marrom escuro e raramente com ligeiro aspecto esverdeado devido a discreto efeito de cloritização. No segundo caso resultam de fraca biotitização nas bordas e ao longo de planos de clivagens do ortopiroxênio e ou clinopiroxênio, ocasiões que exibem pleocroísmo castanho claro tendendo a esverdeado.

piroxênio está representado pelo hiperstênio (aproximadamente 3%) e pelo diopsídio (ao redor de 1%) com formas alongadas prismáticas e arredondadas e dimensões de até 1,5 mm. Apresentam alto grau de microfissuramento, normalmente preenchido por biotita verde e óxidos e hidróxidos de ferro. No geral exibem discretas transformações para biotita e, mais raramente, para hornblenda verde, caracterizados por marcante liberação de opacos disseminados que se manifestam de forma pulverulenta sobre as superfícies dos cristais.

A hornblenda é encontrada como ex-solução nos cristais de hiperstênio ou na borda deste com pleocroísmo verde claro a verde escuro.

Os cristais de granada apresentam formas anédricas a subédricas com dimensões de 0,5 mm a 1,5 mm, encontrando-se muito fraturadas.

Os minerais acessórios estão representados por opacos, apatita e zircão, normalmente associados aos cristais de biotita e piroxênios e ou como diminutas inclusões nos demais minerais.



Prancha 5.3 Aspecto macroscópico polido (foto 1) e bruto (foto 2) e, microscópicos (fotomicrografias 3 e 4) do charnoquite verde abrasador. Fotomicrografia 3 ortopiroxênio ao centro bastante bastitizado e oxidados em contato com o plagioclásio (nicóis descruzados). Fotomicrografia 4 quartzo com formas vermiculares no interior do cristal de plagioclásio em nicóis cruzados. Legenda: opx (ortopiroxênio), pl (plagioclásio), mp (micropegmatito).

### 5.3.4 Cinza Corumbá (monzogranito)

corresponde a um monzogranito de coloração cinza claro com estrutura compacta e textura fanerítica de grã média a média-grossa, pouco inequigranular, de aspecto estético bastante homogêneo (Prancha 5.4, fotos 1 e 2). A granulação predominante oscila entre 2 mm e 4 mm com a presença mais ou menos frequente de cristas de feldspatos com dimensões que podem ultrapassar a 1,5 cm, homoganeamente distribuídos pela rocha.

A ocorrência de microfissuramento é moderada, com 2,21 microfissuras mm<sup>2</sup> (Tabela 5.1), na sua maioria dado por microfissuras intragrãos não preenchidas (64,4 %), sobretudo nos cristais maiores de feldspatos. As microfissuras intergrãos são restritas, com cerca de 1,3 não preenchidas e 2,7 preenchidas.

O grau de alteração dos constituintes minerais é considerada como incipiente nos cristais de feldspato potássico e de biotita e moderada nos cristais maiores de plagioclásio, principalmente devida a saussuritização nas porções centrais dos respectivos cristais.

Os contatos entre os minerais são em sua maioria côncavo-convexos (61,8 %), seguidos pelos retos (32,4 %) e serrilhados (5,8 %).

### *Mineralogia*

A mineralogia é constituída por 32 % de quartzo, 31 % de feldspato potássico, 25,5 % de plagioclásio (22 %), 7,5 % de biotita, apresentando ainda 0,4 % de opacos, 0,6 % de apatita, 1 % de titanita e traços de zircão, allanita e rutilo. Como minerais secundários apresenta sericita (2 %), clorita, epidoto e carbonatos (Tabela 5.1).

O feldspato potássico, representado pelo microclínio micropertítico, corresponde aos cristais com dimensões, seriadas, exibindo formas ovaladas a prismáticas, com predominância entre 1,5 cm e 2,0 cm (Prancha 5.4, foto 3). Os contatos com demais minerais são do tipo côncavo-convexos, muitas vezes interpenetrados. Também são frequentes texturas mirmequíticas nos contatos com cristais de plagioclásio. Os cristais maiores exibem microfissuras intragranulares preenchidas por sericita e por óxidos e hidróxidos de ferro.

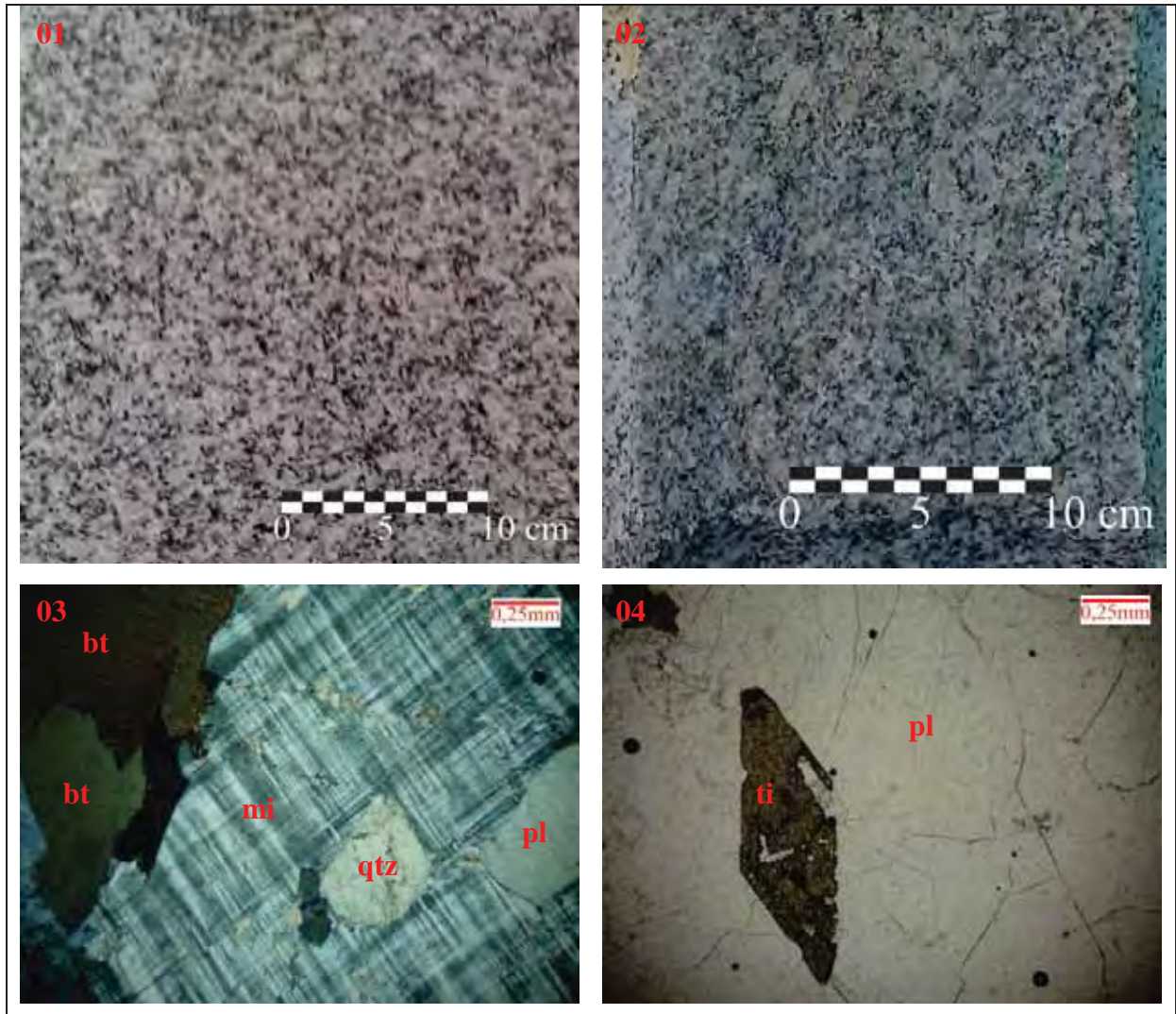
O plagioclásio corresponde ao oligoclásio, com geminação polissintética característica, distribuídos pela massa da rocha sob forma de cristais anedrais a subedrais ou formando pequenos agregados poligonizados. Também são frequentes cristais de plagioclásio

com marcantes feições mirmequíticas. microfissuramento é baixo, intragrão, e normalmente preenchido por fina massa sericítica e algum hidróxido de ferro.

Os cristais de quartzo ocorrem isoladamente, essencialmente intersticial, com dimensões máximas ao redor de 3 mm. Apresentam formas anedrais irregulares ou arredondadas e contatos côncavo-convexos. Apresentam incipiente microfissuramento intragrãos preenchidas por sericita ou óxido hidróxido de ferro. Aparece também nos interstícios dos plagioclásios, sob formas ovaladas ou vermiformes, atingindo até 0,5 mm.

A biotita forma pequenos agregados irregulares a alongados e exibe pleocroísmo castanho amarelado a marrom escuro, contatos predominantemente retos e formas subédricas a anédricas.

Como minerais acessórios ocorrem titanita (Prancha 5.4, foto 4), normalmente como cristais primários bastante fraturados e deformados, apatita variando de 0,3 mm a 1,0 mm, o zircão e os opacos. É possível encontrar traços de clorita sobre bordas e ao longo de planos de clivagens da biotita.



Prancha 5.4 Aspecto macroscópico polido (oto 1) e bruto (oto 2) e, microscópicos (fotomicrografias 3 e 4) do monzogranito inza orumbá. otomicrografia 3 microclínio com típica germinação em grade com inclusões de cristais de quartzo (nicóis cruzados). otomicrografia 4 titanita eudral com inclusões de apatita e plagioclásio com fraturas preenchidas por sericitas e hidróxidos de ferro (nicóis descruzados). legenda bt (biotita), mi (microclínio), qtz (quartzo), pl (plagioclásio), ti (titanita).

### 5.3.5 Timbalada (muscovita pegmatito granítico hidrotermalizado)

Equivale ao pegmatito granítico Mascarello afetado por intenso processo de hidrotermalização que lhe imprime coloração geral verde musgo (Prancha 5.5, otos 1 e 2). Também exhibe pontuações e manchas irregulares, normalmente difusas, de coloração

acastanhada a vermelho sangue dada por óxidos e hidróxidos de ferro caoticamente distribuídas pela rocha. A coloração verde resulta de discreta alteração micropontual de parte dos cristais de feldspato potássico com a produção de fina massa microcristalina filossilicática (sericita muscovita fíngítica) que também pode se irradiar ao longo de planos de clivagens e das interfaces minerais.

A rocha exhibe estrutura isotrópica com textura pegmatítica de granulação muito grossa a gigante, com cristais de microclínio e de quartzo com dimensões que chegam a superar 10 cm imersos em massa também inequigranular oscilando de alguns milímetros a 2 cm, com predominância entre 3 cm e 5 cm. A albita forma cristais de pequenas dimensões, normalmente inferiores a 1 cm, podendo ser irregulares a frequentemente prismáticos e com tonalidades róseo claro a levemente amarelada. A muscovita, de aspecto prateado, forma agregados lamelares com dimensões máximas observadas entre 0,5 cm a 2 cm preferencialmente concentradas em determinadas porções da fração pegmatóide.

Apesar de microscopicamente (Tabela 5.2) evidenciar um grau de microfissuramento aparentemente baixo, com 4,2 microfissuras  $\text{mm}^2$ , principalmente do tipo intragrão (94,5 do total com cerca de 58,2 não preenchidas e 36,3 preenchidas), em nível macroscópico exhibe visível grau de microfissuramento tanto intragrão (cristais maiores de quartzo) quanto transgralunar com planos normalmente abertos e quase sempre preenchido por fina massa microcristalina filossilicática mais ou menos enriquecida em óxidos e hidróxidos de ferro, cujas dimensões oscilam entre subcentimétricas até cerca de 5 cm a 6 cm de extensão.

entre os tipos de contato minerais, o mais comum é o reto, com 44,2, decorrente da presença de minerais com hábitos lamelares (micas) e tabulares (feldspatos), seguidos pelo côncavo-convexo (44,2), em função da presença de quartzo e albita na massa menos pegmatítica, e do tipo serrilhado com cerca de 15,3 indicando esforço durante o crescimento do mineral, destacando-se que muito desses contatos minerais estão preenchidos por fina massa sericítica.

A alteração mineral é discreta, destacando-se a quase imperceptível microalteração parcial de cristais de microclínio na geração de microagregados filossilicáticos esverdeados e pela evidente presença de hidróxidos sobre cristais de feldspato potássico e ao longo de planos de clivagens e de microfissuras e em interfaces minerais.

## ***Mineralogia***

A constituição mineralógica essencial é caracterizada por aproximadamente 31 de quartzo, 40 de microclínio, 15,5 de plagioclásio e 7,5 de muscovita, tendo como acessórios cerca de 0,5 de biotita, 0,5 de minerais opacos, 0,5 de topázio e traços de apatita e de turmalina (Tabela 5.2). Os minerais secundários correspondem a aproximadamente 1,5 de sericita, 1,5 de goetita, 1,5 de hidróxido de ferro e traços de epidoto.

O feldspato potássico é representado pelo microclínio que ocorre em cristais com tamanhos e formas extremamente variadas, podendo ser irregulares, arredondados ou prismáticos, com dimensões desde milimétricas a até 9 cm e 10 cm e com coloração oscilando de verde claro a verde musgo escura. Os cristais maiores exibem discreta geminação em grade, certa riqueza em microinclusões de microlamelas esverdeadas, provavelmente sericítica, e com microfissuras intra- a intergranulares normalmente paralelas aos planos de clivagens. As microfissuras são preenchidas por sericita, goetita e hidróxido de ferro.

Os cristais de quartzo, como no caso do microclínio, apresentam dimensões, formas e distribuição bastante variadas, desde intersticiais, irregulares a levemente arredondados, podendo constituir cristais próximos a 10 cm e, com certa frequência, intercrescidos com os feldspatos (Prancha 5.5, foto 3). Os cristais maiores são bastante fraturados, podendo ser cruzados, com planos visivelmente abertos e preenchidos por fina massa filossilicática mais ou menos pigmentada por hidróxido de ferro, por vezes irradiadas, que lhes conferem coloração levemente esverdeada com manchas mais ou menos difusas de coloração amarelo-acastanhada.

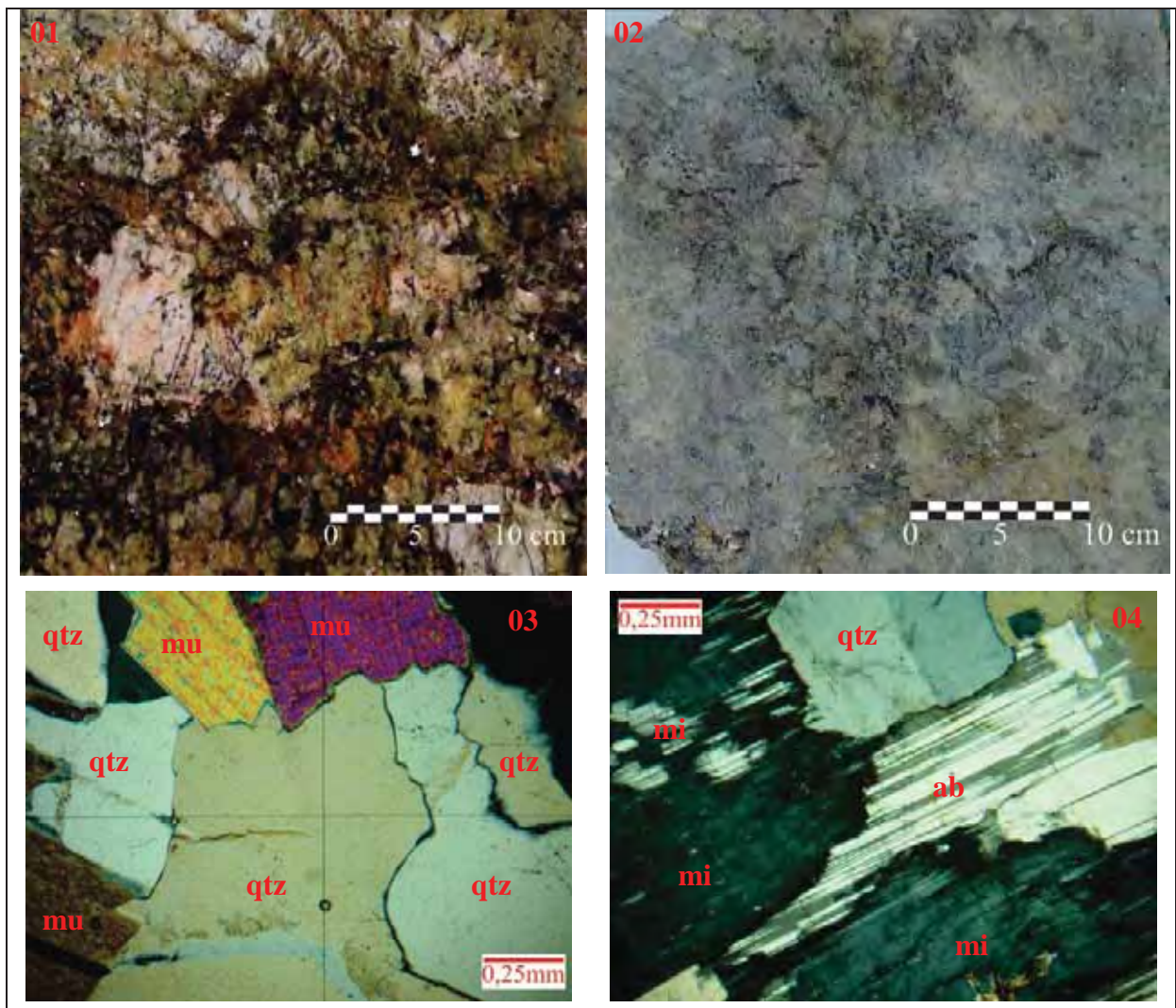
O plagioclásio está representado pela albita, com nítida geminação polissintética, e é mais frequente nas frações mais finas da rocha, onde forma cristais subdráis de dimensões reduzidas, normalmente inferiores a 1 cm. Encontra-se praticamente inalterada, apenas localmente sericitizada a discretamente muscovitizada (Prancha 5.5, foto 4).

A muscovita ocorre em agregados lamelares com hábito tabular e bordas esfiapadas, dimensões de até 2 cm e contatos retos. Algumas lamelas exibem discreta alteração, normalmente localizada, para agregados sericíticos de aspecto pulverulento.

A goetita, produto de alterações sobre minerais opacos, ocorrem em agregados com formatos arredondados a irregulares de dimensões milimétrica a até 5 mm ou 6 mm, caoticamente distribuídos na massa pegmatítica. Exibem coloração vermelha típica a amarelada, e muitas vezes encontram-se parcial a totalmente dissolvidas gerando poros e microporos abertos, sem interligação entre si.

s óxidos e hidróxidos de ferro, também gerados de minerais opacos, da própria goethita, de feldspatos e mais raramente de vestígios de biotita, se distribuem no interior dos cristais de microclínio e mais evidentemente concentrados e infiltrados ao longo de planos de clivagens e microfissuras minerais.

omo minerais acessórios são observados alguns poucos cristais de topázio, de dimensões ao redor de 1,5 mm a 2,5 mm minúsculos cristais prismáticos de turmalina verde raros bastonetes de apatita e cristais prismáticos de zircão.



Prancha 5.5 Aspecto macroscópico polido (oto 1) e bruto (oto 2) e, microscópicas (fotomicrografias 3 e 4) do pegmatito hidrotermalizado Timbalada. otomicrografia 3 vários cristais de quartzo com fraturas preenchidas por sericita e contatos côncavo-convexos com os outros minerais a retos quando em contato com a muscovita (nicóis cruzados). otomicrografia 4 albita no centro apresentando certa sericitização e microclínio parcialmente albitizado (nicóis cruzados). legenda qtz (quartzo), mu (muscovita), mi (microclínio), ab (albita).

### 5.3.6 Mascarello (pegmatito granítico)

Rocha pegmatítica similar ao Timbalada não hidrotermalizado, corresponde a um pegmatito granítico de cor amarelada com estrutura isotrópica e textura pegmatítica heterogênea com granulação grossa a muito grossa destacada pela existência de cristais de microclínio e de quartzo que atingem dimensões entre 2 cm e 8 cm, seguidos pela muscovita com dimensões máximas observadas ao redor de 2cm (Prancha 5.6, fotos 1 e 2). A albita é pouco frequente, cujas dimensões se situam abaixo de 1,5 cm. A massa de menor granulação exhibe granulação inequigranular, variável entre 0,5 cm a 2 cm, com teor de minerais máficos em torno de 14,5%. O quartzo é o mineral com as maiores variações dimensionais, oscilando desde a granulação da massa mais fina até a granulação mais desenvolvida do pegmatito.

A coloração amarelada deve-se à marcante presença de hidróxidos de ferro que colore os cristais de feldspato potássico, secundariamente os de quartzo, além da evidente percolação e infiltração ao longo de planos de clivagens, de microfissuras e interfaces minerais.

Similarmente ao observado para o pegmatito Timbalada, apesar do referido pegmatito evidenciar sob o microscópio um grau de microfissuramento relativamente baixo, com 3,4 microfissuras/mm<sup>2</sup> (Tabela 5.2), com cerca de 98,6% de microfissuras intragrãos (52% preenchidas e 46,6% não preenchidas), macroscopicamente observa-se a existência de um microfissuramento intragrão e transgranular marcantes, sendo que os transgranulares atingem extensões que superam a casa dos 5 cm a 6 cm. Estes são abertos e normalmente preenchidos por fina massa filossilicática enriquecidas por hidróxidos de ferro que lhe imprimem coloração amarelo-acastanhada.

Os contatos dos minerais estão, muitas vezes, desenhados por hidróxido de ferro dos quais 34,8% são retos devido a grande presença de minerais prismáticos e com hábitos lamelares e 11,6% são serrilhados devido a discretos sinais de deformacionais.

A alteração mineral é relativamente mais elevada que a observada no pegmatito Timbalada, caracterizada pela maior sericitização do microclínio e da albita, bem como pela maior frequência de epidoto e de argilização sobre a albita.

#### *Mineralogia*

A composição modal deste pegmatito está representada por aproximadamente cerca de 42% de microclínio, 14,5% de albita, 29% de quartzo e 8,7% de muscovita, bem como por

0,5 de opacos, 0,3 de topázio e traços de biotita, apatita e zircão. Os minerais secundários estão representados por cerca de 2 de sericita, 1,5 de goethita, 1,5 de hidróxidos de ferro e traços de epidoto.

O feldspato presente é o microclínio medindo entre 3 cm a 8 cm, exibindo alteração leve dada pela sericitização e evidentes sinais de oxidação do ferro. Os cristais apresentam-se com discreta geminação em grade, com predominância de contatos retos e muito microfissurados. As microfissuras normalmente se dispõem paralelas a clivagem e são preenchidas por fina massa filossilicática verde parcialmente pigmentada por hidróxidos de ferro.

Os cristais de quartzo ocorrem com formas anedrais a arredondadas, com contornos irregulares, tamanhos desde 7 cm a 8 cm e as dimensões em torno de 1 cm a 2 cm, correspondentes à granulação da massa pegmatítica intersticial. Apresentam fraturas tanto preenchidas por hidróxido de ferro, quanto cicatrizadas.

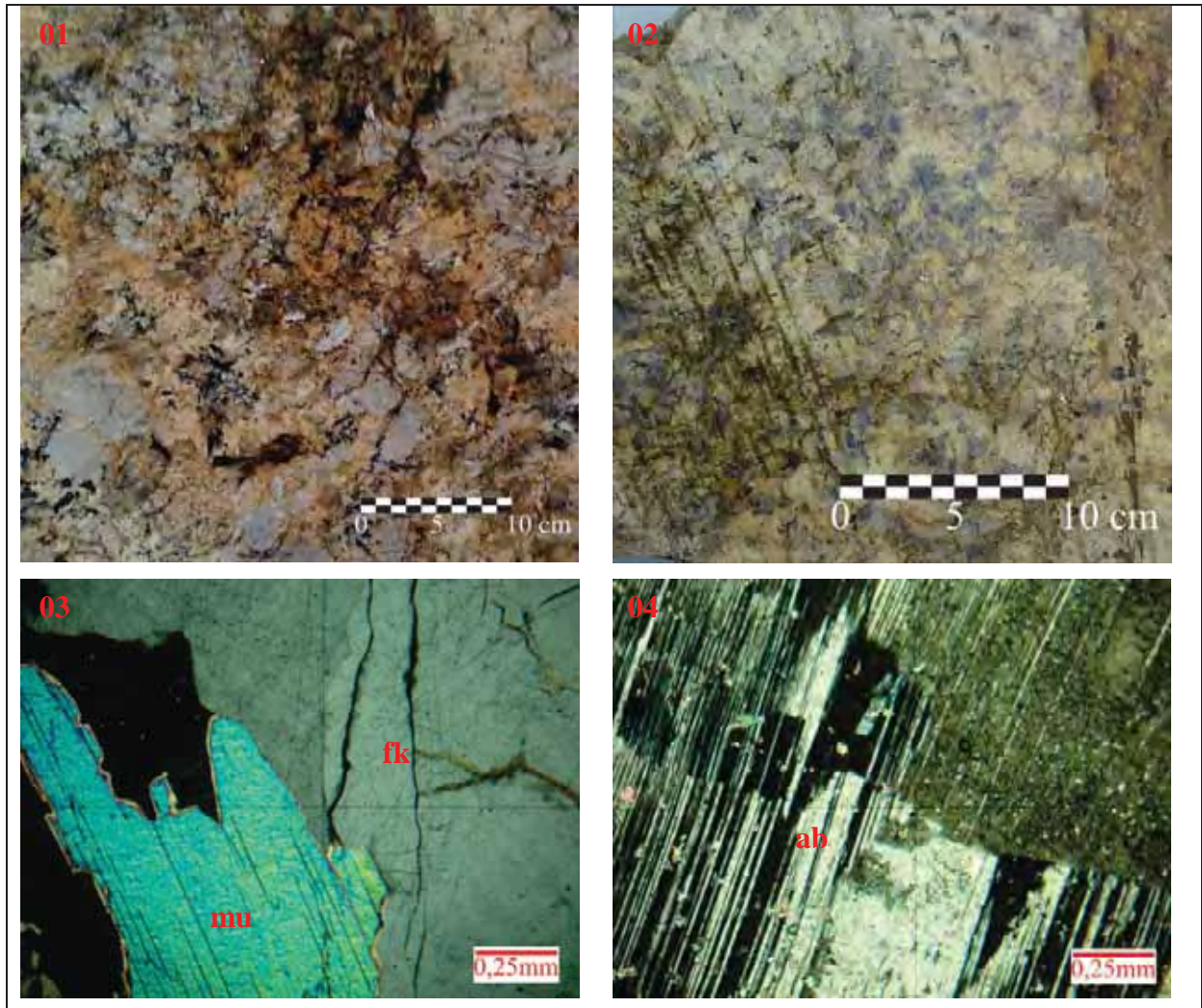
O plagioclásio presente é representado pela albita que se encontra parcialmente sericitizada a argilizada e com as bordas serrilhadas, indicando sinal de esforço (Prancha 5.6, foto 4). Seu tamanho atinge até 2 cm e as microfissuras estão preenchidas por hidróxido de ferro e sericita.

A muscovita, assim como na rocha anterior, ocorre em agregados lamelares com hábito tabular e bordas esfiapadas, dimensões de até 2 cm e contatos retos (Prancha 5.6, foto 3). Algumas lamelas exibem discreta alteração, normalmente localizada, para agregados sericíticos de aspecto pulverulento.

O hidróxido de ferro é encontrado nos interstícios e preenchendo as fraturas dos minerais. Produto de oxidação parcial do feldspato potássico, minerais opacos e restitos biotíticos, sendo que no caso dos minerais opacos geram os agregados goethíticos.

Nos cristais de plagioclásio são encontrados pequenos grãos de epidoto, sendo denotados através de sua coloração esverdeada com nicóis descruzados, associados a muscovita que também se aloja nos plagioclásios.

A turmalina aparece em seu hábito prismático típico e extinção paralela, encontrada em pequenas dimensões na rocha, frequentemente inclusas em cristais de microclínio.



Prancha 5.6 Aspecto macroscópico polido (oto 1) e bruto (oto 2) e, microscópicos (fotomicrografias 3 e 4) do pegmatito granítico Mascarello. Otophotomicrografia 3 muscovita esquerda e feldspato potássico direita com fraturas preenchidas por hidróxidos de ferro (nicóis cruzados). Otophotomicrografia 4 albita parcialmente sericitizada (nicóis cruzados). Legenda mu (muscovita), f (feldspato potássico), ab (albita).

### 5.3.7. Gialitta (Pegmatito Granítico)

Corresponde a um pegmatito granítico de cor creme a pouco amarelado com estrutura discretamente orientada e texturalmente heterogêneo em virtude da brusca variação na granulação de seus constituintes minerais (Prancha 5.7, otos 1 e 2). Exibe aspecto geral movimentado resultante da interação entre frações de granulação média a média-grossa, marcada por certa gnaissificação levemente ondulada, e pegmatóides alongadas de coloração

creme mais ou menos concordantes com a foliação geral da rocha. As frações pegmatóides quartzo-feldspáticas apresentam granulação altamente variável, com porções onde a granulação predominante oscila entre 1,5 cm e 4 cm e outras contendo cristais de feldspato gráfico que atingem ao redor de 20 cm ao longo da maior extensão. Estes cristais maiores apresentam zonamento heterogêneo com a presença de porções com diferentes padrões de texturas gráficas desenhados por quartzo vermicular esfumados a levemente amarelados. A composição da fração pegmatóide é representada por feldspato potássico (podendo ou não exibir textura gráfica), plagioclásio e quartzo e praticamente desprovida de micas.

A fração mais fina, de aspecto geral levemente gnáissico, é marcadamente inequigranular com granulação variando desde milímetros a mais ou menos 1 cm, com predominância entre 2 mm e 4 mm. Sua composição é igualmente quartzo-feldspática com cerca de 5% de biotita e ao redor de 1% de granada.

Os contatos minerais, em seu conjunto mais amplo, são predominantemente côncavo-convexo, cerca de 64%, seguidos pelos retos (25%) e serrilhados (11%). Nas frações mais pegmatíticas os contatos dos cristais de maiores dimensões se caracterizam ora por longos trechos retilíneos ora por intenso e irregular engrenamento com outros minerais vizinhos, ocasiões em que gradam rapidamente para porções de granulação bastante fina (até milimétrica) que envolvem parcialmente os megacristais feldspáticos.

O microfissuramento é igualmente variável, predominantemente intragrãos nas frações de granulação mais fina a pouco pegmatóide e relativamente elevada nas porções pegmatóides, onde são freqüentes microfraturas intergrãos e transgranulares mais ou menos abertas e com preenchimento por fina massa filossilicática contendo hidróxidos de ferro. Também se destaca a presença de evidentes planos de clivagens relacionadas aos cristais de feldspato potássico mais desenvolvidos, realçadas pela presença de hidróxidos de ferro.

As determinações efetuadas sob observação microscópica indicaram na média 3,2 microfissuras mm<sup>2</sup>, principalmente do tipo intracristalina, das quais 58,2% não são preenchidas e 35,4% são preenchidas por filossilicatos. Entretanto, as microfissuras transgranulares são melhores observadas macroscopicamente, e, como acima comentado, são mais freqüentes nas porções com texturas tipicamente pegmatíticas.

A alteração mineral é discreta, denotada por certo grau de saussuritização de cristais de plagioclásio das frações menos pegmatóides e, localmente, pela muscovitização de biotita com certa liberação de opacos disseminados e de hidróxidos de ferro que se irradiam pelas microfissuras e planos de clivagens dos minerais vizinhos.

## *Mineralogia*

A mineralogia essencial média da rocha está representada por 25 de quartzo, 41 de feldspato potássico, 24 de plagioclásio, 5 de biotita, 3,5 de muscovita, 1 de granada e 05 de sillimanita, além de traços de opacos e apatita. Os minerais secundários correspondem praticamente a traços de sericita, epidoto e de óxidos e hidróxidos de ferro.

O feldspato potássico presente é o microclínio com megacristais de até 20 cm com inclusões de grãos de quartzo, por vezes cortados por delgados leitos de biotita. Os cristais das frações mais finas da rocha, de aspecto gnáissico, exibem contatos predominantemente côncavo-convexos e os cristais das porções pegmatóides mostram tanto contatos retos quanto fortemente engrenados, com típica geminação em grade, podendo conter inclusões de albita, e extensas microfissuras preenchidas por sericita e hidróxidos de ferro.

O plagioclásio das frações gnáissicas não pegmatóides é representado pelo oligoclásio subedral com discretos efeitos de saussuritização nas porções mais internas dos cristais, são pouco microfissurados, com nítida geminação polissintética. Nas frações pegmatóides o plagioclásio é raro, e normalmente é dado por pequenos cristais de albita inclusos no feldspato potássico.

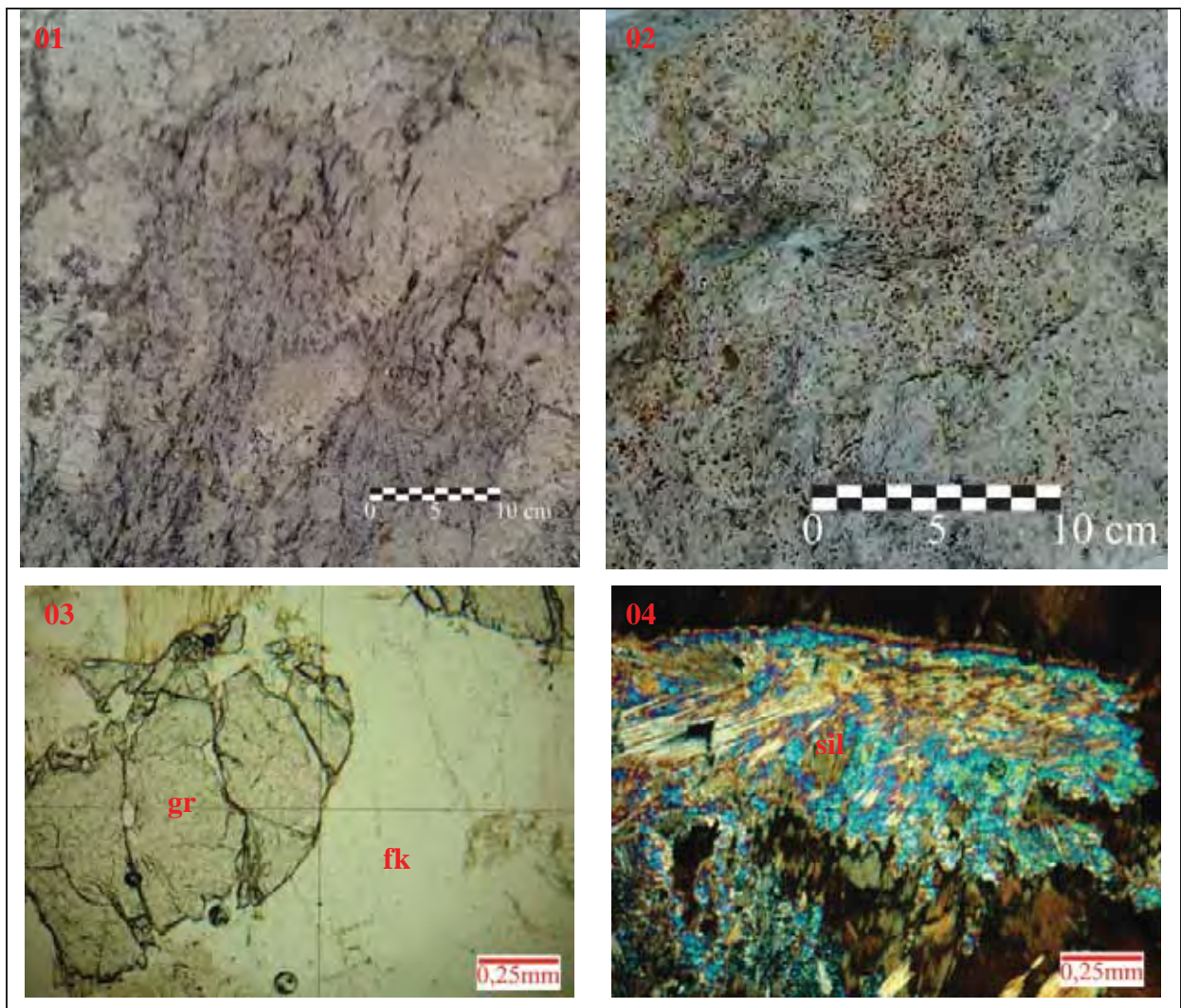
O quartzo ocorre tanto distribuído pela massa rochosa como inclusos nos cristais maiores de feldspato potássico da fração pegmatóide, nestes casos predominantemente associados às texturas gráficas então presentes. Os cristais da massa rochosa apresentam dimensões desde milimétrica a até 2 cm, com formas variadas, alongados, arredondados e irregulares de coloração creme claro a levemente esfumado, sendo que os cristais maiores exibem moderado grau de microfissuras intragrãos preenchidas por filossilicatos contendo hidróxidos de ferro.

A biotita ocorre como lamelas ou pequenos livretos caoticamente distribuídos nas porções de aspecto mais gnáissico e de menor granulação da rocha e mais frequentemente formando concentrações lineares descontínuas entre os cristais maiores de feldspato das porções pegmatóides. As lamelas exibem dimensões entre 0,5 mm a 5 mm, e localmente encontram parcialmente muscovitizadas, adquirindo aspecto pulverulento devido a intensa geração de opacos disseminados e pela liberação de óxidos de ferro.

A muscovita está presente na rocha como mineral primário e como produto de alteração da biotita, frequentemente associada a granada e de agregados aciculares de sillimanita.

A granada ocorre nas frações mais finas da rocha sob forma de cristais isolados, basicamente arredondados, e com dimensões reduzidas, entre 0,3 mm a no máximo 2 mm (Prancha 5.7, foto 3). Os cristais são fortemente microfissurados, tipo intragrãos, com fissuras tanto vazias quanto preenchidas por filossilicatos e por hidróxidos de ferro.

A sillimanita ocorre sob forma de pequenas concentrações reliquiares de cristais aciculares associadas a biotita e, menos frequentemente, a muscovita (Prancha 5.7, foto 4). Localmente encontram-se parcialmente transformadas para sericita.



Prancha 5.7 Aspecto macroscópico polido (foto 01) e bruto (foto 02) e, microscópicos (fotomicrografias 3 e 4) do pegmatito granítico de Ialita. A fotomicrografia 3 granada, relevo alto, fortemente microfissurada, com fissuras vazias, feldspato potássico com microfissuras fechadas (nicóis descruzados). A fotomicrografia 4 concentrações de sillimanita ao centro associada a biotita (nicóis cruzados). Legenda gr (granada), f (feldspato potássico), sil (sillimanita).

### 5.3.8 Icaraí Light (granulito quartzo-feldspático com sillimanita)

Corresponde a um granulito quartzo-feldspático com granada e sillimanita de coloração amarelada com estrutura ligeiramente gnaissificada e textura granoblástica de granulação média a média-grossa, pouco inequigranular (Prancha 5.8, fotos 1 e 2). A granulação oscila entre menos de 1 mm e pouco mais de 1 cm, com predominância entre 2 mm e 5 mm. Os cristais maiores estão representados pelo feldspato potássico e pelo quartzo, na maioria das vezes com formas alongadas, por vezes estiradas, preferencialmente isoorientados realçando a foliação gnáissica da rocha. A granada com teores ao redor de 4 constitui cristais arredondados com dimensões variando de 1 mm a 4 mm, heterogeneamente distribuída pela superfície polida da placa rochosa, e que em virtude de sua coloração avermelhada se destaca na massa esbranquiçada da rocha. A biotita é pouco frequente, preferencialmente em pequenos agregados de dimensões milimétricas mais ou menos orientados, podendo conter concentrações de minúsculos cristais aciculares a fibrosos de sillimanita.

A coloração geral levemente amarelada exibida pela rocha se deve a certo grau de oxidação do ferro que sob forma de hidróxido percola e se irradia ao longo de microfissuras, principalmente em cristais de quartzo, e das interfaces minerais.

A ocorrência de microfissuramento é baixo, com 2,8 microfissuras  $\text{mm}^2$  (Tabela 5.2) na sua maioria dado por microfissuras intragrãos não preenchidas (60,2 %), sobretudo nos cristais maiores de feldspato potássico e de quartzo. As microfissuras intergrãos preenchidas também são frequentes (17,3 %) nas porções da rocha com granulação mais desenvolvida.

O grau de alteração dos constituintes minerais pode ser considerado como incipiente a fraco, praticamente restrita a fraca sericitização e discreta argilização de cristais de plagioclásio e pela presença de óxidos e hidróxidos de ferro em microfissuras, planos de clivagens e interface mineral.

Os contatos entre os minerais são em sua maioria côncavo-convexos (66,5 %), seguidos pelos retos (29,5 %) nas frações mais finas da rocha e caracterizadas por típica textura poligonizada.

## Mineralogia

A mineralogia é constituída por 39 de ortoclásio mesopertítico, 35 de quartzo, 17 de plagioclásio, além de 3,5 de biotita, 4 de granada, 1,5 de sillimanita e traços de opacos e apatita. Os minerais secundários estão representados por sericita, algum epidoto microgranular e raros agregados carbonáticos, além da presença de óxidos e hidróxidos de ferro.

feldspato potássico, representado pelo microclínio mesopertítico, forma cristais com dimensões seriadas que vão desde submilimétricas até cerca de 2 cm ao longo da maior dimensão, com predominância entre 2 mm e 7 mm a 8 mm. Exibem formas ovaladas alongadas a prismáticas e praticamente desprovidos de inclusões de minerais máficos. Os contatos com demais minerais são do tipo côncavo-convexos. Os cristais maiores exibem microfissuras intragranulares preenchidas por sericita e por óxidos e hidróxidos de ferro.

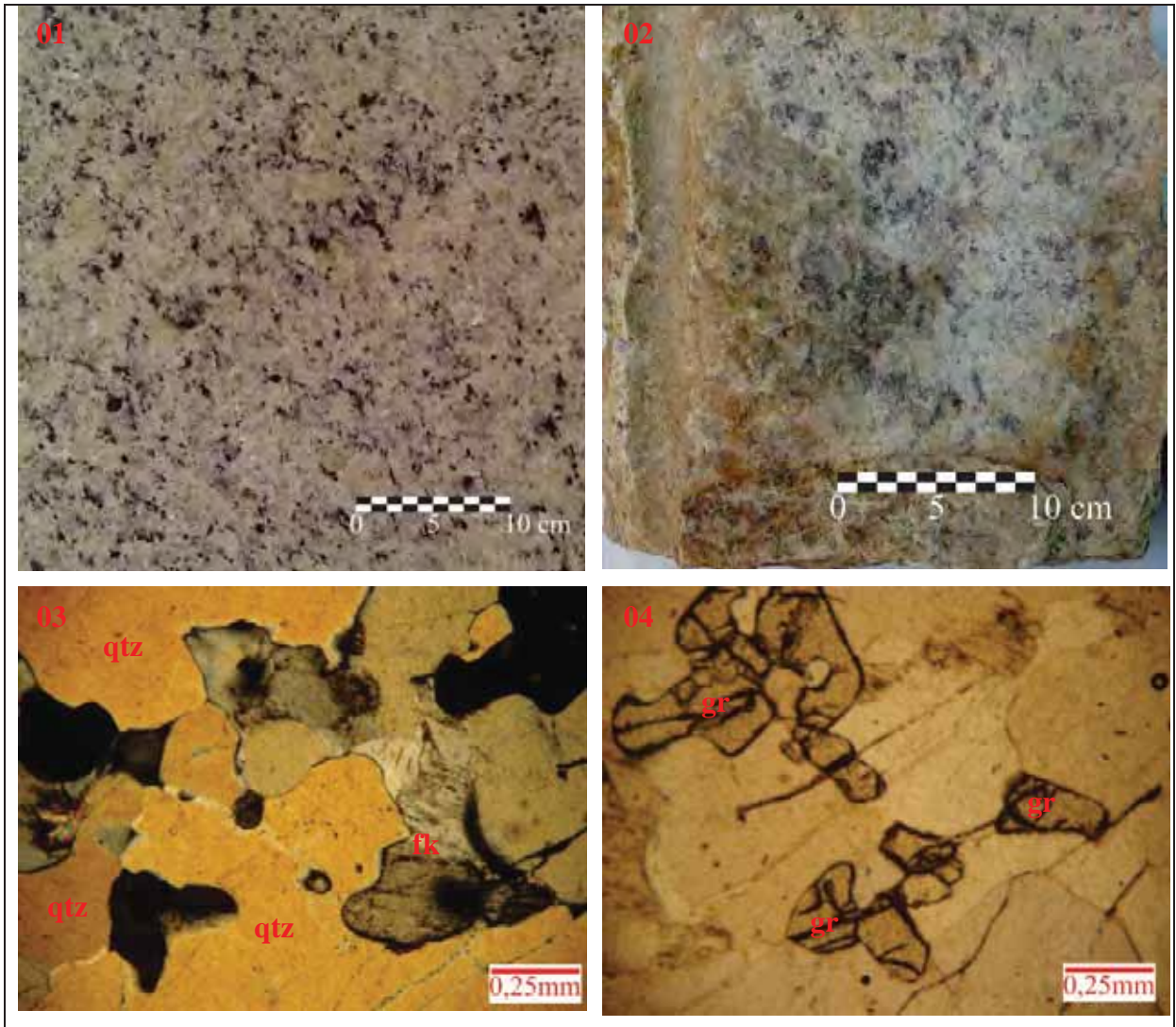
plagioclásio corresponde ao oligoclásio, com geminação polissintética característica, distribuídos pela matriz sob forma de cristais anedrais a subedrais ou formando pequenos agregados poligonizados. O microfissuramento é baixo, e normalmente preenchido por fina massa sericítica e algum hidróxido de ferro.

Os cristais de quartzo ocorrem isoladamente, essencialmente intersticial, com dimensões máximas ao redor de 5 mm. Apresentam formas anedrais irregulares, encontrando-se às vezes alongadas, com forte extinção ondulante e contatos côncavo-convexos (Prancha 5.8, foto 3). Apresentam incipiente microfissuramento intragrão, onde é comum ver fraturas cicatrizadas.

A biotita ocorre tanto isoladamente, sob forma de palhetas esparsas de dimensões submilimétricas a no máximo 1 mm, agrupadas, e também quanto associada a sillimanita e granada. Exibe pleocroísmo castanho amarelado a marrom escuro, contatos predominantemente retos e formas subédricas a anédricas.

A granada ocorre preferencialmente na forma de cristais individuais, podendo ser arredondados, alongados ou irregulares, com dimensões de até 5 mm e intensamente fraturados (Prancha 5.8, foto 4).

A sillimanita forma agregados aciculares a fibrosos, normalmente associados aos concentrados de biotita, no conjunto representando pequenas manchas surmicáceas restíticas do processo metamórfico dinamotermal.



Prancha 5.8 Aspecto macroscópico polido (oto 1) e bruto (oto 2) e, microscópicos (fotomicrografias 3 e 4) do granulito Icaraí ight. otomicrografia 3 quartzo com suas formas anedrais irregularres e com contatos côncavo-convexos com feldspato potássico e granada (nicóis cruzados). otomicrografia 4 granada com suas formas irregulares, microfraturadas com os interstícios preenchidos por óxidos e hidróxidos de ferro (nicóis descruzados). egenda qtz (quartzo), f (feldspato potássico), gr (granada).

### 5.3.9 Golden Cristal (biotita gnaissé migmatizado)

Trata-se de um migmatito metatexítico com paleossoma de biotita gnaissé de coloração geral amarelo-acastanhada devido intensa percolação de óxidos e hidróxidos de ferro derivados de moderado efeito hidrotermal sobre cristais de feldspato e de biotita, mais

intensamente desenvolvida sobre concentrações neossômicas (Prancha 5.9, fotos 1 e 2). O neossoma quartzo-feldspático representa menos de 15% da amostra analisada e imprime estrutura estromática, discretamente dobrada, com a presença de pequenas concentrações quartzo-feldspáticas inequigranulares de granulação média a grossa, pouco superiores do paleossoma, com cristais de feldspato potássico com dimensões que podem superar a 1 cm. O paleossoma está representado por um biotita gnaisse com estrutura fitada, discretamente ondulada, com textura granoblástica equigranular de granulação média, predominantemente entre 0,3 mm a 5 mm. O melanossoma biotítico é pouco desenvolvido e caracterizado por forte efeito de oxidação do ferro.

Os contatos minerais da fração paleossômica oscilam entre retos nas porções poligonizadas (34,4%) e predominantemente côncavo-convexos (59,1%) nas porções não poligonizadas. Na fração neossômica predominam contatos interpenetrados, denotando, no geral, bom engrenamento mineral.

O grau de microfissuramento é considerado relativamente elevado, atingindo 4,9 microfissuras/mm<sup>2</sup>, com cerca de 68,8% de microfissuras intragrãos abertas e vazias e 24,6% de microfissuras intragrãos preenchidas por sericita pigmentadas por óxidos e hidróxidos de ferro. Microfissuras intergranulares são pouco pronunciadas e chegam a 6,6%, com 3,3% preenchidas.

### ***Mineralogia***

Na média é constituída por 28% de quartzo, 40% de feldspato potássico, 21% de plagioclásio, 8,5% de biotita e 2,5% de sillimanita, além de traços de opacos, apatita e zircão.

Como minerais secundários ocorrem muscovita, sericita, epidoto e óxidos e hidróxidos de ferro (Tabela 5.2).

O feldspato potássico do paleossoma é representado por ortoclásio perítico mais ou menos microclinizado, com formas subedrais a eudrais, alongadas, medindo entre 0,5 mm a 3 mm, em contatos retos de forma mais expressiva, devido a texturas poligonizadas, e côncavo-convexos com os outros minerais. Já os cristais do neossoma são mais desenvolvidos, pouco mais microclinizados e com contatos minerais côncavo-convexos mais expressivos. A peritita se manifesta sob forma de fios, filmes e frequentemente como veios, muitas vezes curvadas, e com extinção ondulante, evidenciando deformações pouco mais tardias (Prancha 5.9, foto 3). Exibe grau de alteração incipiente, com fraca sericitização e aspecto geral pulverulento.

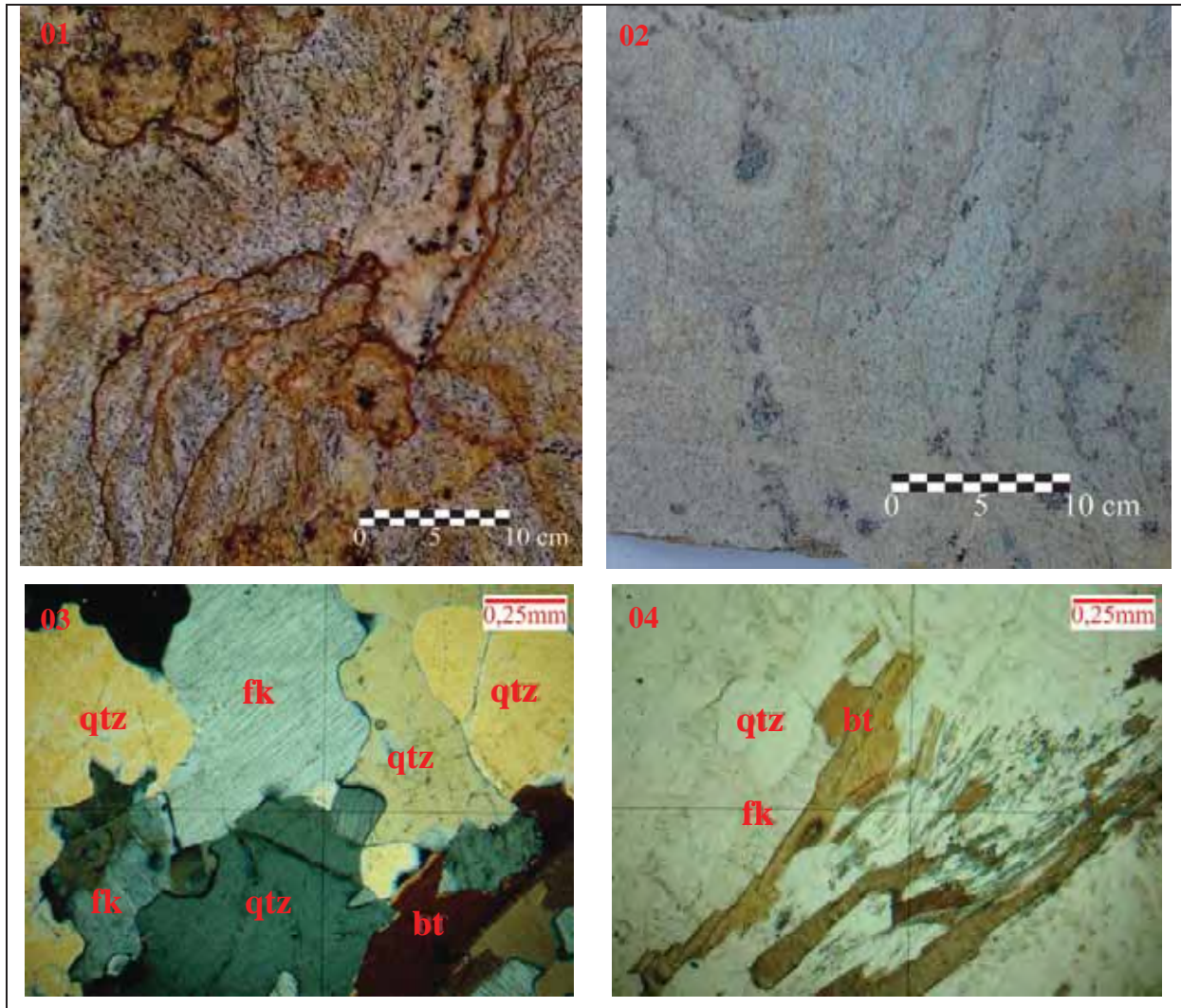
plagioclásio do paleossoma, pouco mais cálcico que o do neossoma, é representado pelo oligoclásio com núcleos de andesina, exibe dimensões que variam de 0,5 mm a 2 mm, com predominância de 1 mm. Os cristais apresentam formas anedrais a subedrais e geminação polissintética, e encontram-se pouco microfissurados, do tipo intragrão e sem preenchimento.

Os contatos com os outros minerais são tipicamente côncavo-convexos a discretamente retos. A saussuritização é fraca, normalmente concentrada nas porções mais centrais dos cristais.

Os cristais de quartzo apresentam fraturas cicatrizadas indicando sinal de recristalização e às vezes preenchidas por filossilicatos. O tamanho dos cristais varia desde submilimétrico até 5 mm. Podem ocorrer com forma vermicular nos interstícios dos cristais de oligoclásio gerando a textura mirmequítica. Os cristais maiores exibem forma anedral e contatos côncavo-convexos, localmente serrilhados nas porções recristalizadas.

A biotita dispersa na rocha apresenta forma tabular, contatos retos, às vezes disposta numa direção preferencial. Exibe pleocroísmo marrom a castanho claro, tamanho entre 0,5 mm a 3 mm, com freqüentes inclusões de cristais de zircão, e alteração fraca, tendo como produto óxidos e hidróxidos de ferro. Aparece associada a sillimanita, esta alterada de forma incipiente para muscovita (Prancha 5.9, foto 4).

Os minerais acessórios como muscovita, sillimanita, opacos, apatita e zircão aparecem em pequenas quantidades na rocha, onde o zircão é encontrado na forma de inclusões nos cristais de biotitas ou em suas bordas. A apatita micrométrica é acicular ou ovalada aparecendo, com certa freqüência, inclusas nos cristais de quartzo.



Prancha 5.9 Aspecto macroscópico polido (oto 1) e bruto (oto 2) e, microscópicos (fotomicrografias 3 e 4) do gnaiss migmatizado olden rystal. otomicrografia 3 feldspato potássico meso pertítico sob a forma de fios fazendo contato com quartzo, predominando contato côncavo-convexo (nicóis cruzados). otomicrografia 4 biotita dispersa na matriz de quartzo e feldspato com o seu hábito tabular associado sillimanita (nicóis descruzados). legenda qtz (quartzo), f (feldspato potássico), bt (biotita).

### 5.3.10 Crema Bordeaux (migmatito gnaissificado)

considerada pelo setor de rocha ornamental capixaba como um material exótico pertencente linha Iber do estado. orresponde a um migmatito quartzo-feldspático marcadamente inequigranular gnaissificado de coloração róseo clara com nuances

avermelhadas resultante de diferente intensidade da oxidação do ferro (Prancha 5.10, fotos 1 e 2). Apresenta, no geral, alternâncias entre leitos estratos de paleossoma gnáissico de granulação fina-média (entre 1 mm e 3 mm) que gradam de forma aparentemente regular para leitos de granulação média a média-grossa e mesmo de aspecto levemente pegmatóide (neossomas igualmente gnaissificados) com a presença de cristais de feldspato potássico que atingem dimensões observáveis na amostra estudada de até cerca de 7 cm ao longo da maior extensão. A textura geral é predominantemente granoblástica com porções microgranuladas poligonizadas.

Os contatos entre os minerais são dos tipos côncavo-convexos (53,6 %), retos (34,8 %) e serrilhados (11,6 %). O grau de microfissuramento considerado é moderado, com 3,8 microfissuras/mm<sup>2</sup>, sendo que a maior parte das microfissuras é do tipo intragrãos com 57,0 % preenchidas por filossilicatos e 40,2 % vazias. As microfissuras intergrãos perfazem menos de 3 %, com predominância das preenchidas.

A alteração mineral oscila de incipiente nos cristais de microclínio e moderada a intensa nos cristais de plagioclásio, caracterizada por pulverulenta saussuritização dos núcleos, e por vezes de toda extensão, dos cristais de plagioclásio. No geral perfazem menos de 10 % da superfície dos referidos cristais.

### ***Mineralogia***

A composição mineralógica modal está representada por cerca de 26 % de quartzo, 28 % de feldspato potássico, 34 % de plagioclásio e 5,5 % de biotita, além de traços dos acessórios dados por opacos, apatita, titanita e zircão. Como minerais secundários ocorrem ao redor de 3 % de muscovita, 2 % de sericita, 1,5 % de epidoto e traços de hidróxidos de ferro.

O feldspato potássico é o microclínio cujas dimensões variam em função dos leitos estratos em que ocorrem. Nas frações paleossômicas oscilam de submilimétricas a mais ou menos cerca 1,5 mm a 3 mm com gradações para 4 mm a 6 mm nas frações de granulação intermediária, podendo atingir dimensões extremas, localizadas, com mais de 6 cm de extensão. Os cristais maiores exibem pronunciada geminação em grade, geralmente pertíticos, com mediana sericitização. Os contatos com os outros minerais é em sua maioria do tipo côncavo-convexo. A alteração, no geral, é leve e constituída por sericitização de aspecto mais ou menos pulverulento.

O plagioclásio observado é o oligoclásio, com núcleos que podem chegar a andesina, às vezes com cristais paleossômicos antipertíticos. Os cristais apresentam típica geminação

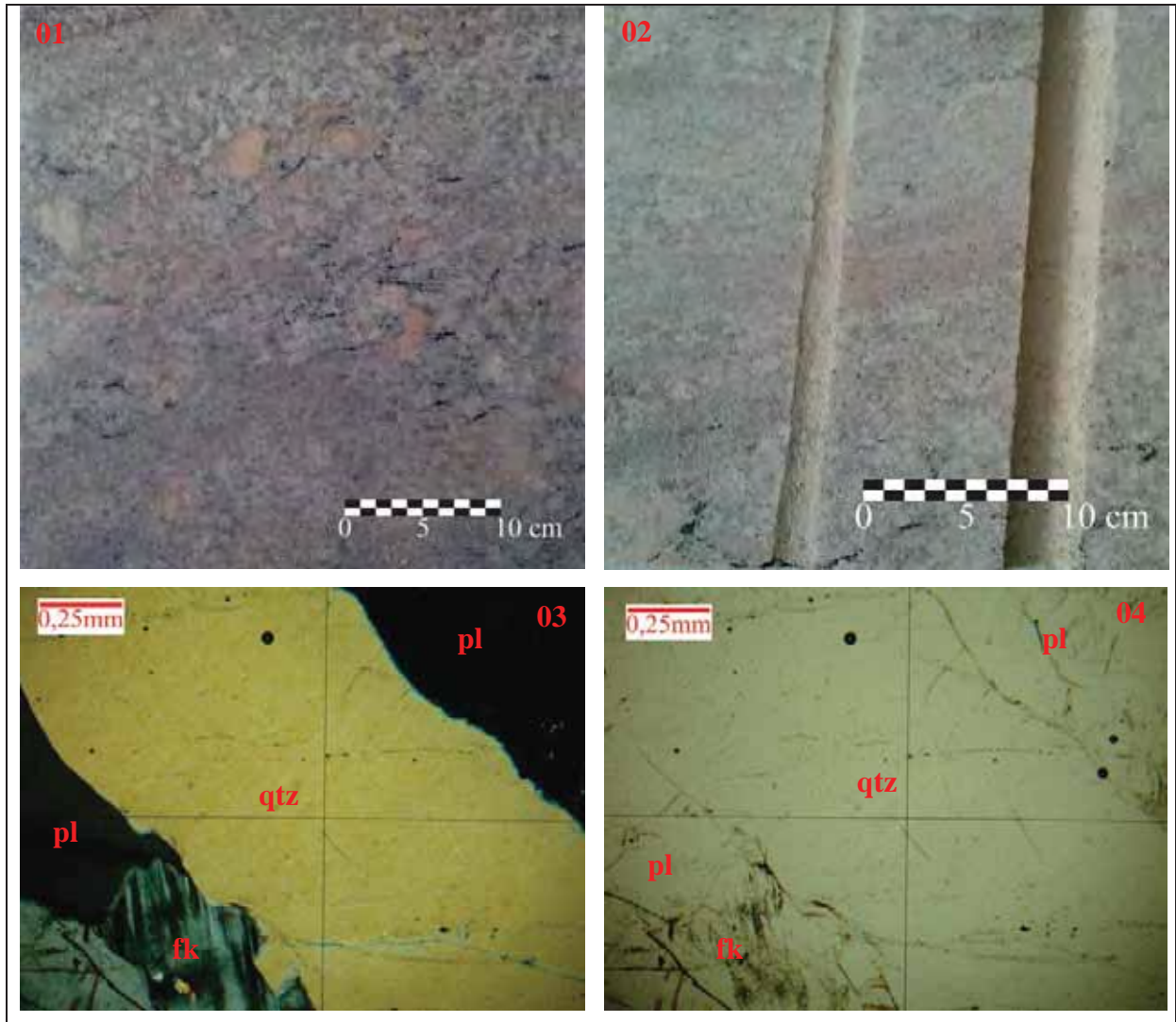
polissintética e às vezes arlsbad com cristais subédricos ripiformes a tabulares, com dimensões variando de 1 mm a 5 mm. Localmente apresentam bordas mimerquíticas. Os cristais maiores apresentam planos de clivagens abertos e preenchidos por agregados filossilicáticos microcristalinos enriquecidos em hidróxidos de ferro.

Quartzo apresenta dimensões reduzidas, frequentemente com aspectos poligonizados, nas frações paleossômicas finas-médias, e relativamente bem desenvolvidos (perto de 1 cm) nas frações mais pegmatóides (Prancha 5.10, fotos 3 e 4). Nas frações de granulação mais grossa apresenta fraturas abertas sem preenchimento ou preenchidas por filossilicatos e fraturas cicatrizadas. Os contatos com os outros minerais são predominantemente côncavo-convexos e retos nas frações poligonizadas.

A biotita é pouco frequente, com hábito tabular e ripiforme, pleocroísmo marrom a castanho claro, e ocorre concentrada em delgados filetes descontínuos mais orientados. Localmente mostram-se parcialmente muscovitizadas, com discretas manchas cloríticas localizadas.

A muscovita, relativamente frequente, parece corresponder a efeitos hidrotermais mais pronunciados sobre cristais de plagioclásio. A apatita forma minúsculos cristais prismáticos e o zircão e titanita são bastante raros e se manifestam sob forma de diminutos cristais euedrais e subedrais.

A presença de minerais secundários é discreta, representados por sericita, epidoto e hidróxidos de ferro.



Prancha 5.10 Aspecto macroscópico levigado e umedecido para realçar a coloração da rocha (oto 1) e bruto (oto 2) e, microscópicos (fotomicrografias 3 e 4) do migmatito gnaissificado rema Bordeaux. otomicrografia 3 quartzo ao centro, com fraturas cicatrizadas, em contatos côncavo-convexos com plagioclásio e feldspato potássico (nicóis cruzados). otomicrografia 4 idem foto anterior (nicóis descruzados) onde observa-se os contatos côncavo-convexos do quartzo com os outros minerais e microfissuras preenchidas por filossilicatos. legenda pl (plagioclásio), qtz (quartzo), f (feldspato potássico).

## Capítulo 6 – Resultados e Discussão

### 6.1. Índices Físicos

A fim de se compreender melhor o comportamento do gás  $^{222}\text{Rn}$  nas rochas, e consequentemente sua emissão, foram determinados os índices físicos (massa específica aparente, porosidade aparente e absorção d'água) pelo fato destas propriedades refletirem a sanidade e a presença de micro-descontinuidades nas rochas, como por exemplo vazios, que podem ser correlacionados com poros ou fraturas, os quais facilitam a difusão do referido gás.

A média dos resultados obtidos para os índices físicos das rochas ornamentais estudadas encontram-se reunidos na Tabela 6.1 e por completo no ANEXO A.

Tabela 6.1 Síntese dos resultados médios dos índices físicos.

Rochas Estudadas/ Sigla	Massa específica ap. seca (kg/m <sup>3</sup> )	Massa específica ap. sat (kg/m <sup>3</sup> )	Porosidade aparente (%)	Absorção d'água (%)
Preto ão abriel (P)	2.997	3.003	0,56	0,19
cre Itabira (I)	2.719	2.728	0,92	0,34
erde abrador (E)	2.657	2.665	0,81	0,30
inza orumbá (I)	2.683	2.691	0,78	0,29
Timbalada (TI)	2.617	2.626	0,89	0,34
Mascarello (M)	2.645	2.657	1,27	0,48
ialitta (I)	2.589	2.603	1,45	0,56
Icaraf ight (I)	2.653	2.662	0,91	0,34
olden ristal (O)	2.592	2.606	1,41	0,54
rema Bordeaux (B)	2.613	2.621	0,79	0,30

#### Massa Específica Aparente

Todas as rochas ornamentais estudadas apresentam valores de massa específica acima da média das rochas brasileiras, conforme valores médios apresentados por Razão e Arjallat (1995) de 2.550 g m<sup>3</sup> (Tabela 6.1).

Os valores encontrados revelam nítidas diferenças entre as rochas ígneas estudadas, sendo que o hiperstênio diorito Preto ão abriel (P) exibe valor bem mais elevado em relação aos demais como os fornecidos pelos sienito cre Itabira (I), charnocito verde abrador (V) e monzogranito inza orumbá (O), os quais que, por sua vez, exibem valores intermediários um pouco acima dos valores exibidos pelos pegmatitos iallita, Timbalada e Mascarello. Já, as rochas metamórficas quartzo-feldspáticas tendem a exibir valores equiparáveis aos dos pegmatitos (Figura 6.1).

Os valores relativos massa específica aparente das rochas refletem a sua mineralogia, onde rochas com maior porcentagem de minerais pesados tendem a exibir massa específica mais elevada. O gráfico da Figura 6.1 mostra, no geral, boa correlação entre os valores de massa específica e o teor de minerais pesados. Algumas aparentes discrepâncias como os casos do monzogranito inza orumbá (O) e o granulito Icaraí ight (I), provavelmente devem-se também a maior somatória da porcentagem de quartzo e plagioclásio nestas rochas, minerais leves (menor densidade), mas com densidade pouco maior do que feldspato potássico, presentes em todas as rochas analisadas, o que poderia elevar a massa específica quando comparada ao teor de pesados, além disso, a presença de determinados minerais pesados (maior densidade) como apatita e titanita no O e sillimanita e granada no I em porcentagens pouco mais elevadas do que nas outras rochas também contribuiriam para um aumento das massas específicas, minerais quantificados na Tabela 5.1 e 5.2 e descritos no capítulo 5.

### **Porosidade Aparente e Absorção d'água**

Observa-se, conforme expresso na Tabela 6.1 e representado no gráfico da Figura 6.2, que a maior parte do conjunto de rochas analisadas apresenta resultados de porosidade e absorção d'água inferiores aos valores médios das rochas ornamentais brasileiras apresentados em Razão e Arjallat (1995), ou seja, menores que 1,0 para porosidade e que os 0,4 para absorção d'água. Neste grupo se incluem o hiperstênio diorito Preto ão abriel (P), o sienito cre Itabira (I), o charnocito verde abrador (V), o monzogranito inza orumbá (O), o pegmatito granítico Timbalada (TI), o granulito Icaraí ight (I) e o migmatito gnaissificado rema Bordeaux (B). As demais rochas, como os pegmatitos graníticos Mascarello (M) e iallita (I) e o gnaiss migmatizado olden ristal (O) apresentam índices acima dos referidos valores, sendo que o iallita representa o material com os maiores índices.

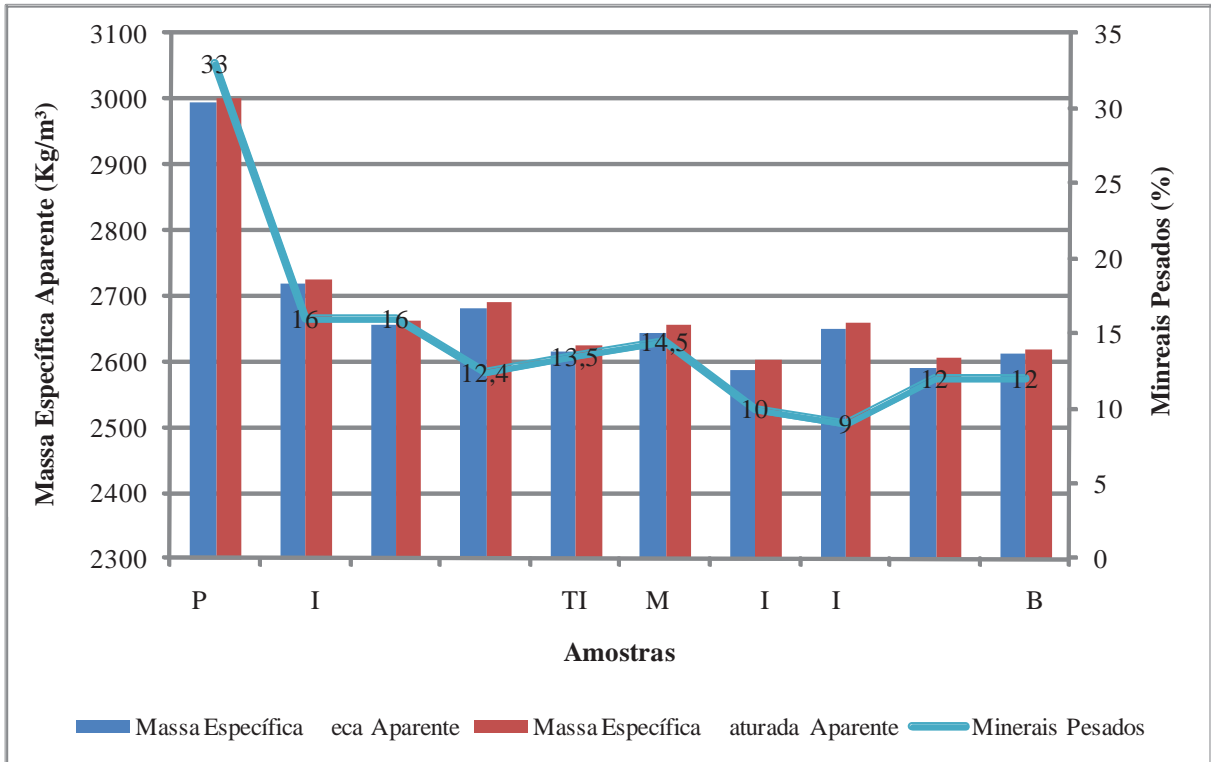


figura 6.1 valores de massa específica aparente seca e saturada das amostras estudadas relacionados com o índice de minerais pesados.

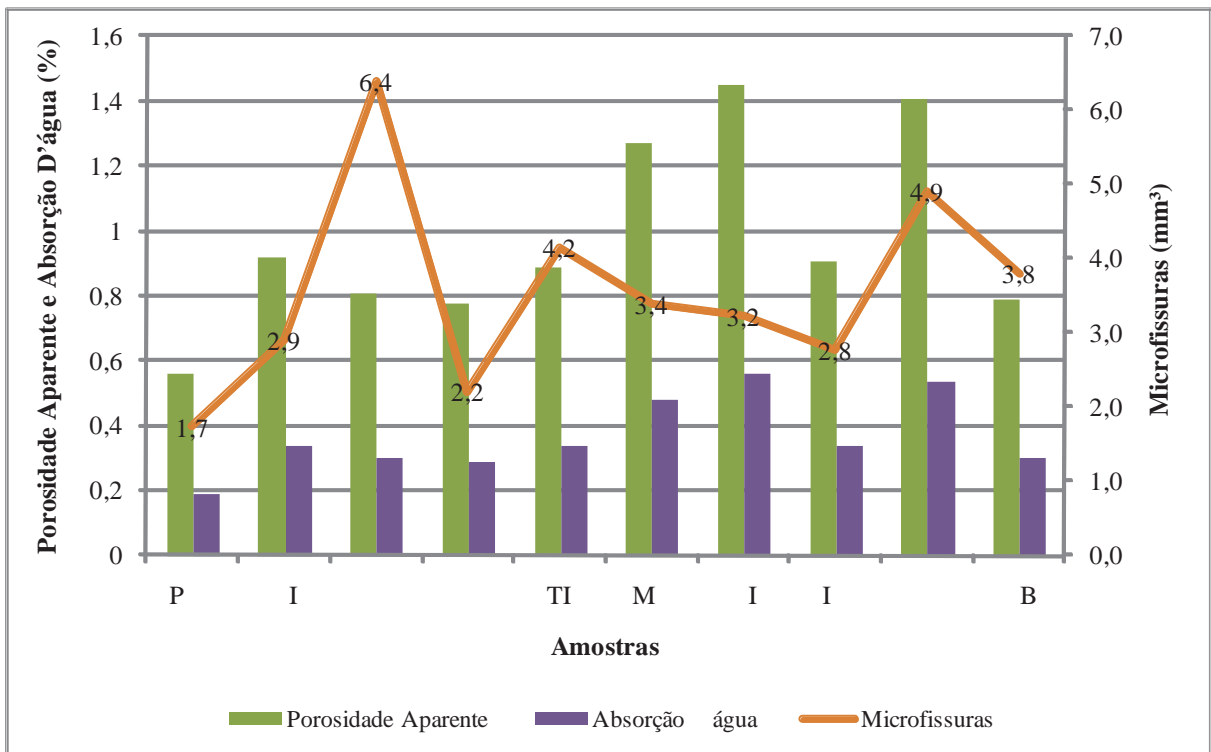


figura 6.2 valores de porosidade, absorção d'água e grau de microfissuramento.

Também referente correlação entre a porosidade absorção d água e o grau de microfissuramento ( figura 6.2) observa-se que, com exceção do charnocto verde abrasador, o primeiro grupo de rochas exibe boa coerência entre estes parâmetros. Este grupo inclui basicamente rochas com texturas mais ou menos homogêneas, isotrópicas ou discretamente gnáissicas e pouco microfissuradas. Nestas rochas, de modo geral, predominam as microfissuras do tipo intragrãos e intergrãos preenchidas sobre as não preenchidas contatos do tipo côncavo-convexos, além de incipiente alteração dos constituintes minerais como a discreta saussuritização do plagioclásio, contribuindo para os valores e correlação encontrados ( figuras 6.2 e 6.3).

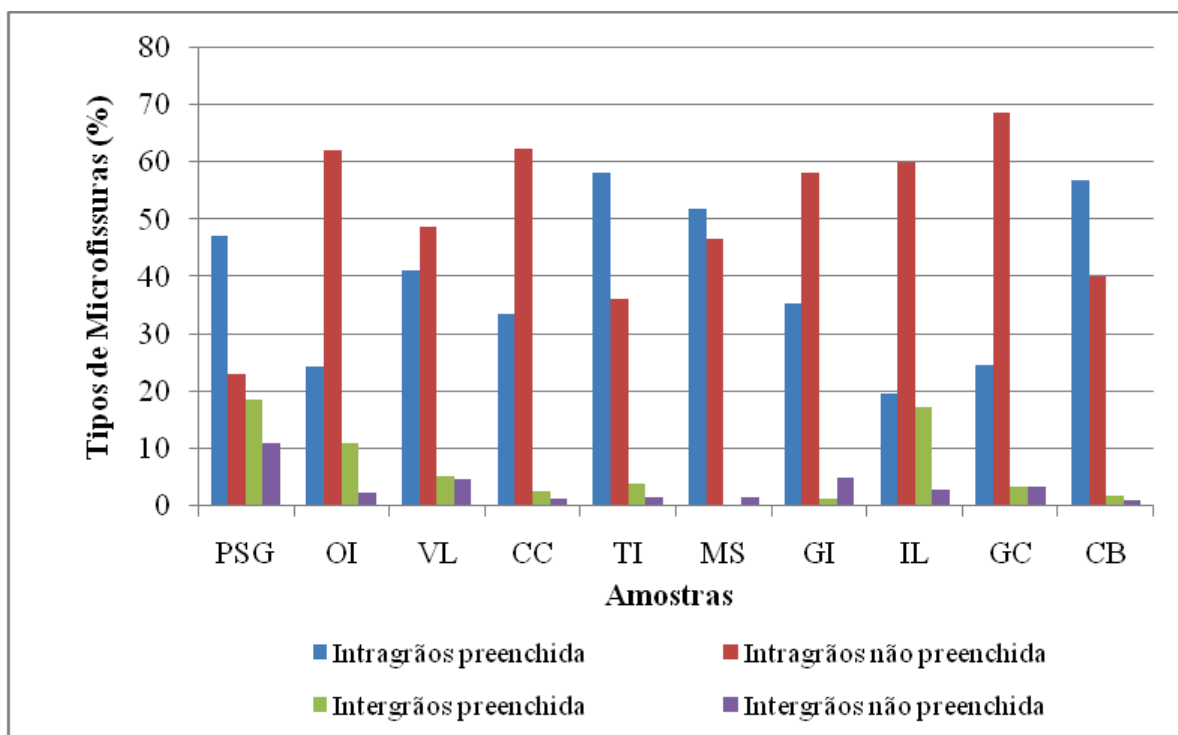


figura 6.3 Relação em porcentagem dos tipos de microfissuras das rochas estudadas.

Entre as demais rochas ocorrem situações que, como no caso dos pegmatitos Mascarello e ialitta e do gnaiss migmatizado olden ristal, apresentam índices de porosidade e absorção d água elevados e graus de microfissuramento determinados sob visão microscópica relativamente baixos, bem como um caso inverso para o charnocto verde abrasador que apresenta índices de porosidade e absorção d água abaixo de 1 e 0,4 , respectivamente, e de microfissuramento extremamente elevado (6,39 microfissuras mm<sup>2</sup>).

Tais disparidades estariam relacionadas às características petrográficas inerentes a estas rochas, tais como heterogeneidade textural, relações de contatos inter-minerais, comportamento microfissural e presença de minerais específicos de determinadas rochas.

Assim, a aparente disparidade entre os elevados índices de porosidade e absorção d'água em relação ao baixo grau de microfissuramento exibida pelos pegmatitos Mascarello e Ialitta deve-se, entre outros possíveis fatores, provavelmente aos interstícios naturais existentes entre os contatos minerais, bastante comuns em rochas de granulação grossa a gigante como no caso dos pegmatitos, fato este evidenciado nos pegmatitos estudados dado pela percolação e infiltração de hidróxido de ferro em boa parte das interfaces minerais frente à presença de microfissuras intergrãos e transgranulares observáveis macroscopicamente, principalmente no pegmatito Ialitta (cerca de 5% do total das microfissuras), com extensões de 5 cm a 6 cm preenchidas por agregados microcristalinos filossilicáticos associados a hidróxidos de ferro. Ao fato dos cristais de microclínio mais desenvolvidos exibirem naturalmente planos de clivagens mais abertos e frouxos (função de sua baixa energia de crescimento), frequentemente infiltrados por hidróxido de ferro e pouco comum nos cristais do mesmo mineral de rochas mais finas e, pela presença de agregados de placas de muscovita (desenvolvendo verdadeiros livretos) com dimensões que podem superar a casa dos 2cm de extensão (cerca de 3,5 no Ialitta e 8,7 no Mascarello), que, além de facilitar a percolação de fluidos, são de fácil deslocamentos.

Ainda, a significativa diferença dos valores da porosidade e absorção d'água entre os pegmatitos Timbalada (0,89 e 0,34) e Mascarello (1,27 e 0,48), que são petrograficamente similares entre si, é tida como devida à marcante ação hidrotermal ocorrida sobre o primeiro pegmatito que conduziu a um melhor selamento/preenchimento das microdescontinuidades então existentes.

Em relação ao gnaiss migmatizado Oldenristal, a aparente anormalidade estaria relacionada, além de sua heterogeneidade textural e estrutural entre as frações paleossômicas e neossômicas, normalmente delimitadas por delgados leitos melanossômicos, ao intenso processo de oxidação de seus minerais que evidenciam efeitos de processos hidrotermais supérgenos mais ou menos intensos.

Á a disparidade entre o elevado grau de microfissuramento e a aparente normalidade dos valores de porosidade e absorção d'água (Tabela 6.1, figuras 6.2 e 6.3) fornecida pelo charnoquite verde-abradador relaciona-se basicamente à elevada intensidade de microfissuras intragráos, portanto de expressão limitada, exibidas pelos cristais de clino e ortopiroxênios

presentes na rocha. Tal situação pode ser constatada pela presença de cerca de 90 de microfissuras intragrãos desta rocha conforme expresso na Tabela 5.1 do capítulo 5.

## 6.2. Resultados Radiométricos

Neste item são apresentados e discutidos os dados radiométricos relacionados ao  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  e  $^{40}\text{K}$  e os resultados do monitoramento de exalação do gás  $^{222}\text{Rn}$  para as dez rochas ornamentais utilizadas nesta pesquisa.

Observando que a rocha, como os demais materiais naturais, contém em sua composição química determinados teores de elementos radioativos como os da série do  $^{238}\text{U}$  (pai do  $^{222}\text{Rn}$ ),  $^{235}\text{U}$  (pai do  $^{219}\text{Rn}$ ) e do  $^{232}\text{Th}$  (pai do  $^{220}\text{Rn}$ ) e  $^{40}\text{K}$  (ABE MAN, 1977).

Neste ínterim, se coloca o gás nobre radioativo Rn produzido pelo decaimento das séries radioativas dos elementos  $^{238}\text{U}$  e  $^{232}\text{Th}$  como um elemento carcinogênico. Segundo Moura (2005), descobertas recentes de altos níveis do gás radônio no interior de residências têm induzido a investigações dos materiais rochosos utilizados nas obras civis e dos processos naturais que controlam a sua presença.

Neste contexto, além da apresentação dos resultados radiométricos obtidos para as diferentes rochas estudadas, será efetuado a correlação destes dados, sobretudo em relação ao Rn, com demais parâmetros físicos e petrográficos das rochas visando a avaliação e o melhor entendimento no comportamento do fluxo e exalação do gás radônio no meio rochoso.

No final deste capítulo, também serão realizadas, a partir de resultados de exalação de Rn obtidos nesta pesquisa, simulações num cenário hipotético para avaliar se as rochas aqui estudadas ultrapassam o valor limítrofe estabelecido pela EPA (2003).

### 6.2.1. Concentração de Urânio, Tório e Potássio

Os resultados das análises de  $^{238}\text{U}$  e  $^{232}\text{Th}$  por ICP-MS se encontram no ANEXO A, e, o  $^{40}\text{K}$  por espectrometria gama no ANEXO B, sendo aqui demonstrado para melhor visualização na Tabela 6.2, cujos valores mostram de imediato que as rochas exibem significativas variações no tocante aos três elementos.

No caso do  $^{40}\text{K}$ , os valores obtidos resultam da conversão dos teores originalmente de  $^{40}\text{K}$  em porcentagem, para  $^{40}\text{K}^+$  (cátion) em porcentagem e ppm, multiplicando-se respectivamente, os valores por  $0,830149 \times 10^4$  e 1000. Posteriormente a quantidade de  $^{40}\text{K}$  em ppm é determinada ao se multiplicar por 0,0119 (proporção natural em relação aos demais isótopos de  $^{40}\text{K}$ ) e dividir por 100.

entre os três elementos analisados, o  $^{238}\text{U}$  é o de maior interesse para a presente pesquisa tendo-se em consideração que o  $^{238}\text{U}$ , representando 99,2743% dos isótopos de  $^{238}\text{U}$ , é o que produz por decaimento o  $^{222}\text{Rn}$ , o de maior tempo de permanência no ar, objeto principal deste trabalho.

Tabela 6.2. Concentrações de  $^{238}\text{U}$ , Th e  $^{40}\text{K}$  presentes nas rochas estudadas.

Amostras	ppm (gama)	Th ppm (I/P)	$^{238}\text{U}$ (I/P)	$^{40}\text{K}$ (I/P)	ppm (I/P)	$^{40}\text{K}$ ppm (I/P)
P	11,5	10,7	1,41	1,17	11705,1	1,4
I	2,91	21,6	6,01	4,99	49892,0	5,9
	7,67	14,1	6,49	5,39	53876,7	6,4
	37,03	83,7	5,52	4,58	45824,2	5,5
TI	22,53	0,8	2,59	2,15	21500,9	2,6
M	5,2	0,3	2,28	1,89	18927,4	2,3
I	6,41	1,2	5,98	4,96	49642,9	5,9
I	7,70	14,9	5,66	4,70	46986,4	5,6
	18,47	11	5,27	4,37	43748,9	5,2
B	20,44	10,7	3,76	3,12	31213,6	3,7

Especificamente para o  $^{238}\text{U}$ , cujos valores também estão representados graficamente na figura 6.4, observa-se que a concentração deste radionuclídeo nas diferentes rochas varia entre 2,9 a 37,0 ppm, sendo que as que forneceram valores mais baixos de  $^{238}\text{U}$ , até 10 ppm, foram o sienito cre Itabira (2,9 ppm), seguido pelo pegmatito granítico Mascarello (5,2 ppm), pegmatito granítico Ialita (6,4 ppm), charnocito verde abrador (7,6 ppm) e granulito Icaraí light (7,7 ppm) os valores intermediários de 10 a 20ppm correspondem ao hiperstênio diorito Pretoão Abriel (11,0 ppm) e gnaisse Oldenristal (18,5 ppm) e os valores mais elevados entre 20 ppm e 40 ppm são do migmatito rema Bordeaux (20,4 ppm), pegmatito hidrotermalizado Timbalada (22,5 ppm), sendo que o maior valor foi o apresentado pelo monzogranito Inzaorumbá (37,0 ppm).

Esta variação nos teores de  $^{238}\text{U}$  reflete basicamente diferentes naturezas genéticas, grau de evolução e composição mineralógica das rochas estudadas. Destaca-se, entretanto, que em

função da falta de estudos geoquímicos específicos divulgados na literatura pertinente sobre a grande maioria das unidades litoestratigráficas das rochas envolvidas na pesquisa, praticamente impossibilita a amarração dos dados radiométricos com as respectivas naturezas genéticas dos materiais pétreos aqui investigados.

entre as rochas magmáticas não pegmatíticas (hiperstênio diorito Preto ão abriel, sienito cre Itabira, charnocito verde abrador e o monzogranito inza orumbá), o monzogranito inza orumbá com os maiores teores de U (37,0 ppm) e Th (83,7 ppm) também corresponde a rocha com as maiores porcentagens de minerais detentores de elementos radioativos (Tabela 2.2) como zircão (0,4 %), allanita (0,1 %) e titanita (1,0 %), além de apatita (1,0 %), cuja associação mineralógica leva supor uma natureza cálcio-alcalina para esta rocha.

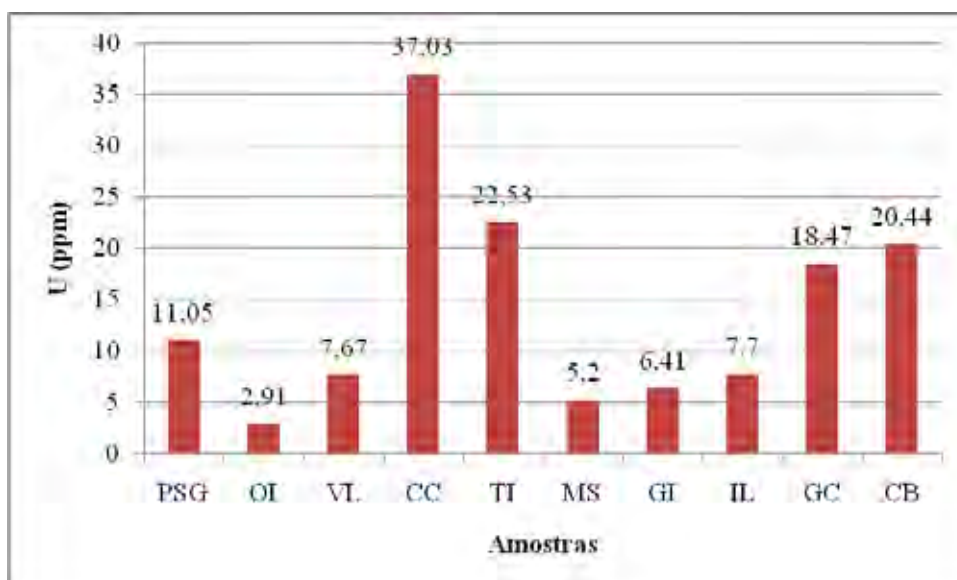


figura 6.4 Representação das concentrações de U (ppm) nas rochas estudadas.

Igualmente, a associação mineralógica, caracterizada pela ausência de minerais tipicamente alcalinos (Tabela 5.1) e respectivos teores de  $\text{SiO}_2$  (Tabela 6.2 figura 6.5) exibidos pelo hiperstênio diorito Preto ão abriel (1,41 % de  $\text{SiO}_2$ ), sienito cre Itabira (6,01 % de  $\text{SiO}_2$ ) e charnocito verde abrador (6,49 % de  $\text{SiO}_2$ ) sugerem natureza cálcio-alcalina para estas rochas. Seus relativos baixos teores de U e Th mostram-se coerentes com seus teores de  $\text{SiO}_2$  e apenas traços de minerais detentores de elementos radioativos como zircão, presente nas três rochas e allanita apenas no sienito cre Itabira (Tabela 5.1).

No caso das rochas metamórficas o granulito quartzo-feldspático Icará é o detentor de minerais aluminosos como granada (4 %) e sillimanita (1,5 %), ausência de minerais

tipicamente cálcicos, como titanita e o baixo teor de  $\text{Na}_2\text{O}$  (2,44 - ANE) e 5,66 de  $\text{CaO}$  (Tabela 6.2), revelam uma natureza metassedimentar para o mesmo.

o migmatito gnaissificado rema Bordeaux com ausência de minerais aluminosos, presença de titanita e com mais de 4 de  $\text{Na}_2\text{O}$  (ANE) e 3,12 de  $\text{CaO}$ , sugerem uma natureza ortoderivada cálcio-alcálica.

Apesar de o gnaisse migmatizado olden rystal apresentar sillimanita (2,5) como único mineral aluminoso associada a concentrações biotíticas, aparentemente relacionados a restitos surmicáceos, e ausência de minerais tipicamente cálcicos como titanita, contém 3,73 de  $\text{Na}_2\text{O}$  e 5,27 de  $\text{CaO}$ , sugerindo provável natureza ortoderivada cálcio-alcálica.

Tais considerações, adicionadas presença ou ausência de minerais acessórios detentores de elementos radioativos, revelam a perfeita coerência com os teores de  $^{40}\text{K}$  e Th fornecidos pelas referidas rochas metamórficas.

Assim, o menor teor de  $^{40}\text{K}$  (7,7ppm) e o maior de Th (14,9ppm) apresentado pelo granulito quartzo-feldspático Icaraí light, dentre as três rochas metamórficas, são bastante coerentes com sua natureza metassedimentar e pela ausência de minerais concentradores de elementos radioativos (Tabela 5.2 Tabela 2.2). Por outro lado, os teores relativamente mais elevados de  $^{40}\text{K}$  para as rochas metamórficas rema Bordeaux e olden rystal (respectivamente 20,4 ppm e 18,5 ppm) e pouco menores de Th (10,7 ppm e 11 ppm, respectivamente) estão coerentes a natureza cálcio-alcálica destes materiais e pela presença de traços de zircão, apatita e titanita.

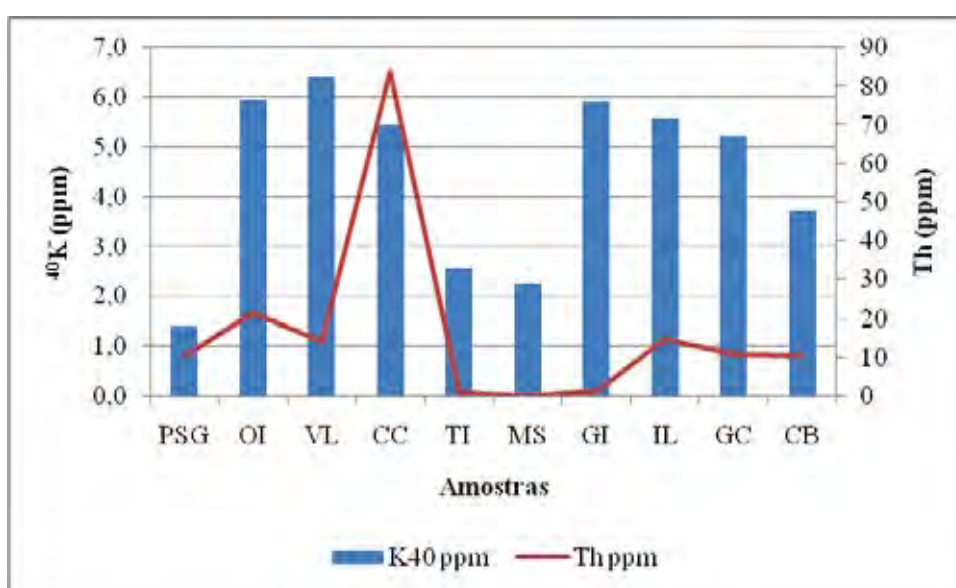


Figura 6.5 Valores das concentrações de  $^{40}\text{K}$  (ppm) e Th (ppm) nas rochas estudadas.

Os pegmatitos graníticos Timbalada, Mascarello e Ialita apresentam como esperado baixíssimos teores de Th (respectivamente 0,8, 0,3 e 1,2 ppm), e diferenciados para os teores de U (Tabela 6.2 e figuras 6.4 e 6.5). Assim, o Mascarello e o Ialita apresentam respectivamente 5,2 ppm e 6,4 ppm de U, sendo significativamente maior (22,5 ppm) para o pegmatito hidrotermalizado Timbalada, provavelmente devido a concentração do urânio durante a ação metassomática a que a rocha foi submetida.

Abre, ainda, destacar que os teores de urânio entre 2,9 ppm a 37,0 ppm e do tório entre 0,3 ppm e 83,7 ppm, obtidos para as rochas estudadas, mostram boa coerência entre os intervalos de variação deste elementos apresentados por Alas et al. (2003) para rochas graníticas e gnáissicas quartzo-feldspáticas ornamentais, não alcalinas, dos estados de Minas Gerais.

### 6.2.2. Monitoramento da Exalação de $^{222}\text{Rn}$ e Filhos

Esse método é usado para quantificar o quanto do gás radônio é exalado num determinado ambiente. No caso do presente estudo a quantificação da exalação do Rn foi efetuada em ciclos de 5, 10, 15, 20 e 25 dias (ANE 1998), de forma que as discussões destas informações para cada rocha estudada será efetuada em dias, e mesmo em horas, de permanência dos materiais no vácuo. Os resultados obtidos em cada ciclo de monitoramento da exalação do Rn nas amostras estudadas, em Bq m<sup>-3</sup>, encontram reunidos na Tabela 6.3.

Tabela 6.3 Quantificação de  $^{222}\text{Rn}$  exalado das amostras no final de cada ciclo.

Amostras	ciclo 5 dias (Bq m <sup>3</sup> )	ciclo 10 dias (Bq m <sup>3</sup> )	ciclo 15 dias (Bq m <sup>3</sup> )	ciclo 20 dias (Bq m <sup>3</sup> )	ciclo 25 dias (Bq m <sup>3</sup> )
P	1,33	8,33	14,33	3,67	12,00
I	10,33	8,67	20,00	8,00	21,67
	4,33	1,00	10,33	1,00	10,00
	33,33	51,33	62,67	74,67	69,33
TI	678,00	822,33	1029,00	1089,00	1135,67
M	251,67	404,67	376,00	472,67	471,67
I	856,67	981,33	1550,00	1953,33	2483,33
I	16,33	18,33	14,67	22,67	23,00
	66,33	90,67	104,33	118,00	98,33
B	330,00	600,67	651,00	642,00	752,00

Como pode ser visto na referida tabela, algumas rochas obtiveram valores extremamente baixos no final de cada ciclo, caso do hiperstênio diorito Pretoão Abriol (P) e do charnoquite verde Abrador (A). Já outros materiais apresentaram, comparativamente ao conjunto das rochas estudadas, valores relativos elevados em cada ciclo e no total final como é o caso dos pegmatitos graníticos Iallita (I) e Timbalada (TI) com valores acima de 1000 Bq m<sup>-3</sup>.

A taxa de emissão do radônio pelas leis da física se torna constante ao encontrar o equilíbrio radioativo entre Ra e Rn, entretanto, a exalação do gás radônio proveniente dessa emissão se diferencia e não se torna uma constante pelo fato que nem todo gás gerado na rocha consegue alcançar a superfície do material e adentrar no ambiente exterior da rocha, ficando assim, uma boa parte do radônio gerado pela rocha retido na rede cristalina dos minerais e na trama da rocha.

Se a exalação fosse constante, as curvas de evolução do radônio quantificado nas amostras monitoradas e representadas na figura 6.6 também deveriam atingir o equilíbrio ao findar os 25 dias, o que na maioria das vezes não se verifica.

A consideração acima pode ser analisada através das curvas de evolução da exalação do Rn (figura 6.6) para cada rocha estudada, obtidas sob forma de dispersão dos ciclos e interpoladas por uma linha de tendência polinomial de ordem 2 a partir do ponto zero e com escala de acordo com a taxa de exalação, a fim de se compreender sua evolução em relação a exalação do gás radônio.

Observa-se nestes gráficos que a estabilização da exalação do gás raramente ocorre, além disso, há considerável variação de comportamento entre as diversas rochas com evidentes oscilações da quantidade de Rn exalado em relação aos ciclos de monitoramento.

Considera-se, a princípio, que tais oscilações estejam relacionadas a diversos fatores inerentes aos tipos de materiais analisados, ou seja, os materiais analisados (rochas) são naturalmente pobres no conteúdo de gás gerado a grande variedade de rochas de distintas naturezas geológicas e com amplas variações composicionais, texturais e estruturais bem como distintos padrões e rede de microdescontinuidades internas de cada rocha envolvida nos estudos que afetam diretamente na dinâmica de escape do referido gás.

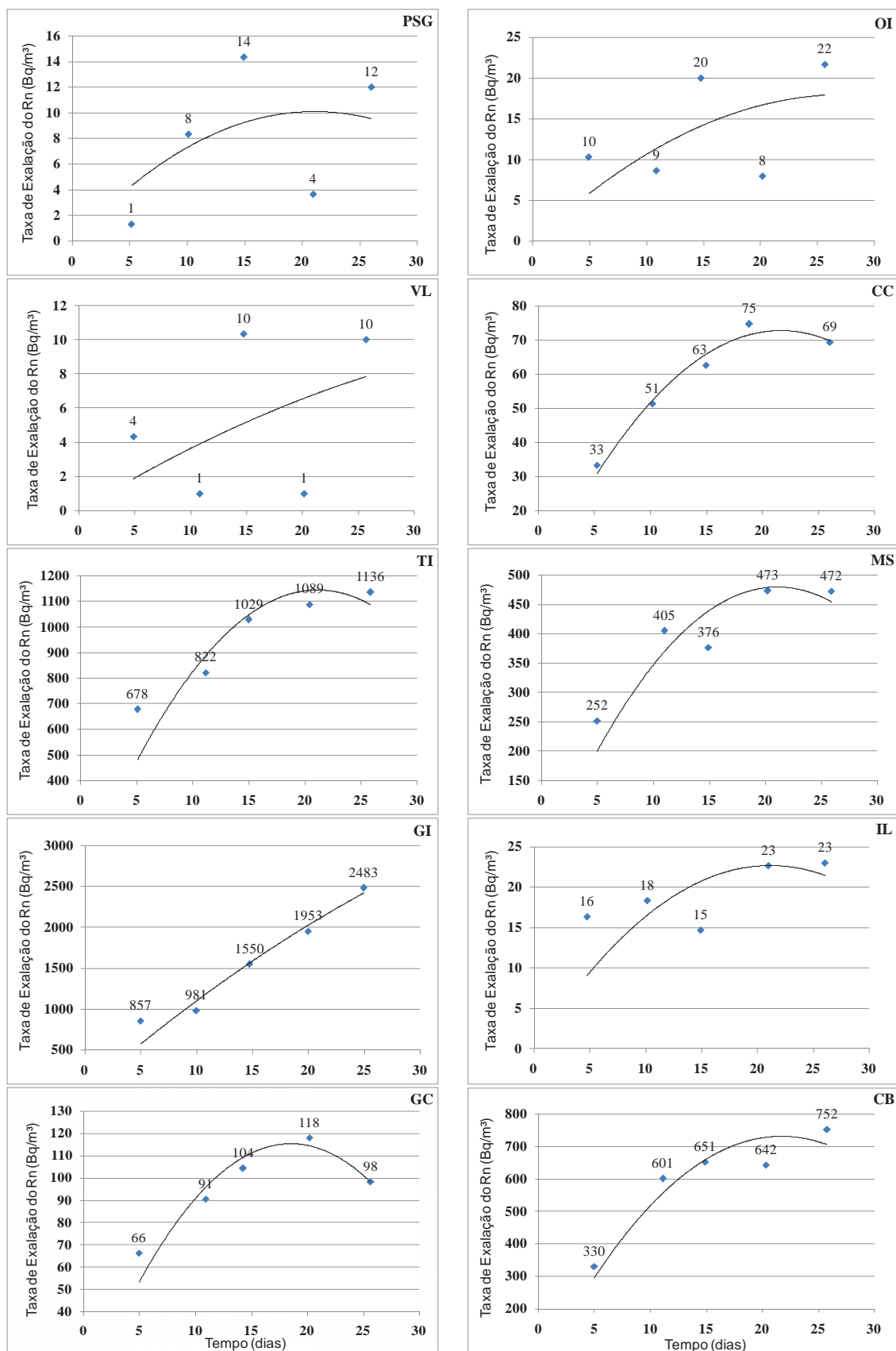


figura 6.6 Evolução da taxa de exalação do radônio vs. tempo de contagem das rochas denominadas comercialmente de Preto ão abriel (P ), cre Itabira ( I), erde abrador ( ), inza orumbá ( ), Timbalada (TI), Mascarello (M ), iallita ( I), Icarai ight (I ), olden ristal ( ) e rema Bordeaux ( B).

Rochas que exibem baixos valores de exalação de radônio como o hiperstênio diorítico Pretoão Abriel (P), o sienítico Itabira (I) e o charnito verde-abrador (V) (Tabela 6.3) não possuem uma constância na exalação (Figura 6.6), isso se dá aos valores considerados baixos quantificados nessas rochas.

Como anteriormente citado, as demais rochas obtiveram um valor crescente com o passar de cada ciclo, onde duas delas, o pegmatito granítico Mascarello (M) e o granulito Icaraí Light (I), caíram de valores no ciclo de 15 dias, com subida desses valores nos próximos ciclos, sendo que conseguem estabilizar nos dois próximos ciclos, podendo representar um sinal de equilíbrio radioativo em relação da exalação.

Monzogranito Inzaorumbá (I) e o gnaisse migmatizado Oldenristal (O), alcançaram seus valores máximos de exalação no ciclo de 20 dias, seguida por posterior decréscimo dos valores, demonstrando instabilidade na exalação. Migmatito Rema Bordeaux (R) apresentou queda de seus valores de exalação no ciclo de 20 dias, depois de constante crescimento, voltando a subir no próximo ciclo de 25 dias.

As duas rochas que mais exalaram o gás radônio também foram as que não demonstraram de maneira clara a obtenção de estabilidade na exalação, sendo que o pegmatito Iallita (I), a que obteve maior valor de Rn exalado, gerou uma reta com valores crescentes de exalação com o passar dos ciclos sem, entretanto, adquirir equilíbrio exalativo (Figuras 6.6). Pegmatito Timbalada (TI), mantém crescimento contínuo com o avanço dos ciclos simulando provável equilíbrio após o ciclo de 25 dias.

Ao lançar todas as rochas num único gráfico com os valores de todos os ciclos, nota-se que algumas rochas por ter exalado baixos valores de radônio, ao ser comparado com as outras rochas, apresentam quase uma reta em toda sua evolução nos períodos dos ciclos (Pretoão Abriel, Itabira, verde-abrador, Inzaorumbá, Icaraí Light e Oldenristal), outras já apresentam uma tendência de equilíbrio (Mascarello, Rema Bordeaux e Timbalada) e a rocha que deixou escapar maior quantidade de radônio, o pegmatito Iallita, não conseguiu alcançar esse equilíbrio (Figuras 6.7).

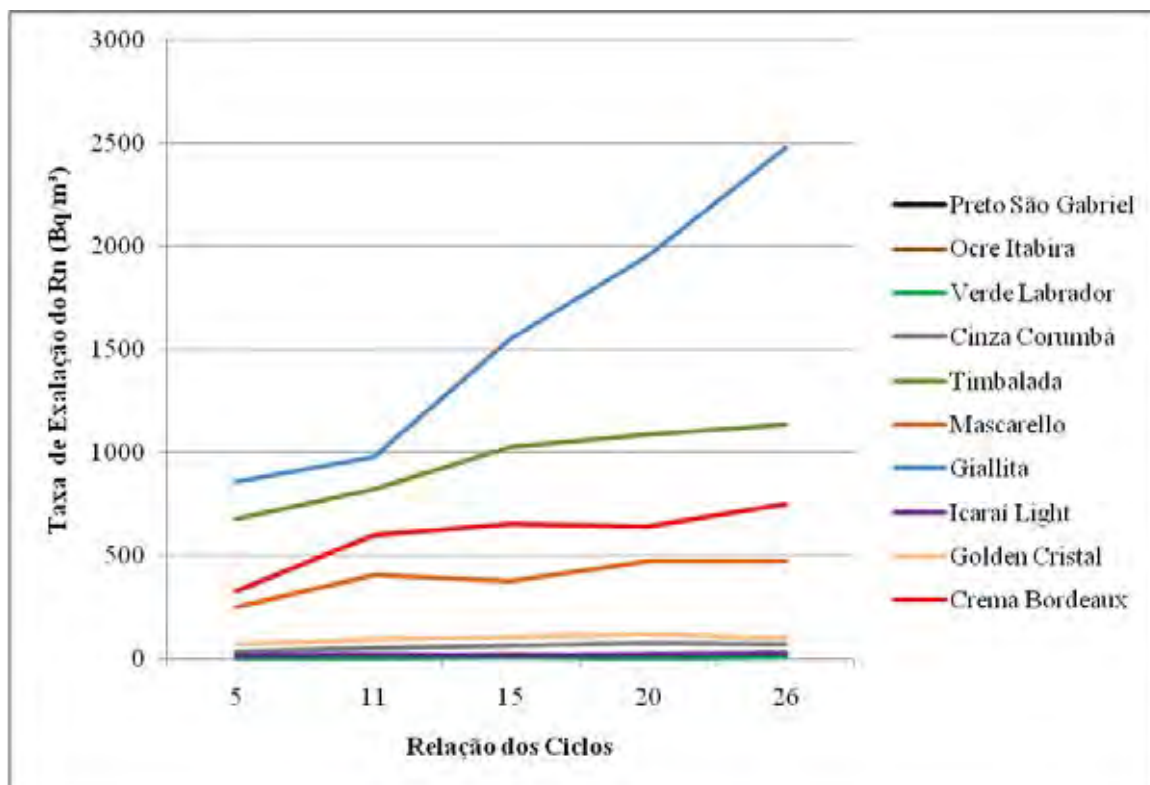


figura 6.7 Evolução da exalação do radônio até o 25 ciclo.

As pegmatitos foram as rochas que mais ganharam destaque em relação à quantidade de radônio exalado, seguidos pelo gnaiss migmatizado Crema Bordeaux (B). As demais rochas obtiveram valores totais abaixo de 100 Bq m<sup>-3</sup> no ciclo de 25 dias (figura 6.8).

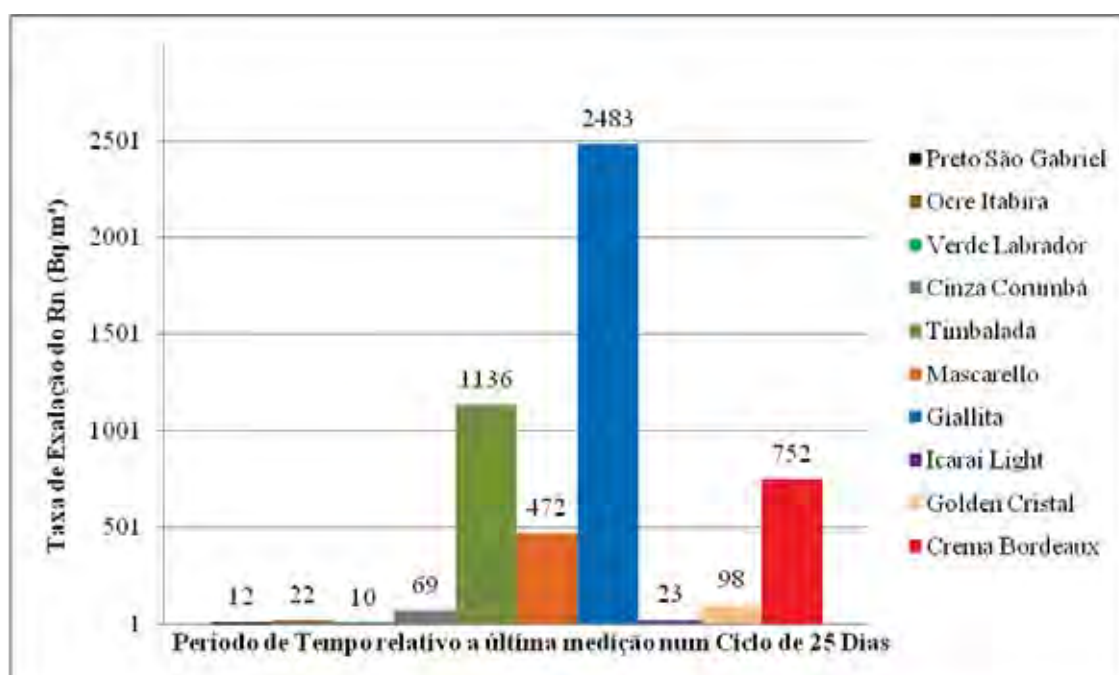


figura 6.8 Quantidade exalada de Rn (Bq m<sup>-3</sup>) nas amostras.

A variação na taxa de exalação do gás verificada nas figuras supracitadas pode ser correlacionada a outros dados como a rede microporosa, pois o gás gerado no interior da rocha para atingir o exterior precisa passar por barreiras e, as assim chamadas barreiras se diferenciam nos diferentes tipos litológicos na dependência de suas características intrínsecas quer texturais e ou estruturais.

### 6.3. Correlações dos Dados

Através dos valores de  $U$  e  $Th$  obtidos para as rochas estudadas foi possível estabelecer correlações e efetuar considerações entre esses dados e a quantidade de exalação do radônio, na dependência das suas características petrográficas intrínsecas e porosidade das mesmas.

Os valores de  $U$  e  $Th$  obtidos podem ser relacionados diretamente a taxa de exalação de radônio (considerado o 25 ciclo de exalação) no caso das quatro primeiras rochas magmáticas com aspectos texturais homogêneos (PSG, OI, VL e CC), onde o monzogranito cinza orumbá é a rocha com as maiores concentrações desses elementos e assim exalou maior quantidade do gás radônio produzido pela rocha (figura 6.9).

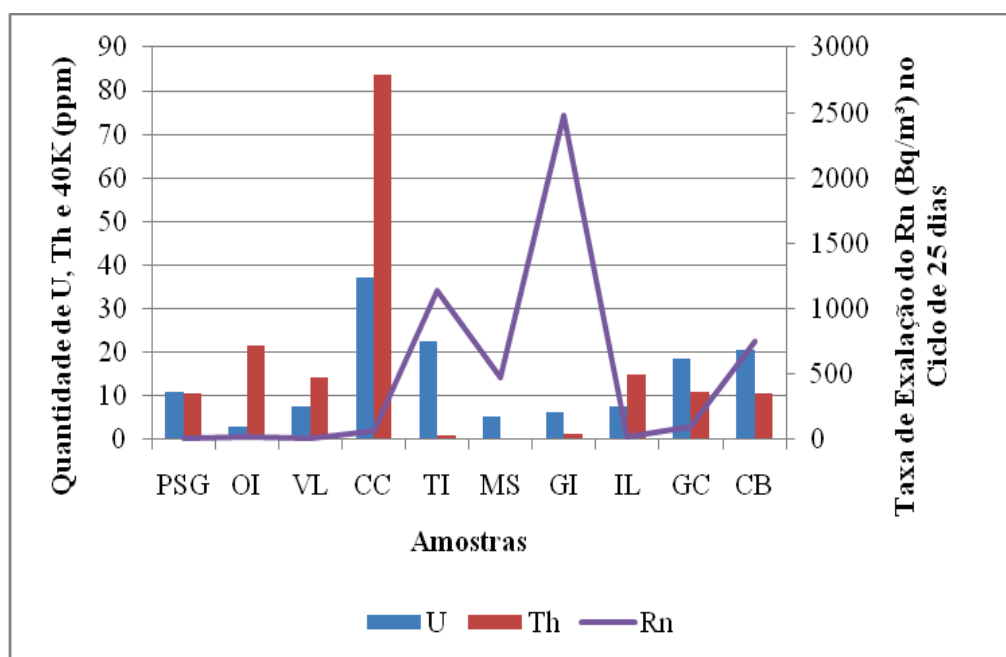


figura 6.9 Relação da quantidade de  $U$  e  $Th$  em relação a exalação do Rn.

Igualmente se considerar somente as rochas metamórficas (I, B e B), percebe-se que essa relação direta dos elementos radioativos com a taxa de exalação também se mantém principalmente ao considerar a somatória de U e Th.

Entretanto, no grupo das rochas pegmatíticas (TI, M e I), com aspectos texturais bastante heterogêneos, não se verifica correspondência direta entre os teores de U e Th com a taxa de exalação de radônio. O pegmatito granítico Iallita que possui valores muito baixos de U em relação ao Timbalada e próximo ao do Mascarello exibe taxa de exalação elevada de 2483,33 Bq m<sup>-3</sup>, maior que o dobro ao comparar com o TI e bem superior ao M.

Ao analisar todas as rochas, verifica-se no referido gráfico que os teores de urânio e tório por si só não determinam qual rocha irá exalar maior quantidade do gás radônio. Isto é denotado ao se comparar as rochas de aspectos texturais homogêneos e heterogêneos. O monzogranito Inza Orumbá (I), que é a rocha com os valores mais elevados desses elementos, apresenta uma das menores taxas de exalação de radônio e o pegmatito granítico Iallita que exibe a maior taxa de exalação do referido gás, ostenta valores muito baixos de U e Th.

Como observado acima, nem sempre as quantidades desses elementos na rocha determinarão a exalação do radônio para o meio ambiente. Fatores como a distribuição espacial das microdescontinuidades da rocha, determinante da maior ou menor permeabilidade, controlam a exalação e permite o melhor entendimento do processo de percolação de fluidos na rocha e, conseqüentemente da dinâmica do escape do gás radônio.

A rocha não libera todo radônio produzido devido ter barreiras que impedem este fato, a exalação depende da rede cristalina dos minerais e da trama dos mesmos na rocha, então rochas mais porosas (com maior microdescontinuidades) tendem a facilitar o escape do gás em relação às menos porosas. Sendo assim, quanto maior for a porosidade, menos obstáculos o átomo de Rn irá encontrar para sair da estrutura cristalina dos minerais e da trama da rocha. E, como o <sup>222</sup>Rn proveniente do <sup>238</sup>U, possui uma meia-vida maior em relação aos seus demais isótopos, maior será a probabilidade de escapar da estrutura da rocha alcançando o ambiente exterior.

A relação de porosidade aparente com a exalação de radônio pode ser visualizada na figura 6.10, onde rochas com menores teores de radônio exalam mais, em virtude de exibirem maior comunicabilidade entre as descontinuidades em relação das demais rochas.

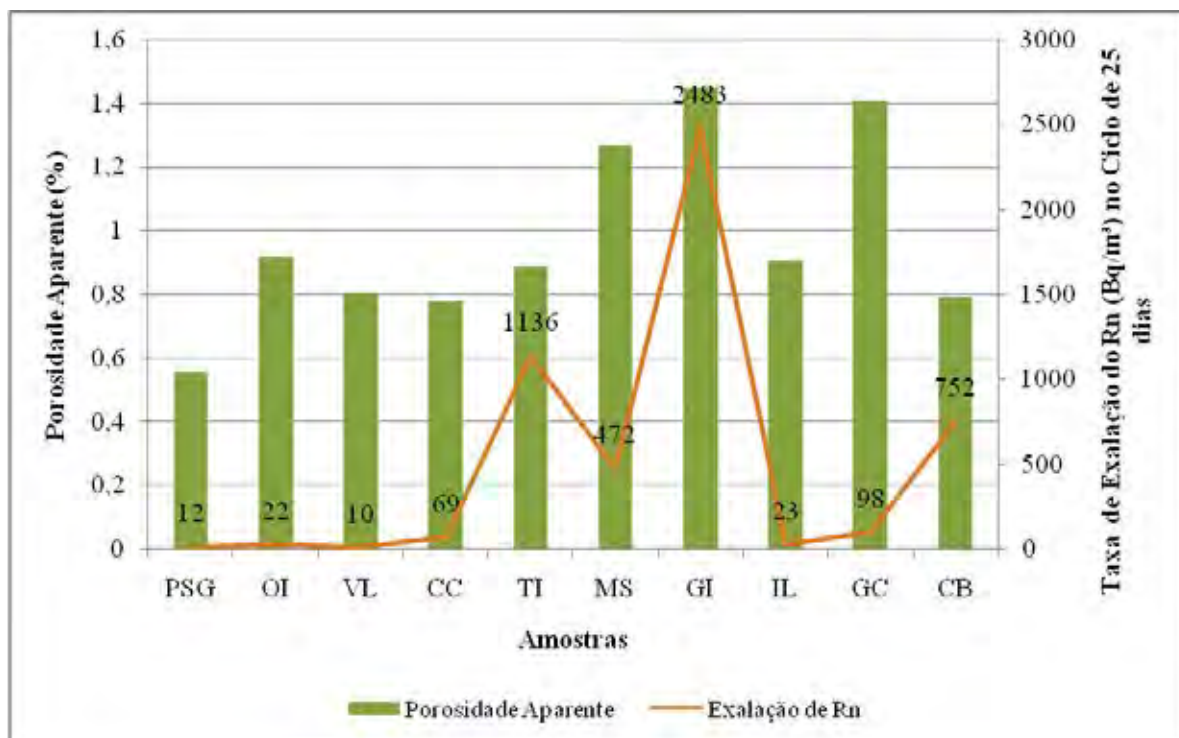


figura 6.10 Relação entre porosidade e exalação do gás radônio entre as rochas.

Isto esclarece o caso do pegmatito granítico iallita ( I), mesmo apresentando uma das menores concentrações de  $U$  e  $Th$ , é o material com a maior taxa de exalação de radônio, pois exibe a maior porosidade aparente que por sua vez está relacionada quantidade de microfissuras intergrãos e transgranulares, as primeiras contabilizadas microscopicamente e as segundas que podem ser melhor observadas macroscopicamente nas porções com texturas tipicamente pegmatíticas.

Então, quanto maior a quantidade de microfissuras intergrãos ( figura 6.11), associadas s transgranulares que podem ultrapassar extensões de 5 cm a 6 cm, no caso dos pegmatitos TI, M e I, maior será a taxa de exalação do gás radônio.

Alguns tipos de microfissuras podem ter material de preenchimento portador de elementos radioativos, e quanto mais próximos da superfície, provavelmente maior será a facilidade do gás radônio escapar da rocha.

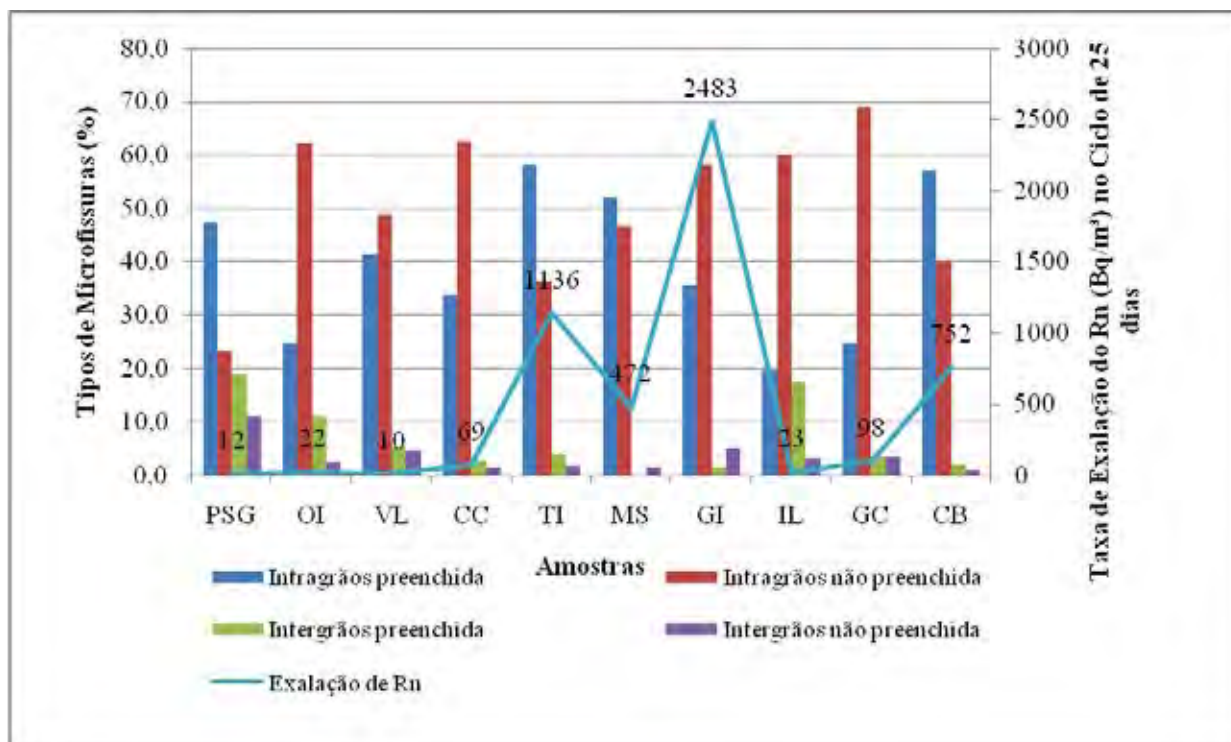


figura 6.11 - Relação entre a quantidade e o tipo de microfissuras com a exalação do radônio.

material de preenchimento das microfissuras, principalmente dos pegmatitos, são geralmente filossilicatos e ou hidróxidos de ferro, que em virtude, respectivamente, de seus hábitos foliados e características microcristalinas mais frágeis podem facilitar a migração e conseqüente fuga do gás radônio.

A presença de minerais contendo  $U$  e  $Th$  em sua constituição química, como zircão e allanita, levam a destruição parcial das estruturas cristalinas de minerais circunvizinhos, normalmente acompanhada de irradiação microporosa, teoricamente, podendo facilitar a migração do  $Rn$ .

Então, constata-se que a porosidade dada pelas micro-descontinuidades e a relação da quantidade de  $U$  e  $Th$  são os principais fatores para determinar a exalação do gás radônio na rocha, conforme pode ser observado através das representações na figura 6.12.

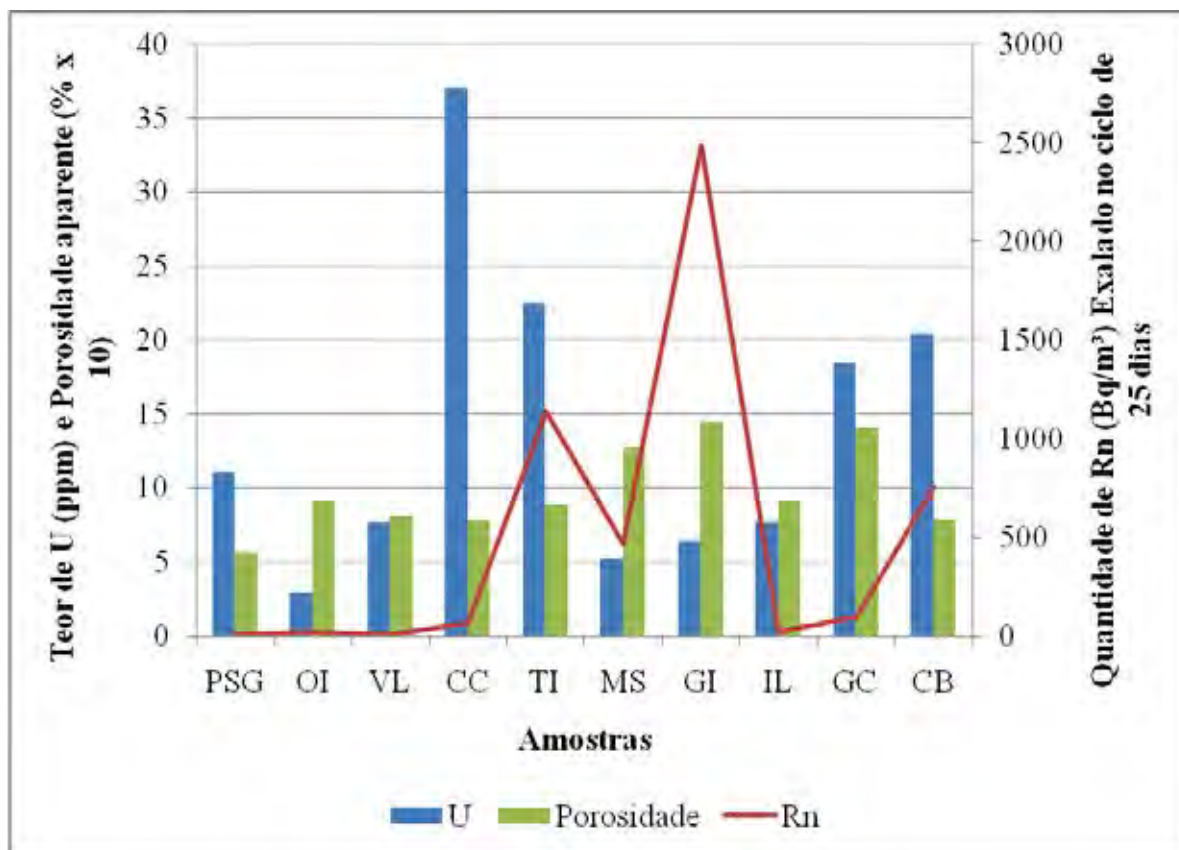


figura 6.12 Relação entre os teores de urânio, índice de porosidade com a exalação do Rn.

om isso, a geração do radônio será maior quanto mais elevado for a concentração de  $^{238}\text{U}$ , sendo que a sua fuga dependerá de canais para alcançar o ambiente externo da rocha, lembrando que quanto mais próximas da superfície da rocha estiverem as moléculas de Rn e presentes em estruturas mais frágeis como material de preenchimento de microfissuras, maior a facilidade de escapar para o meio.

Bonotto (1996) ao estudar o comportamento hidrogeoquímico do  $^{222}\text{Rn}$  em água subterrânea, utilizou o fator **E** definido por Anty et al. (1992 apud Bonotto et al., 1996) para avaliar e descrever a eficiência da emissão de radônio da rocha e correspondente transferência para a água subterrânea, cujos princípios foram adaptados e empregados neste trabalho para os cálculos na determinação da transferência do gás radônio exalado da rocha para o ar do meio ambiente através da fórmula

$$E = \frac{(^{222}\text{Rn})_{\text{ar}}}{(^{222}\text{Rn})_{\text{ar}} + (^{222}\text{Rn})_{\text{rocha}}}$$

Anty et al (1992 apud B N TT , 1996) consideraram que **E** (fator de eficiência de exalação) é quase sempre menor que 0,5 (ao atingir este nível, a rocha estaria exalando tudo o que produzisse em referencia ao gás radônio), expresso pelos autores como usualmente menor que 0,3 (aproximadamente metade do  $^{222}\text{Rn}$  gerado pela rocha).

Como os dados da espectrometria gama para obter (ppm) foram obtidos através da condição de equilíbrio radioativo secular, utilizando o  $^{214}\text{Bi}$  para calibração do espectrômetro gama ( ARTE, 2002), que é elemento filho da série do  $^{238}\text{U}$ , se torna possível conseguir achar a quantidade de  $^{226}\text{Ra}$  em Bq g. Para isso basta multiplicar por uma constante (12,34) a quantidade do urânio (ppm) presente na rocha, obtendo-se, assim, a quantidade do  $^{226}\text{Ra}$  em Bq g, o qual teoricamente se equivaleria, pelas condições de equilíbrio radioativo, mesma proporção de  $^{222}\text{Rn}$  gerado a partir de seu pai  $^{226}\text{Ra}$ .

Para completar esses valores a fim de ser usados na equação definida para **E**, é preciso transformar a quantidade de radônio exalado no ar (Bq m<sup>3</sup>) para Bq g, dados usados do experimento da quantificação do referido gás. Sendo assim, transforma-se os valores obtidos no ciclo de 25 dias de cada amostra através de uma simples regra de três para Bq g, mostrado a seguir, cujo valor é, posteriormente dividido pelo peso da amostra utilizada no monitoramento conseguindo-se assim a quantidade de radônio no ar em Bq g.

$$\frac{(^{222}\text{Rn})\text{Bq} \times 19\text{L}}{1\text{m}^3} : \text{Kg amostra}$$

Com isso pode-se aplicar o valor obtido para o fator **E** para avaliar a eficiência de exalação de cada rocha em relação a quantidade de Rn calculado a partir do teor de urânio da rocha (Tabela 6.4).

Destaca-se, conforme pode ser observado nos valores constantes da Tabela 6.4, que apesar de algumas rochas apresentarem baixos teores de  $^{238}\text{U}$ , exalam mais gás radônio em relação a outras que possuem altos teores desse referido radionuclídeo, em conformidade com as discussões anteriormente realizadas. Tais situações provavelmente se relacionam com a disposição do Rn na rede cristalina dos minerais da rocha, possuindo as micro-descontinuidades como um aspecto favorável para a exalação.

Tabela 6.4 Eficiência de exalação do Rn através do  $^{222}\text{Rn}$  calculado e exalado das rochas.

Amostras	Teor urânio (gama)	Teores de Ra e $^{222}\text{Rn}$ calculados a partir do urânio		$^{222}\text{Rn}$ exalado (ciclo de 25 dias)		Eficiência de exalação $^{222}\text{Rn}$
	$^{238}\text{U}$ ppm	$^{226}\text{Ra}$ (Bq g)	$^{222}\text{Rn}$ (Bq g)	$^{222}\text{Rn}$ (Bq m)	$^{222}\text{Rn}$ (Bq g)	fator E
P	11,05	136,36	136,36	12,00	0,07	0,001
I	2,91	35,91	35,91	21,67	0,13	0,004
	7,67	94,65	94,65	10,00	0,07	0,001
	37,03	456,95	456,95	69,33	0,44	0,001
TI	22,53	278,02	278,02	1135,67	8,01	0,028
M	5,20	64,17	64,17	471,67	3,14	0,047
I	6,41	79,10	79,10	2483,33	16,10	0,169
I	7,70	95,02	95,02	23,00	0,14	0,001
	18,47	227,92	227,92	98,33	0,69	0,003
B	20,44	252,23	252,23	752,00	4,66	0,018

Entre as rochas estudadas, o pegmatito granítico Iallita é a que obteve a maior eficiência em exalação, E 0,169, observando que apresentou o mais alto índice de porosidade aparente entre todas as rochas analisadas.

monzogranito Inza Orumbá possui a maior concentração de urânio dentre as rochas analisadas, sendo a que mais produz Rn, no entanto, apresenta valor de E comparável aos do hiperstênio diorito Preto ão Abriel, charnocito com granada verde abrador e granulito quartzo-feldspático Icaraí light, rochas com menos da metade da quantidade de . Essa informação se relaciona com a porosidade aparente da rocha, ou seja, um baixo grau de microfissuramento e bom engrenamento mineral exibido pelo monzogranito Inza Orumbá.

biotita gnaiss migmatizado Olden ristal e o migmatito gnaissificado rema Bordeaux, comparativamente às demais rochas, obtiveram valores semelhantes de urânio, produzindo valores aproximadamente iguais de  $^{222}\text{Rn}$  em Bq g de rocha, mas o rema Bordeaux obteve uma eficiência de emanção maior que o Olden ristal, teoricamente se deve às suas características petrográficas. Mesmo apresentando também uma menor porosidade aparente, possui uma maior quantidade de microfissuras preenchidas, sendo assim a localização do na rocha se torna um dos fatores para esta eficiência.

Ao comparar o migmatito gnaissificado rema Bordeaux ao pegmatito granítico hidrotermalizado Timbalada, o fator E é maior para o pegmatito, que além de possuir uma maior quantidade de  $^{222}\text{Rn}$  em Bq g, possui também uma maior porosidade aparente contribuindo com uma maior exalação do gás radônio emanado dessas rochas.

Os dois pegmatitos graníticos Mascarello e Timbalada possuem características petrográficas semelhantes, mas teores de diferenciados pelo fato do segundo ter

experimentado um significativo enriquecimento neste radionuclídeo por efeito de evidente ação hidrotermal, o que leva a produzir razões diferenciadas de  $^{222}\text{Rn}$ , apesar do pegmatito Mascarello ter porosidade aparente significativamente maior que o Timbalada.

#### **6.4. Simulação de Adição para o Nível de $^{222}\text{Rn}$ em uma Residência**

principal objetivo do trabalho proposto foi o de quantificar a exalação do gás radônio de rochas ornamentais amplamente utilizadas nos mercados nacional e internacional conforme explanado.

Entretanto, com o intuito de contribuir para o conhecimento das taxas de exalação de radônio de rochas brasileiras no interior dos ambientes, dado a preocupação da comunidade internacional sobre os níveis de concentração de radônio que podem elevar-se com a adição de rochas, aplicaram-se os dados obtidos nesta pesquisa para simular quais níveis de radônio seriam atingidos com o uso das mesmas.

Baseando-se nos estudos efetuados por *hyi*, (2008), utilizou-se para a simulação um ambiente residencial fechado, desconsiderando a troca de ar, de aproximadamente 90m<sup>2</sup> de construção.

##### **6.4.1. Condições e Variáveis da Simulação**

A rocha ornamental em uma edificação encontra diversas aplicações como pisos, rodapés, soleiras, batentes e revestimentos de paredes, assim como tampo de mesas, bancadas e lavatórios. Muitas vezes é utilizada como um único tipo de material ou comondo combinações entre diferentes tipos de rochas para alcançar um ambiente diferenciado.

As variáveis a serem consideradas para a simulação consistem na quantidade de material aplicado como rocha ornamental, no volume de ar interno da residência, na quantidade de radônio exalado pela rocha e na ventilação natural que seria a troca de ar interno com o ambiente externo, esta desconsiderada no presente estudo, onde ambientes mais abertos como varandas teriam uma maior dispersão do que ambientes mais fechados, como escritórios, onde existiria certa blindagem de ar.

Para a efetiva comparação entre a quantidade de Rn exalado e os padrões dosimétricos estabelecidos por entidades internacionais como a United States Protection Agency (EPA, 2003), os valores em  $\text{Bq m}^3$  foram convertidos para pCi/L. Cabe lembrar que a referida instituição recomenda o limite de 4 pCi/L em residências, e que os cálculos foram apresentados no capítulo 4 sendo que, os valores das transformações efetuadas para as amostras estudadas encontram-se listados em  $\text{Bq m}^3$  e pCi/L na Tabela 6.5 e representados na figura 6.13.

O ambiente de simulação, para todas as amostras estudadas, é o mesmo, com área de  $90,86 \text{ m}^2$ , equivalente a um total de  $1,82 \text{ m}^3$  de rocha ornamental aplicada como piso (ANEXO E).

Tabela 6.5 Valores de radônio obtidos na simulação de um ambiente de  $90,86 \text{ m}^2$ .

Amostras	Quantidade Rocha Utilizada ( $\text{m}^3$ )	Área Residência ( $\text{m}^2$ ) * <sup>1</sup>	Quantidade de Rn exalado ( $\text{Bq/m}^3$ ) Ciclo 25 dias	Quantidade Rn Exalado no Ambiente	
				( $\text{Bq/m}^3$ )* <sup>2</sup>	(pCi/L)* <sup>3</sup>
P	1,82	90,86	12,0	1,43	0,04
I	1,82	90,86	21,7	2,54	0,07
	1,82	90,86	10,0	1,27	0,03
	1,82	90,86	69,3	8,25	0,22
TI	1,82	90,86	1135,7	145,40	3,93
M	1,82	90,86	471,7	57,67	1,56
I	1,82	90,86	2483,3	293,06	7,92
I	1,82	90,86	23,0	2,62	0,07
	1,82	90,86	98,3	12,47	0,34
B	1,82	90,86	752,0	83,65	2,26

<sup>1</sup> a área da residência reflete a mesma quantidade em  $\text{m}^2$  de piso aplicado.

<sup>2</sup> e <sup>3</sup>  $148 \text{ Bq m}^3$  e  $4 \text{ pCi/L}$  valores limítrofes de níveis de concentração de Rn recomendados para residências (EPA, 2003).

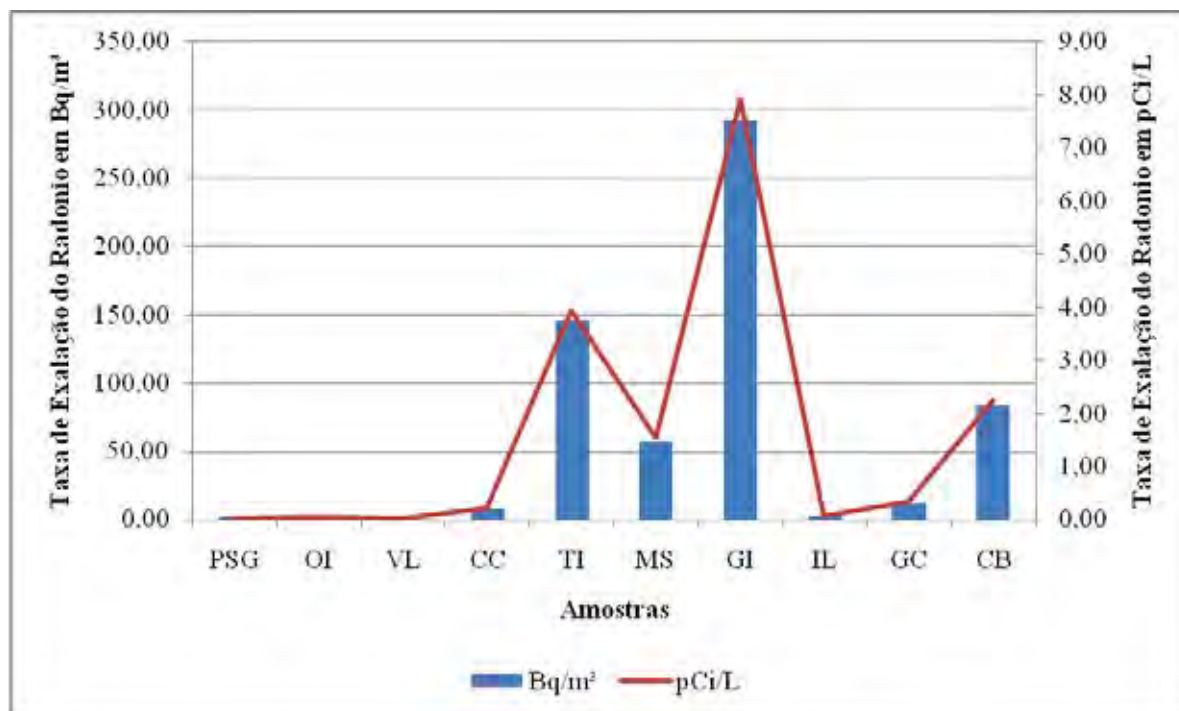


Figura 6.13 Ilustração do radônio no ar simulado em residência de 90m<sup>2</sup>.

entre as rochas consideradas, seis delas apresentam valores bastante abaixo do valor limítrofe de 4 pCi sugerido pela EPA (2003), correspondentes às magmáticas hiperstênio diorito Preto ão abriel (P), sienito cre Itabira (I), charnoctito verde abrador ( ) e ao monzogranito inza orumbá ( ) e, entre o grupo de rochas metamórficas, o gnaiss migmatizado olden rystal ( ) e o granulito Icaraí ight (I).

duas rochas atingiram valores intermediários, uma pertencente ao grupo dos pegmatitos, o Mascarello (M) com 1,56 pCi e outra pertencente ao grupo de rochas metamórficas, o migmatito rema Bordeaux (B) com 2,26 pCi. Estas rochas podem vir influenciar no total de radônio quando adicionadas a outros materiais existentes num determinado ambiente.

á, os pegmatitos graníticos iallita (I) e Timbalada (TI) apresentam valores elevados. o primeiro, acima do limite de 4 pCi sugerido pela EPA (2003), com 7,92 pCi, e o segundo com valor de 3,93 pCi muito próximo ao referido limite, recomendando cuidados quando empregados em ambientes com ventilação reduzida ou fechados.

Ao aplicarmos o pegmatito granítico iallita (I) somente no piso das áreas de banho da referida residência, verifica-se uma diminuição da adição dos níveis de radônio em todo o ar do ambiente da residência, atingindo 0,77 pCi. Entretanto, a concentração de 7,92 pCi continua nas áreas do banho (ANE E). ontinuando, ao incluir neste caso uma bancada no ambiente da cozinha, o nível de radônio será de 1,46 pCi e no ambiente da residência a

adição do nível de radônio sobe para 0,89 p i . Conclui-se que, apesar, da residência agora ter um nível de radônio abaixo do sugerido pela EPA (2003), as áreas de banho continuam acima do limite 4 p i e a área da cozinha começa a exercer uma certa influência caso venha acrescentar mais materiais que podem exalar o gás radônio.

Essa simulação mostra certos cuidados em relação especificação de materiais rochosos para edificações, principalmente para ambientes amplos e fechados, sendo que o teor de exalação do gás radônio é um importante fator a ser considerado.

Como as rochas que atingiram os níveis mais altos de radônio neste trabalho são geralmente usadas em pequenas quantidades, por que não possuem típico padrão para grandes áreas, perdem o risco ao serem usadas apenas como bancadas ou detalhes quando combinados com outros materiais pétreos.

Destaca-se, entretanto, que em se tratando de ambientes de exteriores ou bastante ventilados todas as rochas são recomendadas, pois o radônio exalado é prontamente diluído pela atmosfera.

A adição do nível de radônio no caso de rochas ornamentais está relacionada com a quantidade de rocha utilizada em um determinado ambiente, quanto maior o volume de rocha aplicado maior será a adição no nível de radônio.

## Capítulo 7 – Considerações Finais e Conclusão

A presente pesquisa teve por objetivo o estudo radiométrico, com ênfase na exalação do gás radônio, de dez rochas ornamentais exploradas nos estados do Espírito Santo e de Minas Gerais e que são beneficiadas por empresas da cidade de Cachoeiro de Itapemirim - ES. Todas as rochas são comercializadas no mercado interno e, principalmente, no externo.

Com o intuito de um melhor entendimento do comportamento da difusão e exalação do gás radônio dos materiais estudados, além da caracterização radiométrica, todas as rochas envolvidas foram submetidas a análises petrográficas e determinações dos respectivos índices físicos (massa específica seca e saturada, porosidade aparente e absorção de água).

O conjunto de materiais estudados incluiu diversos tipos petrográficos compreendendo variedades de rochas magmáticas (diorito, sienito, granitos e pegmatitos) e metamórficas (gnaisses, migmatitos e granulito), conforme abaixo caracterizadas

- *hiperstênio diorito com quartzo* sob denominação comercial Preto São Gabriel, com coloração cinza escura, estrutura isotrópica e textura fanerítica de granulação média a média-grossa, de aspecto geral bastante homogêneo, exibindo grau de microfissuramento relativamente baixo com cerca de 1,73 microfissuras mm<sup>2</sup>

- *hornblenda sienito com quartzo* comercialmente designado de Cre Itabira, podendo ser comercializada também como Marron Raphite, com coloração castanha clara, estrutura compacta a discretamente orientada e textura porfirítica, inequigranular, onde se destacam fenocristais de feldspato potássico que podem ultrapassar os 2,5cm e microfissuramento bastante pronunciado, com 2,9 microfissuras mm<sup>2</sup>

- *charnockito com granada* de nome comercial Verde Abrador com coloração verde escuro, megaporfirítico serial com matriz fanerítica média a média-grossa, hipidiomórfica, de estrutura isotrópica e grau de microfissuramento moderado a elevado em partes da rocha, num total considerado alto, com 6,39 microfissuras mm<sup>2</sup>

- *monzogranito* comercialmente denominado de Cinza Orumbá com coloração cinza claro, estrutura compacta e textura fanerítica de grã média a média-grossa, pouco inequigranular, de aspecto estético bastante homogêneo e microfissuramento moderado, com 2,21 microfissuras mm<sup>2</sup>

- *pegmatito granítico hidrotermalizado* denominado Timbalada que possui coloração geral verde musgo devido a hidrotermalização, caracterizado por manchas irregulares, normalmente difusas, de coloração acastanhada a vermelho sangue dada por óxidos e hidróxidos de ferro

caoticamente distribuídas pela rocha. Exibe estrutura isotrópica com textura pegmatítica de granulação muito grossa a gigante, com cristais de microclínio e de quartzo com dimensões que chegam a superar 10cm imersos em massa também inequigranular oscilando de alguns milímetros a 2cm, com predominância entre 3cm e 5cm. Microscopicamente apresenta grau de microfissuramento aparentemente baixo, com 4,2 microfissuras  $\text{mm}^2$ , mas que em nível macroscópico exibe visível grau de microfissuramento tanto intragrãos (cristais maiores de quartzo) quanto transgranulares com planos normalmente abertos e quase sempre preenchidos por fina massa microcristalina filossilicática mais ou menos enriquecidas em óxidos e hidróxidos de ferro, cujas dimensões oscilam entre subcentimétricas até cerca de 5 a 6cm de extensão

- *pegmatito granítico* denominado Mascarello, similar ao Timbalada, de cor amarelada devido marcante presença de hidróxidos de ferro que colore os cristais de feldspato potássico, secundariamente os de quartzo, além da evidente percolação e infiltração ao longo de planos de clivagens, de microfissuras e interfaces minerais. Apresenta estrutura isotrópica e textura pegmatítica heterogênea com granulação grossa a muito grossa destacada pela existência de cristais de microclínio e de quartzo que atingem dimensões entre 2 e 8cm, seguidos pela muscovita com dimensões máximas observadas ao redor de 2cm. Como observado para o pegmatito Timbalada, apesar sob o microscópio apresentar um grau de microfissuramento relativamente baixo, com 3,4 microfissuras  $\text{mm}^2$ , macroscopicamente observa-se a existência de um microfissuramento intragrãos e transgranulares marcantes, sendo que os transgranulares atingem extensões que superam a casa dos 5 a 6cm. Estes são abertos e normalmente preenchidos por fina massa filossilicática enriquecidas por hidróxidos de ferro que lhe imprimem coloração amarelo-acastanhada

- *pegmatito granítico* denominado de Iallita de coloração creme a pouco amarelado com estrutura discretamente orientada e texturalmente heterogênea em virtude da brusca variação na granulação de seus constituintes minerais, exibindo um aspecto geral movimentado resultante da interação entre frações de granulação média a média-grossa, marcada por certa gnaissificação levemente ondulada, e pegmatóides alongadas de coloração creme mais ou menos concordantes com a foliação geral da rocha. As frações pegmatóides quartzo-feldspáticas apresentam granulação altamente variável, com porções onde a granulação predominante oscila entre 1,5 e 4cm e outras contendo cristais de feldspato gráfico que atingem ao redor de 20cm ao longo da maior extensão. O microfissuramento é igualmente variável, predominantemente intragrãos nas frações de granulação mais fina a pouco pegmatóide e relativamente elevada nas porções pegmatóides, onde são freqüentes

microfraturas intergrãos e transgranulares mais ou menos abertas e com preenchimento por fina massa filossilicática contendo hidróxidos de ferro, destacando também, presença de evidentes planos de clivagens relacionadas aos cristais de feldspato potássico mais desenvolvidos, realçadas pela presença de hidróxidos de ferro. Observação microscópica indicaram na média 3,2 microfissuras  $\text{mm}^2$ , principalmente do tipo intracristalina. Entretanto, as microfissuras transgranulares são melhores observadas macroscopicamente, onde são mais frequentes nas porções com texturas tipicamente pegmatíticas

- *granulito quartzo-feldspático com granada e sillimanita* denominado de Icaraí light, de coloração amarelada devido a certo grau de oxidação do ferro quer sob forma de hidróxido percola e se irradia ao longo de microfissuras, principalmente em cristais de quartzo, e das interfaces minerais, com estrutura ligeiramente gnaissificada e textura granoblástica de granulação média a média-grossa, pouco inequigranular. A ocorrência de microfissuramento é baixo, com 2,8 microfissuras  $\text{mm}^2$

- *biotita gnaisse migmatizado* denominado de Olden cristal, um migmatito metatexítico estromático discretamente dobrado com paleossoma de biotita gnaisse de coloração geral amarelo-acastanhada devido à intensa percolação de óxidos e hidróxidos de ferro sobre cristais de feldspato e de biotita, mais intensamente desenvolvida sobre concentrações neossômicas de quartzo-feldspático. O paleossoma está representado por um biotita gnaisse com estrutura fitada, discretamente ondulada, com textura granoblástica equigranular de granulação média, predominantemente entre 0,3mm a 5mm. O melanossoma biotítico é pouco desenvolvido e caracterizado por forte efeito de oxidação do ferro. Apresenta um grau de microfissuramento considerado relativamente elevado, atingindo 4,9 microfissuras  $\text{mm}^2$

- *migmatito gnaissificado* denominado derema Bordeaux de coloração róseo clara com nuances avermelhadas resultante de diferente intensidade da oxidação do ferro. Caracteriza-se por alternâncias entre leitos estratos de paleossoma gnaissico de granulação fina-média (entre 1 e 3mm) que gradam para leitos de granulação média a média-grossa e mesmo de aspecto levemente pegmatóide (neossomas igualmente gnaissificados) com a presença de cristais de feldspato potássico que atingem dimensões de até cerca de 7cm ao longo da maior extensão. A textura geral é predominantemente granoblástica com porções microgranuladas poligonizadas e o grau de microfissuramento moderado, na média com 3,8 microfissuras  $\text{mm}^2$ .

Em relação aos índices físicos, todas as rochas estudadas apresentam valores de massa específica acima da média das rochas brasileiras, conforme valores médios apresentados por razão e Arjallat (1995) de  $2.550 \text{ g cm}^3$ . Quando se trata de porosidade e absorção d'água, a maior parte do conjunto de rochas analisadas apresenta resultados inferiores aos valores

médios das rochas brasileiras apresentados em razão e arjallat (1995), ou seja, menores que 1,0 para porosidade e que 0,4 para absorção d água. Neste grupo se incluem o hiperstênio diorito Preto ão abriel, o sienito cre Itabira, o charnocito erde abrador, o monzogranito inza orumbá, o pegmatito granítico Timbalada, o granulito Icaraí ight e o migmatito gnaissificado rema Bordeaux. As demais rochas, como os pegmatitos graníticos Mascarello e iallita e o gnaisse migmatizado olden ristal apresentam índices acima dos referidos valores, sendo que o iallita representa o material com os maiores índices. Os resultados obtidos estão diretamente relacionados às características petrográficas inerentes a cada tipo de rocha, tais como homogeneidade heterogeneidade textural, relações de contatos inter-minerais, comportamento microfissural e presença de minerais específicos de determinadas rochas.

Os dados radiométricos relacionados ao  $^{238}\text{U}$ ,  $\text{Th}$  e  $^{40}\text{K}$  e os resultados do monitoramento de exalação do gás  $^{222}\text{Rn}$  mostram-se bastante coerentes com a natureza genética dos tipos petrográficos e apresentam boa correlação em relação aos respectivos parâmetros petrográficos e índices físicos.

Os valores de urânio fornecidos pelas rochas variam de 2,9 ppm a 37 ppm, sendo que as que forneceram valores mais baixos de  $^{238}\text{U}$ , até 10 ppm, foram o sienito cre Itabira, o pegmatito granítico Mascarello, o pegmatito granítico iallita, o charnocito erde abrador e o granulito Icaraí ight. Os valores intermediários de 10 ppm a 20 ppm correspondem ao diorito Preto ão abriel e ao gnaisse olden ristal e os valores mais elevados entre 20 ppm e 40 ppm são do migmatito rema Bordeaux e do pegmatito hidrotermalizado Timbalada, sendo que o maior valor foi o apresentado pelo monzogranito inza orumbá.

O monzogranito inza orumbá que apresentou os maiores teores de  $^{238}\text{U}$  e  $\text{Th}$  também corresponde a rocha com as maiores porcentagens de minerais detentores de elementos radioativos como zircão, allanita e titanita, além de conter apatita, cuja associação mineralógica leva a supor uma natureza cálcio-alcálica para esta rocha.

Igualmente, as rochas diorito Preto ão abriel, sienito cre Itabira e charnocito erde abrador com ausência de minerais tipicamente alcalinos e apenas traços de minerais detentores de elementos radioativos como zircão, aliados aos valores de  $^{238}\text{U}$  e relativos baixos teores de  $^{238}\text{U}$  e  $\text{Th}$  também sugerem ser de natureza cálcio-alcálica.

Os pegmatitos graníticos Timbalada, Mascarello e iallita apresentam baixíssimos teores de  $\text{Th}$  e diferenciados teores de  $^{238}\text{U}$ , sendo que o Mascarello e o iallita apresentam baixos valores de  $^{238}\text{U}$  e o pegmatito hidrotermalizado Timbalada um teor significativamente

maior, provavelmente devido a concentração do urânio durante a ação metassomática a que esta rocha foi submetida.

Entre as rochas metamórficas o granulito quartzo-feldspático Icaraí light, com minerais aluminosos como granada e sillimanita e ausência de minerais tipicamente cálcicos como titanita e baixos teores de  $\text{Na}_2\text{O}$  em relação ao de  $\text{CaO}$ , levam a considerar uma natureza metassedimentar para o mesmo. O migmatito gnaissificadorema Bordeaux com ausência de minerais aluminosos, presença de titanita e com valores relativamente elevados de  $\text{Na}_2\text{O}$  e menores de  $\text{CaO}$  sugerem natureza ortoderivada cálcio-alcálica. Apesar de o gnaiss migmatizado oldenristal apresentar sillimanita como único mineral aluminoso associada a concentrações biotíticas, aparentemente relacionados a restitos surmicáceos, e ausência de minerais tipicamente cálcicos como titanita, o conteúdo de  $\text{Na}_2\text{O}$  e de  $\text{CaO}$  sugerem provável natureza ortoderivada cálcio-alcálica. Essas considerações, adicionadas presença ou ausência de minerais acessórios detentores de elementos radioativos revelam a perfeita coerência com os teores de  $\text{U}$  e Th fornecidos pelas referidas rochas.

Assim, o menor teor de  $\text{U}$  e o maior de Th apresentado pelo granulito quartzo-feldspático Icaraí light, dentre as três rochas metamórficas, são bastante coerentes com sua natureza metassedimentar e pela ausência de minerais concentradores de elementos radioativos. Por outro lado, os teores relativamente mais elevados de  $\text{U}$  para as rochas metamórficasrema Bordeaux e oldenristal e pouco menores de Th estão coerentes com a natureza cálcio-alcálica destes materiais e pela presença de traços de zircão, apatita e titanita.

Destaca-se ainda, que os teores de urânio entre 2,9 ppm a 37 ppm e para o tório entre 0,3 ppm e 83,7 ppm estão dentro dos intervalos de  $\text{U}$  e Th para rochas graníticas e gnáissicas quartzo-feldspáticas ornamentais, não alcalinas, dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo apresentadas por Almas et al. (2003).

Referindo-se a quantificação da exalação do gás radônio obtidos após o ciclo de 25 dias, das rochas estudadas, quatro obtiveram os valores mais altos, observando-se que os maiores valores pertencem, em ordem decrescente, aos pegmatitos graníticos Iallita, Timbalada, migmatito gnaissificadorema Bordeaux e pegmatito granítico Mascarello, o qual apresenta semelhanças com o pegmatito granítico Timbalada. As demais rochas obtiveram valores bem abaixo destes.

Através da quantificação da exalação do Rn nas rochas estudadas verificou-se que não é somente a quantidade de  $\text{U}$  e Th em uma rocha que deve ser analisada como parâmetro de exalação do gás radônio, mas também os aspectos petrográficos como a rede microporosa das mesmas.

A comparação da quantidade de  $^{222}\text{Rn}$  produzido por determinada rocha com o exalado pela rocha, apresentado como fator **E** (eficiência de emissão), demonstra que nem todo o gás radônio produzido na rocha chega a ser exalado, assim como, nem sempre a rocha que produz mais Rn, será a rocha que irá exalar mais. Exemplos disto são os casos do monzogranito *inza orumbá* com o maior teor de  $^{222}\text{Rn}$ , mas com baixas taxas de exalação de  $^{222}\text{Rn}$  e do pegmatito *iallita* com baixo teor de  $^{222}\text{Rn}$  e altas taxas de liberação de  $^{222}\text{Rn}$ , provavelmente relacionados, na primeira rocha, ao baixo grau de microfissuramento e bom engrenamento mineral e baixa porosidade, e, na segunda, ao microfissuramento e contatos variáveis dada a heterogeneidade da rocha com frações finas e pegmatóides e, conseqüentemente, ao alto índice de porosidade exibido por esta última rocha.

Com isso, ressalta-se que a emissão do radônio além de estar relacionada quantidade de urânio, está também ligada facilidade com que o gás radônio tem de escapar dos interstícios da rocha. A rocha com alto índice de microfissuramento e aberturas entre os contatos minerais, distribuição heterogênea dos cristais, tem maior probabilidade de ocorrência de escape do gás. Conclui-se, desta forma, que a exalação do gás radônio nas rochas ornamentais estudadas é conseqüência dos aspectos petrográficos das rochas.

Com base em simulações efetuadas por *hyi* (2008) em relação quantidade de radônio exalada em um determinado ambiente revestido por rochas, foi feito um estudo complementar para verificar se as rochas em questão apresentam valores que podem ser prejudiciais à saúde humana, tendo-se como referência o valor limítrofe de 4 pCi sugerido pela EPA (2003). Assim, foi efetuada a simulação da possível dosimetria radioativa resultante da exalação do gás radônio pela utilização de cada uma das rochas estudadas como piso num apartamento padrão, tendo como condição um ambiente fechado.

Entre as rochas consideradas, seis delas apresentam valores bastante abaixo do valor limítrofe de 4 pCi, correspondentes ao hiperstênio diorito Pretoão Abriel, sienito Creta Itabira, charnocito verde abrador, monzogranito *inza orumbá*, o granulito Icaraí Light e o gnaiss migmatizado Olden Cristal. Duas rochas atingiram valores intermediários entre 1,5 pCi e 2,5 pCi, o pegmatito Mascarello e o migmatito rema Bordeaux. Os pegmatitos graníticos Timbalada e *iallita* apresentam valores elevados, o primeiro, com valor muito próximo ao referido limite e, o segundo, acima do limite de 4 pCi, recomendando cuidados quando empregados em ambientes com ventilação reduzida ou fechados.

Entretanto, se o pegmatito granítico *iallita* for aplicado em menor quantidade, somente como piso nas áreas do banho e como uma bancada na área da cozinha, verifica-se que a adição do nível de radônio pela utilização desta rocha diminui em relação ao total da

casa. A área da cozinha continua abaixo do limítrofe sugerido pela EPA (2003), mas as áreas de banhos ultrapassam o valor recomendado de  $4 \text{ p i l}$ .

Isto demonstra que não há rochas ornamentais nocivas a saúde, pois a adição do nível de radônio num ambiente depende da quantidade de rocha aplicada, da sua taxa de exalação, bem como, do volume de ar do ambiente levando em consideração a ventilação (troca de ar externo interno), assim, se um dos fatores condicionantes for elevado, diminui-se aumenta-se o outro.

Com isso, o método de quantificação do referido gás neste experimento fornece idéia da quantidade de radônio que está sendo exalado, valor esse que pode ser usado para um projeto que requer aplicação de rochas ornamentais.

Conclui-se que o ciclo de 25 dias empregado para o monitoramento do gás radônio exalado pelas rochas, efetuado em condições de vácuo, pode ser utilizado como referência na quantificação do Rn devido os maiores valores de emissão e a indicação de estabilização na exalação do referido gás terem ocorrido neste período, para a maioria das rochas aqui estudadas. Sendo assim sugere-se que as para rochas que não atingirem a estabilização deve ser considerado um acréscimo de tempo até que isto ocorra.

Para fins acadêmicos e trabalhos futuros, com intuito de melhorar a referência na observação da exalação do gás radônio da rocha, recomenda-se o monitoramento contínuo dos valores de exalação mantendo-se o aparelho Alpha AR conectado ao sistema até o final do tempo estabelecido, o que permitiria a obtenção de um gráfico mais detalhado da evolução da exalação de Rn da rocha, similarmente aos procedimentos adotados em minas subterrâneas em que o aparelho monitora continuamente o referido gás e transmite os dados para sistemas computadorizados.

A quantificação do radônio exalado, assim como a radioatividade presente nas rochas, se tornam importantes tendo-se em vista a crescente utilização de rochas como materiais de ornamentação e para revestimentos quer ao nível nacional quer internacional, devendo ser normatizados e exigidos como já ocorre para outros ensaios empregados na caracterização de rochas ornamentais, na medida em que os trabalhos sobre esse tema forem avançando, pois são dados que devem ser levados em consideração nos projetos arquitetônicos para evitar exposições desnecessárias.

Como decorrência deste trabalho salienta-se a implementação do método de quantificação da exalação do gás radônio no laboratório de Rochas ornamentais do PMI E - campus de Rio Claro- P, método similar ao empregado por Ghi (2008) e Asmin *et al* (2009), sendo realizado com sucesso neste trabalho. Mas como em todo trabalho

pioneiro, e considerando-se a pequena quantidade de rochas ornamentais envolvidas no presente estudo, deve-se ter cautela ao interpretar os dados, até que novos sejam gerados.

## Capítulo 8 – Referências Bibliográficas

ABIR, A. - Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. 2008. Informe 18 2008. Site [www.abirrochas.com.br](http://www.abirrochas.com.br).

ABIR, A. - Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. 2011. Informe 06 2011. Site [www.abirrochas.com.br](http://www.abirrochas.com.br).

ANDRETTI, R. M., EISENBERG, R. T., ANDRETTI, A.M.A., ANDRETTI, et al. Natural Radionuclide Distribution in Brazilian Commercial Granites, *Radiation Measurements*, 2005.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12.768 Rochas para revestimento - Análise Petrográfica. São Paulo, 1992a.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12.766 Rochas para revestimento - Determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água aparente. São Paulo, 1992b.

BARRETT, M., PEREIRA, A., TREIN, T., et al. Radon leakage assessment in a controlled radon laboratory. *Geofísica Internacional*. Distrito Federal, México, vol. 41, n. 3, p. 281-284, julho-setembro, 2002.

BINNETT, J. A. Radon concentration in Brazilian environments preliminary data. In Congresso Brasileiro de Geofísica, 1, 1995. Rio de Janeiro. Resumos - Rio de Janeiro.

BINNETT, J. M. Comportamento hidrogeoquímico do  $^{222}\text{Rn}$  e Isótopos de  $^{238}\text{U}$  e  $^{234}\text{Th}$  sob condições controladas em laboratório e em sistemas Naturais. 1996. 223f. Tese (livre docência), Universidade Estadual Paulista, Rio Claro - SP, 1996.

BINNETT, J. M., ANDRETTI, R. N. 1997. The implications of laboratory  $^{222}\text{Rn}$  flux measurements to the radioactivity in groundwaters the case of a karstic limestone aquifer. *Applied Geochemistry* 12 715-726.

B N TT , .M. I EIRA, E. . Geoquímica do Rânio Aplicada aguas Minerais. 2006. 153 f. Editora nesp, P.

EN, . 2005. A Review of Radon uses. p. 27-31. Radiation Protection Management. volume 22, No. 4, 2005

MI NA I NA E ENER IA N EAR NEN. Radioatividade. 18f. Ano desconhecido.

I, . . 2008. Radon Testing of various countertop Materials inal Report. 15 f. The niversity of A ron, Maio, 2008.

ANA, AME . Manual de Mineralogia. Revisto por ornelius . urlbut unior. Tradução Ribeiro ranco. Rio de aneiro, T E P, 1969. 2v.

ARTE, R. M. 2002. Radioelementos naturais na área do projeto Rio Preto ( ). 2002. 169 f. Tese (outorado), niversidade Estadual Paulista, Rio laro- P, 2002.

A RE, NTER. Principles and applications of geochemistry a comprehensive textboo for geology students. pper addle River Prentice all, 1988, xv, 600p.

ERREIRA, A. . M. . Radioatividade Ambiental e Efeitos na saúde. Revista Brasileira de ancerologia, v. 50, p. 153, 2004.

I R, . 2008. Análise da oncentração de Radônio Proveniente dos Materiais de onstrução. 148 f. 2008. issertação (Mestrado), niversiade Tecnológica ederal do Paraná PR, 2008.

A . 23 24 Rio de aneiro itória. Projeto RA AMBRA I , Rio de aneiro, 1983, 708p.

A E. 24 Rio oce. Projeto RA AMBRA I , Rio de aneiro, 1987, 548p.

RA, E.B. AR A AT, .E. . 1995. Características Tecnológicas das principais rochas silicáticas brasileiras usadas como pedras de revestimento. Atas do 1º Congr. Internacional da Pedra Natural. Lisboa, Portugal, 1995.47-58p.

A BEMAN, . . 1977. Migration of uranium and thorium - exploration significance. Tulsa, Amer. Assoc. Petro. Geol. 168 p. ( Studies in Geology n 3).

INTERNATIONAL JOURNAL OF ENVIRONMENTAL AND RADIOLOGICAL PHYSICS. Protection against radon at home and outdoors. Oxford JRP Publ, v. 23, n. 2, 65f. 1993.

Informações sobre o aparelho Alpha Guard  
<http://www.genitron.de/products/products.html> Alpha Guard. Acessado em 2010.

AP AN, IR IN . Radon in the Home. Tradução Oldemberg, José Oldemberg, Lóvis. 2ª Edição. Rio de Janeiro. Editora Guanabara Dois, 1983.

ATE M RP . What's lurking in your countertop The New York Times. Published July 24, 2008. Disponível em  
<http://www.nytimes.com/2008/07/24/garden/24granite.html> pageanted1r1sqradonstcse scp 1. Acesso em 31/05/2011.

MANINI, . . Migração de  $^{226}\text{Ra}$  e  $^{228}\text{Ra}$  nas águas superficiais e subterrâneas no complexo Alcalino do Barreiro de Araxá (MG). Tese de doutorado, IUPERJ, Rio de Janeiro, 2003.

MEER, A. P. A influência da petrografia no comportamento tecnológico de rochas ornamentais do complexo ocorro (P) e Maciço Pedra Branca (MG). 2003. 139 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual Paulista, Rio de Janeiro- P, 2003.

M RAI, M. . R R I E, E. de P. Exemplo de aplicação de coloração seletiva de feldspato potássico e cálcico, técnica auxiliar no estudo de rochas. Revista de Cerâmica, São Paulo, v. 24, n. 97, p. 32-35, 1978.

MARA, . . . Radioatividade natural e emissão de  $^{222}\text{Rn}$  em rochas ornamentais provenientes de diferentes séries magmáticas utilizadas como revestimento interno. 2005. 195 f. Tese (outorado), Universidade Estadual Paulista, Rio Claro- P, 2005.

NARRA, . . . Anisotropia da resistência compressão uniaxial e da dilatação térmica linear de rochas para revestimento. 2006. 221 f. Tese (outorado), Universidade Estadual Paulista, Rio Claro- P, 2006.

PASSOS, R. 1991, Isotopia Ambiental de  $^{222}\text{Rn}$  e filhos Medida da Eficiência Absoluta do R-39 levando-se em conta os Efeitos do Plateau e fatores Ambientais. 380 f. Tese (outorado), Universidade Estadual de Campinas, 1991.

PERALTA, A. . *et al.* 2007. Órgeno Araçuaí síntese do conhecimento 30 anos após Almeida 1977. E N M 15(1) 1 - 16, 2007.

PINTO, . . . Desenvolvimento de métodos analíticos para determinação de terras raras, Th, e em rochas, solos e sedimentos por ICP-MS. 136 f. Tese (outorado), Universidade Federal de Minas Gerais, 2010.

PERALTA, A. . Eventamentos de Recursos Naturais. . 32 e 34, 1983.

PERALTA, A. . ARAÚJO, A. . Thorium. In PERALTA, A. . (Ed.) Handbook of geochemistry. Springer-Verlag, 1969, v. 4, cap. 90.

PERALTA, A. . NAZARET, A. . MENDES, . . . 2003. Radioatividade em rochas ornamentais do Brasil. Anais Imp. de Rochas Ornamentais do Nordeste. (Eds. . . . . Vidal e M.A.A.B. Lima Rio de Janeiro ETEMB, 2003). p. 68-73. Fortaleza E.

PINTO, . E. . Determinação dos Processos de Enriquecimento e das concentrações de Radônio em Minas subterrâneas de fluorita e arvaão do Estado de Santa Catarina critério para Avaliação dos Riscos Radiológicos. 2008. 137f. Dissertação (Mestrado), Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre R, 2008.

ER I E I BRA I PRM. 2003. Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil. 2003.

TRE IEN, A. 1976. To each plutonic rock its proper name. *Earth- science Reviews*, 12: 1-33.

BRI , . . . ME , . B. Al aline rocks from continental Brazil. *Earth sciences Reviews*, 1981, 17: 135-154

NITE NATI N IENTI I MMITTEE N T E E E T AT MI RA IATI N N EAR 1993. Effects of Ionizing Radiation. Ne or , nited Nations, 1993.

NITE NATI N IENTI I MMITTEE N T E E E T AT MI RA IATI N N EAR 2006. Effects of Ionizing Radiation. 16 f, olume I. Ne or , nited Nations, 2008.

NITE NATI N IENTI I MMITTEE N T E E E T AT MI RA IATI N N EAR 2008. Sources and Effects of Ionizing Radiation. 24 f, olume I. Ne or , nited Nations, 2010.

NITE TATE EN IR NMENTA PR TE TI N A EN EPA 2003. Assessment of Ris s rom Radon in omes. 99f. ashington, , unho 2003.

IN ER, E M T . . Petrogenesis of metamorphic rocks. 1976. Ne or pringer-erlag 4 ed. 334 p.

A MIN, . . RREIA, . . RIBEIR , R. . da . Emissão de radônio em rochas ornamentais. II ornada de Iniciação ientífica, entro de Tecnologia Mineral ETEM. p. 95-101. 2009.

**ANEXO A**  
**ÍNDICES FÍSICOS**

## Ensaio para Determinação de Índices Físicos - Norma - NBR - 12.766

Amostra Preto ão abriel

Início 06 04 2010

Término 08 04 2010

Procedência olatina E

P num.	PE (g)			Massa Específica ( g m <sup>3</sup> )		Porosidade	Abs. d'água
	ub (A)	at (B)	eco ( )	eca	aturada		
1	244,87	367,48	366,75	2991,192	2997,145	0,60	0,20
2	247,70	372,11	371,40	2985,291	2990,998	0,57	0,19
3	260,51	391,36	390,66	2985,556	2990,906	0,53	0,18
4	250,42	374,72	374,10	3009,654	3014,642	0,50	0,17
5	249,63	374,02	373,32	3001,206	3006,833	0,56	0,19
6	251,26	376,40	375,69	3002,158	3007,831	0,57	0,19
7	264,39	395,87	395,16	3005,476	3010,876	0,54	0,18
8	261,69	392,97	392,13	2986,974	2993,373	0,64	0,21
9	265,70	397,33	396,61	3013,067	3018,537	0,55	0,18
10	270,63	406,22	405,49	2990,560	2995,944	0,54	0,18
<b>Valores Médios:</b>				2997,113	3002,708	0,56	0,19
<b>Desvio Padrão:</b>				10,425	10,237	0,038	0,013

## Ensaio para Determinação de Índices Físicos - Norma - NBR - 12.766

Amostra cre Itabira

Início 07 04 2010

Término 09 04 2010

Procedência enda Nova do Imigrante E

P num.	PE (g)			Massa Específica ( g m <sup>3</sup> )		Porosidade	Abs. d'água
	ub (A)	at (B)	eco ( )	eca	aturada		
1	228,67	361,12	359,95	2717,629	2726,463	0,88	0,33
2	222,64	351,62	350,32	2716,080	2726,159	1,01	0,37
3	241,10	379,44	378,21	2733,916	2742,808	0,89	0,33
4	235,14	371,47	370,29	2716,130	2724,785	0,87	0,32
5	228,80	362,07	360,99	2708,712	2716,815	0,81	0,30
6	243,71	384,02	382,74	2727,817	2736,940	0,91	0,33
7	240,39	378,08	376,63	2735,348	2745,878	1,05	0,38
8	244,99	387,81	386,53	2706,414	2715,376	0,90	0,33
9	240,45	380,87	379,50	2702,606	2712,363	0,98	0,36
10	223,13	351,82	350,63	2724,610	2733,857	0,92	0,34
<b>Valores Médios:</b>				2718,926	2728,144	0,92	0,34
<b>Desvio Padrão:</b>				11,307	11,537	0,072	0,026

## Ensaio para Determinação de Índices Físicos - Norma - NBR - 12.766

Amostra erde abradorInício 16 02 2011Término 18 02 2011Procedência Baixo uandú E

P num.	PE (g)			Massa Específica ( g m <sup>3</sup> )		Porosidade	Abs. d'água
	ub (A)	at (B)	eco ( )	eca	aturada		
1	246,23	394,17	392,93	2656,009	2664,391	0,84	0,32
2	240,62	385,72	384,45	2649,552	2658,305	0,88	0,33
3	245,46	391,81	390,64	2669,218	2677,212	0,80	0,30
4	250,77	401,26	400,10	2658,648	2666,357	0,77	0,29
5	245,05	392,89	391,82	2650,298	2657,535	0,72	0,27
6	244,03	391,03	389,93	2652,585	2660,068	0,75	0,28
7	245,60	393,26	392,08	2655,289	2663,281	0,80	0,30
8	237,13	379,19	378,03	2661,059	2669,224	0,82	0,31
9	253,43	404,88	403,63	2665,104	2673,358	0,83	0,31
10	236,88	379,71	378,44	2649,583	2658,475	0,89	0,34
<b>Valores Médios:</b>				2656,735	2664,820	0,81	0,30
<b>Desvio Padrão:</b>				6,768	6,742	0,052	0,020

## Ensaio para Determinação de Índices Físicos - Norma - NBR - 12.766

Amostra inza orumbáInício 12 04 2010Término 14 04 2010Procedência astelo E

P num.	PE (g)			Massa Específica ( g m <sup>3</sup> )		Porosidade	Abs. d'água
	ub (A)	at (B)	eco ( )	eca	aturada		
1	233,94	370,41	369,44	2707,115	2714,223	0,71	0,26
2	256,62	409,95	408,69	2665,428	2673,645	0,82	0,31
3	257,25	410,72	409,52	2668,404	2676,223	0,78	0,29
4	251,40	398,67	397,51	2699,192	2707,069	0,79	0,29
5	254,47	405,26	404,15	2680,218	2687,579	0,74	0,27
6	242,75	387,44	386,22	2669,293	2677,725	0,84	0,32
7	246,16	392,57	391,45	2673,656	2681,306	0,76	0,29
8	245,47	389,07	387,93	2701,462	2709,401	0,79	0,29
9	231,15	366,57	365,58	2699,601	2706,912	0,73	0,27
10	246,50	393,42	392,24	2669,752	2677,784	0,80	0,30
<b>Valores Médios:</b>				2683,412	2691,187	0,78	0,29
<b>Desvio Padrão:</b>				16,461	16,211	0,042	0,017

## Ensaio para Determinação de Índices Físicos - Norma - NBR - 12.766

Amostra TimbaladaInício 16 02 2011Término 17 02 2011

Procedência Itinga - M

P num.	PE (g)			Massa Específica ( g m <sup>3</sup> )		Porosidade	Abs. d'água
	ub (A)	at (B)	eco ( )	eca	aturada		
1	233,98	372,55	371,49	2680,883	2688,533	0,76	0,29
2	243,45	391,16	390,08	2640,850	2648,162	0,73	0,28
3	231,81	377,46	375,96	2581,256	2591,555	1,03	0,40
4	216,21	349,11	347,88	2617,607	2626,862	0,93	0,35
5	224,70	364,03	362,76	2603,603	2612,718	0,91	0,35
6	246,35	399,12	397,83	2604,111	2612,555	0,84	0,32
7	252,08	409,58	407,87	2589,651	2600,508	1,09	0,42
8	231,61	373,09	371,65	2626,873	2637,051	1,02	0,39
9	238,65	386,65	385,37	2603,851	2612,500	0,86	0,33
10	225,67	364,18	363,13	2621,688	2629,269	0,76	0,29
<b>Valores Médios:</b>				2617,037	2625,971	0,89	0,34
<b>Desvio Padrão:</b>				28,507	27,710	0,123	0,050

## Ensaio para Determinação de Índices Físicos - Norma - NBR - 12.766

Amostra MascarelloInício 13 04 2010Término 15 04 2010

Procedência Itinga - M

P num.	PE (g)			Massa Específica ( g m <sup>3</sup> )		Porosidade	Abs. d'água
	ub (A)	at (B)	eco ( )	eca	aturada		
1	230,25	369,33	367,27	2640,710	2655,522	1,48	0,56
2	233,13	372,91	371,31	2656,389	2667,835	1,14	0,43
3	242,33	390,34	388,63	2625,701	2637,254	1,16	0,44
4	232,35	373,23	371,58	2637,564	2649,276	1,17	0,44
5	229,67	369,86	368,08	2625,580	2638,277	1,27	0,48
6	222,11	356,51	354,64	2638,690	2652,604	1,39	0,53
7	239,50	383,68	381,72	2647,524	2661,118	1,36	0,51
8	240,52	383,12	381,54	2675,596	2686,676	1,11	0,41
9	232,03	371,17	369,29	2654,089	2667,601	1,35	0,51
10	214,68	344,25	342,66	2644,594	2656,865	1,23	0,46
<b>Valores Médios:</b>				2644,644	2657,303	1,27	0,48
<b>Desvio Padrão:</b>				14,970	14,713	0,125	0,048

## Ensaio para Determinação de Índices Físicos - Norma - NBR - 12.766

Amostra ialittaInício 13 04 2010Término 15 04 2010Procedência ironda - E

P num.	PE (g)			Massa Específica ( g m <sup>3</sup> )		Porosidade	Abs. d água
	ub (A)	at (B)	eco ( )	eca	aturada		
1	223,18	364,63	362,62	2563,591	2577,801	1,42	0,55
2	215,25	346,23	344,48	2630,020	2643,381	1,34	0,51
3	215,95	350,80	348,67	2585,614	2601,409	1,58	0,61
4	207,12	335,61	333,85	2598,257	2611,954	1,37	0,53
5	211,90	344,92	342,90	2577,808	2592,994	1,52	0,59
6	216,60	353,35	351,31	2568,995	2583,912	1,49	0,58
7	201,44	324,96	323,23	2616,823	2630,829	1,40	0,54
8	212,44	347,01	344,84	2562,533	2578,658	1,61	0,63
9	219,03	357,42	355,47	2568,610	2582,701	1,41	0,55
10	216,06	348,57	346,73	2616,633	2630,518	1,39	0,53
<b>Valores Médios:</b>				2588,888	2603,416	1,45	0,56
<b>Desvio Padrão:</b>				24,955	24,375	0,093	0,040

## Ensaio para Determinação de Índices Físicos - Norma - NBR - 12.766

Amostra Icarai lightInício 07 04 2010Término 09 04 2010Procedência Barra de São Francisco

P num.	PE (g)			Massa Específica ( g m <sup>3</sup> )		Porosidade	Abs. d água
	ub (A)	at (B)	eco ( )	eca	aturada		
1	210,25	338,38	337,31	2632,561	2640,912	0,84	0,32
2	209,06	335,52	334,15	2642,337	2653,171	1,08	0,41
3	231,89	370,96	369,73	2658,589	2667,434	0,88	0,33
4	223,24	354,65	353,47	2689,826	2698,805	0,90	0,33
5	219,44	352,80	351,52	2635,873	2645,471	0,96	0,36
6	233,66	372,68	371,51	2672,349	2680,765	0,84	0,31
7	244,65	392,64	391,36	2644,503	2653,152	0,86	0,33
8	242,44	388,29	386,99	2653,342	2662,256	0,89	0,34
9	227,77	364,78	363,61	2653,894	2662,433	0,85	0,32
10	233,96	375,39	373,96	2644,135	2654,246	1,01	0,38
<b>Valores Médios:</b>				2652,741	2661,865	0,91	0,34
<b>Desvio Padrão:</b>				17,441	17,226	0,081	0,031

## Ensaio para Determinação de Índices Físicos - Norma - NBR - 12.766

Amostra olden ristalInício 12 04 2010Término 14 04 2010

Procedência Itinga - M

P num.	PE (g)			Massa Específica ( g m <sup>3</sup> )		Porosidade	Abs. d água
	ub (A)	at (B)	eco ( )	eca	aturada		
1	227,38	369,86	367,65	2580,362	2595,873	1,55	0,60
2	224,58	364,06	362,28	2597,362	2610,123	1,28	0,49
3	233,02	377,44	375,39	2599,294	2613,488	1,42	0,55
4	216,65	351,97	349,98	2586,314	2601,020	1,47	0,57
5	230,58	373,61	371,96	2600,573	2612,109	1,15	0,44
6	235,36	381,38	379,38	2598,137	2611,834	1,37	0,53
7	236,92	384,19	382,23	2595,437	2608,746	1,33	0,51
8	231,50	376,19	373,72	2582,901	2599,972	1,71	0,66
9	235,67	382,35	380,23	2592,242	2606,695	1,45	0,56
10	229,78	373,36	371,36	2586,433	2600,362	1,39	0,54
<b>Valores Médios:</b>				2591,905	2606,022	1,41	0,54
<b>Desvio Padrão:</b>				7,352	6,218	0,151	0,060

## Ensaio para Determinação de Índices Físicos - Norma - NBR - 12.766

Amostra rema BordeauxInício 05 04 2010Término 07 04 2010

Procedência Afonso láudio - E

P num.	PE (g)			Massa Específica ( g m <sup>3</sup> )		Porosidade	Abs. d água
	ub (A)	at (B)	eco ( )	eca	aturada		
1	226,81	366,58	365,45	2614,653	2622,737	0,81	0,31
2	232,85	375,45	374,29	2624,755	2632,889	0,81	0,31
3	228,27	368,94	367,83	2614,843	2622,734	0,79	0,30
4	227,19	367,28	366,06	2613,034	2621,743	0,87	0,33
5	225,64	365,69	364,62	2603,499	2611,139	0,76	0,29
6	231,49	375,42	374,28	2600,431	2608,351	0,79	0,30
7	252,68	409,40	408,16	2604,390	2612,302	0,79	0,30
8	243,15	392,87	391,68	2616,083	2624,032	0,79	0,30
9	247,34	398,72	397,62	2626,635	2633,901	0,73	0,28
10	224,85	363,80	362,78	2610,867	2618,208	0,73	0,28
<b>Valores Médios:</b>				2612,919	2620,804	0,79	0,30
<b>Desvio Padrão:</b>				8,606	8,589	0,041	0,016

**ANEXO B**  
**ESPECTROMETRIA GAMA**

Amostra	Canal- A	Canal-B	Gross	Canal- A	Canal-B	Gross	Live Time
	K	K	K	U	U	U	
CB	1000	1148	25331	1240	1404	10689	75486,76
TI	1008	1136	21651	1236	1412	12630	86703,06
VL	1008	1196	52201	1296	1464	10548	98988,82
PSG	1012	1156	18326	1256	1472	11003	92465,28
IL	976	1156	42535	1296	1460	8992	84087,34
OC	988	1156	36501	1352	1520	7207	84896,5
CC	1020	1160	38599	1256	1412	16583	84018
GC	992	1144	33907	1240	1416	11578	76127,82
MS	996	1128	21709	1256	1408	9293	98887,5
GI	988	1144	33215	1296	1468	7469	75810,24
BG	996	1164	3584	1294	1464	5131	70280,28

Amostra	Gross	Live Time	Gr/LT-K
	K		
CB	25331	75486,76	0,33556878
TI	21651	86703,06	0,24971437
VL	52201	98988,82	0,52734238
PSG	18326	92465,28	0,19819331
IL	42535	84087,34	0,50584309
OC	36501	84896,5	0,42994705
CC	38599	84018	0,45941346
GC	33907	76127,82	0,44539565
MS	21709	98887,5	0,2195323
GI	33215	75810,24	0,43813342
BG	3584	70280,28	0,05099581

Amostra	Gross	Live Time	Gr/LT-U
	U		
CB	10689	75486,76	0,14160099
TI	12630	86703,06	0,1456696
VL	10548	98988,82	0,10655749
PSG	11003	92465,28	0,11899602
IL	8992	84087,34	0,10693643
OC	7207	84896,5	0,0848916
CC	16583	84018	0,19737437
GC	11578	76127,82	0,15208632
MS	9293	98887,5	0,09397548
GI	7469	75810,24	0,09852231
BG	5131	70280,28	0,07300768

Amostra	Net K	Net U
CB	0,28457297	0,06859331
TI	0,19871856	0,07266192
VL	0,47634657	0,03354981
PSG	0,1471975	0,04598834
IL	0,45484728	0,03392875
OC	0,37895124	0,01188393
CC	0,40841765	0,12436669
GC	0,39439984	0,07907864
MS	0,16853648	0,0209678
GI	0,38713761	0,02551463
BG	0	0

Amostra	Net K	Net U	M	Net K /M	Net U /M
CB	0,28457297	0,06859331	65,09	0,004371992	0,00105382
TI	0,19871856	0,07266192	62,89	0,00315978	0,00115538
VL	0,47634657	0,03354981	80,5	0,005917349	0,00041677
PSG	0,1471975	0,04598834	78,11	0,00188449	0,00058876
IL	0,45484728	0,03392875	81,09	0,005609166	0,00041841
OC	0,37895124	0,01188393	71,31	0,005314139	0,00016665
CC	0,40841765	0,12436669	67,28	0,006070417	0,00184849
GC	0,39439984	0,07907864	82,59	0,004775395	0,00095748
MS	0,16853648	0,0209678	72,65	0,002319841	0,00028861
GI	0,38713761	0,02551463	72,49	0,005340566	0,00035197
BG	0	0	0	0	0

Amostra	Net K /M	Net U /M	T	IK	IU
CB	0,00437199	0,00105382	60	0,26231953	0,06322936
TI	0,00315978	0,00115538	60	0,18958679	0,06932287
VL	0,00591735	0,00041677	60	0,35504092	0,02500607
PSG	0,00188449	0,00058876	60	0,11306939	0,03532583
IL	0,00560917	0,00041841	60	0,33654997	0,02510452
OC	0,00531414	0,00016665	60	0,31884833	0,0099991
CC	0,00607042	0,00184849	60	0,36422501	0,11090966
GC	0,00477539	0,00095748	60	0,28652368	0,05744907
MS	0,00231984	0,00028861	60	0,13919049	0,01731683
GI	0,00534057	0,00035197	60	0,32043394	0,02111847
BG	0	0	60	0	0

Amostra	Formula	Resultado
		ppm (U)
CB	$R = 1,057 * (\log IU) + 2,578$	20,44
TI	$R = 1,057 * (\log IU) + 2,578$	22,53
VL	$R = 1,057 * (\log IU) + 2,578$	7,67
PSG	$R = 1,057 * (\log IU) + 2,578$	11,05
IL	$R = 1,057 * (\log IU) + 2,578$	7,70
OC	$R = 1,057 * (\log IU) + 2,578$	2,91
CC	$R = 1,057 * (\log IU) + 2,578$	37,03
GC	$R = 1,057 * (\log IU) + 2,578$	18,47
MS	$R = 1,057 * (\log IU) + 2,578$	5,20
GI	$R = 1,057 * (\log IU) + 2,578$	6,41
BG	$R = 1,057 * (\log IU) + 2,578$	0,00

Amostra	Formula	Resultado
		% (K)
CB	$R = 0,953 * (\log IK) + 1,4659$	8,17
TI	$R = 0,953 * (\log IK) + 1,4659$	5,99
VL	$R = 0,953 * (\log IK) + 1,4659$	10,90
PSG	$R = 0,953 * (\log IK) + 1,4659$	3,66
IL	$R = 0,953 * (\log IK) + 1,4659$	10,36
OC	$R = 0,953 * (\log IK) + 1,4659$	9,84
CC	$R = 0,953 * (\log IK) + 1,4659$	11,17
GC	$R = 0,953 * (\log IK) + 1,4659$	8,88
MS	$R = 0,953 * (\log IK) + 1,4659$	4,46
GI	$R = 0,953 * (\log IK) + 1,4659$	9,88
BG	$R = 0,953 * (\log IK) + 1,4659$	0,00

**ANEXO C**  
**ICP-MS**



1020 Cordova St. East Vancouver BC V6A 4A3 Canada

Acme Analytical Laboratories (Vancouver) Ltd.

[www.acmelab.com](http://www.acmelab.com)

**Client:**

**Universidade Estadual Paulista - UNESP**

Instituto de Geociencias e Ciencias Exatas  
Av. 24-A No. 1515  
Bela Vista Rio Claro - SP 13506-900 Brasil

Submitted By: Tamar Milka B. Galenbeck

Receiving Lab: Brazil-Goiania

Received: November 25, 2010

Report Date: December 16, 2010

Page: 1 of 2

**CERTIFICATE OF ANALYSIS**

**GOI10001930.1**

**CLIENT JOB INFORMATION**

Project: None Given  
Shipment ID: 586  
P.O. Number: Tamar Milka Bortulozzo Galenbeck  
Number of Samples: 10

**SAMPLE DISPOSAL**

STOR-PLP Store After 90 days Invoice for Storage  
STOR-RJT Store After 90 days Invoice for Storage

Acme does not accept responsibility for samples left at the laboratory after 90 days without prior written instructions for sample storage or return.

Invoice To: Universidade Estadual Paulista - UNESP  
Instituto de Geociencias e Ciencias Exatas  
Av. 24-A No. 1515  
Bela Vista Rio Claro - SP 13506-900  
Brasil

CC:

**SAMPLE PREPARATION AND ANALYTICAL PROCEDURES**

Method Code	Number of Samples	Code Description	Test Wgt (g)	Report Status	Lab
Sort	10	Sorting of samples on arrival			GOI
Ship	10	Shipping charges for collect packages			GOI
MNBR	10	Handling and packing samples only			GOI
4A4B	10	Whole Rock Analysis Majors and Trace Elements	0.2	Completed	VAN
VAN Split Pulp	10	Analysis sample split/packet			VAN

**ADDITIONAL COMMENTS**



This report supersedes all previous preliminary and final reports with this file number dated prior to the date on this certificate. Signature indicates final approval; preliminary reports are unsigned and should be used for reference only. All results are considered the confidential property of the client. Acme assumes the liabilities for actual cost of analysis only. "\*" asterisk indicates that an analytical result could not be provided due to unusually high levels of interference from other elements.



1020 Cordova St. East Vancouver BC V6A 4A3 Canada  
 Phone (604) 253-3158 Fax (604) 253-1716

Acme Analytical Laboratories (Vancouver) Ltd.

www.acmelab.com

**Client:** Universidade Estadual Paulista - UNESP

Instituto de Geociencias e Ciências Exatas  
 Av. 24-A No. 1515  
 Bela Vista Rio Claro - SP 13506-900 Brasil

Project: None Given

Report Date: December 16, 2010

Page: 2 of 2 Part 1

**CERTIFICATE OF ANALYSIS**

**GOI10001930.1**

Method	Analyte	Unit	MDL	Al2O3 %	Ba ppm	Be ppm	CaO %	Ce ppm	Co ppm	Cr2O3 %	Cs ppm	Dy ppm	Er ppm	Eu ppm	Fe2O3 %	Ga ppm	Gd ppm	Hf ppm	Ho ppm	K2O %	La ppm	LOI %	Lu ppm
CB	Rock Pulp			13.67	29	2	1.38	5.0	0.7	0.008	1.7	3.67	3.15	0.28	0.56	14.5	1.93	1.0	0.97	3.76	2.0	0.5	0.40
CC	Rock Pulp			14.45	1634	3	2.59	637.2	7.4	0.004	2.7	9.32	4.01	3.21	5.28	22.0	13.88	21.2	1.51	5.52	287.6	0.6	0.46
GC	Rock Pulp			14.94	280	2	0.77	33.7	1.0	0.004	2.1	1.88	0.77	0.49	1.00	27.1	2.77	2.5	0.30	5.27	15.5	0.6	0.10
GI	Rock Pulp			15.47	24	2	0.51	3.3	0.6	0.004	3.2	0.92	0.51	0.12	0.64	20.0	0.56	1.2	0.15	5.98	1.7	0.8	0.10
IL	Rock Pulp			13.16	94	<1	0.82	43.0	2.8	0.005	1.2	8.11	2.88	0.30	2.70	16.6	6.56	5.2	1.35	5.66	17.0	0.4	0.17
MS	Rock Pulp			14.82	<1	93	0.19	0.2	0.3	0.010	31.0	0.11	0.06	<0.02	1.01	49.3	0.06	0.3	<0.02	2.28	0.1	1.0	<0.01
OI	Rock Pulp			18.42	6448	2	3.82	754.9	5.8	<0.002	0.3	10.97	4.76	7.15	5.43	21.5	17.53	24.8	1.77	6.01	336.6	0.5	0.57
PSG	Rock Pulp			15.07	766	2	8.05	187.6	41.8	0.011	0.9	5.38	2.22	3.28	12.70	20.3	9.53	6.1	0.89	1.41	74.3	0.3	0.23
TI	Rock Pulp			14.29	4	190	0.21	0.6	0.5	0.018	21.5	<0.05	<0.03	<0.02	1.22	40.2	0.07	0.5	<0.02	2.59	0.4	1.4	<0.01
VL	Rock Pulp			14.57	2420	1	1.58	156.4	1.9	0.006	1.1	3.25	1.38	3.36	3.51	19.6	6.02	15.4	0.54	6.49	73.8	0.3	0.19



1020 Cordova St. East Vancouver BC V6A 4A3 Canada  
 Phone (604) 253-3158 Fax (604) 253-1716

Acme Analytical Laboratories (Vancouver) Ltd.

[www.acmelab.com](http://www.acmelab.com)

**Client:**

**Universidade Estadual Paulista - UNESP**

Instituto de Geociencias e Ciências Exatas  
 Av. 24-A No. 1515  
 Bela Vista Rio Claro - SP 13506-900 Brasil

**Project:** None Given

**Report Date:** December 16, 2010

**Page:** 2 of 2 **Part** 2

**CERTIFICATE OF ANALYSIS**

**GOI10001930.1**

Method	Analyte	Unit	MgO	MnO	Na2O	Nb	Nd	Ni	P2O5	Pr	Rb	Sc	SiO2	Sm	Sn	Sr	Sum	Ta	Tb	Th	TiO2	Tm
		MDL	%	%	%	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	%	ppm
CB	Rock Pulp		0.07	0.01	4.20	2.7	1.9	<20	0.02	0.48	110.7	<1	75.83	0.78	1	39.7	100.02	<0.1	0.50	10.7	0.03	0.44
CC	Rock Pulp		1.06	0.07	2.83	49.3	184.7	<20	0.36	58.02	269.1	9	65.85	25.44	4	398.1	99.50	2.7	1.98	83.7	0.92	0.55
GC	Rock Pulp		0.19	0.01	3.73	11.0	13.1	<20	0.23	3.71	251.0	2	73.08	3.16	4	87.9	99.97	0.3	0.42	11.0	0.13	0.11
GI	Rock Pulp		0.12	0.01	2.96	15.5	1.1	<20	0.10	0.33	276.9	3	73.40	0.41	4	28.9	100.01	1.5	0.15	1.2	0.05	0.09
IL	Rock Pulp		0.31	0.04	2.44	11.7	16.8	<20	0.19	4.87	256.9	3	74.03	5.29	2	29.0	99.98	0.6	1.41	14.9	0.24	0.35
MS	Rock Pulp		0.07	0.03	4.18	115.6	<0.3	<20	0.25	0.02	658.1	1	76.06	<0.05	79	3.8	99.96	23.9	0.02	0.3	0.02	<0.01
OI	Rock Pulp		1.45	0.11	4.16	37.9	241.3	<20	0.49	72.25	93.6	13	57.16	32.06	3	1280	98.77	1.4	2.38	21.6	1.19	0.65
PSG	Rock Pulp		5.71	0.15	2.60	22.7	86.2	51	1.80	21.56	51.3	20	47.86	13.90	2	892.5	99.58	1.1	1.18	10.7	3.89	0.28
TI	Rock Pulp		0.09	0.33	3.63	83.7	<0.3	<20	0.78	0.09	553.2	<1	75.31	<0.05	60	4.1	99.91	32.6	0.01	0.8	0.02	<0.01
VL	Rock Pulp		0.19	0.04	2.74	26.4	60.0	<20	0.13	16.24	173.7	4	69.71	9.08	<1	222.8	99.60	1.4	0.78	14.1	0.35	0.19

This report supersedes all previous preliminary and final reports with this file number dated prior to the date on this certificate. Signature indicates final approval. preliminary reports are unsigned and should be used for reference only.



1020 Cordova St. East Vancouver BC V6A 4A3 Canada  
 Phone (604) 253-3158 Fax (604) 253-1716

Acme Analytical Laboratories (Vancouver) Ltd.

[www.acmelab.com](http://www.acmelab.com)

**Client:** Universidade Estadual Paulista - UNESP

Instituto de Geociencias e Ciências Exatas  
 Av. 24-A No. 1515  
 Bela Vista Rio Claro - SP 13506-900 Brasil

**Project:** None Given

**Report Date:** December 16, 2010

**Page:** 2 of 2 **Part** 3

# CERTIFICATE OF ANALYSIS

GOI10001930.1

Method	Analyte	Unit	2A Leco										1DX																		
			U	V	W	Y	Yb	Zr	TOT/C	TOT/S	Ag	As	Au	Bi	Cd	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Sb	Se									
		MDL	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm									
CB	Rock Pulp	0.1	9.4	<8	3.9	0.5	0.1	30.1	2.62	0.05	0.1	0.02	0.02	0.1	<0.5	<0.5	0.5	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	1.2	<0.01	0.1	1.0	2.1	<0.1	<0.5
CC	Rock Pulp	7.0	56	<0.5	45.0	0.5	0.1	45.0	3.34	789.9	0.05	0.03	0.03	<0.1	0.7	0.8	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	8.3	<0.01	1.7	4.3	8.3	<0.01	1.7	4.3	9.6	<0.1	<0.5
GC	Rock Pulp	8.6	<8	<0.5	9.5	0.5	0.1	9.5	0.75	68.2	<0.02	<0.02	<0.02	<0.1	<0.5	<0.5	0.3	<0.1	<0.1	<0.1	1.0	<0.01	0.1	1.1	1.0	<0.01	0.1	1.1	1.7	<0.1	<0.5
GI	Rock Pulp	6.1	<8	1.1	6.0	1.95	22.2	6.0	1.95	22.2	<0.02	<0.02	<0.02	<0.1	<0.5	<0.5	0.2	<0.1	<0.1	0.7	<0.01	0.1	0.7	0.7	0.7	<0.01	0.1	0.7	7.3	<0.1	<0.5
IL	Rock Pulp	2.2	9	<0.5	43.2	0.5	0.1	43.2	1.64	149.3	0.03	<0.02	<0.02	<0.1	<0.5	<0.5	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.9	<0.01	0.7	1.9	0.9	<0.01	0.7	1.9	1.5	<0.1	<0.5
MS	Rock Pulp	6.2	<8	11.0	0.8	0.06	6.4	0.06	6.4	<0.02	<0.02	<0.02	<0.1	<0.5	0.7	3.0	0.5	<0.1	<0.1	<0.1	5.2	<0.01	0.2	1.4	5.2	<0.01	0.2	1.4	2.4	<0.1	<0.5
OI	Rock Pulp	0.8	58	<0.5	52.6	0.5	0.1	52.6	3.91	1139	0.05	0.08	0.21	<0.1	0.9	<0.5	<0.1	<0.1	<0.1	2.2	<0.01	0.4	2.5	2.1	2.2	<0.01	0.4	2.5	2.1	<0.1	<0.5
PSG	Rock Pulp	1.2	317	<0.5	24.9	1.66	220.9	0.06	1.66	220.9	0.06	0.21	<0.1	<0.5	0.8	<0.5	0.1	<0.1	<0.1	31.0	<0.01	0.4	49.9	2.3	31.0	<0.01	0.4	49.9	2.3	<0.1	<0.5
TI	Rock Pulp	11.4	<8	6.6	0.2	<0.05	6.9	0.05	<0.05	6.9	0.05	<0.02	<0.1	<0.5	<0.5	0.1	0.8	<0.1	<0.1	2.4	<0.01	0.4	6.0	4.8	2.4	<0.01	0.4	6.0	4.8	<0.1	<0.5
VL	Rock Pulp	0.9	<8	<0.5	15.1	1.19	614.7	0.03	1.19	614.7	0.03	<0.02	<0.1	<0.5	1.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	4.7	<0.01	0.7	1.7	1.5	4.7	<0.01	0.7	1.7	1.5	<0.1	<0.5



1020 Cordova St. East Vancouver BC V6A 4A3 Canada  
 Phone (604) 253-3158 Fax (604) 253-1716

Acme Analytical Laboratories (Vancouver) Ltd.

[www.acmelab.com](http://www.acmelab.com)

**Client:** Universidade Estadual Paulista - UNESP  
 Instituto de Geociencias e Ciências Exatas  
 Av. 24-A No. 1515  
 Bela Vista Rio Claro - SP 13506-900 Brasil

**Project:** None Given  
**Report Date:** December 16, 2010

**Page:** 2 of 2 **Part** 4

**CERTIFICATE OF ANALYSIS**

**GOI10001930.1**

Method	Analyte	Unit	1DX	
			Tl	Zn
MDL		ppm	ppm	
CB	Rock Pulp	<0.1	0.1	8
CC	Rock Pulp	0.7	0.1	90
GC	Rock Pulp	0.2	0.1	27
GI	Rock Pulp	0.1	0.1	11
IL	Rock Pulp	0.1	0.1	19
MS	Rock Pulp	0.3	0.1	57
OI	Rock Pulp	<0.1	0.1	63
PSG	Rock Pulp	0.2	0.1	62
TI	Rock Pulp	0.2	0.1	188
VL	Rock Pulp	0.1	0.1	43



1020 Cordova St. East Vancouver BC V6A 4A3 Canada  
 Phone (604) 253-3158 Fax (604) 253-1716

Acme Analytical Laboratories (Vancouver) Ltd.

www.acmelab.com

**Client:** Universidade Estadual Paulista - UNESP

Instituto de Geociencias e Ciências Exatas  
 Av. 24-A No. 1515  
 Bela Vista Rio Claro - SP 13506-900 Brasil

**Project:** None Given

**Report Date:** December 16, 2010

**Page:** 1 of 1 **Part** 1

# QUALITY CONTROL REPORT

GOI10001930.1

Method	Analyte	Unit	MDL	Al2O3 %	Ba ppm	Be ppm	CaO %	Ce ppm	Co ppm	Cr2O3 %	Cs ppm	Dy ppm	Er ppm	Eu ppm	Fe2O3 %	Ga ppm	Gd ppm	Hf ppm	Ho ppm	K2O %	La ppm	LOI %	Lu ppm	
Pulp Duplicates				0.01	1	1	0.01	0.1	0.2	0.002	0.1	0.05	0.03	0.02	0.04	0.5	0.05	0.1	0.02	0.01	0.1	-5.1	0.01	
GC	Rock Pulp			14.94	280	2	0.77	33.7	1.0	0.004	2.1	1.88	0.77	0.49	1.00	27.1	2.77	2.5	0.30	5.27	15.5	0.6	0.10	
REP GC	QC			14.96	269	2	0.78	36.3	1.0	0.005	2.2	1.78	0.61	0.48	0.99	26.8	2.74	2.2	0.25	5.20	15.9	0.6	0.08	
VL	Rock Pulp			14.57	2420	1	1.58	156.4	1.9	0.006	1.1	3.25	1.38	3.36	3.51	19.6	6.02	15.4	0.54	6.49	73.8	0.3	0.19	
REP VL	QC																							
Reference Materials																								
STD CSC	Standard																							
STD DS7	Standard																							
STD DS8	Standard																							
STD OREAS45PA	Standard																							
STD OREAS76A	Standard																							
STD SO-18	Standard			14.02	509	<1	6.30	28.9	28.7	0.555	7.2	2.90	1.77	0.85	7.62	17.2	2.89	9.1	0.60	2.17	12.0	1.9	0.27	
STD SO-18	Standard			14.17	502	<1	6.27	28.1	28.0	0.558	6.8	2.86	1.72	0.84	7.47	17.1	2.84	9.4	0.60	2.15	11.8	1.9	0.26	
STD DS7 Expected																								
STD OREAS45PA Expected																								
STD DS8 Expected																								
STD SO-18 Expected				14.23	514		6.42	27.1	26.2	0.55	7.1	3	1.84	0.89	7.67	17.6	2.93	9.8	0.62	2.17	12.3			
STD CSC Expected																								
STD OREAS76A Expected																								
BLK	Blank			<0.01	<1	<1	<0.01	<0.1	<0.2	<0.002	<0.1	<0.05	<0.03	<0.02	<0.04	<0.5	<0.05	<0.1	<0.02	<0.01	<0.1	0.0	<0.01	
BLK	Blank																							
BLK	Blank																							

This report supersedes all previous preliminary and final reports with this file number dated prior to the date on this certificate. Signature indicates final approval; preliminary reports are unsigned and should be used for reference only.



1020 Cordova St. East Vancouver BC V6A 4A3 Canada  
 Phone (604) 253-3158 Fax (604) 253-1716

Acme Analytical Laboratories (Vancouver) Ltd.

www.acmelab.com

**Client:**

**Universidade Estadual Paulista - UNESP**

Instituto de Geociencias e Ciências Exatas  
 Av. 24-A No. 1515  
 Bela Vista Rio Claro - SP 13506-900 Brasil

**Project:**  
None Given

**Report Date:**  
December 16, 2010

**Page:** 1 of 1 **Part** 2

**QUALITY CONTROL REPORT**

**GOI10001930.1**

Method	Analyte	Unit	MgO	MnO	Na2O	Nb	Nd	Ni	P2O5	Pr	Rb	Sc	SiO2	Sm	Sr	Ta	Tb	Th	TiO2	Tm			
		MDL	%	%	%	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm			
Pulp Duplicates																							
GC	Rock Pulp		0.19	0.01	3.73	11.0	13.1	<20	0.23	3.71	251.0	2	73.08	3.16	4	87.9	99.97	0.3	0.42	11.0	0.13	0.11	
REP GC	QC		0.19	<0.01	3.80	10.2	13.4	<20	0.23	3.77	249.1	2	73.06	3.21	4	84.3	99.96	0.3	0.42	10.3	0.13	0.09	
VL	Rock Pulp		0.19	0.04	2.74	26.4	60.0	<20	0.13	16.24	173.7	4	69.71	9.08	<1	222.8	99.60	1.4	0.78	14.1	0.35	0.19	
REP VL	QC																						
Reference Materials																							
STD CSC	Standard																						
STD DS7	Standard																						
STD DS8	Standard																						
STD OREAS45PA	Standard																						
STD OREAS76A	Standard																						
STD SO-18	Standard		3.36	0.40	3.72	21.2	13.0	43	0.83	3.34	30.6	25	58.18	2.79	16	426.8	99.75	7.0	0.49	11.1	0.69	0.27	
STD SO-18	Standard		3.32	0.40	3.73	20.7	13.1	46	0.81	3.26	30.7	25	58.28	2.71	15	418.5	99.75	6.9	0.48	10.7	0.69	0.27	
STD DS7 Expected																							
STD OREAS45PA Expected																							
STD DS8 Expected																							
STD SO-18 Expected			3.35	0.39	3.71	21.3	14	44	0.83	3.45	28.7	25	58.47	3	15	407.4		7.4	0.53	9.9	0.69	0.27	
STD CSC Expected																							
STD OREAS76A Expected																							
BLK	Blank																						
BLK	Blank		<0.01	<0.01	<0.01	<0.1	<0.3	<20	<0.01	<0.02	<0.1	<1	<0.01	<0.05	<1	<0.5	<0.01	<0.1	<0.01	<0.2	<0.01	<0.01	<0.01
BLK	Blank																						

This report supersedes all previous preliminary and final reports with this file number dated prior to the date on this certificate. Signature indicates final approval; preliminary reports are unsigned and should be used for reference only.



1020 Cordova St. East Vancouver BC V6A 4A3 Canada  
 Phone (604) 253-3158 Fax (604) 253-1716

Acme Analytical Laboratories (Vancouver) Ltd.

www.acmelab.com

**Client:** Universidade Estadual Paulista - UNESP

Instituto de Geociencias e Ciências Exatas  
 Av. 24-A No. 1515  
 Bela Vista Rio Claro - SP 13506-900 Brasil

**Project:** None Given

**Report Date:** December 16, 2010

**Page:** 1 of 1 **Part** 3

# QUALITY CONTROL REPORT

GOI10001930.1

Method Analyte Unit MDL	4A-4B		2A Leco		1DX																	
	U	V	W	Y	Yb	Y	Zr	TOT/C	TOT/S	Ag	As	Au	Bi	Cd	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Sb	Se	
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	%	ppm	ppm	ppb	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Pulp Duplicates	0.1	8	0.5	0.1	0.05	0.1	0.02	0.02	0.02	0.1	0.5	0.5	0.1	0.1	0.1	0.01	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.5
GC	8.6	<8	<0.5	9.5	0.75	68.2	<0.02	<0.02	<0.1	<0.5	<0.5	<0.5	0.3	<0.1	1.0	<0.01	0.1	1.1	1.7	<0.1	<0.5	<0.5
REP GC	8.5	<8	<0.5	8.0	0.56	63.8																
VL	0.9	<8	<0.5	15.1	1.19	614.7	0.03	<0.02	<0.1	<0.5	1.1	<0.1	<0.1	<0.1	4.7	<0.01	0.7	1.7	1.5	<0.1	<0.5	<0.5
REP VL									<0.1	<0.5	<0.5	<0.1	<0.1	<0.1	4.3	<0.01	0.7	1.7	1.4	<0.1	<0.5	<0.5
Reference Materials																						
STD CSC							2.92	4.35														
STD DS7									0.9	48.6	64.4	4.7	6.4	109.0	0.21	21.4	56.9	74.8	4.8	3.8		
STD DS8									1.7	26.2	88.9	6.4	2.0	112.9	0.19	12.6	38.0	118.9	4.6	5.4		
STD OREAS45PA									0.3	5.0	47.6	0.2	<0.1	613.9	0.03	0.9	299.7	20.4	0.1	0.9		
STD OREAS76A									0.15	17.62												
STD SO-18	17.6	221	14.6	31.3	1.79	284.2																
STD SO-18	17.0	215	14.0	30.7	1.75	277.0																
STD DS7 Expected									0.9	50	70	4.5	6.4	109	0.21	20.5	56	70.6	4.6	3.5		
STD OREAS45PA Expected									0.3	4.2	43	0.18	0.09	600	0.03	0.9	281	19	0.13	0.54		
STD DS8 Expected									1.69	26	107	6.67	2.38	110	0.192	13.44	39.8	126	4.8	5.23		
STD SO-18 Expected	16.4	200	14.8	31	1.79	280																
STD CSC Expected							2.94	4.25														
STD OREAS76A Expected							0.16	18														
BLK									<0.1	<0.5	<0.5	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.01	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.5	<0.5
BLK	<0.1	<8	<0.5	<0.1	<0.05	<0.1																
BLK							<0.02	<0.02														



1020 Cordova St. East Vancouver BC V6A 4A3 Canada  
 Phone (604) 253-3158 Fax (604) 253-1716

Acme Analytical Laboratories (Vancouver) Ltd.

[www.acmelab.com](http://www.acmelab.com)

**Client:**

**Universidade Estadual Paulista - UNESP**

Instituto de Geociencias e Ciências Exatas  
 Av. 24-A No. 1515  
 Bela Vista Rio Claro - SP 13506-900 Brasil

**Project:** None Given

**Report Date:** December 16, 2010

**Page:** 1 of 1 **Part** 4

**QUALITY CONTROL REPORT**

**GOI10001930.1**

Method	Analyte	Unit	MDL	TI	Zn	1DX
				ppm	ppm	
				0.1		1
Pulp Duplicates						
GC	Rock Pulp			0.2		27
REP GC	QC					
VL	Rock Pulp			0.1		43
REP VL	QC			<0.1		41
Reference Materials						
STD CSC	Standard					
STD DS7	Standard			4.1		404
STD DS8	Standard			5.0		301
STD OREAS45PA	Standard			<0.1		121
STD OREAS76A	Standard					
STD SO-18	Standard					
STD SO-18	Standard					
STD DS7 Expected				4.2		411
STD OREAS45PA Expected				0.07		119
STD DS8 Expected				5.4		312
STD SO-18 Expected						
STD CSC Expected						
STD OREAS76A Expected						
BLK	Blank			<0.1		<1
BLK	Blank					
BLK	Blank					

**ANEXO D**  
**MONITORAMENTO DO <sup>222</sup>RN**

Planilha de Dados da Exalação do Gás Radônio										
Nome Comercial: Preto São Gabriel					Sigla: PSG					
Procedência: Colatina - ES										
Descrição: Amostra Polida										
Data de Início: 08/09/2010			Hora: 11:07		Data da Leitura: 13/09/2010					
Tempo / Hora	Temperatura		Umidade Relativa		Pressão		Exalação			
15:35	25	°C	44	%rH	942	mbar	4	±	50	Bq/m <sup>3</sup>
15:45	25	°C	42	%rH	942	mbar	1	±	10	Bq/m <sup>3</sup>
15:55	25	°C	42	%rH	942	mbar	2	±	7	Bq/m <sup>3</sup>
16:05	26	°C	40	%rH	942	mbar	1	±	5	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Média:</b>							1,33	±	7,33	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Desvio Padrão:</b>							0,58	±	2,52	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Exalação por Hora:</b>							0,01	±	0,06	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Exalação por Dia:</b>							0,26	±	1,43	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Vácuo Inicial:</b>							450		mmHg	
<b>Vácuo na Leitura:</b>							430		mmHg	
<b>Vácuo Final:</b>							310		mmHg	
A amostras: 0,06665 m <sup>2</sup> V amostras: 0,00114 m <sup>3</sup> P amostras: 3,3328 Kg V Garrafão: 19 L Σ Horas: 123,47 Σ Dias: 5,14										

Planilha de Dados da Exalação do Gás Radônio										
Nome Comercial: Preto São Gabriel					Sigla: PSG					
Procedência: Colatina - ES										
Descrição: Amostra Polida										
Data de Início: 26/10/2010			Hora: 12:32		Data da Leitura: 05/11/2010					
Tempo / Hora	Temperatura		Umidade Relativa		Pressão		Exalação			
15:09	23	°C	81	%rH	938	mbar	16	±	30	Bq/m <sup>3</sup>
15:19	25	°C	76	%rH	938	mbar	11	±	9	Bq/m <sup>3</sup>
15:29	26	°C	73	%rH	938	mbar	7	±	6	Bq/m <sup>3</sup>
15:39	26	°C	70	%rH	938	mbar	7	±	5	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Média:</b>							8,33	±	6,67	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Desvio Padrão:</b>							2,31	±	2,08	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Exalação por Hora:</b>							0,03	±	0,03	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Exalação por Dia:</b>							0,82	±	0,66	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Vácuo Inicial:</b>							450		mmHg	
<b>Vácuo na Leitura:</b>							420		mmHg	
<b>Vácuo Final:</b>							320		mmHg	
A amostras: 0,06665 m <sup>2</sup> V amostras: 0,00114 m <sup>3</sup> P amostras: 3,3328 Kg V Garrafão: 19 L Σ Horas: 242,62 Σ Dias: 10,11										

Planilha de Dados da Exalação do Gás Radônio												
Nome Comercial: Preto São Gabriel						Sigla: PSG						
Procedência: Colatina - ES												
Descrição: Amostra Polida												
Data de Início: 11/10/2010			Hora: 13:06			Data da Leitura: 26/10/2010						
Tempo / Hora	Temperatura		Umidade Relativa		Pressão		Exalação					
10:22	23	°C	80	%rH	941	mbar	13	±	30	Bq/m <sup>3</sup>		
10:32	23	°C	79	%rH	941	mbar	19	±	13	Bq/m <sup>3</sup>		
10:42	23	°C	79	%rH	941	mbar	12	±	8	Bq/m <sup>3</sup>		
10:52	24	°C	79	%rH	941	mbar	12	±	6	Bq/m <sup>3</sup>		
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">           A amostras: 0,06665 m<sup>2</sup>            V amostras: 0,00114 m<sup>3</sup>            P amostras: 3,3328 Kg            V Garrafão: 19 L            Σ Horas: 358,27            Σ Dias: 14,93         </div>							<b>Média:</b>		14,33	±	9,00	Bq/m <sup>3</sup>
							<b>Desvio Padrão:</b>		4,04	±	3,61	Bq/m <sup>3</sup>
							<b>Exalação por Hora:</b>		0,04	±	0,03	Bq/m <sup>3</sup>
							<b>Exalação por Dia:</b>		0,96	±	0,60	Bq/m <sup>3</sup>
							<b>Vácuo Inicial:</b>	450	mmHg			
							<b>Vácuo na Leitura:</b>	420	mmHg			
							<b>Vácuo Final:</b>	310	mmHg			
Obs.: Início do Horário de Verão no dia 18/10/2010.												

Planilha de Dados da Exalação do Gás Radônio												
Nome Comercial: Preto São Gabriel						Sigla: PSG						
Procedência: Colatina - ES												
Descrição: Amostra Polida												
Data de Início: 18/08/2010			Hora: 09:49			Data da Leitura: 08/09/2010						
Tempo / Hora	Temperatura		Umidade Relativa		Pressão		Exalação					
09:14	21	°C	76	%rH	950	mbar	0	±	30	Bq/m <sup>3</sup>		
09:24	21	°C	76	%rH	950	mbar	0	±	4	Bq/m <sup>3</sup>		
09:34	21	°C	76	%rH	950	mbar	5	±	5	Bq/m <sup>3</sup>		
09:44	21	°C	76	%rH	950	mbar	6	±	4	Bq/m <sup>3</sup>		
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">           A amostras: 0,06665 m<sup>2</sup>            V amostras: 0,00114 m<sup>3</sup>            P amostras: 3,3328 Kg            V Garrafão: 19 L            Σ Horas: 503,42            Σ Dias: 20,98         </div>							<b>Média:</b>		3,67	±	4,33	Bq/m <sup>3</sup>
							<b>Desvio Padrão:</b>		3,21	±	0,58	Bq/m <sup>3</sup>
							<b>Exalação por Hora:</b>		0,01	±	0,01	Bq/m <sup>3</sup>
							<b>Exalação por Dia:</b>		0,17	±	0,21	Bq/m <sup>3</sup>
							<b>Vácuo Inicial:</b>	450	mmHg			
							<b>Vácuo na Leitura:</b>	420	mmHg			
							<b>Vácuo Final:</b>	290	mmHg			

Planilha de Dados da Exalação do Gás Radônio										
Nome Comercial: Preto São Gabriel						Sigla: PSG				
Procedência: Colatina - ES										
Descrição: Amostra Polida										
Data de Início: 13/09/2010			Hora: 16:45			Data da Leitura: 09/10/2010				
Tempo / Hora	Temperatura		Umidade Relativa		Pressão		Exalação			
17:36	23	°C	66	%rH	947	mbar	34	±	74	Bq/m <sup>3</sup>
17:46	23	°C	65	%rH	948	mbar	12	±	14	Bq/m <sup>3</sup>
17:56	23	°C	65	%rH	948	mbar	11	±	9	Bq/m <sup>3</sup>
18:06	24	°C	64	%rH	948	mbar	13	±	8	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Média:</b>							12,00	±	10,33	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Desvio Padrão:</b>							1,00	±	3,21	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Exalação por Hora:</b>							0,02	±	0,02	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Exalação por Dia:</b>							0,46	±	0,40	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Vácuo Inicial:</b>							450		mmHg	
<b>Vácuo na Leitura:</b>							410		mmHg	
<b>Vácuo Final:</b>							310		mmHg	
A amostras: 0,06665 m <sup>2</sup> V amostras: 0,00114 m <sup>3</sup> P amostras: 3,3328 Kg V Garrafão: 19 L Σ Horas: 624,85 Σ Dias: 26,04										

Filete	Peso - Kg	Comprimento	Largura	Espessura	Média m <sup>3</sup>	
1	0,6710	0,30050	0,04435	0,01688	0,30050	C
		0,30050	0,04447	0,01726	0,04447	L
		0,30050	0,04459	0,01741	0,01718	E
		Total m <sup>2</sup>		0,01336	Total m <sup>3</sup> :	0,00023
2	0,6686	0,30050	0,04445	0,01691	0,30050	C
		0,30050	0,04455	0,01727	0,04449	L
		0,30050	0,04447	0,01735	0,01718	E
		Total m <sup>2</sup>		0,01337	Total m <sup>3</sup> :	0,00023
3	0,6660	0,29950	0,04450	0,01685	0,29950	C
		0,29950	0,04444	0,01711	0,04439	L
		0,29950	0,04423	0,01733	0,01710	E
		Total m <sup>2</sup> :		0,01329	Total m <sup>3</sup> :	0,00023
4	0,6653	0,29950	0,04446	0,01689	0,29950	C
		0,29950	0,04463	0,01713	0,04445	L
		0,29950	0,04425	0,01735	0,01712	E
		Total m <sup>2</sup>		0,01331	Total m <sup>3</sup> :	0,00023
5	0,6619	0,29950	0,04446	0,01676	0,29950	C
		0,29950	0,04442	0,01713	0,04446	L
		0,29950	0,04449	0,01733	0,01707	E
		Total m <sup>2</sup>		0,01331	Total m <sup>3</sup> :	0,00023
Σ Peso:		3,3328	Σ m <sup>2</sup> :	0,06665	Σ m <sup>3</sup> :	0,00114

Planilha de Dados da Exalação do Gás Radônio												
Nome Comercial: Ocre Itabira					Sigla: OI							
Procedência: Venda Nova do Imigrante - ES												
Descrição: Amostra Polida												
Data de Início: 23/04/2010			Hora: 17:19			Data da Leitura: 28/04/2010						
Tempo / Hora	Temperatura		Umidade Relativa		Pressão		Exalação					
15:33	24	°C	87	%rH	945	mbar	0	±	30	Bq/m <sup>3</sup>		
15:43	25	°C	84	%rH	945	mbar	10	±	9	Bq/m <sup>3</sup>		
15:53	26	°C	82	%rH	945	mbar	9	±	7	Bq/m <sup>3</sup>		
16:03	26	°C	80	%rH	945	mbar	12	±	6	Bq/m <sup>3</sup>		
<b>Média:</b>							10,33	±	7,33	Bq/m <sup>3</sup>		
<b>Desvio Padrão:</b>							1,53	±	1,53	Bq/m <sup>3</sup>		
<b>Exalação por Hora:</b>							0,09	±	0,06	Bq/m <sup>3</sup>		
<b>Exalação por Dia:</b>							2,10	±	1,49	Bq/m <sup>3</sup>		
<b>Vácuo Inicial:</b>							410		mmHg			
<b>Vácuo na Leitura:</b>							410		mmHg			
<b>Vácuo Final:</b>							260		mmHg			
A amostras: 0,05292 m <sup>2</sup> V amostras: 0,00116 m <sup>3</sup> P amostras: 3,1269 Kg V Garrafão: 19 L Σ Horas: 118,23 Σ Dias: 4,93												

Planilha de Dados da Exalação do Gás Radônio												
Nome Comercial: Ocre Itabira					Sigla: OI							
Procedência: Venda Nova do Imigrante - ES												
Descrição: Amostra Polida												
Data de Início: 12/07/2010			Hora: 15:23			Data da Leitura: 23/07/2010						
Tempo / Hora	Temperatura		Umidade Relativa		Pressão		Exalação					
12:12	24	°C	71	%rH	952	mbar	0	±	30	Bq/m <sup>3</sup>		
12:24	24	°C	71	%rH	951	mbar	13	±	12	Bq/m <sup>3</sup>		
12:34	24	°C	70	%rH	951	mbar	7	±	7	Bq/m <sup>3</sup>		
12:44	24	°C	70	%rH	951	mbar	6	±	5	Bq/m <sup>3</sup>		
<b>Média:</b>							8,67	±	8,00	Bq/m <sup>3</sup>		
<b>Desvio Padrão:</b>							3,79	±	3,61	Bq/m <sup>3</sup>		
<b>Exalação por Hora:</b>							0,03	±	0,03	Bq/m <sup>3</sup>		
<b>Exalação por Dia:</b>							0,80	±	0,74	Bq/m <sup>3</sup>		
<b>Vácuo Inicial:</b>							420	-	mHg			
<b>Vácuo na Leitura:</b>							420	-	mHg			
<b>Vácuo Final:</b>							290	-	mHg			
A amostras: 0,05292 m <sup>2</sup> V amostras: 0,00116 m <sup>3</sup> P amostras: 3,1269 Kg V Garrafão: 19 L Σ Horas: 260,82 Σ Dias: 10,87												

Planilha de Dados da Exalação do Gás Radônio												
Nome Comercial: Ocre Itabira						Sigla: OI						
Procedência: Venda Nova do Imigrante - ES												
Descrição: Amostra Polida												
Data de Início: 27/05/2010			Hora: 17:03			Data da Leitura: 11/06/2010						
Tempo / Hora	Temperatura		Umidade Relativa		Pressão		Exalação					
11:44	20	°C	78	%rH	953	mbar	0	±	15	Bq/m <sup>3</sup>		
11:54	20	°C	78	%rH	953	mbar	22	±	14	Bq/m <sup>3</sup>		
12:04	20	°C	78	%rH	953	mbar	20	±	10	Bq/m <sup>3</sup>		
12:14	20	°C	78	%rH	953	mbar	18	±	8	Bq/m <sup>3</sup>		
A amostras: 0,05292 m <sup>2</sup> V amostras: 0,00116 m <sup>3</sup> P amostras: 3,1269 Kg V Garrafão: 19 L Σ Horas: 354,68 Σ Dias: 14,78							<b>Média:</b>		20,00	±	10,67	Bq/m <sup>3</sup>
							<b>Desvio Padrão:</b>		2,00	±	3,06	Bq/m <sup>3</sup>
							<b>Exalação por Hora:</b>		0,06	±	0,03	Bq/m <sup>3</sup>
							<b>Exalação por Dia:</b>		1,35	±	0,72	Bq/m <sup>3</sup>
							<b>Vácuo Inicial:</b>	420	mmHg			
							<b>Vácuo na Leitura:</b>	410	mmHg			
							<b>Vácuo Final:</b>	270	mmHg			

Planilha de Dados da Exalação do Gás Radônio												
Nome Comercial: Ocre Itabira						Sigla: OI						
Procedência: Venda Nova do Imigrante - ES												
Descrição: Amostra Polida												
Data de Início: 15/06/2010			Hora: 11:01			Data da Leitura: 05/07/2010						
Tempo / Hora	Temperatura		Umidade Relativa		Pressão		Exalação					
15:24	20	°C	66	%rH	948	mbar	0	±	30	Bq/m <sup>3</sup>		
15:34	20	°C	65	%rH	947	mbar	6	±	9	Bq/m <sup>3</sup>		
15:44	20	°C	64	%rH	948	mbar	11	±	9	Bq/m <sup>3</sup>		
15:54	20	°C	63	%rH	948	mbar	7	±	6	Bq/m <sup>3</sup>		
A amostras: 0,05292 m <sup>2</sup> V amostras: 0,00116 m <sup>3</sup> P amostras: 3,1269 Kg V Garrafão: 19 L Σ Horas: 484,38 Σ Dias: 20,18							<b>Média:</b>		8,00	±	8,00	Bq/m <sup>3</sup>
							<b>Desvio Padrão:</b>		2,65	±	1,73	Bq/m <sup>3</sup>
							<b>Exalação por Hora:</b>		0,02	±	0,02	Bq/m <sup>3</sup>
							<b>Exalação por Dia:</b>		0,40	±	0,40	Bq/m <sup>3</sup>
							<b>Vácuo Inicial:</b>	420	mmHg			
							<b>Vácuo na Leitura:</b>	390	mmHg			
							<b>Vácuo Final:</b>	260	mmHg			

Planilha de Dados da Exalação do Gás Radônio										
Nome Comercial: Ocre Itabira					Sigla: OI					
Procedência: Venda Nova do Imigrante - ES										
Descrição: Amostra Polida										
Data de Início: 28/04/2010			Hora: 19:27			Data da Leitura: 24/05/2010				
Tempo / Hora	Temperatura		Umidade Relativa		Pressão		Exalação			
11:13	19	°C	86	%rH	944	mbar	14	±	30	Bq/m <sup>3</sup>
11:23	20	°C	85	%rH	944	mbar	20	±	15	Bq/m <sup>3</sup>
11:33	20	°C	85	%rH	943	mbar	22	±	11	Bq/m <sup>3</sup>
11:43	21	°C	85	%rH	943	mbar	23	±	10	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Média:</b>							21,67	±	12,00	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Desvio Padrão:</b>							1,53	±	2,65	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Exalação por Hora:</b>							0,04	±	0,02	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Exalação por Dia:</b>							0,84	±	0,47	Bq/m <sup>3</sup>
A amostras: 0,05292 m <sup>2</sup> V amostras: 0,00116 m <sup>3</sup> P amostras: 3,1269 Kg V Garrafão: 19 L Σ Horas: 615,77 Σ Dias: 25,66							<b>Vácuo Inicial:</b> 410 mmHg <b>Vácuo na Leitura:</b> 380 mmHg <b>Vácuo Final:</b> 250 mmHg			

Filete	Peso - Kg	Comprimento	Largura	Espessura	Média m <sup>3</sup>	
1	0,7784	0,29700	0,04460	0,02178	0,29700	C
		0,29700	0,04448	0,02187	0,04453	L
		0,29700	0,04452	0,02182	0,02182	E
		Total m <sup>2</sup>		0,01323	Total m <sup>3</sup> :	0,00029
2	0,7747	0,29700	0,04462	0,02159	0,29700	C
		0,29700	0,04471	0,02164	0,04462	L
		0,29700	0,04452	0,02158	0,02160	E
		Total m <sup>2</sup>		0,01325	Total m <sup>3</sup> :	0,00029
3	0,7826	0,29650	0,04457	0,02207	0,29650	C
		0,29650	0,04472	0,02212	0,04467	L
		0,29650	0,04471	0,02201	0,02207	E
		Total m <sup>2</sup> :		0,01324	Total m <sup>3</sup> :	0,00029
4	0,7912	0,29600	0,04457	0,02209	0,29600	C
		0,29600	0,04468	0,02202	0,04458	L
		0,29600	0,04448	0,02206	0,02206	E
		Total m <sup>2</sup>		0,01319	Total m <sup>3</sup> :	0,00029
Σ Peso:	3,1269	Σ m <sup>2</sup> :	0,05292	Σ m <sup>3</sup> :	0,00116	

Planilha de Dados da Exalação do Gás Radônio												
Nome Comercial: Verde Labrador					Sigla: VL							
Procedência: Baixo Guandú - ES												
Descrição: Amostra Polida												
Data de Início: 23/07/2010			Hora: 18:20		Data da Leitura: 28/07/2010							
Tempo / Hora	Temperatura		Umidade Relativa		Pressão		Exalação					
15:39	21	°C	75	%rH	950	mbar	10	±	30	Bq/m <sup>3</sup>		
15:49	21	°C	74	%rH	950	mbar	3	±	6	Bq/m <sup>3</sup>		
15:59	22	°C	73	%rH	950	mbar	5	±	6	Bq/m <sup>3</sup>		
16:09	22	°C	72	%rH	950	mbar	5	±	5	Bq/m <sup>3</sup>		
<b>Média:</b>							4,33	±	5,67	Bq/m <sup>3</sup>		
<b>Desvio Padrão:</b>							1,15	±	0,58	Bq/m <sup>3</sup>		
<b>Exalação por Hora:</b>							0,04	±	0,05	Bq/m <sup>3</sup>		
<b>Exalação por Dia:</b>							0,89	±	1,16	Bq/m <sup>3</sup>		
<b>Vácuo Inicial:</b>							430		mmHg			
<b>Vácuo na Leitura:</b>							430		mmHg			
<b>Vácuo Final:</b>							300		mmHg			
A amostras: 0,05373 m <sup>2</sup> V amostras: 0,00107 m <sup>3</sup> P amostras: 2,8544 Kg V Garrafão: 19 L Σ Horas: 117,32 Σ Dias: 4,89												

Planilha de Dados da Exalação do Gás Radônio												
Nome Comercial: Verde Labrador					Sigla: VL							
Procedência: Baixo Guandú - ES												
Descrição: Amostra Polida												
Data de Início: 12/07/2010			Hora: 15:51		Data da Leitura: 23/07/2010							
Tempo / Hora	Temperatura		Umidade Relativa		Pressão		Exalação					
11:10	21	°C	77	%rH	953	mbar	0	±	30	Bq/m <sup>3</sup>		
11:20	22	°C	75	%rH	952	mbar	0	±	9	Bq/m <sup>3</sup>		
11:30	23	°C	75	%rH	952	mbar	1	±	6	Bq/m <sup>3</sup>		
11:40	23	°C	74	%rH	952	mbar	2	±	6	Bq/m <sup>3</sup>		
<b>Média:</b>							1,00	±	7,00	Bq/m <sup>3</sup>		
<b>Desvio Padrão:</b>							1,00	±	1,73	Bq/m <sup>3</sup>		
<b>Exalação por Hora:</b>							0,00	±	0,03	Bq/m <sup>3</sup>		
<b>Exalação por Dia:</b>							0,09	±	0,65	Bq/m <sup>3</sup>		
<b>Vácuo Inicial:</b>							420		mmHg			
<b>Vácuo na Leitura:</b>							410		mmHg			
<b>Vácuo Final:</b>							290		mmHg			
A amostras: 0,05373 m <sup>2</sup> V amostras: 0,00107 m <sup>3</sup> P amostras: 2,8544 Kg V Garrafão: 19 L Σ Horas: 259,32 Σ Dias: 10,80												

Planilha de Dados da Exalação do Gás Radônio												
Nome Comercial: Verde Labrador						Sigla: VL						
Procedência: Baixo Guandú - ES												
Descrição: Amostra Polida												
Data de Início: 27/05/2010			Hora: 17:27			Data da Leitura: 11/06/2010						
Tempo / Hora	Temperatura		Umidade Relativa		Pressão		Exalação					
10:57	19	°C	81	%rH	953	mbar	19	±	18	Bq/m <sup>3</sup>		
11:07	19	°C	81	%rH	953	mbar	11	±	8	Bq/m <sup>3</sup>		
11:17	19	°C	80	%rH	953	mbar	10	±	7	Bq/m <sup>3</sup>		
11:27	19	°C	80	%rH	953	mbar	10	±	6	Bq/m <sup>3</sup>		
A amostras: 0,05373 m <sup>2</sup> V amostras: 0,00107 m <sup>3</sup> P amostras: 2,8544 Kg V Garrafão: 19 L Σ Horas: 353,5 Σ Dias: 14,73							<b>Média:</b>		10,33	±	7,00	Bq/m <sup>3</sup>
							<b>Desvio Padrão:</b>		0,58	±	1,00	Bq/m <sup>3</sup>
							<b>Exalação por Hora:</b>		0,03	±	0,02	Bq/m <sup>3</sup>
							<b>Exalação por Dia:</b>		0,70	±	0,48	Bq/m <sup>3</sup>
							<b>Vácuo Inicial:</b>	420	mmHg			
							<b>Vácuo na Leitura:</b>	410	mmHg			
							<b>Vácuo Final:</b>	280	mmHg			

Planilha de Dados da Exalação do Gás Radônio												
Nome Comercial: Verde Labrador						Sigla: VL						
Procedência: Baixo Guandú - ES												
Descrição: Amostra Polida												
Data de Início: 15/06/2010			Hora: 11:22			Data da Leitura: 05/07/2010						
Tempo / Hora	Temperatura		Umidade Relativa		Pressão		Exalação					
14:43	19	°C	72	%rH	948	mbar	0	±	31	Bq/m <sup>3</sup>		
14:53	19	°C	69	%rH	948	mbar	0	±	8	Bq/m <sup>3</sup>		
15:03	20	°C	68	%rH	948	mbar	1	±	7	Bq/m <sup>3</sup>		
15:13	20	°C	66	%rH	948	mbar	2	±	6	Bq/m <sup>3</sup>		
A amostras: 0,05373 m <sup>2</sup> V amostras: 0,00107 m <sup>3</sup> P amostras: 2,8544 Kg V Garrafão: 19 L Σ Horas: 483,35 Σ Dias: 20,14							<b>Média:</b>		1,00	±	7,00	Bq/m <sup>3</sup>
							<b>Desvio Padrão:</b>		1,00	±	1,00	Bq/m <sup>3</sup>
							<b>Exalação por Hora:</b>		0,00	±	0,01	Bq/m <sup>3</sup>
							<b>Exalação por Dia:</b>		0,05	±	0,35	Bq/m <sup>3</sup>
							<b>Vácuo Inicial:</b>	430	mmHg			
							<b>Vácuo na Leitura:</b>	400	mmHg			
							<b>Vácuo Final:</b>	290	mmHg			

Planilha de Dados da Exalação do Gás Radônio										
Nome Comercial: Verde Labrador						Sigla: VL				
Procedência: Baixo Guandú - ES										
Descrição: Amostra Polida										
Data de Início: 28/04/2010			Hora: 19:32			Data da Leitura: 24/05/2010				
Tempo / Hora	Temperatura		Umidade Relativa		Pressão		Exalação			
12:01	21	°C	84	%rH	943	mbar	8	±	17	Bq/m <sup>3</sup>
12:11	21	°C	84	%rH	943	mbar	8	±	8	Bq/m <sup>3</sup>
12:21	22	°C	83	%rH	943	mbar	10	±	7	Bq/m <sup>3</sup>
12:31	22	°C	83	%rH	943	mbar	12	±	6	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Média:</b>							10,00	±	7,00	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Desvio Padrão:</b>							2,00	±	1,00	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Exalação por Hora:</b>							0,02	±	0,01	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Exalação por Dia:</b>							0,39	±	0,27	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Vácuo Inicial:</b>							410		mmHg	
<b>Vácuo na Leitura:</b>							390		mmHg	
<b>Vácuo Final:</b>							260		mmHg	
A amostras: 0,05373 m <sup>2</sup> V amostras: 0,00107 m <sup>3</sup> P amostras: 2,8544 Kg V Garrafão: 19 L Σ Horas: 616,48 Σ Dias: 25,69										

Filete	Peso - Kg	Comprimento	Largura	Espessura	Média m <sup>3</sup>	
1	0,7182	0,30100	0,04456	0,01963	0,30100	C
		0,30100	0,04462	0,01997	0,04466	L
		0,30100	0,04479	0,02001	0,01987	E
		Total m <sup>2</sup>		0,01344	Total m <sup>3</sup> :	0,00027
2	0,7139	0,30100	0,04470	0,01990	0,30100	C
		0,30100	0,04466	0,02010	0,04467	L
		0,30100	0,04464	0,02025	0,02008	E
		Total m <sup>2</sup>		0,01344	Total m <sup>3</sup> :	0,00027
3	0,7105	0,30100	0,04454	0,01987	0,30100	C
		0,30100	0,04464	0,01968	0,04460	L
		0,30100	0,04461	0,02001	0,01985	E
		Total m <sup>2</sup> :		0,01342	Total m <sup>3</sup> :	0,00027
4	0,7118	0,30100	0,04461	0,01995	0,30100	C
		0,30100	0,04457	0,01961	0,04457	L
		0,30100	0,04454	0,01971	0,01976	E
		Total m <sup>2</sup>		0,01342	Total m <sup>3</sup> :	0,00027
Σ Peso:	2,8544	Σ m <sup>2</sup> :	0,05373	Σ m <sup>3</sup> :	0,00107	

Planilha de Dados da Exalação do Gás Radônio										
Nome Comercial: Cinza Corumbá					Sigla: CC					
Procedência: Castelo - ES										
Descrição: Polida										
Data de Início: 08/09/2010			Hora: 11:19		Data da Leitura: 13/09/2010					
Tempo / Hora	Temperatura		Umidade Relativa		Pressão		Exalação			
16:17	26	°C	39	%rH	942	mbar	12	±	30	Bq/m <sup>3</sup>
16:27	26	°C	39	%rH	942	mbar	32	±	21	Bq/m <sup>3</sup>
16:37	26	°C	38	%rH	942	mbar	32	±	16	Bq/m <sup>3</sup>
16:47	26	°C	38	%rH	942	mbar	36	±	12	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Média:</b>							33,33	±	16,33	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Desvio Padrão:</b>							2,31	±	4,51	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Exalação por Hora:</b>							0,27	±	0,13	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Exalação por Dia:</b>							6,40	±	3,14	Bq/m <sup>3</sup>
A amostras: 0,05317 m <sup>2</sup> V amostras: 0,00114 m <sup>3</sup> P amostras: 3,0065 Kg V Garrafão: 19 L Σ Horas: 124,97 Σ Dias: 5,21							<b>Vácuo Inicial:</b> 450 mmHg <b>Vácuo na Leitura:</b> 450 mmHg <b>Vácuo Final:</b> 310 mmHg			

Planilha de Dados da Exalação do Gás Radônio										
Nome Comercial: Cinza Corumbá					Sigla: CC					
Procedência: Castelo - ES										
Descrição: Polida										
Data de Início: 26/10/2010			Hora: 12:38		Data da Leitura: 05/11/2010					
Tempo / Hora	Temperatura		Umidade Relativa		Pressão		Exalação			
16:34	28	°C	64	%rH	937	mbar	10	±	30	Bq/m <sup>3</sup>
16:44	28	°C	63	%rH	937	mbar	75	±	42	Bq/m <sup>3</sup>
16:54	28	°C	65	%rH	937	mbar	46	±	23	Bq/m <sup>3</sup>
17:04	28	°C	66	%rH	937	mbar	33	±	16	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Média:</b>							51,33	±	27,00	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Desvio Padrão:</b>							21,50	±	13,45	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Exalação por Hora:</b>							0,21	±	0,11	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Exalação por Dia:</b>							5,05	±	2,66	Bq/m <sup>3</sup>
A amostras: 0,05317 m <sup>2</sup> V amostras: 0,00114 m <sup>3</sup> P amostras: 3,0065 Kg V Garrafão: 19 L Σ Horas: 243,93 Σ Dias: 10,16							<b>Vácuo Inicial:</b> 450 mmHg <b>Vácuo na Leitura:</b> 430 mmHg <b>Vácuo Final:</b> 330 mmHg			

Planilha de Dados da Exalação do Gás Radônio										
Nome Comercial: Cinza Corumbá						Sigla: CC				
Procedência: Castelo - ES										
Descrição: Polida										
Data de Início: 11/10/2010			Hora: 13:11			Data da Leitura: 26/10/2010				
Tempo / Hora	Temperatura		Umidade Relativa		Pressão		Exalação			
11:48	25	°C	76	%rH	940	mbar	0	±	30	Bq/m <sup>3</sup>
11:58	25	°C	76	%rH	940	mbar	79	±	30	Bq/m <sup>3</sup>
12:08	25	°C	76	%rH	940	mbar	64	±	20	Bq/m <sup>3</sup>
12:18	25	°C	76	%rH	940	mbar	45	±	14	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Média:</b>							62,67	±	21,33	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Desvio Padrão:</b>							17,04	±	8,08	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Exalação por Hora:</b>							0,17	±	0,06	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Exalação por Dia:</b>							4,19	±	1,43	Bq/m <sup>3</sup>
A amostras: 0,05317 m <sup>2</sup> V amostras: 0,00114 m <sup>3</sup> P amostras: 3,0065 Kg V Garrafão: 19 L Σ Horas: 358,62 Σ Dias: 14,94							<b>Vácuo Inicial:</b>		450	mmHg
							<b>Vácuo na Leitura:</b>		420	mmHg
							<b>Vácuo Final:</b>		320	mmHg
Obs.: Início do Horário de Verão no dia 18/10/2010.										

Planilha de Dados da Exalação do Gás Radônio										
Nome Comercial: Cinza Corumbá						Sigla: CC				
Procedência: Castelo - ES										
Descrição: Polida										
Data de Início: 20/08/2010			Hora: 14:44			Data da Leitura: 08/09/2010				
Tempo / Hora	Temperatura		Umidade Relativa		Pressão		Exalação			
10:33	22	°C	73	%rH	950	mbar	11	±	30	Bq/m <sup>3</sup>
10:43	22	°C	73	%rH	950	mbar	71	±	29	Bq/m <sup>3</sup>
10:53	22	°C	73	%rH	949	mbar	84	±	24	Bq/m <sup>3</sup>
11:03	22	°C	72	%rH	949	mbar	69	±	23	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Média:</b>							74,67	±	25,33	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Desvio Padrão:</b>							8,14	±	3,21	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Exalação por Hora:</b>							0,17	±	0,06	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Exalação por Dia:</b>							3,97	±	1,35	Bq/m <sup>3</sup>
A amostras: 0,05317 m <sup>2</sup> V amostras: 0,00114 m <sup>3</sup> P amostras: 3,0065 Kg V Garrafão: 19 L Σ Horas: 451,82 Σ Dias: 18,83							<b>Vácuo Inicial:</b>		450	mmHg
							<b>Vácuo na Leitura:</b>		380	mmHg
							<b>Vácuo Final:</b>		280	mmHg

Planilha de Dados da Exalação do Gás Radônio										
Nome Comercial: Cinza Corumbá					Sigla: CC					
Procedência: Castelo - ES										
Descrição: Polida										
Data de Início: 13/09/2010			Hora: 16:58			Data da Leitura: 09/10/2010				
Tempo / Hora	Temperatura		Umidade Relativa		Pressão		Exalação			
19:04	24	°C	65	%rH	948	mbar	10	±	30	Bq/m <sup>3</sup>
19:14	24	°C	64	%rH	948	mbar	89	±	36	Bq/m <sup>3</sup>
19:24	23	°C	64	%rH	948	mbar	65	±	23	Bq/m <sup>3</sup>
19:34	23	°C	64	%rH	948	mbar	54	±	18	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Média:</b>							69,33	±	25,67	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Desvio Padrão:</b>							17,90	±	9,29	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Exalação por Hora:</b>							0,11	±	0,04	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Exalação por Dia:</b>							2,66	±	0,99	Bq/m <sup>3</sup>
A amostras: 0,05317 m <sup>2</sup> V amostras: 0,00114 m <sup>3</sup> P amostras: 3,0065 Kg V Garrafão: 19 L Σ Horas: 625,1 Σ Dias: 26,05							<b>Vácuo Inicial:</b>		450	mmHg
							<b>Vácuo na Leitura:</b>		420	mmHg
							<b>Vácuo Final:</b>		320	mmHg

Filete	Peso - Kg	Comprimento	Largura	Espessura	Média m <sup>3</sup>	
1	0,7749	0,29950	0,04466	0,02181	0,29950	C
		0,29950	0,04408	0,02164	0,04419	L
		0,29950	0,04383	0,02155	0,02167	E
		Total m <sup>2</sup>		0,01323	Total m <sup>3</sup> :	0,00029
2	0,7450	0,29950	0,04458	0,02175	0,29950	C
		0,29950	0,04472	0,02096	0,04428	L
		0,29950	0,04353	0,02085	0,02119	E
		Total m <sup>2</sup>		0,01326	Total m <sup>3</sup> :	0,00028
3	0,7432	0,29950	0,04452	0,02177	0,29950	C
		0,29950	0,04468	0,02116	0,04459	L
		0,29950	0,04456	0,02187	0,02160	E
		Total m <sup>2</sup> :		0,01335	Total m <sup>3</sup> :	0,00029
4	0,7434	0,29900	0,04449	0,02177	0,29900	C
		0,29900	0,04458	0,02094	0,04455	L
		0,29900	0,04459	0,02081	0,02117	E
		Total m <sup>2</sup>		0,01332	Total m <sup>3</sup> :	0,00028
Σ Peso:		3,0065	Σ m <sup>2</sup> :	0,05317	Σ m <sup>3</sup> :	0,00114

Planilha de Dados da Exalação do Gás Radônio												
Nome Comercial: Timbalada					Sigla: TI							
Procedência: Itinga - MG												
Descrição: Polida, Resinada e Telada												
Data de Início: 23/04/2010			Hora: 17:11			Data da Leitura: 28/04/2010						
Tempo / Hora	Temperatura		Umidade Relativa		Pressão		Exalação					
18:35	28	°C	75	%rH	946	mbar	20	±	30	Bq/m <sup>3</sup>		
18:45	28	°C	74	%rH	946	mbar	708	±	106	Bq/m <sup>3</sup>		
18:55	28	°C	74	%rH	946	mbar	746	±	91	Bq/m <sup>3</sup>		
19:05	28	°C	74	%rH	946	mbar	580	±	70	Bq/m <sup>3</sup>		
<b>Média:</b>							678,00	±	89,00	Bq/m <sup>3</sup>		
<b>Desvio Padrão:</b>							86,97	±	18,08	Bq/m <sup>3</sup>		
<b>Exalação por Hora:</b>							5,58	±	0,73	Bq/m <sup>3</sup>		
<b>Exalação por Dia:</b>							134,04	±	17,59	Bq/m <sup>3</sup>		
<b>Vácuo Inicial:</b>							410		mmHg			
<b>Vácuo na Leitura:</b>							410		mmHg			
<b>Vácuo Final:</b>							280		mmHg			
A amostras: 0,05348 m <sup>2</sup> V amostras: 0,00106 m <sup>3</sup> P amostras: 2,6932 Kg V Garrafão: 19 L Σ Horas: 121,4 Σ Dias: 5,06												

Planilha de Dados da Exalação do Gás Radônio												
Nome Comercial: Timbalada					Sigla: TI							
Procedência: Itinga - MG												
Descrição: Polida, Resinada e Telada												
Data de Início: 12/07/2010			Hora: 15:42			Data da Leitura: 23/07/2010						
Tempo / Hora	Temperatura		Umidade Relativa		Pressão		Exalação					
18:42	25	°C	68	%rH	950	mbar	38	±	98	Bq/m <sup>3</sup>		
18:52	25	°C	68	%rH	950	mbar	882	±	131	Bq/m <sup>3</sup>		
19:02	25	°C	68	%rH	950	mbar	877	±	105	Bq/m <sup>3</sup>		
19:12	25	°C	68	%rH	950	mbar	708	±	84	Bq/m <sup>3</sup>		
<b>Média:</b>							822,33	±	106,67	Bq/m <sup>3</sup>		
<b>Desvio Padrão:</b>							99,05	±	23,54	Bq/m <sup>3</sup>		
<b>Exalação por Hora:</b>							3,08	±	0,40	Bq/m <sup>3</sup>		
<b>Exalação por Dia:</b>							73,92	±	9,59	Bq/m <sup>3</sup>		
<b>Vácuo Inicial:</b>							420		mmHg			
<b>Vácuo na Leitura:</b>							410		mmHg			
<b>Vácuo Final:</b>							290		mmHg			
A amostras: 0,05348 m <sup>2</sup> V amostras: 0,00106 m <sup>3</sup> P amostras: 2,6932 Kg V Garrafão: 19 L Σ Horas: 267 Σ Dias: 11,13												

Planilha de Dados da Exalação do Gás Radônio												
Nome Comercial: Timbalada						Sigla: TI						
Procedência: Itinga - MG												
Descrição: Polida, Resinada e Telada												
Data de Início: 27/05/2010			Hora: 17:15			Data da Leitura: 11/06/2010						
Tempo / Hora	Temperatura		Umidade Relativa		Pressão		Exalação					
16:51	21	°C	68	%rH	951	mbar	37	±	63	Bq/m <sup>3</sup>		
17:01	21	°C	67	%rH	952	mbar	1130	±	146	Bq/m <sup>3</sup>		
17:11	21	°C	67	%rH	952	mbar	1110	±	119	Bq/m <sup>3</sup>		
17:21	21	°C	67	%rH	952	mbar	847	±	90	Bq/m <sup>3</sup>		
A amostras: 0,05348 m <sup>2</sup> V amostras: 0,00106 m <sup>3</sup> P amostras: 2,6932 Kg V Garrafão: 19 L Σ Horas: 359,6 Σ Dias: 14,98							<b>Média:</b>		1029,00	±	118,33	Bq/m <sup>3</sup>
							<b>Desvio Padrão:</b>		157,93	±	28,01	Bq/m <sup>3</sup>
							<b>Exalação por Hora:</b>		2,86	±	0,33	Bq/m <sup>3</sup>
							<b>Exalação por Dia:</b>		68,68	±	7,90	Bq/m <sup>3</sup>
							<b>Vácuo Inicial:</b>	420	mmHg			
							<b>Vácuo na Leitura:</b>	410	mmHg			
							<b>Vácuo Final:</b>	280	mmHg			

Planilha de Dados da Exalação do Gás Radônio												
Nome Comercial: Timbalada						Sigla: TI						
Procedência: Itinga - MG												
Descrição: Polida, Resinada e Telada												
Data de Início: 15/06/2010			Hora: 11:16			Data da Leitura: 05/07/2010						
Tempo / Hora	Temperatura		Umidade Relativa		Pressão		Exalação					
20:40	20	°C	62	%rH	949	mbar	26	±	39	Bq/m <sup>3</sup>		
20:50	20	°C	63	%rH	949	mbar	1200	±	154	Bq/m <sup>3</sup>		
21:00	20	°C	64	%rH	949	mbar	1160	±	124	Bq/m <sup>3</sup>		
21:10	20	°C	65	%rH	949	mbar	907	±	95	Bq/m <sup>3</sup>		
A amostras: 0,05348 m <sup>2</sup> V amostras: 0,00106 m <sup>3</sup> P amostras: 2,6932 Kg V Garrafão: 19 L Σ Horas: 489,4 Σ Dias: 20,39							<b>Média:</b>		1089,00	±	124,33	Bq/m <sup>3</sup>
							<b>Desvio Padrão:</b>		158,88	±	29,50	Bq/m <sup>3</sup>
							<b>Exalação por Hora:</b>		2,23	±	0,25	Bq/m <sup>3</sup>
							<b>Exalação por Dia:</b>		53,40	±	6,10	Bq/m <sup>3</sup>
							<b>Vácuo Inicial:</b>	420	mmHg			
							<b>Vácuo na Leitura:</b>	390	mmHg			
							<b>Vácuo Final:</b>	270	mmHg			

Planilha de Dados da Exalação do Gás Radônio										
Nome Comercial: Timbalada					Sigla: TI					
Procedência: Itinga - MG										
Descrição: Polida, Resinada e Telada										
Data de Início: 28/04/2010			Hora: 19:35			Data da Leitura: 24/05/2010				
Tempo / Hora	Temperatura		Umidade Relativa		Pressão		Exalação			
16:03	23	°C	82	%rH	941	mbar	28	±	55	Bq/m <sup>3</sup>
16:13	23	°C	82	%rH	941	mbar	1210	±	157	Bq/m <sup>3</sup>
16:23	23	°C	81	%rH	942	mbar	1230	±	128	Bq/m <sup>3</sup>
16:33	23	°C	81	%rH	942	mbar	967	±	98	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Média:</b>							1135,67	±	127,67	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Desvio Padrão:</b>							146,41	±	29,50	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Exalação por Hora:</b>							1,83	±	0,21	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Exalação por Dia:</b>							43,93	±	4,94	Bq/m <sup>3</sup>
A amostras: 0,05348 m <sup>2</sup> V amostras: 0,00106 m <sup>3</sup> P amostras: 2,6932 Kg V Garrafão: 19 L Σ Horas: 620,47 Σ Dias: 25,85							<b>Vácuo Inicial:</b> 410 mmHg <b>Vácuo na Leitura:</b> 380 mmHg <b>Vácuo Final:</b> 260 mmHg			

Filete	Peso - Kg	Comprimento	Largura	Espessura	Média m <sup>3</sup>	
1	0,6648	0,30100	0,04372	0,01963	0,30100	C
		0,30100	0,04399	0,01997	0,04401	L
		0,30100	0,04433	0,02001	0,01987	E
		Total m <sup>2</sup>		0,01325	Total m <sup>3</sup> :	0,00026
2	0,6936	0,30100	0,04459	0,01990	0,30100	C
		0,30100	0,04445	0,02010	0,04451	L
		0,30100	0,04449	0,02025	0,02008	E
		Total m <sup>2</sup>		0,01340	Total m <sup>3</sup> :	0,00027
3	0,6700	0,30200	0,04443	0,01987	0,30200	C
		0,30200	0,04439	0,01968	0,04445	L
		0,30200	0,04453	0,02001	0,01985	E
		Total m <sup>2</sup> :		0,01342	Total m <sup>3</sup> :	0,00027
4	0,6648	0,30150	0,04448	0,01995	0,30150	C
		0,30150	0,04457	0,01961	0,04448	L
		0,30150	0,04438	0,01971	0,01976	E
		Total m <sup>2</sup>		0,01341	Total m <sup>3</sup> :	0,00026
Σ Peso:	2,6932	Σ m <sup>2</sup> :	0,05348	Σ m <sup>3</sup> :	0,00106	

Planilha de Dados da Exalação do Gás Radônio										
Nome Comercial: Mascarello						Sigla: MS				
Procedência: Itinga - MG										
Descrição: Polida, Resinada e Telada										
Data de Início: 23/07/2010			Hora: 17:58			Data da Leitura: 28/07/2010				
Tempo / Hora	Temperatura		Umidade Relativa		Pressão		Exalação			
17:11	23	°C	69	%rH	950	mbar	21	±	30	Bq/m <sup>3</sup>
17:21	23	°C	69	%rH	950	mbar	254	±	63	Bq/m <sup>3</sup>
17:31	23	°C	69	%rH	950	mbar	276	±	51	Bq/m <sup>3</sup>
17:41	23	°C	69	%rH	950	mbar	225	±	40	Bq/m <sup>3</sup>
							<b>Média:</b>	251,67	±	51,33 Bq/m <sup>3</sup>
							<b>Desvio Padrão:</b>	25,58	±	11,50 Bq/m <sup>3</sup>
							<b>Exalação por Hora:</b>	2,11	±	0,43 Bq/m <sup>3</sup>
							<b>Exalação por Dia:</b>	50,66	±	10,33 Bq/m <sup>3</sup>
A amostras: 0,05345 m <sup>2</sup> V amostras: 0,00111 m <sup>3</sup> P amostras: 2,8569 Kg V Garrafão: 19 L Σ Horas: 119,22 Σ Dias: 4,97							<b>Vácuo Inicial:</b>	430	mmHg	
							<b>Vácuo na Leitura:</b>	420	mmHg	
							<b>Vácuo Final:</b>	310	mmHg	

Planilha de Dados da Exalação do Gás Radônio										
Nome Comercial: Mascarello						Sigla: MS				
Procedência: Itinga - MG										
Descrição: Polida, Resinada e Telada										
Data de Início: 12/07/2010			Hora: 16:09			Data da Leitura: 23/07/2010				
Tempo / Hora	Temperatura		Umidade Relativa		Pressão		Exalação			
15:34	25	°C	69	%rH	949	mbar	0	±	30	Bq/m <sup>3</sup>
15:44	25	°C	69	%rH	949	mbar	442	±	82	Bq/m <sup>3</sup>
15:54	25	°C	68	%rH	949	mbar	428	±	65	Bq/m <sup>3</sup>
16:04	25	°C	68	%rH	949	mbar	344	±	50	Bq/m <sup>3</sup>
							<b>Média:</b>	404,67	±	65,67 Bq/m <sup>3</sup>
							<b>Desvio Padrão:</b>	53,00	±	16,01 Bq/m <sup>3</sup>
							<b>Exalação por Hora:</b>	1,54	±	0,25 Bq/m <sup>3</sup>
							<b>Exalação por Dia:</b>	36,87	±	5,98 Bq/m <sup>3</sup>
A amostras: 0,05345 m <sup>2</sup> V amostras: 0,00111 m <sup>3</sup> P amostras: 2,8569 Kg V Garrafão: 19 L Σ Horas: 263,42 Σ Dias: 10,98							<b>Vácuo Inicial:</b>	430	mmHg	
							<b>Vácuo na Leitura:</b>	410	mmHg	
							<b>Vácuo Final:</b>	290	mmHg	

Planilha de Dados da Exalação do Gás Radônio											
Nome Comercial: Mascarello						Sigla: MS					
Procedência: Itinga - MG											
Descrição: Polida, Resinada e Telada											
Data de Início: 27/05/2010			Hora: 17:41			Data da Leitura: 11/06/2010					
Tempo / Hora	Temperatura		Umidade Relativa		Pressão		Exalação				
15:39	21	°C	71	%rH	951	mbar	70	±	86	Bq/m <sup>3</sup>	
15:49	21	°C	70	%rH	951	mbar	415	±	85	Bq/m <sup>3</sup>	
15:59	21	°C	70	%rH	951	mbar	409	±	67	Bq/m <sup>3</sup>	
16:09	21	°C	69	%rH	951	mbar	304	±	50	Bq/m <sup>3</sup>	
							<b>Média:</b>	376,00	±	67,33 Bq/m <sup>3</sup>	
							<b>Desvio Padrão:</b>	62,43	±	17,50 Bq/m <sup>3</sup>	
							<b>Exalação por Hora:</b>	1,05	±	0,19 Bq/m <sup>3</sup>	
							<b>Exalação por Dia:</b>	25,21	±	4,51 Bq/m <sup>3</sup>	
A amostras: 0,05345 m <sup>2</sup> V amostras: 0,00111 m <sup>3</sup> P amostras: 2,8569 Kg V Garrafão: 19 L Σ Horas: 357,97 Σ Dias: 14,92							<b>Vácuo Inicial:</b>	420	mmHg		
							<b>Vácuo na Leitura:</b>	410	mmHg		
							<b>Vácuo Final:</b>	275	mmHg		

Planilha de Dados da Exalação do Gás Radônio											
Nome Comercial: Mascarello						Sigla: MS					
Procedência: Itinga - MG											
Descrição: Polida, Resinada e Telada											
Data de Início: 15/06/2010			Hora: 11:36			Data da Leitura: 05/07/2010					
Tempo / Hora	Temperatura		Umidade Relativa		Pressão		Exalação				
17:00	21	°C	61	%rH	948	mbar	10	±	30	Bq/m <sup>3</sup>	
17:10	21	°C	61	%rH	948	mbar	496	±	88	Bq/m <sup>3</sup>	
17:20	21	°C	61	%rH	948	mbar	513	±	72	Bq/m <sup>3</sup>	
17:30	21	°C	61	%rH	948	mbar	409	±	57	Bq/m <sup>3</sup>	
							<b>Média:</b>	472,67	±	72,33 Bq/m <sup>3</sup>	
							<b>Desvio Padrão:</b>	55,79	±	15,50 Bq/m <sup>3</sup>	
							<b>Exalação por Hora:</b>	0,97	±	0,15 Bq/m <sup>3</sup>	
							<b>Exalação por Dia:</b>	23,37	±	3,58 Bq/m <sup>3</sup>	
A amostras: 0,05345 m <sup>2</sup> V amostras: 0,00111 m <sup>3</sup> P amostras: 2,8569 Kg V Garrafão: 19 L Σ Horas: 485,4 Σ Dias: 20,23							<b>Vácuo Inicial:</b>	420	mmHg		
							<b>Vácuo na Leitura:</b>	390	mmHg		
							<b>Vácuo Final:</b>	260	mmHg		

Planilha de Dados da Exalação do Gás Radônio										
Nome Comercial: Mascarello						Sigla: MS				
Procedência: Itinga - MG										
Descrição: Polida, Resinada e Telada										
Data de Início: 23/04/2010			Hora: 17:40			Data da Leitura: 19/05/2010				
Tempo / Hora	Temperatura		Umidade Relativa		Pressão		Exalação			
15:06	23	°C	78	%rH	943	mbar	41	±	62	Bq/m <sup>3</sup>
15:16	23	°C	78	%rH	943	mbar	505	±	89	Bq/m <sup>3</sup>
15:26	23	°C	78	%rH	943	mbar	510	±	73	Bq/m <sup>3</sup>
15:36	23	°C	78	%rH	943	mbar	400	±	57	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Média:</b>							471,67	±	73,00	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Desvio Padrão:</b>							62,12	±	16,00	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Exalação por Hora:</b>							0,76	±	0,12	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Exalação por Dia:</b>							18,22	±	2,82	Bq/m <sup>3</sup>
A amostras: 0,05345 m <sup>2</sup> V amostras: 0,00111 m <sup>3</sup> P amostras: 2,8569 Kg V Garrafão: 19 L Σ Horas: 621,43 Σ Dias: 25,89							<b>Vácuo Inicial:</b>		410	mmHg
							<b>Vácuo na Leitura:</b>		390	mmHg
							<b>Vácuo Final:</b>		260	mmHg

Filete	Peso - Kg	Comprimento	Largura	Espessura	Média m <sup>3</sup>	
1	0,7079	0,30000	0,04451	0,02074	0,30000	C
		0,30000	0,04455	0,02107	0,04455	L
		0,30000	0,04460	0,02085	0,02089	E
		Total m <sup>2</sup>		0,01337	Total m <sup>3</sup> :	0,00028
Filete	Peso - Kg	Comprimento	Largura	Espessura	Média m <sup>3</sup>	
2	0,7179	0,30000	0,04451	0,02063	0,30000	C
		0,30000	0,04461	0,02096	0,04452	L
		0,30000	0,04443	0,02083	0,02081	E
		Total m <sup>2</sup>		0,01336	Total m <sup>3</sup> :	0,00028
Filete	Peso - Kg	Comprimento	Largura	Espessura	Média m <sup>3</sup>	
3	0,7124	0,30000	0,04457	0,02092	0,30000	C
		0,30000	0,04468	0,02096	0,04458	L
		0,30000	0,04449	0,02078	0,02089	E
		Total m <sup>2</sup> :		0,01337	Total m <sup>3</sup> :	0,00028
Filete	Peso - Kg	Comprimento	Largura	Espessura	Média m <sup>3</sup>	
4	0,7187	0,29950	0,04456	0,02069	0,29950	C
		0,29950	0,04458	0,02105	0,04458	L
		0,29950	0,04459	0,02084	0,02086	E
		Total m <sup>2</sup>		0,01335	Total m <sup>3</sup> :	0,00028
Σ Peso:		2,8569	Σ m <sup>2</sup> :	0,05345	Σ m <sup>3</sup> :	0,00111

Planilha de Dados da Exalação do Gás Radônio												
Nome Comercial: Giallita					Sigla: GI							
Procedência: Gironda - ES												
Descrição: Polida, Resinada e Telada												
Data de Início: 18/11/2010			Hora: 16:22			Data da Leitura: 23/11/2010						
Tempo / Hora	Temperatura		Umidade Relativa		Pressão		Exalação					
16:20	24	°C	85	%rH	934	mbar	9	±	30	Bq/m <sup>3</sup>		
16:30	25	°C	82	%rH	934	mbar	1000	±	136	Bq/m <sup>3</sup>		
16:40	25	°C	80	%rH	934	mbar	903	±	106	Bq/m <sup>3</sup>		
16:50	26	°C	78	%rH	934	mbar	667	±	78	Bq/m <sup>3</sup>		
<b>Média:</b>							856,67	±	106,67	Bq/m <sup>3</sup>		
<b>Desvio Padrão:</b>							171,27	±	29,01	Bq/m <sup>3</sup>		
<b>Exalação por Hora:</b>							7,14	±	0,89	Bq/m <sup>3</sup>		
<b>Exalação por Dia:</b>							171,38	±	21,34	Bq/m <sup>3</sup>		
<b>Vácuo Inicial:</b>							460		mmHg			
<b>Vácuo na Leitura:</b>							450		mmHg			
<b>Vácuo Final:</b>							360		mmHg			
A amostras: 0,05441 m <sup>2</sup> V amostras: 0,00115 m <sup>3</sup> P amostras: 2,9310 Kg V Garrafão: 19 L Σ Horas: 119,97 Σ Dias: 5,00												

Planilha de Dados da Exalação do Gás Radônio												
Nome Comercial: Giallita					Sigla: GI							
Procedência: Gironda - ES												
Descrição: Polida, Resinada e Telada												
Data de Início: 08/11/2010			Hora: 15:49			Data da Leitura: 18/11/2010						
Tempo / Hora	Temperatura		Umidade Relativa		Pressão		Exalação					
15:25	23	°C	70	%rH	937	mbar	0	±	30	Bq/m <sup>3</sup>		
15:35	23	°C	67	%rH	937	mbar	1190	±	150	Bq/m <sup>3</sup>		
15:45	24	°C	65	%rH	937	mbar	1000	±	112	Bq/m <sup>3</sup>		
15:55	24	°C	63	%rH	937	mbar	754	±	83	Bq/m <sup>3</sup>		
<b>Média:</b>							981,33	±	115,00	Bq/m <sup>3</sup>		
<b>Desvio Padrão:</b>							218,60	±	33,60	Bq/m <sup>3</sup>		
<b>Exalação por Hora:</b>							4,10	±	0,48	Bq/m <sup>3</sup>		
<b>Exalação por Dia:</b>							98,30	±	11,52	Bq/m <sup>3</sup>		
<b>Vácuo Inicial:</b>							470		mmHg			
<b>Vácuo na Leitura:</b>							460		mmHg			
<b>Vácuo Final:</b>							350		mmHg			
A amostras: 0,05441 m <sup>2</sup> V amostras: 0,00115 m <sup>3</sup> P amostras: 2,9310 Kg V Garrafão: 19 L Σ Horas: 239,6 Σ Dias: 9,98												

Planilha de Dados da Exalação do Gás Radônio												
Nome Comercial: Giallita						Sigla: GI						
Procedência: Gironda - ES												
Descrição: Polida, Resinada e Telada												
Data de Início: 14/07/2010			Hora: 17:29			Data da Leitura: 29/07/2010						
Tempo / Hora	Temperatura		Umidade Relativa		Pressão		Exalação					
11:24	21	°C	74	%rH	951	mbar	9	±	30	Bq/m <sup>3</sup>		
11:34	22	°C	73	%rH	951	mbar	1660	±	179	Bq/m <sup>3</sup>		
11:44	22	°C	73	%rH	951	mbar	1690	±	154	Bq/m <sup>3</sup>		
11:54	22	°C	72	%rH	951	mbar	1300	±	117	Bq/m <sup>3</sup>		
A amostras: 0,05441 m <sup>2</sup> V amostras: 0,00115 m <sup>3</sup> P amostras: 2,9310 Kg V Garrafão: 19 L Σ Horas: 353,92 Σ Dias: 14,75							<b>Média:</b>		1550,00	±	150,00	Bq/m <sup>3</sup>
							<b>Desvio Padrão:</b>		217,03	±	31,19	Bq/m <sup>3</sup>
							<b>Exalação por Hora:</b>		4,38	±	0,42	Bq/m <sup>3</sup>
							<b>Exalação por Dia:</b>		105,11	±	10,17	Bq/m <sup>3</sup>
							<b>Vácuo Inicial:</b>	430	mmHg			
							<b>Vácuo na Leitura:</b>	410	mmHg			
							<b>Vácuo Final:</b>	290	mmHg			

Planilha de Dados da Exalação do Gás Radônio												
Nome Comercial: Giallita						Sigla: GI						
Procedência: Gironda - ES												
Descrição: Polida, Resinada e Telada												
Data de Início: 23/06/2010			Hora: 16:31			Data da Leitura: 13/07/2010						
Tempo / Hora	Temperatura		Umidade Relativa		Pressão		Exalação					
15:46	22	°C	83	%rH	943	mbar	13	±	30	Bq/m <sup>3</sup>		
15:56	22	°C	85	%rH	943	mbar	1920	±	194	Bq/m <sup>3</sup>		
16:06	22	°C	86	%rH	943	mbar	2090	±	175	Bq/m <sup>3</sup>		
16:16	22	°C	86	%rH	943	mbar	1850	±	147	Bq/m <sup>3</sup>		
A amostras: 0,05441 m <sup>2</sup> V amostras: 0,00115 m <sup>3</sup> P amostras: 2,9310 Kg V Garrafão: 19 L Σ Horas: 479,25 Σ Dias: 19,97							<b>Média:</b>		1953,33	±	172,00	Bq/m <sup>3</sup>
							<b>Desvio Padrão:</b>		123,42	±	23,64	Bq/m <sup>3</sup>
							<b>Exalação por Hora:</b>		4,08	±	0,36	Bq/m <sup>3</sup>
							<b>Exalação por Dia:</b>		97,82	±	8,61	Bq/m <sup>3</sup>
							<b>Vácuo Inicial:</b>	420	mmHg			
							<b>Vácuo na Leitura:</b>	380	mmHg			
							<b>Vácuo Final:</b>	250	mmHg			

Planilha de Dados da Exalação do Gás Radônio										
Nome Comercial: Giallita					Sigla: GI					
Procedência: Gironda - ES										
Descrição: Polida, Resinada e Telada										
Data de Início: 27/05/2010			Hora: 17:35			Data da Leitura: 21/06/2010				
Tempo / Hora	Temperatura		Umidade Relativa		Pressão		Exalação			
15:55	20	°C	77	%rH	942	mbar	19	±	40	Bq/m <sup>3</sup>
16:05	21	°C	74	%rH	942	mbar	2230	±	218	Bq/m <sup>3</sup>
16:15	22	°C	72	%rH	942	mbar	2790	±	215	Bq/m <sup>3</sup>
16:25	22	°C	71	%rH	942	mbar	2430	±	180	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Média:</b>							2483,33	±	204,33	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Desvio Padrão:</b>							283,78	±	21,13	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Exalação por Hora:</b>							4,15	±	0,34	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Exalação por Dia:</b>							99,61	±	8,20	Bq/m <sup>3</sup>
A amostras: 0,05441 m <sup>2</sup> V amostras: 0,00115 m <sup>3</sup> P amostras: 2,9310 Kg V Garrafão: 19 L Σ Horas: 598,33 Σ Dias: 24,93							<b>Vácuo Inicial:</b> 420 mmHg <b>Vácuo na Leitura:</b> 380 mmHg <b>Vácuo Final:</b> 270 mmHg			

Filete	Peso - Kg	Comprimento	Largura	Espessura	Média m <sup>3</sup>	
1	0,7331	0,30200	0,04502	0,02099	0,30200	C
		0,30200	0,04518	0,02096	0,04509	L
		0,30200	0,04506	0,02112	0,02102	E
		Total m <sup>2</sup>		0,01362	Total m <sup>3</sup> :	0,00029
2	0,7314	0,30150	0,04502	0,02103	0,30150	C
		0,30150	0,04505	0,02115	0,04498	L
		0,30150	0,04487	0,02086	0,02101	E
		Total m <sup>2</sup>		0,01356	Total m <sup>3</sup> :	0,00028
3	0,7305	0,30150	0,04496	0,02128	0,30150	C
		0,30150	0,04528	0,02135	0,04514	L
		0,30150	0,04519	0,02115	0,02126	E
		Total m <sup>2</sup> :		0,01361	Total m <sup>3</sup> :	0,00029
4	0,7360	0,30200	0,04518	0,02123	0,30200	C
		0,30200	0,04511	0,02113	0,04511	L
		0,30200	0,04503	0,02103	0,02113	E
		Total m <sup>2</sup>		0,01362	Total m <sup>3</sup> :	0,00029
Σ Peso:	2,9310	Σ m <sup>2</sup> :	0,05441	Σ m <sup>3</sup> :	0,00115	

Planilha de Dados da Exalação do Gás Radônio												
Nome Comercial: Icarai Light					Sigla: IL							
Procedência: Barra de São Francisco - ES												
Descrição: Polida												
Data de Início: 05/11/2005			Hora: 17:05			Data da Leitura: 10/11/2005						
Tempo / Hora	Temperatura		Umidade Relativa		Pressão		Exalação					
10:55	24	°C	84	%rH	943	mbar	10	±	30	Bq/m <sup>3</sup>		
11:05	25	°C	83	%rH	943	mbar	15	±	10	Bq/m <sup>3</sup>		
11:15	25	°C	83	%rH	943	mbar	16	±	8	Bq/m <sup>3</sup>		
11:25	25	°C	82	%rH	943	mbar	18	±	7	Bq/m <sup>3</sup>		
<b>Média:</b>							16,33	±	8,33	Bq/m <sup>3</sup>		
<b>Desvio Padrão:</b>							1,53	±	1,53	Bq/m <sup>3</sup>		
<b>Exalação por Hora:</b>							0,14	±	0,07	Bq/m <sup>3</sup>		
<b>Exalação por Dia:</b>							3,44	±	1,76	Bq/m <sup>3</sup>		
<b>Vácuo Inicial:</b>							450		mmHg			
<b>Vácuo na Leitura:</b>							450		mmHg			
<b>Vácuo Final:</b>							340		mmHg			
A amostras: 0,05372 m <sup>2</sup> V amostras: 0,00119 m <sup>3</sup> P amostras: 3,0748 Kg V Garrafão: 19 L Σ Horas: 113,83 Σ Dias: 4,74												

Planilha de Dados da Exalação do Gás Radônio												
Nome Comercial: Icarai Light					Sigla: IL							
Procedência: Barra de São Francisco - ES												
Descrição: Polida												
Data de Início: 26/10/2010			Hora: 12:27			Data da Leitura: 05/11/2010						
Tempo / Hora	Temperatura		Umidade Relativa		Pressão		Exalação					
15:49	27	°C	69	%rH	937	mbar	10	±	30	Bq/m <sup>3</sup>		
15:59	27	°C	68	%rH	937	mbar	27	±	16	Bq/m <sup>3</sup>		
16:09	28	°C	67	%rH	937	mbar	16	±	9	Bq/m <sup>3</sup>		
16:19	28	°C	65	%rH	937	mbar	12	±	6	Bq/m <sup>3</sup>		
<b>Média:</b>							18,33	±	10,33	Bq/m <sup>3</sup>		
<b>Desvio Padrão:</b>							7,77	±	5,13	Bq/m <sup>3</sup>		
<b>Exalação por Hora:</b>							0,08	±	0,04	Bq/m <sup>3</sup>		
<b>Exalação por Dia:</b>							1,81	±	1,02	Bq/m <sup>3</sup>		
<b>Vácuo Inicial:</b>							450		mmHg			
<b>Vácuo na Leitura:</b>							420		mmHg			
<b>Vácuo Final:</b>							320		mmHg			
A amostras: 0,05372 m <sup>2</sup> V amostras: 0,00119 m <sup>3</sup> P amostras: 3,0748 Kg V Garrafão: 19 L Σ Horas: 243,37 Σ Dias: 10,14												

Planilha de Dados da Exalação do Gás Radônio												
Nome Comercial: Icarai Light						Sigla: IL						
Procedência: Barra de São Francisco - ES												
Descrição: Polida												
Data de Início: 11/10/2010			Hora: 12:56			Data da Leitura: 26/10/2010						
Tempo / Hora	Temperatura		Umidade Relativa		Pressão		Exalação					
11:05	24	°C	78	%rH	941	mbar	0	±	30	Bq/m <sup>3</sup>		
11:15	24	°C	78	%rH	941	mbar	10	±	9	Bq/m <sup>3</sup>		
11:25	24	°C	77	%rH	941	mbar	16	±	9	Bq/m <sup>3</sup>		
11:35	25	°C	77	%rH	941	mbar	18	±	8	Bq/m <sup>3</sup>		
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">           A amostras: 0,05372 m<sup>2</sup>            V amostras: 0,00119 m<sup>3</sup>            P amostras: 3,0748 Kg            V Garrafão: 19 L            Σ Horas: 358,15            Σ Dias: 14,92         </div>							<b>Média:</b>		14,67	±	8,67	Bq/m <sup>3</sup>
							<b>Desvio Padrão:</b>		4,16	±	0,58	Bq/m <sup>3</sup>
							<b>Exalação por Hora:</b>		0,04	±	0,02	Bq/m <sup>3</sup>
							<b>Exalação por Dia:</b>		0,98	±	0,58	Bq/m <sup>3</sup>
							<b>Vácuo Inicial:</b>	450	mmHg			
							<b>Vácuo na Leitura:</b>	420	mmHg			
							<b>Vácuo Final:</b>	320	mmHg			
Obs.: Início do Horário de Verão no dia 18/10/2010.												

Planilha de Dados da Exalação do Gás Radônio												
Nome Comercial: Icarai Light						Sigla: IL						
Procedência: Barra de São Francisco - ES												
Descrição: Polida												
Data de Início: 18/08/2010			Hora: 09:56			Data da Leitura: 08/09/2010						
Tempo / Hora	Temperatura		Umidade Relativa		Pressão		Exalação					
09:53	22	°C	75	%rH	950	mbar	0	±	30	Bq/m <sup>3</sup>		
10:03	22	°C	75	%rH	950	mbar	16	±	12	Bq/m <sup>3</sup>		
10:13	22	°C	74	%rH	950	mbar	28	±	13	Bq/m <sup>3</sup>		
10:23	22	°C	74	%rH	950	mbar	24	±	10	Bq/m <sup>3</sup>		
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">           A amostras: 0,05372 m<sup>2</sup>            V amostras: 0,00119 m<sup>3</sup>            P amostras: 3,0748 Kg            V Garrafão: 19 L            Σ Horas: 503,95            Σ Dias: 21,00         </div>							<b>Média:</b>		22,67	±	11,67	Bq/m <sup>3</sup>
							<b>Desvio Padrão:</b>		6,11	±	1,53	Bq/m <sup>3</sup>
							<b>Exalação por Hora:</b>		0,04	±	0,02	Bq/m <sup>3</sup>
							<b>Exalação por Dia:</b>		1,08	±	0,56	Bq/m <sup>3</sup>
							<b>Vácuo Inicial:</b>	450	mmHg			
							<b>Vácuo na Leitura:</b>	410	mmHg			
							<b>Vácuo Final:</b>	290	mmHg			

Planilha de Dados da Exalação do Gás Radônio										
Nome Comercial: Icarai Light						Sigla: IL				
Procedência: Barra de São Francisco - ES										
Descrição: Polida										
Data de Início: 13/09/2010			Hora: 16:45			Data da Leitura: 09/10/2010				
Tempo / Hora	Temperatura		Umidade Relativa		Pressão		Exalação			
18:17	24	°C	64	%rH	948	mbar	0	±	30	Bq/m <sup>3</sup>
18:27	24	°C	64	%rH	948	mbar	23	±	16	Bq/m <sup>3</sup>
18:37	24	°C	63	%rH	948	mbar	24	±	12	Bq/m <sup>3</sup>
18:47	24	°C	63	%rH	948	mbar	22	±	10	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Média:</b>							23,00	±	12,67	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Desvio Padrão:</b>							1,00	±	3,06	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Exalação por Hora:</b>							0,04	±	0,02	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Exalação por Dia:</b>							0,88	±	0,49	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Vácuo Inicial:</b>							450		mmHg	
<b>Vácuo na Leitura:</b>							410		mmHg	
<b>Vácuo Final:</b>							300		mmHg	
A amostras: 0,05372 m <sup>2</sup> V amostras: 0,00119 m <sup>3</sup> P amostras: 3,0748 Kg V Garrafão: 19 L Σ Horas: 625,53 Σ Dias: 26,06										

Filete	Peso - Kg	Comprimento	Largura	Espessura	Média m <sup>3</sup>	
1	0,7687	0,30100	0,04452	0,02202	0,30100	C
		0,30100	0,04457	0,02218	0,04457	L
		0,30100	0,04463	0,02231	0,02217	E
		Total m <sup>2</sup>		0,01342	Total m <sup>3</sup> :	0,00030
2	0,7664	0,30100	0,04465	0,02220	0,30100	C
		0,30100	0,04469	0,02210	0,04463	L
		0,30100	0,04454	0,02189	0,02206	E
		Total m <sup>2</sup>		0,01343	Total m <sup>3</sup> :	0,00030
3	0,7695	0,30100	0,04453	0,02207	0,30100	C
		0,30100	0,04480	0,02216	0,04464	L
		0,30100	0,04460	0,02232	0,02218	E
		Total m <sup>2</sup> :		0,01344	Total m <sup>3</sup> :	0,00030
4	0,7702	0,30100	0,04455	0,02212	0,30100	C
		0,30100	0,04473	0,02225	0,04462	L
		0,30100	0,04457	0,02235	0,02224	E
		Total m <sup>2</sup>		0,01343	Total m <sup>3</sup> :	0,00030
Σ Peso:		3,0748	Σ m <sup>2</sup> :	0,05372	Σ m <sup>3</sup> :	0,00119

Planilha de Dados da Exalação do Gás Radônio										
Nome Comercial: Golden Cristal						Sigla: GC				
Procedência: Itinga - MG										
Descrição: Polida										
Data de Início: 23/07/2010			Hora: 18:10			Data da Leitura: 28/07/2010				
Tempo / Hora	Temperatura		Umidade Relativa		Pressão		Exalação			
16:22	22	°C	71	%rH	950	mbar	0	±	30	Bq/m <sup>3</sup>
16:32	22	°C	70	%rH	950	mbar	69	±	29	Bq/m <sup>3</sup>
16:42	23	°C	70	%rH	950	mbar	72	±	23	Bq/m <sup>3</sup>
16:52	23	°C	70	%rH	950	mbar	58	±	17	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Média:</b>							66,33	±	23,00	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Desvio Padrão:</b>							7,37	±	6,00	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Exalação por Hora:</b>							0,56	±	0,19	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Exalação por Dia:</b>							13,47	±	4,67	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Vácuo Inicial:</b>							430		mmHg	
<b>Vácuo na Leitura:</b>							420		mmHg	
<b>Vácuo Final:</b>							290		mmHg	
A amostras: 0,05356 m <sup>2</sup> V amostras: 0,00107 m <sup>3</sup> P amostras: 2,7211 Kg V Garrafão: 19 L Σ Horas: 118,2 Σ Dias: 4,93										

Planilha de Dados da Exalação do Gás Radônio										
Nome Comercial: Golden Cristal						Sigla: GC				
Procedência: Itinga - MG										
Descrição: Polida										
Data de Início: 12/07/2010			Hora: 15:59			Data da Leitura: 23/07/2010				
Tempo / Hora	Temperatura		Umidade Relativa		Pressão		Exalação			
14:14	24	°C	70	%rH	950	mbar	18	±	30	Bq/m <sup>3</sup>
14:24	24	°C	69	%rH	950	mbar	100	±	35	Bq/m <sup>3</sup>
14:34	24	°C	69	%rH	949	mbar	93	±	26	Bq/m <sup>3</sup>
14:44	25	°C	69	%rH	949	mbar	79	±	20	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Média:</b>							90,67	±	27,00	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Desvio Padrão:</b>							10,69	±	7,55	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Exalação por Hora:</b>							0,35	±	0,10	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Exalação por Dia:</b>							8,30	±	2,47	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Vácuo Inicial:</b>							430		mmHg	
<b>Vácuo na Leitura:</b>							410		mmHg	
<b>Vácuo Final:</b>							300		mmHg	
A amostras: 0,05356 m <sup>2</sup> V amostras: 0,00107 m <sup>3</sup> P amostras: 2,7211 Kg V Garrafão: 19 L Σ Horas: 262,25 Σ Dias: 10,93										

Planilha de Dados da Exalação do Gás Radônio										
Nome Comercial: Golden Cristal						Sigla: GC				
Procedência: Itinga - MG										
Descrição: Polida										
Data de Início: 27/05/2010			Hora: 17:47			Data da Leitura: 11/06/2010				
Tempo / Hora	Temperatura		Umidade Relativa		Pressão		Exalação			
13:36	20	°C	77	%rH	951	mbar	4	±	7	Bq/m <sup>3</sup>
13:46	20	°C	76	%rH	951	mbar	95	±	29	Bq/m <sup>3</sup>
13:56	20	°C	76	%rH	951	mbar	117	±	28	Bq/m <sup>3</sup>
14:06	20	°C	75	%rH	951	mbar	101	±	23	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Média:</b>							104,33	±	26,67	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Desvio Padrão:</b>							11,37	±	3,21	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Exalação por Hora:</b>							0,30	±	0,08	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Exalação por Dia:</b>							7,32	±	1,87	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Vácuo Inicial:</b>							420		mmHg	
<b>Vácuo na Leitura:</b>							390		mmHg	
<b>Vácuo Final:</b>							260		mmHg	
A amostras: 0,05356 m <sup>2</sup> V amostras: 0,00107 m <sup>3</sup> P amostras: 2,7211 Kg V Garrafão: 19 L Σ Horas: 342,22 Σ Dias: 14,26										

Planilha de Dados da Exalação do Gás Radônio										
Nome Comercial: Golden Cristal						Sigla: GC				
Procedência: Itinga - MG										
Descrição: Polida										
Data de Início: 15/06/2010			Hora: 11:28			Data da Leitura: 05/07/2010				
Tempo / Hora	Temperatura		Umidade Relativa		Pressão		Exalação			
16:04	21	°C	62	%rH	948	mbar	13	±	30	Bq/m <sup>3</sup>
16:14	21	°C	62	%rH	948	mbar	113	±	40	Bq/m <sup>3</sup>
16:24	21	°C	62	%rH	948	mbar	135	±	34	Bq/m <sup>3</sup>
16:34	21	°C	61	%rH	948	mbar	106	±	25	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Média:</b>							118,00	±	33,00	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Desvio Padrão:</b>							15,13	±	7,55	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Exalação por Hora:</b>							0,24	±	0,07	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Exalação por Dia:</b>							5,84	±	1,63	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Vácuo Inicial:</b>							420		mmHg	
<b>Vácuo na Leitura:</b>							390		mmHg	
<b>Vácuo Final:</b>							260		mmHg	
A amostras: 0,05356 m <sup>2</sup> V amostras: 0,00107 m <sup>3</sup> P amostras: 2,7211 Kg V Garrafão: 19 L Σ Horas: 484,6 Σ Dias: 20,19										

Planilha de Dados da Exalação do Gás Radônio										
Nome Comercial: Golden Cristal						Sigla: GC				
Procedência: Itinga - MG										
Descrição: Polida										
Data de Início: 23/04/2010			Hora: 17:49			Data da Leitura: 19/05/2010				
Tempo / Hora	Temperatura		Umidade Relativa		Pressão		Exalação			
09:49	21	°C	86	%rH	945	mbar	24	±	45	Bq/m <sup>3</sup>
09:59	21	°C	86	%rH	945	mbar	103	±	40	Bq/m <sup>3</sup>
10:09	22	°C	85	%rH	945	mbar	107	±	32	Bq/m <sup>3</sup>
10:19	22	°C	85	%rH	945	mbar	85	±	24	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Média:</b>							98,33	±	32,00	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Desvio Padrão:</b>							11,72	±	8,00	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Exalação por Hora:</b>							0,16	±	0,05	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Exalação por Dia:</b>							3,83	±	1,25	Bq/m <sup>3</sup>
A amostras: 0,05356 m <sup>2</sup> V amostras: 0,00107 m <sup>3</sup> P amostras: 2,7211 Kg V Garrafão: 19 L Σ Horas: 616 Σ Dias: 25,67							<b>Vácuo Inicial:</b> 410 mmHg <b>Vácuo na Leitura:</b> 380 mmHg <b>Vácuo Final:</b> 260 mmHg			

Filete	Peso - Kg	Comprimento	Largura	Espessura	Média m <sup>3</sup>	
1	0,6839	0,30500	0,04434	0,01992	0,30500	C
		0,30500	0,04435	0,01988	0,04434	L
		0,30500	0,04433	0,01980	0,01987	E
		Total m <sup>2</sup>		0,01352	Total m <sup>3</sup> :	0,00027
2	0,6870	0,30500	0,04447	0,02006	0,30500	C
		0,30500	0,04451	0,02003	0,04440	L
		0,30500	0,04421	0,01995	0,02001	E
		Total m <sup>2</sup>		0,01354	Total m <sup>3</sup> :	0,00027
3	0,6743	0,30500	0,04466	0,01971	0,30500	C
		0,30500	0,04444	0,01986	0,04451	L
		0,30500	0,04442	0,01987	0,01981	E
		Total m <sup>2</sup> :		0,01357	Total m <sup>3</sup> :	0,00027
4	0,6759	0,29000	0,04459	0,01984	0,29000	C
		0,29000	0,04463	0,01989	0,04454	L
		0,29000	0,04440	0,01986	0,01986	E
		Total m <sup>2</sup>		0,01292	Total m <sup>3</sup> :	0,00026
Σ Peso:	2,7211	Σ m <sup>2</sup> :	0,05356	Σ m <sup>3</sup> :	0,00107	

Planilha de Dados da Exalação do Gás Radônio											
Nome Comercial: Crema Bordeaux					Sigla: CB						
Procedência: Afonso Cláudio - ES											
Descrição: Bruta											
Data de Início: 23/04/2010			Hora: 17:09		Data da Leitura: 28/04/2010						
Tempo / Hora	Temperatura		Umidade Relativa		Pressão		Exalação				
16:14	26	°C	79	%rH	945	mbar	9	±	9	Bq/m <sup>3</sup>	
16:24	27	°C	77	%rH	945	mbar	279	±	52	Bq/m <sup>3</sup>	
16:34	27	°C	77	%rH	945	mbar	391	±	55	Bq/m <sup>3</sup>	
16:44	27	°C	76	%rH	945	mbar	320	±	45	Bq/m <sup>3</sup>	
<b>Média:</b>							330,00	±	50,67	Bq/m <sup>3</sup>	
<b>Desvio Padrão:</b>							56,67	±	5,13	Bq/m <sup>3</sup>	
<b>Exalação por Hora:</b>							2,77	±	0,43	Bq/m <sup>3</sup>	
<b>Exalação por Dia:</b>							66,51	±	10,21	Bq/m <sup>3</sup>	
<b>Vácuo Inicial:</b>							400		mmHg		
<b>Vácuo na Leitura:</b>							400		mmHg		
<b>Vácuo Final:</b>							270		mmHg		
A amostras: 0,05436 m <sup>2</sup> V amostras: 0,00122 m <sup>3</sup> P amostras: 3,0665 Kg V Garrafão: 19 L Σ Horas: 119,08 Σ Dias: 4,96											

Planilha de Dados da Exalação do Gás Radônio											
Nome Comercial: Crema Bordeaux					Sigla: CB						
Procedência: Afonso Cláudio - ES											
Descrição: Bruta											
Data de Início: 12/07/2010			Hora: 15:31		Data da Leitura: 23/07/2010						
Tempo / Hora	Temperatura		Umidade Relativa		Pressão		Exalação				
17:33	26	°C	70	%rH	950	mbar	12	±	30	Bq/m <sup>3</sup>	
17:43	25	°C	69	%rH	950	mbar	619	±	101	Bq/m <sup>3</sup>	
17:53	25	°C	69	%rH	950	mbar	666	±	86	Bq/m <sup>3</sup>	
18:03	25	°C	69	%rH	950	mbar	517	±	65	Bq/m <sup>3</sup>	
<b>Média:</b>							600,67	±	84,00	Bq/m <sup>3</sup>	
<b>Desvio Padrão:</b>							76,17	±	18,08	Bq/m <sup>3</sup>	
<b>Exalação por Hora:</b>							2,26	±	0,32	Bq/m <sup>3</sup>	
<b>Exalação por Dia:</b>							54,19	±	7,58	Bq/m <sup>3</sup>	
<b>Vácuo Inicial:</b>							420		mmHg		
<b>Vácuo na Leitura:</b>							410		mmHg		
<b>Vácuo Final:</b>							280		mmHg		
A amostras: 0,05436 m <sup>2</sup> V amostras: 0,00122 m <sup>3</sup> P amostras: 3,0665 Kg V Garrafão: 19 L Σ Horas: 266,03 Σ Dias: 11,08											

Planilha de Dados da Exalação do Gás Radônio										
Nome Comercial: Crema Bordeaux						Sigla: CB				
Procedência: Afonso Cláudio - ES										
Descrição: Bruta										
Data de Início: 27/05/2010			Hora: 17:08			Data da Leitura: 11/06/2010				
Tempo / Hora	Temperatura		Umidade Relativa		Pressão		Exalação			
14:28	20	°C	74	%rH	951	mbar	13	±	30	Bq/m <sup>3</sup>
14:38	21	°C	73	%rH	951	mbar	734	±	111	Bq/m <sup>3</sup>
14:48	21	°C	72	%rH	951	mbar	691	±	87	Bq/m <sup>3</sup>
14:58	21	°C	72	%rH	951	mbar	528	±	66	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Média:</b>							651,00	±	88,00	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Desvio Padrão:</b>							108,67	±	22,52	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Exalação por Hora:</b>							1,82	±	0,25	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Exalação por Dia:</b>							43,72	±	5,91	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Vácuo Inicial:</b>							420		mmHg	
<b>Vácuo na Leitura:</b>							400		mmHg	
<b>Vácuo Final:</b>							270		mmHg	
A amostras: 0,05436 m <sup>2</sup> V amostras: 0,00122 m <sup>3</sup> P amostras: 3,0665 Kg V Garrafão: 19 L Σ Horas: 357,33 Σ Dias: 14,89										

Planilha de Dados da Exalação do Gás Radônio										
Nome Comercial: Crema Bordeaux						Sigla: CB				
Procedência: Afonso Cláudio - ES										
Descrição: Bruta										
Data de Início: 15/06/2010			Hora: 11:36			Data da Leitura: 05/07/2010				
Tempo / Hora	Temperatura		Umidade Relativa		Pressão		Exalação			
19:04	21	°C	63	%rH	948	mbar	11	±	30	Bq/m <sup>3</sup>
19:14	21	°C	63	%rH	948	mbar	711	±	109	Bq/m <sup>3</sup>
19:24	21	°C	63	%rH	948	mbar	700	±	88	Bq/m <sup>3</sup>
19:34	21	°C	64	%rH	948	mbar	515	±	65	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Média:</b>							642,00	±	87,33	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Desvio Padrão:</b>							110,12	±	22,01	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Exalação por Hora:</b>							1,32	±	0,18	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Exalação por Dia:</b>							31,61	±	4,30	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Vácuo Inicial:</b>							420		mmHg	
<b>Vácuo na Leitura:</b>							390		mmHg	
<b>Vácuo Final:</b>							260		mmHg	
A amostras: 0,05436 m <sup>2</sup> V amostras: 0,00122 m <sup>3</sup> P amostras: 3,0665 Kg V Garrafão: 19 L Σ Horas: 487,47 Σ Dias: 20,31										

Planilha de Dados da Exalação do Gás Radônio										
Nome Comercial: Crema Bordeaux						Sigla: CB				
Procedência: Afonso Cláudio - ES										
Descrição: Bruta										
Data de Início: 28/04/2010			Hora: 19:30			Data da Leitura: 24/05/2010				
Tempo / Hora	Temperatura		Umidade Relativa		Pressão		Exalação			
14:29	22	°C	83	%rH	941	mbar	14	±	30	Bq/m <sup>3</sup>
14:39	22	°C	83	%rH	941	mbar	826	±	118	Bq/m <sup>3</sup>
14:49	22	°C	83	%rH	941	mbar	796	±	95	Bq/m <sup>3</sup>
14:59	22	°C	83	%rH	941	mbar	634	±	73	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Média:</b>							752,00	±	95,33	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Desvio Padrão:</b>							103,29	±	22,50	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Exalação por Hora:</b>							1,21	±	0,15	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Exalação por Dia:</b>							29,16	±	3,70	Bq/m <sup>3</sup>
<b>Vácuo Inicial:</b>							410		mmHg	
<b>Vácuo na Leitura:</b>							370		mmHg	
<b>Vácuo Final:</b>							240		mmHg	
A amostras: 0,05436 m <sup>2</sup> V amostras: 0,00122 m <sup>3</sup> P amostras: 3,0665 Kg V Garrafão: 19 L Σ Horas: 618,98 Σ Dias: 25,79										

Filete	Peso - Kg	Comprimento	Largura	Espessura	Média m <sup>3</sup>	
1	0,7642	0,30500	0,04463	0,02241	0,30500	C
		0,30500	0,04459	0,02231	0,04455	L
		0,30500	0,04443	0,02230	0,02234	E
		Total m <sup>2</sup>		0,01359	Total m <sup>3</sup> :	0,00030
2	0,7714	0,30500	0,04462	0,02232	0,30500	C
		0,30500	0,04468	0,02245	0,04471	L
		0,30500	0,04482	0,02224	0,02234	E
		Total m <sup>2</sup>		0,01364	Total m <sup>3</sup> :	0,00030
3	0,7668	0,31000	0,04477	0,02241	0,31000	C
		0,31000	0,04463	0,02235	0,04468	L
		0,31000	0,04465	0,02236	0,02237	E
		Total m <sup>2</sup> :		0,01385	Total m <sup>3</sup> :	0,00031
4	0,7641	0,29950	0,04462	0,02226	0,29950	C
		0,29950	0,04466	0,02261	0,04437	L
		0,29950	0,04384	0,02238	0,02242	E
		Total m <sup>2</sup>		0,01329	Total m <sup>3</sup> :	0,00030
Σ Peso:	3,0665	Σ m <sup>2</sup> :	0,05436	Σ m <sup>3</sup> :	0,00122	

**ANEXO E**  
**SIMULAÇÃO DE ADIÇÃO PARA O NÍVEL DE  $^{222}\text{RN}$  EM**  
**UMA RESIDÊNCIA**

Material: Preto São Gabriel

Ciclo: 25 dias

Comodos	Área (m <sup>2</sup> )	Altura (m)	Ar da Casa (m <sup>3</sup> )	Ar Garrafão	Fator 1	Qtd. Material aplicado (m <sup>3</sup> )	Qtd. amostra	Fator 2	Rn exalado da amostra (Bq/m <sup>3</sup> )	Rn no ambiente (Bq/m <sup>3</sup> )	Rn no ambiente (pCI/L)
Suíte	11,22	2,8	31,416	0,019	1653,474	0,2244	0,00114	196,84	12	1,43	0,04
Banh° Suíte	3,23	2,8	9,044	0,019	476	0,0646	0,00114	56,667	12	1,43	0,04
Varanda Suíte	2,44	2,8	6,832	0,019	359,5789	0,0488	0,00114	42,807	12	1,43	0,04
Quarto 1	9,07	2,8	25,396	0,019	1336,632	0,1814	0,00114	159,12	12	1,43	0,04
Quarto 2	9,07	2,8	25,396	0,019	1336,632	0,1814	0,00114	159,12	12	1,43	0,04
Circulação	2,61	2,8	7,308	0,019	384,6316	0,0522	0,00114	45,789	12	1,43	0,04
Banh° Social	3,23	2,8	9,044	0,019	476	0,0646	0,00114	56,667	12	1,43	0,04
Sala Estar / Jantar	19,83	2,8	55,524	0,019	2922,316	0,3966	0,00114	347,89	12	1,43	0,04
Copa / Cozinha	9,75	2,8	27,3	0,019	1436,842	0,195	0,00114	171,05	12	1,43	0,04
Banho	1,95	2,8	5,46	0,019	287,3684	0,039	0,00114	34,211	12	1,43	0,04
Área Serviço	2,36	2,8	6,608	0,019	347,7895	0,0472	0,00114	41,404	12	1,43	0,04
Varanda	16,1	2,8	45,08	0,019	2372,632	0,322	0,00114	282,46	12	1,43	0,04
Area Total	90,86	∑ Ar Casa	254,408	0,019	13389,89	1,8172	0,00114	1594	12	1,43	0,04

Material: Ocre Itabira

Ciclo: 25 dias

Comodos	Área (m <sup>2</sup> )	Altura (m)	Ar da Casa (m <sup>3</sup> )	Ar Garrafão	Fator 1	Qtd. Material aplicado (m <sup>3</sup> )	Qtd. amostra	Fator 2	Rn exalado da amostra (Bq/m <sup>3</sup> )	Rn no ambiente (Bq/m <sup>3</sup> )	Rn no ambiente (pCI/L)
Suíte	11,22	2,8	31,416	0,019	1653,474	0,2244	0,00116	193,45	21,67	2,54	0,07
Banh° Suíte	3,23	2,8	9,044	0,019	476	0,0646	0,00116	55,69	21,67	2,54	0,07
Varanda Suíte	2,44	2,8	6,832	0,019	359,5789	0,0488	0,00116	42,069	21,67	2,54	0,07
Quarto 1	9,07	2,8	25,396	0,019	1336,632	0,1814	0,00116	156,38	21,67	2,54	0,07
Quarto 2	9,07	2,8	25,396	0,019	1336,632	0,1814	0,00116	156,38	21,67	2,54	0,07
Circulação	2,61	2,8	7,308	0,019	384,6316	0,0522	0,00116	45	21,67	2,54	0,07
Banh° Social	3,23	2,8	9,044	0,019	476	0,0646	0,00116	55,69	21,67	2,54	0,07
Sala Estar / Jantar	19,83	2,8	55,524	0,019	2922,316	0,3966	0,00116	341,9	21,67	2,54	0,07
Copa / Cozinha	9,75	2,8	27,3	0,019	1436,842	0,195	0,00116	168,1	21,67	2,54	0,07
Banho	1,95	2,8	5,46	0,019	287,3684	0,039	0,00116	33,621	21,67	2,54	0,07
Área Serviço	2,36	2,8	6,608	0,019	347,7895	0,0472	0,00116	40,69	21,67	2,54	0,07
Varanda	16,1	2,8	45,08	0,019	2372,632	0,322	0,00116	277,59	21,67	2,54	0,07
Area Total	90,86	∑ Ar Casa	254,408	0,019	13389,89	1,8172	0,00116	1566,6	21,67	2,54	0,07

Material: Verde Labrador											Ciclo: 25 dias			
Comodos	Área (m <sup>2</sup> )	Altura (m)	Ar da Casa (m <sup>3</sup> )	Ar Garrafão	Fator 1	Qtd. Material aplicado (m <sup>3</sup> )	Qtd. amostra	Fator 2	Rn exalado da amostra (Bq/m <sup>3</sup> )	Rn no ambiente (Bq/m <sup>3</sup> )	Rn no ambiente (pCI/L)			
Suíte	11,22	2,8	31,416	0,019	1653,474	0,2244	0,00107	209,72	10	1,27	0,03			
Banh° Suíte	3,23	2,8	9,044	0,019	476	0,0646	0,00107	60,374	10	1,27	0,03			
Varanda Suíte	2,44	2,8	6,832	0,019	359,5789	0,0488	0,00107	45,607	10	1,27	0,03			
Quarto 1	9,07	2,8	25,396	0,019	1336,632	0,1814	0,00107	169,53	10	1,27	0,03			
Quarto 2	9,07	2,8	25,396	0,019	1336,632	0,1814	0,00107	169,53	10	1,27	0,03			
Circulação	2,61	2,8	7,308	0,019	384,6316	0,0522	0,00107	48,785	10	1,27	0,03			
Banh° Social	3,23	2,8	9,044	0,019	476	0,0646	0,00107	60,374	10	1,27	0,03			
Sala Estar / Jantar	19,83	2,8	55,524	0,019	2922,316	0,3966	0,00107	370,65	10	1,27	0,03			
Copa / Cozinha	9,75	2,8	27,3	0,019	1436,842	0,195	0,00107	182,24	10	1,27	0,03			
Banho	1,95	2,8	5,46	0,019	287,3684	0,039	0,00107	36,449	10	1,27	0,03			
Área Serviço	2,36	2,8	6,608	0,019	347,7895	0,0472	0,00107	44,112	10	1,27	0,03			
Varanda	16,1	2,8	45,08	0,019	2372,632	0,322	0,00107	300,93	10	1,27	0,03			
Area Total	90,86	∑ Ar Casa	254,408	0,019	13389,89	1,8172	0,00107	1698,3	10	1,27	0,03			

Material: Cinza Corumbá											Ciclo: 25 dias			
Comodos	Área (m <sup>2</sup> )	Altura (m)	Ar da Casa (m <sup>3</sup> )	Ar Garrafão	Fator 1	Qtd. Material aplicado (m <sup>3</sup> )	Qtd. amostra	Fator 2	Rn exalado da amostra (Bq/m <sup>3</sup> )	Rn no ambiente (Bq/m <sup>3</sup> )	Rn no ambiente (pCI/L)			
Suíte	11,22	2,8	31,416	0,019	1653,474	0,2244	0,00114	196,84	69,33	8,25	0,22			
Banh° Suíte	3,23	2,8	9,044	0,019	476	0,0646	0,00114	56,667	69,33	8,25	0,22			
Varanda Suíte	2,44	2,8	6,832	0,019	359,5789	0,0488	0,00114	42,807	69,33	8,25	0,22			
Quarto 1	9,07	2,8	25,396	0,019	1336,632	0,1814	0,00114	159,12	69,33	8,25	0,22			
Quarto 2	9,07	2,8	25,396	0,019	1336,632	0,1814	0,00114	159,12	69,33	8,25	0,22			
Circulação	2,61	2,8	7,308	0,019	384,6316	0,0522	0,00114	45,789	69,33	8,25	0,22			
Banh° Social	3,23	2,8	9,044	0,019	476	0,0646	0,00114	56,667	69,33	8,25	0,22			
Sala Estar / Jantar	19,83	2,8	55,524	0,019	2922,316	0,3966	0,00114	347,89	69,33	8,25	0,22			
Copa / Cozinha	9,75	2,8	27,3	0,019	1436,842	0,195	0,00114	171,05	69,33	8,25	0,22			
Banho	1,95	2,8	5,46	0,019	287,3684	0,039	0,00114	34,211	69,33	8,25	0,22			
Área Serviço	2,36	2,8	6,608	0,019	347,7895	0,0472	0,00114	41,404	69,33	8,25	0,22			
Varanda	16,1	2,8	45,08	0,019	2372,632	0,322	0,00114	282,46	69,33	8,25	0,22			
Area Total	90,86	∑ Ar Casa	254,408	0,019	13389,89	1,8172	0,00114	1594	69,33	8,25	0,22			

Material: Timbalada

Ciclo: 25 dias

Comodos	Área (m <sup>2</sup> )	Altura (m)	Ar da Casa (m <sup>3</sup> )	Ar Garrafão	Fator 1	Qtd. Material aplicado (m <sup>3</sup> )	Qtd. amostra	Fator 2	Rn exalado da amostra (Bq/m <sup>3</sup> )	Rn no ambiente (Bq/m <sup>3</sup> )	Rn no ambiente (pCI/L)
Suíte	11,22	2,8	31,416	0,019	1653,474	0,2244	0,00106	211,7	1135,67	145,40	3,93
Banh° Suíte	3,23	2,8	9,044	0,019	476	0,0646	0,00106	60,943	1135,67	145,40	3,93
Varanda Suíte	2,44	2,8	6,832	0,019	359,5789	0,0488	0,00106	46,038	1135,67	145,40	3,93
Quarto 1	9,07	2,8	25,396	0,019	1336,632	0,1814	0,00106	171,13	1135,67	145,40	3,93
Quarto 2	9,07	2,8	25,396	0,019	1336,632	0,1814	0,00106	171,13	1135,67	145,40	3,93
Circulação	2,61	2,8	7,308	0,019	384,6316	0,0522	0,00106	49,245	1135,67	145,40	3,93
Banh° Social	3,23	2,8	9,044	0,019	476	0,0646	0,00106	60,943	1135,67	145,40	3,93
Sala Estar / Jantar	19,83	2,8	55,524	0,019	2922,316	0,3966	0,00106	374,15	1135,67	145,40	3,93
Copa / Cozinha	9,75	2,8	27,3	0,019	1436,842	0,195	0,00106	183,96	1135,67	145,40	3,93
Banho	1,95	2,8	5,46	0,019	287,3684	0,039	0,00106	36,792	1135,67	145,40	3,93
Área Serviço	2,36	2,8	6,608	0,019	347,7895	0,0472	0,00106	44,528	1135,67	145,40	3,93
Varanda	16,1	2,8	45,08	0,019	2372,632	0,322	0,00106	303,77	1135,67	145,40	3,93
Area Total	90,86	∑ Ar Casa	254,408	0,019	13389,89	1,8172	0,00106	1714,3	1135,67	145,40	3,93

Material: Mascarello

Ciclo: 25 dias

Comodos	Área (m <sup>2</sup> )	Altura (m)	Ar da Casa (m <sup>3</sup> )	Ar Garrafão	Fator 1	Qtd. Material aplicado (m <sup>3</sup> )	Qtd. amostra	Fator 2	Rn exalado da amostra (Bq/m <sup>3</sup> )	Rn no ambiente (Bq/m <sup>3</sup> )	Rn no ambiente (pCI/L)
Suíte	11,22	2,8	31,416	0,019	1653,474	0,2244	0,00111	202,16	471,67	57,67	1,56
Banh° Suíte	3,23	2,8	9,044	0,019	476	0,0646	0,00111	58,198	471,67	57,67	1,56
Varanda Suíte	2,44	2,8	6,832	0,019	359,5789	0,0488	0,00111	43,964	471,67	57,67	1,56
Quarto 1	9,07	2,8	25,396	0,019	1336,632	0,1814	0,00111	163,42	471,67	57,67	1,56
Quarto 2	9,07	2,8	25,396	0,019	1336,632	0,1814	0,00111	163,42	471,67	57,67	1,56
Circulação	2,61	2,8	7,308	0,019	384,6316	0,0522	0,00111	47,027	471,67	57,67	1,56
Banh° Social	3,23	2,8	9,044	0,019	476	0,0646	0,00111	58,198	471,67	57,67	1,56
Sala Estar / Jantar	19,83	2,8	55,524	0,019	2922,316	0,3966	0,00111	357,3	471,67	57,67	1,56
Copa / Cozinha	9,75	2,8	27,3	0,019	1436,842	0,195	0,00111	175,68	471,67	57,67	1,56
Banho	1,95	2,8	5,46	0,019	287,3684	0,039	0,00111	35,135	471,67	57,67	1,56
Área Serviço	2,36	2,8	6,608	0,019	347,7895	0,0472	0,00111	42,523	471,67	57,67	1,56
Varanda	16,1	2,8	45,08	0,019	2372,632	0,322	0,00111	290,09	471,67	57,67	1,56
Area Total	90,86	∑ Ar Casa	254,408	0,019	13389,89	1,8172	0,00111	1637,1	471,67	57,67	1,56

Material: Giallita											
Ciclo: 25 dias											
Comodos	Área (m <sup>2</sup> )	Altura (m)	Ar da Casa (m <sup>3</sup> )	Ar Garrafão	Fator 1	Qtd. Material aplicado (m <sup>3</sup> )	Qtd. amostra	Fator 2	Rn exalado da amostra (Bq/m <sup>3</sup> )	Rn no ambiente (Bq/m <sup>3</sup> )	Rn no ambiente (pCI/L)
Suíte	11,22	2,8	31,416	0,019	1653,474	0,2244	0,00115	195,13	2483,33	293,06	7,92
Banh° Suíte	3,23	2,8	9,044	0,019	476	0,0646	0,00115	56,174	2483,33	293,06	7,92
Varanda Suíte	2,44	2,8	6,832	0,019	359,5789	0,0488	0,00115	42,435	2483,33	293,06	7,92
Quarto 1	9,07	2,8	25,396	0,019	1336,632	0,1814	0,00115	157,74	2483,33	293,06	7,92
Quarto 2	9,07	2,8	25,396	0,019	1336,632	0,1814	0,00115	157,74	2483,33	293,06	7,92
Circulação	2,61	2,8	7,308	0,019	384,6316	0,0522	0,00115	45,391	2483,33	293,06	7,92
Banh° Social	3,23	2,8	9,044	0,019	476	0,0646	0,00115	56,174	2483,33	293,06	7,92
Sala Estar / Jantar	19,83	2,8	55,524	0,019	2922,316	0,3966	0,00115	344,87	2483,33	293,06	7,92
Copa / Cozinha	9,75	2,8	27,3	0,019	1436,842	0,195	0,00115	169,57	2483,33	293,06	7,92
Banho	1,95	2,8	5,46	0,019	287,3684	0,039	0,00115	33,913	2483,33	293,06	7,92
Área Serviço	2,36	2,8	6,608	0,019	347,7895	0,0472	0,00115	41,043	2483,33	293,06	7,92
Varanda	16,1	2,8	45,08	0,019	2372,632	0,322	0,00115	280	2483,33	293,06	7,92
Area Total	90,86	∑ Ar Casa	254,408	0,019	13389,89	1,8172	0,00115	1580,2	2483,33	293,06	7,92

Material: Icarai Light											
Ciclo: 25 dias											
Comodos	Área (m <sup>2</sup> )	Altura (m)	Ar da Casa (m <sup>3</sup> )	Ar Garrafão	Fator 1	Qtd. Material aplicado (m <sup>3</sup> )	Qtd. amostra	Fator 2	Rn exalado da amostra (Bq/m <sup>3</sup> )	Rn no ambiente (Bq/m <sup>3</sup> )	Rn no ambiente (pCI/L)
Suíte	11,22	2,8	31,416	0,019	1653,474	0,2244	0,00119	188,57	23	2,62	0,07
Banh° Suíte	3,23	2,8	9,044	0,019	476	0,0646	0,00119	54,286	23	2,62	0,07
Varanda Suíte	2,44	2,8	6,832	0,019	359,5789	0,0488	0,00119	41,008	23	2,62	0,07
Quarto 1	9,07	2,8	25,396	0,019	1336,632	0,1814	0,00119	152,44	23	2,62	0,07
Quarto 2	9,07	2,8	25,396	0,019	1336,632	0,1814	0,00119	152,44	23	2,62	0,07
Circulação	2,61	2,8	7,308	0,019	384,6316	0,0522	0,00119	43,866	23	2,62	0,07
Banh° Social	3,23	2,8	9,044	0,019	476	0,0646	0,00119	54,286	23	2,62	0,07
Sala Estar / Jantar	19,83	2,8	55,524	0,019	2922,316	0,3966	0,00119	333,28	23	2,62	0,07
Copa / Cozinha	9,75	2,8	27,3	0,019	1436,842	0,195	0,00119	163,87	23	2,62	0,07
Banho	1,95	2,8	5,46	0,019	287,3684	0,039	0,00119	32,773	23	2,62	0,07
Área Serviço	2,36	2,8	6,608	0,019	347,7895	0,0472	0,00119	39,664	23	2,62	0,07
Varanda	16,1	2,8	45,08	0,019	2372,632	0,322	0,00119	270,59	23	2,62	0,07
Area Total	90,86	∑ Ar Casa	254,408	0,019	13389,89	1,8172	0,00119	1527,1	23	2,62	0,07

Material: Golden Cristal											Ciclo: 25 dias		
Comodos	Área (m <sup>2</sup> )	Altura (m)	Ar da Casa (m <sup>3</sup> )	Ar Garrafão	Fator 1	Qtd. Material aplicado (m <sup>3</sup> )	Qtd. amostra	Fator 2	Rn exalado da amostra (Bq/m <sup>3</sup> )	Rn no ambiente (Bq/m <sup>3</sup> )	Rn no ambiente (pCI/L)		
Suíte	11,22	2,8	31,416	0,019	1653,474	0,2244	0,00107	209,72	98,33	12,47	0,34		
Banh° Suíte	3,23	2,8	9,044	0,019	476	0,0646	0,00107	60,374	98,33	12,47	0,34		
Varanda Suíte	2,44	2,8	6,832	0,019	359,5789	0,0488	0,00107	45,607	98,33	12,47	0,34		
Quarto 1	9,07	2,8	25,396	0,019	1336,632	0,1814	0,00107	169,53	98,33	12,47	0,34		
Quarto 2	9,07	2,8	25,396	0,019	1336,632	0,1814	0,00107	169,53	98,33	12,47	0,34		
Circulação	2,61	2,8	7,308	0,019	384,6316	0,0522	0,00107	48,785	98,33	12,47	0,34		
Banh° Social	3,23	2,8	9,044	0,019	476	0,0646	0,00107	60,374	98,33	12,47	0,34		
Sala Estar / Jantar	19,83	2,8	55,524	0,019	2922,316	0,3966	0,00107	370,65	98,33	12,47	0,34		
Copa / Cozinha	9,75	2,8	27,3	0,019	1436,842	0,195	0,00107	182,24	98,33	12,47	0,34		
Banho	1,95	2,8	5,46	0,019	287,3684	0,039	0,00107	36,449	98,33	12,47	0,34		
Área Serviço	2,36	2,8	6,608	0,019	347,7895	0,0472	0,00107	44,112	98,33	12,47	0,34		
Varanda	16,1	2,8	45,08	0,019	2372,632	0,322	0,00107	300,93	98,33	12,47	0,34		
Area Total	90,86	∑ Ar Casa	254,408	0,019	13389,89	1,8172	0,00107	1698,3	98,33	12,47	0,34		

Material: Crema Bordeaux											Ciclo: 25 dias		
Comodos	Área (m <sup>2</sup> )	Altura (m)	Ar da Casa (m <sup>3</sup> )	Ar Garrafão	Fator 1	Qtd. Material aplicado (m <sup>3</sup> )	Qtd. amostra	Fator 2	Rn exalado da amostra (Bq/m <sup>3</sup> )	Rn no ambiente (Bq/m <sup>3</sup> )	Rn no ambiente (pCI/L)		
Suíte	11,22	2,8	31,416	0,019	1653,474	0,2244	0,00122	183,93	752	83,65	2,26		
Banh° Suíte	3,23	2,8	9,044	0,019	476	0,0646	0,00122	52,951	752	83,65	2,26		
Varanda Suíte	2,44	2,8	6,832	0,019	359,5789	0,0488	0,00122	40	752	83,65	2,26		
Quarto 1	9,07	2,8	25,396	0,019	1336,632	0,1814	0,00122	148,69	752	83,65	2,26		
Quarto 2	9,07	2,8	25,396	0,019	1336,632	0,1814	0,00122	148,69	752	83,65	2,26		
Circulação	2,61	2,8	7,308	0,019	384,6316	0,0522	0,00122	42,787	752	83,65	2,26		
Banh° Social	3,23	2,8	9,044	0,019	476	0,0646	0,00122	52,951	752	83,65	2,26		
Sala Estar / Jantar	19,83	2,8	55,524	0,019	2922,316	0,3966	0,00122	325,08	752	83,65	2,26		
Copa / Cozinha	9,75	2,8	27,3	0,019	1436,842	0,195	0,00122	159,84	752	83,65	2,26		
Banho	1,95	2,8	5,46	0,019	287,3684	0,039	0,00122	31,967	752	83,65	2,26		
Área Serviço	2,36	2,8	6,608	0,019	347,7895	0,0472	0,00122	38,689	752	83,65	2,26		
Varanda	16,1	2,8	45,08	0,019	2372,632	0,322	0,00122	263,93	752	83,65	2,26		
Area Total	90,86	∑ Ar Casa	254,408	0,019	13389,89	1,8172	0,00122	1489,5	752	83,65	2,26		

Material: Giallita											Ciclo: 25 dias			
Comodos	Área (m²)	Altura (m)	Ar da Casa (m³)	Ar Garrafão	Fator 1	Qtd. Material aplicado (m³)	Qtd. amostra	Fator 2	Rn exalado da amostra (Bq/m³)	Rn no ambiente (Bq/m³)	Rn no ambiente (pCI/L)			
Suíte	11,22	2,8	31,416	0,019	1653,474	0	0,00115	0	0	0,00	0,00			
Banh° Suíte	3,23	2,8	9,044	0,019	476	0,0646	0,00115	56,174	2483,33	293,06	7,92			
Varanda Suíte	2,44	2,8	6,832	0,019	359,5789	0	0,00115	0	0	0,00	0,00			
Quarto 1	9,07	2,8	25,396	0,019	1336,632	0	0,00115	0	0	0,00	0,00			
Quarto 2	9,07	2,8	25,396	0,019	1336,632	0	0,00115	0	0	0,00	0,00			
Circulação	2,61	2,8	7,308	0,019	384,6316	0	0,00115	0	0	0,00	0,00			
Banh° Social	3,23	2,8	9,044	0,019	476	0,0646	0,00115	56,174	2483,33	293,06	7,92			
Sala Estar / Jantar	19,83	2,8	55,524	0,019	2922,316	0	0,00115	0	0	0,00	0,00			
Copa / Cozinha	9,75	2,8	27,3	0,019	1436,842	0,036	0,00115	31,304	2483,33	54,10	1,46			
Banho	1,95	2,8	5,46	0,019	287,3684	0,039	0,00115	33,913	2483,33	293,06	7,92			
Área Serviço	2,36	2,8	6,608	0,019	347,7895	0	0,00115	0	0	0,00	0,00			
Varanda	16,1	2,8	45,08	0,019	2372,632	0	0,00115	0	0	0,00	0,00			
Área Total	90,86	Σ Ar Casa	254,408	0,019	13389,89	0,2042	0,00115	177,57	2483,33	32,93	0,89			