

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

LEILIANE RUFINA PEREIRA DE AZEVEDO

**EMANAÇÃO DE RADÔNIO EM ROCHAS ORNAMENTAIS E PARA
REVESTIMENTO DO ESTADO DO CEARÁ, BRASIL.**

Rio Claro (SP)
2013

LEILIANE RUFINA PEREIRA DE AZEVEDO

**EMANAÇÃO DE RADÔNIO EM ROCHAS ORNAMENTAIS E PARA
REVESTIMENTO DO ESTADO DO CEARÁ, BRASIL.**

Tese de Doutorado elaborada junto ao Programa de Pós-Graduação em Geologia Regional –
Área de Concentração em Minerais Metálicos e Não-metálicos como requisito para obtenção
do título de Doutora em Geologia Regional.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Carlos Artur

Co-orientador: Prof. Dr. Daniel Marcos Bonotto

Rio Claro (SP)
2013

535.5
A994e

Azevedo, Leiliane Rufina Pereira de
Emanação de radônio em rochas ornamentais e para
revestimento do estado do Ceará, Brasil / Leiliane Rufina
Pereira de Azevedo. – Rio Claro : [s.n], 2013
185 f. : il., figs., gráfs., tabs.

Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista,
Instituto de Geociências e Ciências Exatas de Rio Claro
Orientador: Antonio Carlos Artur
Coorientador: Daniel Marcos Bonotto

1. Rochas ornamentais. 2. Exalação de radônio. 3.
Radioatividade. 4. Granitos. 5. Teores de U, Th e 40K. I.
Título.

Leiliane Rufina Pereira de Azevedo

Emanação de Radônio em Rochas Ornamentais e para Revestimento do Estado do Ceará, Brasil.

Tese de Doutorado apresentada junto ao Programa de Pós-Graduação em Geologia Regional, área de Concentração em Minerais Metálicos e Não-metálicos do Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Unesp de Rio Claro, como requisito para obtenção do título de Doutora em Geologia Regional.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Carlos Artur

Co-orientador: Prof. Dr. Daniel Marcos Bonotto

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Antonio Carlos Artur – Orientador
IGCE/UNESP/Rio Claro (SP)

Prof^a Dr^a Tamar Milca Bortolozzo Galembeck
IGCE/UNESP/Rio Claro (SP)

Prof. Dr. Antonio Misson Godoy
IGCE/UNESP/Rio Claro (SP)

Prof. Dr. Fabiano Cabañas Navarro
ICT/UNIFAL/Poços de Caldas (MG)

Prof. Dr. José de Araújo Nogueira Neto
Centro de Ciências/UFC/Fortaleza (CE)

Rio Claro, SP 09 de abril de 2013.

*Aos meus pais José Pereira (in memorian) e Marta
e meu irmão Jacob Lucas.*

AGRADECIMENTOS

À Deus pelas bênçãos a nós dirigidas, ajudando-nos a superar os obstáculos e dificuldades encontradas ao longo do caminho.

Ao Programa de Pós-graduação em Geologia Regional da UNESP de Rio Claro – SP, pela oportunidade de desenvolver a presente pesquisa.

Ao meu orientador Prof. Dr. Antonio Carlos Artur pela orientação, paciência, incentivo, conhecimento partilhado e apoio na elaboração desta tese.

Ao meu Co-orientador Prof. Dr. Daniel Marcos Bonotto pelo apoio no desenvolvimento da pesquisa.

À Prof^ª Dra. Tamar Milca Bortolozzo Galembeck e ao Prof. Dr. Fabiano Cabañas Navarro por aceitarem participar de meu exame geral de qualificação e pelas contribuições e sugestões feitas.

Ao Prof. Dr. José de Araújo Nogueira Neto pelo incentivo, apoio e sugestões.

Ao Prof. Dr. Guillermo Navarro pela ajuda com os gráficos da química das rochas.

Ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico através do processo 141165/2009-0 e a Capes – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior e PROCAD-NF 08/2008 pelo apoio financeiro.

Às empresas Imarf Granitos S/A e Multigran Mineração de Granitos LTDA, pela colaboração com a doação das amostras utilizadas na pesquisa.

À todos os professores do DPM/IGCE/UNESP pelos ensinamentos repassados e compartilhados ao longo desta caminhada.

A Rosângela Vacello sempre solícita, prestativa e atenciosa.

Ao Laboratório de Rochas Ornamentais, na pessoa do técnico Adilson Rossini; Laboratório de Microscopia Óptica, na pessoa do Prof. Dr. Antenor Zanardo; Laboratório de Isótopos Instáveis – LABHIDRO na pessoa do Prof. Dr. Daniel Bonotto e técnico Bruce Wilton Tessari, do DPM/IGCE/UNESP.

À todos os funcionários e técnicos do DPM/IGCE/UNESP pela atenção e serviços prestados durante a elaboração e desenvolvimento desta tese.

À tia Nazareth Pereira e Jamile Tajra pelo incentivo e apoio sempre presentes.

À Denise Ursulino pelo companheirismo e valiosa ajuda nas fases de campo.

Aos colegas geólogos de Fortaleza: Heury, Diones, Glória, Débora, Gabriela, Talita, Agnaldo.

Aos amigos, também geólogos, Igor Clemente pela valorosa ajuda em uma das etapas de campo e Igor Praxedes pela paciência e ajuda na confecção do mapa de localização.

Aos geólogos Jonathan Ricardo e Naedja Pontes por intermediar a doação das amostras junto à Imarf Granitos S/A.

Ao geólogo David Perdigão pela colaboração doando parte das amostras estudadas.

Aos colegas de Pós-graduação Humberto, Simone, Thiago, Lara, Patrick, Ricardo, Adriano, Homero, Fanny, Leonardo, Dennin, Déborah, Fabiana, Sofia pela convivência e brincadeiras em momentos de descontração.

À todas as pessoas que de uma forma ou de outra colaboraram para a realização deste trabalho, meu MUITO OBRIGADA!!!

*É melhor tentar e falhar,
que preocupar-se e ver a vida passar;
é melhor tentar, ainda que em vão,
que sentar-se fazendo nada até o final.*

*Eu prefiro na chuva caminhar,
que em dias tristes em casa me esconder.
Prefiro ser feliz, embora louco,
que em conformidade viver ..."*

Martin Luther King

RESUMO

A presente pesquisa trata da quantificação da exalação do gás ^{222}Rn e correspondentes teores de U, Th e ^{40}K em rochas utilizadas para fins ornamentais e para revestimento do Estado do Ceará. Cerca de 75% do território do Ceará é ocupado por embasamento cristalino, proporcionando condições favoráveis à ocorrência de granitos e outras rochas com características ornamentais tais como mármore, quartzitos, pegmatitos, entre outras. Considerando a crescente utilização de rochas como material de revestimento em ambientes de interiores, foram selecionados e utilizados quinze tipos distintos de rochas exploradas no Estado do Ceará, incluindo treze granitos com diferentes aspectos texturais e estruturais, um conglomerado e um pegmatito, que foram submetidos a análises petrográficas, determinações de índices físicos (densidade aparente, porosidade aparente e absorção de água), determinação dos teores de U, Th e K por ICP-MS e monitoramento da quantidade do gás ^{222}Rn emanado pelas referidas rochas. As rochas naturalmente apresentam em sua composição mineralógica determinadas concentrações de elementos radioativos, como ^{232}Th , ^{235}U e ^{238}U , que por decaimento radioativo geram o ^{220}Rn , ^{219}Rn e ^{222}Rn , respectivamente, sendo este último alvo da pesquisa em questão por ser o elemento que apresenta a maior meia-vida dentre os três radionuclídeos, cerca de 3,85 dias. As concentrações de U fornecidas pelas rochas variaram de 0,2 ppm a 13,6 ppm, as quais foram utilizadas para determinar os teores de ^{222}Rn em Bq/kg gerados pelas rochas (que se situaram entre 2,47 e 167,82 Bq/kg) e posteriormente comparados com as quantidades de gás ^{222}Rn efetivamente exaladas (entre 0,09 e 6,04 Bq/kg). Os resultados relativos aos teores de U e correspondentes exalações do gás ^{222}Rn fornecidos pelas rochas se mostraram bastante coerentes com as respectivas características petrográficas e de porosidade de cada material. As exalações do gás radônio obtidas em Bq/m³ foram convertidas para pCi/L, revelando valores abaixo do limite de 4 pCi/L recomendado pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) para todas as rochas estudadas neste trabalho, variando de 0,04 pCi/L a 2,59 pCi/L.

Palavras-chave: Rochas Ornamentais. Radioatividade. Exalação de Radônio. Granitos. Teores de U, Th e ^{40}K .

ABSTRACT

This research aims to quantify the gas ^{222}Rn exhalation and the corresponding levels of U, Th and ^{40}K in rocks used for ornamental purposes and coating in Ceará State. About 75% of the Ceará territory has been occupied by crystalline basement, providing favorable conditions for the occurrence of granite and other rocks with ornamental features such as marble, quartzite, and pegmatite, among others. Considering the increasing use of rocks as coating material in interior environments, it had been selected and used fifteen different types of rocks exploited in Ceará State, including thirteen granites with different textural and structural aspects, a conglomerate and a pegmatite, which were submitted to petrographic analysis, determination of physical characteristics (apparent density, apparent porosity and water absorption), determination of the U level, Th and K by ICP-MS and monitoring the gas ^{222}Rn amount emanated by these rocks. The rocks naturally present in their mineralogical composition determined concentrations of radioactive elements such as ^{232}Th , ^{235}U and ^{238}U , which generate by radioactive decay the ^{220}Rn , ^{219}Rn and ^{222}Rn , respectively, being the latter one the aim of this research, once this element has been showing the longer half-life among the three radionuclides, about 3.85 days. The U concentrations provided by the rocks had varied from 0.2 ppm to 13.6 ppm, which were used to determine the levels of ^{222}Rn in Bq/kg generated by the rocks (which are between 2.47 and 167.82 Bq/kg) and then compared with the quantities of gas ^{222}Rn effectively exhaled (between 0.09 and 6.04 Bq/kg). The results related to the U levels and the correspondent exhalation of the ^{222}Rn gas, which had been provided by the rocks, had shown quite consistent with their petrographic characteristics and porosity of each material. The radon gas exhalations obtained in Bq/m^3 , for all the rocks studied in this work, were converted to pCi/L, showing values below the limit of 4 pCi/L recommended by the Environmental Protection Agency of the United States (EPA), varying from 0.04 pCi/L to 2.59 pCi/L.

Keywords: Ornamental Rocks. Radon exhalation. Granites. Levels of U, Th and ^{40}K . Radioactivity.

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1.1 – Localização das rochas selecionadas para a pesquisa.....	19
Figura 2.1 – Tipos de contatos minerais considerados para avaliação qualitativa (baseado em CASTRO DORADO, 1988 e HIBBARD, 1995).....	24
Figura 2.2 – Esquema de um espectrômetro de massas com fonte de plasma acoplado indutivamente (ICP-MS).....	26
Figura 3.1 – Séries ou Famílias Radioativas Naturais.....	37
Figura 3.2 – Equilíbrio radioativo entre ^{226}Ra e seu filho ^{222}Rn	40
Figura 4.1 – Evolução do faturamento das exportações brasileiras de rochas ornamentais de 1998 a 2012.....	43
Figura 4.2 – Evolução das exportações brasileiras de chapas serradas de 2001 a 2012.....	44
Figura 4.3 – Evolução das exportações/importações cearenses de 2003 a 2012.....	49
Figura 4.4 – Evolução das exportações cearenses de rochas ornamentais no período de 2003 a 2012.....	50
Figura 5.1 – Principais Domínios Pré-Cambrianos do Estado do Ceará com a localização das rochas selecionadas para pesquisa.....	53
Figura 5.2 – Diagrama modal QAP com nomenclatura e divisão dos campos segundo Streckeisen (1976).....	58
Figura 5.3 – Diagrama triangular de classificação geral das rochas sedimentares de acordo com FOLK (1968).....	59
Figura 5.4 – (A) Foto da placa polida do ultramilonito Green Galaxy; (B) Fotomicrografia de grão de quartzo com microfissuras em várias direções (LO); (C) Fotomicrografia exibindo plagioclásio com leve encurvamento e todo fraturado (LO); (D) Fotomicrografia mostrando óxidos e hidróxidos de ferro preenchendo microfissuras (LNP).....	65
Figura 5.5 – (A) Foto da placa polida do sienogranito Juparaná Gold; (B) Fotomicrografia de grão de quartzo fraturado em contato com feldspato alcalino (LO); (C) Fotomicrografia de biotita tabular com zircão, fluorita e apatita (LO); (D) Fotomicrografia de feldspato potássico exibindo textura mesopertítica bastante evoluída, chegando a formar pequenos veios (LO).....	68
Figura 5.6 – (A) Foto da placa polida do sienogranito Verde Ceará; (B) Fotomicrografia mostrando cristal prismático de hornblenda com inclusões de minerais opacos (LNP); (C) Fotomicrografia de plagioclásio com geminação do tipo albita (LO); (D) Fotomicrografia exibindo grão de allanita bem desenvolvida (LO).....	71

Figura 5.7 – (A) Foto da placa polida do sienogranito Verde Light; (B) Fotomicrografia de feldspato potássico mesopertítico formando veios (LO); (C) Fotomicrografia de plagioclásio ao centro se transformando em feldspato alcalino (LO); (D) Fotomicrografia exibindo biotita com inclusões de zircão e apatita (LO).....	74
Figura 5.8 – (A) Foto da placa polida do sienogranito Vermelho Filomena; (B) Fotomicrografia exibindo biotita com zircão associado (LO); (C) Fotomicrografia de grão de hornblenda com microinclusões de minerais opacos (LNP); (D) Fotomicrografia de plagioclásio em contato com quartzo (LO).....	77
Figura 5.9 – (A) Foto da placa polida do sienogranito brechóide Red Dragon; (B) Fotomicrografia exibindo faixas de minerais opacos disseminados ao longo de microfissuras (LNP); (C) Fotomicrografia de clorita secundária com zircão e opacos, em contato com feldspato potássico (LO); (D) Fotomicrografia mostrando grãos de quartzo em meio a feldspatos potássicos (LO).....	80
Figura 5.10 – (A) Foto da placa polida do sienogranito Yellow Tropical; (B) Fotomicrografia exibindo allanita bem desenvolvida, olivina e feldspato potássico (LO); (C) Fotomicrografia de biotita com microinclusões de zircão e apatita em meio a mineral amarelo ferruginoso, representado pela iddingsita (LNP); (D) Fotomicrografia de feldspato potássico mesopertítico em contato com quartzo (LO).....	83
Figura 5.11 – (A) Foto da placa polida do sienogranito Branco Cristal Quartz. (B) Fotomicrografia exibindo cristal de biotita com microinclusões de zircão e fluorita ao centro (LNP); (C) Fotomicrografia mostrando grão de biotita com microinclusões de zircão e apatita em contato com plagioclásio em processo de argilização (LO); (D) Fotomicrografia de hornblenda se transformando em biotita próximo a cristais de plagioclásio argilizados (LO).....	86
Figura 5.12 – (A) Foto da placa polida do sienogranito Rosa Iracema; (B) Fotomicrografia mostrando plagioclásio com zoneamento composicional com efeitos de saussuritização no núcleo (LO); (C) Fotomicrografia de feldspato potássico representado pelo microclínio exibindo maclamento xadrez (LO); (D) Fotomicrografia exibindo cristal de biotita com microinclusões de zircão próxima a grãos de quartzo (LNP).....	89
Figura 5.13 – (A) Foto da placa polida do granodiorito Cinza Prata; (B) Fotomicrografia de plagioclásio zonado com sericitização discreta (LO); (C) Fotomicrografia de grão de allanita euedral em contato com grãos de quartzo (LO); (D) Fotomicrografia exibindo grãos euedrais de hornblenda em contato com quartzo e biotita (LNP).....	92

Figura 5.14 – (A) Foto da placa polida do granito Branco Ceará; (B) Fotomicrografia mostrando cristais de albita em contatos denteados em meio a grãos de quartzo (LO); (C) Fotomicrografia exibindo fenocristal de quartzo disposto isoladamente na matriz feldspática, com inclusões de plagioclásio (LO); (D) Fotomicrografia contendo cristal de feldspato potássico e cristal de zinnwaldita com microinclusões de zircão (LO).....	95
Figura 5.15 – (A) Foto da placa polida do granito Branco São Paulo; (B) Fotomicrografia exibindo grão alongado de plagioclásio com contatos planos com quartzo (LO); (C) Fotomicrografia mostrando zinnwaldita com associação de fluorita e apatita (LO); (D) Fotomicrografia de grão de feldspato potássico com geminação em grade bem definida (LO).....	98
Figura 5.16 – (A) Foto da placa polida do pegmatito Infinity Gold; (B) Fotomicrografia exibindo grão de quartzo com fraturas preenchidas por argilominerais, ao lado plagioclásio em processo de alteração (LO); (C) Fotomicrografia de cristais de plagioclásio e de quartzo em meio massa de argilominerais (LO); (D) Fotomicrografia mostrando grão de quartzo poligonal (LO).....	101
Figura 5.17 – (A) Foto da placa polida do monzogranito Cinza Ouro Branco; (B) Fotomicrografia exibindo feldspato potássico com geminação em grade com início de sericitização no núcleo (LO); (C) Fotomicrografia mostrando plagioclásio alterado em processo de saussuritização em contato com biotita bombardeada por grãos de zircão (LO); (D) Fotomicrografia da biotita muscovitizada em contato com feldspatos (LO).....	104
Figura 5.18 – (A) Foto da placa polida do conglomerado Bourdeaux Terracota; (B) Fotomicrografia de grão de quartzo em meio à matriz quartzo-feldspática do conglomerado (LO); (C) Fotomicrografia exibindo grão subidiomórfico de feldspato potássico exibindo maclamento xadrez fraco circundado por minerais de alteração (LO); (D) Fotomicrografia mostrando plagioclásio microfissurado e alterado com produção de sericita (LO).....	107
Figura 5.19 – Classificação das rochas estudadas segundo diagrama catiônico $R_1:R_2$ proposto por De la Roche et al. (1980).....	111
Figura 5.20 – (A) Diagrama SiO_2 vs. $Na_2O + K_2O$ segundo Irvine & Baragar (1971) e (B) Diagrama AFM de Irvine & Baragar (1971).....	113
Figura 5.21 – (A) Diagrama K_2O vs. SiO_2 de Piccirillo & Taylor (1976) e (B) Diagrama $K_2O:Na_2O:CaO$ segundo Barker & Arth (1976).....	113
Figura 5.22 – Diagrama A/NK vs A/CNK para avaliação das relações entre álcalis e alumina segundo Maniar & Piccoli (1989).....	114

Figura 5.23 – Espectros dos ETR para as rochas analisadas normalizados pelos valores do Condrito de Taylor & McLennan (1985).....	116
Figura 5.24 – Diagrama $R_1:R_2$ para discriminação de granitos de diferentes ambientes geotectônicos segundo Batchelor & Bowden (1985).....	117
Figura 6.1 – Correlação entre densidade aparente seca e saturada e teor de minerais pesados para as rochas estudadas.....	120
Figura 6.2 – Correlação entre a porosidade aparente e absorção de água com a intensidade de microfissuras.....	121
Figura 6.3 – Porcentagem dos tipos de microfissuras presentes nas rochas estudadas correlacionada com a intensidade de microfissuras.....	122
Figura 6.4 – Relação entre Porosidade Aparente e Microfissuras Intergranulares Preenchidas e Não Preenchidas.....	123
Figura 6.5 – Concentrações de ^{40}K (ppm) para as amostras estudadas.....	126
Figura 6.6 – Concentrações de U (ppm) e Th (ppm) para as amostras estudadas.....	126
Figura 6.7 – Evolução da exalação de ^{222}Rn vs tempo de contagem das rochas estudadas....	130
Figura 6.8 – Evolução da exalação de ^{222}Rn (Bq/m^3) em todos os ciclos monitorados.....	132
Figura 6.9 – Exalação de ^{222}Rn (Bq/m^3) após 25 dias.....	133
Figura 6.10 – Correlação entre teor de U e ^{222}Rn exalado após 25 dias.....	134
Figura 6.11 – Correlação entre quantidade/tipo de microfissuras e exalação do gás ^{222}Rn (Bq/m^3) após ciclo de 25 dias.....	135
Figura 6.12 – Correlação entre porosidade aparente e exalação do gás ^{222}Rn (Bq/m^3) após ciclo de 25 dias.....	136
Figura 6.13 – Diluição do gás ^{222}Rn no ar simulado para ambiente padrão de 100 m^2	146

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 2.1 – Relação das amostras selecionadas e estudadas.....	21
Tabela 3.1 – Concentrações de U e Th no manto e na crosta.....	38
Tabela 4.1 – Reservas minerais do Ceará por classe e substância referente ao ano de 2009.....	46
Tabela 4.2 – Produção mineral comercializada (*), bruta e beneficiada, de acordo com a classe e substância referente ao ano de 2009.....	47
Tabela 4.3 – Balanço das exportações/importações cearenses de rochas ornamentais no período de 2003 a 2012.....	48
Tabela 4.4 – Histórico das exportações cearenses no período de 2003 a 2012.....	49
Tabela 4.5 – Exportações cearenses de rochas ornamentais e países-destino no período de janeiro a dezembro de 2012/2011.....	51
Tabela 5.1 – Relação das amostras selecionadas e estudadas.....	52
Tabela 5.2 – Síntese das principais características petrográficas das amostras estudadas.....	60
Tabela 5.3 – Resultados das análises químicas de elementos maiores (%), menores e traços (ppm) das rochas analisadas.....	109
Tabela 5.4 – Análises químicas de elementos terras raras (ppm) das rochas analisadas.....	110
Tabela 6.1 – Síntese dos resultados médios dos Índices Físicos.....	119
Tabela 6.2 – Concentrações de U, Th e ^{40}K das amostras estudadas.....	124
Tabela 6.3 – Concentração média de U, Th e K em diferentes tipos de rochas ígneas.....	125
Tabela 6.4 – Quantificação de ^{222}Rn exalado das amostras pesquisadas ao final de cada ciclo.....	128
Tabela 6.5 – Eficiência de exalação do ^{222}Rn através do ^{222}Rn calculado e exalado das rochas estudadas.....	142
Tabela 6.6 – Resultados obtidos pela simulação de adição de Rn em um ambiente de 100 m ²	145

SUMÁRIO

	Página
CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO.....	17
1.1 Apresentação.....	17
1.2 Localização da área de estudo.....	18
1.3 Objetivos.....	18
CAPÍTULO 2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	20
2.1 Materiais Utilizados.....	20
2.2 Levantamento Bibliográfico.....	22
2.3 Análise Petrográfica.....	22
2.4 Índices Físicos das Rochas.....	24
2.5 Espectrometria de Massa com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-MS).....	25
2.6 Quantificação da Emissão do Gás Radônio das Amostras Estudadas.....	27
2.7 Teor de ²²² Rn da Rocha e da Eficiência e Exalação do Gás ²²² Rn.....	28
2.8 Simulação de Adição do Nível de Radônio em Ambientes Fechados.....	29
CAPÍTULO 3 A RADIOATIVIDADE NATURAL E O GÁS RADÔNIO.....	32
3.1 Considerações sobre a Radioatividade.....	32
3.2 Decaimentos Alfa, Beta e Gama.....	33
3.3 Séries ou Famílias Radioativas Naturais.....	35
3.4 Ocorrência de U e Th em rochas e minerais.....	38
3.5 O Gás Radônio.....	39
3.6 Fontes de Radônio.....	41
CAPÍTULO 4 PANORAMA DAS ROCHAS ORNAMENTAIS.....	42
4.1 Considerações Iniciais.....	42
4.2 Rochas Ornamentais no Ceará.....	44
4.2.1 Reservas e Produção de Rochas Ornamentais no Estado do Ceará.....	45
4.2.2 Mercado.....	47

CAPÍTULO 5 ANÁLISE PETROGRÁFICA E CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DAS ROCHAS.....	52
5.1 Contexto geológico regional das rochas estudadas.....	52
5.2 Análise Petrográfica.....	57
<i>5.2.1 Green Galaxy (Ultramilonito quartzo-feldspático brechado).....</i>	<i>63</i>
<i>5.2.2 Juparaná Gold (Ortoclásio sienogranito).....</i>	<i>66</i>
<i>5.2.3 Verde Ceará (Ortoclásio sienogranito com hornblenda e fayalita).....</i>	<i>69</i>
<i>5.2.4 Verde Light (Ortoclásio sienogranito com hornblenda).....</i>	<i>72</i>
<i>5.2.5 Vermelho Filomena (Ortoclásio sienogranito com hornblenda).....</i>	<i>75</i>
<i>5.2.6 Red Dragon (Sienogranito Brechóide).....</i>	<i>78</i>
<i>5.2.7 Yellow Tropical (Ortoclásio sienogranito com hornblenda e fayalita).....</i>	<i>81</i>
<i>5.2.8 Branco Cristal Quartzo (Sienogranito com hornblenda).....</i>	<i>84</i>
<i>5.2.9 Rosa Iracema (Sienogranito com hornblenda).....</i>	<i>87</i>
<i>5.2.10 Cinza Prata (Granodiorito com hornblenda).....</i>	<i>90</i>
<i>5.2.11 Branco Ceará (Microclínio-albita granito).....</i>	<i>93</i>
<i>5.2.12 Branco São Paulo (Microclínio-albita granito).....</i>	<i>96</i>
<i>5.2.13 Infinity Gold (Pegmatito granítico brechóide).....</i>	<i>99</i>
<i>5.2.14 Cinza Ouro Branco (Monzogranito com muscovita e biotita).....</i>	<i>102</i>
<i>5.2.15 Bourdeaux Terracota (Conglomerado Polimítico).....</i>	<i>105</i>
5.3 Análises Químicas.....	108
<i>5.3.1 Considerações Geoquímicas.....</i>	<i>108</i>
<i>5.3.2 Classificação das Rochas quanto ao Ambiente Tectônico.....</i>	<i>117</i>
CAPÍTULO 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	118
6.1 Considerações Iniciais.....	118
6.2 Índices Físicos.....	118
6.3 Teores de U, Th e ⁴⁰K.....	123
6.4 Quantificação da Exalação do Gás ²²²Rn.....	127
6.5 Coeficiente de Eficiência de Emissão de Radônio.....	138
6.6 Simulação de Adição do Nível de Radônio em Ambientes Fechados.....	143
CAPÍTULO 7 CONCLUSÕES.....	147
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	151

APÊNDICE A – ÍNDICES FÍSICOS DAS ROCHAS.....	160
APÊNDICE B – CICLOS DE MONITORAMENTO DO ²²²Rn.....	166

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação

Materiais rochosos são utilizados como rochas ornamentais e para revestimento desde os primórdios da humanidade na África, Ásia, Europa, tendo alcançado maior desenvolvimento durante a Idade Média com a construção de catedrais, mosteiros e castelos, além de obras de arte e monumentos espalhados por diversas partes do mundo.

Recentemente, descobertas de altos níveis de gás radônio no interior de residências norte-americanas conduziram a pesquisas dos materiais utilizados em obras civis para fins ornamentais e de revestimento e dos seus processos naturais que controlam a presença do gás.

Um dos problemas quanto ao gás radônio é o seu acúmulo em ambientes fechados com baixa ou nenhuma circulação de ar, aumentando a sua concentração e podendo constituir num risco para a saúde das pessoas que residem ou trabalham neste local.

Acrescente utilização de rochas como materiais de revestimento em ambientes fechados, muitas vezes com pouca ventilação, portanto favoráveis a um efeito cumulativo ao longo dos anos deste gás altamente danoso à saúde humana por suas características cancerígenas, tem despertado a preocupação do setor para a quantificação e o conhecimento dos mecanismos de sua transferência para o ar (ANJOS et al. 2005; MOURA, 2005; MOURA et al. 2004; 2005; 2006; 2007a, b; 2011; AMARAL, 2011; AMARAL et al. 2012).

O estudo da exalação de radônio (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 Andrews (1997), Chao et al. (1997), Al-Jarallah (2001), Chyi (2008) e Amaral et al. (2012). A exalação de gás radônio de uma rocha está na dependência do teor de U presente, reflexo da própria gênese da rocha e da influência das feições texturais e estruturais do material. Dentro deste contexto a porosidade da rocha é um fator importante para o estudo da exalação do referido gás porque auxilia no mecanismo de transporte interno e para fora das rochas. Quando o ^{226}Ra desintegra-se, um átomo de radônio e uma partícula alfa são formados simultaneamente e ejetados em sentidos opostos. Este mecanismo pode ocasionar a expulsão do átomo de radônio da estrutura cristalina ou molecular em que o átomo do rádio se alojava.

1.2 Localização das rochas selecionadas para o estudo

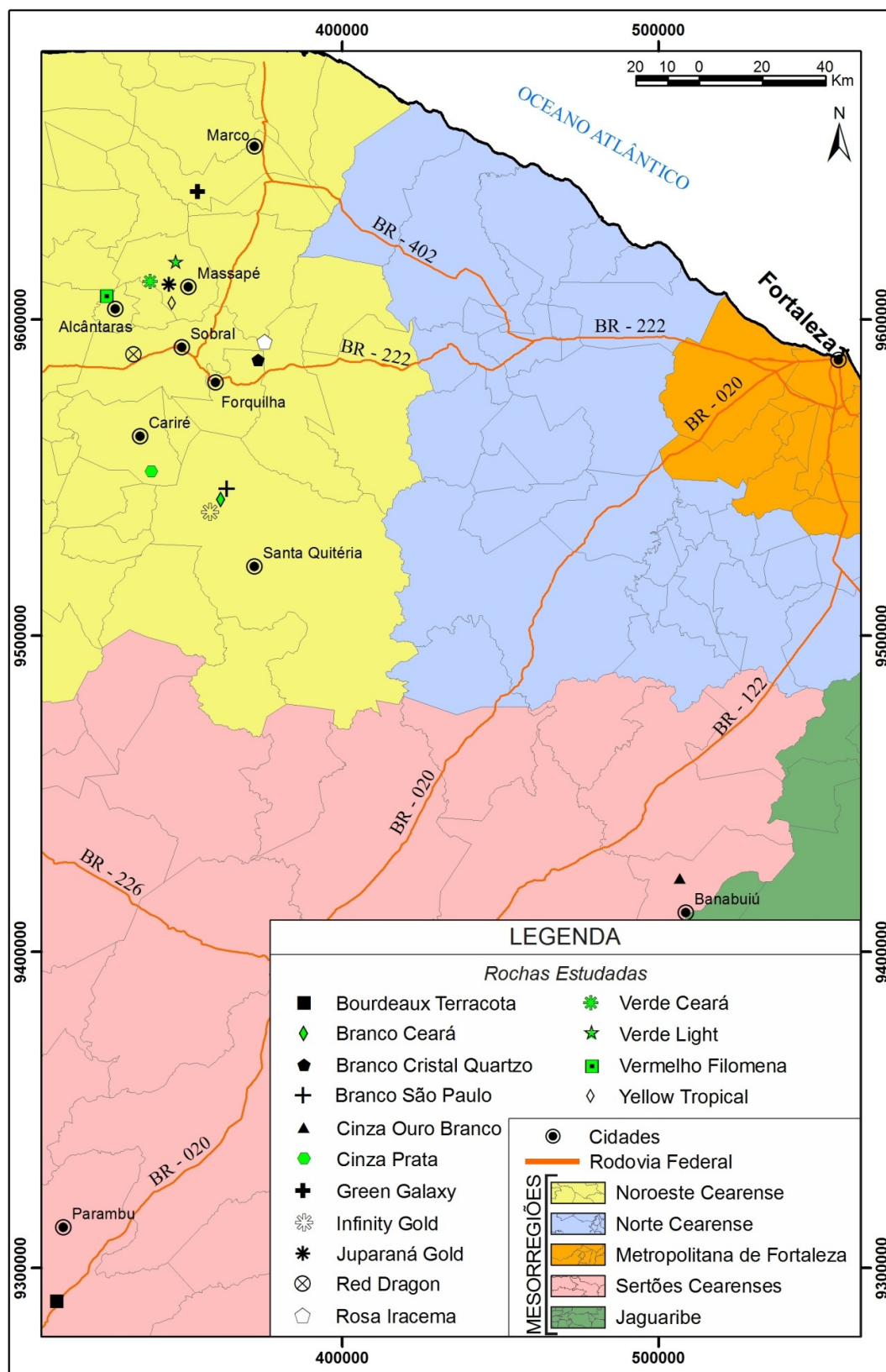
Foram selecionadas 15 amostras dos principais tipos de rochas utilizadas para fins ornamentais e de revestimento do Estado do Ceará. As amostras estão localizadas em duas mesorregiões (MR), a primeira denominada Noroeste Cearense e a segunda, Sertões Cearenses, conforme mapa de localização (Figura 1.1).

1.3 Objetivos

A pesquisa objetiva a quantificação de exalação do gás ^{222}Rn em rochas ornamentais graníticas e pegmatíticas do Estado do Ceará utilizadas para fins ornamentais e de revestimentos, com o intuito de se avaliar a adição do nível do referido gás exalado destes materiais em condições de ambientes com baixa circulação de ar.

Os estudos também objetivam a caracterização das propriedades petrográficas (mineralogia; textura; estrutura; intensidade de microfissuramento) das rochas investigadas de forma a permitir o melhor entendimento da difusão do gás radônio e consequente fuga para a atmosfera.

Figura 1.1 – Localização das rochas selecionadas para a pesquisa.



Fonte: Modificado de <http://www.gismaps.com.br/english/shape.htm>

CAPÍTULO 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O procedimento adotado para a realização da pesquisa envolveu inicialmente o levantamento bibliográfico, a seleção das rochas junto a empresas do setor, as quais foram submetidas a análises petrográficas, determinação de índices físicos e dos teores de U e Th e o monitoramento da exalação do gás ^{222}Rn . Após a quantificação da exalação do gás radônio foram executados cálculos do coeficiente de emanação do radônio e de respectivas simulações em termos da adição do gás radônio pelas rochas estudadas quando utilizadas como pisos em ambiente padrão sem troca de ar com o meio externo, conforme metodologia apresentada por Chyi (2008), Amaral (2011) e Amaral et al. (2012). Os resultados da exalação do gás radônio foram interpretados de forma integrada em função das características petrográficas (aspectos mineralógicos; texturais; estruturais e porosidade) para cada rocha analisada.

2.1 Materiais Utilizados

Para a realização da pesquisa foram selecionados 15 tipos petrográficos distintos, utilizados como rochas ornamentais e/ou para fins de revestimento explorados no Estado do Ceará, representados por aqueles de maior interesse para exportações para os mercados europeu e norte-americano. As amostras foram adquiridas junto a duas empresas do setor: Imarf Granitos S/A e Multigran Mineração de Granitos LTDA, ambas localizadas no Município de Caucaia/CE, região Metropolitana de Fortaleza/CE.

A Tabela 2.1 relaciona as amostras selecionadas com suas denominações comerciais e petrográficas e localização no âmbito das respectivas Folhas Cartográficas na escala de 1:100.000, do IPECE, 1990.

Tabela 2.1 – Relação das amostras selecionadas e estudadas.

NOME COMERCIAL	CLASSIFICAÇÃO PETROGRÁFICA	LOCALIZAÇÃO	FOLHA CARTOGRÁFICA
Green Galaxy – GG	Ultramilonito quartzo-feldspático	Distrito de Panacuí, Município de Marco	Bela Cruz SA.24-Y-D-I
Juparaná Gold – JG	Ortoclásio sienogranito	Distrito e Município de Massapê	Sobral SA.24-Y-D-IV
Verde Ceará – VC	Ortoclásio sienogranito com hornblenda e fayalita	Distrito e Município de Meruoca	Sobral SA.24-Y-D-IV
Verde Light – VL	Ortoclásio sienogranito com hornblenda	Distrito e Município de Massapê	Sobral SA.24-Y-D-IV
Vermelho Filomena – VF	Ortoclásio sienogranito com hornblenda	Distrito de Ventura, Município de Alcântaras	Frecheirinha SA.24-Y-C-VI
Red Dragon – RD	Sienogranito Brechóide	Distrito de Jordão, Município de Sobral	Sobral SA.24-Y-D-IV
Yellow Tropical – YT	Ortoclásio sienogranito com hornblenda e fayalita	Distrito e Município de Massapê	Sobral SA.24-Y-D-IV
Branco Cristal Quartzo – BCQ	Sienogranito com hornblenda	Distrito e Município de Sobral	Sobral SA.24-Y-D-IV
Rosa Iracema – RI	Sienogranito com hornblenda	Distrito e Município de Forquilha	Sobral SA.24-Y-D-IV
Cinza Prata – CP	Granodiorito com hornblenda	Distrito de Anil, Município de Cariré	Santa Quitéria SA.24-V-B-I
Branco Ceará – BC	Microclínio-albita granito	Distrito de Trapiá, Município de Santa Quitéria	Santa Quitéria SA. 24-V-B-I
Branco São Paulo – BSP	Microclínio-albita granito	Distrito e Município de Santa Quitéria	Santa Quitéria SA.24-V-B-I
Infinity Gold – IG	Pegmatito granítico brechóide	Distrito e Município de Santa Quitéria	Santa Quitéria SA.24-V-B-I
Cinza Ouro Branco – COB	Monzogranito com muscovita e biotita	Distrito e Município de Banabuiú	Banabuiú SB.24-X-C-I
Bourdeaux Terracota – BT	Conglomerado Polimíctico	Distrito de Cococi, Município de Parambu	Tauá SB.24-Y-B- I

Fonte: Elaborada pela autora.

2.2 Levantamento Bibliográfico

Compreendeu a consulta e leitura sistemática de artigos e livros da literatura especializada que abordam aspectos conceituais referentes à petrologia, geoquímica, radioatividade de rochas, caracterização petrográfica e tecnológica de rochas, métodos e aplicação das análises e ensaios tecnológicos, objetivando a fundamentação teórica. A pesquisa bibliográfica envolveu também a leitura de trabalhos acerca do comportamento do gás radônio em água, ar, solo e rochas.

2.3 Análise Petrográfica

A análise petrográfica é de fundamental importância para a caracterização tecnológica de rochas para fins ornamentais e revestimento, envolvendo a caracterização petrográfica macro e microscópica das litologias selecionadas. Fornece informações pelas quais é possível estabelecer correlações entre as propriedades e o comportamento físico-mecânico, de alterabilidade e, no caso da presente pesquisa, da difusão do gás radônio que pode ser facilitada através de microfissuras, interfaces minerais, transformações/alterações minerais etc. Por meio dela é possível identificar a composição mineralógica (minerais essenciais, acessórios e secundários e suas quantidades), a textura (dimensões; formas; distribuição e arranjo dos minerais), estado de alteração dos minerais (inalterados/alterados e, se alterados, tipo de alteração), estrutura (anisotropia ao nível macro e microscópico), bem como o tipo e intensidade de microfissuramento (intragrãos; intergrãos; transgranulares; fissuras abertas ou preenchidas e tipos de preenchimentos).

Especial atenção foi dada ao estado microfissural (por tipo mineral e por unidade de área), alterações minerais, relações e tipos de contatos minerais, presença de minerais deletérios e solúveis, que possam conduzir à fuga do radônio ou comprometer a durabilidade ou desempenho dos materiais rochosos. Para tanto foram seguidas as diretrizes constantes da norma da NBR 15845 (ABNT, 2010) e as recomendações apresentadas por Rodrigues et al. (1997), Moura (2005) e Navarro (1998).

Para a análise petrográfica utilizou-se um microscópio petrográfico binocular de luz transmitida da marca Olympus®, do Laboratório de Microscopia do Departamento de Petrologia e Metalogenia do IGCE da UNESP – Campus de Rio Claro.

Os principais parâmetros e feições petrográficas analisados encontram-se discriminados e sumariamente caracterizados abaixo:

» **Quantificação Mineralógica (Composição Modal):** a determinação da composição modal foi realizada de forma integrada através da contagem dos minerais em seções delgadas e em placas de rochas. Para a contagem mineral em lâminas delgadas foram contados entre 300 a 500 pontos de cada lâmina utilizando um microscópio binocular de luz transmitida. Para a identificação dos minerais nas placas utilizou-se a técnica recomendada por Morais e Rodrigues (1978), onde as placas foram atacadas com ácido fluorídrico e em seguida tratadas com cobalto-nitrito de sódio, permitindo distinguir macroscopicamente feldspato potássico e plagioclásio em cada tipo granítico. Após o ataque das placas utilizou-se uma rede com espaçamento de 0,5 x 0,5 cm, 1,0 x 1,0 cm lançadas sobre lâmina de plástico transparente para a contagem dos minerais. A porcentagem mineralógica modal das amostras (macro e microscópicas) obtida para as variedades de rochas estudadas foi lançada no diagrama triangular QAP proposto pela IUGS (STRECKEISEN, 1976) para fins da classificação petrográfica das mesmas (Capítulo 5 – Análise Petrográfica).

» **Granulação:** para a avaliação das dimensões médias dos cristais ao microscópio óptico dadas em milímetros adotou-se uma subdivisão em seis classes: fina (< 1,0 mm); média-fina (entre 1,0 e 3,0 mm); média (entre 3,0 e 7,0 mm); média-grossa (entre 7,0 e 10,0 mm); grossa (entre 10,0 e 20,0 mm) e muito grossa (> 20,0 mm).

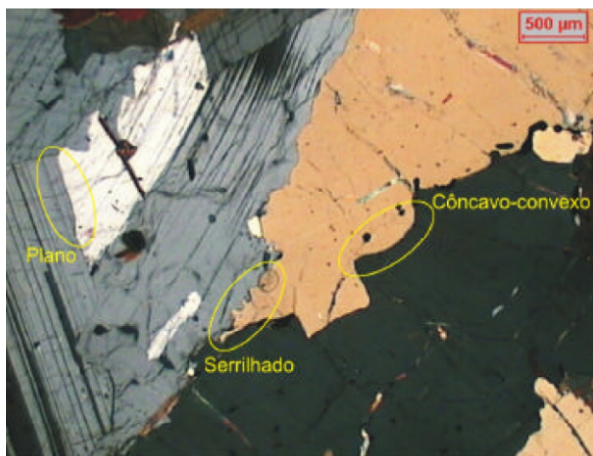
» **Grau de alteração:** foi determinado nos constituintes minerais o grau e o tipo de alteração presentes provocados por processos de saussuritização e sericitização nos feldspatos (plagioclásio e feldspato potássico), assim como epidotização, cloritização, transformações para óxidos e hidróxidos no caso de minerais ferromagnesianos. Desta forma, utilizou-se a classificação adotada por Moura (2005): grau incipiente (0 a 10%); grau fraco (10 a 40%); grau médio (40 a 60%); grau alto (60 a 80%) e grau muito alto (80 a 100%) em relação às porcentagens das superfícies minerais afetadas, utilizando critério subjetivo por estimativa visual.

» **Microfissuras:** foram determinadas pela contagem média de microfissuras existentes em cada lâmina dividida pela área de observação e contagem, e representadas por número de microfissuras/mm². Podem ser classificadas como: intragrãos, intergrãos e/ou transgranulares, fissuras abertas ou preenchidas, e o tipo de material de preenchimento. A intensidade de microfissuramento sugerida pela autora foi considerada como baixa – menor que 0,50/mm²; moderada – 0,51 a 1,0/mm²; alta – acima de 1,0/mm²; as dimensões das microfissuras em mm

(variação e predominância) foram classificadas de acordo com Mattos (2005) como muito curtas – menores que 1,0 mm; curtas – 1,0 a 3,0 mm; médias – 3,0 a 6,0 mm; longas – maiores que 6,0 mm.

» **Tipos de Contatos Mineraiis:** foram avaliados e considerados três tipos básicos de contatos entre os grãos: contatos planos, côncavo-convexos e serrilhados (Figura 2.1), assim como a proporção (%) e relação de contatos com outros minerais.

Figura 2.1 – Tipos de contatos minerais considerados para avaliação qualitativa (baseado em CASTRO DORADO, 1988 e HIBBARD, 1995).



Fonte: NAVARRO, 2006.

2.4 Índices Físicos das Rochas

Os índices físicos são representados pela densidade aparente, porosidade aparente e absorção de água de rochas que são utilizadas para fins ornamentais e de revestimento. Tais propriedades indicam a presença de micro-descontinuidades nas rochas, as quais propiciam e facilitam a percolação de fluidos e, conseqüentemente, a difusão do gás radônio, parâmetros que influenciam de forma diferenciada nas propriedades físicas da rocha.

O ensaio para determinação dos índices físicos foi realizado no Laboratório de Rochas Ornamentais do DPM/IGCE/UNESP, seguindo a norma NBR 15845 (ABNT 2010). O procedimento inicia-se com a preparação de 10 (dez) corpos-de-prova de formato cúbico, com arestas de aproximadamente 5,5 cm. Em seguida os corpos são lavados e secos em estufa à temperatura de $70 \pm 5^{\circ}\text{C}$ por 48 horas. Após esse período, os corpos-de-prova são retirados da estufa, resfriados a temperatura ambiente, para serem pesados individualmente ao ar, com

precisão de 0,01 g, obtendo-se assim o peso seco. Posteriormente os corpos-de-prova são saturados em água através da colocação dos mesmos numa bandeja onde é adicionada água até alcançar 1/3 da sua altura, após 4 h até 2/3 da altura dos corpos-de-prova, e após mais 4 h até completar a submersão total, permanecendo nestas condições até completarem 48 horas. Após este período cada um dos corpos-de-prova é pesado na condição submersa, por meio de balança para pesagem hidrostática, obtendo-se assim o peso submerso. Logo em seguida enxugam-se suas superfícies com um pano levemente úmido e pesa-se ao ar, para obter o peso saturado.

As fórmulas utilizadas para os cálculos dos índices físicos estão representadas a seguir:

a) Densidade aparente seca e saturada (g/cm^3):

$$m.e.sec = \frac{C}{(B - A)} \quad m.e.sat = \frac{B}{(B - A)}$$

b) Porosidade aparente e Absorção de água (%):

$$\eta_a = \frac{(B - C)}{(B - A)} \times 100 \quad \alpha_a = \frac{(B - C)}{C} \times 100$$

Onde:

A – Peso submerso (g)

B – Peso saturado (g)

C – Peso seco (g)

m.e.sec – densidade específica seca (g/cm^3)

m.e.sat – densidade específica saturada (g/cm^3)

η_a – Porosidade aparente (%)

α_a – Absorção de água (%)

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

Técnica analítica instrumental com capacidade de análise multielementar, alta sensibilidade e medida da razão isotópica (PINTO, 2010). A espectrometria de massas é empregada para obter informações sobre constituição estrutural, energias de ligação, informação cinética, físico-química e quântica em moléculas orgânicas. Em análises

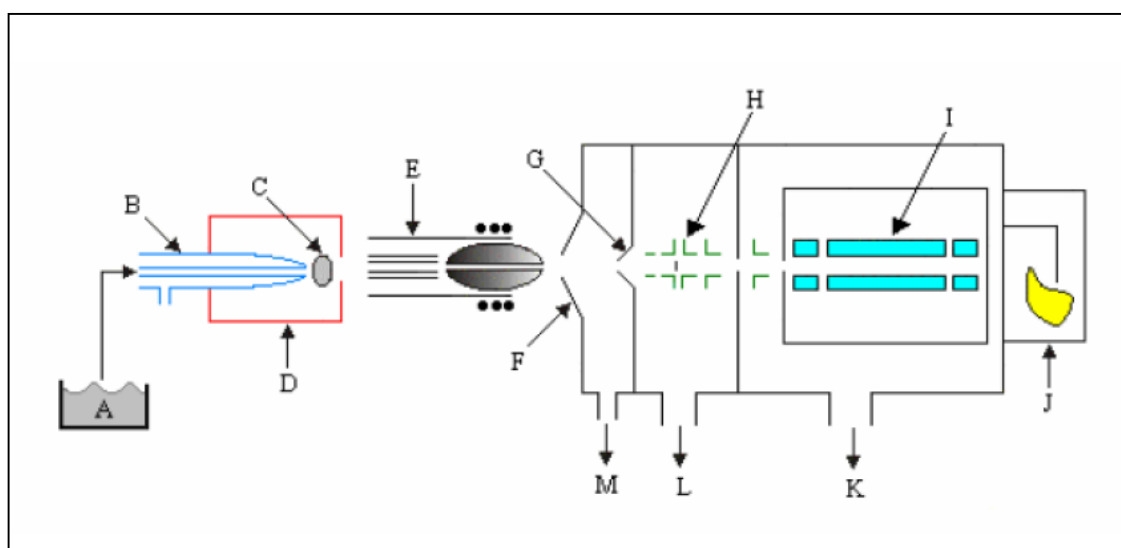
inorgânicas, a sua capacidade de detecção de isótopos permite determinar a composição elementar e isotópica. A determinação de composição isotópica constitui-se em ferramenta de pesquisa nas áreas clínica, geoquímica, geocronológica, paleoambiental, hidrológica, agrônômica, ambiental e de alimentos (GINÉ-ROSIAS, 1999).

De acordo com Nunes (2009), os principais componentes de um espectrômetro de massas com fonte de plasma acoplado indutivamente (ICP-MS) são:

- ✓ Sistema de introdução de amostras, normalmente um nebulizador;
- ✓ Fonte de íons, neste caso o plasma acoplado (ICP) que é uma fonte de alta temperatura que promove a ionização;
- ✓ A interface que promove a focalização dos íons, nesta se encontram o cone de amostragem e o *skimmer*;
- ✓ E um sistema de detecção de íons (Detector multiplicador de elétrons).

A Figura 2.2 ilustra um modelo esquemático de um espectrômetro de massas com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS) convencional:

Figura 2.2 – Esquema de um espectrômetro de massas com fonte de plasma acoplado indutivamente (ICP-MS).



Fonte: (SKOOG; HOLLER; NIEMAN, 2002 apud NUNES 2009).

Onde:

A – Amostra líquida

B – Nebulizador

C – Aerosol

D – Câmara de Nebulização

E – Tocha

F – Cone amostrador

G – *Skimmer*

H – Lentes iônicas

I – Analisador de massas

J – Detector

K e L – Bombas de vácuo turbomolecular

M – Bomba de vácuo mecânica

As amostras selecionadas foram encaminhadas para a Acme Analytical Laboratories – Ltd, no Canadá, onde foram preparadas conforme rotina do próprio laboratório, para análise multielementar no pacote de serviços oferecido pela empresa (4A – 4B), incluindo os elementos de interesse para a pesquisa (U, Th e K_2O), onde a composição química das rochas selecionadas foi obtida por fusão com metaborato/tetraborato de lítio e solubilização em ácido nítrico e água régia (mistura de ácido nítrico com ácido clorídrico) e determinação das concentrações por espectrometria de massa com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS).

2.6 Quantificação da Emissão do Gás Radônio das Amostras Estudadas

A determinação da taxa de exalação do gás radônio pode ser feita utilizando duas técnicas distintas: a detecção passiva e a detecção ativa. A primeira utiliza detectores plásticos enquanto a detecção ativa utiliza um equipamento de medição instantânea, técnica utilizada no trabalho em questão.

Para a presente pesquisa utilizou-se a técnica da detecção ativa, onde as amostras foram acondicionadas a vácuo superior a 400 mm Hg não ultrapassando 450 mm Hg, em períodos pré-determinados (ciclos de 5, 10, 15, 20 e 25 dias), dentro de garrações de vidro *Pirex*[®], lacrados com rolhas acopladas a um sistema de válvulas que permite a entrada e saída de ar. Tão logo as amostras foram colocadas nos garrações, retirou-se o ar num vácuo de 450 mm Hg, impedindo a entrada ou saída de ar dos garrações nos períodos estabelecidos (ciclos).

Após esse período de confinamento, o garrafão contendo a amostra é conectado ao aparelho de medição da taxa de exalação de radônio através de tubos plásticos flexíveis e a uma bomba para fazer circular o ar de dentro do garrafão para o aparelho. Método semelhante também foi utilizado por Chyi (2008), Gavioli et al. (2009), Amaral (2011) e Amaral et al. (2012).

O equipamento utilizado para fazer a medição da exalação do gás radônio foi AlphaGUARD (Professional Radon Monitor), da Empresa Genitron Instruments, que fornece medições de temperatura, umidade relativa do ar, pressão e emanção de radônio em Bq/m^3 , simultaneamente, com atualizações programadas a cada minuto. Pode fornecer medidas desde baixas concentrações de radônio (2 Bq/m^3) até altas concentrações ($2.000.000 \text{ Bq/m}^3$).

» *Preparação das Amostras para o Monitoramento do Gás Radônio*

Para este ensaio as amostras foram retiradas de chapas polidas, algumas polidas, teladas e resinadas, posteriormente foram cortadas com dimensões de $30 \text{ cm} \times 4,0 \text{ cm} \times 2,0 \text{ cm}$, no formato prismático. Em seguida as amostras foram limpas e colocadas em estufa a 70°C por aproximadamente 24 horas. Para cada tipo petrográfico foram utilizados 4 filetes, colocados em garrafões de vidro Pyrex[®] com volume de 19 litros e condicionadas a vácuo de 450 mm Hg, em intervalos de tempo determinados denominados de ciclos (5, 10, 15, 20 e 25 dias), para cada amostra analisada. Após esse período obteve-se a exalação do gás radônio para posteriormente fazer a contagem da sua respectiva taxa.

2.7 Teor de ^{222}Rn da Rocha e da Eficiência e Exalação do Gás ^{222}Rn

A exalação do gás radônio apresentada por uma rocha depende da quantidade de ^{222}Rn gerado pelo decaimento radioativo do ^{238}U e, associado a maior ou menor facilidade de difusão do gás por meio da estrutura cristalina dos minerais, interfácies minerais e consequentemente da rede porosa do material.

A obtenção do teor de ^{222}Rn efetivo gerado na rocha pelo decaimento da série radioativa do ^{238}U é feita indiretamente pela estimativa da concentração de atividade do ^{226}Ra , dada em Bq/kg multiplicando-se o teor de U (ppm) pelo fator 12,34 que se equivale, na condição de equilíbrio radioativo, ao valor correspondente de ^{222}Rn gerado na rocha.

A transformação da exalação do gás radônio em Bq/m³ fornecida pela rocha durante a fase de monitoramento da exalação no garrafão para Bq/kg é dada a partir da seguinte equação:

$$^{222}\text{Rn exalado} = \frac{(^{222}\text{Rn})\text{Bq/m}^3 \times V/m}{1\text{m}^3}$$

Onde:

V é o volume do garrafão (19 L);

m é a massa da amostra (kg).

Para o cálculo da efetiva exalação do gás radônio de uma rocha, expressa pela exalação indicada pelo **fator E**, definida por Wanty et al. (1992) através da equação:

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

Para Wanty et al. (1992) quando o fator **E** é menor que 0,5, significa que a rocha estaria exalando todo o gás radônio produzido, mas que rotineiramente este fator se situa abaixo de 0,3, indicando que a exalação é de aproximadamente a metade do ²²²Rn gerado pela rocha.

2.8 Simulação de Adição do Nível de Radônio em Ambientes Fechados

A entrada do gás radônio em determinados ambientes, como em uma casa, pode ocorrer de várias maneiras. Uma delas é através de rochas utilizadas para fins ornamentais e para revestimento em edificações.

A partir dos dados obtidos da quantificação da exalação do gás radônio, foi realizada uma simulação de adição do nível de radônio em ambientes fechados, a fim de verificar a possibilidade das amostras analisadas atingirem os limites de dosimetria do radônio se fossem aplicadas em residências.

O procedimento adotado para esta simulação foi o mesmo utilizado por Amaral (2011) e Amaral et al. (2012) que adaptaram a técnica utilizada por Chyi (2008) para simular o

quanto a rocha aplicada irá adicionar no nível do gás radônio no interior de uma casa ou em qualquer outro ambiente fechado.

A simulação foi baseada num modelo hipotético de uma residência onde foram aplicados 100 m² de material rochoso no seu interior, para estimar a quantidade de radônio que seria adicionada. Desse modo, fatores como a troca de ar do interior dos ambientes para a parte externa foram desconsiderados, já que um dos maiores riscos quanto ao gás radônio está em sua acumulação, que geralmente ocorre em ambiente fechado.

Para efeito de cálculos utilizou-se a seguinte fórmula:

$$Rn_{Amb} = \frac{Qtd \text{ Bq/m}^3 \times F2}{F1} = \text{Bq/m}^3$$

Em que:

Qtd Bq/m³ é a quantidade de radônio exalado pela rocha obtido no ato da medição quando do monitoramento do Rn nas amostras;

F1 é o fator de dissipação de ar;

F2 é o fator de amplificação do material utilizado.

F1 e F2 são utilizados para simular a exalação do gás radônio com o ambiente aplicado. O Fator 1 seria o volume de ar recorrente de dentro da residência em razão do volume de ar interno do garrafão, onde:

$$F1 = \frac{V_{Amb}}{V_{Gar}}$$

Em que:

V_{Amb} é o volume de ar no ambiente;

V_{Gar} é o volume de ar no garrafão.

O Fator 2 é a razão do material aplicado (m²) na residência pela relação da metragem das amostras utilizadas no monitoramento do gás radônio, onde:

$$F2 = \frac{A_{Apl}}{A_{Mon}}$$

Em que:

A_{Apl} é a área do ambiente com rocha aplicada (m^2);

A_{Mon} é a área das amostras monitoradas (m^2).

Os resultados são obtidos em Bq/m^3 para posteriormente serem convertidos para pCi/L .

CAPÍTULO 3 A RADIOATIVIDADE NATURAL E O GÁS RADÔNIO

3.1 Considerações sobre a Radioatividade

Através da descoberta da radioatividade em 1896 por Antoine Henri Becquerel, físico francês, se obteve a primeira indicação da existência do núcleo atômico. Becquerel, ao tomar conhecimento da existência dos raios X, observados por Röntgen no ano anterior, decidiu investigar a possibilidade de que os minerais que exibiam a propriedade da fluorescência após serem expostos à luz solar também emitissem raios X. Para isso, colocou uma amostra contendo sulfato duplo de urânio e potássio em cima de uma placa fotográfica embrulhada em papel preto exposta à luz solar no peitoril de uma janela. Em seus primeiros experimentos, uma imagem da amostra apareceu sobre a placa revelada, o que parecia indicar que o material emitia raios X. Porém, uma amostra que tinha sido guardada numa gaveta, sem exposição à luz, também impressionou uma chapa fotográfica, emitindo espontaneamente uma radiação penetrante até então desconhecida; assim foi descoberta a radioatividade (TIPLER, 2010).

As investigações mais significativas sobre a radioatividade foram realizadas por Marie Curie e Pierre Curie. Depois de vários anos de processos cuidadosos e trabalhosos de separação química de toneladas de pechblenda, um minério radioativo, o casal Curie anunciou a descoberta de dois elementos até então desconhecidos, o polônio (Po) e o rádio (Ra), ambos radioativos (SERWAY & JEWETT Jr., 2009).

Experiências subsequentes, incluindo o trabalho de Ernest Rutherford sobre o espalhamento das partículas alfa, sugeriram que a radioatividade resultava do decaimento, ou desintegração, dos núcleos instáveis (SERWAY & JEWETT Jr., 2009).

Dos mais de 3000 nuclídeos conhecidos, somente 266 são estáveis, todos os outros são radioativos, ou seja, se transformam espontaneamente em outros nuclídeos emitindo radiação, que neste caso refere-se tanto a partículas quanto a ondas eletromagnéticas. O número de decaimentos radioativos por segundo é denominado de taxa de decaimento, a qual não se mantém constante, diminuindo exponencialmente com o tempo, assim como o número de núcleos. O tempo médio de vida do núcleo, também chamado de meia-vida, é definido como o tempo necessário para que o número de núcleos radioativos se reduza à metade do valor inicial. Após um intervalo de uma meia-vida, tanto o número de núcleos que restam na amostra como a taxa de decaimento estão reduzidos à metade do valor inicial.

No Sistema Internacional (SI) de unidades, a unidade da taxa de decaimento radioativo é o *becquerel* (Bq), que corresponde a um decaimento por segundo, ou seja, $1 \text{ Bq} = 1$

decaimento/s. Outra unidade comum de atividade aplicada a todos os tipos de radioatividade é o *curie* (Ci), que é definido como $1 \text{ Ci} = 3,70 \times 10^{10}$ decaimentos/s, ou seja $3,70 \times 10^{10}$ Bq (YOUNG & FREEDMAN, 2009).

Rutherford mostrou, através de seu trabalho pioneiro, que a radiação era de três tipos denominados por ele como raios alfa (α), em que as partículas emitidas são núcleos de ${}^4\text{He}$; raios beta (β), nos quais as partículas emitidas são elétrons ou pósitrons; e raios gama (γ), nos quais as partículas emitidas são fótons de alta energia (SERWAY & JEWETT Jr., 2009). Um pósitron é uma partícula semelhante ao elétron em todos os aspectos, exceto pela carga que é $+e$, em que o símbolo para designar um elétron é e^- e e^+ para designar um pósitron.

3.2 Decaimentos Alfa, Beta e Gama

Como já comentado anteriormente, mais de 3000 isótopos são encontrados na natureza, mas somente 266 são estáveis. Todos os outros e mais uns 2000 isótopos previstos teoricamente e que ainda não foram encontrados, são radioativos (TIPLER, 2010), ou seja, não são estáveis e decaem, transformando-se em outros núclídeos (YOUNG & FREEDMAN, 2009).

Os radioisótopos podem decair pelo menos de nove maneiras distintas, no entanto a maioria dos decaimentos ocorre através de um, ou ocasionalmente dois, dos seguintes modos: alfa, beta e gama. O restante dos decaimentos acontece através de mecanismos menos comuns, como a emissão de um próton ou nêutron e a fissão espontânea (TIPLER, 2010).

Tanto no decaimento alfa (α) quanto no decaimento beta (β), o valor de Z varia e o núcleo de um elemento se transforma no núcleo de um elemento diferente. No decaimento gama (γ) o elemento não se transforma; o núcleo simplesmente passa de um estado mais excitado para um estado menos excitado (YOUNG & FREEDMAN, 2009).

» *Decaimento Alfa*

Todos os núcleos muito pesados, com número atômico maior que 83 são, teoricamente, instáveis em relação ao decaimento α porque a massa do núcleo radioativo original é maior do que a soma das massas dos produtos do decaimento – uma partícula α e o núcleo-filho (TIPLER, 2006).

Quando um núcleo emite uma partícula alfa (α), o número atômico (Z) e o número de nêutrons (N) diminuem de duas unidades e o número de massa (A) diminui de quatro

(YOUNG & FREEDMAN, 2009). Geralmente o filho de um núcleo radioativo também é radioativo e decai por emissão α ou β , ou ambas.

As partículas alfa (α) são sempre emitidas com uma energia cinética definida, determinada pela lei da conservação da energia e pela conservação do momento linear. Por causa de sua carga e de sua massa, uma partícula alfa, antes de parar devido a colisões, pode percorrer somente diversos centímetros no ar, ou alguns décimos ou centésimos de milímetros no interior de um sólido (YOUNG & FREEDMAN, 2009).

As energias das partículas alfa (α) das fontes radioativas naturais variam desde aproximadamente 4 MeV até 7 MeV, e as meias-vidas dessas fontes variam desde aproximadamente 10^{-5} até 10^{10} anos. No geral, quanto menor for a energia da partícula α emitida, maior será a meia-vida.

» *Decaimento Beta*

O decaimento beta ocorre nos núcleos que necessitam de uma quantidade muito grande ou muito pequena de nêutrons para serem estáveis. No decaimento beta, a massa (A) permanece constante, enquanto o número atômico (Z) aumenta de 1 (decaimento β^-) ou diminui de 1 (decaimento β^+) (TIPLER, 2006).

O exemplo mais simples de decaimento β é o decaimento de um nêutron livre em um próton e um elétron, como a meia-vida de um nêutron livre é de aproximadamente 10,8 minutos, a energia de decaimento é de 0,782 MeV, que é a diferença entre a energia de repouso de um nêutron e a energia de repouso de um próton com um elétron. No geral, no decaimento β^- um núcleo com um número de massa A e número atômico Z decai em um núcleo chamado núcleo-filho, com número de massa A e número atômico $Z'=Z+1$ com a emissão de um elétron.

No decaimento β^+ , o próton se transforma em um nêutron com a emissão de um pósitron (e um neutrino). Um próton livre não pode decair por emissão de um pósitron, por causa da conservação da energia (a massa do nêutron somada à do pósitron é maior do que a do próton), no entanto, devido aos efeitos da energia de ligação, um próton no interior de um núcleo pode decair.

Os elétrons ou os pósitrons emitidos no decaimento β não existem no interior de um núcleo, eles são criados em um processo de decaimento, da mesma forma como os fótons são criados quando um átomo faz uma transição de um estado de energia mais alto para um estado de energia mais baixo.

» *Decaimento Gama*

No decaimento gama, um núcleo em um estado excitado decai para um estado de energia mais baixo emitindo um fóton. Ao contrário do que ocorre nos decaimentos β ou α , nem o número de massa A nem o número atômico Z variam durante o decaimento γ (TIPLER, 2006).

Geralmente a meia-vida para o decaimento gama é muito curta, sendo observado apenas porque se segue a um decaimento alfa ou beta. Quando um núcleo radioativo decai através de um decaimento β para um estado excitado do núcleo filho, este decairá para seu estado fundamental por emissão γ . Medições diretas de meia-vida tão curtas, de aproximadamente 10^{-11} s, são possíveis, inferiores a 10^{-11} s são mais complexas, porém podem ser realizadas por procedimentos indiretos. Alguns emissores γ possuem vidas relativamente longas, da ordem de horas, neste caso, os estados de energias dos núcleos são denominados estados metaestáveis.

3.3 Séries ou Famílias Radioativas Naturais

Os elementos radioativos existentes naturalmente realizam sucessivas desintegrações até que seu núcleo atinja estabilidade. Sendo assim, após um decaimento radioativo, se o núcleo ainda não possui uma organização interna estável, ele continua a executar outra transmutação até atingir o equilíbrio. Em cada decaimento, os núcleos emitem radiações dos tipos alfa, beta e/ou gama, como citado anteriormente, e cada um deles é mais organizado que o anterior. Essas sequências são chamadas de séries ou famílias radioativas naturais.

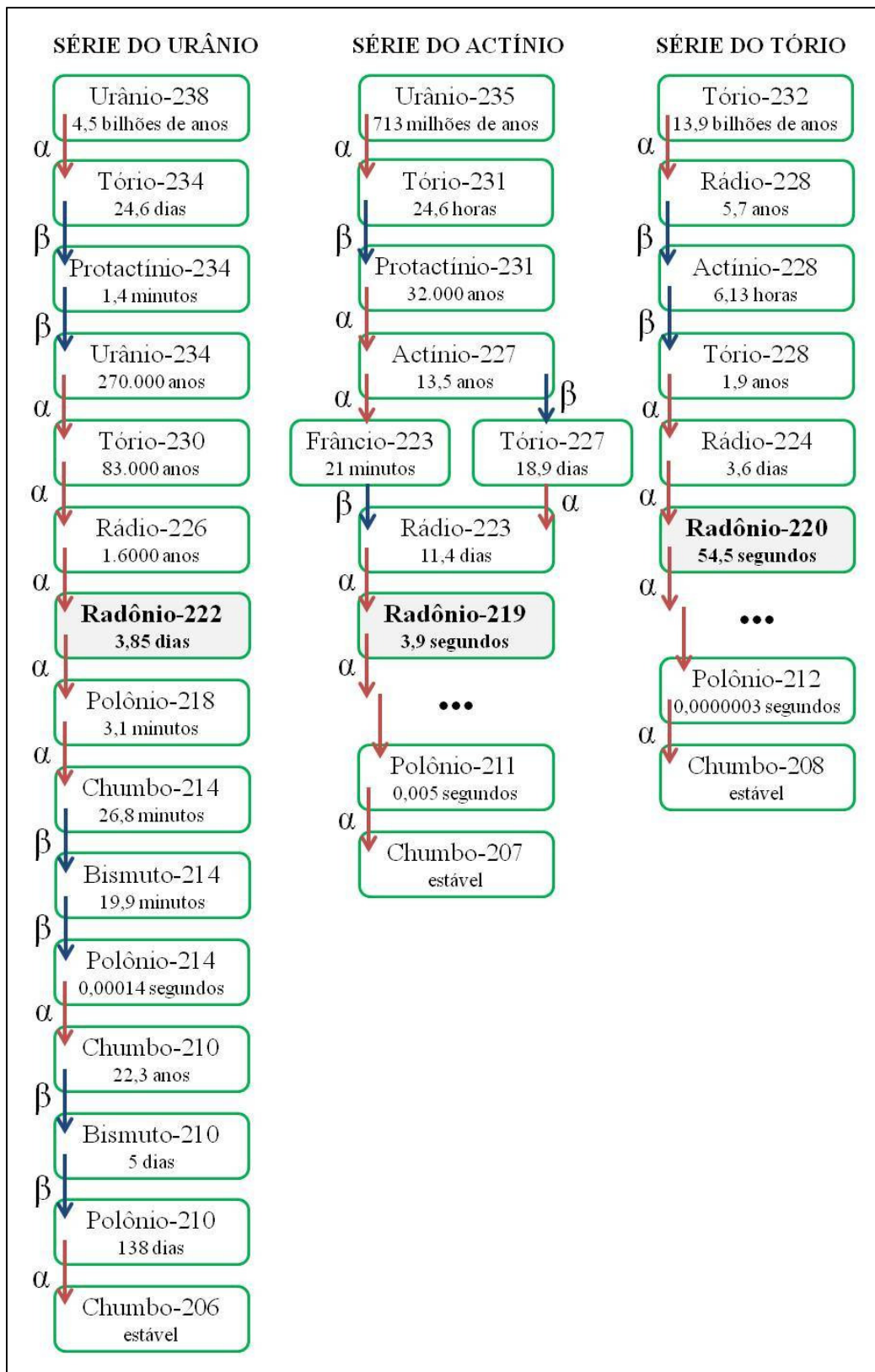
Através do estudo da radioatividade, constatou-se a existência de apenas 3 séries ou famílias radioativas naturais, que são a Série do Urânio, a Série do Actínio e a Série do Tório (Figura 3.1). As três séries naturais citadas terminam em isótopos estáveis de chumbo, respectivamente, ^{206}Pb , ^{207}Pb e ^{208}Pb .

O urânio possui três isótopos radioativos que ocorrem naturalmente o ^{238}U , ^{235}U e o ^{234}U , e o tório possui somente um isótopo radioativo o ^{232}Th . Tanto o urânio como o tório apresentam decaimentos alfa e beta até chegarem ao chumbo.

O nuclídeo radioativo mais abundante na Terra é o ^{238}U , que sofre uma série de 14 decaimentos, inclusive oito emissões α e seis emissões β^- , finalizando a série com o nuclídeo estável ^{206}Pb (YOUNG & FREEDMAN, 2009), como mencionado abaixo.

A série do urânio começa com o ^{238}U e após 14 desintegrações atinge a estabilidade tendo como produto o ^{206}Pb . A série do actínio começa com ^{235}U e depois de 7 transformações estabiliza com o ^{207}Pb . A série do tório inicia com ^{232}Th e após 12 desintegrações atinge o ^{208}Pb .

Figura 3.1 – Séries ou Famílias Radioativas Naturais.



Fonte: Elaborada pela autora.

3.4 Ocorrência de U e Th em rochas e minerais

Rochas ígneas de composição granítica estão enriquecidas em U e Th quando comparadas às rochas de composição basáltica ou ultramáfica, por apresentar concentração desses elementos na fase líquida durante a fusão parcial e cristalização fracionada do magma, incorporando-os aos produtos mais ricos em sílica (MOURA, 2005).

A Tabela 3.1 mostra as concentrações de U e Th no manto e na crosta continental, resultante da diferenciação geoquímica, que é progressiva no manto superior. As concentrações desses dois elementos aumentam das rochas básicas para os granitos de baixo Ca, no entanto, as razões U/Th permanecem constantes. Nas rochas carbonáticas o U é resultante da coprecipitação do íon uranila com o carbonato de cálcio, enquanto que o Th está associado a sedimentos insolúveis.

Tabela 3.1 – Concentrações de U e Th no manto e na crosta.

Elementos traços (ppm)	Crosta Inferior (1)	Crosta Superior (2)	Média da Crosta (3)	MORB (4)	OIB (5)
U	0,05	2,50	1,30	0,10	3,40
Th	0,42	10,50	5,70	0,20	1,10

MORB – Middle Ocean Ridge Basalts; **OIB** – Ocean Island Basalts.

(1) – Taylor & MacLennan (1981); (2) e (3) – Weaver & Tarney (1984); (4) – Saunders & Tarney (1984); e (5) – Sun (1980).

Fonte: Rollinson, 1993 apud Moura, 2005.

Nos minerais silicáticos formadores de rochas, as concentrações de U e Th são baixas, ao contrário do que ocorre em certos minerais acessórios, em que esses elementos são os constituintes maiores. Alguns desses minerais acessórios são uraninita e torianita (óxidos), zircão, torita, e allanita (silicatos), monazita e apatita (fosfatos), esfero (titanossilicato).

Nos sedimentos arenosos os níveis de urânio geralmente são baixos, menores que 1 µg/g, devido a facilidade com que o urânio é lixiviado dos interstícios minerais (BONOTTO, 1996). Porém, quando os sedimentos são derivados de rochas ígneas concentrações anormais de U e Th podem ser encontradas.

De acordo com Ivanovich & Murray (1992) apud Moura (2005), a maioria dos minerais contém concentrações consideráveis de urânio e tório, que se formam no final da sequência de cristalização magmática.

Moreira-Nordemann, 1977 apud Bonotto & Silveira, 2006, ao estudar a distribuição do urânio nos minerais formadores de rochas ígneas, constatou que sua ocorrência também é

acentuada em quartzo e feldspatos, e que a biotita pode reter de 19 a 22% do total de urânio da rocha, e que minerais pesados como zircão, monazita, apatita, magnetita, ilmenita e riebeckita podem conter de 61 a 65% deste teor.

3.5 O Gás Radônio

O radônio é um gás insípido, inodoro e incolor à temperatura ambiente, mas quando resfriado abaixo do ponto de fusão exibe uma fosforescência brilhante que se torna avermelhado a cerca de -180°C . Sua densidade é aproximadamente oito vezes maior que a do ar (1,217 g/L a 1 atm e 0°C), sendo assim o gás mais denso conhecido. Seus pontos de fusão e de ebulição são muito baixos comparados a compostos de massa molar similar. Também é pouco solúvel em água, entretanto é o mais solúvel dentre todos os gases nobres. A solubilidade em solventes orgânicos é maior do que em água. Embora seja pouco reativo, sua primeira energia de ionização (1037 kJ/mol) é baixa o suficiente para reagir com flúor, como ocorre com o xenônio e o criptônio.

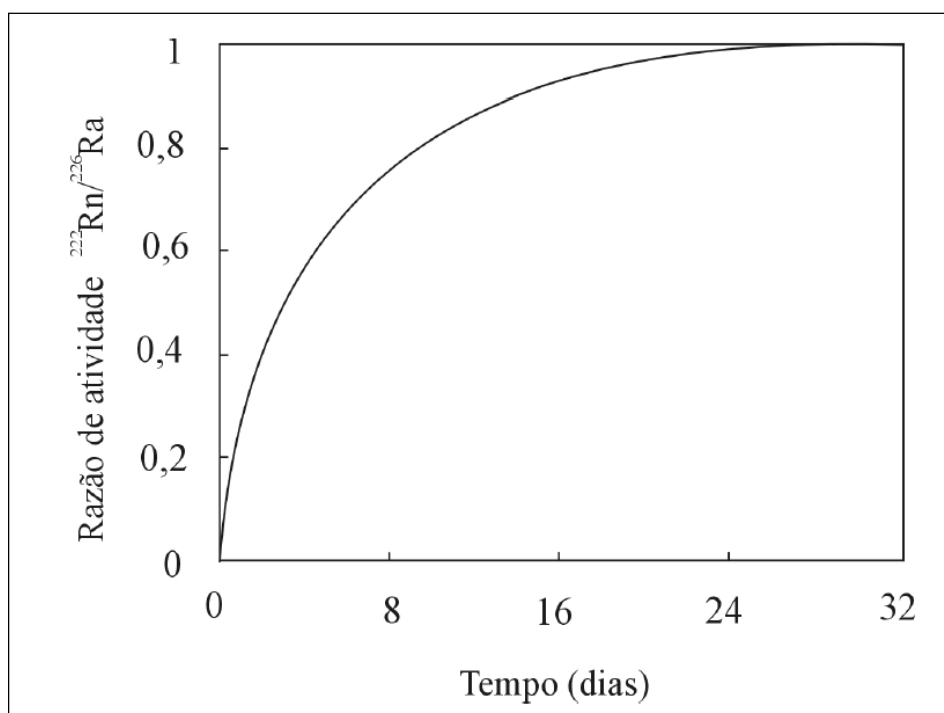
Conforme a Comissão Internacional de Proteção Radiológica (ICRP), aproximadamente 55% da radiação incidente sobre o ser humano provém do radônio e de seus produtos de decaimento, mas a concentração desse gás no ar varia muito de lugar para lugar devido à variabilidade da composição do solo e das rochas.

Os isótopos de radônio aparecem nas três séries de decaimento radioativo, como observado na Figura 3.1. O isótopo ^{222}Rn aparece na série do ^{238}U , o ^{219}Rn na série do ^{235}U e o ^{220}Rn na série do ^{232}Th . Dentre estes isótopos, o ^{222}Rn é o isótopo de radônio mais conhecido e o que apresenta meia-vida mais longa, cerca de 3,85 dias, permitindo migração por maiores distâncias a partir da sua origem.

A migração do gás ^{222}Rn acontece principalmente por difusão através dos poros das rochas e solos, falhas e fissuras, bem como por dissolução nas águas subterrâneas e superficiais, verificando-se sua incorporação na fase líquida quando ele percola a fase sólida portadora de ^{226}Ra , com ou sem a presença de ^{238}U , e também quando a fase líquida localiza-se numa distância correspondente à do alcance de difusão do gás emanado (BOWIE & PLANT, 1983 apud BONOTTO, 1986).

O ^{222}Rn atinge o equilíbrio radioativo com o seu progenitor, o ^{226}Ra , após cerca de 25 dias (Figura 3.2), sendo o que apresenta a meia-vida mais longa com 3,85 dias em relação aos outros dois isótopos, o ^{220}Rn com meia-vida de 54,5 segundos e o ^{219}Rn com meia-vida de 3,52 segundos.

Figura 3.2 – Equilíbrio radioativo entre ^{226}Ra e seu filho ^{222}Rn .



Fonte: (Lima, 1993).

» *O gás radônio em ambientes fechados*

Um fator de risco para ambientes fechados é o acúmulo de ^{222}Rn , por ser um gás inerte, incolor e inodoro, como supracitado.

Apesar da meia-vida do ^{222}Rn ser curta, ele é produzido continuamente pelo decaimento do ^{226}Ra , o qual se encontra em quantidades muito pequenas nas rochas e no solo sobre o qual uma casa é construída. Trata-se de uma situação de equilíbrio dinâmico, na qual a taxa de produção é igual à taxa do decaimento (YOUNG & FREEDMAN, 2009).

A razão pela qual o ^{222}Rn apresenta um risco maior do que o dos outros elementos da série de decaimentos do ^{238}U é que ele é um gás. Quando um núcleo de ^{222}Rn decai no interior dos pulmões de seres humanos, ele emite uma partícula α e produz o núcleo-filho ^{218}Po , que não é inerte quimicamente e tende a permanecer no interior dos pulmões humanos até sofrer decaimento, emitindo uma outra partícula α , e assim por diante até o ^{206}Pb da série do ^{238}U (YOUNG & FREEDMAN, 2009).

3.6 Fontes de Radônio

Vários autores têm se dedicado a estudar o ^{222}Rn em diversas áreas, desde suas concentrações em solos e rochas em ambientes externos, relacionando variações de radônio do solo para o ar com diferentes unidades litotectônicas, até estudos com materiais de construção, correlacionando-os às condições internas das mesmas (MOURA, 2005).

Choubey et al. (1999) apud Moura (2005), realizaram pesquisas em regiões do Himalaia, onde foram medidas concentrações e teores de urânio em solo e rochas através de emanometria de radônio e fluorescência de raios X, respectivamente. Os dados foram coletados por sondagens de diferentes unidades litotectônicas ao longo e através de vários planos regionais de cavalgamento, falhas, cisalhamento, etc.

Os diversos fatores que contribuem para as concentrações do gás radônio, de acordo Choubey et al. (1999) apud Moura (2005), são os seguintes:

- » ruptura/fragmentação de rochas causada por explosões aumentam a permeabilidade permitindo uma maior circulação do ar na interface rocha/solo;
- » os distintos tipos de texturas presentes em diferentes tipos de rocha, como granitos porfiríticos milonitizados, gnaissificados e/ou com xistosidades. Em milonitos, o cisalhamento reduz o tamanho dos grãos e também contribui para o aumento no teor de urânio, que é mobilizado e concentrado na foliação do cisalhamento;
- » o intemperismo dos milonitos ocorre ao longo dos planos de foliações, tornando o urânio ainda mais exposto, essa mesma foliação também aumenta a permeabilidade das rochas;
- » planos diferentes de cavalgamento/cisalhamento que fornecem caminhos potenciais para emanação de radônio da parte inferior da crosta.

CAPÍTULO 4 PANORAMA DAS ROCHAS ORNAMENTAIS

4.1 Considerações Iniciais

De acordo com o Sumário Mineral 2012 (DNPM, 2012), no ano de 2011 a produção mundial de rochas ornamentais atingiu aproximadamente 116 milhões de toneladas, sendo 37% deste total produzido pela China. O Brasil se posiciona em 5º lugar no *ranking* mundial de produção e em 7º nas exportações (2,9 Mt e US\$ 999,6 milhões), de acordo com o Sumário Mineral 2012 (DNPM, 2012).

O Brasil está enquadrado no grupo dos grandes produtores e exportadores mundiais de rochas ornamentais e para revestimento. De acordo com dados da ABIROCHAS (01/2013) a produção apresentada para o Brasil no ano de 2012 foi de 9,3 milhões de toneladas, 3,3% maior se comparada ao ano de 2011.

Com relação às exportações de rochas ornamentais e de revestimento no ano de 2012, o Brasil totalizou US\$ 1.060,42 milhões, que corresponde a um volume físico comercializado de 2.237.150,44 toneladas (ABIROCHAS, 01/2013).

Do total de rochas exportadas, as rochas processadas foram responsáveis por 76,8% do faturamento e 47,8% do volume físico, tendo-se as rochas brutas com 23,2% e 52,2%, respectivamente (ABIROCHAS, 01/2013).

Comparado ao ano de 2011, as exportações brasileiras de rochas ornamentais no ano de 2012 registraram variação positiva de 6,08% no faturamento e de 2,27% no volume físico (ABIROCHAS, 01/2013). Essa variação positiva no faturamento se deve ao incremento do preço médio dos principais produtos exportados, bem como ao aumento da participação de rochas processadas, com maior valor agregado, nas exportações (ABIROCHAS, 01/2013).

O reconhecimento internacional do Brasil no setor de rochas ornamentais deve-se, em grande parte, à diversidade de seus materiais, tanto tradicionais como exóticos. Em virtude de suas formações geológicas e da extensão geográfica, o Brasil se destaca no cenário mundial pela tamanha variedade de rochas em termos composicionais, de colorações e aspectos texturais e estruturais, que se traduzem em uma infinidade de diferentes padrões estéticos; muitas delas ainda sequer conhecidas pelo mercado consumidor.

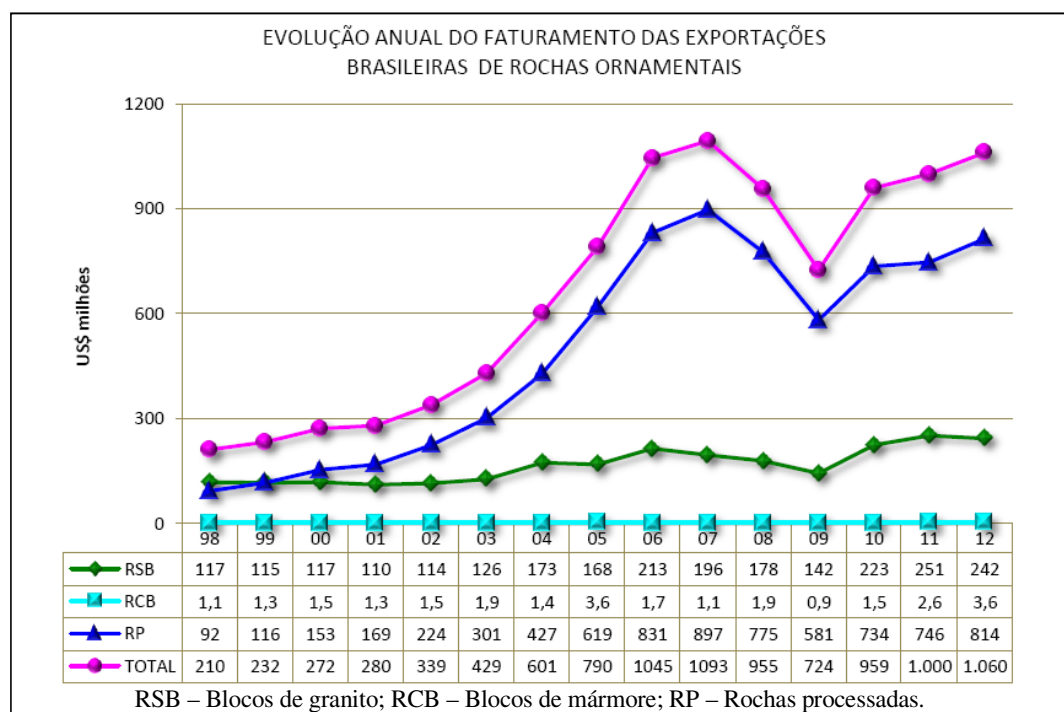
Apesar de o Brasil estar entre os grandes produtores e exportadores mundiais de rochas ornamentais e para revestimento, nos anos de 2007, 2008 e 2009 as exportações brasileiras sofreram queda, conforme os gráficos das Figuras 4.1 e 4.2 (ABIROCHAS, 01/2013), provocada pela crise imobiliária nos EUA e pelo desaquecimento da construção

civil (ABIROCHAS, 18/2009). A partir de 2010 as exportações começaram a se recuperar, conforme as Figuras 4.1 e 4.2 (ABIROCHAS, 01/2013). Outro aspecto que pode ser levado em consideração foi a veiculação de notícias sobre a existência de problemas relativos aos níveis de radioatividade e particularmente de exalação de gás radônio nas rochas graníticas, materiais bastante utilizados para elaboração de bancadas naquele país.

Segundo dados estatísticos dos próprios EUA, a contribuição dos materiais de construção, inclusive de revestimento, é inferior a 3% para o conteúdo de radônio no ar em ambientes fechados (ABIROCHAS, 18/2008).

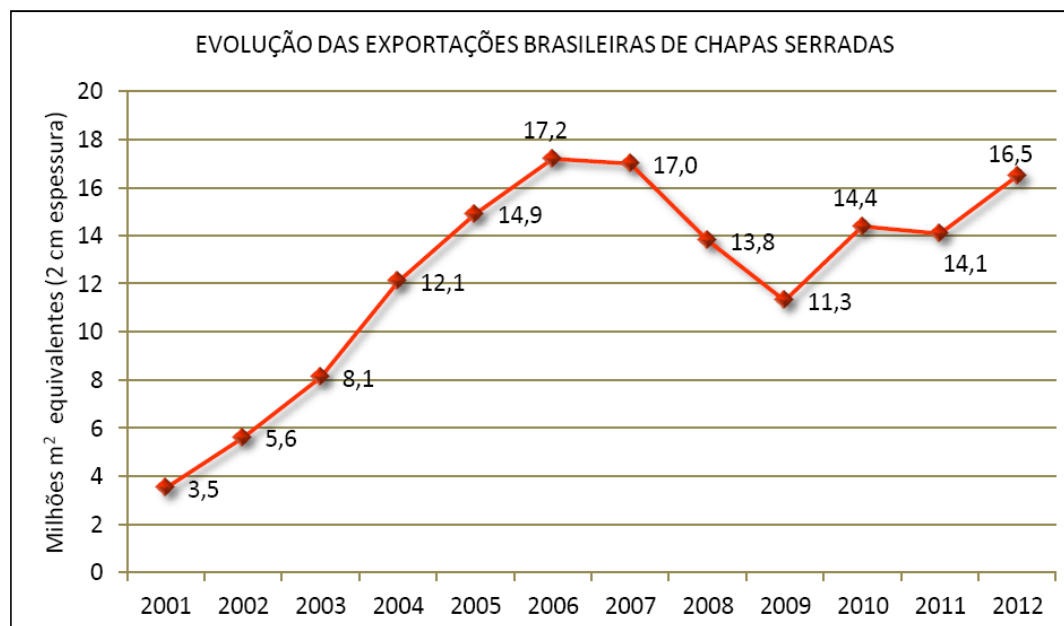
Em virtude desta problemática, o presente trabalho quantificou a exalação de gás radônio de rochas ornamentais do Estado Ceará, demonstrando que as mesmas situam-se dentro dos limites recomendados pelas instituições norte-americanas.

Figura 4.1 – Evolução do faturamento das exportações brasileiras de rochas ornamentais de 1998 a 2012.



Fonte: ABIROCHAS, 01/2013.

Figura 4.2 – Evolução das exportações brasileiras de chapas serradas de 2001 a 2012.



Fonte: ABIROCHAS, 01/2013.

Apesar do setor das rochas ornamentais definir uma das mais promissoras áreas de negócio no seguimento mineiro-industrial, representa um dos recursos naturais menos estudados da economia brasileira e que vem drasticamente, nos últimos anos, perdendo espaço no mercado internacional para a China, Índia e África do Sul. Trata-se, assim, de um setor que carece de estudos em praticamente todos os seus aspectos, incluindo pesquisas geológicas, lavra e controle dos jazimentos, beneficiamento, previsão no comportamento tecnológico, marketing e comercialização (CHIODI FILHO, 2003; CHIODI FILHO et al. 2004; CRESPO, 1991; CHIODI FILHO & RODRIGUES, 1999; FRASCÁ, 2003; MENDES, 2005; SALES & MORAIS, 2003).

4.2 Rochas Ornamentais no Ceará

O Estado do Ceará encontra-se sob condições geológicas e geomorfológicas muito favoráveis à prospecção e exploração de rochas ornamentais por apresentar, em termos gerais, rasa cobertura de solo e topografia pouco acidentada, facilitando o acesso à avaliação de possíveis jazidas. Segundo dados do Catálogo de Rochas Ornamentais do Ceará (MORAIS et al. 2004) o Estado conta com 59 diferentes tipos de rochas ornamentais entre jazidas ativas e áreas reconhecidamente potenciais, o que reflete sua grande diversidade litológica.

Em relação ao contexto geológico, o embasamento cristalino do Ceará constitui aproximadamente 75% da área do Estado, o que o torna bastante favorável à ocorrência de rochas ígneas e metamórficas com características ornamentais.

Os tipos petrográficos explorados pelas pedreiras apresentam composição mineralógica variada, com destaque para os “granitos” de um modo geral, além de mármore, quartzitos, calcários, conglomerados e arenitos conglomeráticos.

Geotectonicamente, os terrenos cristalinos cearenses fazem parte da denominada Província Borborema. O arcabouço geológico-tectônico regional, formado por rochas cristalinas do embasamento com idades Pré-Cambrianas, é segmentado por grandes zonas de cisalhamento, que delimitam grandes blocos crustais constituídos por diversificada variedade litológica com distintas evoluções tectono-metamórficas.

As principais fontes para rochas ornamentais e para revestimento do Estado do Ceará se devem à grande variedade de gnaisses e migmatitos do Pré-Cambriano (Arqueano e Paleoproterozóico), além dos batólitos e *stocks* graníticos Neoproterozóicos (alguns anorogênicos). Não menos importantes, porém menos antigas, pertencentes ao período Cretáceo, são as bacias sedimentares com rochas calcárias das regiões do Cariri e do Apodi (MATTOS, 2005).

Fernandes (2004) apud Mattos (2005) considera que o Ceará surgiu de modo mais importante no mercado nacional a partir do ano de 1994, com as principais jazidas de rochas ornamentais, perfazendo 85% da extração de granitos, situados principalmente na porção noroeste do Estado. Na parte Sul localizam-se as jazidas de calcário laminado (Pedra Cariri).

4.2.1 Reservas Minerais e Produção de Rochas Ornamentais no Estado do Ceará

De acordo com dados do Anuário Mineral Brasileiro (2010), as reservas minerais do Estado do Ceará referentes ao ano de 2009 totalizam uma reserva medida de 4.481.966.892t, reserva indicada de 2.969.893.468t, reserva inferida de 3.852.605.713t, reserva lavrável de 2.196.552.253t, entre substâncias metálicas e não-metálicas conforme apresentados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Reservas minerais do Ceará por classe e substância referente ao ano de 2009.

CLASSE/SUBSTÂNCIA	RESERVAS				
	Medida	Indicada	Inferida	Lavrável	
Metálicos					
Ferro	t	7.244.469	17.729.278	-	7.217.032
Manganês	t	249.995	68.275	-	-
Não-Metálicos					
Ardósia	t	972.000	2.430.000	-	-
Areia	t	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Areia Industrial	t	18.546.701	3.444.066	1.824.269	16.005.662
Arenito Ornamental	t	145.855	-	-	-
Argilas Comuns	t	86.633.460	35.637.062	643.869	4.750.784
Calcário (Rochas)	t	2.727.367.708	2.040.720.517	1.488.113.237	1.624.750.940
Calcita	t	1.380.000	-	-	1.380.000
Diatomita	t	353.889	-	-	50.000
Feldspato	t	98.534	27.411	-	-
Filito	t	11.663.593	-	-	-
Fosfato (P ₂ O ₅)	t	5.698.550	-	-	-
Gipsita	t	4.524.237	-	-	49.274
Grafita	t	60.000	-	-	60.000
Leucita e Nefelina-Sienito	t	17.526.338	4.625.000	670.000	1.747.988
Magnesita	t	75.518.951	53.430.110	134.750.000	86.954.369
Mica	t	10.812	3.007	-	-
Quartzo Ornamental	t	197.587	24.408	-	-
Quartzo	t	525.197	27.535	40.470	455.937
Rochas (Britadas) e Cascalho	t	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Rochas Ornamentais – Outras	t	583.392	-	-	-
Rochas Ornamentais (Granitos e afins)	t	1.120.753.581	504.469.871	1.251.849.089	251.163.697
Rochas Ornamentais (Mármore e afins)	t	396.448.885	327.484.481	974.714.779	196.503.412
Tufo Vulcânico	t	5.463.158	-	-	5.463.158

Fonte: (ANUÁRIO MINERAL BRASILEIRO – 2010/DNPM).

As principais jazidas de rochas ornamentais do Estado do Ceará estão localizadas nas regiões de Santa Quitéria, Sobral, Itapipoca, Aracoiaba, Pedra Branca, Marco, Santana do Acaraú, Quixadá, Limoeiro do Norte e Santana do Cariri.

Ainda de acordo com o Anuário Mineral Brasileiro (2010), a produção bruta de minério referente ao ano de 2009 ultrapassou 50.000t e a produção beneficiada superou 40.000 t, como mostra a Tabela 4.2 a seguir:

Tabela 4.2 – Produção mineral comercializada (*), bruta e beneficiada, de acordo com a classe e substância referente ao ano de 2009.

CLASSE/SUBSTÂNCIA	Bruta	Beneficiada
Metálicos		
Ferro	62.098 t	-
Ouro (secundário)	-	146 kg Au
Não-Metálicos		
Água Mineral		205.061x10 ³ L
Areia	7.964.105 t	-
Areia Industrial	141.088 t	-
Argilas Comuns	1.362.900 t	-
Calcário (Rochas)	818.398 t	2.014.296 t
Magnesita	84.370 t	13.844 t
Mica	1.188 t	-
Rochas (Britadas) e Cascalho	1.750 t	5.632.804 t
Rochas Ornamentais – Outras	672 t	-
Rochas Ornamentais (Granitos e afins)	47.517 t	1.504 t
Rochas Ornamentais (Mármore e afins)	4.138 t	40.560 t
Saibro	365.479 m ³	-
Sal Marinho	62.000 t	-
Tufo Vulcânico	104.861 t	-

Fonte: (ANUÁRIO MINERAL BRASILEIRO – 2010/DNPM).

(*) Quantidade da produção vendida, consumida ou transferida para industrialização.

Com relação à forma de extração dos blocos de rochas, segundo Mattos (2005), até o ano de 1995 ocorria em matacões. A partir daquele ano intensificou-se a lavra em maciços, utilizando-se técnicas mais modernas de extração, como o uso de fio diamantado e massa expansiva já são utilizados nas jazidas cearenses, principalmente devido ao alto índice de recuperação da lavra e preservação futura da jazida e do meio ambiente. Além disso, a utilização do fio diamantado proporciona maior produtividade às empresas, assim como ocorre com a argamassa expansiva, que oferece maior recuperação da jazida.

4.2.2 Mercado

Desde o ano de 1994, o Estado do Ceará tem ganhado destaque no mercado por apresentar grande diversidade de litotipos rochosos, com aproximadamente 60 tipos distintos de rochas ornamentais e para revestimento. A maior parte das jazidas está concentrada na região noroeste do Estado, respondendo por quase toda a extração de granitos, com cerca de 85% da produção.

Atualmente no Estado do Ceará estão sendo exportados os seguintes materiais: Granito Branco Ceará, Branco Ártico, Golden Ártico, Verde Pantanal, Pantanal Light, Rain

Forest, Red Dragon, Golden Fóssil, Juparaná Fantástico, Bourdeaux Terracota, Juparaná Montiel, Juparaná Light e Green Galaxy, além dos calcários sedimentares Bege Capri, San Marino e Blue Marine que estão sendo exportados para os Estados Unidos. A exportação para a China já representa 35% de todo o “granito” exportado pelo Ceará. A expectativa do setor é que, nos próximos anos, este país asiático ocupe a liderança nesse mercado importador, deixando para trás países como Itália, Alemanha e Portugal, nossos principais compradores de granito.

Segundo dados da Federação das Indústrias do Estado do Ceará – FIEC (2012) (Tabela 4.3 e Figura 4.3), as exportações cearenses de rochas ornamentais somaram US\$ 13.414.911 no ano de 2011 e US\$ 12.484.262 em 2012, registrando uma queda da ordem de 6,9% no faturamento, de 2011 para 2012, como mostra a Tabela 4.4 e Figura 4.4.

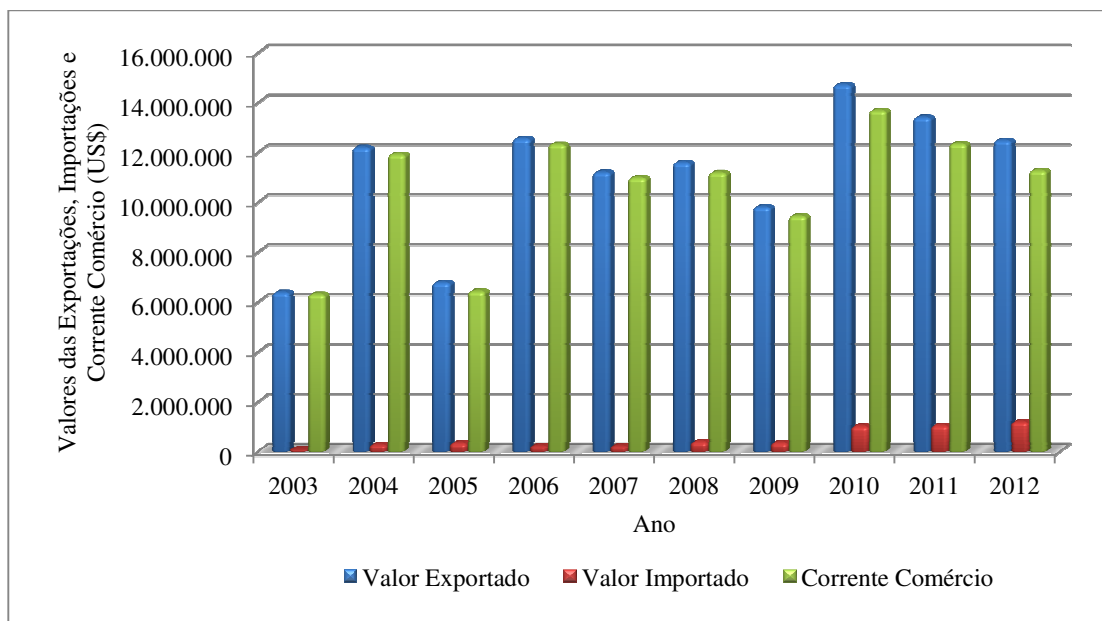
As exportações cearenses de rochas ornamentais ultrapassaram as do Estado da Bahia no ano de 2012 (FIEC, 2012), posicionando o Estado do Ceará com 4º maior estado exportador brasileiro de rochas ornamentais, atrás do Espírito Santo, Minas Gerais e São Paulo, transformando-se no maior estado exportador fora da região sudeste.

Tabela 4.3 – Balanço das exportações/importações cearenses de rochas ornamentais no período de 2003 a 2012.

Ano	Valor Exportado (US\$)	Valor Importado (US\$)	Corrente Comércio (US\$)	Saldo Comercial (US\$)
2003	6.391.164	73.635	6.464.799	6.317.529
2004	12.204.885	276.134	12.481.019	11.928.751
2005	6.786.696	346.624	7.133.320	6.440.072
2006	12.561.535	225.710	12.787.245	12.335.825
2007	11.212.392	219.940	11.432.332	10.992.452
2008	11.598.939	401.967	12.000.906	11.196.972
2009	9.820.937	363.390	10.184.327	9.457.547
2010	14.719.049	1.030.161	15.749.210	13.688.888
2011	13.414.911	1.058.877	14.473.788	12.356.034
2012	12.484.262	1.204.089	13.688.351	11.280.173

Fonte: Secex/MDIC/FIEC (2012).

Figura 4.3 – Evolução das exportações/importações cearenses de 2003 a 2012.



Fonte: FIEC, 2012.

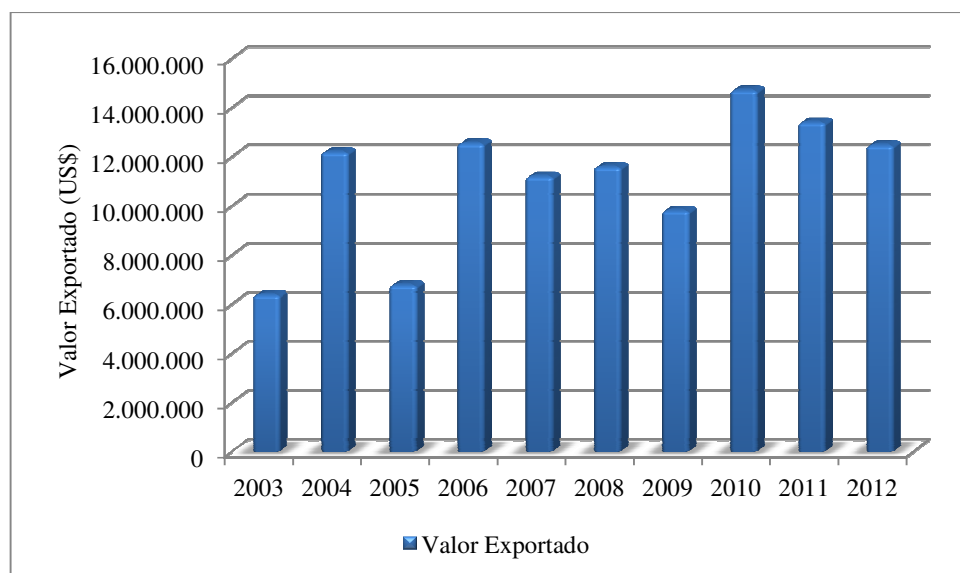
Tabela 4.4 – Histórico das exportações cearenses no período de 2003 a 2012.

Ano	Valor Exportado (US\$)	Varição (%)
2003	6.391.164	*
2004	12.204.885	91,0
2005	6.786.696	-44,4
2006	12.561.535	85,1
2007	11.212.392	-10,7
2008	11.598.939	3,4
2009	9.820.937	-15,3
2010	14.719.049	49,9
2011	13.414.911	-8,9
2012	12.484.262	-6,9

Fonte: Secex/MDIC/FIEC (2012).

* Não se aplica.

Figura 4.4 – Evolução das exportações cearenses de rochas ornamentais no período de 2003 a 2012.



Fonte: FIEC, 2012.

Nos dois primeiros meses do ano de 2010, o setor de rochas ornamentais do Estado do Ceará alcançou um crescimento de 166,1% nas exportações, de janeiro a fevereiro, quando comparado ao mesmo período de 2009, atingindo cerca de US\$ 2,8 milhões nas vendas externas contra o montante de US\$ 1,05 milhão contabilizado no mesmo período acumulado de 2009 (FIEC, 2010). Com isso, a participação cearense no segmento de exportações de rochas ornamentais saltou de 0,6% para 1,4%, tendo como principal destino os Estados Unidos e a Itália, conforme Tabela 4.5.

Tabela 4.5 – Exportações cearenses de rochas ornamentais e países-destino no período de janeiro a dezembro de 2012/2011.

PAÍSES-DESTINO	EXPORTÇÕES 2012 (US\$)	PART. 2012 (%)	EXPORTAÇÕES 2011 (US\$)	PART. 2011 (%)	VARIAÇÃO 2012/2011 (%)
Estados Unidos	4.500.478	36,0	3.667.342	27,3	22,7
Itália	4.288.321	34,3	6.184.191	46,1	-30,7
Canadá	1.910.123	15,3	1.464.396	10,9	30,4
China	1.107.604	8,9	1.235.518	9,2	-10,4
México	353.734	2,8	205.402	1,5	72,2
Reino Unido	149.827	1,2	146.494	1,1	2,3
República Tcheca	146.373	1,2	143.549	1,1	2,0
Argélia	13.901	0,1	-	*	*
França	13.901	0,1	32..270	0,2	-56,9
Demais Países	-	*	335.749	2,5	-100,0
Total Exportado pelo Estado	12.484.262	100,0	13.414.911	100,0	-6,9

Fonte: Secex/MDIC (FIEC, 2012).

Elaboração: Centro Internacional de Negócios/FIEC.

(-) Não houve registro de Exportações.

(*) Não se aplica.

CAPÍTULO 5 ANÁLISE PETROGRÁFICA E CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DAS ROCHAS

Neste capítulo são abordados aspectos petrográficos e litogeoquímicos das rochas selecionadas para o presente estudo objetivando, além da caracterização petrográfica propriamente dita, o melhor entendimento dos resultados dos índices físicos (densidade; porosidade e absorção de água) e de exalação do gás radônio fornecidos pelas respectivas rochas.

Os tipos petrográficos estudados são essencialmente silicáticos e englobam as principais variedades de rochas ornamentais e para revestimentos exploradas no Estado do Ceará. As amostras selecionadas, segundo suas denominações comerciais, estão relacionadas na Tabela 5.1 e localizadas nos mapas da Figura 1.1 (Capítulo 1) e da Figura 5.1. Também neste capítulo será dada ênfase à situação geológica dos materiais selecionados.

Tabela 5.1 – Relação das amostras selecionadas e estudadas.

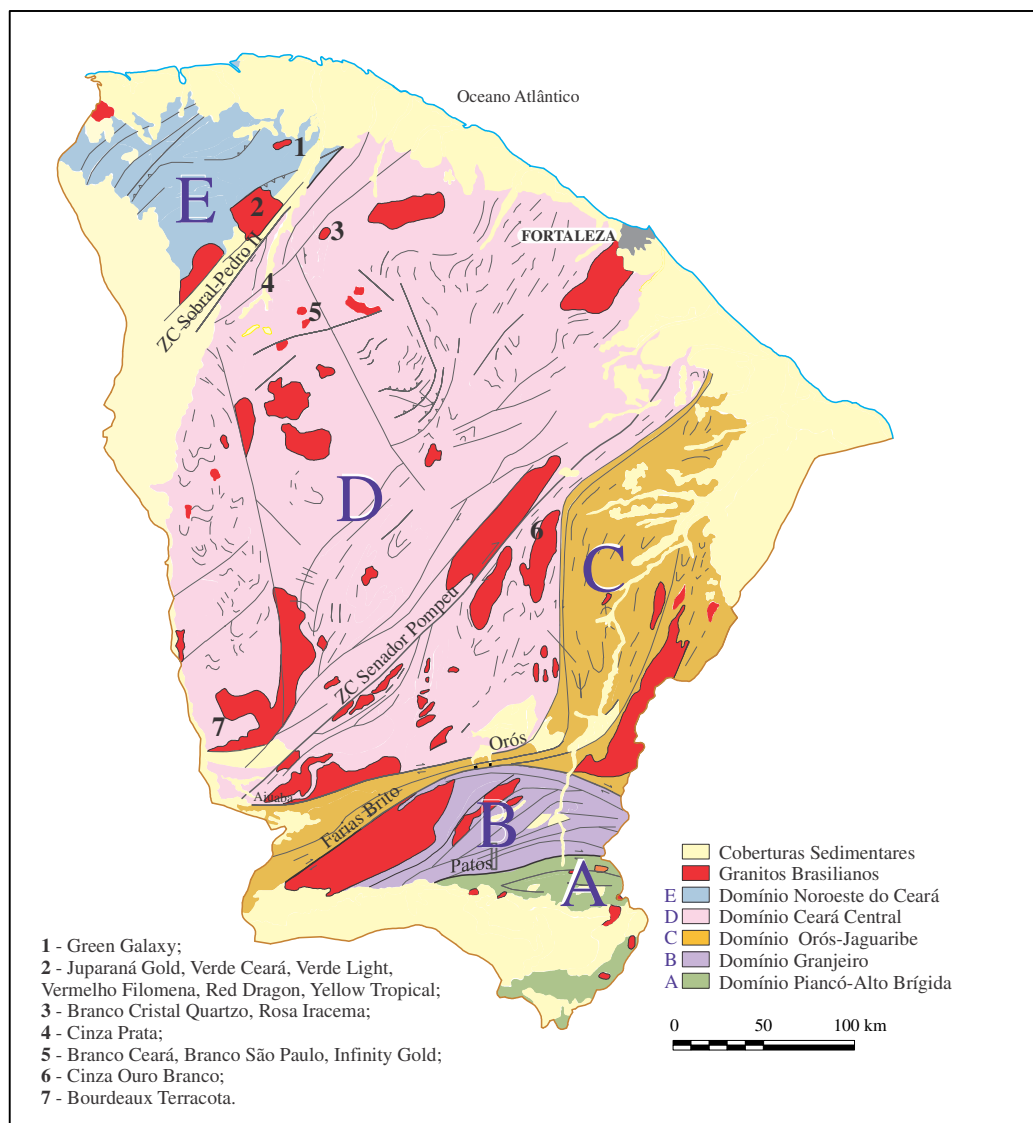
Green Galaxy – GG	Juparaná Gold – JG	Verde Ceará – VC
Verde Light – VL	Vermelho Filomena – VF	Red Dragon – RD
Yellow Tropical – YT	Branco Cristal Quartzo – BCQ	Rosa Iracema – RI
Cinza Prata – CP	Branco Ceará – BC	Branco São Paulo – BSP
Infinity Gold – IG	Cinza Ouro Branco – COB	Bourdeaux Terracota – BT

Fonte: Elaborada pela autora.

5.1 Contexto geológico regional das rochas estudadas

As rochas pesquisadas neste trabalho estão inseridas em dois grandes Domínio Pré-Cambrianos do Estado do Ceará, Domínio Noroeste do Ceará e Domínio Ceará Central (CABY & ARTHAUD, 1986) na porção setentrional da Província Borborema (ALMEIDA et al. 1977) (Figura 5.1). O Domínio Noroeste do Ceará ou Médio Coreauá, está localizado a norte da Zona de Cisalhamento Sobral-Pedro II (Lineamento Transbrasiliano) e ocupa toda a porção NW do Estado do Ceará. O Domínio Ceará Central (DCC) está localizado na região central da porção setentrional da Província Borborema, constituindo uma das unidades litoestratigráficas mais extensas com cerca de 80.000 km², limitado por duas grandes zonas de cisalhamento, a noroeste pela Zona de Cisalhamento Sobral-Pedro II e a sudeste pela Zona de Cisalhamento Senador Pompeu (Figura 5.1).

Figura 5.1 – Principais Domínios Pré-Cambrianos do Estado do Ceará com a localização das rochas selecionadas para pesquisa.



Fonte: Arthaud et al. (1998).

A Província Borborema, localizada no nordeste do Brasil, compreende uma extensa região geológica de idade pré-cambriana, com aproximadamente 450.000 km², marcada por intenso magmatismo granítico e desenvolvimento de extensas zonas de cisalhamentos transcorrentes (ALMEIDA et al. 1981).

Dados geocronológicos U-Pb e Sm-Nd (DANTAS, 1992, 1997; FETTER, 1999; SANTOS, 1993, 1999) demonstram a atuação de diversos eventos tectônicos na Província Borborema (2,7 Ga; 2,1 Ga; 1,0 Ga; 0,6 Ga), determinando, de acordo com Brito Neves et al. (1995) e Van Schmus et al. (1997), uma evolução policíclica para a Província Borborema.

Fetter et al. (2000), utilizaram elementos estruturais em escala continental para subdividirem a Província Borborema (PB) em três (3) domínios, cujos limites entre os mesmos são marcados por megazonas de cisalhamento: i – Lineamento Trans-Brasiliano (Zona de Cisalhamento Sobral Pedro II); ii – Zona de Cisalhamento Senador Pompeu; e iii – Zona de Cisalhamento de Patos. Portanto, estes elementos subdividem a porção setentrional da PB em: I – Domínio NW Ceará; II – Domínio Ceará Central; e III – Domínio Rio Grande do Norte.

» ***Green Galaxy (GG)***

Trata-se de um ultramilonito quartzo-feldspático que ocorre na região noroeste do Estado do Ceará, mais precisamente no Município de Marco/CE, localizado ao longo da zona de cisalhamento de Água Branca, aflora como um *stock* de forma elíptica com uma área de aproximadamente 30,0 km² (VIDAL et al. 2005).

As zonas de cisalhamento deformaram as bordas do granito, causando forte diminuição do tamanho dos grãos, verificando-se nas porções centrais a presença de milonitos (SANTOS, 1999). Análises U/Pb em zircões desse granito mostram uma idade de cristalização de 574 Ma (SANTOS, 1999).

» ***Juparaná Gold (JG), Verde Ceará (VC), Verde Light (VL), Vermelho Filomena (VF), Red Dragon (RD) e Yellow Tropical (YT)***

Este grupo de rochas pertence ao batólito Granítico Meruoca que situado a noroeste da cidade de Sobral, com uma área de aproximadamente 400 km² de exposição. Em mapa, exhibe forma ligeiramente retangular, limitado a leste pela falha Café-Ipueiras e a noroeste pela falha Contendas, sendo que seus contatos na porção sudoeste, também, são representados por falhas. A parte norte é denominada Serra da Meruoca enquanto que a parte sul é conhecida como Serra do Rosário (BESSA, 2004).

O Granito Meruoca apresenta variações faciológicas, distribuídas em porções isoladas, provocadas por processos metassomáticos e hidrotermais que lhes causam variações na coloração das rochas, que por vezes se tornam verde, amarela, vermelha. Neste trabalho foram estudados 6 tipos petrográficos distintos pertencentes ao granito Meruoca, conhecidos comercialmente como Juparaná Gold, Verde Ceará, Verde Light, Vermelho Filomena, Red Dragon e Yellow Tropical.

A origem do Granito Meruoca tem sido objeto de intensas pesquisas, e de acordo com Sial et al. (1981), através da geoquímica de ETR (Elementos Terra Raras) e observações de

campo, sua origem sugere fusão parcial da crosta continental, com fracionamento e enriquecimento de ETR.

De acordo com Santos (1999) esse corpo granítico apresenta deformações em suas bordas impostas pelas transcorrências que o delimitam, comprovada pelo comportamento plástico observado nos feldspatos, denotando a alta temperatura em que se deu essa deformação.

» *Branco Cristal Quartzo (BCQ) e Rosa Iracema (RI)*

O *stock* granítico Serra do Barriga está localizado na porção NNW do Estado do Ceará, inserido na porção noroeste do Domínio Ceará Central (DCC). Apresenta forma arredondada, de tipo circunscrito anelar, com uma área de aproximadamente 38 km². Datações realizadas utilizando-se o método U/Pb em monazitas, forneceram idade corresponde a $522,2 \pm 7,6$ Ma (MATTOS, 2005).

É caracterizado como um corpo granítico pós-tectônico de caráter polintrusivo, onde são distinguidos diversos tipos faciológicos, com variação na coloração, granulação e proporção mineralógica. Para a presente pesquisa apenas dois tipos graníticos pertencentes ao *stock* granítico Serra do Barriga foram estudados, denominados comercialmente de Branco Cristal Quartzo (BCQ) e Rosa Iracema (RI).

Mattos (2005) classificou os granitos da Serra do Barriga como sendo de natureza cálcio-alcálica alto-K, peraluminosos, cristalizados a partir de magmas originalmente metaluminosos altamente evoluídos.

De um modo geral, os granitos da Serra do Barriga são compostos por cristais inequigranulares de feldspatos alcalinos (microclínio), quartzo e plagioclásios (albita e oligoclásio) de granulação média a grossa, hipidiomórficos, com biotita, clorita e mica branca. Ocorrem termos porfíricos composto por fenocristais de feldspatos alcalinos em meio a uma matriz quartzo-feldspática com biotita (MATTOS, 2005).

» *Cinza Prata (CP)*

Localizado no Município de Cariré/CE, o granodiorito denominado comercialmente de Cinza Prata, está inserido entre duas zonas de cisalhamento, a oeste pela zona de cisalhamento Cariré e a leste pela zona de cisalhamento Groáíras. Faz parte de um conjunto de diversos corpos granitóides como biotita granitos, monzogranitos, sienitos, quartzo-monzonitos e granitos porfíricos, em parte cartografados num mesmo espaço (CPRM, 2003).

A região de Cariré é limitada por diversas zonas de cisalhamento transcorrentes dextrais. Nogueira Neto et al. (1997c), obtiveram por meio de U/Pb em zircão idade de 564 ± 94 Ma, e TDM (Sm/Nd) de 1,73 Ga com $\epsilon\text{Nd}(t)$ 4,06, para os corpos graníticos foliados de Cariré.

» ***Branco Ceará (BC), Branco São Paulo (BSP) e Infinity Gold (IG)***

Estão inseridas no Complexo Migmatítico Santa Quitéria, Domínio Ceará Central (DCC), porção centro-norte do Estado do Ceará, limitado a oeste pela Zona de Cisalhamento Sobral-Pedro II e a leste pela Zona de Cisalhamento Senador Pompeu. Corresponde a uma ampla faixa de rochas graníticas e migmatíticas. São rochas leucocráticas de coloração branca a branca acinzentada e composição álcali-feldspato granito ou albita-granito.

Gomes (2006) classifica os stocks Morrinhos e São Paulo, respectivamente Branco Ceará e Branco São Paulo, como anorogênico tipo-A e de caráter peraluminoso com afinidade subalcalina e típico de ambiente intraplaca (WPG).

Lessa (2001) ao estudar os *stocks* graníticos São Paulo e Morrinhos, definiu através da análise de química mineral o tipo petrográfico albita granito como sendo zinnwaldita-albita granito e o granodiorito rosa como sendo um siderofilita granito. Análises de microsonda revelaram que os plagioclásios presentes nos dois *stocks* graníticos são albitas puras. Conclui ainda que estas rochas são extremamente evoluídas, tendo altos teores de Al_2O_3 , Na_2O , em alguns casos $\text{Na}_2\text{O} \gg \text{K}_2\text{O}$, variação restrita em relação a SiO_2 e muito baixo FeO, MgO, CaO e TiO_2 .

Gomes et al. (1981) descrevem os stocks São Paulo e Morrinhos com sendo corpos de natureza alcalina a subalcalina, leucocráticos de composição granítica a adamelítica, equigranulares, de granulação fina, média e grossa.

» ***Cinza Ouro Branco (COB)***

Localizado no Município de Banabuiú/CE, constitui um maciço alongado segundo as estruturas regionais (LIMA, 2008), delimitado por duas importantes zonas de cisalhamento, a oeste pela Zona de Cisalhamento Senador Pompeu e a leste pela Zona de Cisalhamento Orós, cuja fácies dominante apresenta textura de grã média a fina, aspecto bastante homogêneo, e uma associação mineralógica composta por quartzo, plagioclásio, feldspato potássico e proporções semelhantes de biotita e moscovita. São descritas a presença de *schlieren* biotíticos e enclaves angulosos dos diatexitos encaixantes dispersos na rocha.

Segundo Lima et al. (2010) os valores elevados do índice A/CNK indicam um caráter fortemente peraluminoso, do tipo-S, para o granito de Banabuiú, reforçando a hipótese da gênese a partir da fusão parcial de protólitos metassedimentares. Dados geocronológicos de U-Pb obtidos em zircões do granito Banabuiú revelam uma idade de $578,6 \pm 6,5$ Ma (LIMA et al. 2010).

As idades modelo do granito Banabuiú se situam no mesmo intervalo entre 2.43-2.59 Ga, indicando que podem ter sido gerados por anatexia crustal de materiais metassedimentares paleoproterozóicos, semelhantes aos encontrados no DCC (LIMA, 2008).

» *Bourdeaux Terracota (BT)*

O tipo comercial chamado de Bourdeaux Terracota é um conglomerado polimíctico pertencente à Bacia do Cococi, Grupo Rio Jucá, Formação Angico Torto, que contém conglomerados polimícticos, brechas, arenitos arcossianos, geralmente duros e compactos, por vezes calcíferos, com intercalações de arenitos mais finos, siltitos e argilitos no topo, apresentam tonalidade preferencial entre nacarada e avermelhada (CPRM, 2003).

5.2 Análise Petrográfica

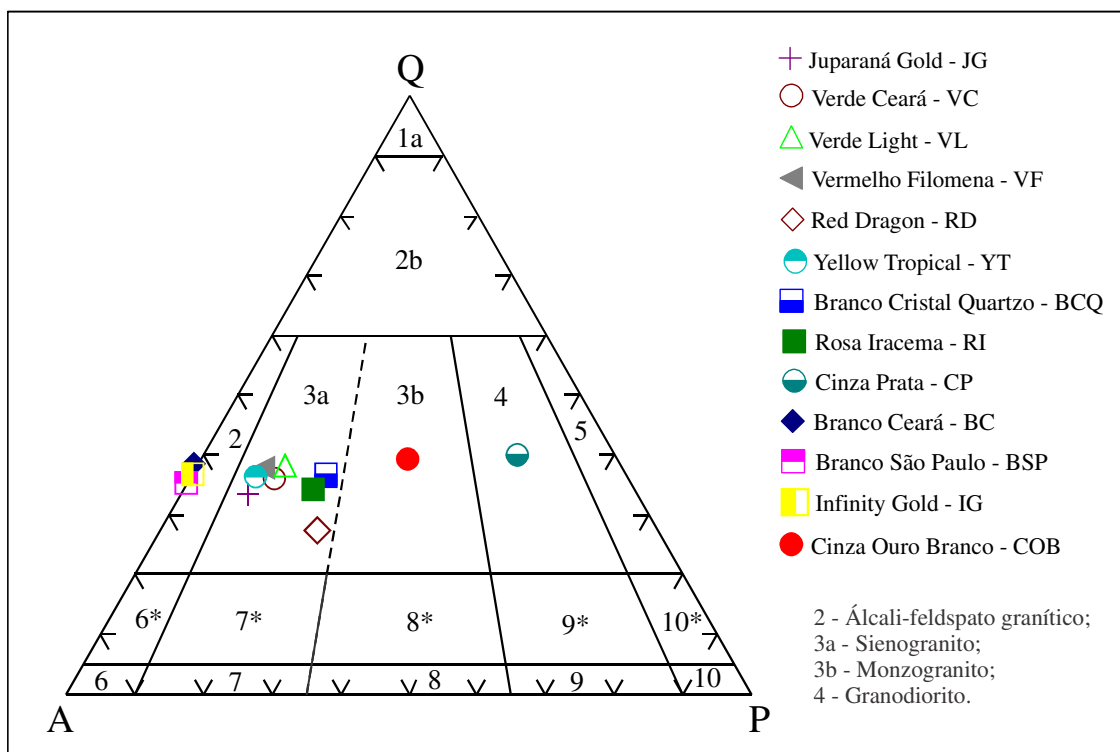
A análise petrográfica é de fundamental importância no reconhecimento e classificação do material pétreo a ser utilizado como rocha ornamental e para revestimento e, conseqüentemente, para a avaliação dos respectivos comportamentos tecnológicos, de alterabilidade e radiométricos.

No caso dos estudos radiométricos, objeto principal do presente trabalho, as principais propriedades petrográficas se relacionam à presença de minerais detentores de elementos radioativos como U e Th, responsáveis pela geração do radônio, e aos aspectos estruturais e texturais que interferem no desenvolvimento da rede porosa interna da rocha de forma a dificultar ou facilitar a difusão do gás radônio com conseqüente escape para o meio exterior. Neste último caso se incluem descontinuidades físicas caracterizadas por planos de foliação, efeitos de brechação e cataclase, microfissuramentos, planos de clivagens relacionados à megacristais com baixa energia de crescimento, interfácies minerais em rochas de granulação grossa a pegmatóide, bem como de processos de transformações minerais, os quais no conjunto acabam por facilitarem a difusão e escape do gás radônio.

Os tipos petrográficos estudados correspondem a variedades de sienogranitos, álcalis-feldspatos granitos, monzogranito e granodiorito, com exceção de um conglomerado

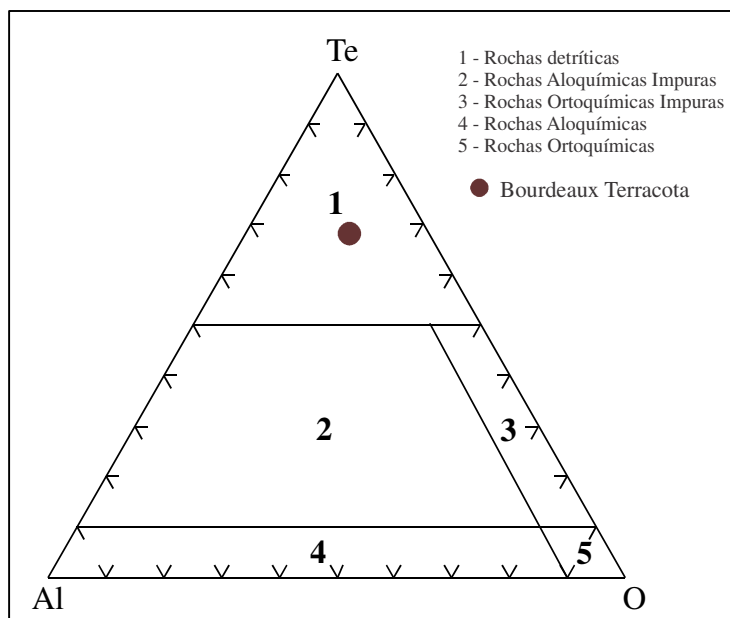
polimítico. A classificação petrográfica para as rochas magmáticas foi determinada pelo diagrama modal QAP proposto pela IUGS (STRECKEISEN, 1976) (Figura 5.2), e corroborada pelo diagrama catiônico $R_1:R_2$ para rochas magmáticas (Figura 5.19). O conglomerado foi classificado de acordo com suas proporções de materiais terrígenos, aloquímicos e ortoquímicos no diagrama de classificação geral de rochas sedimentares (FOLK, 1968) (Figura 5.3)

Figura 5.2 – Diagrama modal QAP com nomenclatura e divisão dos campos segundo Streckeisen (1976).



Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 5.3 – Diagrama triangular de classificação geral das rochas sedimentares de acordo com FOLK (1968).



Fonte: Elaborada pela autora.

A seguir é fornecida a descrição das propriedades petrográficas das rochas estudadas, sendo que a Tabela 5.2, abaixo, traz uma síntese das principais informações composicionais, texturais e estruturais para cada amostra analisada.

Tabela 5.2 – Síntese das principais características petrográficas das amostras estudadas.

Características Petrográficas		AMOSTRAS				
		Green Galaxy GG	Juparaná Gold JG	Verde Ceará VC	Verde Light VL	Vermelho Filomena VF
Mineralogia (%)	Quartzo	26,5	31,0	33,0	35,0	35,0
	Plagioclásio	60,0	6,5	11,4	11,7	9,0
	Feldspato Potássico		53,0	47,0	45,0	48,0
	Biotita	--	5,9	1,5	3,5	2,6
	Hornblenda	--	--	3,0	2,0	2,0
	Fayalita	--	--	0,4	--	--
	Muscovita	--	--	--	--	--
	Opacos	--	0,4	Tr	0,6	0,3
	Apatita	--	Tr	Tr	Tr	Tr
	Titanita	Tr	--	0,2	Tr	Tr
	Allanita	Tr	--	Tr	Tr	Tr
	Zircão	Tr	0,2	0,4	0,2	0,2
	Fluorita	--	0,5	0,4	0,5	0,4
	Iddingsita	--	--	0,7	--	--
	Clorita, sericita/muscovita, epidoto, carbonatos, óxidos/hidróxidos de ferro, argilominerais	13,5	2,5	2,0	1,5	2,5
Minerais Pesados (%)	13,5	9,5	8,6	8,3	8,0	
Estrutura	milonítica		isotrópica	isotrópica	isotrópica	isotrópica
Textura	inequigranular		inequigranular	inequigranular	inequigranular	inequigranular
Granulação (mm)	variação	0,1 – 15,0	0,3 – 15,0	0,3 – 25,0	0,2 – 25,0	0,2 – 12,0
	predominância	0,2 – 0,4	1,0 – 10,0	4,0 – 10,0	3,0 – 6,0	2,0 – 4,5
Microfissuras/mm ²	1,2		0,68	0,55	0,25	0,25
Microfissuras (%)	Intragrãos Preenchidas	20,3	49,2	55,3	25,0	22,9
	Intragrãos Não Preenchidas	10,0	31,2	21,7	54,3	62,6
	Intergrãos Preenchidas	64,3	7,0	11,1	8,6	6,1
	Intergrãos Não Preenchidas	5,4	12,6	11,9	12,1	8,4
Alteração Mineral	Feldspato Potássico	Moderada	Moderada	Moderada	Fraca a Moderada	Moderada
	Plagioclásio	Moderada	Fraca a Moderada	Fraca a Moderada	Moderada	Moderada
	Biotita	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada
Contatos (%)	Planos	4	13	5	11	12
	Serrilhados	61	39	48	47	48
	Côncavo-convexos	37	48	47	42	40
Classificação Petrográfica (QAP)	Ultramilonito quartzo-feldspático	Ortoclásio sienogranito	Ortoclásio sienogranito c/ hornblenda e fayalita	Ortoclásio sienogranito c/ hornblenda	Ortoclásio sienogranito c/ hornblenda	

Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela 5.2 – Síntese das principais características petrográficas das amostras estudadas (continuação).

Características Petrográficas		AMOSTRAS				
		Red Dragon RD	Yellow Tropical YT	Branco Cristal Quartzo BCQ	Rosa Iracema RI	Cinza Prata CP
Mineralogia (%)	Quartzo	25,0	34,0	34,0	31,0	35,0
	Plagioclásio	21,0	6,1	18,0	17,1	40,0
	Feldspato Potássico	45,0	52,0	40,0	42,0	12,2
	Biotita	--	1,3	5,0	6,0	8,0
	Hornblenda	--	2,5	Tr	0,5	2,0
	Fayalita	--	0,5	--	--	--
	Muscovita	--	--	--	--	--
	Opacos	Tr	0,4	0,4	0,3	Tr
	Apatita	Tr	0,2	Tr	0,3	0,5
	Titanita	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr
	Allanita	--	Tr	Tr	Tr	Tr
	Zircão	Tr	0,2	0,2	0,3	0,3
	Fluorita	--	--	0,4	Tr	--
	Iddingsita	--	1,0	--	--	--
	Clorita, sericita/muscovita, epidoto, carbonatos, óxidos/hidróxidos de ferro, argilominerais	9,0	1,8	2,0	2,5	2,0
Minerais Pesados (%)	9,0	7,9	8,0	9,9	12,8	
Estrutura	maciça	isotrópica	isotrópica	isotrópica	isotrópica	
Textura	inequigranular	inequigranular	inequigranular	inequigranular	fanerítica	
Granulação (mm)	variação	0,2 – 25,0	0,4 – 15,0	0,5 – 35,0	0,5 – 35,0	0,2 – 25,0
	predominância	0,3 – 10,0	1,0 – 3,5	2,0 – 5,0	5,0 – 15,0	3,0 – 8,0
Microfissuras/mm ²		1,1	0,71	0,35	0,25	0,39
Microfissuras (%)	Intragrãos Preenchidas	26	30,9	26,6	43,4	54,7
	Intragrãos Não Preenchidas	35	50,5	62,0	38,9	22,7
	Intergrãos Preenchidas	17,5	6,5	2,5	5,0	15,6
	Intergrãos Não Preenchidas	21,5	12,1	8,9	12,7	7,0
Alteração Mineral	Feldspato Potássico	Moderada a Alta	Moderada	Fraca	Fraca	Fraca
	Plagioclásio	Moderada a Alta	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada
	Biotita	Moderada a Alta	Moderada	Moderada	Moderada	Fraca
Contatos (%)	Planos	4	6	12	17	18
	Serrilhados	47	48	52	54	38
	Côncavo-convexos	49	46	36	29	44
Classificação Petrográfica (QAP)	Sienogranito Brechóide	Ortoclásio sienogranito c/ hornblenda e fayalita	Sienogranito com hornblenda	Sienogranito com hornblenda	Granodiorito com hornblenda	

Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela 5.2 – Síntese das principais características petrográficas das amostras estudadas (continuação).

Características Petrográficas		AMOSTRAS				
		Branco Ceará BC	Branco São Paulo BSP	Infinity Gold IG	Cinza Ouro Branco COB	Bourdeaux Terracota BT
Mineralogia (%)	Quartzo	33,5	32,0	35,0	36,0	36
	Plagioclásio	35,0 (albita)	45,0 (albita)	60 (albita)	27,5	10
	Feldspato Potássico	23	13,9	--	28,0	46,6
	Biotita	--	--	5,0	4,0	--
	Hornblenda	--	--	--	--	--
	Muscovita	1,5	3,0	Tr	3,5	2,0
	Zinnwaldita	4,0	4,5	--	--	--
	Opacos	Tr	Tr	--	Tr	0,5
	Apatita	Tr	0,2	--	Tr	0,5
	Titanita	--	--	--	--	--
	Allanita	--	--	--	--	0,4
	Zircão	0,5	Tr	--	Tr	Tr
	Fluorita	1,5	0,5	--	--	--
	Topázio	0,5	0,4	--	--	--
	Clorita, sericita/muscovita, epidoto, carbonatos, óxidos e hidróxidos de ferro, argilominerais		0,5	0,5	Tr	1,0
Minerais Pesados (%)		8,5	9,1	5,0	8,5	7,4
Estrutura		isotrópica	isotrópica	isotrópica	isotrópica	maciça
Textura		inequigranular	inequigranular	pegmatítica	inequigranular	clástica
Granulação (mm)	variação	1,0 – 7,0	0,2 – 3,5	0,4 – 100,0	0,1 – 5,0	0,2 – 60,0
	predominância	3,0 – 5,0	0,3 – 0,7	0,8 – 15,0	0,3 – 2,0	0,1 – 2,5
Microfissuras/mm ²		0,18	0,20	1,3	0,38	0,53
Microfissuras (%)	Intragrãos Preenchidas	22,5	10,6	17,4	16,6	18,3
	Intragrãos Não Preenchidas	61,2	83,0	30,4	74,5	45,2
	Intergrãos Preenchidas	2,0	2,1	8,7	4,0	15,0
	Intergrãos Não Preenchidas	14,3	4,3	43,5	4,9	21,5
Alteração Mineral	Feldspato Potássico	Moderada	Incipiente	Alta	Moderada	Moderada
	Plagioclásio	Incipiente	Incipiente	Alta	Moderada	Fraca a Moderada
	Biotita	Incipiente	Incipiente	Alta	Moderada	Incipiente
Contatos (%)	Planos	5	8	32	11	15
	Serrilhados	75	86	30	58	50
	Côncavo-convexos	20	6	38	31	35
Classificação Petrográfica (QAP)		Microclínio-albita Granito	Microclínio-albita Granito	Pegmatito granítico brechóide	Monzogranito com muscovita e biotita	Conglomerado Polimíctico

Fonte: Elaborada pela autora.

5.2.1 Green Galaxy (Ultramilonito quartzo-feldspático brechado)

A variedade Green Galaxy estudada corresponde a um ultramilonito quartzo-feldspático de coloração verde acinzentada contendo faixas descontínuas com tonalidades esverdeadas que vai de um verde musgo a verde escuro, imprimindo um aspecto ligeiramente movimentado à rocha polida. (Figura 5.4; Foto A). A estrutura geral é foliada, de natureza ultramilonítica, de aspecto ligeiramente anastomosado em virtude da presença de faixas com diferentes intensidades no grau de cuminação mineral. As faixas mais intensamente milonitizadas são predominantes e apresentam granulação extremamente fina, micrométrica, contendo raros clastos alongados de quartzo e feldspatos. As faixas ou porções alongadas pouco menos deformadas que se intercalam com as faixas ultramiloníticas apresentam textura milonítica a protomilonítica com granulação geral pouco mais grossa, mas submilimétrica, com frequentes clastos alongados de quartzo e feldspatos fragmentados que podem atingir dimensões com cerca de 15,0 mm e que se destacam na superfície polida da rocha.

A intensa milonitização da rocha dificulta uma avaliação mais precisa da proporção entre os minerais constituintes, principalmente em relação aos tipos de feldspatos presentes. Em termos gerais está constituída por cerca de 60% de feldspato potássico e plagioclásio (com predominância de feldspato potássico), 26,5% de quartzo, 7% de clorita, 4,5% de epidoto, 0,5% de carbonatos e 1,5% de óxidos e hidróxidos de ferro de aspecto pulverulento, além de traços de zircão, titanita e allanita.

A intensidade de microfissuramento é considerada alta, com aproximadamente 1,2 microfissuras/mm². As microfissuras predominantes são do tipo intergranulares e/ou transgranulares com 69,7%, as do tipo intragrãos compõem cerca de 30,3%. Do total de microfissuras 64,3% são intergranulares preenchidas e somente 20,3% das microfissuras são intragranulares com preenchimento. Em lâmina delgada as dimensões das microfissuras variam desde milimétricas até 12 mm, com predominância de 2,5 mm a 8,0 mm.

Em amostra de placa polida com dimensões de 30 cm x 30 cm, são observadas fraturas transversais e mesmo normais à foliação milonítica cujas dimensões variam de 3,0 cm a 30,0 cm, com predomínio de 8,0 cm a 15,0 cm, abertas e totalmente preenchidas por fina massa pulverulenta contendo epidoto, algum carbonato e rara clorita. Estas fraturas são superimpostas à foliação milonítica, frequentemente caracterizadas por microdeslocamentos ao longo de seus planos, podendo, em alguns casos, constituir microfalhas com deslocamento maior que 1,0 cm.

Os contatos minerais são irregulares, com grãos bastante fraturados, porções microgranuladas de quartzo, marcados pela forte deformação sofrida pela rocha. Predominam contatos do tipo serrilhados e côncavo-convexos, os contatos planos aparecem de forma restrita.

A alteração mineral é discreta, denotada pela fraca sericitização dos feldspatos e pela disseminação de óxidos e hidróxidos de ferro ao longo de fraturas e microfissuras.

O **feldspato potássico** é o mineral de maior predominância na rocha, formando uma massa de granulação fina. Localmente constitui clastos alongados a laminados fragmentados, muitas vezes rotados, com tamanhos variando desde milimétricos até 6,0 mm. Os contatos com os demais minerais são tanto planares quanto irregulares.

O **quartzo** constitui faixas microgranuladas podendo ou não exibir texturas poligonizadas, com frequentes extinções ondulantes. Os clastos de quartzo são relativamente raros e apresentam dimensões variadas, desde milimétricos até 10,0 mm, intensamente microfissurados. As microfissuras são predominantemente abertas e preenchidas por clorita, epidoto e alguns carbonatos cimentados por fina massa de óxidos e hidróxidos de ferro (Figura 5.4; Fotomicrografia B).

Os clastos de **plagioclásio** permitem caracterizá-lo como oligoclásio, marcados por intensa cuminuição e pela geminação polissintética um pouco encurvada (Figura 5.4; Fotomicrografia C).

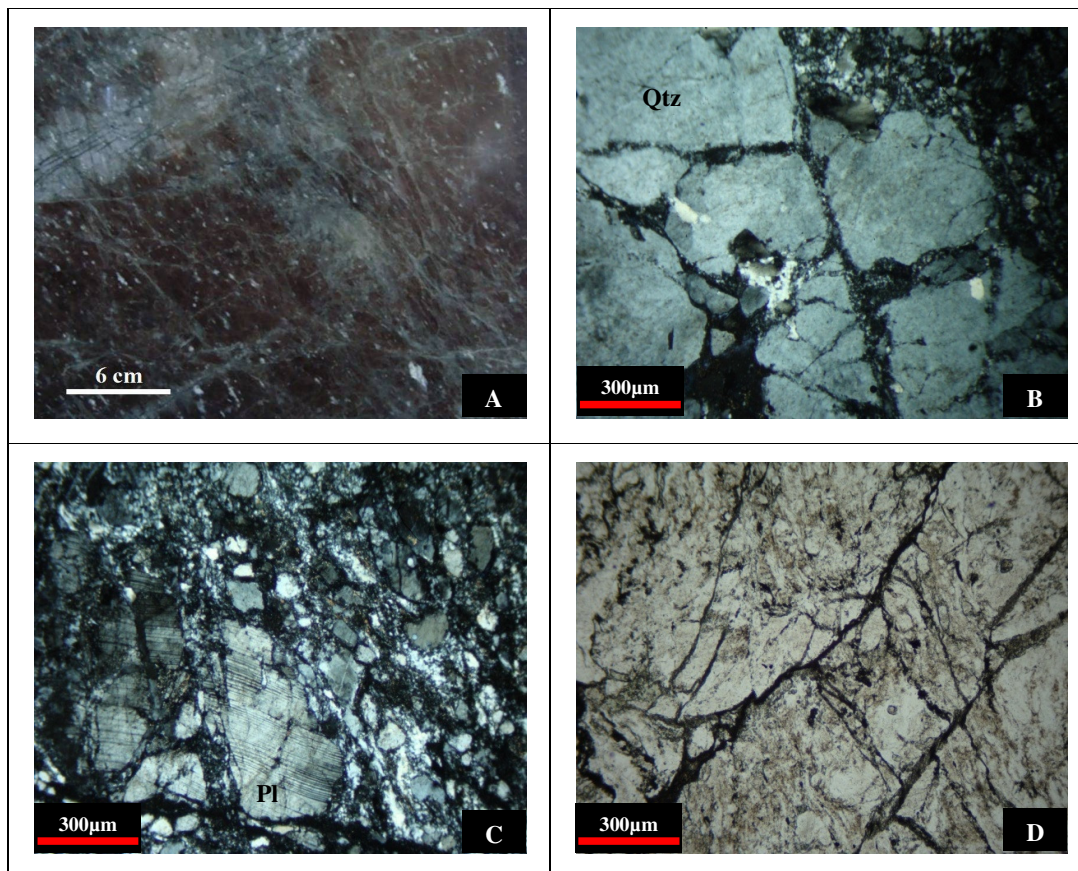
O **epidoto** aparece na forma de grãos ultraminúsculos (micrométricos) disseminados pela rocha e como principal componente no preenchimento das microfissuras e fissuras mais desenvolvidas, ocasiões em que se tornam mais facilmente identificáveis sob o microscópio. Considera-se que é um dos minerais, juntamente com a clorita, responsável pela tonalidade esverdeada da rocha.

A **clorita** constitui finos agregados de fiapos disseminados pela massa quartzo-feldspática, e comumente como componente no preenchimento das fissuras mais desenvolvidas.

Os **carbonatos** ocorrem dispersos e mais comumente em microfissuras e fissuras. Os **óxidos e hidróxidos de ferro** desenvolvem fina massa pulverulenta junto com epidoto e clorita ao longo de planos de microfissuras (Figura 5.4; Fotomicrografia D).

A **titanita** e raros grãos de **allanita** fragmentados também são esparsamente verificados, bem como minúsculos cristais de zircão.

Figura 5.4 – (A) Foto da placa polida do ultramilonito Green Galaxy; (B) Fotomicrografia de grão de quartzo com microfissuras em várias direções (LO); (C) Fotomicrografia exibindo plagioclásio com leve encurvamento e todo fraturado (LO); (D) Fotomicrografia mostrando óxidos e hidróxidos de ferro preenchendo microfissuras (LNP).



Legenda: Qtz – Quartzo; Pl – Plagioclásio; LO – Luz Ortoscópica; LNP – Luz Natural Polarizada.
Fonte: Elaborada pela autora.

5.2.2 Juparaná Gold (Ortoclásio sienogranito)

A variedade estudada apresenta cor amarelada creme, com pontuações pretas compostas por agregados de biotita (Figura 5.5; Foto A). Exibe estrutura isotrópica e textura fanerítica inequigranular hipidiomórfica de granulação média a média-grossa. A granulação varia de 0,3 mm até 15,0 mm, com predominância entre 1,0 mm e ao redor de 10,0 mm.

A mineralogia é formada por feldspato potássico (53%), quartzo (31%), plagioclásio (6,5%), biotita (5,9%) e pelos acessórios: fluorita (0,5%), opacos (0,4%), zircão (0,2%) e traços de apatita. Os minerais secundários correspondem a aproximadamente 2,5% e estão representados por sericita, clorita, epidoto, carbonatos, óxidos e hidróxidos de ferro e argilominerais como produto dos feldspatos.

A intensidade das microfissuras é considerada média por apresentar aproximadamente 0,68 microfissuras/mm². Das microfissuras presentes 80,4% são do tipo intragranulares, 19,6% são intergranulares e/ou transgranulares. Do total de microfissuras 49,2% são intragranulares preenchidas enquanto apenas 7% das intergranulares apresentam preenchimento. Apresentam dimensões médias variando de 0,5 mm a 5,0 mm, com predominância de 1,0 mm a 2,0 mm. O mineral que apresenta o maior número de microfissuras é o quartzo.

A maior parte dos contatos é do tipo côncavo-convexos e serrilhados, dando um bom engrenamento mineral à rocha, mas também apresenta contatos planos.

Rocha medianamente alterada, argilizada e de aspecto intempérico, com sericitização de feldspatos e cloritização das biotitas.

O **feldspato potássico**, representado por ortoclásio mesopertítico, é o mineral mais frequente e com as maiores dimensões, podendo superar a casa de 1,5 cm. No geral os cristais encontram-se pouco sericitizados e parcialmente afetados por processos de argilização. Apresenta baixo grau de microfissuramento, e quando presente está preenchido por sericita e algum óxido e hidróxido de ferro. Exibe frequentes inclusões de quartzo e mais raramente cristais de oligoclásio interpenetrados (Figura 5.5; Fotomicrografia D).

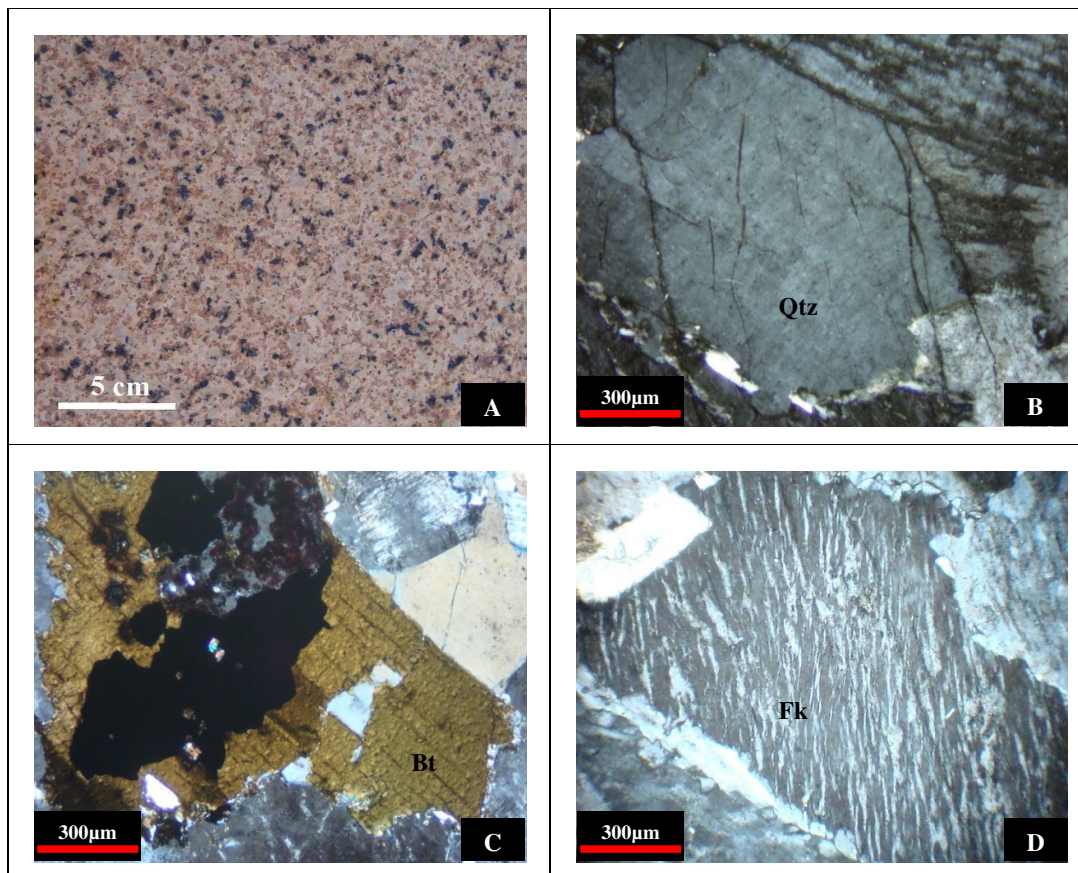
O **quartzo** ocorre preferencialmente em agregados com formatos irregulares e com dimensões variadas, desde milimétrica a mais de 10,0 mm, com contatos marcadamente interpenetrados com os cristais de ortoclásio. A granulação dos agregados quartzosos é variável, oscilando de submilimétrica a mais de 2,5 mm. Os contatos entre os cristais dos agregados mostram-se relativamente frouxos, frequentemente delimitados por fina massa pulverulenta de óxidos e hidróxidos de ferro, albita e por vezes sericita. A intensidade de

microfissuramento é predominantemente intragrãos, por vezes intergrãos cortando a maior extensão dos agregados, e com preenchimentos por feldspato (albita?) e óxidos e hidróxidos de ferro (Figura 5.5; Fotomicrografia B). Também ocorre como cristais isolados de menores dimensões ou mesmo inclusos ou interpenetrados nos cristais maiores de ortoclásio.

O **plagioclásio** representado pelo oligoclásio é bastante restrito, e constitui cristais subédricos tabulares com bordas pouco corroídas e quase sempre com nítida geminação polissintética. Apresentam dimensões bastante inferiores as do ortoclásio, entre 0,4 mm e 2,6 mm. Mostram forte zoneamento composicional, cujos núcleos podem exibir moderada a intensa saussuritização.

Os **minerais acessórios** são representados pela biotita, zircão, opacos, fluorita, apatita. A biotita forma agregados desde milimétricos até 4,0 mm, apresenta pleocroísmo pálido a marrom desbotado, bordas corroídas, planos de clivagem abertos e preenchidos por óxidos e hidróxidos de ferro, com zircão e fluorita sempre associados. O zircão, apatita e a fluorita sempre aparecem associados a biotita (Figura 5.5; Fotomicrografia C).

Figura 5.5 – (A) Foto da placa polida do sienogranito Juparaná Gold; (B) Fotomicrografia de grão de quartzo fraturado em contato com feldspato alcalino (LO); (C) Fotomicrografia de biotita tabular com zircão, fluorita e apatita (LO); (D) Fotomicrografia de feldspato potássico exibindo textura mesopertítica bastante evoluída, chegando a formar pequenos veios (LO).



Legenda: Qtz – Quartzo; Bt – Biotita; Fk – Feldspato Potássico; LO – Luz Ortoscópica.
Fonte: Elaborada pela autora.

5.2.3 Verde Ceará (*Ortoclásio sienogranito com hornblenda e fayalita*)

A variedade Verde Ceará estudada corresponde a um granitóide de coloração verde acinzentada com gradações para verde claro com estrutura isotrópica e granulação média a média-grossa, de aspecto estético bastante homogêneo. A textura é fanerítica marcadamente inequigranular, hipidiomórfica, com granulação média oscilando de 3,0 mm a 25,0 mm, com predominância entre 4,0 mm e 10,0 mm. O feldspato potássico representa o mineral predominante e com as maiores dimensões, com formas variadas, podendo ser prismáticos, quadráticos ou alongados normalmente com bordas irregulares e interpenetradas por cristais de quartzo (Figura 5.6; Foto A).

A mineralogia é composta por feldspato potássico (47%), quartzo (33%), plagioclásio (11,4%), anfibólio (3,0%), biotita (1,5%), além dos acessórios: zircão (0,4%), fluorita (0,4%), fayalita (0,4%), titanita (0,2%), e traços de opacos, allanita e apatita. Os minerais secundários chegam a cerca de 2,5%, sendo que a iddingsita corresponde a 0,7%, além de epidoto, clorita, sericita/muscovita, óxidos e hidróxidos de ferro e efeitos de argilização sobre feldspatos.

A intensidade do microfissuramento é classificada como média com aproximadamente 0,55 microfissuras/mm², apresentando 77% de microfissuras intragranulares e 23% de intergranulares e/ou transgranulares. Do total de microfissuras 55,3% são intragranulares preenchidas e apenas 11,1% são intergranulares com algum preenchimento. As microfissuras apresentam dimensões variando de 0,3 mm a 5,0 mm, com predomínio de 1,0 mm a 2,0 mm.

Os contatos são na maioria do tipo serrilhados e côncavo-convexos, favorecendo um bom entrelaçamento mineral, o que pode proporcionar boa resistência físico-mecânica à rocha.

O grau de alteração mineral é fraco a moderado e se deve a cloritização da biotita, transformação da hornblenda em biotita e clorita com liberação de óxidos de ferro e saussuritização de alguns grãos de plagioclásio.

O **feldspato potássico** presente é o ortoclásio com borda mesoperítica. Microscopicamente observam-se bordas bastante irregulares, marcada pela interpenetração de minúsculos cristais de quartzo e menos frequentemente de plagioclásio e biotita, produzindo típica feição denteada ou de interpenetração mineral. Também exhibe frequentes microinclusões de cristais de quartzo, plagioclásio e por vezes biotita e mesmo hornblenda. Os efeitos de sericitização são relativamente discretos. As microfissuras são pouco desenvolvidas, mais comuns nos cristais com as maiores dimensões, normalmente abertas e preenchidas por sericita e às vezes contendo clorita e algum epidoto.

O **quartzo** se apresenta preferencialmente como agregados com disposição e dimensões variadas, desde subcentimétricas até centimétricas (podendo ultrapassar a casa dos 25,0 mm), mais ou menos interligados entre si de forma a desenvolver uma rede quartzosa que envolve os demais minerais. As dimensões dos grãos integrantes dos agregados oscilam de 2,0 mm a 3,0 mm a mais de 5,0 mm, com discreta extinção ondulante e contatos relativamente frouxos entre si, podendo conter sericita, clorita e óxidos e hidróxidos de ferro (Figura 5.6; Fotomicrografia C). Além de agregados, também se apresentam, com certa frequência, inclusos nos cristais maiores de ortoclásio. No geral são pouco microfissurados, predominantemente do tipo intragrãos.

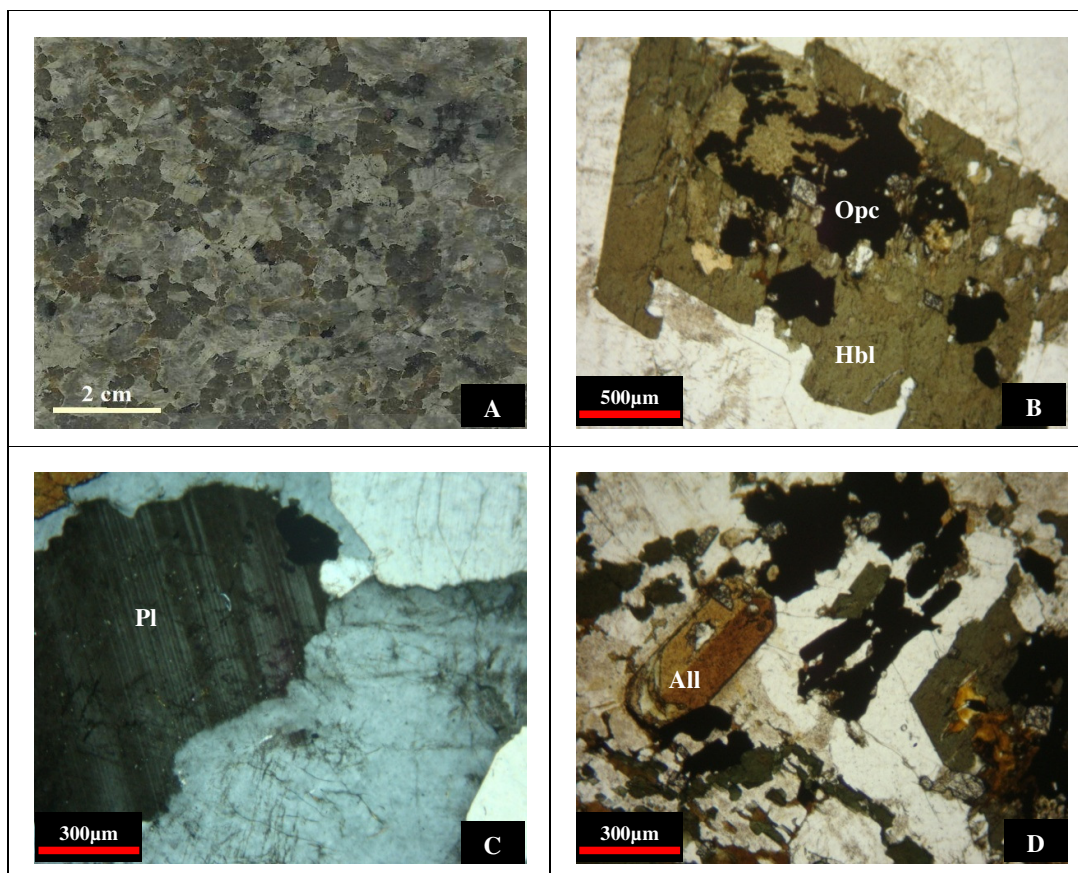
O **plagioclásio** é o oligoclásio sob forma de cristais subedrais a anedrais marcadamente zonados com dimensões variando de 0,6 mm a 2,1 mm e fortemente saussuritizados. Exibem geminações polissintética do tipo albita-Carlsbad e periclíneo, frequentemente inclusos em cristais maiores de ortoclásio. Contém certa riqueza em inclusões de zircão e por vezes alguma titanita e allanita. Exibe microfissuras preenchidas pelos próprios produtos de alteração como sericita, muscovita e carbonatos. Alguns cristais apresentam finas lamelas de muscovita em seu núcleo como produto do intenso processo de saussuritização (Figura 5.6; Fotomicrografia C).

O **anfíbólio** presente está representado pela hornblenda sob a forma de agregados de cristais subedrais a anedrais de dimensões submilimétricas a 5,0 mm, por vezes parcialmente biotitizados (Figura 5.6; Fotomicrografia B). Aos agregados de hornblenda se associam cristais de minerais opacos, zircão, titanita, allanita e frequentemente fayalita parcial a totalmente transformada para hornblenda e iddingsita.

A **biotita** aparece um pouco cloritizada, em meio a óxidos e minerais opacos, apresenta cristais anedrais de formas e contatos irregulares com outros grãos.

Como **minerais acessórios** ocorrem apatita, titanita, allanita, zircão, fluorita e opacos, além da fayalita que se mostra parcial a totalmente transformada para iddingsita e alguma ferrohastingsita. O zircão aparece bem desenvolvido e associado à biotita, a apatita surge inclusa em alguns grãos de plagioclásio.

Figura 5.6 – (A) Foto da placa polida do sienogranito Verde Ceará; (B) Fotomicrografia mostrando cristal prismático de hornblenda com inclusões de minerais opacos (LNP); (C) Fotomicrografia de plagioclásio com geminação do tipo albita (LO); (D) Fotomicrografia exibindo grão de allanita bem desenvolvida (LO).



Legenda: Opc – Opacos; Hbl – Hornblenda; Pl – Plagioclásio; All – Allanita; LO – Luz Ortoscópica; LNP – Luz Natural Polarizada.

Fonte: Elaborada pela autora.

5.2.4 Verde Light (Ortoclásio sienogranito com hornblenda)

A variedade Verde Light estudada corresponde a um sienogranito de coloração esverdeada bem clara, com tons rosados devido à presença de cristais de quartzo com presença de hidróxidos de ferro (Figura 5.7; Foto A). Apresenta estrutura isotrópica e textura fanerítica ligeiramente equigranular, hipidiomórfica, média a média-grossa. A granulação média oscila de 0,2 mm a cerca de 25,0 mm, com predominância entre 3,0 mm e 6,0 mm.

Sua mineralogia é formada por feldspato potássico (45%), quartzo (35%), plagioclásio (11,7%), biotita (3,5%), hornblenda (2,0%) e pelos acessórios opacos (0,6%), zircão (0,2%), fluorita (0,5%) e traços de allanita, titanita e apatita. Como minerais secundários ocorrem sericita, epidoto, clorita, tremolita-actinolita, óxidos e hidróxidos de ferro e algum argilomineral, perfazendo, no total, ao redor de 1,5%.

A intensidade de microfissuramento é considerada baixa com aproximadamente 0,25 microfissuras/mm². Predominam microfissuras do tipo intragranulares com 79,3% e apenas 20,7% são intergranulares. Do total de microfissuras 25% são intragranulares preenchidas e somente 8,6% são intergranulares com algum preenchimento. As dimensões da microfissuras variam de 0,4 mm a 3,0 mm, com predominância de 1,3 mm a 2,2 mm. O mineral que apresenta mais microfissuras é o quartzo, quase sempre com fraturas abertas e preenchidas por óxidos e hidróxidos de ferro.

Os contatos minerais são na maioria serrilhados e côncavo-convexos, e menos comumente do tipo plano, caracterizando um bom entrelaçamento mineral sugerindo boa resistência físico-mecânica a rocha.

A alteração mineral é considerada fraca a moderada e fica por conta da cloritização da biotita, sericitização de feldspatos e também pela presença de óxidos e hidróxidos de ferro que precipitam nas microfissuras dos minerais especialmente dos cristais de quartzo. Destaca-se, ainda, um evidente processo de transformação parcial de cristais de plagioclásio para feldspato potássico e biotitização da hornblenda.

O **feldspato potássico** está representado pelo ortoclásio mesopertítico e representa o mineral mais frequente e com as maiores dimensões. As texturas mesopertíticas são bastante evoluídas, dos tipos fios, veios e manchas (Figura 5.7; Fotomicrografia B), podendo, ainda exibir bordas albíticas nos contatos com outros grãos de feldspatos potássicos. A sericitização é discreta, mostrando, entretanto, certo aspecto de sujidade devida a um processo de argilização superimposta.

O **quartzo** ocorre em pequenos agregados entre os cristais de feldspato potássico, localmente interligados. Estes agregados atingem dimensões normalmente inferiores a 1,0 cm, com formatos bastante irregulares, constituídos por grãos de quartzo anédricos de dimensões submilimétricas a até 3 a 4 mm com contatos planares frequentemente contendo fina massa pulverulenta escura (óxidos e hidróxidos de ferro e argilominerais?). Apresentam mediano grau de microfissuramento intragrãos com planos igualmente preenchidos por fina massa pulverulenta de cor escura a avermelhada, provavelmente responsável pela cor creme acastanhada observada macroscopicamente (Figura 5.7; Fotomicrografia D).

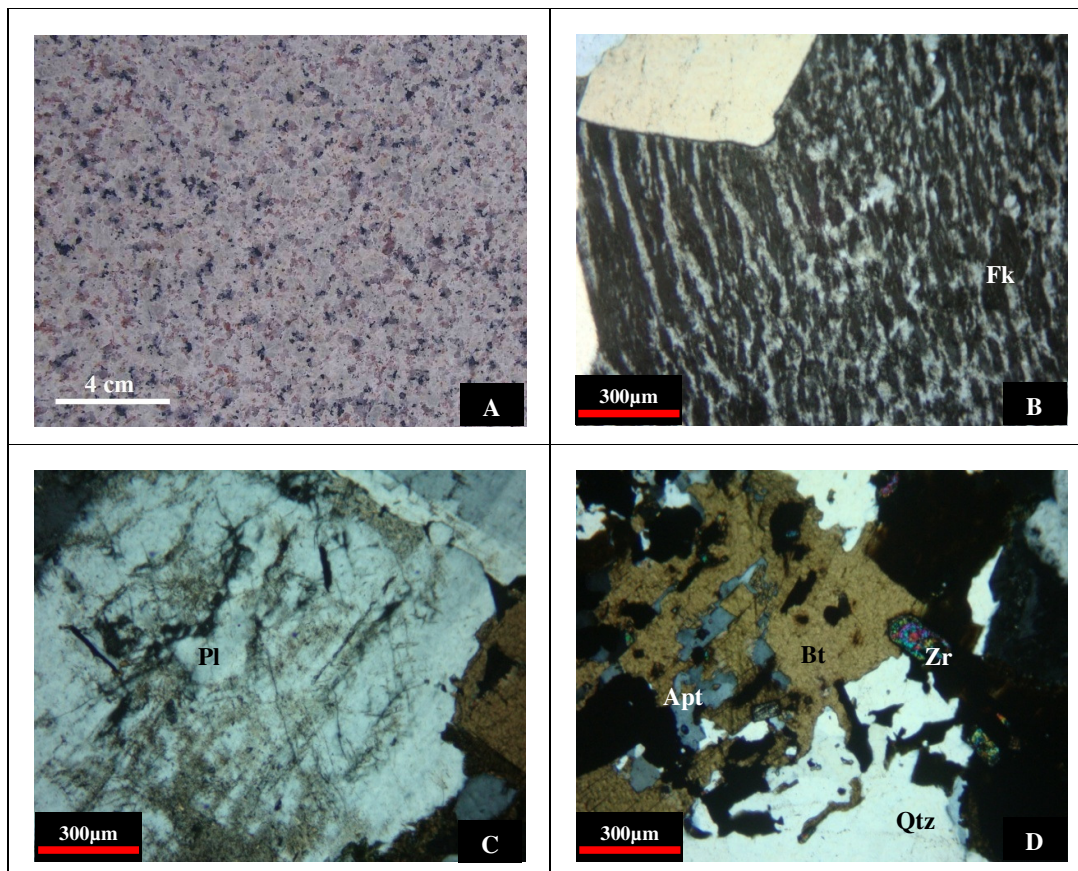
O **plagioclásio** corresponde ao oligoclásio com típica geminação polissintética. São pouco expressivos, com cristais desde subédricos a anedrais, com dimensões médias variando de 0,5 mm a 2,0 mm, parcial a fortemente saussuritizados. No geral apresentam contatos planos e/ou côncavo-convexos com grãos de quartzo e denteados com feldspatos potássicos (Figura 5.7; Fotomicrografia C).

A **biotita** aparece geralmente associada a minerais opacos, apresenta formas tabulares e esqueléticas de dimensões que variam entre 0,2 mm e 1,3 mm, com aspecto áspero, manchamento provocado pela presença de óxidos, bordas corroídas em processo de alteração para clorita e por vezes preenchendo microfissuras (Figura 5.7; Fotomicrografia D).

O anfibólio presente é a **hornblenda** e ocorre de forma discreta, aparentemente relacionada à microenclaves. Forma cristais com discreto pleocroísmo verde mascarado por forte transformação para biotita e associada à fina massa de temolita-actinolita e mesmo clorita.

Como **minerais acessórios** ocorrem opacos, fluorita, zircão, e ainda traços de allanita, titanita e apatita. O zircão sempre associado à biotita (Figura 5.7; Fotomicrografia D).

Figura 5.7 – (A) Foto da placa polida do sienogranito Verde Light; (B) Fotomicrografia de feldspato potássico mesopertítico formando veios (LO); (C) Fotomicrografia de plagioclásio ao centro se transformando em feldspato alcalino (LO); (D) Fotomicrografia exibindo biotita com inclusões de zircão e apatita (LO).



Legenda: Fk – Feldspato potássico; Pl – Plagioclásio; Apt – Apatita; Bt – Biotita; Zr – Zircão; Qtz – Quartzo; LO – Luz Ortoscópica.

Fonte: Elaborada pela autora.

5.2.5 Vermelho Filomena (*Ortoclásio sienogranito com hornblenda*)

A variedade Vermelho Filomena corresponde a um sienogranito de coloração avermelhada, dada pela predominância de cristais de feldspatos potássicos pigmentados por óxidos de ferro, com pequenas porções esbranquiçadas enriquecidas em quartzo e plagioclásio e por pontuações pretas de biotita (Figura 5.8; Foto A). Apresenta estrutura isotrópica e textura fanerítica pouco inequigranular, hipidiomórfica, média a média-grossa. A granulação média oscila de 0,2 mm a 12,0 mm, com predominância de 2,0 mm a 4,5 mm.

Mineralogicamente é formada por feldspato potássico (48%), quartzo (35%), plagioclásio (9,0%), biotita (2,6%), hornblenda (2,0%) além de fluorita (0,4%), opacos (0,3%), zircão (0,2%) e traços de apatita, allanita e titanita. Os minerais secundários perfazem cerca de 2,5%, representados por clorita, tremolita-actinolita, carbonatos, sericita, óxidos e hidróxidos de ferro e argilominerais.

A intensidade do microfissuramento é considerada baixa, já que apresenta uma média de 0,25 microfissuras/mm². As microfissuras predominantes são do tipo intragrãos com 85,5% e apenas 14,5% são do tipo intergrãos. Do total de microfissuras 22,9% são intragranulares preenchidas e 6,1% são intergranulares com algum preenchimento. As dimensões das microfissuras variam de 0,5 mm a 3,0 mm, com predominância de 0,6 mm a 1,0 mm.

Apresenta contatos predominantemente serrilhados e côncavo-convexos, e mais raramente contatos planos entre grãos de quartzo e biotita.

A alteração mineral é considerada moderada e está presente em alguns grãos de plagioclásio saussuritizados; marcante argilização com generalizada pigmentação por hidróxidos de ferro sobre cristais de feldspato potássico; na biotitização da hornblenda e na cloritização da biotita.

O **feldspato potássico** representado pelo ortoclásio se caracteriza por generalizado aspecto de sujidade, de coloração acastanhada, provavelmente devida a processos de argilização com pigmentação de hidróxidos de ferro. Apresentam formas anedrais com contornos irregulares, muitas vezes interpenetrados por cristais de quartzo. São fracamente microfissurados, cujos planos são preenchidos por sericita e argilominerais.

O **quartzo** ocorre tanto como cristais individualizados quanto constituindo agregados irregulares mais ou menos interpenetrados com os cristais da massa feldspática da rocha. Normalmente formam cristais anedrais de tamanhos variados que oscilam entre 0,4 mm e 6,0 mm, com contornos côncavo-convexos a planares, com discreta extinção ondulante. Os

contatos entre si, nos agregados monominerálicos, mostram-se frequentemente delimitados por concentrações de fina massa pulverulenta de óxidos e hidróxidos de ferro, bem como no caso de microfissuras predominantemente intragrãos (Figura 5.8; Fotomicrografia B).

O **plagioclásio** é relativamente restrito, representado pelo oligoclásio, em muitos casos fortemente potassificados para ortoclásio denotados por sombras difusas (restos) de porções vestigiais de geminação polissintética. Quando preservados ocorrem sob a forma de cristais subedrais a anedrais com dimensões de 0,5 mm a cerca de 2,0 a 3,0 mm com típica geminação polissintética, moderadamente a intensamente saussuritizados, inclusive com a presença de finas lamelas de mica branca (muscovita), mascarando a geminação polissintética (Figura 5.8; Fotomicrografia D).

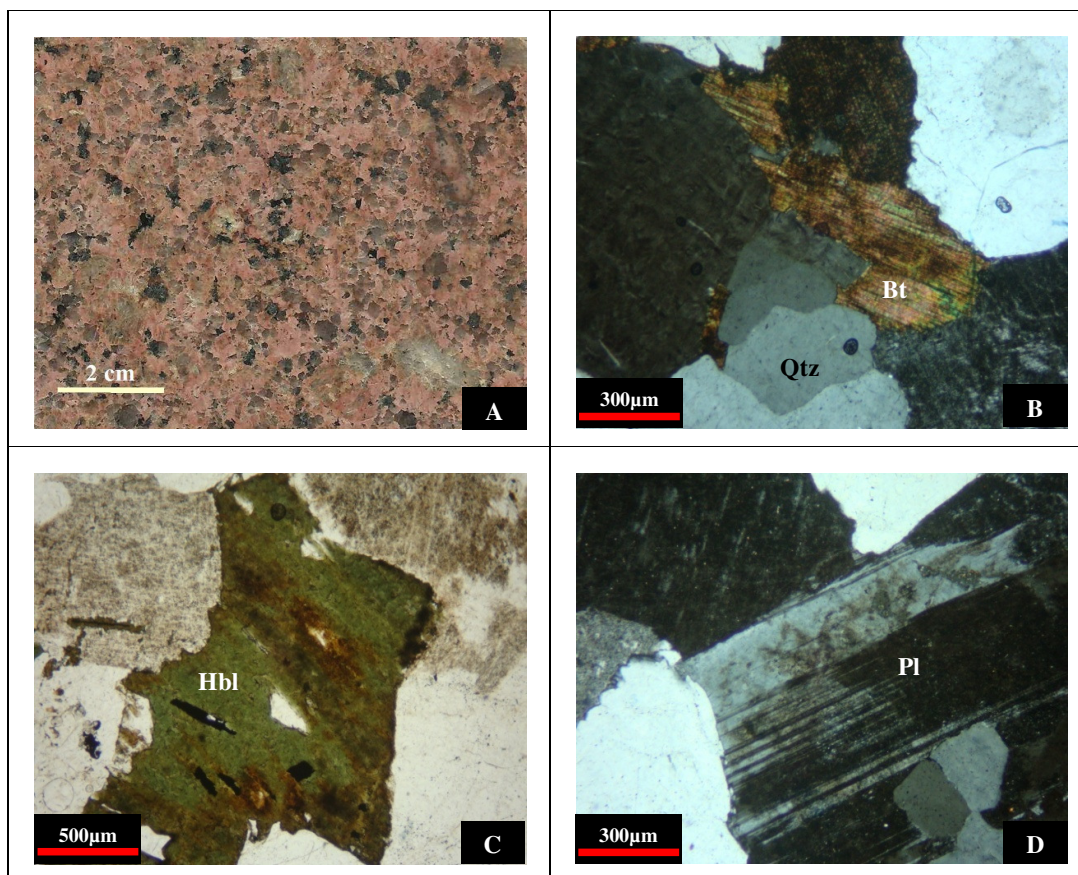
A **biotita** aparece, muitas vezes, ao redor de grãos de quartzo, apresenta minerais tabulares de formas irregulares e até esqueletais com dimensões variando desde milimétricas até 2,6 mm, em contato com feldspatos potássicos encontra-se bastante alterada em processo de cloritização e também com microinclusões de zircão associado (Figura 5.8; Fotomicrografia B). Apresenta contatos plano-denteados.

A **hornblenda** aparece totalmente biotitizada com microinclusões de minerais opacos e apatita (Figura 5.8; Fotomicrografia C).

Como **minerais acessórios** aparecem a fluorita, zircão, apatita, allanita, titanita e opacos. A apatita, fluorita e zircão geralmente aparecem associados à biotita.

Os minerais secundários são a clorita, tremolita-actinolita, muscovita, sericita, titanita e também a biotita, proveniente da alteração da hornblenda.

Figura 5.8 – (A) Foto da placa polida do sienogranito Vermelho Filomena; (B) Fotomicrografia exibindo biotita com zircão associado (LO); (C) Fotomicrografia de grão de hornblenda com microinclusões de minerais opacos (LNP); (D) Fotomicrografia de plagioclásio em contato com quartzo (LO).



Legenda: Bt – Biotita; Qtz – Quartzo; Hbl – Hornblenda; Pl – Plagioclásio; LO – Luz Ortoscópica; LNP – Luz Natural Polarizada.

Fonte: Elaborada pela autora.

5.2.6 Red Dragon (*Sienogranito Brechóide*)

A amostra Red Dragon estudada corresponde a um sienogranito brechóide de coloração vermelho carne resultante da forte oxidação dos cristais de feldspato potássico que perfaz cerca de 50% do volume da rocha e de cristais de plagioclásio (Figura 5.9; Foto A). A intensidade da cataclase é variável, com a predominância da preservação da estrutura isotrópica e da textura fanerítica inequigranular de granulação grossa a muito grossa contendo porções menores fortemente cataclásticas. Os cristais de feldspato potássico apresentam dimensões seriadas oscilando de 2,0 mm a 25,0 mm, com predominância entre 10,0 mm e 20,0 mm, tendendo a cristais anédricos com bordas bastante corroídas. Intersticialmente ocorrem cristais de quartzo anédricos com dimensões desde submilimétricas a 5,0 mm ou 6,0 mm, e de plagioclásio subédricos a anédricos com dimensões gerais inferiores as do quartzo.

No geral a rocha é cortada por fraturas abertas e preenchidas por óxidos e hidróxidos de ferro com orientações diversificadas, sendo que as frações mais intensamente deformadas se caracterizam por intenso microfraturamento e por micromoagem mineral de natureza protocataclástica. Nestes casos, o microfraturamento é aberto, normalmente ramificado, com preenchimentos de fina massa pulverulenta de óxidos e hidróxidos de ferro e de quartzo, sendo que nas porções feldspáticas por sobrecrecimentos do próprio feldspato potássico (adularia).

A mineralogia é composta por feldspato potássico (45%), quartzo (25%), plagioclásio (21%) e pelos acessórios: apatita, zircão, titanita e opacos na qualidade de traços. Os minerais secundários relacionados à circulação de fluidos se devem a clorita (5%), óxidos (goethita, hematita) e hidróxidos de ferro (3%) e cerca de 1% de epidoto, sericita e carbonatos.

A intensidade de microfissuras desta rocha é considerada alta, tendo em vista que apresenta uma média de 1,1 microfissuras/mm². As microfissuras predominantes são do tipo intragranulares com 61%, sendo o restante 39% representados por microfissuras intergranulares e/ou transgranulares. Do total de microfissuras 26% são intragranulares preenchidas, as intergranulares apresentam 17,5% com preenchimento. As dimensões das microfissuras em lâmina delgada ficam em torno de 0,3 mm a 3,5 mm, com predominância de 0,6 mm a 1,3 mm. Já em placa polida com dimensão de 30 cm x 30 cm x 2,0 cm, o tamanho das microfissuras chega a medir de 40,0 mm a 300,0 mm, com predomínio de 80,0 mm a 120,0 mm.

Os contatos minerais são interpenetrados, onde boa parte deles está esgarçado e serrilhado, e alguns grãos de quartzo apresentam contatos côncavo-convexos.

A alteração mineral presente é considerada moderada a alta, caracterizada pela intensa oxidação dos cristais de feldspato potássico e de minerais opacos, provocando manchamento com uma coloração vermelho carne nos feldspatos potássicos, que também apresentam sericitização e argilização. A biotita apresenta-se totalmente transformada para clorita. O plagioclásio mostra-se fortemente microclinizado, e alguns grãos mostram-se sericitizados.

O **feldspato potássico** (microclínio) é o mineral de maior predominância na rocha, com tendência a cristais subédricos com bordas normalmente corroídas e encontra-se bastante sericitizado, argilizado e microfissurado. Apresenta cor vermelho carne causada pela pronunciada oxidação, grãos com dimensões de até 20 mm no comprimento do maior eixo (Figura 5.9; Fotomicrografia C).

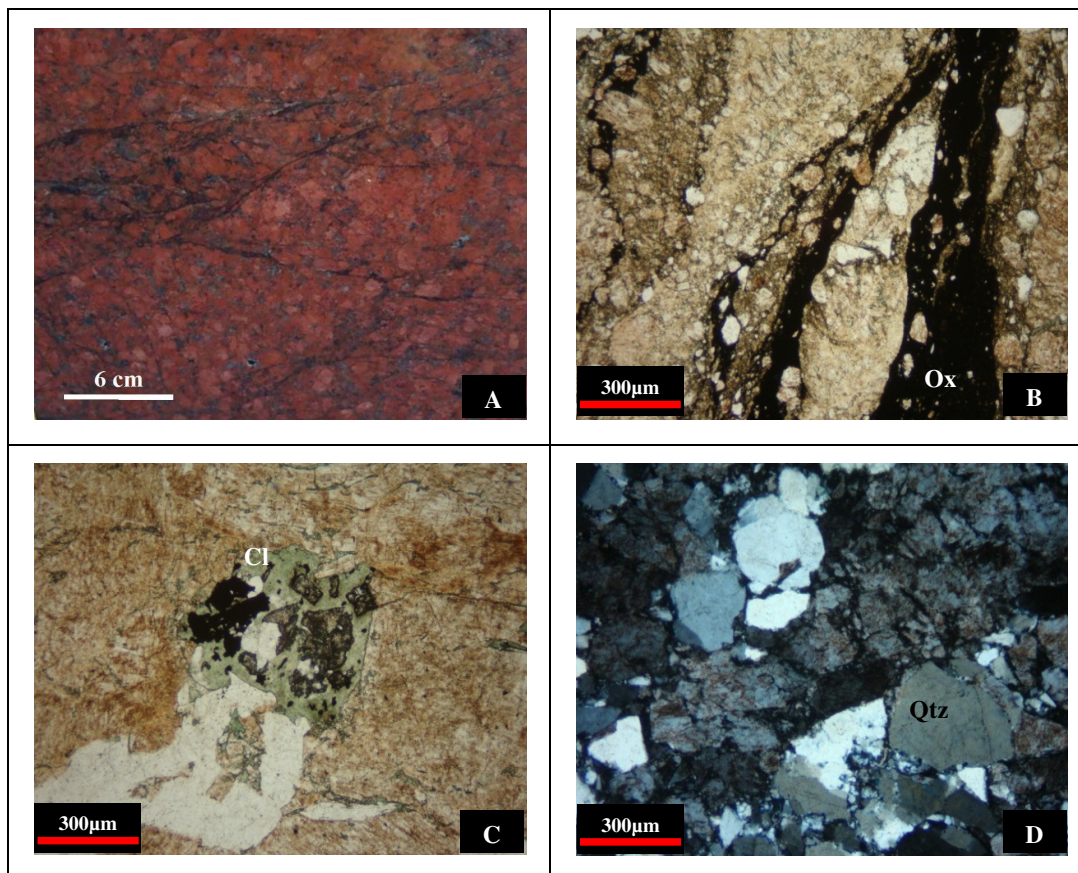
O **quartzo** aparece na forma de minerais anedrais, localmente arredondados, de dimensões submilimétricas até 7,0 mm, dispersos por toda a matriz feldspática. Exibe extinção ondulante, contatos côncavo-convexos e às vezes plano-denteados, alguns grãos apresentam microfissuras e formas esqueléticas (Figura 5.9; Fotomicrografia D).

O **plagioclásio** (oligoclásio) apresenta geminação do tipo albita quase oculta, fortemente microclinizado, em grãos de dimensões submilimétricas até 2,5 mm bastante alterados, saussuritizados, e com contatos denteados.

Os **minerais acessórios** são escassos, representados por traços de apatita, zircão, titanita e opacos.

Os **minerais secundários** se devem a clorita, óxidos (goethita, hematita) e hidróxidos de ferro e epidoto, sericita e carbonatos. Neste caso se destacam os óxidos e hidróxidos de ferro que preenchem de forma disseminada a maioria das microfissuras e fraturas das porções mais catacladas da rocha (Figura 5.9; Fotomicrografia B).

Figura 5.9 – (A) Foto da placa polida do sienogranito brechóide Red Dragon; (B) Fotomicrografia exibindo faixas de minerais opacos disseminados ao longo de microfissuras (LNP); (C) Fotomicrografia de clorita secundária com zircão e opacos, em contato com feldspato potássico (LO); (D) Fotomicrografia mostrando grãos de quartzo em meio a feldspatos potássicos (LO).



Legenda: Ox – Óxidos; Cl – Clorita; Qtz – Quartzo; LO – Luz Ortoscópica; LNP – Luz Natural Polarizada.
Fonte: Elaborada pela autora.

5.2.7 Yellow Tropical (Ortoclásio sienogranito com hornblenda e fayalita)

A variedade estudada corresponde a um hornblenda sienogranito com fayalita, oxidado de granulação grossa de coloração amarelada, marcado por porções e pontuações de dimensões variadas acastanhadas dadas por evidente e avançado grau de oxidação da rocha (Figura 5.10; Foto A). Apresenta estrutura isotrópica com textura fanerítica inequigranular a megaporfirítica serial com granulação média variando de poucos milímetros até mais de 25,0 mm, com predomínio de 0,4 mm a 15,0 mm. O aspecto megaporfirítico serial deve-se ao feldspato potássico, mineral dominante da rocha, com dimensões seriadas imerso em massa essencialmente quartzosa de granulação média bastante inferior à da granulação média do feldspato potássico. O quartzo ocorre preferencialmente em agregados irregulares com coloração ligeiramente acastanhada mais ou menos interligados entre si, de forma a desenvolver uma rede descontínua que praticamente envolve os demais minerais da rocha. A granulação média dos agregados quartzosos oscila de 1,0 mm a 3,0 mm, denotando contatos relativamente frouxos entre si e fortemente infiltrados por óxidos e hidróxidos de ferro.

A mineralogia é formada por feldspato potássico (52%), quartzo (34%), plagioclásio (6,1%), contendo hornblenda (2,5%), biotita (1,3%), fayalita (0,5%), opacos (0,4%), zircão (0,2%), apatita (0,2%) e traços de allanita, titanita, apatita e rutilo. Como minerais secundários ocorrem aproximadamente 1,0% de iddingsita e 1,8% de sericita, leucoxênio, epidoto, tremolita-actinolita e de óxidos e hidróxidos de ferro.

A intensidade do microfissuramento é classificada como média com aproximadamente 0,71 microfissuras/mm². As microfissuras são na maioria intragranulares com 81,4% e 18,6% de microfissuras intergranulares. Do total de microfissuras 30,9% são do tipo intragranulares preenchidas e 6,5% são do tipo intergranulares preenchidas. São classificadas como médias a curtas, com dimensões variando de 0,3 mm a 5,0 mm, com predominância de microfissuras curtas com dimensões de 1,0 mm a 2,5 mm.

Rocha medianamente alterada, com parcial sericitização e argilização do feldspato potássico que lhes imprime um aspecto de sujidade, saussuritização variável de cristais de plagioclásio, biotitização da hornblenda e intensa transformação da fayalita para iddingsita, além da evidente percolação e difusão de óxidos e hidróxidos de ferro ao longo de microfissuras e interfácies minerais.

Os contatos minerais são predominantemente interpenetrados, dos tipos serrilhados e côncavo-convexos entre quartzo e demais minerais e com tendência a planares nos agregados quartzosos.

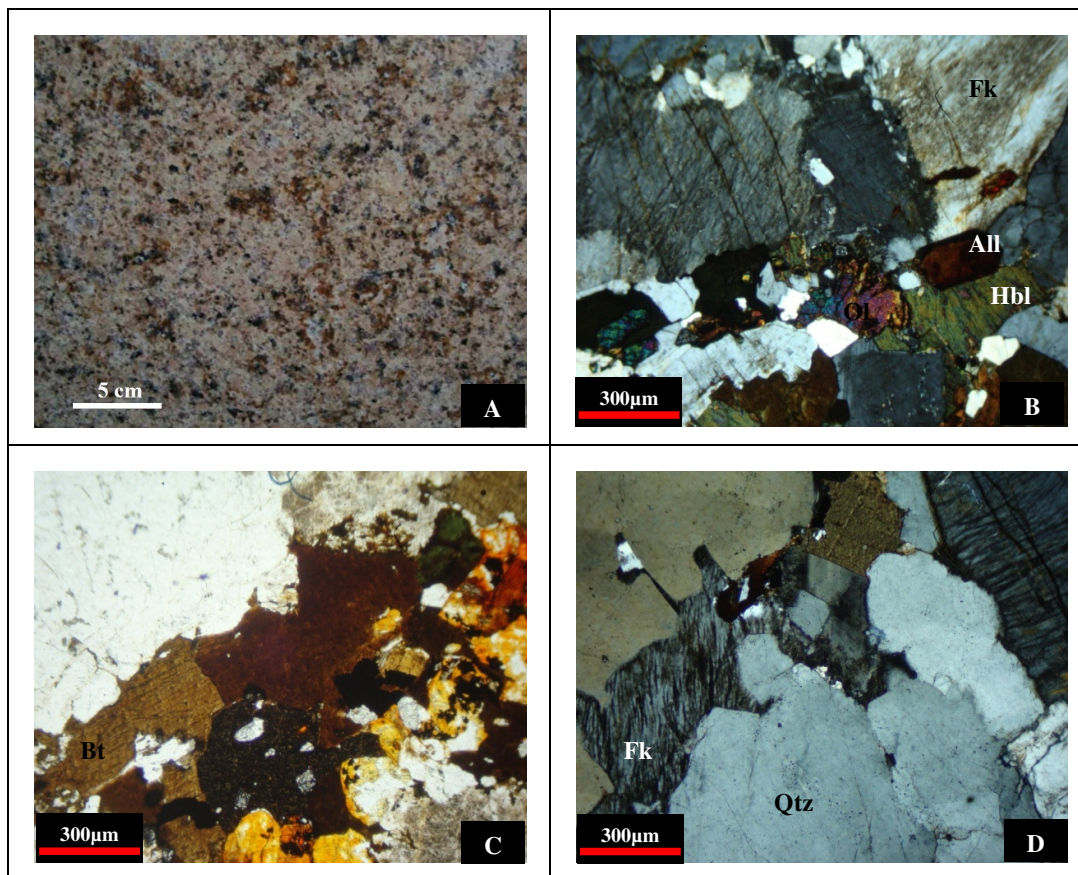
O **feldspato potássico** presente é o ortoclásio mesopertítico (Figura 5.10; Fotomicrografia D) responsável pelo aspecto inequigranular a megaporfírico serial da rocha cujas dimensões máximas observadas macroscopicamente chegam a 25,0 mm. Apresentam formas variadas, desde prismáticas retangulares a quadráticas e irregulares, com bordas fortemente corroídas e interpenetradas por quartzo e demais minerais. Os cristais exibem generalizado aspecto de sujidade de coloração levemente vermelho-acastanhada em virtude da parcial sericitização e marcado processo de argilização pigmentada por hidróxido de ferro. Também exhibe moderado grau de microfissuramento, com planos fechados e abertos e preenchidos por sericita e óxidos e hidróxidos de ferro.

O **quartzo** ocorre preferencialmente em agregados constituídos por cristais anedrais com dimensões desde submilimétricas até aproximadamente 3,0 mm, com fraca extinção ondulante (Figura 5.10; Fotomicrografia D). Os contatos entre si são variados, podendo ser denteados, côncavo-convexos e mais comumente planares, relativamente frouxos e frequentemente delimitados por fina massa pulverulenta composta por óxidos e hidróxidos de ferro, além de localmente sericita e feldspato (adularia?). Os cristais são mediantemente microfissurados, predominantemente do tipo intragrãos, com planos normalmente abertos e igualmente preenchidos por óxidos e hidróxidos de ferro podendo ou não conter sericita e algum feldspato.

O **plagioclásio** (oligoclásios zonados, com bordas albíticas) apresenta-se bastante alterado, em processo de sericitização e argilização, principalmente do centro para as bordas, processos estes que mascaram a geminação polissintética. Os cristais são subedrais a anedrais, com bordas bastante corroídas e tamanhos que variam de 0,3 mm a 1,4 mm.

Os **minerais acessórios** representados pela biotita, hornblenda, fayalita, opacos, titanita, apatita, zircão, allanita e rutilo ocorrem preferencialmente associados na forma de pequenos agregados irregulares com dimensões médias oscilando de submilimétricas a 0,5 mm aleatoriamente distribuídos pela rocha (Figura 5.10; Fotomicrografia C). A **biotita** forma cristais lamelares a esqueletais com dimensões de 0,3 mm a 2,4 mm e ricas em inclusões de minerais opacos e alguns grãos de zircão. Os cristais de **hornblenda**, aparentemente mais frequente que a biotita, apresentam formas prismáticas, intensamente corroídos, e comumente intercrescidos com opacos, iddingsita, zircão, allanita e rutilo. Alguns cristais mostram parcial biotitização. A **fayalita**, formando minúsculos cristais anedrais, encontra-se parcial a totalmente transformada para iddingsita e localmente para clinopiroxênio, hastingsita e actinolita (Figura 5.10; Fotomicrografia B).

Figura 5.10 – (A) Foto da placa polida do sienogranito Yellow Tropical; (B) Fotomicrografia exibindo allanita bem desenvolvida, olivina e feldspato potássico (LO); (C) Fotomicrografia de biotita com microinclusões de zircão e apatita em meio a mineral amarelo ferruginoso, representado pela iddingsita (LNP); (D) Fotomicrografia de feldspato potássico mesoperitítico em contato com quartzo (LO).



Legenda: Fk – Feldspato potássico; Ol – Olivina; All – Allanita; Hbl – Hornblenda; Bt – Biotita; Qtz – Quartzo; LO – Luz Ortoscópica; LNP – Luz Natural Polarizada.
 Fonte: Elaborada pela autora.

5.2.8 Branco Cristal Quartzo (*Sienogranito com hornblenda*)

Este tipo comercial corresponde a um sienogranito branco com nuances róseo-claro a branca acinzentada de estrutura isotrópica e textura fanerítica inequigranular hipidiomórfica, granulação média a média-grossa com grãos de dimensões variando entre 0,5 mm a 35 mm, predominando de 2,0 mm a 5,0 mm (Figura 5.11; Foto A). Apresenta variação textural com porções enriquecidas com feldspato potássico e outras com quartzo, com dimensões de até 50,0 mm cada porção.

A mineralogia é composta essencialmente por feldspato potássico (40%), quartzo (34%), plagioclásio (18%) e biotita (5,0%) e pelos minerais acessórios: fluorita (0,4%), opacos (0,4%), zircão (0,2%) e traços de hornblenda, apatita e titanita. Os minerais secundários perfazem um total de 2,0% e são representados por muscovita, epidoto, carbonatos e hidróxidos de ferro (gohetita).

Quanto à intensidade de microfissuras apresenta 0,35 microfissuras/mm² em média, denotando baixa intensidade de microfissuramento. As microfissuras predominantes são do tipo intragranulares com 88,6%, e o restante 11,4% representa microfissuras do tipo intergrãos e/ou transgranulares. Do total de microfissuras 62% são intragrãos não preenchidas e apenas 2,5% das intergranulares têm preenchimento. Apresentam dimensões variando de 0,6 mm a 2,6 mm, com predominância de 1,0 mm em média, podendo ser consideradas curtas.

Os contatos minerais predominantes são dos tipos serrilhados e côncavo-convexos, mostrando bom entrelaçamento mineral, o que deve imprimir boa resistência físico-mecânica à rocha.

A alteração mineral é incipiente a moderada, com sericitização do feldspato potássico, saussuritização e argilização do plagioclásio e oxidação da biotita. Os cristais de plagioclásio apresentam maior intensidade de alteração nos núcleos, com aspecto de certa sujidade. A biotita apresenta microinclusões de zircão com formação de halos pleocróicos ao redor, provocando pequenas manchas cinza-escura a preta.

O **feldspato potássico** está representado pelo microclínio caracterizado pela geminação xadrez, formando cristais anedrais com tamanhos de até 35,0 mm no comprimento do maior eixo. Encontra-se bastante pertitzado sob a forma de veios e manchas, e assim como para o plagioclásio também apresenta transformação para argilominerais e sericitização, caracterizada pela presença de finas lamelas de muscovita inclusas em seu interior. O microfissuramento é incipiente e não preenchido.

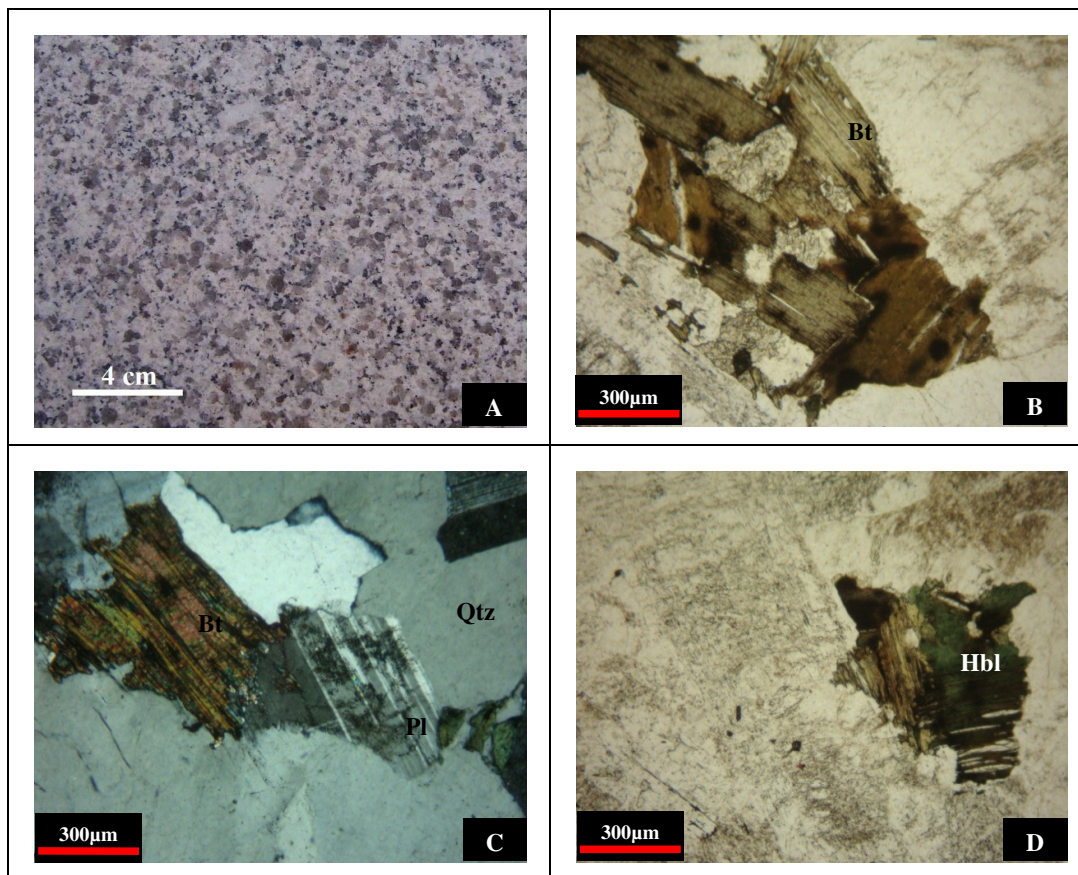
O **quartzo** apresenta-se distribuído de forma homogênea por toda a rocha, podendo localmente desenvolver pequenos agregados monominerálicos. Os cristais podem exibir extinção ondulante, contatos côncavo-convexos, grãos com dimensões de 0,5 mm a 10,0 mm, formas anédricas (Figura 5.11; Fotomicrografia C). É o mineral que apresenta maior número de microfissuras, sendo a maioria do tipo intragrãos não preenchida.

O **plagioclásio** presente é o oligoclásio, sob forma de cristais subédricos a anédricos alongados de dimensões variando de 0,5 mm a 7,5 mm. Exibem zoneamento composicional, com núcleos argilizados, contatos plano-denteados com feldspato potássico e com o quartzo, proporcionando um melhor engrenamento mineral (Figura 5.11; Fotomicrografia C).

A **biotita** aparece como pequenos agregados lamelares dispersos aleatoriamente pela rocha, de dimensões variando de 0,3 mm a 2,0 mm. Apresenta formas subédricas, irregulares e até esqueletais, em contatos plano-denteados com quartzo e feldspatos, alguns grãos exibem fraturas preenchidas por apatita, geralmente acompanhando a clivagem, outros exibem um pouco de cloritização e microinclusões de zircão e apatita (Figura 5.11; Fotomicrografias B, C e D).

Os **minerais acessórios** estão representados pela fluorita, hornblenda, apatita, zircão, opacos e alguma titanita. Zircão e apatita estão sempre associados à biotita. A hornblenda apresenta-se em processo de transformação para biotita (Figura 5.11; Fotomicrografia B). A muscovita, como mineral secundário, aparece em finas lamelas no núcleo de plagioclásio e feldspato potássico, com dimensões submilimétricas a no máximo 0,5 mm e contatos plano-denteados.

Figura 5.11 – (A) Foto da placa polida do sienogranito Branco Cristal Quartzo. (B) Fotomicrografia exibindo cristal de biotita com microinclusões de zircão e fluorita ao centro (LNP); (C) Fotomicrografia mostrando grão de biotita com microinclusões de zircão e apatita em contato com plagioclásio em processo de argilização (LO); (D) Fotomicrografia de hornblenda se transformando em biotita próximo a cristais de plagioclásio argilizados (LO).



Legenda: Bt – Biotita; Qtz – Quartzo; Pl – Plagioclásio; Hbl – Hornblenda; LO – Luz Ortoscópica; LNP – Luz Natural Polarizada.

Fonte: Elaborada pela autora.

5.2.9 Rosa Iracema (Sienogranito com hornblenda)

A variedade estudada corresponde a um sienogranito inequigranular grosso de coloração rosa a rosa claro, com porções esbranquiçadas, salpicado por pontuações pretas devido à presença de pequenos agregados biotíticos (Figura 5.12; Foto A). A cor rosa se deve a predominância de feldspatos potássicos e as pequenas manchas esbranquiçadas à concentrações localizadas de cristais de plagioclásio branco. A estrutura isotrópica com textura fanerítica inequigranular hipidiomórfica a xenomórfica, onde a granulação varia desde grãos submilimétricos até dimensões de 30 mm e 40 mm, com predominância de 5,0 mm a 15,0 mm.

A mineralogia é composta essencialmente por feldspato potássico (42%), quartzo (31%), plagioclásio (17,1%), biotita (6,0%) e pelos minerais acessórios como hornblenda (0,5%), opacos (0,3%), zircão (0,3%), apatita (0,3%), allanita (tr), titanita (tr) e fluorita (tr). Os minerais secundários atingem ao redor de 2,5% e estão representados por sericita/muscovita, clorita, epidoto, carbonatos, óxidos e hidróxidos de ferro.

Apresenta intensidade de microfissuramento classificada como baixa, exibindo cerca de 0,25 microfissuras/mm², com 82,3% de microfissuras intragranulares e 17,7% de intergranulares e/ou transgranulares. Das microfissuras presentes apenas 43,4% são intragrãos preenchidas e somente 5% das microfissuras intergranulares são preenchidas. Apresentam dimensões médias em torno de 0,5 mm a 3,0 mm, com predomínio de 1,0 mm a 2,0 mm. O mineral que se apresenta mais microfissurado é o quartzo.

Os contatos minerais são na maioria do tipo serrilhados e côncavo-convexos, apresentando um bom entrelaçamento mineral.

A alteração mineral mostra-se fraca a moderada, dada por diferentes intensidades no grau de saussuritização do plagioclásio, sericitização do feldspato potássico e discreta cloritização da biotita. O plagioclásio apresenta zoneamento composicional, onde o núcleo exibe maior intensidade de alteração.

O **feldspato potássico** presente é representado pelo microclínio, caracterizado por maclamento do tipo “xadrez”. Representa o mineral com as maiores dimensões da rocha, podendo atingir cerca de 30,0 mm a 40,0 mm ao longo do seu maior eixo, os quais perfazem cerca de 15% a 20% do volume da rocha. Os cristais maiores são fortemente pertitizados e com intensidades variáveis de sericitização, podendo apresentar inclusões de quartzo, biotita e plagioclásio saussuritizado (Figura 5.12; Fotomicrografia C).

O **quartzo** apresenta extinção ondulante, em cristais anedrais de dimensões variando entre 0,5 mm e 10,0 mm ou constituindo agregados com até 5,0 cm com formatos alongados ou irregulares. Também pode ocorrer como microinclusões em cristais de feldspato potássico e mesmo na biotita. No geral exhibe contatos côncavo-convexos com feldspatos e denteados com micas. Os cristais são pouco microfissurados, com fissuras fechadas ou abertas e preenchidas por sericita. (Figura 5.12; Fotomicrografia D).

O **plagioclásio** corresponde ao oligoclásio com marcante zoneamento composicional, podendo oscilar desde a andesina nas partes centrais até bordas albíticas, caracterizados por núcleos bastante saussuritizados, com sinais de argilização, contendo finas lamelas de muscovita. Ocorrem sob a forma de cristas subedrais a anedrais de tamanhos variando de 0,7 mm a 4,0 mm, com contatos denteados com micas e feldspatos alcalinos e contato plano com quartzo (Figura 5.12; Fotomicrografia B).

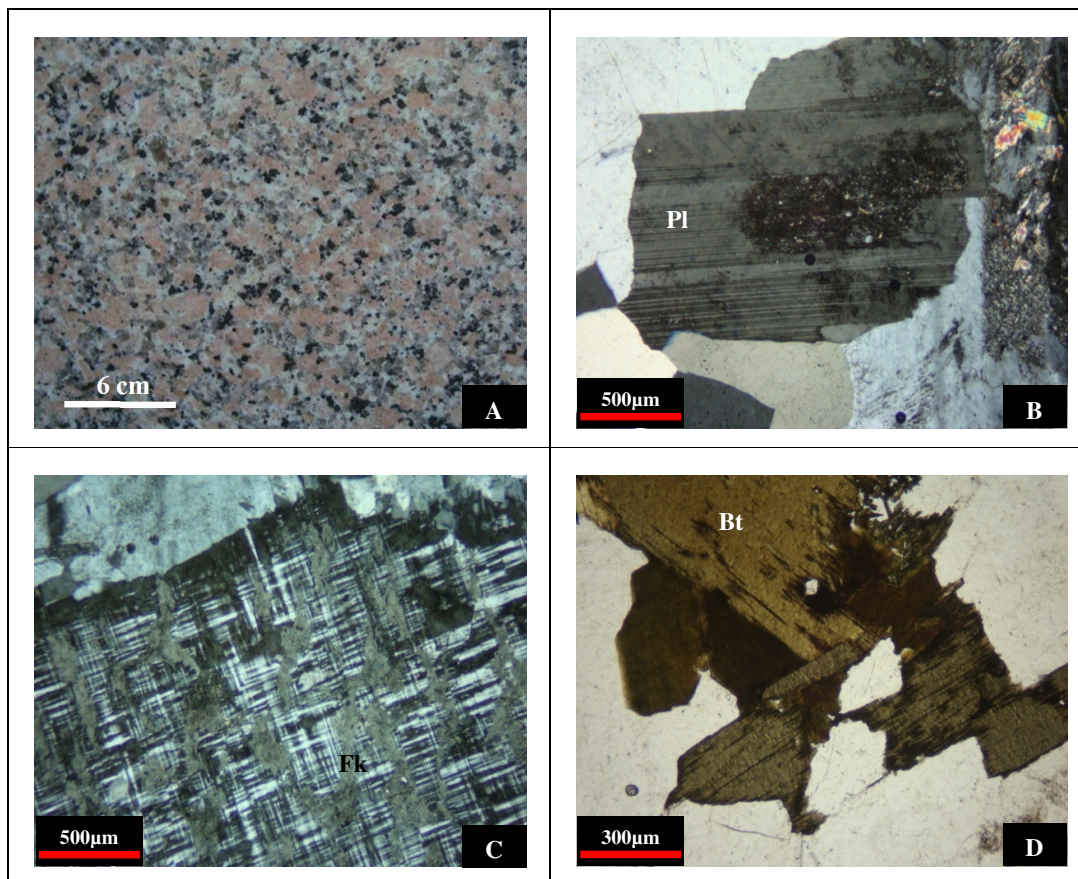
A **biotita** exhibe forma tabular e irregular, em alguns casos formas esqueléticas devido à alteração presente e corrosão em suas bordas. Em contato com feldspatos encontra-se bastante alterada, bem como frequentes inclusões de zircão que desenvolvem evidentes halos pleocróicos (Figura 5.12; Fotomicrografia D).

A **hornblenda** é rara e ocorre em pequenos cristais com pleocroísmo variando de amarelo pálido até verde escuro, localmente mais ou menos cloritizadas. Desenvolvem cristais anédricos com bordas intensamente corroídas, intercrescidos com biotita com a presença de titanita e raros cristais de zircão.

O **zircão** aparece associado à biotita, na forma de pequenos cristais marcados por halos pleocróicos (Figura 5.12; Fotomicrografia D). Também estão presentes, de forma dispersa ou associada à biotita, pequenos cristais de apatita, titanita, allanita e fluorita.

Os produtos de alteração mineral são variados e representados pela muscovita, sericita, clorita, epidoto, carbonatos, argilominerais, óxidos e hidróxidos de ferro. A muscovita aparece como mineral acessório de tamanhos milimétricos incluso em feldspatos (plagioclásio e feldspato alcalino) muito alterados e que também aparece preenchendo microfissuras em alguns grãos de quartzo.

Figura 5.12 – (A) Foto da placa polida do sienogranito Rosa Iracema; (B) Fotomicrografia mostrando plagioclásio com zoneamento composicional com efeitos de saussuritização no núcleo (LO); (C) Fotomicrografia de feldspato potássico representado pelo microclínio exibindo maclamento xadrez (LO); (D) Fotomicrografia exibindo cristal de biotita com microinclusões de zircão próxima a grãos de quartzo (LNP).



Legenda: Pl – Plagioclásio; Fk – Feldspato potássico; Bt – Biotita; LO – Luz Ortoscópica; LNP – Luz Natural Polarizada.

Fonte: Elaborada pela autora.

5.2.10 Cinza Prata (*Granodiorito com hornblenda*)

A rocha estudada apresenta coloração cinza claro com pontuações pretas de biotita, textura fanerítica inequigranular a porfirítica seriada, hipidiomórfica, e estrutura isotrópica, com aspecto estético bastante homogêneo. Os cristais maiores, responsáveis pelo aspecto porfirítico, representam aproximadamente 15% do volume da rocha e devem-se ao feldspato potássico com formas anédricas e dimensões máximas ao redor de 20,0 mm e pelo plagioclásio prismático a subeudral que atingem dimensões máximas ao redor de 25,0 mm. A matriz é fanerítica inequigranular, hipidiomórfica, com granulação média a grossa, na média entre 3,0 mm e 8,0 mm, gradando até as dimensões dos megacristais (Figura 5.13; Foto A).

O quartzo ocorre preferencialmente como agregados pouco alongados e irregulares com dimensões que atingem até 25,0 mm, de forma a envolver os cristais de feldspatos, relativamente interligados desenvolvendo verdadeira rede quartzosa à rocha.

Microscopicamente exhibe frequentes texturas mirmequíticas e gráficas, neste caso dado pelo intercrescimento de quartzo com feldspatos alcalinos. Também são comuns a presença de semi anéis biotíticos circundando alguns cristais maiores de plagioclásio e de feldspato potássico, feição esta também visível macroscopicamente.

A mineralogia é composta essencialmente por plagioclásio (40%), quartzo (35%), feldspato potássico (12,2%), biotita (8,0%), e pelos minerais acessórios hornblenda (2,0%), apatita (0,5%), zircão (0,3%) e traços de titanita, allanita e opacos. Os minerais secundários representados por clorita, epidoto e mais raramente sericita e carbonatos perfazem menos de 2,0%.

A intensidade do microfissuramento é considerada baixa, onde a média das microfissuras é 0,39 microfissuras/mm². O tipo de microfissura predominante é intragrão que perfaz 77,4% de todas as microfissuras e apenas 22,6% são do tipo intergranulares. Do total de microfissuras 54,7% são intragranulares preenchidas e apenas 15,6% são intergrãos com preenchimento. As dimensões variam de 0,8 mm a 6,0 mm, com predomínio de 2,0 mm a 3,0 mm. O mineral mais microfissurado é o quartzo.

Os contatos intergranulares são na maioria côncavo-convexos e serrilhados, aparecendo também contatos do tipo plano.

O grau de alteração é considerado fraco a moderado, com sericitização discreta do plagioclásio, com zoneamento em seu núcleo, cloritização da biotita, transformação de alguns grãos de hornblenda para epidoto, e alguns grãos de biotita com porções ricas em zircão.

O **plagioclásio** ocorre como cristais subedrais a anedrais, sendo que os cristais com as maiores dimensões são fortemente zonados com núcleos correspondentes a andesina básica, parcialmente saussuritizados, e bordas de oligoclásio mais límpidas (Figura 5.13; Fotomicrografia B). Ainda, os cristais com as maiores dimensões apresentam maior intensidade de microfissuramento intragrãos com preenchimentos por sericita, algum epidoto e certo aspecto de sujidade devida à massa pulverulenta de minerais opacos. Também são frequentes semi-anéis circundantes de minúsculos agregados de lamelas de biotita.

O **quartzo** ocorre preferencialmente em agregados de cristais anédricos a irregulares com dimensões oscilando de submilimétrica a cerca de 7,0 mm, que no conjunto podem ultrapassar a casa dos 20,0 mm. No geral os subcristais apresentam extinção ondulante, com contatos diversificados indo de côncavo-convexos, engrenados e planos entre si, frequentemente realçados por fina massa pulverulenta de minerais opacos e por vezes contendo minúsculas lamelas corroídas de biotita. Também exibem moderada intensidade de microfissuramento intragrãos normalmente preenchidas por sericita e opacos pulverulentos (Figura 5.13; Fotomicrografia C).

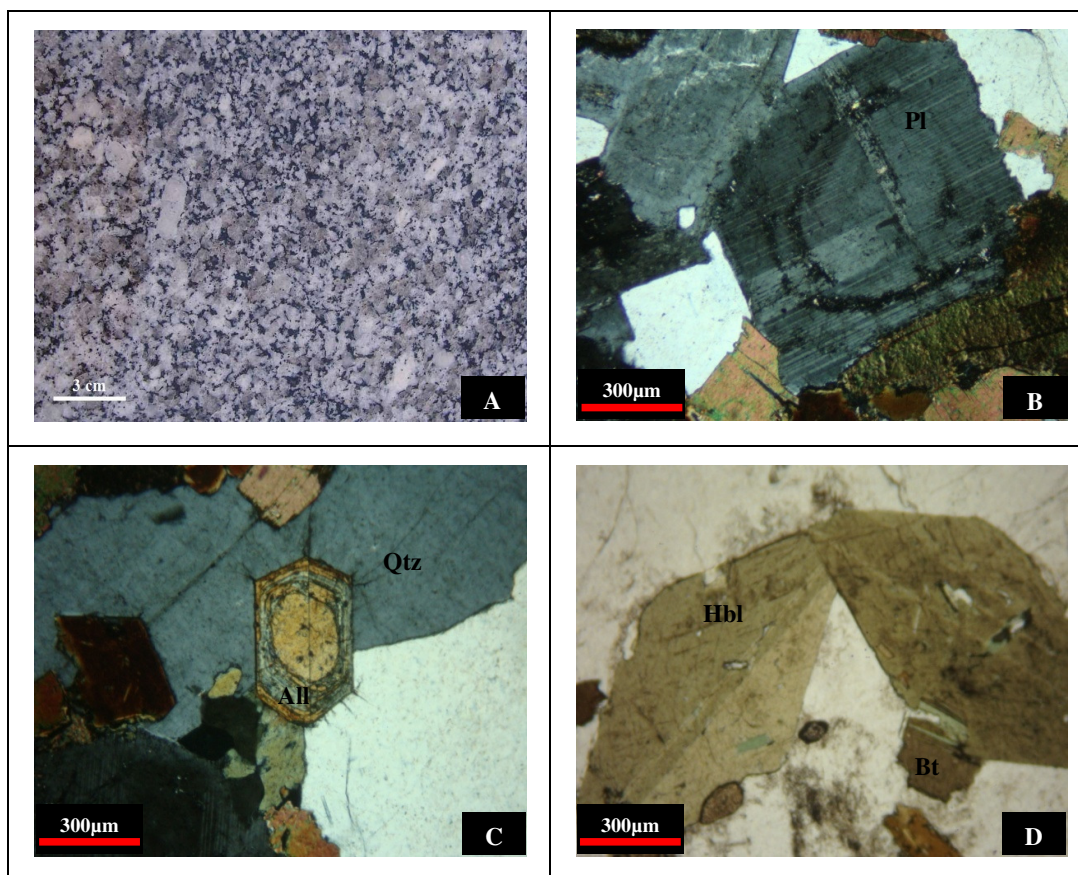
O **feldspato potássico** do tipo microclínio pertítico dos tipos veios e manchas e encontram-se parcialmente sericitizados com frequentes inclusões de finas lamelas de muscovita secundária. Exibem contatos denteados, principalmente com a biotita, e côncavo-convexos com o quartzo, podendo ser plano às vezes. Podem apresentar bordas mirmequíticas e por vezes exibir texturas gráficas.

A **biotita** ocorre de forma variada, mais frequentemente sob a forma de agregados lamelares alongados a laminados com dimensões até centimétricas entre os cristais de feldspatos ou desenvolvendo delgados semi-anéis descontínuos ao redor dos cristais maiores de feldspatos (tanto do microclínio quanto do plagioclásio) quanto agregados caóticos na massa quartzo-feldspática e em inclusões nos cristais de feldspatos e de quartzo. As lamelas vão de subédricas a irregulares, nestes casos com bordas fortemente corroídas, muitas vezes parcialmente cloritizadas, podendo ser ricas em inclusões em zircão, com planos de clivagem abertos e preenchidos por clorita (Figura 5.13; Fotomicrografia D). Também podem, menos comumente, resultarem da hidratação da hornblenda.

Os **minerais acessórios** são representados pelo anfibólio, allanita, titanita, apatita, zircão e minerais opacos. O anfibólio está representado pela **hornblenda**, apresenta cristais bem formados, eudrais, com dimensões de até 1,3 mm, parcialmente cloritizados e biotitizados (Figura 5.13; Fotomicrografia D). A allanita apresenta grãos bem formados, eudrais, dispersos pela rocha. O **zircão** e a **apatita** aparecem geralmente associados à biotita.

Os **minerais secundários** são sericita, parte dos cristais de biotita originados pela hidratação da hornblenda, carbonatos e epidoto relacionados aos cristais de plagioclásio e clorita provenientes da alteração da hornblenda e biotita, respectivamente.

Figura 5.13 – (A) Foto da placa polida do granodiorito Cinza Prata; (B) Fotomicrografia de plagioclásio zonado com sericitização discreta (LO); (C) Fotomicrografia de grão de allanita eudral em contato com grãos de quartzo (LO); (D) Fotomicrografia exibindo grãos eudrais de hornblenda em contato com quartzo e biotita (LNP).



Legenda: Pl – Plagioclásio; Qtz – Quartzo; All – Allanita; Hbl – Hornblenda; Bt – Biotita; LO – Luz Ortoscópica; LNP – Luz Natural Polarizada.

Fonte: Elaborada pela autora.

5.2.11 Branco Ceará (*Microclínio-albita granito*)

A variedade denominada comercialmente de Branco Ceará é um granito hololeucocrático branco a branco acinzentado com estrutura maciça a muito discretamente orientada, um pouco inequigranular com granulação média a média-grossa, de aspecto estético bastante homogêneo (Figura 5.14; Foto A). A granulação geral oscila de 1,0 mm a 7,0 mm, com predominância entre 3,0 mm e 5,0 mm.

Mineralogicamente é composto por plagioclásio (35%), quartzo (33,5%), feldspato potássico (23%), zinnwaldita (4%), fluorita (1,5%), e pelos acessórios muscovita (1,5%), zircão (0,5%), topázio (0,5%), apatita (traços) e opacos (traços). Os minerais secundários bastante restritos, menos de 0,5%, estão representados por sericita, epidoto, óxidos e hidróxidos de ferro.

Apresenta como característica marcante grande quantidade de fenocristais de quartzo incolores, prismáticos com terminações bipiramidais, que atingem dimensões médias de 5,0 a 6,0 mm e que se destacam na matriz esbranquiçada da rocha (Figura 5.14; Foto A).

A intensidade de microfissuramento é incipiente e considerada baixa, com aproximadamente 0,18 microfissuras/mm². A maior parte das microfissuras é do tipo intragrãos não preenchidas com 61,2%. Do total de microfissuras 22,5% são intragranulares preenchidas e apenas 2% são intergranulares preenchidas por minerais secundários. São consideradas muito curtas a curtas, com dimensões médias em torno de 0,5 mm a 2,0 mm.

Os contatos são na maioria serrilhados e côncavo-convexos, caracterizados pelo intercrescimento entre cristais de plagioclásio, feldspato potássico e quartzo, proporcionando um bom engrenamento mineral.

A alteração mineral mostra-se incipiente, restrita a sericitização do plagioclásio, em processo de muscovitização, e pequenos halos pleocróicos de zircão inclusos em cristais de zinnwaldita e raramente em muscovita.

O **plagioclásio** presente é a albita, sendo o mineral de maior predominância na rocha, seguido do quartzo e do feldspato potássico. Ocorre de duas maneiras distintas, como pequenos cristais euédricos a subédricos com dimensões em torno de 1,0 mm, e como diminutas inclusões nos fenocristais de quartzo. Apresenta contatos denteados, proporcionando um bom entrelaçamento mineral, geminação polissintética, alguns grãos aparecem com processo de muscovitização e/ou englobando a muscovita, e outros grãos de plagioclásio (Figura 5.14; Fotomicrografia B).

O **quartzo** se encontra como fenocristais isolados, e também em posições intersticiais na matriz feldspática. Apresenta minerais prismáticos, subedrais a euedrais, com dimensões médias entre 5,0 mm e 6,0 mm. Apresenta contatos do tipo plano-decussados e côncavo-convexos, indicando bom entrelaçamento mineral. Exibe fraca extinção ondulante, inclusões de minúsculos cristais de albita com certa orientação que acompanham a morfologia do mineral, desenvolvendo por vezes semi-anéis internos (Figura 5.14; Fotomicrografia C).

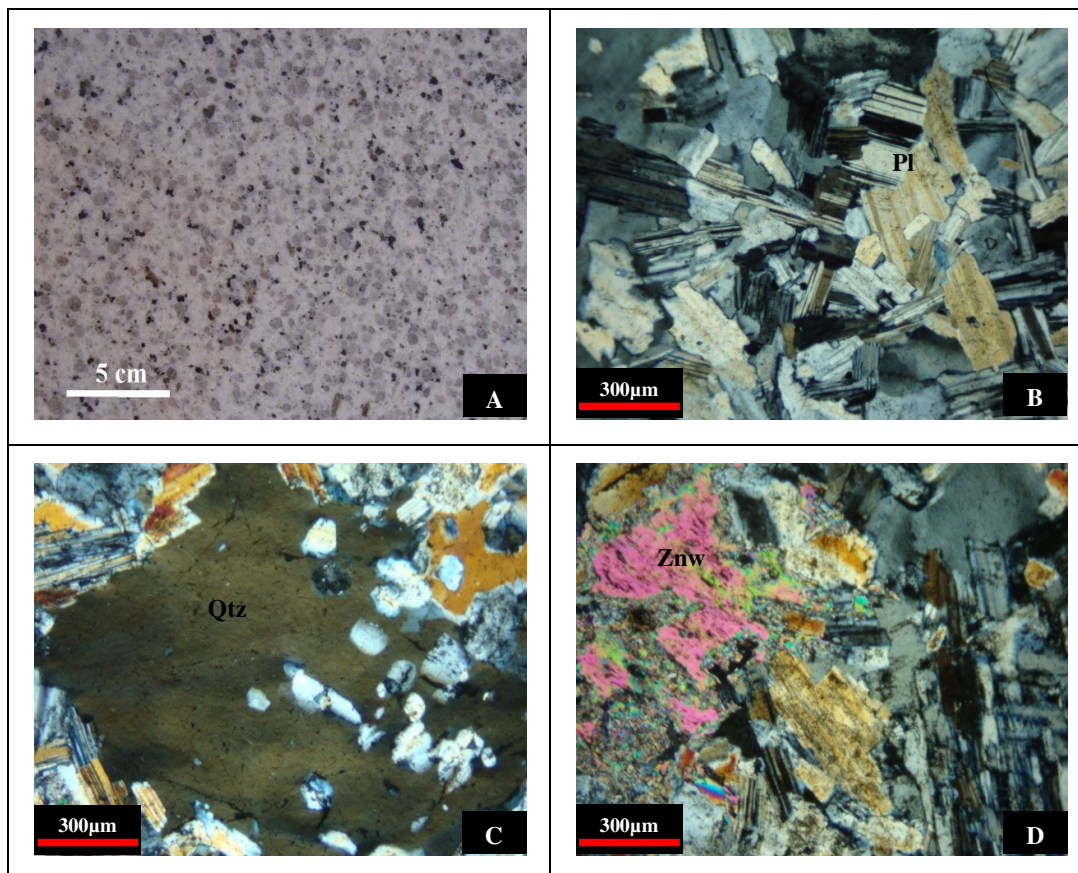
O **feldspato potássico**, representado pelo microclínio com típica geminação em grade, constitui os cristais mais desenvolvidos com dimensões que atingem a casa de 16,0 mm ao longo do maior eixo. Microinclusões de cristais de albita distribuídos de forma irregular ou alinhados. Por vezes apresentam microfissuras preenchidas por sericita e superficialmente alterados para minerais de argila.

A **zinnwaldita** aparece como cristais lamelares tanto de forma isolada quanto intersticial, contornos irregulares e pleocroísmo marrom claro. Em alguns grãos apresenta expressiva quantidade de microinclusões de zircão, com mais de 10 microinclusões por mineral em média, que causam manchas em seu interior com a formação de halos ao redor dos grãos de zircão (Figura 5.14; Fotomicrografia D).

A **fluorita** se apresenta como minerais subédricos a anédricos, com dimensões milimétricas até 2,0 mm, geralmente associados à zinnwaldita.

Os **minerais acessórios** são muscovita, zircão, topázio, apatita e opacos. A **muscovita** aparece associada à albita e ao feldspato potássico, alguns grãos apresentam microinclusões de zircão, mas em menor quantidade do que na zinnwaldita. O **zircão** constitui minúsculos cristais prismáticos basicamente inclusos ou nas bordas dos cristais de muscovita e de zinnwaldita, geralmente causando algum tipo de manchamento. Os **minerais opacos** ocorrem como traços associados à zinnwaldita. O topázio ocorre como minerais subédricos distribuídos aleatoriamente na matriz.

Figura 5.14 – (A) Foto da placa polida do granito Branco Ceará; (B) Fotomicrografia mostrando cristais de albita em contatos denteados em meio a grãos de quartzo (LO); (C) Fotomicrografia exibindo fenocristal de quartzo disposto isoladamente na matriz feldspática, com inclusões de plagioclásio (LO); (D) Fotomicrografia contendo cristal de feldspato potássico e cristal de zinnwaldita com microinclusões de zircão (LO).



Legenda: Pl – Plagioclásio; Qtz – Quartzo; Znw – Zinnwaldita; LO – Luz Ortoscópica.
Fonte: Elaborada pela autora.

5.2.12 Branco São Paulo (*Microclínio-albita granito*)

A variedade Branco São Paulo ora estudada corresponde a uma rocha de estrutura maciça e homogênea, granulação fina a média-fina, onde os cristais apresentam dimensões variando entre 0,2 mm e 3,5 mm, com predominância de 0,3 mm a 0,7 mm. Apresenta coloração esbranquiçada, caracterizada por cristais subédricos de quartzo, prismáticos a subhexagonais, e de plagioclásio (com dimensões de 1,5 a 3,5 mm) e mais raramente microclínio (com dimensões de 1,0 a 2,5 mm), com pequenas pontuações de cor preta causadas pela presença de biotita imersas na matriz quartzo-feldspática (Figura 5.15; Foto A). Alguns grãos de feldspatos apresentam manchas avermelhadas provocadas pela oxidação parcial do próprio feldspato potássico ou de minúsculos cristais de opacos inclusos.

A composição mineralógica é composta essencialmente por plagioclásio -albita- (45%), quartzo (32%), feldspato potássico (13,9%), zinnwaldita (4,5%), muscovita (3%), além dos minerais acessórios fluorita (0,5%), topázio (0,4%), apatita (0,2%) e zircão e opacos como traços. Os minerais secundários são bastante restritos, menos de 0,5% e representados por sericita, epidoto, carbonatos e hidróxidos de ferro.

Apresenta intensidade de microfissuramento baixa a muito baixa, em torno de 0,20 microfissuras/mm². Predominam microfissuras do tipo intragranulares com um total de 93,6% e apenas 6,4% das microfissuras são do tipo intergranulares. Do total de microfissuras apenas 10,6% são intragranulares preenchidas e somente 2,1% das microfissuras são intergranulares com algum tipo de preenchimento. São microfissuras muito curtas, com dimensões variando de milimétricas a menores de 1,0 mm.

Os contatos são predominantemente do tipo serrilhados que proporcionam um bom engrenamento mineral à rocha, dando mais resistência físico-mecânica, mas também apresenta contatos do tipo côncavo-convexos e planos.

A alteração mineral é considerada incipiente, ocasionada pela presença de feldspato potássico zonado e alteração de óxidos e hidróxidos de ferro.

O **plagioclásio** (albita) distribui-se aleatoriamente pela rocha como cristais subédricos a anedrais alongados de dimensões milimétricas até 2,5 mm, geminação polissintética, contatos plano-denteados, frequentemente intercrescidos com o feldspato potássico (Figura 5.15; Fotomicrografia B).

O **quartzo** ocorre tanto intersticialmente na matriz com dimensões submilimétricas a milimétrica quanto sob a forma de cristais isolados com dimensões oscilando entre 0,5 mm a 3,5 mm e com formatos euédricos a subédricos (quase hexagonais) e anédricos

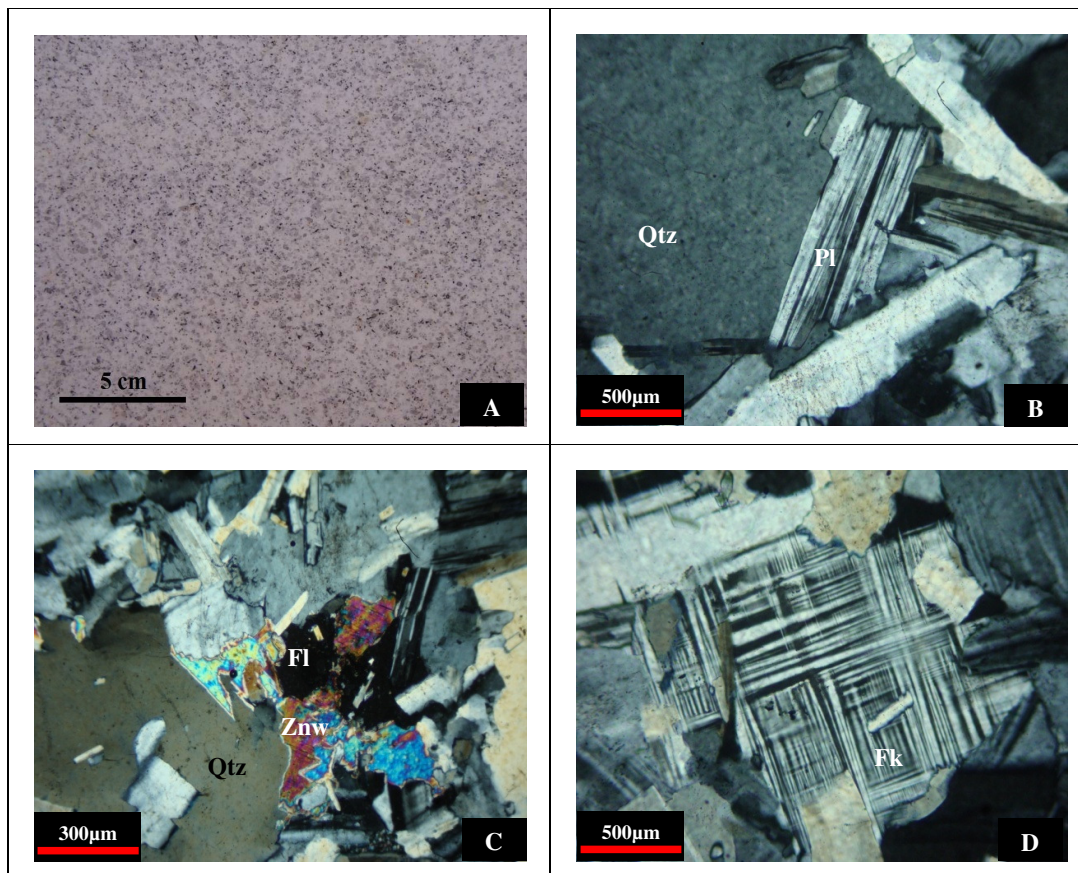
(arredondados) com bordas corroídas e com freqüentes microinclusões de minúsculos cristais prismáticos de plagioclásio (Figura 5.15; Fotomicrografias B e C), mostrando discreta extinção ondulante. No geral exibem contatos denteados e às vezes côncavo-convexos, com grãos distribuídos de forma homogênea pela rocha.

O **feldspato potássico** está representado pelo microclínio em grãos subedrais a anedrais, por vezes zonados, e caracterizados pela geminação em grade bem definida (Figura 5.15; Fotomicrografia D), de dimensões milimétricas até 1,6 mm. Apresentam contatos irregulares e plano-denteados com o quartzo e com o plagioclásio.

A **muscovita** aparece na forma de lamelas subedrais e por vezes esqueletais. Apresenta contatos planos com plagioclásio e denteados com o quartzo, minerais de dimensões variando entre 0,2 mm e 2,5 mm, distribuídos de forma heterogênea pela rocha.

Rocha pobre em zircão que aparece restritamente, assim como fluorita, apatita, biotita, topázio e minerais opacos, distribuídos aleatoriamente pela rocha (Figura 5.15; Fotomicrografia C).

Figura 5.15 – (A) Foto da placa polida do granito Branco São Paulo; (B) Fotomicrografia exibindo grão alongado de plagioclásio com contatos planos com quartzo (LO); (C) Fotomicrografia mostrando zinnwaldita com associação de fluorita e apatita (LO); (D) Fotomicrografia de grão de feldspato potássico com geminação em grade bem definida (LO).



Legenda: Qtz – Quartzo; Pl – Plagioclásio; Fl – Fluorita; Znw – Zinnwaldita; Fk – Feldspato potássico; LO – Luz Ortoscópica.

Fonte: Elaborada pela autora.

5.2.13 Infinity Gold (Pegmatito granítico brechóide)

A amostra estudada da variedade Infinity Gold corresponde a um albita pegmatito granítico brechóide bastante alterado (argilizado) de coloração esbranquiçada com partes creme amareladas provocadas pela presença de óxidos e hidróxidos de ferro (Figura 5.16; Foto A). Apresenta poros e cavidades com dimensões variadas causadas pela desagregação da biotita e feldspatos intemperizados (argilizados). Exibe textura pegmatítica altamente heterogênea, com granulação desde gigante a localmente com porções de granulação média a média-grossa. A fração pegmatóide é amplamente dominante, onde cristais de albita atingem dimensões que superam a casa dos 100 mm de extensão e muito frequentemente com certa riqueza em inclusões de cristais de quartzo com até 10,0 mm ou maiores e de pequenos agregados biotíticos. Localmente desenvolvem discretas texturas gráficas pelo intercrescimento de albita e quartzo vermicular. O quartzo apresenta dimensões menores que o da albita, normalmente de coloração creme pela presença de hidróxido de ferro em planos de microfissuras.

A mineralogia é composta por albita argilizada (60%), quartzo (35%) e biotita argilizada (5%). Os minerais secundários correspondem, além da forte argilização da albita, a traços de óxidos e hidróxidos de ferro, alguma sericita e sílica amorfa preenchendo fraturas.

Trata-se de uma rocha bastante porosa e fraturada. Apresenta fraturas de diversas dimensões distribuídas em várias direções, preenchidas ou não por minerais de alteração (Figura 5.16; Foto A) e detentora de alta intensidade de microfissuramento, num total aproximado de 1,1 microfissuras/mm². Em placa polida apresenta fraturas com dimensões de 30,0 mm a 130,0 mm, com predomínio de 90,0 mm a 115,0 mm, muitas vezes preenchidas por óxidos e hidróxidos de ferro. Os poros apresentam dimensões da ordem de 3,0 mm x 2,0 mm até cavidades com 35,0 mm x 20,0 mm, com predominância de 1,5 mm x 1,0 mm. Em lâmina delgada apresenta 52,2% de microfissuras do tipo intergranulares e 47,8% do tipo intragranulares. Do total de microfissuras intergranulares apenas 8,7% são preenchidas e 17,4% das microfissuras intragranulares apresentam preenchimento. As dimensões variam desde milimétricas até 7,0 mm, com predomínio de 2,5 mm a 4,0 mm.

Rocha bastante alterada, argilizada e intemperizada, que apresenta muitas fraturas e poros na superfície da amostra causados pela ausência de minerais. Uma cor amarelada e ferruginosa é provocada pela alteração de óxidos e hidróxidos de ferro que preenchem fraturas, poros e microdescontinuidades na superfície da rocha.

Os contatos são na sua maioria do tipo côncavo-convexos, como também planos e poligonais, muitas vezes bordejados por óxidos e hidróxidos de ferro e minerais do grupo das argilas.

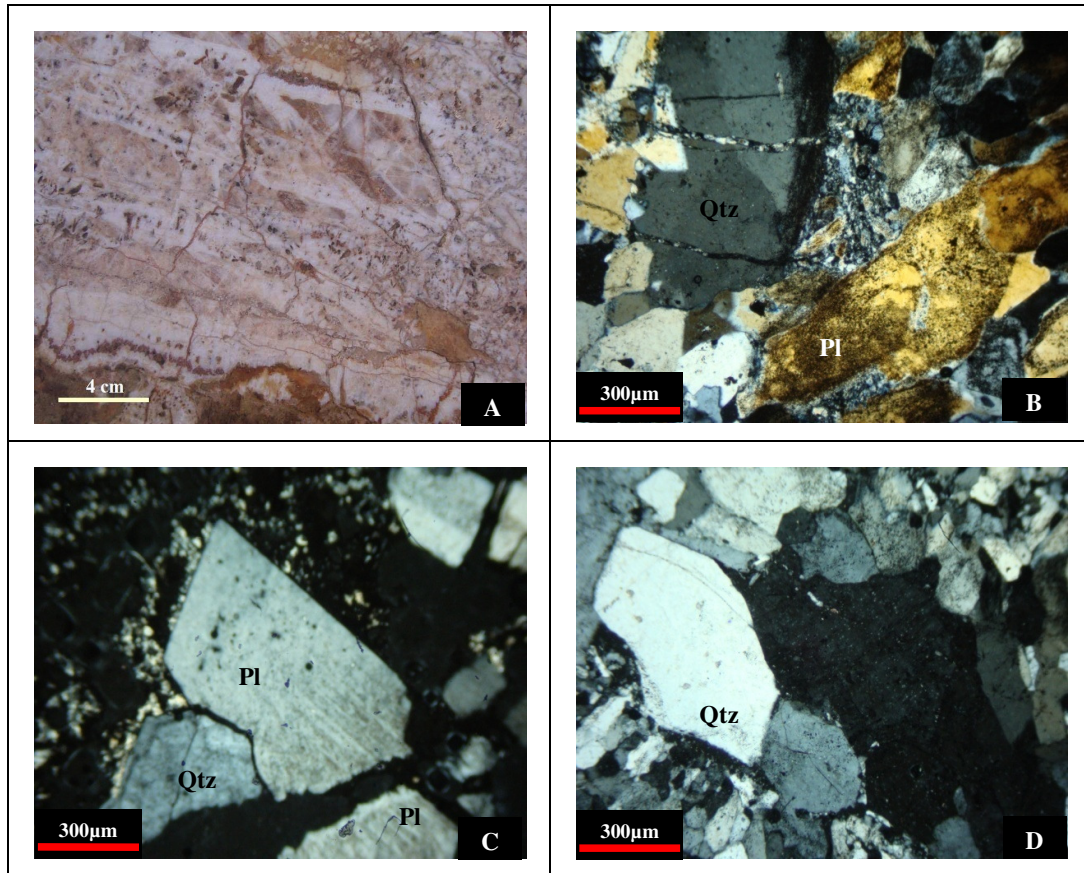
O **plagioclásio** corresponde a albita e é o mineral amplamente dominante nas amostras estudadas e principal responsável pelo aspecto pegmatóide da rocha. No geral encontra-se intensamente intemperizada (argilizada). Nas frações de granulação fina a fina-média ocorre associada ao quartzo, ambos sob a forma de grãos anedrais, no geral com bom engrenamento intergrãos. Localmente a albita menos intemperizada encontra-se parcialmente sericitizada (Figura 5.16; Fotomicrografia B).

O **quartzo** se apresenta de forma variada, podendo constituir cristais isolados ou agregados, inclusos na albita e intercrescidos de forma vermicular com a albita levando ao desenvolvimento de texturas gráficas. Por sua vez, os cristais isolados ou agregados exibem, igualmente, formas diversificadas podendo ser anédricos e, no caso dos agregados, assumirem hábitos prismáticos com terminações piramidais bem definidas. Nas porções de granulação mais fina, podem apresentar aspecto poligonizado (Figura 5.16; Fotomicrografia D) e nos cristais maiores são frequentes microinclusões de minerais opacos. No geral mostram-se microfraturados com respectivos planos preenchidos por fina massa pulverulenta dada por de óxidos e hidróxidos de ferro (Figura 5.16; Fotomicrografia B).

A **biotita** praticamente se restringe a pequenos agregados lamelares, bastante alterados, inclusos nos cristais maiores de albita. Os minerais **opacos** são bastante restritos, geralmente inclusos em cristais de quartzo.

Óxidos e hidróxidos de ferro se concentram ao longo de microfissuras minerais e mais especificamente nas fraturas mais desenvolvidas, no geral responsáveis pela coloração creme da rocha. Os demais minerais secundários correspondem aos argilominerais resultantes da albita e, em parte, da biotita, alguma sericita e sílica amorfa predominantemente preenchendo microfissuras e fraturas.

Figura 5.16 – (A) Foto da placa polida do pegmatito Infinity Gold; (B) Fotomicrografia exibindo grão de quartzo com fraturas preenchidas por argilominerais, ao lado plagioclásio em processo de alteração (LO); (C) Fotomicrografia de cristais de plagioclásio e de quartzo em meio massa de argilominerais (LO); (D) Fotomicrografia mostrando grão de quartzo poligonal (LO).



Legenda: Qtz – Quartzo; Pl – Plagioclásio; LO – Luz Ortoscópica.
Fonte: Elaborada pela autora.

5.2.14 Cinza Ouro Branco (*Monzogranito com muscovita e biotita*)

Granito de coloração branca a levemente acinzentada com textura hipidiomórfica equigranular de granulação fina a fina-média, oscilando entre submilimétrica a 5,0 mm, com predominância de 0,3 mm a 2,0 mm. Apresenta pontos brilhantes na superfície polida provocados pela presença de mica branca. Possui estrutura isotrópica e homogênea, sem fraturas e/ou cavidades expostas visíveis a olho nu, com cristais subidiomórficos de quartzo e feldspato. Exibe pequenas manchas avermelhadas próximas a biotita (Figura 5.17; Foto A).

A composição mineralógica é formada por quartzo (36%), feldspato potássico (28%), plagioclásio (27,5%), biotita (4,0%), muscovita (3,5%), além dos acessórios: zircão, apatita e opacos que aparecem como minerais traços. Os minerais secundários representados por clorita, sericita, epidoto, carbonatos e óxidos e hidróxidos de ferro atingem ao redor de 1,0%.

A intensidade de microfissuramento é considerada baixa, pois apresenta em média 0,38 microfissuras/mm². Das microfissuras presentes 91,1% são do tipo intragranulares e apenas 8,9% são intergranulares. Do total de microfissuras 16,6% são intragranulares preenchidas e apenas 4% são intergranulares com algum preenchimento. As dimensões das microfissuras variam de 0,3 mm a 2,5 mm, com predominância de 0,6 mm a 1,0 mm.

Os contatos são em grande parte do tipo serrilhados e côncavo-convexos, apresentando um bom engrenamento mineral, o que lhe deve imprimir muito boa resistência mecânica à rocha.

A alteração mineral é considerada moderada e está presente em feldspatos sericitizados e saussuritizados, cloritização e/ou muscovitização da biotita, como também na biotita que apresenta em alguns grãos partes corroídas provocadas pela presença de zircão.

O **quartzo** apresenta grãos anedrais, por vezes subedrais, com dimensões variando entre 0,5 mm e 5,0 mm e que exibem contatos planos com as micas (muscovita e biotita) e côncavo-convexos com os demais minerais. Exibe extinção ligeiramente ondulante, e algum dos cristais maiores apresentam microfissuras intragrãos preenchidas por biotita.

O **feldspato potássico** ocorre como cristais subédricos a anédricos caracterizados por maclamento “xadrez” típico do microclínio, com tamanhos que variam de 0,3 mm a 5,0 mm. À semelhança de cristais de plagioclásio, alguns cristais apresentam microinclusões de lamelas de muscovita primária, sendo que nos grãos mais alterados ocorrem lamelas de muscovita resultantes do estágio mais avançado da sericitização (Figura 5.17; Fotomicrografia B).

O **plagioclásio** representado pelo oligoclásio forma cristais subedrais a anedrais com dimensões entre 0,5 mm e 2,6 mm, caracterizados pela geminação polissintética marcante. No geral exibe médio grau de sericitização/saussuritização, com frequentes inclusões de pequenas lamelas de muscovita primária ou como manchas resultantes da evolução do estágio de sericitização (Figura 5.17; Fotomicrografia C). Exibem contatos irregulares e denteados a discretamente planares com os demais minerais.

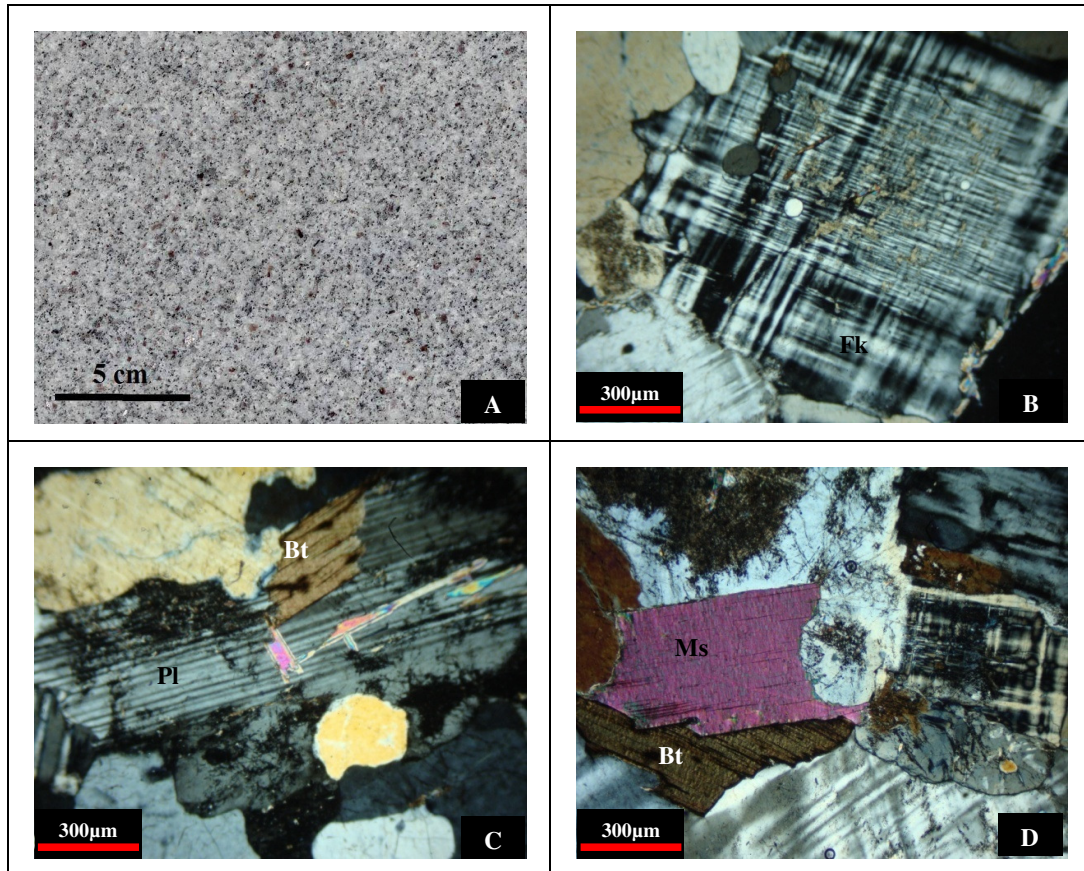
A **biotita** ocorre como lamelas tabulares e anedrais com tamanhos variando de 0,4 mm a 1,5 mm e distribuída de forma aleatória e dispersa por toda a rocha. Apresenta discreta cloritização e muscovitização e contatos plano-denteados com quartzo e plagioclásio e contatos planos com a muscovita (Figura 5.17; Fotomicrografias C e D).

A **muscovita** apresenta minerais tabulares de dimensões milimétricas até 2,5 mm, contatos planos com a biotita e plano-denteados com os outros minerais, por vezes aparecem como inclusões em grãos de plagioclásio devido à alteração do mesmo, produzindo sericita (Figura 5.17; Fotomicrografia D).

Os **minerais acessórios** são zircão, apatita e opacos. O zircão sempre aparece associado à biotita e também como microinclusões na clorita assim como a apatita.

Os **minerais secundários** presentes são a clorita, epidoto, sericita/muscovita, além de carbonatos, óxidos e hidróxidos de ferro. A clorita aparece como produto de alteração da biotita, por vezes apresentando microinclusões de zircão e apatita.

Figura 5.17 – (A) Foto da placa polida do monzogranito Cinza Ouro Branco; (B) Fotomicrografia exibindo feldspato potássico com geminação em grade com início de sericitização no núcleo (LO); (C) Fotomicrografia mostrando plagioclásio alterado em processo de saussuritização em contato com biotita bombardeada por grãos de zircão (LO); (D) Fotomicrografia da biotita muscovitizada em contato com feldspatos (LO).



Legenda: Fk – Feldspato potássico; Pl – Plagioclásio; Bt – Biotita; Ms – Muscovita; LO – Luz Ortoscópica.
 Fonte: Elaborada pela autora.

5.2.15 Bourdeaux Terracota (Conglomerado Polimítico)

Macroscopicamente a amostra estudada corresponde a uma rocha de coloração predominantemente vermelho-amarronzado escuro, de natureza sedimentar clástica e estrutura maciça, apresentando grau de seleção moderadamente selecionado (Figura 5.18; Foto A).

A matriz de granulação fina e composta por material de natureza quartzo-feldspática, perfaz aproximadamente 30% do volume da rocha, apresenta predomínio de cristais com dimensões que variam de 0,1 mm a menores de 2,0 mm.

A rocha é formada por sedimentos terrígenos, exhibe estrutura maciça e textura clástica, onde os fragmentos de outras rochas perfazem cerca de 70% e 30% de matriz fina ou cimento, responsável pela coesão da rocha.

Imersos na matriz ocorrem clastos subarredondados e subangulosos de baixa esfericidade, representados por megacristais de quartzo e feldspato, cujas dimensões variam de 2,0 mm a 60,0 mm, como também fragmentos de rocha de composição variada, inferindo em fontes diversas que pode contribuir com distintos materiais detríticos, gerados pela desagregação da rocha. A baixa esfericidade dos clastos, assim como a diversidade de tamanhos, infere pouca distância entre a área fonte e o ambiente de sedimentação. A cimentação apresenta material areno-argiloso, ferruginoso e carbonático, que participam da coesão entre os grãos e os clastos da rocha.

Ao microscópio a rocha apresenta textura clástica onde a composição mineralógica dos clastos é formada por megacristais de feldspato potássico (46,6%), quartzo (36%), plagioclásio (10%), muscovita (2,0%), minerais opacos (0,5%), apatita (0,5%), allanita (0,4%), além de fragmentos de rochas máficas. Os minerais secundários são sericita (1%) e óxidos e hidróxidos de ferro (3%). A matriz do conglomerado é formada por material de natureza quartzo-feldspática, com diâmetros inferiores a 2,0 mm.

A rocha como um todo, apresenta média de 0,43 microfissuras/mm², permitindo classificá-la como uma rocha de baixa intensidade de microfissuras. As microfissuras predominantes são do tipo intragranulares com 63,5% e apenas 36,5% são do tipo intergranulares. Do total de microfissuras 18,3% são intragranulares preenchidas e 15% são intergranulares com algum preenchimento. As dimensões das microfissuras são bastante variadas, vão desde milimétricas até 10,0 mm, com predominância de 2,0 mm a 4,0 mm.

No geral o grau de alteração da rocha é considerado fraco a moderado, onde os clastos apresentam sericitização e saussuritização de feldspatos, oxidação de minerais opacos. Com

relação à matriz do conglomerado, o material da cimentação indica que em algum momento houve precipitação química, seja de óxidos de ferro ou de carbonatos.

A rocha, no geral, apresenta um bom engrenamento mineral, em relação aos contatos dos fragmentos com a matriz, com predominância de contatos do tipo serrilhados e côncavo-convexos, mas também apresenta contatos do tipo plano.

O **feldspato potássico** apresenta grãos alterados, com produção de sericita e formação de argilominerais, em alguns grãos o maclamento mostra-se incipiente devido à alteração presente. Suas dimensões variam de 0,4 mm a 3,5 mm, contatos denteados e plano-denteados, minerais subidiomórficos a xenomórficos, com distribuição homogênea pela rocha (Figura 5.18; Fotomicrografia C).

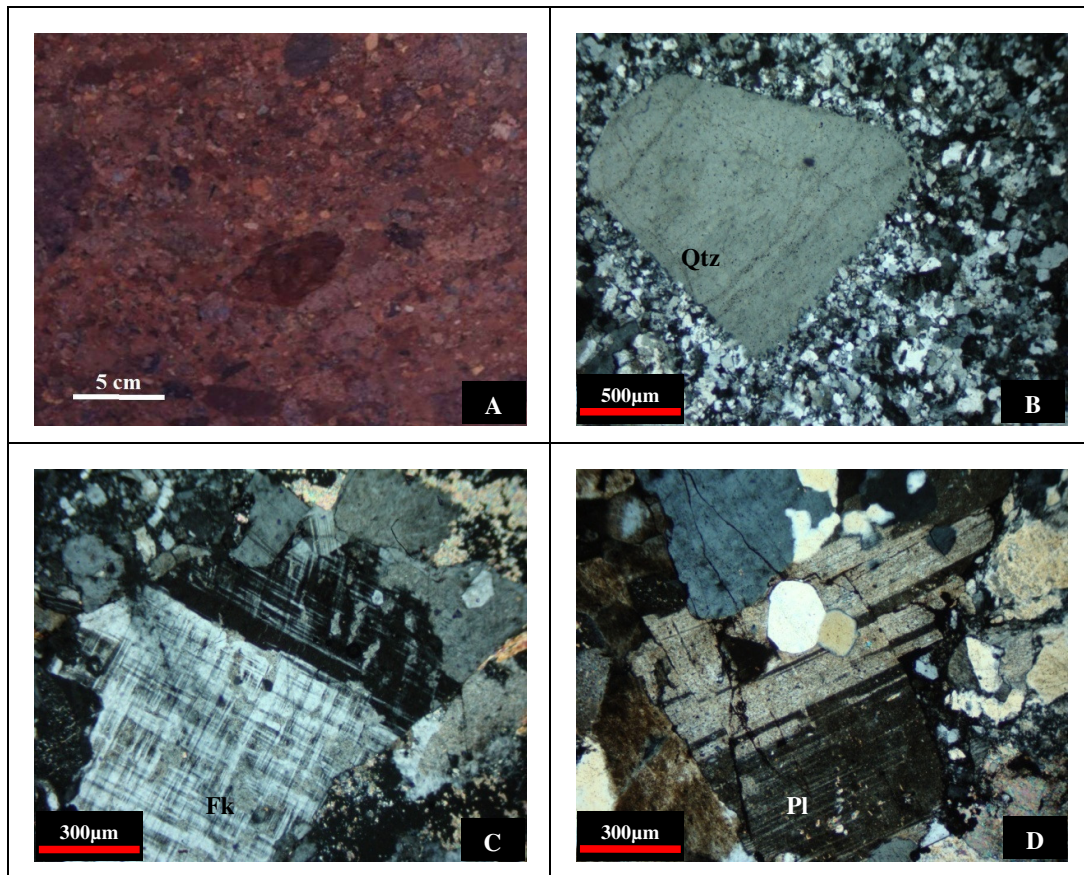
O **quartzo** apresenta extinção ondulante, cristais incolores, subarredondados e subangulosos, com distribuição heterogênea, grãos de tamanhos milimétricos que variam até 2,6 mm (Figura 5.18; Fotomicrografia B). Muitos grãos apresentam microfissuras intergranulares preenchidas por muscovita.

O **plagioclásio** aparece sob a forma de minerais subedrais a anedrais, distribuídos de forma heterogênea, ocorre em agregados na matriz e no interior dos fragmentos de rocha, com dimensões entre 0,4 mm e 2,5 mm, contatos plano-denteados, geminação polissintética, por vezes fracamente preservadas, devido à alteração (saussuritização e sericitização). Alguns grãos apresentam microfissuras intergranulares preenchidas por óxidos e hidróxidos de ferro (Figura 5.18; Fotomicrografia D).

A **muscovita** aparece de forma secundária, a partir da alteração do plagioclásio e feldspato potássico, com produção de sericita, ou ainda associada a outros minerais do grupo das argilas.

Os **minerais opacos** ocorrem dispersos na rocha, como pequenos agregados ou como óxidos de ferro nos interstícios dos minerais mais alterados, como feldspatos e micas.

Figura 5.18 – (A) Foto da placa polida do conglomerado Bourdeaux Terracota; (B) Fotomicrografia de grão de quartzo em meio à matriz quartzo-feldspática do conglomerado (LO); (C) Fotomicrografia exibindo grão subidiomórfico de feldspato potássico exibindo maclamento xadrez fraco circundado por minerais de alteração (LO); (D) Fotomicrografia mostrando plagioclásio microfissurado e alterado com produção de sericita (LO).



Legenda: Qtz – Quartzo; Fk – Feldspato potássico; Pl – Plagioclásio; LO – Luz Ortoscópica.
Fonte: Elaborada pela autora.

5.3 Análises Químicas

Para 13 das 15 rochas selecionadas para a pesquisa foram realizadas análises químicas com a determinação dos óxidos dos elementos maiores (%), traços (ppm) (Tabela 5.3) e elementos Terras Raras (ppm) (Tabela 5.4). Para as duas outras amostras, correspondentes às rochas Infinity Gold (um pegmatito granítico brechóide) e ao Bourdeaux Terracota (conglomerado polimíctico), foram realizados apenas as determinações dos teores de U e Th (Tabela 6.2; Capítulo 6) em virtude da primeira delas se encontrar altamente argilizada e contendo grande quantidade de materiais colantes (resinas) e da segunda por incluir seixos e fragmentos de grande variedade litológica. Os materiais utilizados para as análises químicas foram extraídos das amostras utilizadas (ripas) para o monitoramento da exalação do gás radônio.

O tratamento dos dados químicos foi realizado utilizando o “*software*” denominado MINPET versão 2.02 (Richard, 1995), para ambiente Windows, onde foram tratados graficamente e apresentados em diagramas de variação binários e/ou ternários, diagramas classificatórios e diagramas discriminantes, objetivando, na medida do possível, informações petrogenéticas adicionais que possam contribuir nas interpretações do comportamento radiométrico destas rochas.

5.3.1 Considerações Geoquímicas

No conjunto de rochas analisadas, 6 delas são do Maciço Granítico Meruoca (JG, VC, VL, VF, RD, YT), 2 são do *Stock* Granítico Serra do Barriga (BCQ, RI) e 2 são dos *stocks* Morrinhos (BC) e São Paulo (BSP) e que, dentre as 13 rochas analisadas, quatro delas são fortemente hidrotermalizadas (Verde Light – VL; Verde Ceará – VC; Juparaná Gold – JG; Yellow Tropical – YT) e duas intensamente milonitizadas com brechação superposta (Green Galaxy – GG; Red Dragon – RD), fatores estes que podem alterar a química original destas rochas magmáticas.

O conteúdo de SiO₂ das amostras estudadas varia de 66,5% a 77,1%, com 11 delas acima de 70%, caracterizando magmas ácidos evoluídos de composição desde álcali-feldspato granítica a granodiorítica. Os teores de Al₂O₃ são relativamente elevados, com valores entre 11,06% e 15,64%. Os teores de Fe₂O₃ são considerados baixos a moderados, variando de 1,26% a 4,83%.

Tabela 5.3 – Resultados das análises químicas de elementos maiores (%), menores e traços (ppm) das rochas analisadas.

Óxidos	AMOSTRAS												
	GG	JG	VC	VL	VF	RD	YT	BCQ	RI	CP	BC	BSP	COB
SiO ₂	66,55	77,14	73,99	76,96	74,53	70,40	74,75	75,91	73,65	67,80	73,26	73,62	73,93
Al ₂ O ₃	15,64	11,06	11,81	11,13	12,22	13,12	12,19	12,05	13,16	15,39	14,82	14,89	13,72
Fe ₂ O ₃	4,39	2,73	3,87	3,03	3,27	4,83	2,99	2,87	2,77	3,88	1,44	1,26	2,32
MgO	1,20	0,01	0,06	0,01	0,03	0,70	0,04	0,03	0,10	1,10	0,01	0,01	0,21
CaO	2,95	0,67	0,91	0,59	0,69	0,31	0,66	0,71	1,02	2,54	0,43	0,26	0,86
Na ₂ O	2,91	2,92	3,11	3,02	3,26	2,76	3,21	3,71	3,41	4,14	5,78	4,89	3,03
K ₂ O	4,38	4,75	5,13	4,80	5,15	6,19	5,39	4,30	5,14	3,50	3,45	4,24	5,29
TiO ₂	0,64	0,10	0,22	0,11	0,14	0,31	0,15	0,05	0,15	0,41	<0,01	<0,01	0,12
P ₂ O ₅	0,22	0,01	0,02	0,01	0,02	0,06	0,02	<0,01	0,03	0,16	0,01	<0,01	0,07
MnO	0,06	0,03	0,06	0,03	0,04	0,02	0,03	0,03	0,04	0,06	0,04	0,12	0,03
Cr ₂ O ₃	0,003	0,003	0,003	<0,002	0,002	0,002	0,003	0,002	0,004	0,005	0,003	<0,002	<0,002
LOI	0,8	0,5	0,6	0,2	0,5	1,0	0,4	0,3	0,4	0,6	0,7	0,7	0,3
Total	99,743	99,923	99,783	99,892	99,852	99,702	99,833	100,372	99,874	99,585	99,953	100,012	99,882
A/CNK	1,28	1,05	1,03	1,04	1,06	1,14	1,04	1,06	1,09	1,19	1,09	1,16	1,19
Traços													
Ni	<20	<20	<20	<20	<20	22	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Sc	7	1	2	<1	2	5	1	<1	2	5	1	1	2
Ba	948	117	872	127	535	1349	447	24	376	2082	8	2	742
Be	3	3	7	7	6	5	3	7	3	2	<1	6	4
Co	7,7	0,7	1,1	0,6	1,3	3,7	0,8	0,8	1,7	6,1	0,5	0,8	2,1
Cs	8,6	2,8	2,7	2,6	3,9	0,5	4,2	6,3	5,1	1,3	5,8	24,7	2,5
Ga	22,2	30,3	29,8	27,7	31,7	30,6	29,3	29,5	25,0	19,9	54,2	49,3	17,9
Hf	6,6	9,2	13,2	9,4	11,1	13,5	11,2	6,5	6,5	5,0	4,6	9,4	3,5
Nb	16,6	45,5	47,1	45,4	47,3	39,2	43,0	17,2	11,5	9,9	53,2	53,4	8,0
Rb	230,6	214,6	160,6	187,9	234,6	166,7	198,7	344,8	278,7	75,1	846,2	1300	260,7
Sn	<1	4	6	4	7	5	4	8	8	2	84	20	2
Sr	334,1	5,9	49,5	8,4	42,0	74,8	18,2	11,1	69,4	856,6	5,1	2,8	124,5
Ta	1,3	3,2	2,1	2,7	3,9	1,9	2,2	2,1	1,0	0,8	20,6	13,8	0,7
Th	17,0	16,4	17,3	17,2	21,1	20,8	16,3	40,0	20,5	10,7	13,7	20,8	25,7
U	5,1	4,7	3,5	5,0	4,3	3,1	4,0	13,6	4,2	1,5	11,9	8,1	3,2
V	39	<8	<8	<8	<8	<8	<8	<8	12	24	<8	<8	<8
W	0,7	1,9	1,8	1,5	1,4	3,8	1,9	0,7	0,8	<0,5	1,3	0,9	0,5
Zr	230,2	183,2	392,2	202,7	279,3	472,0	286,3	123,8	174,6	190	39,1	55	108,8
Y	17,9	157,1	120,5	110,5	109,7	81,1	111,3	154,6	49,6	11,8	41,9	64,5	7,6

Legenda: GG – Green Galaxy; JG – Juparaná Gold; VC – Verde Ceará; VL – Verde Light; VF – Vermelho Filomena; RD – Red Dragon; YT – Yellow Tropical; BCQ – Branco Cristal Quartzoz; RI – Rosa Iracema; CP – Cinza Prata; BC – Branco Ceará; BSP – Branco São Paulo; COB – Cinza Ouro Branco. Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela 5.4 – Análises químicas de elementos terras raras (ppm) das rochas analisadas.

ETR	AMOSTRAS												
	GG	JG	VC	VL	VF	RD	YT	BCQ	RI	CP	BC	BSP	COB
La	48,5	66,8	132,2	67,9	104,9	202,4	107,4	9,6	47,0	62,0	9,8	14,8	46,2
Ce	98,7	140,7	260,3	142,0	209,8	367,9	213,8	24,1	98,1	105,9	27,9	52,4	84,5
Pr	11,8	17,9	31,23	17,1	24,6	44,1	25,0	3,8	10,8	10,8	3,7	9,1	8,8
Nd	45,4	73,8	122,5	62,6	93,1	173,0	96,1	18,6	36,3	36,8	13,5	39,6	28,8
Sm	7,8	19,0	23,60	14,9	19,1	29,7	19,2	7,8	8,0	4,9	4,9	18,8	5,1
Eu	1,2	0,4	1,86	0,4	0,97	3,5	0,94	0,1	0,7	1,3	0,03	<0,02	0,4
Gd	5,7	23,7	22,46	16,4	18,7	21,2	19,2	12,8	7,5	3,7	5,1	17,3	3,8
Tb	0,8	4,4	3,7	2,9	3,3	2,8	3,2	2,7	1,34	0,4	1,2	4,5	0,5
Dy	4,1	27,6	20,6	18,7	19,4	14,9	20,1	18,7	8,5	2,1	8,1	29,3	1,9
Ho	0,6	6,0	4,8	4,0	4,2	2,8	4,1	4,5	1,8	0,4	1,8	5,7	0,3
Er	1,5	17,4	12,6	12,1	11,8	8,3	12,6	13,5	4,9	1,1	6,2	17,4	0,6
Tm	0,2	2,6	1,7	1,8	1,8	1,3	1,8	2,1	0,8	0,1	1,2	3,4	0,1
Yb	1,1	16,4	10,7	11,4	11,0	8,4	11,4	13,3	5,2	1,1	9,7	25,3	0,5
Lu	0,2	2,4	1,5	1,6	1,7	1,2	1,5	1,9	0,6	0,1	1,4	3,5	0,1
(La/Sm) _N	3,91	2,21	3,53	2,87	3,46	4,29	3,52	0,77	3,70	7,96	1,26	0,50	5,70
(Gd/Yb) _N	4,20	1,17	1,70	1,17	1,38	2,05	1,36	0,78	1,17	2,73	0,43	0,55	6,16
(La/Yb) _N	29,79	2,75	8,35	4,02	6,44	16,28	6,37	0,49	6,11	38,09	0,68	0,40	62,44
Eu/Eu*	0,53	0,06	0,24	0,08	0,16	0,41	0,15	0,03	0,27	0,90	0,02	0,002	0,27

Legenda: GG – Green Galaxy; JG – Juparaná Gold; VC – Verde Ceará; VL – Verde Light; VF – Vermelho Filomena; RD – Red Dragon; YT – Yellow Tropical; BCQ – Branco Cristal Quartzzo; RI – Rosa Iracema; CP – Cinza Prata; BC – Branco Ceará; BSP – Branco São Paulo; COB – Cinza Ouro Branco.

Fonte: Elaborada pela autora.

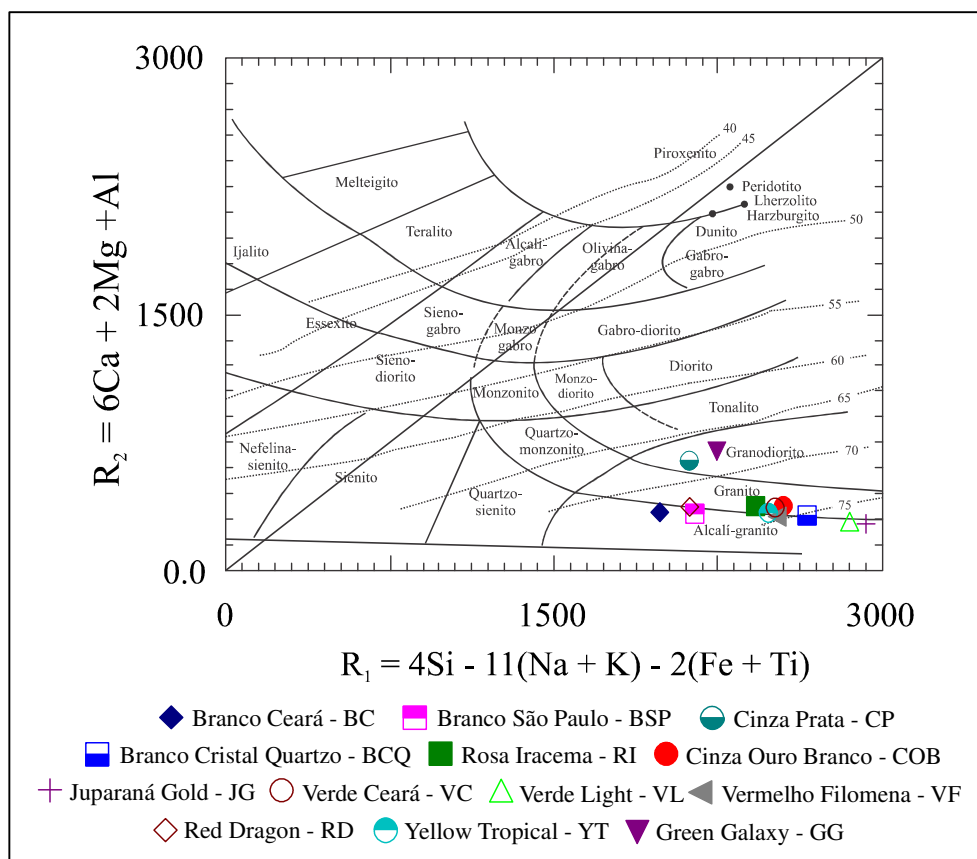
A classificação petrográfica das rochas estudadas obtidas através do diagrama catiônico $R_1:R_2$ proposto por De la Roche et al. (1980) (Figura 5.19) confirma o elevado grau evolutivo destes materiais e a boa coerência com a classificação petrográfica modal apresentada no Capítulo 5. O diagrama da Figura 5.19 permite, inclusive, precisar a classificação da rocha Green Galaxy (GG) como sendo um granodiorito, o que não foi possível através da classificação modal em virtude de sua textura ultramilonítica com extrema cuminuição mineral.

Uma tentativa da caracterização serial do magmatismo através dos diagramas SiO_2 vs. $Na_2O + K_2O$ (Figura 5.20A), AFM (Figura 5.20B), SiO_2 vs. K_2O (Figura 5.21A) e $K_2O:Na_2O:CaO$ (Figura 5.21B) permite considerar que, com exceção da variedade Cinza Ouro Branco à duas micas, as demais rochas investigadas são de natureza essencialmente cálcio-alcalina alto-K, o que está de acordo com os dados disponibilizados na literatura conforme apresentado no item sobre o contexto geológico dos materiais estudados.

Assim, quando projetadas no diagrama SiO_2 vs. $Na_2O + K_2O$ com os campos de Irvine & Baragar (1971) as rochas estudadas são classificadas como pertencentes à série magmática

subalcalina, sendo que no diagrama AFM (IRVINE & BARAGAR, 1971) as rochas analisadas são caracterizadas como da série cálcio-alkalina, descrevendo um *trend* paralelo na parte inferior do lado AF, descartando qualquer indício de uma possível natureza toleítica para esses materiais.

Figura 5.19 – Classificação das rochas estudadas segundo diagrama catiônico $R_1:R_2$ proposto por De la Roche et al. (1980).



Fonte: Elaborada pela autora.

O diagrama binário K_2O vs. SiO_2 (Figura 5.21A) com as subdivisões de Piccirillo & Taylor (1976), para os termos mais diferenciados da série cálcio-alkalina, caracteriza as rochas analisadas como da série cálcio-alkalina alto-K. Observa-se que uma das amostras analisadas, o albita granito Branco Ceará (BC), aparece na transição da série de rochas cálcio-alkalinas de médio a alto-K.

A tendência geral cálcio-alkalina das rochas, enriquecida em potássio, também é confirmada pelo diagrama $K_2O:Na_2O:CaO$ (Figura 5.21B) proposto por Barker & Arth (1976) para a distinção entre as séries evolutivas trondhjémicas e cálcio-alkalinas. No entanto,

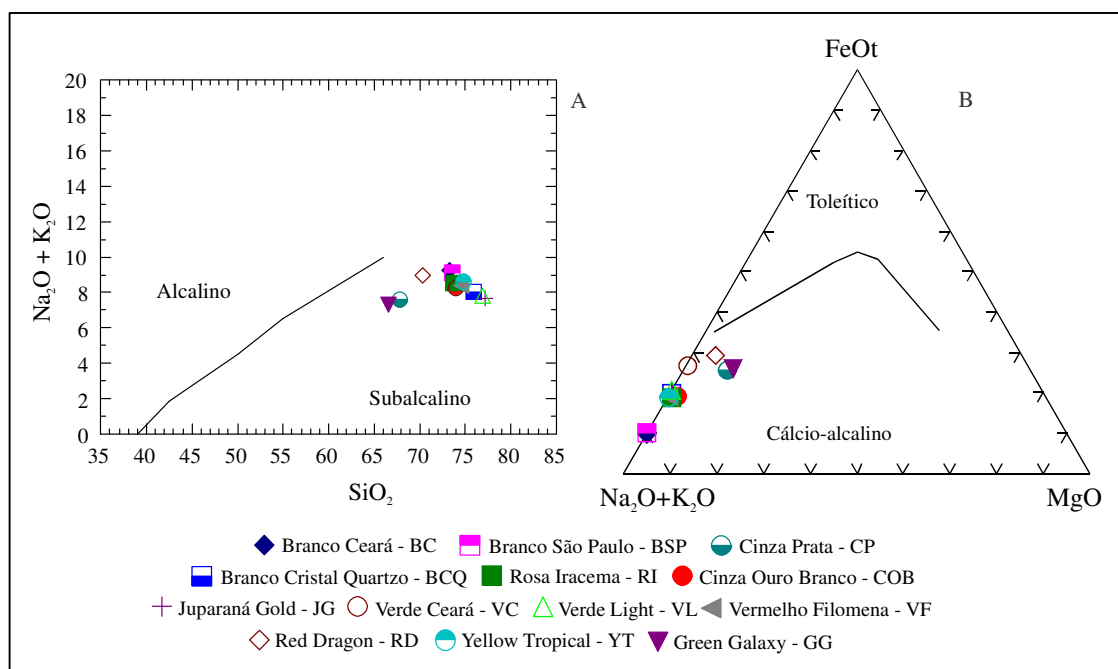
observa-se que as variedades Branco Ceará (BC) e Branco São Paulo (BSP) se deslocam da tendência cálcio-alcálica geral devido a relativo enriquecimento em sódio, o que estaria bastante coerente por se tratarem de microclínio-albita granitos com muscovita, zinnwaldita e topázio, inferindo certa tendência alcálica para estas rochas. Já a variedade Green Galaxy (GG) se situa na porção central do diagrama e relativamente afastada da linha geral de tendência cálcio-alcálica em direção ao vértice K_2O , o que estaria de acordo com sua natureza ultramilonítica brechóide, processos esses que podem acarretar certo grau de lixiviação de sódio e de cálcio pela circulação de fluidos.

No diagrama de alumina-saturação $Al_2O_3/(CaO + Na_2O + K_2O) : Al_2O_3/(Na_2O + K_2O)$ (Figura 5.22) proposto por Maniar & Piccoli (1989), as amostras analisadas se situam no campo das rochas peraluminosas, com relação $A/CNK > 1$, com parte das amostras bastante próximas ou sobre a linha peralcalina, o que impede uma perfeita distinção da linhagem evolutiva destas rochas.

Entretanto, quando correlacionadas com as respectivas constituições mineralógicas é possível inferir que a maioria das rochas é de derivação metaluminosa. Assim, as variedades Branco Cristal Quartzo (BCQ), Cinza Prata (CP), Verde Light (VL), Verde Ceará (VC), Yellow Tropical (YT), Rosa Iracema (RI), Vermelho Filomena (VF), Red Dragon (RD) e Green Galaxy (GG) apresentam titanita, allanita e a maioria delas hornblenda, minerais estes típicos de derivação metaluminosa. A amostra da variedade Juparaná Gold (JG) não apresenta hornblenda, titanita, allanita e nem minerais aluminosos como muscovita e granada, mas a presença de ortoclásio permite inferir origem profunda e de colocação rasa, portanto, incompatível com uma origem peraluminosa tipo-S. Já, a variedade Cinza Ouro Branco (COB) se caracteriza pela presença de muscovita primária (3,5%) e ausência de minerais mais cálcicos como hornblenda e titanita, indicando uma natureza peraluminosa tipo-S para este material, o que estaria de acordo com os resultados obtidos por Lima (2008) e Lima et al. (2010).

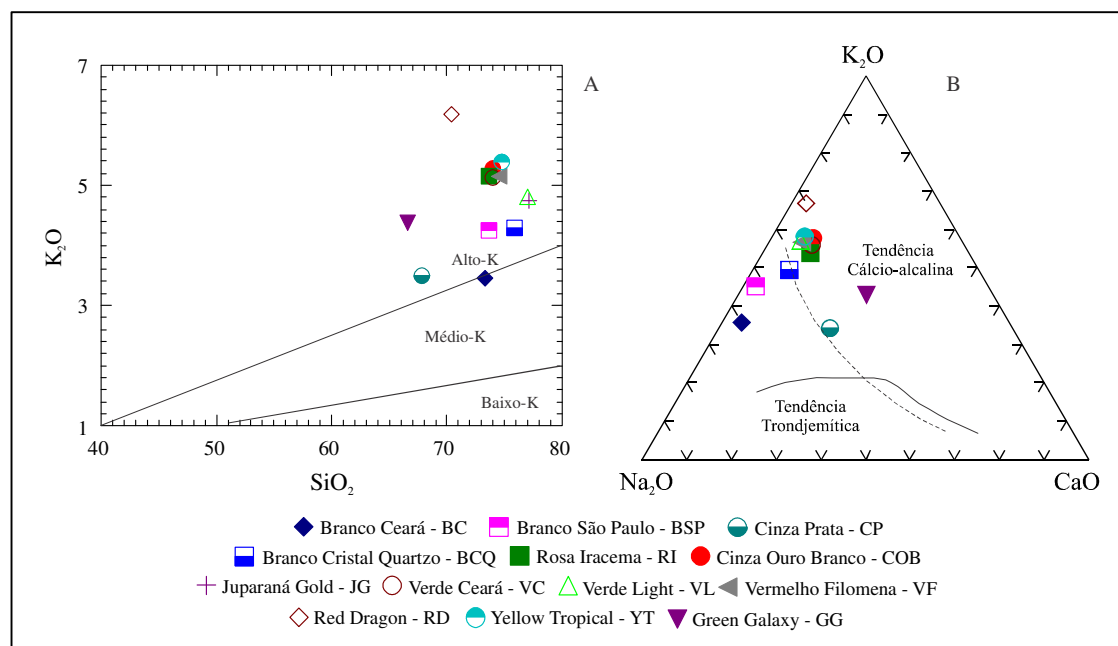
As variedades Branco Ceará (BC) e Branco São Paulo (BSP) relacionados ao *Stock* Granítico Morrinhos e São Paulo, representados por microclínio-albita granitos altamente evoluídos (com albita primária), apresentam caráter peraluminoso com afinidade subalcalina, atestados por Gomes (2006) como se tratando de granitos anorogênicos tipo-A.

Figura 5.20 – (A) Diagrama SiO_2 vs. $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ segundo Irvine & Baragar (1971) e (B) Diagrama AFM de Irvine & Baragar (1971).



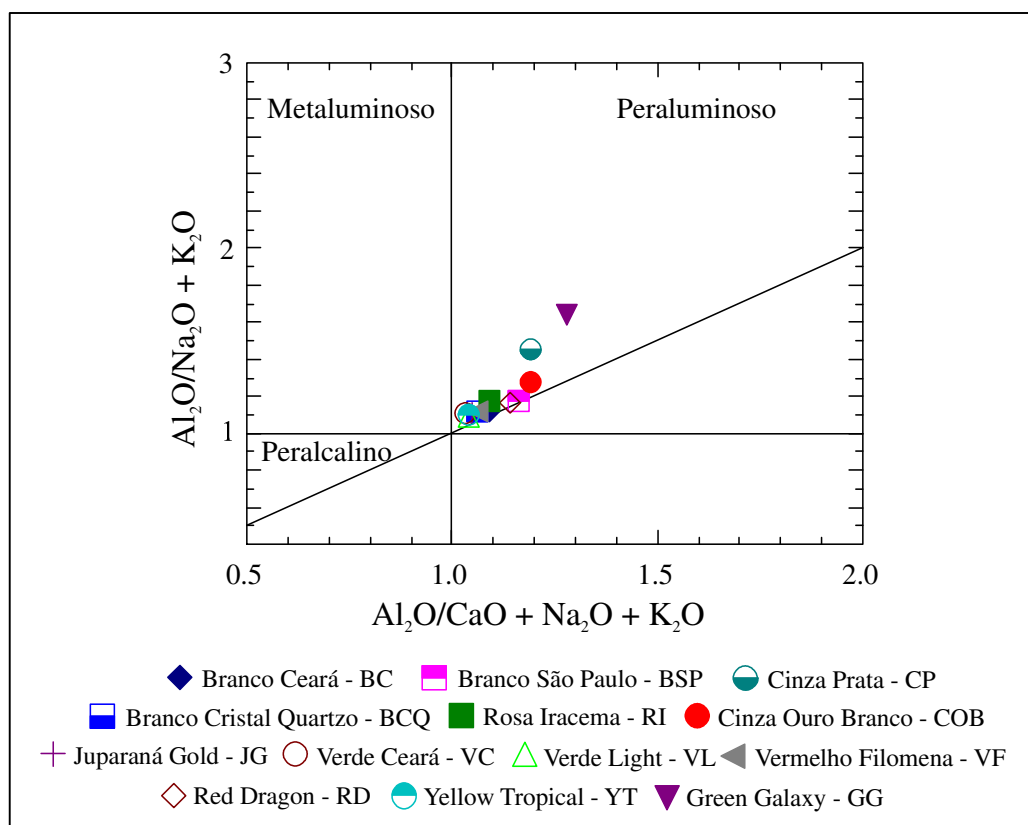
Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 5.21 – (A) Diagrama K_2O vs. SiO_2 de Piccirillo & Taylor (1976) e (B) Diagrama $\text{K}_2\text{O}:\text{Na}_2\text{O}:\text{CaO}$ segundo Barker & Arth (1976).



Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 5.22 – Diagrama A/NK vs A/CNK para avaliação das relações entre álcalis e alumina segundo Maniar & Piccoli (1989).



Fonte: Elaborada pela autora.

Quanto aos espectros de Elementos Terras Raras (ETR), normalizados pelos valores do Condrito de Taylor & McLennan (1985), as rochas analisadas apresentam quatro padrões evolutivos distintos (Figura 5.23 A, B, C, D), tipicamente de rochas evoluídas caracterizadas por diferentes graus nas anomalias negativas de európio (Eu) e de retenção de ETR pesados.

O conjunto representado pelas rochas Branco Ceará (BC), Branco São Paulo (BSP) e Branco Cristal Quartzo (BCQ), conforme Figura 5.23A, corresponde à rochas mais evoluídas (portanto mais alcalinas), caracterizadas por fortes anomalias negativas de európio (0,002 – 0,03) e pouco fracionamento de ETR (0,40 – 0,68), destacando-se das demais pelo padrão tipo “gaivota simétrico” definido pelos ramos pré e pós- Eu horizontalizados. Os ramos pós-Eu horizontalizados, indicando certa retenção de ETR pesados, encontram correspondência na presença de minerais naturalmente detentores destes elementos como zircão (0,5% no BC; 0,2 no BCQ e traços no BSP), titanita e allanita como traços no BCQ, opacos, apatita e zinnwaldita (4,0% a 4,5% nos granitos BC e BSP).

Padrões de ETR com fortes anomalias negativas de Eu em rochas graníticas evoluídas foram constatados por Bruma et al. (1971), Cullers & Graf (1974) e McCarthy & Harty (1976), considerando-os como reflexo do comportamento dos feldspatos. Consideraram esta anomalia causada por diferenciação magmática, processo pelo qual os primeiros plagioclásios cristalizados retiram o Eu^{2+} que substitui o Sr^{2+} e Ca^{2+} nos seus retículos cristalinos (MORINI et al. 1992).

Os padrões de ETR exibidos pelas rochas Red Dragon (RD), Verde Ceará (VC), Green Galaxy (GG) e Cinza Ouro Branco (COB) do tipo “gaivota assimétrico” com discreta anomalia negativa de európio (Eu) (0,24 – 0,53), caracterizados pelo fracionamento entre ETRL (3,53 – 5,70) e ETRP (1,70 – 6,16) (Figura 5.23B), estão de acordo com os teores pouco mais elevados de plagioclásio (no caso VC com 3,0% de hornblenda e 0,2% de titanita) deste conjunto de rochas, bem como pela pobreza de minerais detentores de ETR pesados como zircão, allanita e apatita.

Este padrão enriquecido em elementos terras raras leves (ETRL) em relação aos elementos terras raras pesados (ETRP), comum para rochas cálcio-alcálicas, sugere participação crustal no processo de formação dos magmas ácidos.

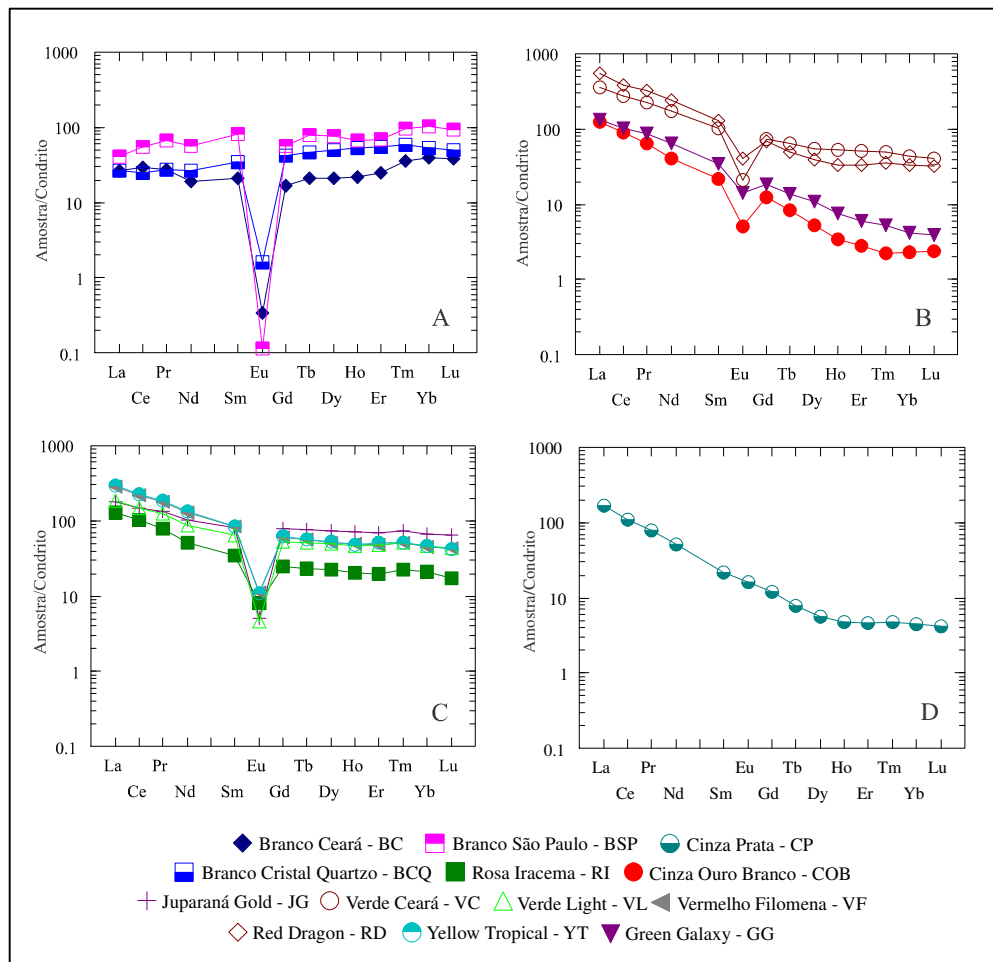
O conjunto dado pelas rochas Juparaná Gold (JG), Vermelho Filomena (VF), Yellow Tropical (YT), Verde Light (VL) e Rosa Iracema (RI) (Figura 5.23C) com valores significativamente menores de ETR leves que o conjunto Red Dragon (RD) e Verde Ceará (VC) e com anomalia negativa de európio (Eu) (0,06 – 0,27) intermediária entre o grupo de rochas estudadas, se caracteriza por um padrão do tipo “gaivota levemente assimétrico” definido pelo ramo pré-Eu mais inclinado e o pós-Eu subhorizontalizado. Estes padrões caracterizados por discreto enriquecimento em ETRP e leve fracionamento de ETRL (2,21 – 3,70), típicos para rochas de natureza cálcio-alcálica, se mostram coerentes com a mineralogia acessória destas rochas, representada por baixos teores de hornblenda e frequente presença de zircão, titanita, allanita e apatita.

Já a variedade Cinza Prata (CP) com um padrão de ETR do tipo “gaivota assimétrico” adquirindo certa horizontalidade no ramo final dos ETR pesados, mas sem anomalia negativa de európio (Eu) com valor da ordem de 0,90 (Figura 5.23D), corresponde ao granito menos evoluído da série estudada, comprovado pela sua natureza granodiorítica contendo biotita (8,0%) e hornblenda (2,0%), além de zircão (0,3%), apatita (0,5%) e traços de titanita e allanita. Esse padrão é típico de granodiorito (COCHERIE, 1984 apud MARINI et al. 1992), podendo ser interpretado como característico de rochas ígneas pouco evoluídas, com plagioclásio/feldspato potássico > 1 , nas quais não ocorreu (ou foi incipiente) a separação

gravitacional do plagioclásio. Este padrão, ligeiramente côncavo dado pela terminação do braço pós-Eu para cima, sugere líquidos produzidos a partir da fusão parcial de rochas quartzo-feldspáticas com anfibólio no resíduo sólido.

No conjunto, os padrões de ETR exibidos pelas amostras estudadas sugerem origem crustal para estas rochas submetidas a diferentes graus e tipos de fracionamentos magmáticos. No geral correspondem a rochas altamente evoluídas e, com exceção dos granitos Branco Ceará (BC), Branco Cristal Quartzo (BCQ) e Branco São Paulo (BSP) caracterizados pelos elevados teores de álcalis, tipicamente de afinidade cálcio-alcálica.

Figura 5.23 – Espectros dos ETR para as rochas analisadas normalizados pelos valores do Condrito de Taylor & McLennan (1985).



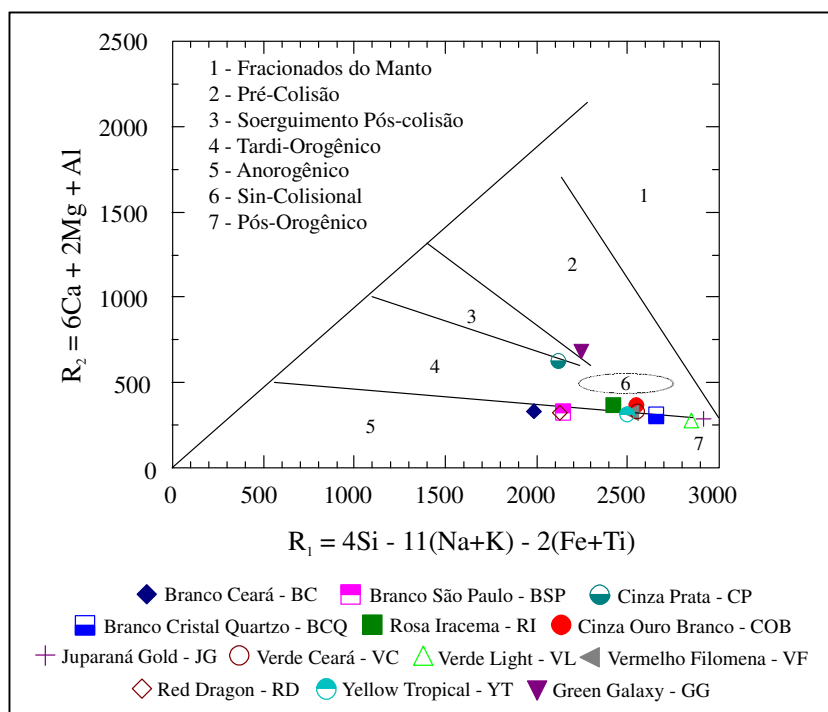
Fonte: Elaborada pela autora.

5.3.2 Classificação das Rochas quanto ao Ambiente Tectônico

Com relação ao diagrama discriminante de ambiente tectônico para granitos $R_1:R_2$ (DE LA ROCHE et al. 1980) com os campos propostos por Batchelor & Bowden (1985), a maior parte das rochas analisadas situa-se na transição dos campos dos granitos tardi-orogênicos e pós-orogênicos (Figura 5.24), sugerindo que tais amostras evoluíram em um ambiente com forte contribuição crustal.

Uma das amostras, o ultramilonito Green Galaxy (GG), situa-se no campo pré-colisional, cujo posicionamento pré-colisional pode ter sido condicionado pelos intensos processos tectônicos superpostos e, portanto, não refletir seu ambiente geotectônico original. A mesma situação poderia ser atribuída ao Red Dragon (RD), situado no campo anorogênico. Já, as variedades Branco Ceará (BC) e Branco São Paulo (BSP) adentrando o campo anorogênico estariam de acordo com as características intraplacas tipo-A de caráter peraluminoso com afinidade subalcalina e típico de ambiente intraplaca sugeridas por Gomes (2006).

Figura 5.24 – Diagrama $R_1:R_2$ para discriminação de granitos de diferentes ambientes geotectônicos segundo Batchelor & Bowden (1985).



Fonte: Elaborada pela autora.

CAPÍTULO 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Considerações Iniciais

Neste capítulo serão apresentados e discutidos os resultados referentes aos ensaios de índices físicos (densidade aparente, porosidade aparente e absorção de água), análise química em rocha total por espectrometria de massa com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS) com as respectivas concentrações em ppm de U, Th e ^{40}K e quantificação da exalação do gás radônio por detecção ativa simulando sua adição em ambientes fechados e/ou com pouca circulação de ar, buscando estabelecer correlações entre os resultados obtidos com os dados da caracterização petrográfica.

6.2 Índices Físicos

Para o melhor entendimento do comportamento do gás radônio nas rochas estudadas foram efetuadas determinações dos índices físicos segundo as diretrizes da norma NBR 15845 – Anexo B (ABNT, 2010), compreendendo densidade aparente, porosidade aparente e absorção de água, normalmente obtidos para rochas que se destinam ao uso como materiais de revestimento de edificações. Tais parâmetros influenciam de forma diferenciada as propriedades físicas e mecânicas da rocha, refletindo a presença de micro-descontinuidades como poros, fraturas, microfissuras, tipos de contatos minerais e que influenciam na maior ou menor difusão do referido gás.

Os valores médios obtidos para os índices físicos das amostras estudadas estão relacionados na Tabela 6.1 e os dados completos encontram-se no Apêndice A.

Tabela 6.1 – Síntese dos resultados médios dos Índices Físicos.

Materiais utilizados	Densidade aparente seca (kg/m³) ± DV (CV)	Densidade aparente saturada (kg/m³) ± DV (CV)	Porosidade aparente (%) ± DV (CV)	Absorção de água (%) ± DV (CV)
Green Galaxy – GG	2695 ± 8 (0,3)	2697 ± 8 (0,3)	0,14 ± 0,04 (31,4)	0,05 ± 0,02 (31,5)
Juparaná Gold – JG	2612 ± 2 (0,1)	2618 ± 2 (0,1)	0,67 ± 0,03 (4,8)	0,26 ± 0,01 (4,8)
Verde Ceará – VC	2624 ± 5 (0,2)	2628 ± 5 (0,2)	0,41 ± 0,03 (7,6)	0,16 ± 0,01 (7,7)
Verde Light – VL	2616 ± 2 (0,10)	2621 ± 1 (0,1)	0,50 ± 0,05 (10,1)	0,19 ± 0,02 (10,2)
Vermelho Filomena – VF	2605 ± 2 (0,1)	2610 ± 2 (0,1)	0,51 ± 0,02 (4,3)	0,19 ± 0,01 (4,3)
Red Dragon – RD	2610 ± 9 (0,3)	2618 ± 8 (0,3)	0,77 ± 0,15 (19,3)	0,30 ± 0,06 (19,3)
Yellow Tropical – YT	2613 ± 6 (0,2)	2621 ± 6 (0,2)	0,79 ± 0,05 (6,0)	0,30 ± 0,02 (6,1)
Branco Cristal Quartzo – BCQ	2613 ± 2 (0,1)	2619 ± 2 (0,1)	0,51 ± 0,02 (3,8)	0,20 ± 0,01 (3,8)
Rosa Iracema – RI	2631 ± 4 (0,1)	2636 ± 4 (0,1)	0,48 ± 0,03 (6,7)	0,18 ± 0,01 (6,8)
Cinza Prata – CP	2685 ± 8 (0,3)	2688 ± 8 (0,3)	0,38 ± 0,04 (9,2)	0,14 ± 0,01 (9,3)
Branco Ceará – BC	2608 ± 2 (0,1)	2616 ± 1 (0,1)	0,78 ± 0,08 (10,8)	0,30 ± 0,03 (10,8)
Branco São Paulo – BSP	2635 ± 7 (0,3)	2642 ± 7 (0,3)	0,74 ± 0,10 (14,0)	0,28 ± 0,04 (14,1)
Infinity Gold – IG	2314 ± 30 (1,3)	2371 ± 22 (0,9)	5,68 ± 0,95 (16,7)	2,46 ± 0,44 (18,1)
Cinza Ouro Branco – COB	2609 ± 1 (0,1)	2618 ± 1 (0,04)	0,89 ± 0,04 (4,2)	0,34 ± 0,01 (4,3)
Bourdeaux Terracota – BT	2595 ± 4 (0,2)	2607 ± 3 (0,1)	1,26 ± 0,14 (11,0)	0,48 ± 0,05 (11,1)

Legenda: DV – Desvio Padrão; CV – Coeficiente de Variação.

Fonte: Elaborada pela autora.

» *Densidade Aparente*

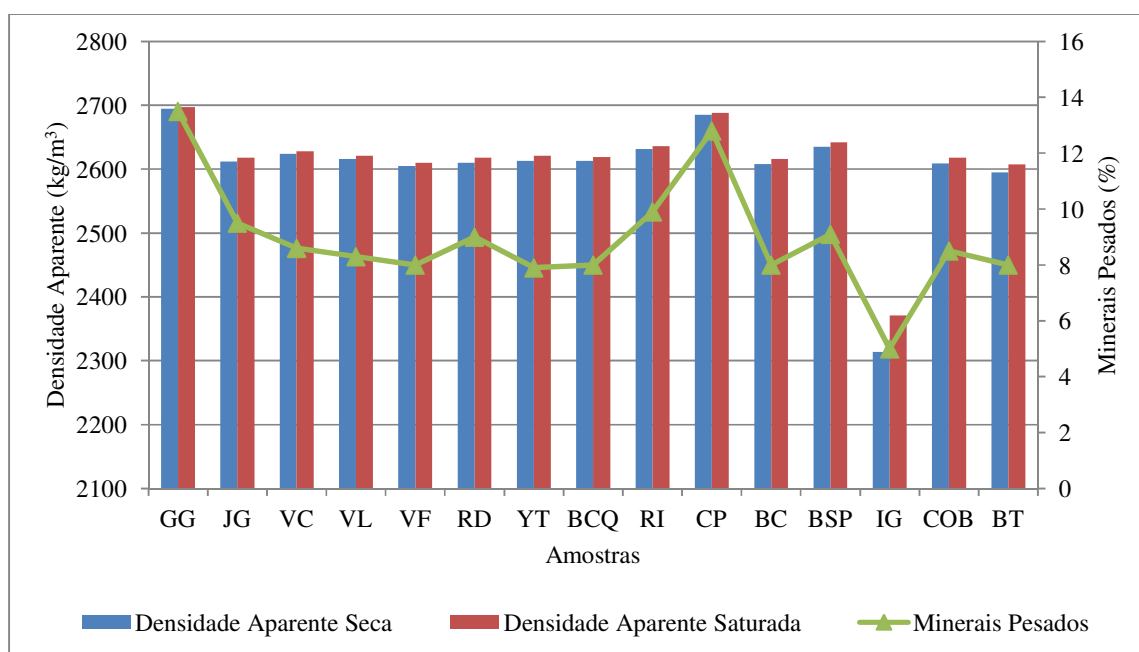
Os valores de densidade aparente para a maior parte das amostras superam os valores médios de 2550 kg/m³ requeridos pela norma NBR 15844 (ABNT, 2010) para rochas graníticas, exceto para uma rocha, o pegmatito Infinity Gold (IG) que apresentou valores de densidade aparente seca (2314 kg/m³) e saturada (2371 kg/m³) abaixo da média das rochas brasileiras. A Figura 6.1 correlaciona os valores médios de densidade seca e saturada e correspondentes teores de minerais pesados para as amostras estudadas. Os valores fornecidos pelas rochas apresentam concordância entre a densidade e os teores de minerais pesados, refletindo a mineralogia dos materiais estudados, ou seja, quanto maior a porcentagem de minerais pesados maior será a densidade da rocha.

Pode-se observar que os maiores valores de densidade aparente estão representados pelas amostras do ultramilonito Green Galaxy (2697 kg/m³) e do granodiorito Cinza Prata (2688 kg/m³), com porcentagem de minerais pesados de 13,5% (clorita, carbonatos, óxidos e hidróxidos de ferro, titanita, allanita e zircão) e de 12,8% (biotita, hornblenda, allanita, titanita, apatita, zircão), respectivamente. Com relação ao ultramilonito Green Galaxy (GG) que apresentou a maior densidade (2697 kg/m³), é uma rocha de granulação fina, onde

predominam grãos com dimensões variando de 0,2 mm a 0,4 mm, bastante microfissurada, entretanto a grande maioria das microfissuras (84,6%) está preenchida, não deixando espaços vazios para percolação de líquidos e/ou ar.

A amostra do pegmatito granítico brechóide Infinity Gold (IG) apresentou um valor de densidade aparente igual a 2371 kg/m³, valor abaixo da média das rochas brasileiras, reflexo do alto índice de poros e microfissuras presentes na rocha que reflete numa porosidade elevada (5,68%), como também pela elevada intensidade de argilização dos feldspatos e da pequena quantidade de minerais pesados (5%) em relação às outras rochas estudadas.

Figura 6.1 – Correlação entre densidade aparente seca e saturada e teor de minerais pesados para as rochas estudadas.



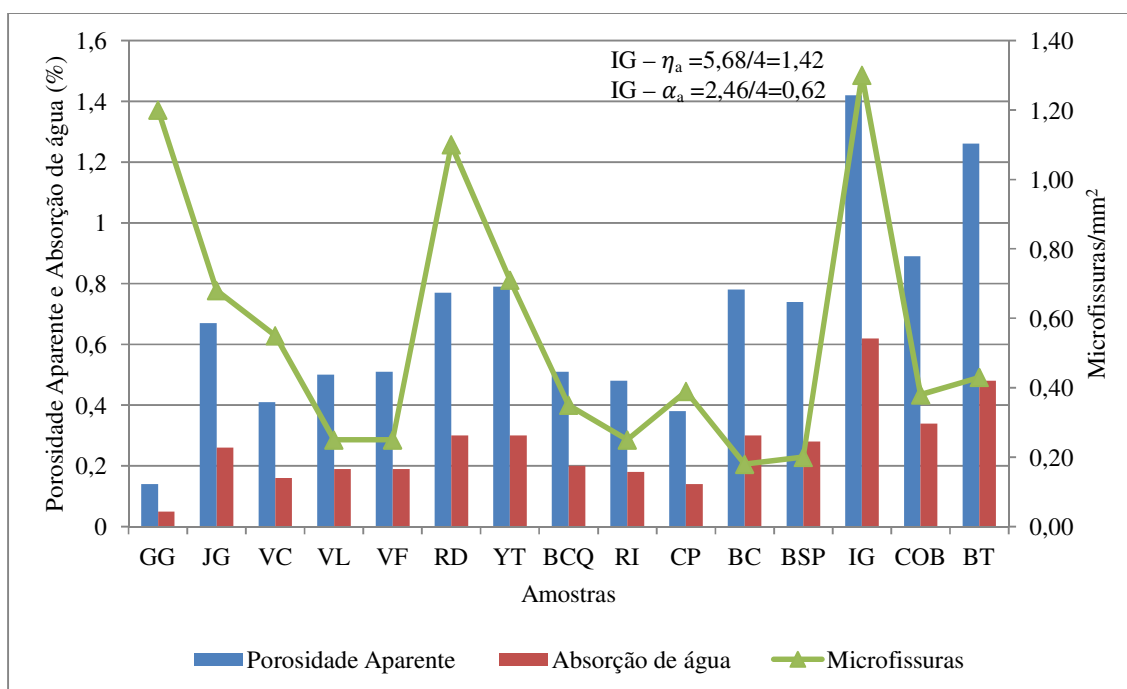
Fonte: Elaborada pela autora.

» Porosidade Aparente e Absorção de água

Com relação à porosidade aparente e absorção de água (Tabela 6.1), 13 amostras representadas por rochas ígneas ficaram com valores abaixo dos valores estabelecidos pela norma NBR 15844 (ABNT, 2010), respectivamente $\leq 1,0\%$ e $\leq 0,4\%$. Apenas duas rochas, o conglomerado Bourdeaux Terracota (BT) e o pegmatito Infinity Gold (IG), apresentaram índices acima dos referidos valores, sobretudo para a segunda rocha que apresenta os maiores valores de porosidade aparente e de absorção de água (Figura 6.2), com 5,68% para a porosidade aparente e 2,46% para absorção de água.

Correlacionando os valores de porosidade aparente e absorção de água (Tabela 6.1) com a intensidade de microfissuramento (Tabela 5.2; Capítulo 5), graficamente representados na Figura 6.2, podemos observar que dentre as amostras estudadas a do pegmatito granítico Infinity Gold (IG) também foi a que apresentou a maior intensidade de microfissuramento (1,3 microfissuras/mm²), o que explica a alta porosidade aparente (5,68%) e absorção de água (2,46%) elevada, com aproximadamente 43,5% de microfissuras intergrãos não preenchidas. É uma rocha bastante alterada e intemperizada que apresenta muitas fraturas e poros na superfície da amostra, originados pela remoção de minerais como biotita e feldspatos fortemente intemperizados (argilizados). Para melhor visualização no gráfico os valores de porosidade aparente e de absorção de água da amostra do pegmatito (IG) foram divididos por 4, conforme ilustração na Figura 6.2. O contrário ocorre com a amostra do ultramilonito Green Galaxy (GG), que apesar de apresentar uma intensidade de microfissuramento elevada (1,2 microfissuras/mm²), exibe baixos valores de porosidade aparente (0,14%) e de absorção de água (0,05%), explicado pela granulação extremamente fina da rocha e pela predominância de microfissuras intra e intergrãos preenchidas (84,6%), que não proporcionam a percolação de água e/ou ar.

Figura 6.2 – Correlação entre a porosidade aparente e absorção de água com a intensidade de microfissuras.

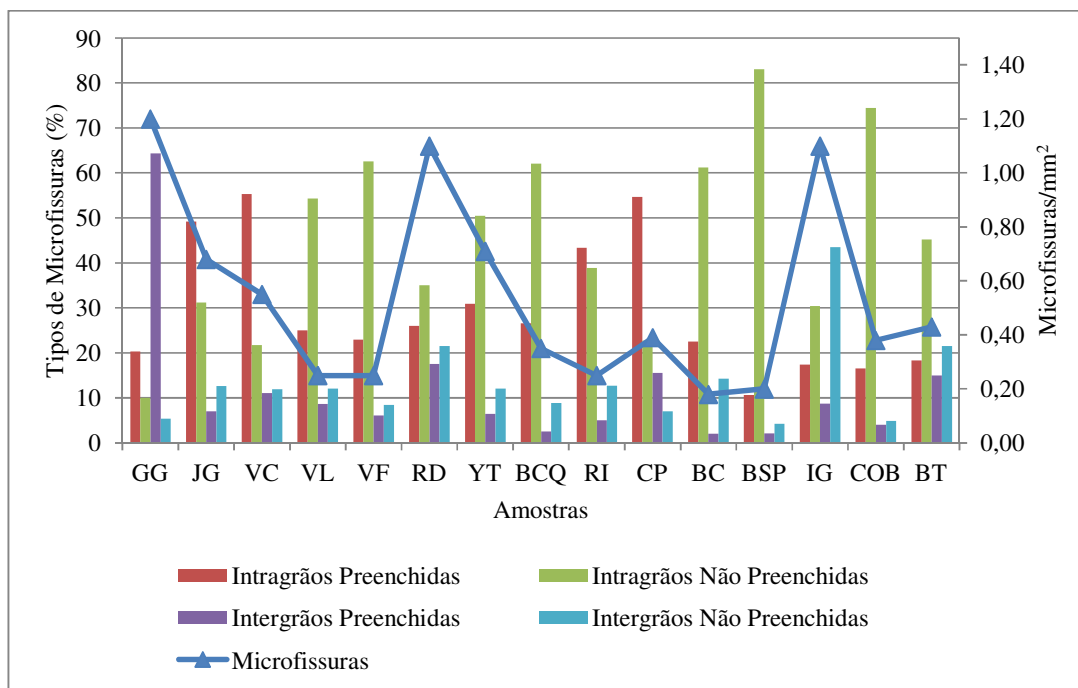


Fonte: Elaborada pela autora.

Na Figura 6.3 podemos observar que a distribuição dos tipos de microfissuras (Tabela 5.2; Capítulo 5) é bem diversificada para as amostras estudadas, onde as microfissuras do tipo intragrãos predominam amplamente sobre as intergrãos, com exceção de duas rochas (GG e IG). Mesmo assim, podemos observar ainda que dentre as microfissuras intragrãos, há casos em que predominam os tipos sem preenchimento, como ocorre com as amostras VL, VF, RD, YT, BCQ, BC, BSP, COB e BT, e casos que predominam os tipos com preenchimento (JG, VC, RI e CP).

Apesar da amostra Green Galaxy (GG) apresentar elevadas porcentagens de microfissuras intergrãos (69,7%), os tipos predominantes são com preenchimento, com 64,3% de microfissuras do tipo intergrãos e/ou transgranulares preenchidas. Já a rocha representada pelo pegmatito Infinity Gold (IG) apresenta maior porcentagem de microfissuras intergrãos (43,5%) sem preenchimento.

Figura 6.3 – Porcentagem dos tipos de microfissuras presentes nas rochas estudadas correlacionada com a intensidade de microfissuras.

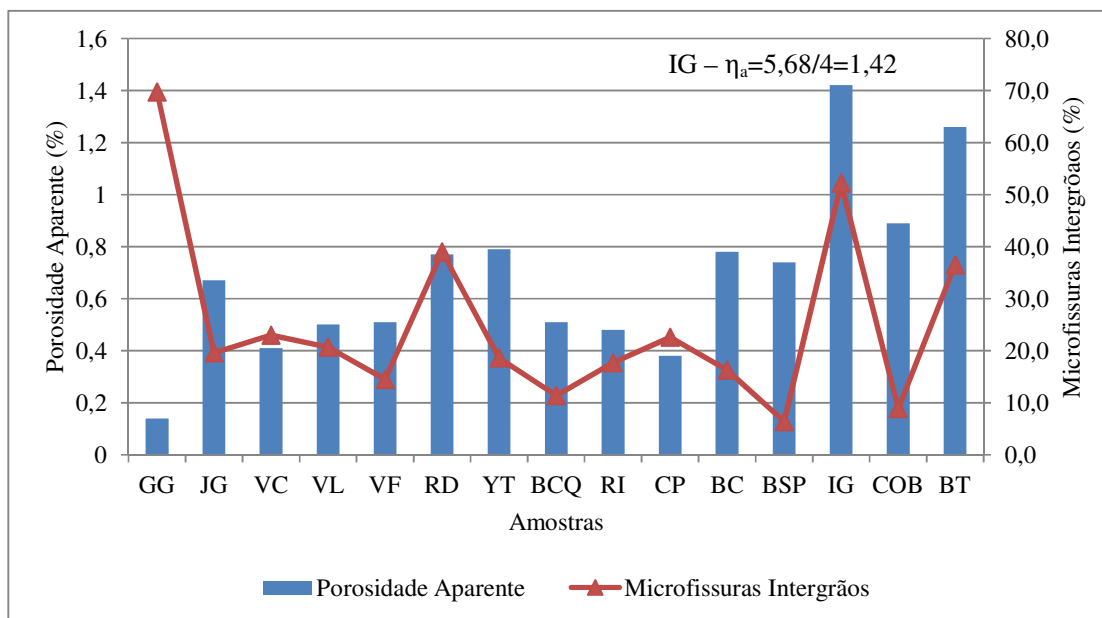


Fonte: Elaborada pela autora.

A Figura 6.4 mostra a relação entre a porosidade aparente e a somatória das microfissuras intergrãos e transgranulares preenchidas e não preenchidas das rochas estudadas. Observa-se que a intensidade de microfissuramento é responsável por controlar

grande parte dos resultados obtidos, oferecendo espaços vazios para percolação de líquidos e/ou ar. É possível perceber que a maior parte das amostras exibe boa coerência para esta relação, no entanto a amostra do ultramilonito Green Galaxy (GG) exibe um índice elevado de microfissuras e a porosidade mais baixa dentre as rochas pesquisadas. Isso acontece devido à grande maioria das microfissuras estarem preenchidas, assim a porosidade é baixa e consequentemente a absorção de água também. O mesmo não acontece com as amostras do granodiorito Branco São Paulo (BSP) e do monzogranito Cinza Ouro Branco (COB) que apresentam porosidade elevada, mas o índice de microfissuras intergranulares não é tão alto, indicando que podem existir outros planos por onde a água possa percolar.

Figura 6.4 – Relação entre porosidade aparente e microfissuras intergranulares preenchidas e não preenchidas.



Fonte: Elaborada pela autora.

6.3 Teores de U, Th e ^{40}K

As concentrações de U, Th e ^{40}K (este último obtido a partir do K_2O) para as amostras estudadas foram obtidos pelo método da Espectrometria de Massa com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-MS) no Acme Analytical Laboratories – Ltd, do Canadá, cujos dados estão apresentados na Tabela 6.2. Percebe-se que os valores encontrados para as amostras estudadas exibem grande variação de uma rocha para outra entre os três elementos analisados, o que reflete a diversidade litológica selecionada para o estudo.

As concentrações de U e Th obtidas neste trabalho são, na maioria das vezes, bastante elevadas quando comparadas às concentrações médias estimadas para a crosta continental superior de 2,8 ppm para U e 10,7 ppm para Th (TAYLOR & McLENNAN, 1985), o que reflete a presença de minerais acessórios detentores de diferentes teores de U e Th.

O ^{40}K foi obtido da conversão dos teores de K_2O (%) para K em % e ppm, multiplicando-se, respectivamente, os valores de K_2O (%) por 0,830149 e $0,830149 \times 10^4$. A quantidade de ^{40}K em “ppm” foi determinada multiplicando o valor de K em ppm por 0,0119 (proporção natural em relação aos demais isótopos de K) e dividido por 100.

Tabela 6.2 – Concentrações de U, Th e ^{40}K das amostras estudadas.

Rochas	Classificação Petrográfica	U (ppm)	Th (ppm)	^{40}K (ppm)
Green Galaxy – GG	Ultramilonito quartzo-feldspático	5,1	17,0	4,33
Juparaná Gold – JG	Ortoclásio sienogranito	4,7	16,4	4,69
Verde Ceará – VC	Ortoclásio sienogranito com hornblenda e fayalita	3,5	17,3	5,07
Verde Light – VL	Ortoclásio sienogranito com hornblenda	5,0	17,2	4,74
Vermelho Filomena – VF	Ortoclásio sienogranito com hornblenda	4,3	21,1	5,09
Red Dragon – RD	Sienogranito Brechóide	3,1	20,8	6,11
Yellow Tropical – YT	Ortoclásio sienogranito com hornblenda e fayalita	4,0	16,3	5,32
Branco Cristal Quartzo – BCQ	Sienogranito com hornblenda	13,6	40,0	4,25
Rosa Iracema – RI	Sienogranito com hornblenda	4,2	20,5	5,08
Cinza Prata – CP	Granodiorito com hornblenda	1,5	10,7	3,46
Branco Ceará – BC	Microclínio-albita granito	11,9	13,7	3,41
Branco São Paulo – BSP	Microclínio-albita granito	8,1	20,8	4,19
Infinity Gold – IG	Pegmatito granítico brechóide	0,2	0,8	0,14
Cinza Ouro Branco – COB	Monzogranito com muscovita e biotita	3,2	25,7	5,23
Bordeaux Terracota – BT	Conglomerado polimíctico	2,7	17,0	3,80

Fonte: Elaborada pela autora.

Nas rochas ígneas, o urânio ocorre principalmente em minerais acessórios, como zircão, titanita, allanita, apatita, monazita e magnetita, embora também possa ocorrer por adsorção nos contornos dos grãos minerais, em defeitos nos retículos cristalinos e associado a minerais presentes em microfissuras.

A Tabela 6.3 trás valores referentes às concentrações médias dos radioelementos U, Th e K em distintas rochas ígneas quartzo-feldspáticas crustais.

Tabela 6.3 – Concentração média de U, Th e K em diferentes tipos de rochas ígneas crustais.

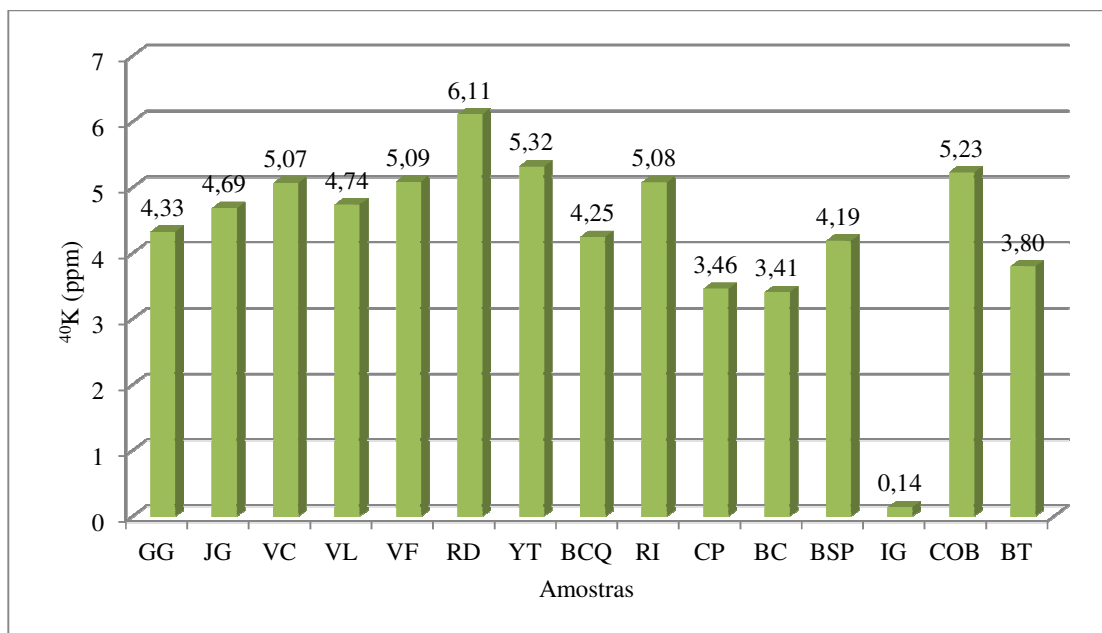
Tipologia	U (ppm)	Th (ppm)	K (%)	Fonte
Granitóides	0,4 – 7,8 (3,3)	2,3 – 45,0 (16,0)	0,3 – 4,5 (2,4)	Dickson & Scott (1997)
Granitos, riolitos, etc	4,5	15,0	–	Boyle (1982)
Ácida Intrusiva	0,1 – 30,0 (4,5)	0,1 – 253,1 (5,7)	0,1 – 7,6 (3,4)	Kileen (1979)
Pegmatitos	0,3 – 1,0 (0,7)	0,3 – 9,6 (2,0)	2,6 – 5,5 (3,7)	Dickson & Scott (1997)
Aplitos	1,0 – 8,0 (3,3)	3,0 – 20,0 (7,0)	0,6 – 4,0 (2,4)	Dickson & Scott (1997)
Ácida Extrusiva	0,8 – 16,4 (4,1)	1,1 – 41,0 (11,9)	1,0 – 6,2 (3,1)	Kileen (1979)
Quartzo-feldspática porfírica	1,3 – 2,9 (1,7)	6,0 – 14,0 (13,0)	1,0 – 5,0 (2,9)	Dickson & Scott (1997)
Média (Md)	5,7	31,6	3,2	
Desvio padrão (Dp)	8,7	68,2	2,6	
Coefficiente de variação (Cv)	1,5	2,2	0,8	

Fonte: Silva et al. (2010).

Os teores de ^{40}K para as rochas investigadas estão graficamente representados na Figura 6.5. Podemos observar que 14 das 15 amostras estudadas apresentam teores de ^{40}K entre 3,41 ppm e 6,11 ppm, sendo que apenas a amostra representada pelo pegmatito Infinity Gold (IG) apresentou baixa concentração de ^{40}K (0,14 ppm). A amostra IG corresponde a um albíta granítico brechóide bastante alterado, marcado por intensa argilização da albíta. Também se caracteriza por apresentar baixas concentrações de U (0,2 ppm) e Th (0,8 ppm), e não apresenta em sua composição minerais detentores de elementos radioativos.

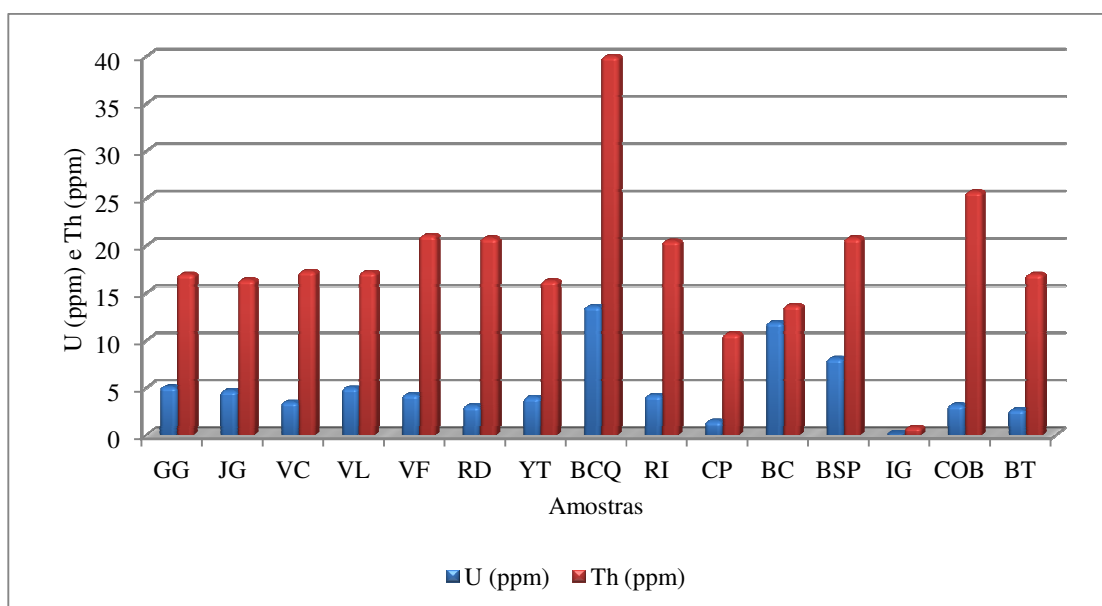
As rochas que apresentam as maiores concentrações de ^{40}K são dois sienogranitos denominados comercialmente de Yellow Tropical (5,32 ppm) e Red Dragon (6,11 ppm).

Os teores de U (entre 0,2 ppm e 13,6 ppm) e Th (entre 0,8 ppm e 40 ppm) (Tabela 6.2; Figura 6.6) se mostram coerentes com a natureza granítica evoluída a pegmatítica do conjunto de rochas estudadas, enquadrando-se, no geral, com as concentrações médias apresentadas por Dickson & Scott (1997) para rochas granitóides (entre 0,4 – 7,8 ppm para U; e 2,3 – 45,0 ppm para Th) e pegmatíticas (entre 0,3 – 1,0 ppm para U e 0,3 – 9,6 ppm para Th) (Tabela 6.3).

Figura 6.5 – Concentrações de ^{40}K (ppm) para as amostras estudadas.

Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 6.6 – Concentrações de U (ppm) e Th (ppm) para as amostras estudadas.



Fonte: Elaborada pela autora.

Por sua vez, as diferenças nos teores de U e Th exibidas pelas rochas estudadas se coadunam com as diferentes histórias evolutivas que se refletem no conteúdo de minerais acessórios detentores de U e Th, como zircão, allanita, titanita e apatita, e pelos processos hidrotermais e intempéricos a que algumas amostras foram submetidas.

Cabe destacar, que o ^{238}U é o elemento de maior interesse na presente pesquisa, considerando que o ^{238}U representa 99,3% dos isótopos de U, como também é o elemento que produz por decaimento o ^{222}Rn , com a maior meia-vida dentre os isótopos de radônio (3,85 dias), o qual é o alvo principal do presente estudo.

As rochas que forneceram as mais baixas concentrações de U, inferiores a 5,0 ppm, são as amostras JG (4,7 ppm), VC (3,5 ppm), VF (4,3 ppm), RD (3,1 ppm), YT (4,0 ppm), RI (4,2 ppm), CP (1,5 ppm), IG (0,2 ppm), COB (3,2 ppm) e BT (2,7 ppm). Dentre estas, destaca-se o pegmatito quartzo-feldspático Infinity Gold (IG) com suas baixíssimas concentrações de U (0,2 ppm) e de Th (0,8 ppm), o que estaria coerente com a média para rochas desta natureza (Tabela 6.3) e desprovida de minerais portadores de U e Th, além de sua estrutura brechóide e elevado estágio de intemperismo que abrem possibilidades de lixiviação destes elementos.

Três das rochas forneceram concentrações entre 5,0 ppm e 8,1 ppm, representadas pela GG (5,1 ppm), VL (5,0 ppm) e BSP (8,1 ppm) e apenas 2 amostras apresentaram concentrações superiores a 10 ppm, correspondentes ao BCQ (13,6 ppm) e ao BC (11,9 ppm).

Os maiores teores de U apresentados pelos granitos Branco Cristal Quartzo (13,6 ppm), Branco Ceará (11,9 ppm) e Branco São Paulo (8,1 ppm) se coadunam com os elevados teores de álcalis destas rochas. Também encontram correspondência na presença de minerais naturalmente detentores destes elementos como zircão (0,5% no BC; 0,2% no BCQ e traços no BSP) e allanita como traços no BCQ, opacos, apatita e zinnwaldita (4,0% a 4,5% nos granitos BC e BSP).

A razão Th/U relativamente elevada apresentada pelo conglomerado Bourdeaux Terracota (BT) (de 6,3), pode refletir sua natureza polimíctica dada pela diversidade litológica dos seixos e fragmentos em matriz arcossiana fina.

6.4 Quantificação da Exalação do Gás ^{222}Rn

A quantificação da exalação do gás radônio foi obtida através do monitoramento da evolução temporal do referido gás em circuito fechado por meio de ciclos pré-definidos de 5, 10, 15, 20 e 25 dias. Os resultados da exalação do gás ^{222}Rn (Bq/m^3) fornecidos pelas rochas para cada ciclo estão reunidos na Tabela 6.4 e os dados mais detalhados do monitoramento estão no Apêndice B.

Tabela 6.4 – Quantificação de ^{222}Rn exalado das amostras pesquisadas ao final de cada ciclo.

Rochas	Ciclo 5 dias (Bq/m ³)	Ciclo 10 dias (Bq/m ³)	Ciclo 15 dias (Bq/m ³)	Ciclo 20 dias (Bq/m ³)	Ciclo 25 dias (Bq/m ³)
Green Galaxy – GG	9,33	19,00	48,00	17,00	60,00
Juparaná Gold – JG	213,00	273,00	314,00	305,33	321,67
Verde Ceará – VC	35,33	59,67	62,67	71,33	52,67
Verde Light – VL	72,00	82,67	77,33	140,00	94,00
Vermelho Filomena – VF	78,00	153,67	136,33	178,33	199,00
Red Dragon – RD	37,33	42,67	45,33	74,33	54,33
Yellow Tropical – YT	195,67	251,67	181,33	178,33	153,33
Branco Cristal Quartzo – BCQ	329,33	592,00	462,00	481,33	715,33
Rosa Iracema – RI	91,00	133,00	287,33	256,00	244,33
Cinza Prata – CP	54,33	54,00	74,67	124,00	72,33
Branco Ceará – BC	56,33	66,33	85,00	83,00	129,33
Branco São Paulo – BSP	102,33	139,67	159,33	102,67	199,33
Infinity Gold – IG	7,33	14,33	10,33	19,67	11,33
Cinza Ouro Branco – COB	51,00	41,33	40,33	54,00	39,67
Bourdeaux Terracota – BT	54,67	63,33	54,67	93,00	81,33

Fonte: Elaborada pela autora.

Podemos observar que a amostra do pegmatito granítico Infinity Gold (IG) foi a que apresentou os valores mais baixos de exalação de ^{222}Rn entre as rochas estudadas, do primeiro ao último ciclo do monitoramento, onde a quantidade de radônio exalada variou de 7,33 Bq/m³ a 19,67 Bq/m³, e a rocha com os valores mais elevados em Bq/m³ foi a do sienogranito Branco Cristal Quartzo (BCQ), que apresentou uma variação de 329,33 Bq/m³ a 715,33 Bq/m³ (Tabela 6.4).

No geral as rochas estudadas apresentaram baixos valores de exalação de radônio, sendo que a maioria das amostras após o ciclo de 25 dias de confinamento forneceu valores de exalação inferiores a 150 Bq/m³ (Tabela 6.4). Valores superiores a 150 Bq/m³, ao final do ciclo de 25 dias, foram fornecidos por apenas 6 amostras correspondentes aos sienogranitos: Juparaná Gold (321,67 Bq/m³), Vermelho Filomena (199,00 Bq/m³), Yellow Tropical (153,33 Bq/m³), Branco Cristal Quartzo (715,33 Bq/m³), Rosa Iracema (244,33 Bq/m³) e pelo albita granito Branco São Paulo (199,33 Bq/m³).

Se a exalação do gás radônio se mantivesse constante durante o monitoramento, as curvas de evolução do referido gás quantificado nas amostras estudadas, representadas nas Figuras 6.7 e 6.8, também deveriam se tornar constantes e atingir o equilíbrio radioativo após 25 dias de confinamento, mas isso não acontece em grande parte das amostras, devido ao fato de que nem todo o gás gerado na rocha consegue escapar e alcançar a superfície do material,

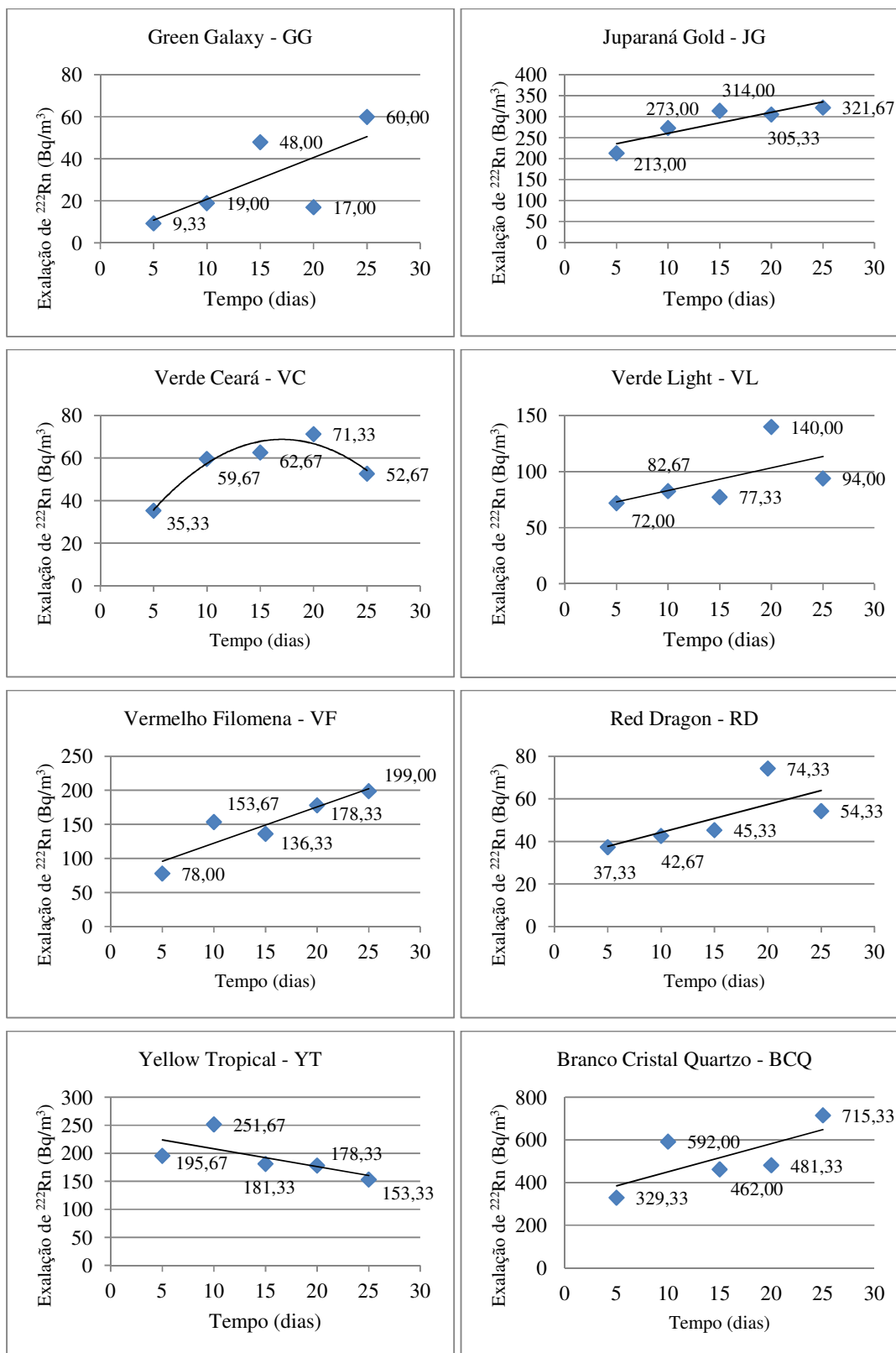
desta forma boa parte do radônio gerado pela rocha fica aprisionado na rede cristalina dos minerais.

A Figura 6.8 evidencia a notória variação de comportamento do gás entre as diferentes rochas pesquisadas e as consideráveis oscilações da quantidade de exalação do gás ^{222}Rn com relação aos diferentes ciclos de monitoramento, como também mostra que na maioria dos casos não há uma estabilização da exalação do gás ao longo dos ciclos.

As rochas que apresentaram as maiores variações na exalação do gás radônio foram o ultramilonito Green Galaxy (GG), os sienogranitos Verde Light (VL) e Branco Cristal Quartzo (BCQ) e o pegmatito granítico Infinity Gold (IG) (Figuras 6.7 e 6.8). Tais amostras não apresentam uma constância na exalação entre os ciclos monitorados, exibindo valores baixos em algum ciclo com relação aos outros.

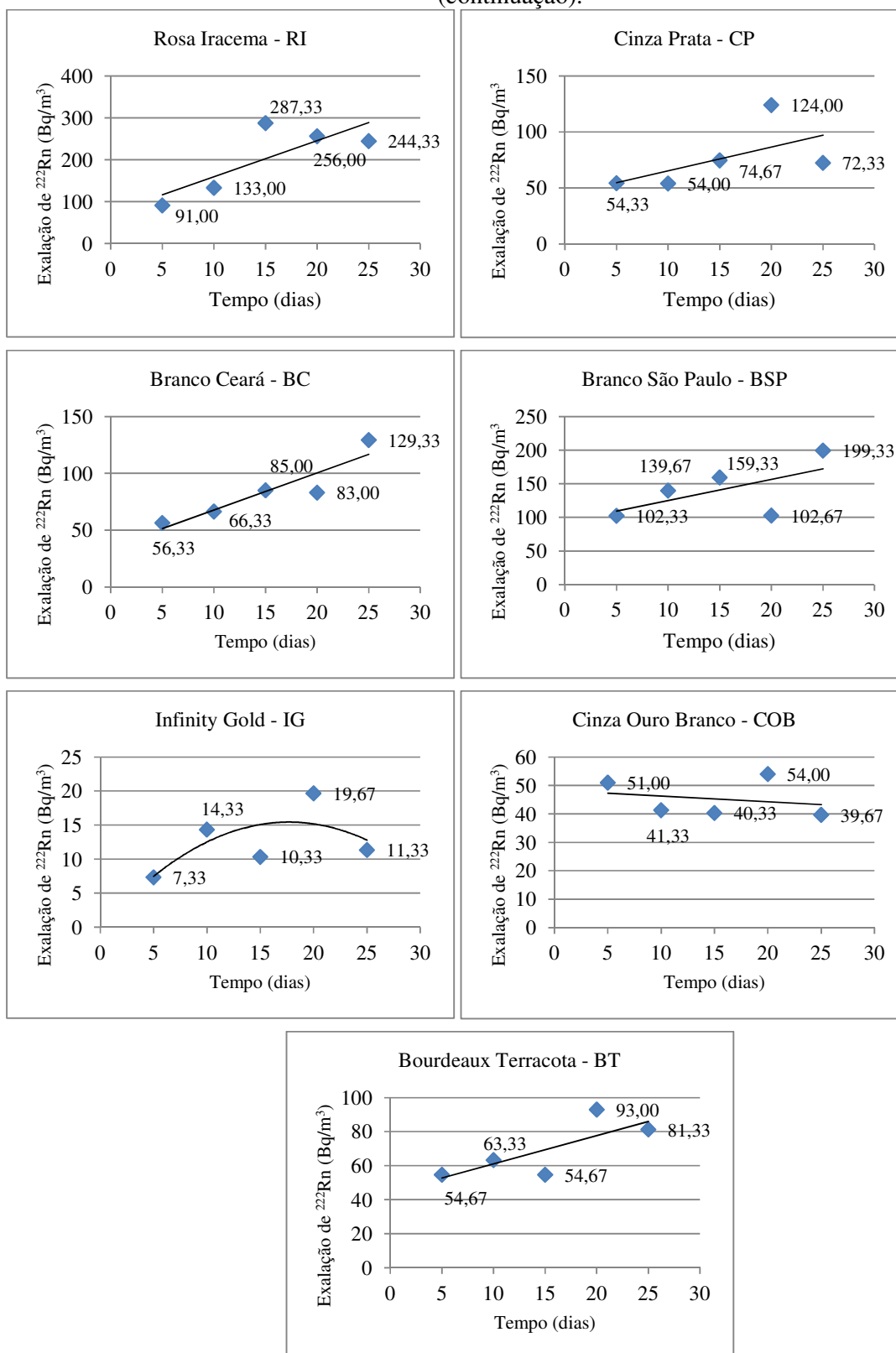
Estas oscilações podem estar relacionadas aos diversos fatores ligados aos diferentes tipos de rochas analisadas e distintas naturezas geológicas com variações composicionais, texturais e estruturais, assim como os distintos padrões de microdescontinuidades internas de cada rocha estudada, que podem influenciar diretamente na dinâmica de escape do gás radônio.

Figura 6.7 – Evolução da exalação de ^{222}Rn vs tempo de contagem das rochas estudadas.



Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 6.7 – Evolução da exalação de ^{222}Rn vs tempo de contagem das rochas estudadas (continuação).

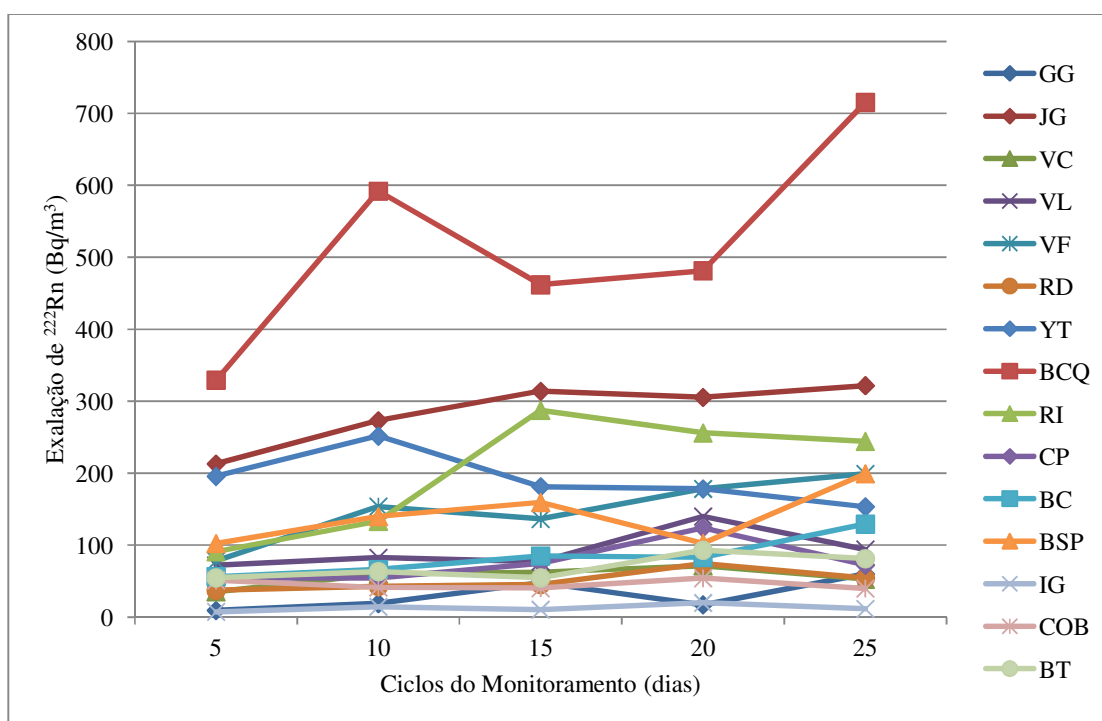


Fonte: Elaborada pela autora.

É possível observar que a rocha Branco Cristal Quartzo (BCQ) é a que apresenta os maiores valores de exalação do gás radônio e também as maiores oscilações de valores de exalação por ciclos de monitoramento. No primeiro ciclo (5 dias) sua exalação foi de 329,33 Bq/m³, aumentou no ciclo de 10 dias apresentando uma exalação de 592,00 Bq/m³, já nos ciclos de 15 e 20 dias a exalação foi mais constante, fornecendo valores de 462,00 Bq/m³ e 481,33 Bq/m³, respectivamente, voltando a crescer no ciclo de 25 dias (715,33 Bq/m³).

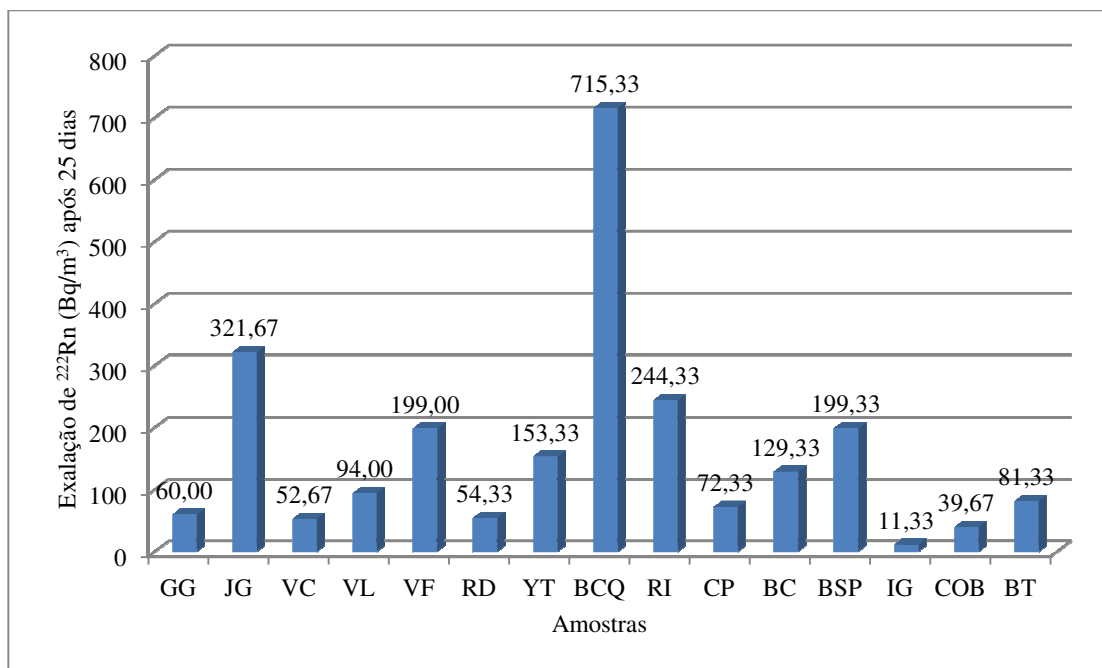
A amostra do sienogranito Rosa Iracema (RI) apresentou uma exalação de radônio crescente até o ciclo de 15 dias, decresceu no ciclo de 20 dias e continuou a decrescer no ciclo de 25 dias, como observado nos gráficos das Figuras 6.7 e 6.8.

Figura 6.8 – Evolução da exalação de ²²²Rn (Bq/m³) em todos os ciclos monitorados.



Fonte: Elaborada pela autora.

Com relação à maior permanência das rochas no vácuo, 6 das 15 rochas estudadas exibem os maiores valores com relação à exalação do gás radônio após 25 dias de confinamento, como mencionado anteriormente, com destaque para o sienogranito Branco Cristal Quartzo (715,33 Bq/m³), o restante das amostras analisadas forneceu valores abaixo de 150 Bq/m³, com variação marcante de uma rocha para outra, como mostra a Figura 6.9.

Figura 6.9 – Exalação de ^{222}Rn (Bq/m^3) após 25 dias.

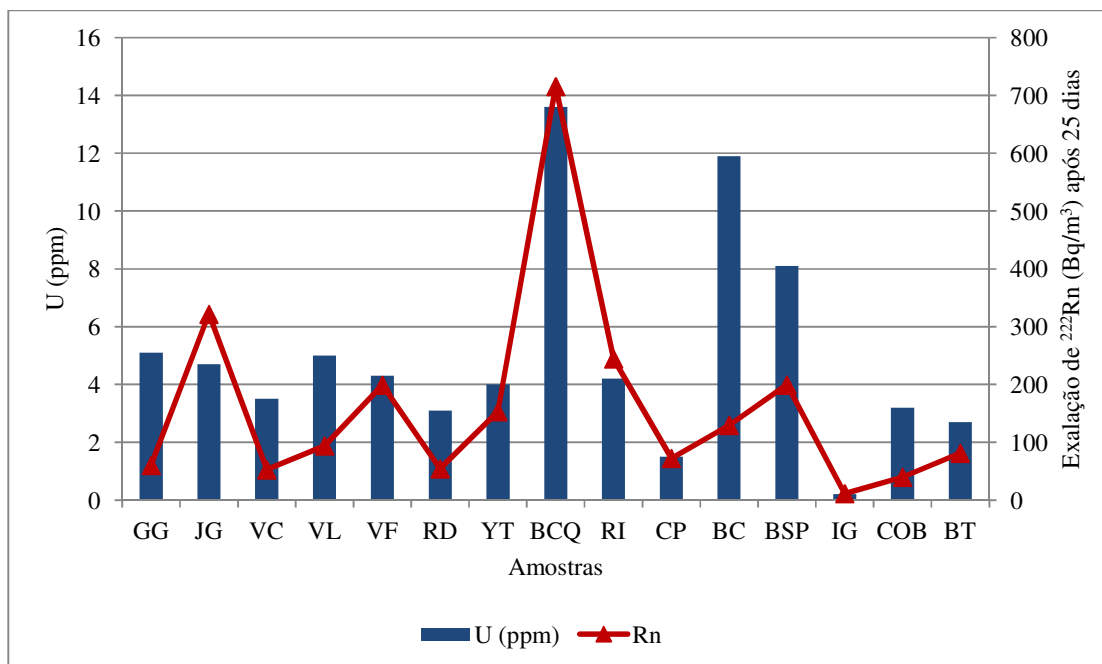
Fonte: Elaborado pela autora.

A partir dos dados obtidos dos índices físicos das rochas, dos teores de U e da emanção do gás ^{222}Rn das amostras foi possível estabelecer correlações entre esses dados e as características petrográficas de cada material estudado.

O gráfico da Figura 6.10 trás a correlação entre o teor de U e respectivas exalações de ^{222}Rn após 25 dias de monitoramento das amostras estudadas. O referido gráfico mostra que apesar da ocorrência de certa correlação entre teores de U e correspondentes quantidades de exalação do gás radônio, não se verifica a existência de uma razão constante urânio/exalação entre os diferentes materiais investigados.

Observa-se, portanto, que nem sempre a quantidade mais elevada de U vai determinar a maior exalação de gás ^{222}Rn de uma rocha, ou seja, nem sempre a rocha com a maior concentração de U apresentará a maior exalação de gás radônio, como exemplificado pelas rochas CP e COB. Por outro lado, rochas com teores similares de U, como para o caso das amostras BCQ e BC, podem apresentar significativas diferenças nas quantidades do gás emanado. Este fato leva considerar que outros fatores, além dos teores de U, como diferentes aspectos texturais e estruturais das rochas exercem grande influência na maior ou menor difusão do gás radônio do interior da rocha para a atmosfera.

Figura 6.10 – Correlação entre teor de U e ^{222}Rn exalado após 25 dias.



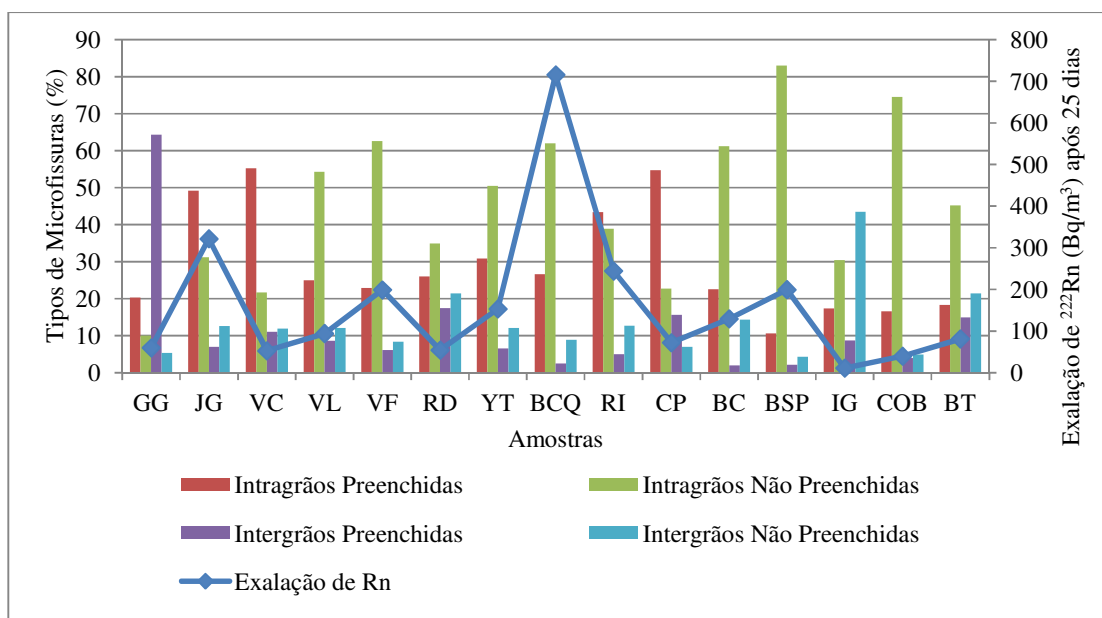
Fonte: Elaborada pela autora.

Ambas as rochas, tanto o Branco Cristal Quartzo (BCQ) quanto o Branco Ceará (BC), exibem tipos de microfissuras similares (Figura 6.11), mas intensidades de microfissuramento distintas, 0,35 microfissuras/mm² para o BCQ e 0,18 microfissuras/mm² para o BC (Tabela 5.2; Capítulo 5), aspecto importante na exalação do referido gás.

Desta forma outros fatores estariam interferindo para uma maior ou menor difusão do gás destes materiais. Uma das possíveis causas seria a diferença de granulação e respectivas heterogeneidades texturais destas rochas, já que o sienogranito Branco Cristal Quartzo (BCQ) apresenta granulação bem mais desenvolvida (entre 0,5 mm a 35,0 mm) que o granito Branco Ceará (BC) (entre 1,0 mm e 7,0 mm), além da primeira rocha exibir certa heterogeneidade textural resultante de concentrações irregulares a alongadas compostas por cristais de feldspato potássico ou de quartzo mais desenvolvidos.

Sabe-se que rochas com granulação mais desenvolvida naturalmente tendem a apresentar contatos minerais mais frouxos, cristais de quartzo com microfissuramento mais pronunciado e de feldspato potássico exibindo planos de clivagens mais abertos e mais intensamente pertitizados, além de cristais de plagioclásio com núcleos mais intensamente saussuritizados, caso do Branco Cristal Quartzo (BCQ), que no conjunto poderiam facilitar a difusão do gás radônio em relação a rochas composicionalmente similares, mas de granulação mais fina como se verifica no caso do Branco Ceará (BC).

Figura 6.11 – Correlação entre quantidade/tipo de microfissuras e exalação do gás ^{222}Rn (Bq/m^3) após ciclo de 25 dias.

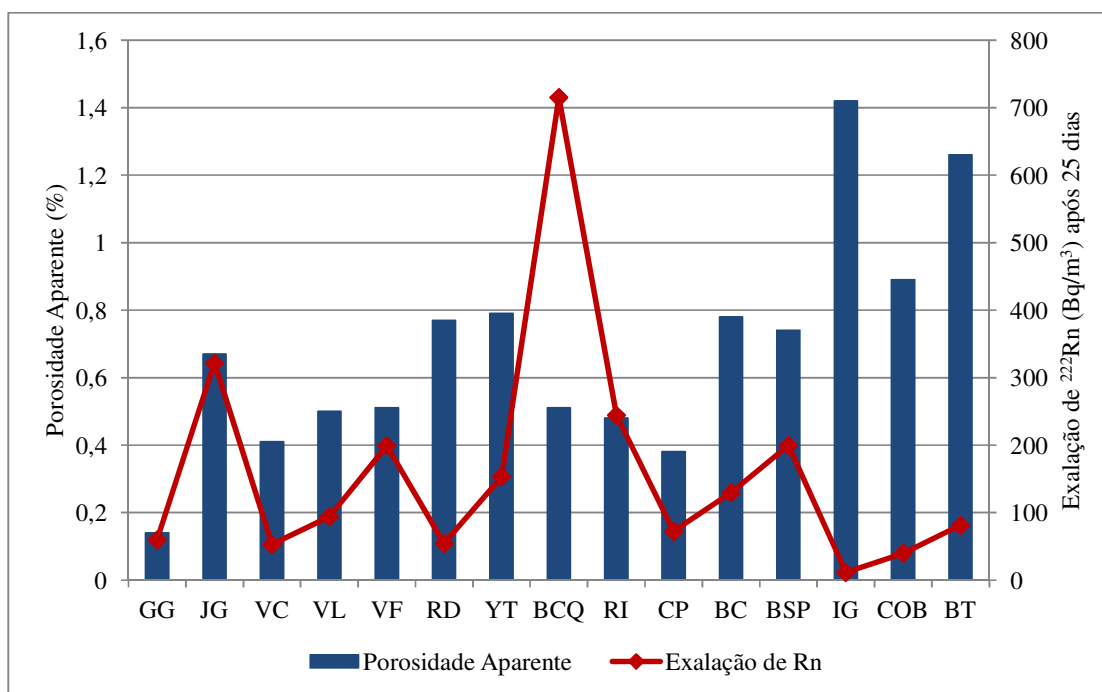


Fonte: Elaborada pela autora.

Outro fator, talvez de maior magnitude, se refere à distribuição do U na rocha, se incorporado por minerais mais susceptíveis a alterações ou ainda como adsorção em determinados minerais ou, ainda, precipitado em microfissuras, com conseqüente maior difusão do gás então gerado pelo seu decaimento. No caso das duas rochas ora comparadas, o Branco Ceará (BC), um microclínio-albita granito com muscovita, zinnwaldita e topázio, não apresenta allanita e titanita e apenas traços de minerais opacos (magnetita), e os cerca 0,5% de cristais de zircão presentes ocorrem essencialmente como microinclusões em cristais de muscovita (resistente ao intemperismo químico) e de zinnwaldita, situações que dificultam a difusão do gás radônio gerado. Já o Branco Cristal Quartzzo (BCQ) apresenta ao redor de 0,2% de cristais de zircão intersticiais ou associados/inclusos em cristais de biotita, 0,4% de opacos (maioria magnetita) e traços de allanita e titanita, além de 5% de biotita (responsável por até 8,1 ppm de U de uma rocha) e quase o dobro de feldspato potássico (que pode aceitar até 2,7 ppm de U em sua estrutura). É possível, desta forma, que a maior exalação do radônio da variedade Branco Cristal Quartzzo (BCQ) resulte de sua maior facilidade de difusão em virtude da referida natureza mineralógica e aspectos texturais da rocha como moderada cloritização da biotita, oxidação dos minerais opacos, presença de planos de clivagens mais evidentes dos cristais de feldspato potássico, contatos minerais mais frouxos, que no conjunto favorecem o caminamento e conseqüente fuga do referido gás.

As demais 12 amostras estudadas apresentam teores de U bastante reduzidos, sendo três delas entre 0,2 ppm e 2,7 ppm (CP, IG e BT) e outras nove com teores entre 3,1 ppm e 5,1 ppm de U (GG, JG, VC, VL, VF, RD, YT, RI e COB). Dentre essas nove amostras, a variedade Juparaná Gold (JG) (com 4,7 ppm de U) correspondente a um ortoclásio sienogranito médio-grosso é a que exibe a maior exalação do gás ^{222}Rn ($321,67 \text{ Bq/m}^3$) (Tabela 6.4; Figura 6.10). Este maior valor estaria coerente com suas características petrográficas como pela textura inequigranular de granulação média-grossa (na média entre 1,0 mm e 10,0 mm), intensidade de microfissuramento relativamente elevada, com 0,68 microfissuras/ mm^2 , sendo 12,6% intergrãos não preenchidas (Figura 6.11), e alteração mineral moderada, que no conjunto define uma porosidade mediana de 0,67% (Figura 6.12).

Figura 6.12 – Correlação entre porosidade aparente e exalação do gás ^{222}Rn (Bq/m^3) após ciclo de 25 dias.



Fonte: Elaborada pela autora.

Já a variedade Verde Light (VL) com 5,0 ppm de U, portanto pouco superior ao Juparaná Gold (JG) acima comentado, apresenta uma exalação de radônio de $94,00 \text{ Bq/m}^3$, bem inferior aos $321,67 \text{ Bq/m}^3$ fornecido por aquele material (Figura 6.10). Este menor valor de exalação estaria coerente com seu aspecto textural mais homogêneo, equigranular, de granulação mais fina (com predominância entre 3,0 mm e 6,0 mm) e principalmente a menor

intensidade de microfissuramento (0,25 microfissuras/mm², menos da metade em relação ao Juparaná Gold) (Figura 6.11).

A comparação da emanção do gás radônio do conjunto de rochas com teores de U ao redor de 4,0 ppm, representadas pelos sienogranitos Yellow Tropical (4,0 ppm de U), Rosa Iracema (4,2 ppm de U) e Vermelho Filomena (4,3 ppm de U), com o conjunto igualmente pobres em U representados pelo monzogranito Cinza Ouro Branco (3,2 ppm de U) e os sienogranitos Verde Ceará (3,5 ppm de U) e Verde Light (5,0 ppm de U), verifica-se que o primeiro grupo apresenta emanções (Figura 6.10) mais elevadas, entre 153,33 Bq/m² e 244,33 Bq/m², que o segundo grupo, entre 39,67 Bq/m² e 94,00 Bq/m³ de exalação do ²²²Rn. Embora coerentes entre si, em termos de teores de U, as exalações mais elevadas do primeiro grupo encontram apoio por apresentarem granulação média mais grossa e principalmente devido ao elevado estágio de oxidação das variedades Yellow Tropical e Vermelho Filomena, além da elevada porcentagem de microfissuras intragrãos não preenchidas do Vermelho Filomena (62,6%) e Yellow Tropical (50,5% das microfissuras) (Figura 6.11). A menor exalação (39,67 Bq/m²) do monzogranito Cinza Ouro Branco (COB) dentre as amostras dos dois conjuntos de rochas, mas com o maior índice de porosidade (0,89%) dentre elas, pode ser explicada pela sua granulação geral fina, predominantemente entre 0,3 e 2,0 mm, e com 91,1% das microfissuras do tipo intragrãos.

O Cinza Prata (CP) com exalação de 72,33 Bq/m³, apesar de reduzida, apresenta padrão igualmente elevado para um baixo teor de U (1,5 ppm), o que poderia estar relacionado ao microfissuramento intergranular superior a 20% do total das microfissuras.

A Figura 6.11 ressalta o elevado índice de microfissuras intergranulares apresentado pela variedade Green Galaxy (GG), mas com exalação de ²²²Rn baixa, 60 Bq/m³, rocha intensamente tectonizada.

O Green Galaxy (GG) corresponde a um ultramilonito quartzo-feldspático brechado de granulação extremamente fina, detentor de 5,1 ppm de U (Tabela 6.2) e com apenas 60 Bq/m³ de exalação de gás radônio após ciclo de 25 dias de confinamento (Tabela 6.4; Figura 6.10), portanto bastante inferior à exalação de outras rochas com teores de U menores como as Juparaná Gold (JG), Yellow Tropical (YT), Rosa Iracema (RI) e Vermelho Filomena (VF). Esta baixa exalação é consequência de sua granulação extremamente fina e pelo fato das microfissuras intergrãos e transgranulares (praticamente 70% do total das microfissuras presentes) se encontrarem em quase sua totalidade preenchidas por fina massa pulverulenta contendo epidoto, algum carbonato e rara clorita, o que praticamente impede a difusão do gás radônio ao longo dos planos de descontinuidade física da rocha. Sua baixa permeabilidade é

corroborada pela porosidade de 0,14% e absorção de água de 0,05% fornecidas pela rocha (Tabela 6.1; Figura 6.12).

O Infinity Gold (IG) corresponde a um pegmatito granítico brechóide, intensamente cataclasado, em avançado estágio de intemperismo e, portanto, detentor de alta porosidade (5,68%) (Figura 6.2) devido à elevada intensidade de microfissuramento (tanto intra quanto intergrãos), cerca de 1,3 microfissuras/mm², e de extensas fraturas abertas predominantemente sem preenchimentos (Figura 6.11). Por apresentar apenas 0,2 ppm de U, o que estaria coerente com sua composição mineralógica quartzo-albítica com cerca de 5,0% de biotita, e ausência de minerais tipicamente detentores de U, é a rocha que apresenta a menor emissão do gás radônio, com apenas 11,33 Bq/m³ ao final de 25 dias de confinamento.

O sienogranito Red Dragon (RD) também corresponde a uma rocha brechóide, com intensidade variável de cataclase, de granulação desde submilimétrica (devido a efeitos cataclásticos) a muito-grossa (cerca de 25,0 mm), com microfissuras e fraturas preenchidas por fina massa pulverulenta composta por óxidos e hidróxidos de ferro e por sílica amorfa, dificultando a difusão do radônio (Figura 6.12). Assim, com um teor de 3,1 ppm de U, apresenta após os 25 dias de confinamento apenas 54,33 Bq/m³ de emissão de radônio.

O conglomerado polimítico Bourdeaux Terracota (BT) com matriz quartzo-feldspática apresenta porosidade elevada, de 1,26% (Tabela 6.1; Figura 6.2), devido à presença de microfraturas com dimensões de 1,0 mm a 10,0 mm parcialmente preenchidas. Assim, apesar de apresentar apenas 2,7 ppm de U, forneceu, após 25 dias de confinamento, 81,33 Bq/m³ de radônio, portanto superior aos valores fornecidos pelas Red Dragon (RD), Green Galaxy (GG) e Infinity Gold (IG) com marcantes texturas cataclásticas (Tabela 6.4; Figura 6.10).

6.5 Coeficiente de Eficiência de Emissão de Radônio

Ao estudar o comportamento hidrogeoquímico do ²²²Rn em água subterrânea, Bonotto (1996) utilizou o fator *E* definido por Wanty et al. (1992) para avaliar e determinar a eficiência da emissão do gás radônio da rocha e sua transferência para a água subterrânea. Amaral (2011) adaptou o mesmo princípio para efetuar os cálculos na determinação da transferência do gás radônio exalado da rocha para o ar do meio ambiente, de acordo com a seguinte fórmula:

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

Para Wanty et al. 1992 apud Bonotto (1996), o fator E (fator de eficiência de emanção) é quase sempre menor que 0,5 e ao atingir este nível a rocha estaria exalando todo o gás radônio produzido. Para rochas, rotineiramente este fator se situa abaixo de 0,3, o que já indicaria que a exalação é de aproximadamente a metade do gás ${}^{222}\text{Rn}$ gerado pela rocha.

Para determinar a quantidade ${}^{226}\text{Ra}$ em Bq/kg, é necessário multiplicar a concentração de U (ppm) presente na rocha por uma constante (12,34), que pelas condições de equilíbrio secular radioativo é equivalente à mesma proporção de ${}^{222}\text{Rn}$ gerado na rocha a partir de seu pai ${}^{226}\text{Ra}$.

Para efeitos de cálculos é preciso converter a quantidade de radônio exalada pela rocha no ar em Bq/m³ (no ciclo de 25 dias) para Bq/kg, para que esses valores sejam utilizados na equação definida para o fator E . A determinação do ${}^{222}\text{Rn}$ em Bq/kg é obtida pela razão entre os valores de ${}^{222}\text{Rn}$ (Bq/m³) multiplicada pelo volume do garrafão (l) e dividida pelo peso da amostra (kg) utilizada no monitoramento, a partir da seguinte fórmula:

$${}^{222}\text{Rn} \text{ (Bq/kg)} = \frac{({}^{222}\text{Rn})_{\text{Bq/m}^3} \times 0,019\text{l}}{\text{peso da amostra (kg)}}$$

Após isso podemos obter o fator de eficiência E , que vai avaliar a eficiência de exalação de cada rocha em relação à quantidade de ${}^{222}\text{Rn}$ calculada a partir do teor de urânio da rocha, dividindo o valor de ${}^{222}\text{Rn}$ (Bq/kg) exalado da amostra pela somatória do ${}^{222}\text{Rn}$ (Bq/kg) exalado da amostra mais ${}^{222}\text{Rn}$ (Bq/kg) gerado pela amostra, através da equação:

$$E = \frac{{}^{222}\text{Rn}(\text{Bq/kg})_{\text{exalado}}}{{}^{222}\text{Rn}(\text{Bq/kg})_{\text{exalado}} + {}^{222}\text{Rn}(\text{Bq/kg})_{\text{gerado}}}$$

Os resultados obtidos para eficiência de exalação do gás radônio (fator E) encontram-se na Tabela 6.5 e demonstram que a quantidade do gás ${}^{222}\text{Rn}$ efetivamente emanado das rochas estudadas é extremamente ínfima com relação a quantidade total de ${}^{222}\text{Rn}$ gerada pelas rochas.

Ainda na Tabela 6.5, podemos observar que oito rochas (GG, VC, VL, RD, BC, BSP, COB, e BT) forneceram um fator E menor que 0,02, três rochas (YT, RI e CP) forneceram

fator E entre 0,02 e 0,03 e quatro rochas (JG, VF, BCQ e IG) forneceram fator E superior a 0,03.

Conforme comentado anteriormente, para a rocha exalar pelo menos metade do radônio gerado, seu fator E teria que ser igual a 0,3. No caso das rochas pesquisadas, o fator E varia de 0,004 a 0,041, onde a porcentagem máxima de radônio exalada da rocha foi 4,25% do radônio gerado. O ^{222}Rn tem uma meia-vida muito curta, de aproximadamente 3,85 dias, portanto, ele teria pouco tempo para escapar da rocha antes de decair para o radionuclídeo ^{218}Po . Além disso, a difusão (escape) do gás radônio depende de outros fatores, como a rede porosa (microfissuras, fraturas, poros), relações de contatos minerais e estado de alteração da rocha.

Algumas disparidades aparecem, onde a concentração de U (ppm) é baixa, mas a exalação do gás radônio é maior com relação a outras que possuem teores mais elevados de U (ppm). É o caso das amostras do sienogranito Juparaná Gold (JG) e do albita granito Branco Ceará (BC). A primeira rocha (JG) apresenta concentrações de U da ordem 4,7 ppm e a segunda amostra (BC) apresenta mais que o dobro, 11,9 ppm de U. No entanto no que se refere ao ^{222}Rn exalado da amostra (Bq/kg), a amostra do sienogranito Juparaná Gold (2,46 Bq/kg) exalou muito mais que o albita granito Branco Ceará (0,95 Bq/kg). Como discutido anteriormente, tais disparidades estão relacionadas às microdescontinuidades presentes nas rochas, favorecendo ou não o escape do gás radônio. A amostra do albita granito Branco Ceará (BC) apresenta um microfissuramento baixo (0,18 microfissuras/mm²) enquanto o sienogranito Juparaná Gold (JG) dispõe de um microfissuramento mais elevado (0,68 microfissuras/mm²) (Tabela 5.2; Capítulo 5).

Dentre as rochas analisadas, o sienogranito Juparaná Gold (JG) foi o que apresentou a maior eficiência com relação à exalação do gás radônio, $E = 0,041$. A rocha albita granito Branco Ceará (BC) apresenta a segunda maior concentração de U (11,9 ppm) entre as rochas estudadas, no entanto o valor obtido para o fator E (0,006) está entre os mais baixos. Mesmo o albita granito Branco Ceará (BC) apresentando uma das maiores concentrações de U (11,9 ppm) entre as rochas analisadas, ela pouco exalou o gás radônio (0,95 Bq/kg após 25 dias de confinamento), devido à porosidade aparente da rocha (0,78%), a baixa intensidade de microfissuras (0,18 microfissuras/mm²) e ao bom engrenamento mineral.

O contrário também ocorre, onde a quantidade de U (ppm) é praticamente a mesma, mas o fator de eficiência E é bem diferente. É o caso das amostras do sienogranito Vermelho Filomena (VF) e do ultramilonito Green Galaxy (GG). O Vermelho Filomena (VF) apresenta teor de U (4,3 ppm) e o Green Galaxy (GG) quase a mesma concentração com teor de U igual

a 5,1 ppm (Tabela 6.5), produzindo valores semelhantes de ^{222}Rn em Bq/kg de rocha, onde o Vermelho Filomena gerou 53,06 Bq/kg e o Green Galaxy 62,93 Bq/kg de ^{222}Rn . Com relação à eficiência de exalação do gás radônio, as duas rochas são bem diferentes, o sienogranito Vermelho Filomena (VF) exibe fator E (0,035) bem maior que o do ultramilonito Green Galaxy (GG) que apresenta fator E (0,006), isso se deve as suas características petrográficas. Um fator importante a se considerar é que o sienogranito Vermelho Filomena (VF) apresenta uma porosidade maior do que o ultramilonito Green Galaxy (GG), 0,51% e 0,14% respectivamente (Tabela 6.1), e que o Green Galaxy possui maior quantidade de microfissuras preenchidas (84,6%), enquanto que a maior parte das microfissuras do Vermelho Filomena não apresenta preenchimento (71%) (Tabela 5.2; Capítulo 5), tornando a localização do U na rocha um dos fatores para tal eficiência.

A rocha que apresentou a maior eficiência de escape do gás radônio, como supracitado, foi o sienogranito Juparaná Gold (JG) com fator $E = 0,041$, equivalente ao escape de 4,25% do ^{222}Rn gerado, mesmo não sendo a rocha com maior teor de gás radônio (58,00 Bq/kg).

A rocha com a maior quantidade de gás radônio gerado foi o sienogranito Branco Cristal Quartzo (BCQ) com 167,82 Bq/kg, apresentando uma eficiência de 0,035, também foi a rocha que mais deixou escapar gás radônio, exalando 6,04 Bq/kg de ^{222}Rn após 25 dias de confinamento, o que equivale a aproximadamente 3,6% do gás radônio gerado pela rocha.

Apesar do sienogranito Juparaná Gold (JG) apresentar maior eficiência de exalação do gás radônio do que o sienogranito Branco Cristal Quartzo (BCQ), a primeira rocha apresenta mais da metade das microfissuras preenchidas (56,2%), dificultando o escape do referido gás. Entretanto, a rocha Branco Cristal Quartzo (BCQ) apresenta 70,9% de suas microfissuras abertas e sem preenchimento que pode ter facilitado o escape do gás radônio até a superfície da rocha.

Tabela 6.5 – Eficiência de exalação do ^{222}Rn através do ^{222}Rn calculado e exalado das rochas estudadas.

Amostras	U ppm (ICP-MS)	Teores de ^{226}Ra e ^{222}Rn calculados a partir do Urânio		^{222}Rn exalado da amostra após 25 dias de confinamento		Diferença ^{222}Rn gerado e exalado (Bq/kg)	% de ^{222}Rn Exalado (Bq/kg)	Eficiência de exalação de ^{222}Rn Fator <i>E</i>
		^{226}Ra (Bq/Kg)	^{222}Rn gerado (Bq/Kg)	^{222}Rn (Bq/m ³)	^{222}Rn (Bq/kg)			
Green Galaxy – GG	5,1	62,93	62,93	60,00	0,40	62,53	0,63	0,006
Juparaná Gold – JG	4,7	58,00	58,00	321,67	2,46	55,54	4,25	0,041
Verde Ceará – VC	3,5	43,19	43,19	52,67	0,44	42,75	1,02	0,010
Verde Light – VL	5,0	61,70	61,70	94,00	0,70	61,00	1,14	0,011
Vermelho Filomena – VF	4,3	53,06	53,06	199,00	1,91	51,15	3,60	0,035
Red Dragon – RD	3,1	38,25	38,25	54,33	0,40	37,85	1,06	0,010
Yellow Tropical – YT	4,0	49,36	49,36	153,33	1,14	48,22	2,31	0,023
Branco Cristal Quartzo – BCQ	13,6	167,82	167,82	715,33	6,04	161,78	3,60	0,035
Rosa Iracema – RI	4,2	51,83	51,83	179,00	1,18	50,65	2,27	0,022
Cinza Prata – CP	1,5	18,51	18,51	72,33	0,51	18,00	2,77	0,027
Branco Ceará – BC	11,9	146,85	146,85	129,33	0,95	145,90	0,65	0,006
Branco São Paulo – BSP	8,1	99,95	99,95	54,33	0,38	99,57	0,38	0,004
Infinity Gold – IG	0,2	2,47	2,47	11,33	0,09	2,38	3,54	0,034
Cinza Ouro Branco – COB	3,2	39,49	39,49	39,67	0,39	39,10	0,98	0,010
Bourdeaux Terracota – BT	2,7	33,32	33,32	81,33	0,55	32,77	1,64	0,016

Intervalos de % de ^{222}Rn exalado (Bq/kg) das amostras:

- 0,1% – 2,0%
- 2,1% – 3,0%
- > 3,0%

6.6 Simulação de Adição do Nível de Radônio em Ambientes Fechados

Um dos grandes problemas relacionados ao gás radônio é a sua acumulação em ambientes fechados e/ou de pouca circulação de ar. Em países com clima temperado as residências passam por longos períodos fechados, bem como pela atual tendência do uso de sistemas de ar refrigerado em estabelecimentos comerciais como agências bancárias, shoppings e escritórios, o que implica em uma baixa troca de ar com o ambiente exterior. Tais situações têm conduzido a preocupações com relação aos níveis de concentração do gás radônio nestes ambientes fechados, levando órgãos como a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos – United States Environmental Protection Agency (EPA, 2003) estipular dosimetrias limítrofes de exalação do gás ^{222}Rn abaixo de 148 Bq/m^3 , o que equivale a $4,0 \text{ pCi/L}$.

A avaliação da dosimetria do gás radônio em determinado ambiente é uma função da exalação do ^{222}Rn dos materiais aplicados e do volume de ar do referido ambiente. Estudos envolvendo avaliação da contribuição da rocha na adição dos teores do gás radônio no meio ambiente são extremamente carentes, cabendo destaque para os de Bonotto & Andrews (1997), Moura et al. (2011), Amaral (2011), Amaral et al. (2012) e sobretudo à Chyi (2008).

Neste contexto, e com base na metodologia contida em Chyi (2008) e posteriormente adaptada por Amaral (2011) e Amaral et al. (2012), é aqui efetuada uma simulação da adição do gás radônio produzido pelas rochas estudadas em um ambiente padrão sem troca de ar com o meio exterior. Para tanto, considerou-se a aplicação de cada rocha estudada como piso em um ambiente fechado com $100,00 \text{ m}^2$ de área e com altura de $2,80 \text{ m}$.

A fórmula utilizada para avaliação é a seguinte:

$$Rn_{Amb} = \frac{Qtd \text{ Bq/m}^3 \times F2}{F1} = \text{Bq/m}^3$$

Onde:

$Qtd \text{ Bq/m}^3$ é a quantidade de ^{222}Rn exalado pela rocha;

$F1$ é o fator de dissipação de ar;

$F2$ é o fator de amplificação do material utilizado.

O fator $F1$ (fator de diluição no ar) corresponde ao volume de ar recorrente no interior do ambiente considerado em relação ao do volume de ar interno do garrafão, dado por:

$$F1 = \frac{V_{ar\ Amb}}{V_{ar\ Gar}}$$

Onde:

V_{arAmb} é o volume de ar no ambiente;

V_{arGar} é o volume de ar no garrafão.

O fator $F2$ (fator de amplificação do material) é a razão do material aplicado (m^2) na residência pela relação da metragem das amostras utilizadas no monitoramento do ^{222}Rn , onde:

$$F2 = \frac{A_{Apl}}{A_{Mon}}$$

Onde:

A_{Apl} é a área do ambiente com rocha aplicada (m^2);

A_{Mon} é a área das amostras monitoradas (m^2).

Para o melhor entendimento da simulação, alguns fatores são levados em consideração como a área do material rochoso aplicado, o volume de ar no interior do ambiente e a quantidade de gás radônio exalada pela rocha. A ventilação natural não será um fator preponderante para esta simulação, de forma que será desconsiderada a troca de ar entre os ambientes interno e externo.

Como citado anteriormente, a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos – United States Environmental Protection Agency (EPA, 2003), estabelece padrões dosimétricos e recomenda o limite de 4,0 pCi/L para residências. Para efeitos de comparação entre a quantidade de radônio exalada com os padrões de dosimetria estabelecidos pela EPA (2003), os dados em Bq/m^3 foram convertidos para pCi/L. Os resultados obtidos com a simulação estão representados na Tabela 6.6 e na Figura 6.13.

De acordo com a Tabela 6.6 todas as rochas analisadas apresentam valores abaixo do limite recomendado pela EPA (2003), inferior a 4,0 pCi/L, que equivale a $148 Bq/m^3$. Como

pode ser observado, os valores encontrados para as rochas em questão variam de 0,04 pCi/L a 2,59 pCi/L, ou 1,45 Bq/m³ a 110,32 Bq/m³, respectivamente. A maior parte das rochas apresentou valores inferiores a 1,0 pCi/L, somente duas amostras apresentaram valores superiores a 1,0 pCi/L, representadas pelos sienogranitos Branco Cristal Quartzo (2,59 pCi/L) e Juparaná Gold (1,22 pCi/L).

Tabela 6.6 – Resultados obtidos pela simulação de adição de Rn em um ambiente de 100 m².

AMOSTRAS	Quantidade de rocha utilizada (m ²)	Área do ambiente (m ²)	Quantidade de Rn exalado (Bq/m ³) após 25 dias	Quantidade de Rn exalado no ambiente	
				(Bq/m ³) ^{*1}	(pCi/L) ^{*2}
Green Galaxy – GG	100	100	60,00	7,14	0,21
Juparaná Gold – JG	100	100	321,67	46,44	1,22
Verde Ceará – VC	100	100	52,67	8,04	0,19
Verde Light – VL	100	100	94,00	13,15	0,35
Vermelho Filomena – VF	100	100	199,00	35,07	0,73
Red Dragon – RD	100	100	54,33	7,52	0,20
Yellow Tropical – YT	100	100	153,33	21,45	0,58
Branco Cristal Quartzo – BCQ	100	100	715,33	110,32	2,59
Rosa Iracema – RI	100	100	179,00	22,29	0,67
Cinza Prata – CP	100	100	72,33	9,53	0,26
Branco Ceará – BC	100	100	129,33	17,37	0,47
Branco São Paulo – BSP	100	100	54,33	7,09	0,20
Infinity Gold – IG	100	100	11,33	1,45	0,04
Cinza Ouro Branco – COB	100	100	39,67	7,38	0,15
Bourdeaux Terracota – BT	100	100	81,33	9,94	0,29

Fonte: Elaborada pela autora.

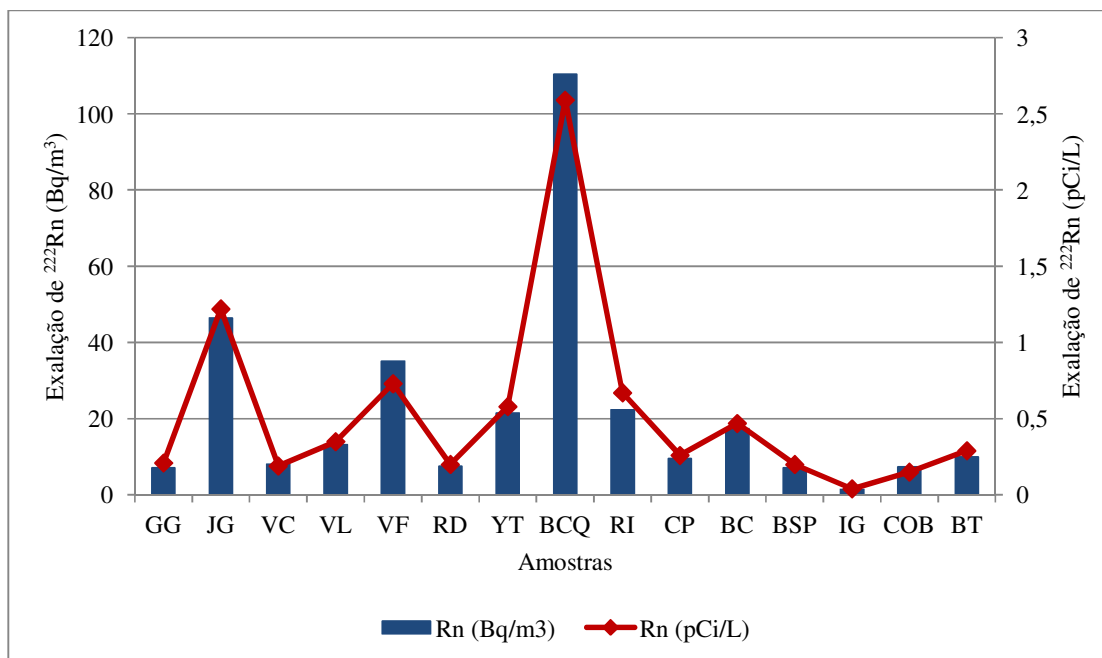
*1 e *2: 148 Bq/m³ e 4,0 pCi/L valores limítrofes de níveis de concentração de radônio recomendados para residência (EPA, 2003).

A adição do nível de radônio em um ambiente, em se tratando de rochas ornamentais, está relacionada com a área de exposição da rocha utilizada, ou seja, quanto maior a área de rocha aplicada maior será a adição no nível de gás radônio no ambiente.

A simulação realizada mostra que os materiais aqui utilizados estão de acordo com a recomendação indicada pela EPA (2003), já que nenhuma das rochas ultrapassou o limite de 4,0 pCi/L. Contudo os cuidados quanto à especificação de materiais rochosos utilizados como rochas ornamentais e para revestimento, sobretudo em ambientes fechados, devem ser considerados, e um dos fatores a serem avaliados é o de exalação de gás radônio.

No caso da utilização de um desses materiais em ambientes externos ou que tenham bastante ventilação, todas as rochas são recomendadas, tendo em vista que o gás ²²²Rn exalado dissipa facilmente na atmosfera em virtude de sua curta meia-vida, cerca de 3,85 dias.

Figura 6.13– Diluição do gás ^{222}Rn no ar simulado para um ambiente padrão de 100 m^2 .



Fonte: Elaborada pela autora.

CAPÍTULO 7 CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como principal objetivo estudar a quantificação de exalação de gás ^{222}Rn em rochas ornamentais e para revestimento do Estado do Ceará, tomando por base parâmetros petrográficos, texturais e estruturais responsáveis pela transferência do gás radônio da rocha para a atmosfera. Desta forma, para uma melhor compreensão acerca do comportamento do gás radônio nas rochas pesquisadas, também foram efetuadas análises petrográficas, determinação dos índices físicos (densidade aparente seca e saturada, porosidade aparente e absorção de água), além da quantificação do referido gás exalado das rochas pesquisadas.

Ao todo foram selecionadas 15 amostras de diferentes tipos petrográficos, sendo 14 rochas cristalinas quartzo-feldspáticas representadas por álcali-feldspatos granitos, sienogranitos, granodiorito, monzogranito, ultramilonito e pegmatito, e uma rocha sedimentar representada por conglomerado polimíctico.

A determinação dos índices físicos das rochas analisadas revelou, exceto para uma delas, que todas as amostras apresentam valores de densidade aparente acima da média das rochas graníticas brasileiras requeridas pela norma NBR 15844 (ABNT, 2010), $\geq 2550 \text{ kg/m}^3$. A única amostra que ficou abaixo da média supracitada foi a do pegmatito granítico Infinity Gold (2371 kg/m^3), uma rocha muito alterada e fraturada com presença de cavidades e, portanto, com porosidade aparente bastante elevada. Com relação à porosidade aparente e absorção de água, a maior parte das rochas apresentou valores abaixo dos índices estabelecidos pela norma NBR 15844 (ABNT, 2010), respectivamente $\leq 1,0\%$ e $\leq 0,4\%$. Apenas duas amostras, a do conglomerado (Bourdeaux Terracota – 1,26% e 0,48%) e do pegmatito (Infinity Gold – 5,68% e 2,46%), ficaram com valores superiores ao da média supracitada. Tais resultados estão diretamente relacionados às características petrográficas de cada rocha, como padrão textural e estrutural, relações de contatos minerais, intensidade de microfissuras muito elevada, além destes fatores, no caso do conglomerado Bourdeaux Terracota, sendo uma rocha sedimentar, por sua constituição apresenta em geral porosidade superior às das rochas magmáticas e metamórficas.

As análises químicas das rochas ígneas pesquisadas revelaram que 11 das 14 rochas estudadas apresentaram conteúdo de SiO_2 acima de 70%, caracterizando magmas ácidos evoluídos de composição desde álcali-feldspato granítica a granodiorítica, confirmada no diagrama catiônico $\text{R}_1:\text{R}_2$ proposto por De la Roche et al. (1980) de classificação de rochas.

Através de diagramas classificatórios e discriminantes, objetivando a caracterização serial do magmatismo, foi possível considerar que o monzogranito Cinza Ouro Branco é peraluminoso tipo-S e que as demais rochas silicáticas investigadas são de natureza essencialmente cálcio-alcalina alto-K.

Os resultados obtidos para as concentrações de U, Th e ^{40}K se mostram coerentes com a natureza cálcio-alcalina alto K e peraluminosa tipo-S do conjunto de granitóides estudados. Com relação ao teor de U (ppm), suas concentrações nas rochas estudadas são baixas com teores variando entre 0,2 ppm até 13,6 ppm, típicos para granitos cálcio-alcalinicos e peraluminosos crustais com diferentes graus evolutivos. Grande parte das amostras forneceram baixas concentrações de U, com valores inferiores a 5,0 ppm. O sienogranito Branco Cristal Quartzo (BCQ) foi a rocha que apresentou a maior concentração de U (13,6 ppm), apesar de apresentar em sua composição mineralógica baixa porcentagem de minerais detentores de elementos radioativos, como o zircão (0,2%) e apenas traços de apatita, titanita e allanita. A amostra do granodiorito Cinza Prata (CP) é uma das amostras com maior porcentagem de minerais portadores de elementos radioativos, com aproximadamente 0,3% de zircão, 0,5% de apatita e traços titanita e allanita, entretanto apresentou baixa concentração de U (1,5 ppm).

No geral, as amostras apresentaram significativas diferenças na relação Th/U, desde 1,15 até 8,0, o que estaria de acordo com as diferentes histórias evolutivas que se refletem em diferentes conteúdos de minerais acessórios detentores de U e Th, como zircão, allanita, titanita e apatita, e pelos processos hidrotermais e intempéricos a que algumas amostras foram submetidas.

Com relação à exalação de gás radônio, a rocha que apresentou a menor exalação em todos os ciclos monitorados foi a do pegmatito Infinity Gold (IG), que no final do maior ciclo (25 dias) exalou apenas 11,3 Bq/m³, e a amostra com os valores mais elevados foi a do sienogranito Branco Cristal Quartzo (BCQ), que no final do maior ciclo (25 dias) apresentou exalação de ^{222}Rn igual a 715,33 Bq/m³. A primeira rocha trata-se de um pegmatito granítico brechóide, uma rocha bastante alterada, fraturada e com elevada porosidade, é a que apresenta as menores concentrações de U e Th entre as rochas estudadas, caracterizada por não apresentar em sua composição minerais portadores de elementos radioativos como zircão, apatita, allanita e titanita. A segunda rocha é um sienogranito denominado comercialmente de Branco Cristal Quartzo (BCQ) com textura fanerítica inequigranular hipidiomórfica e granulação média a média-grossa, que apresenta variação textural com porções enriquecidas

em feldspato potássico e outras com quartzo. Mesmo não apresentando quantidades elevadas de minerais detentores de elementos radioativos em sua composição é a rocha com as maiores concentrações de U e Th entre todas as rochas pesquisadas, como também com a maior exalação de gás radônio em todos os ciclos do monitoramento.

Assim, corroborou-se por meio da quantificação da exalação do gás radônio nas rochas pesquisadas, que nem sempre as concentrações de U e Th podem ser usadas como parâmetros para definir a quantidade de gás exalado, mas em conjunto devem ser utilizados também os parâmetros dos aspectos petrográficos que envolvem a rede microporosa, aspectos texturais e estruturais das rochas.

Com relação à quantidade de radônio gerada pela rocha e o efetivamente exalado, determinados por um fator de eficiência denominado Fator *E*, verificou-se que a quantidade de gás ^{222}Rn efetivamente exalado é ínfima quando comparada ao gerado na rocha pelo decaimento radioativo. Como exemplo pode ser citado o caso do Branco São Paulo (BSP), um microclínio-albita granito com granulação fina a fina-média e intensidade de microfissuramento baixa a muito baixa, que com uma geração de 99,95 Bq/kg de ^{222}Rn liberou em 25 dias apenas 0,38 Bq/kg de ^{222}Rn , com eficiência de exalação (Fator *E*) de 0,004, o que representa apenas 0,38% de gás emanado. Já o Infinity Gold (IG), um pegmatito cataclasado e argilizado, com uma geração de 2,47 Bq/kg de ^{222}Rn liberou em 25 dias 0,09 Bq/kg de ^{222}Rn , o que representa uma eficiência de exalação muito superior (com Fator *E* de 0,034), permitindo que 3,54% do gás gerado escapasse para a atmosfera. Esta constatação reforça a influência dos aspectos petrográficos na maior ou menor difusão do gás radônio, de maneira que nem sempre a rocha que produz maior quantidade de gás radônio será aquela que vai exalar mais.

Com o propósito de prever se as rochas analisadas poderiam atingir os limites dosimétricos do radônio de 4,0 pCi/L recomendado pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA, 2003), caso fossem aplicadas numa residência com baixa circulação de ar, foi realizada uma simulação baseada no procedimento adotado por Amaral (2011) e Amaral et al. (2012) que adaptaram a técnica utilizada por Chyi (2008). Os resultados obtidos com a simulação ficaram abaixo do limite recomendado pela EPA (2003), de 4,0 pCi/L. Os valores fornecidos pelas rochas oscilaram de 0,04 pCi/L a 2,59 pCi/L, onde o valor mais alto obtido (2,59 pCi/L) foi o da amostra do sienogranito Branco Cristal Quartzo (BCQ).

Assim, esta simulação sugere que os materiais analisados atendem as recomendações especificadas pela EPA (2003), já que nenhuma das rochas analisadas ultrapassou o limite

estipulado de 4,0 pCi/L, portanto indicadas para a utilização como materiais de revestimento em ambientes internos.

No entanto, quando se trata de ambientes fechados, com pouca ou nenhuma ventilação, alguns cuidados devem ser considerados ao utilizar materiais rochosos como rochas ornamentais e para revestimento, como avaliação da exalação de gás radônio. Se forem utilizados em ambientes externos ou que tenham bastante ventilação, todas as rochas são recomendadas, tendo em vista que o gás ^{222}Rn exalado dissipa facilmente na atmosfera.

De acordo com os resultados apresentados nesta pesquisa, observou-se que a exalação de gás radônio fornecida pelas rochas analisadas foi muito pequena, onde 13 das 15 rochas estudadas forneceram exalações inferiores a 1,0 pCi/L e apenas duas rochas forneceram valores superiores a 1,0 pCi/L, e mesmo assim não atingiram o valor estipulado pela EPA (2003) de 4,0 pCi/L. Assim, pode-se concluir e considerar que as rochas pesquisadas não apresentam índices preocupantes com relação a exalação de gás radônio, considerando-se as referências e conhecimentos atualmente acumulados sobre esse tema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIROCHAS – Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. **Informe 01/2013** – Balanço das Exportações e Importações Brasileiras de Rochas Ornamentais e de Revestimento em 2012. 2013. Disponível em:

<http://www.ivolution.com.br/news/upload_pdf/11476/Informe_01_2013.pdf> Acesso em: 15 jan. 2013.

ABIROCHAS – Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. **Informe 18/2009** – Situação Mundial e Posição Brasileira no Setor de Rochas Ornamentais em 2008. 2009.

Disponível em:

<http://www.ivolution.com.br/news/upload_pdf/6661/Situacao_Mundial2008.pdf> Acesso em: 25 nov. 2009.

ABIROCHAS – Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. **Informe 18/2008** – Radioatividade Natural em Materiais Rochosos.[2009. Disponível em:

<http://www.ivolution.com.br/news/upload_pdf/6169/Radioatividade1.pdf> Acesso em: 5 abr. 2009.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT-NBR 15844** – Rochas para Revestimento – Requisitos para Granitos. Rio de Janeiro. 2010. Pág. 2.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT-NBR 15845** – Rochas para Revestimento – Métodos de Ensaio, Anexo A (normativo) Análise Petrográfica. Rio de Janeiro. 2010. Pág. 2-5.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT-NBR 15845** – Rochas para Revestimento – Métodos de Ensaio, Anexo B (normativo) Densidade aparente, porosidade aparente e absorção de água. Rio de Janeiro. 2010. Pág. 6-8.

AL-JARALLAH, M. Radon exhalation from granites used in Saudi Arabia. Journal of Environmental Radioactivity, v. 53, p. 91-98, 2001.

ALMEIDA, F. F. M., HASUI, Y., BRITO NEVES, B. B., and FUCK, R. A. Brazilian structural provinces: an introduction. Earth Science Review, 17:1-29. 1981.

ALMEIDA, F. F. M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B. B.; FUCK, R. A. Províncias Estruturais Brasileiras. In: SBG/Núcleo Nordeste, Simpósio de Geologia do Nordeste, 8, 1977, Campina Grande. *Boletim de Resumos...* Campina Grande – PB, p. 363-391. 1977.

AMARAL, P. G. Q. **Caracterização Radiométrica e de Exalação de Radônio em Rochas Ornamentais Silicáticas Beneficiadas no Estado do Espírito Santo**. 2011. 193 p. Dissertação (Mestrado em Geologia Regional) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro – SP, 2011.

AMARAL, P. G. Q.; GALEMBECK, T. M. B.; BONOTTO, D. M.; ARTUR, A. C. Uranium distribution and radon exhalation from Brazilian dimension stones. Applied Radiation and Isotopes, v. 70, n° 4, p. 808-817, 2012.

ANJOS, R. M.; VEIGA, R.; SANTOS, A. M. A.; AGUIAR, J. G.; FRASCA, M. H. B. O.; BRAGE, J. A. P.; UZÊDA, D.; MANGIA, L.; FACURE, A.; MOSQUERA, B.; CARVALHO, C. Natural radionuclide distribution in Brazilian commercial granites. Radiation Measurements, nº 39, p. 245-253, 2005.

ARTHAUD, M. H.; VASCONCELOS, A. M.; NOGUEIRA NETO, J. A.; OLIVEIRA, F. V. C.; PARENTE, C. V.; MONIÉ, P.; LIÉGEOIS, J. P.; CABY, R.; FETTER, A. H. Main Structural Features of Precambrian Domains from Ceará (NE Brazil). In: DEGEO/UFOP-IBTA, International Conference on Basement Tectonics, 14th, Ouro Preto, Abstracts, 84-85. 1998.

BARKER, F.; ARTH, J. G. Generation of trondhjemitic-tonalitic liquids and Archean bimodal trondhjemitic-basalt suites. Geology, v. 4, p. 596-600, 1976.

BATCHELOR, R. A.; BOWDEN, P. Petrogenetic interpretation of granitoid rocks series using multicationic parameters. Chemical Geology, v. 45, p. 43-55. 1985.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM. **Anuário Mineral Brasileiro**. Brasília, 2010.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM. **Sumário Mineral**. Brasília, p.105 -106, 2012.

BRUMA, G.; FREY, F. A.; WANES, D. R. New England granites: trace element evidence regarding their origin and differentiation. Contributions to Mineralogy and Petrology. v. 31, p. 300-320. 1971.

BESSA, M. F. **Rochas Ornamentais do Noroeste do Ceará (Brasil)**. Propriedades Tecnológicas, Alteração e Alterabilidade dos Granitos Vermelho Filomena, Meruoca Clássico e Verde Ceará. 2004. 274 p. Tese (Doutorado) – Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa – Portugal. 2004.

BRITO NEVES, B. B.; VAN SCHMUS, W. R.; SANTOS, E. J.; CAMPOS NETO, M. C.; KOZUCH, M. O Evento Carirís Velhos na Província Borborema: Integração de dados, implicações e perspectivas. Revista Brasileira de Geociências, 4: p. 279-296. 1995.

BONOTTO, D. M.; SILVEIRA, E. G. Geoquímica do Urânio Aplicada a Águas Minerais. 2006. 153 f. Editora Unesp, SP.

BONOTTO, D. M. & ANDREWS, J. N. The implications of laboratory ^{222}Rn flux measurements to the radioactivity in groundwaters: the case of a karstic limestone aquifer. Applied Geochemistry, v. 12, p. 715-726, 1997.

BONOTTO, D. M. **Comportamento Hidrogeoquímico do ^{222}Rn e Isótopos de ^{238}U e ^{234}U sob Condições Controladas em Laboratório e em Sistemas Naturais**. 1996. 223 p. Tese (Livre Docência), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro-SP, 1996.

BONOTTO, D. M. Espectrometria gama com detector de cintilação de NaI (TI). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro – SP. Apostila da disciplina Radioelementos no Ambiente. 1990.

BONOTTO, D. M. **Aplicações Hidrogeoquímicas dos Isótopos Naturais das séries do U (4n + 2) e Th (4n) no Morro do Ferro, Poços de Caldas (MG)**. 1986. 378 f. Tese (Doutorado) – IAG, Universidade de São Paulo. São Paulo – SP, 1986.

BOWIE, S. H. U. & PLANT, J. A. Natural radioactivity in the environment. In: THORNTON, I. (Ed.) Applied environmental geochemistry. London: Academic Press, 1983, 501 p.

CHAO, Y. H.; TUNG, C. W.; CHAN, W. T.; BURNETT, J. Determination of radon emanation and back diffusion characteristics of building materials in small chamber tests. Building and Environment, v. 32, n. 4, p. 355-362, 1997.

CHIODI FILHO, C. Balanço das exportações brasileiras de rochas ornamentais e de revestimento no primeiro semestre de 2004. Revista Pedras do Brasil, Espírito Santo, n. 29, p.50- 61, 2004.

CHIODI FILHO, C. Desempenho e competitividade do setor de rochas no Brasil. In: IV SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE. 2003. Recife. *Anais...* Recife – PE, 2003, p. 138-145.

CHIODI FILHO, C. & RODRIGUES, E. DE P. Quadro setorial brasileiro das rochas ornamentais e de revestimento. Revista Rochas de Qualidade. São Paulo, Edição 147, ano XXVIII, p. 86-104, julho/agosto 1999.

CHIODI FILHO, C.; RODRIGUES, E. P.; ARTUR A.C. 2004. Panorama técnico-econômico do setor de rochas ornamentais no Brasil. Revista Geociências, São Paulo, v. 23, n. 1, 2004.

CHOUBEY, M. V.; BIST, K. S.; SAINAI, N. K.; RAMOLA, R. C. Relation between soil-gas radon variation and different lithotectonic units, Garhwal Himalaia, India. Applied Radiation and Isotopes, New York, v. 51, p. 840-849, 1999.

CHYI, L. L. **Radon testing of various countertop materials final report**. University of Akron. 15 p. 2008.

COCHIRIE, A. Interaction manteau-croûte: son role dans la g nese d'associations plutoniques calco-alkalines, contraintes g ochimiques (elements en traces et isotopes du strontium et de Poxyg ne). Documents du BRGM, 90, 246 p. 1984.

CRESPO, A. Novas tecnologias para extra o de rochas ornamentais. Rochas e Equipamentos, Lisboa, n. 24, p. 122-136. Portugal. 1991.

CULLERS, R. L. & GRAF, J. L. Rare earth elements in igneous rocks of the continental crust: intermediate and silicic rock-ore petrogenesis. In: HENDERSON, P. Ed. Rare Earth Element Geochemistry. Amsterdam, Elsevier. p. 275-316. 1974.

DANTAS, E. L. **Geocronologia U-Pb e Sm-Nd de terrenos arqueanos e paleoproterozóicos do Maciço Caldas Brandão, NE do Brasil.** 1997. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro-SP. 1997.

DANTAS, E. L. **Evolução tectono-magmática do maciço poli-diapírico de São Vicente-florânia.** 272 p. 1992. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro-SP. 1992.

DE LA ROCHE, H., LETERRIER, J., GRAND CLAUDE, P. A classification of volcanic and plutonic rocks using R1 R2 – diagram and major – element analysis – its relationships with current nomenclature. Chemical Geology. v.29, p. 183-210, 1980.

EPA – UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY Assessment of Risks From Radon in Homes. Washington, DC, 99 p. 2003.

FERNANDES, T. W. G. Diagnóstico da Cadeia Produtiva de Rochas Ornamentais e de Revestimentos do Estado do Ceará: mineração serrarias, marmorarias e desafios do Setor. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro – SP, 122 p. 2004.

FETTER, A. H.; VAN SCHMUS, W. R.; SANTOS, T. J. S.; NOGUEIRA NETO, J. A.; ARTHAUD, M. H. 2000. U-Pb and Sm-Nd geochronological constraints on the crustal evolution and basement architecture of Ceará State, NW Borborema Province, NE Brazil: implications for the existence of the Paleoproterozoic supercontinent "Atlantica". Revista Brasileira de Geociências, 30: p. 102-106. 2000.

FETTER, A. H. **U-Pb and Sm-Nd geochronological constraints on the crustal framework and geologic history of Ceará State, NW Borborema Province, NE Brazil: implications for the assembly of Gondwana.** 164p. 1999. Tese (Doutorado) – Dep. of Geology, Kansas University. 1999.

FIEC – Federação das Indústrias do Estado do Ceará. 2009. Estudo Setorial – Rochas Ornamentais – Dezembro/2012. Disponível em:
<<http://www.fiec.org.br/cin/principal/estatisticas/documents/rocha2012.pdf>>
Acesso em: 22 jan 2013.

FIEC – Federação das Indústrias do Estado do Ceará. 2010. Revista da FIEC, Ano 3, Edição 35, Abril de 2010. Disponível em:
<http://www.sfiec.org.br/portav2/sites/revista/files/files/revistaFIEC_abr2010_lowres.pdf>
Acesso em: 25 fev. 2012.

FOLK, R. L. Petrology of sedimentary rocks. Austin: Hemphill's, 1968. 182p.

FRASCÁ, M. H. B. O. **Estudos experimentais de alteração acelerada em rochas graníticas para revestimento.** 2003. 264p. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências-Universidade de São Paulo. 2003.

GAVIOLI, Y. S.; CORREIA, J. C. G.; RIBEIRO, R. C. DA C. Emissão de radônio em rochas ornamentais. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 17., 2009, Rio de Janeiro – RJ. *Anais...* Rio de Janeiro – RJ: Centro de Tecnologia Mineral – CETEM. 2009. p. 95-101.

GENITRON INSTRUMENTS. **AlphaGUARD portable radon monitors user manual**. 1998.

GINÉ-ROSIAS, M. F. **Espectrometria de Massas com Fonte de Plasma**. (ICP-MS). Piracicaba – SP. Centro de Energia Nuclear na Agricultura – CENA/USP, p.118: il. (Série Didática, v.4). 1999.

GOMES, I. P. Caracterização **Petrográfica e Petroquímica dos Granitos tardi a póstectônicos da região de Santa Quitéria – Ce**. 2006. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade Federal do Ceará. 2006.

GOMES, J. R. C.; GATTO, C. M. P. P.; SOUZA, G. M. C.; LUZ, D. S.; PIRES, J. L.; TEIXEIRA, W.; FRANÇA, F. A. B.; CABRAL, E. M. A.; MENOR, E. A.; MONTEIRO, N. Geologia. In: **Radambrasil: Levantamento de Recursos Naturais**. Rio de Janeiro, MME/SG. p.27-198. 1981.

IPECE, 1990. Base Cartográfica Digital, escala 1:100.000. Disponível em: <<http://www.ipece.ce.gov.br/categoria5/cartografia>>. Acesso em: 20 ago. 2009.

IRVINE, T. N. & BARAGAR, W. R. A. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 8, p. 523-548. 1971.

IVANOVICH, M. & MURRAY, A. Spectroscopic Methods. In: IVANOVICH, M. & HARMON, R. S. (Ed.). Uranium-series disequilibrium: Applications to Earth, Marine and Environmental Sciences. Oxford: Clarendon Press, p. 127-173. 1992.

KILLEEN, P.G. Gamma-ray spectrometric methods in uranium exploration - application and interpretation. In: HOOD, P. J (Ed.) Geophysics and Geochemistry in the Search for Metallic Ores. [s.l.]: Geological Survey of Canadá, p. 163-229 (Economic Geology Report, 31). 1979.

LA ROCHE (DE) H. Granites chemistry through multicationic diagrams. *Sciences de la Terra*, Série Informatique Géologique, 13, p. 65-68. 1980.

LESSA, H. M. A. **Caracterização Petrológica e Geoquímica dos Stocks São Paulo e Morrinho, Domínio Ceará Central da Província Borborema**. 2001. 127 f. Dissertação (Mestrado) – Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza – CE. 2001.

LIMA, J. L. N. **Implementação de metodologia para a mensuração de ²²²Rn e sua aplicação no estudo da radioatividade das águas de Águas da Prata (SP)**. 1993. 155f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro – SP. 1993.

LIMA, M. N.; NOGUEIRA NETO, J. A.; AZEVEDO, M. R.; AGUADO, B. V. Geología y geocronología U-Pb del granito de Banabuiú, Noreste de Ceará, Brasil. Estudios Geológicos, 66 (1), p. 35-44. 2010.

LIMA, M. N. **Caracterização litogeoquímica do granito Banabuiú e seu encaixante (Brasil)**. 2008. 259 f. Dissertação (Mestrado em Geoquímica) – Departamento de Geociências, Universidade de Aveiro, Aveiro – Portugal. 2008.

MANIAR, P. D. & PICCOLI, P. M. Tectonic discrimination of granitoids. Geological Society of America Bulletin, v. 101, n. 5, p. 635-643. 1989.

MARINI, O. J.; BOTELHO, N. F.; ROSSI, P. Elementos terras raras em granitóides da Província Estanífera de Goiás. Revista Brasileira de Geociências, v. 22, p. 61-72. 1992.

MATTOS, I. C. **Geologia, petrografia, geoquímica, comportamento físico-mecânico e alterabilidade das rochas ornamentais do stock granítico Serra do Barriga, Sobral (CE)**. 2005. 260 f. Tese (Doutorado em Geologia Regional) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro – SP. 2005.

McCARTHY, T. S. & HARTY, R. A. Trace element distribution pattern and their relationship to the crystallization of granitic melts. Geochemical et Cosmochimica Acta, 40, p. 1351-1358. 1976.

MENDES, V. A. Pesquisa geológica do potencial regional de rochas ornamentais. In: SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 5. 2005. Recife. *Anais...* Recife (Editor: J. C. Souza; R. Neves; Recife PPGE Minas/SBG). p. 225-229. Recife - PE. 2005.

MESQUITA, M. P. S. **Composição, Estruturas, Propriedades Tecnológicas e Alterabilidade dos Granitos Ornamentais do Stock Morrinho, Santa Quitéria (CE)**. 2002. 171 f. Tese (Doutorado em Geologia Regional) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, 2002.

MONTEIRO, J. A. Relatório final de pesquisa de Granito na Fazenda Lagoana, Trapiá, Santa Quitéria, Ceará. Fortaleza: DNPM, Relatório, n. 800.281/89, 1991.

MORAIS, M. C. & RODRIGUES, E. 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.

MORAIS J. O.; SALES, F. A. C. B.; ROBERTO, F. A. C.; MATTOS, I. C.; SOUSA, J. F.; LIMA, M. A. B. Rochas Ornamentais do Ceará – Brasil. Fortaleza: Funcap/Secitece; 2004. 132p.

MOURA, C. L.; ARTUR, A. C.; GUEDES, S. Rn-222 concentrations of the building stones from different magmatic series. In: 32nd INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, Abs. Vol., pt, abs. 56-25, p. 286. Florença - Itália. 2004.

MOURA, C. L. **Radioatividade Natural e Emissão de ²²²Rn em rochas Ornamentais Provenientes de Diferentes Séries Magmáticas Utilizadas como Revestimento Interno**. 2005. 195 f. Tese (Doutorado em Geologia Regional) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro – SP. 2005.

MOURA, C. L.; ARTUR, A. C.; BONOTTO, D. M. Radioatividade natural em rochas ornamentais provenientes de diferentes séries magmáticas. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE ROCHAS ORNAMENTAIS, 1. e SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ROCHAS ORNAMENTAIS, 2., 2005, Guarapari – ES. *Anais...* Guarapari – ES (Realização: CETEM/CETEMAG), CD-ROOM (6 páginas), Ref. 072. 2005.

MOURA, C. L.; ARTUR, A. C.; BONOTTO, D. M.; GUEDES, S. Radioatividade natural e taxa de exalação de radônio em rochas ornamentais de diferentes séries magmáticas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 43., 2006, Aracaju – SE. *Anais...* Aracaju – SE: (SBG), 2006.

MOURA, C. L.; ARTUR, A. C.; BONOTTO, D. M. A influência da porosidade na taxa de exalação de ^{222}Rn de rochas utilizadas como ornamental e de revestimento. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 10., 2007a, Diamantina – MG. *Anais...* Diamantina – MG: (SBG – Núcleos SP/ES/MG). 2007, p. 111.

MOURA, C. L.; ARTUR, A. C.; BONOTTO, D. M. A importância dos aspectos petrográficos no estudo da radioatividade natural e de emissão de radônio de rochas ornamentais utilizadas em revestimento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAS ORNAMENTAIS, 3. e SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 6., 2007b, Natal –RN. *Anais...* Natal – RN: (SBG/NNE), CD-ROM. Ref. p. 21. 2007.

MOURA, C. L.; ARTUR, A. C.; BONOTTO, D. M.; GUEDES, S.; MARTINELLI, C. D. Natural radioactivity and radon exhalation rate in Brazilian igneous rocks. *Applied Radiation and Isotopes*, v. 69, p. 1094-1099. 2011.

MOREIRA-NORDEMANN, L. M. **Étude de la Vitesse d'Alteration des Roches au Moyen de V Uranium Utilise comme Traceur Naturel**; Application à deux Bassins du Nord-Est du Brésil. France. (These Doct., d'Etat, Univ.de Paris). 1977.

NAVARRO, F. C. Granitos Ornamentais: análise petrográfica na previsão do comportamento físico e mecânico. In: CONGRESSO URUGUAYO DE GEOLOGIA, 2., 1998, Punta del Leste. *Anais...* Montevideo: SUG, 1998, p. 103-107.

NOGUEIRA NETO, J. A.; FETTER, A. H.; SANTOS, T. J. S.; NOGUEIRA, J. F.; HACKSPACHER, P. C. Datação U/Pb em Zircão e Idade Modelo (TDM) de Corpo Granítico Sin-Cinematógeno da Região de Cariré - NW do Ceará. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 17, Fortaleza, Boletim Resumos, 15: p. 95-97. 1997c.

NUNES, J. A. **Desenvolvimento de Método para Determinação de Ag, As, Cd, Co, Mn, Ni, Pb e Se em Sangue por Espectrometria de Massas com Fonte de Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-MS) Utilizando Diluição de Amostras em Meio Alcalino**. 2009. 77 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto – SP, 2009.

PINTO, F. G. **Desenvolvimento de Métodos Analíticos para Determinação de Terras Raras, Th, U e Y em Rochas, Solos e Sedimentos por ICP-MS**. 2010.136 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte – MG, 2010.

PICCIRILLO, A. & TAYLOR, S.R. Geochemistry of Eocene calcalkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey. Contributions to Mineralogy and Petrology, 58, p. 63-81. 1976.

RICHARD, L. R. Minpet for Windows – Version 2.02. Minpet Geological Software. Québec. 1995.

ROBERTO, F. A. C.; VIDAL, F. W. H.; SALES, F. A. C. B.; SOUZA, J. F.; MATTOS, I. C.; LIMA, M. A. B.; MORAIS, J. O. 2005. O Setor de Rochas Ornamentais no Ceará – Brasil. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE ROCHAS ORNAMENTAIS, 1. e CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAS ORNAMENTAIS, 2., 2005, Guarapari – ES. *Anais....* Guarapari: CETEM/CETEMAG, 2005. 1 CD-ROM.

RODRIGUES, E. P.; CHIODI FILHO, C.; COUTINHO, J. J. M. Importância da petrografia para a previsão do comportamento e da durabilidade de rochas ornamentais. Revista Rochas e Equipamentos, Lisboa, v. 47, 2p. 1997.

ROLLINSON, H. Using geochemical data: evaluation presentation, interpretation. New York: Longman Scientific & Technical, 1993.

SALES; F. A. C. B. & MORAIS, J. O. Proposta metodológica de pesquisa para rochas ornamentais. In: SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 4., 2003, Fortaleza – CE. *Anais...Fortaleza – CE*: (Editor: F. W. H. Vidal; M. A. B. Lima; Rio de Janeiro, CETEM/SBG), 2003, p. 2-12.

SANTOS, T. J. S. **Evolução tectônica e cronológica do noroeste da Província Borborema**. 186p. 1999. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro – SP. 1999.

SANTOS, T. J. S. **Aspectos geológicos de uma área a sudoeste de granja, região noroeste do Ceará**. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro – SP. 1993.

SAUNDERS, A. D. & TARNEY, J. Geochemical Characteristics of Basaltic Volcanism within Back: Arc Basins. In: *Marginal Basin Geology*, Kolaar, B. P. and M. F. Howells (Eds.). v. 16, Geo. Soc. London spec. Publ., London, UK., p. 59-76. 1984.

SERWAY, R. A. & JEWETT JR., J. W. Princípios de Física: Óptica e Física Moderna, 3ª Ed., volume IV. Tradução André Koch Torres Assis e Leonardo Freire de Mello. São Paulo. Cengage Learning Edições Ltda. 2009. 492 p.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM. 2003. *Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil*. 2003.

SIAL, A. N.; FIGUEIREDO, M. C. H.; LONG, L. Rare-earth element geochemistry of the Meruoca and Mucambo plutons, Ceará, Northeast Brazil. Chemical Geology, 31: p. 271-283. 1981.

SILVA, S. M. P.; CROSTA, A. P.; FERREIRA, F. J. F.; BEURLEN, H.; SILVA, A. M.; SANTOS, L. F. Espectrometria de raios gama de granitos pegmatíticos da Província Pegmatítica da Borborema (PPB), Nordeste do Brasil. Revista Brasileira de Geofísica, v.28, n. 4, p. 673-690. 2010.

SKOOG, D. A.; HOLLER, F. J.; NIEMAN, T. A. Princípios de Análise Instrumental. 5ª Ed. Bookman. 2002.

STRECKEISEN, A. To each plutonic rock its proper name. Earth-Science Reviews, International Magazine for Geo-Scientists. Amsterdam. v. 12, p. 1-33. 1976.

SUN, S. S. Chemical composition and origin of Earth's primitive mantle. Geochemical et Cosmochimical Acta, v. 46, p. 179-192, 1980.

TAYLOR, S. R. & McLENNAN, S. M. The Continental Crust: its Composition and Evolution. Scientific Publications, Oxford, Blackwell., 312 p. 1985.

TIPLER, P. A. & LLEWELLYN, R. A. Física Moderna. 5ª Ed. Tradução e revisão técnica Ronaldo Sérgio de Biasi. Rio de Janeiro, Editora LTC. 2010. 499 p.

TIPLER, P. A. & MOSCA, G. Física Para Cientistas e Engenheiros, v. 3: Física Moderna: Mecânica Quântica, Relatividade e a Estrutura da Matéria, 5ª Ed. Tradução Fernando Ribeiro da Silva, Gisele Maria Ribeiro Vieira. Rio de Janeiro, Editora LTC. 2006.499 f.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – EPA 2003. Assessment of Risks From Radon in Homes. 99f. Washington, DC, Junho 2003.

VAN SCHMUS, W. R., BRITO NEVES, B. B., HACKSPACHER, P. C., FETTER, .A. H., KOZUCH, M.; DANTAS, E. L.; HABINSKI, M. The Borborema province: a collage of polycyclic domains in NE Brasil. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 17., 1997. *Anais...* Sociedade Brasileira de Geologia, 1997. p.115-120.

WANTY, R. B.; LAWRENCE, E. P.; GUNDERSEN, L. C. S. A theoretical model for the flux of radon from rock to groundwater. In: Gates, A. E. & Gundersen, L. C. S. Eds. Geologic controls on radon. Boulder, Colorado. 1992.

WARD, S. H. Gamma-ray spectrometry in geologic mapping and uranium exploration. *Econ. Geol.*, v.75, p. 840 – 49. 1981.

WEAVER, B. L. & TARNEY, J. Empirical approach to estimating the composition of the continental crust. Nature, 310, p. 575-577. 1984.

YOUNG, H. D. & FREEDMAN, R. A. Física IV: Ótica e Física Moderna, 12ª Ed. Tradução Cláudia Martins; revisão técnica Adir Moysés Luiz. São Paulo. Editora Pearson Education do Brasil. 2009. 420 f.

APÊNDICE A
ÍNDICES FÍSICOS

Ensaio para Determinação de Índices Físicos – Norma – NBR – 15.845/2010

Amostra: Green Galaxy
 Procedência: Marco – Ceará

Início: 17/5/2011
 Término: 20/5/2011

CP num.	PESO (g)			Densidade (kg/m ³)		Porosidade %	Abs. de água %
	Sub (A)	Sat (B)	Seco (C)	Seca	Saturada		
1	313,88	499,27	498,89	2691	2693	0,20	0,08
2	305,83	486,32	486,11	2693	2694	0,12	0,04
3	312,86	497,17	496,89	2696	2697	0,15	0,06
4	320,68	507,72	507,50	2713	2714	0,12	0,04
5	316,97	502,31	502,00	2709	2710	0,17	0,06
6	317,26	504,50	504,40	2694	2694	0,05	0,02
7	318,91	507,29	507,10	2692	2693	0,10	0,04
8	299,98	477,79	477,46	2685	2687	0,19	0,07
9	313,32	498,71	498,50	2689	2690	0,11	0,04
10	320,18	509,32	509,00	2691	2693	0,17	0,06
Valores Médios:				2695	2697	0,14	0,05
Desvio Padrão:				8	8	0,04	0,02
Coefficiente de Variação:				0,3	0,3	31,4	31,5

Ensaio para Determinação de Índices Físicos – Norma – NBR – 15.845/2010

Amostra: Juparaná Gold
 Procedência: Massapê – Ceará

Início: 13/12/2010
 Término: 16/12/2010

CP num.	PESO (g)			Densidade (kg/m ³)		Porosidade %	Abs. de água %
	Sub (A)	Sat (B)	Seco (C)	Seca	Saturada		
1	295,37	478,13	476,84	2609	2616	0,71	0,27
2	294,68	476,94	475,76	2610	2617	0,65	0,25
3	297,57	481,21	479,95	2614	2620	0,69	0,26
4	298,74	483,49	482,25	2610	2617	0,67	0,26
5	291,46	471,37	470,21	2614	2620	0,64	0,25
6	291,24	471,20	470,01	2612	2618	0,66	0,25
7	287,09	464,48	463,19	2611	2618	0,73	0,28
8	288,22	466,09	464,90	2614	2620	0,67	0,26
9	295,88	478,74	477,49	2611	2618	0,68	0,26
10	295,31	477,70	476,58	2613	2619	0,61	0,24
Valores Médios:				2612	2618	0,67	0,26
Desvio Padrão:				2	2	0,03	0,01
Coefficiente de Variação:				0,1	0,1	4,8	4,8

Ensaio para Determinação de Índices Físicos – Norma – NBR – 15.845/2010

Amostra: Verde Ceará
 Procedência: Meruoca – Ceará

Início: 6/12/2010
 Término: 9/12/2010

CP num.	PESO (g)			Densidade (kg/m ³)		Porosidade %	Abs. de água %
	Sub (A)	Sat (B)	Seco (C)	Seca	Saturada		
1	279,60	450,83	450,14	2629	2633	0,40	0,15
2	294,82	475,90	475,21	2624	2628	0,38	0,15
3	284,55	459,45	458,75	2623	2627	0,40	0,15
4	281,10	453,84	453,07	2623	2627	0,45	0,17
5	277,44	448,52	447,81	2618	2622	0,42	0,16
6	284,92	459,65	458,95	2627	2631	0,40	0,15
7	284,19	458,82	458,11	2623	2627	0,41	0,15
8	291,92	471,65	470,88	2620	2624	0,43	0,16
9	294,70	476,00	475,18	2621	2625	0,45	0,17
10	293,64	472,74	472,12	2636	2640	0,35	0,13
Valores Médios:				2624	2628	0,41	0,16
Desvio Padrão:				5	5	0,03	0,01
Coefficiente de Variação:				0,2	0,2	7,6	7,7

Ensaio para Determinação de Índices Físicos – Norma – NBR – 15.845/2010

Amostra: Verde Light Início: 30/11/2010
 Procedência: Massapê – Ceará Término: 3/12/2010

CP num.	PESO (g)			Densidade (kg/m ³)		Porosidade %	Abs. de água %
	Sub (A)	Sat (B)	Seco (C)	Seca	Saturada		
1	285,32	461,14	460,35	2618	2623	0,45	0,17
2	280,75	453,93	453,12	2616	2621	0,47	0,18
3	290,48	469,51	468,73	2618	2623	0,44	0,17
4	289,98	468,72	467,85	2617	2622	0,49	0,19
5	297,13	480,35	479,41	2617	2622	0,51	0,20
6	294,58	476,50	475,47	2614	2619	0,57	0,22
7	297,53	481,13	480,19	2615	2621	0,51	0,20
8	294,06	475,36	474,53	2617	2622	0,46	0,17
9	301,56	487,58	486,64	2616	2621	0,51	0,19
10	298,31	482,58	481,49	2613	2619	0,59	0,23
Valores Médios:				2616	2621	0,50	0,19
Desvio Padrão:				2	1	0,05	0,02
Coefficiente de Variação:				0,1	0,1	10,1	10,2

Ensaio para Determinação de Índices Físicos – Norma – NBR – 15.845/2010

Amostra: Vermelho Filomena Início: 13/12/2010
 Procedência: Alcântaras – Ceará Término: 16/12/2010

CP num.	PESO (g)			Densidade (kg/m ³)		Porosidade %	Abs. de água %
	Sub (A)	Sat (B)	Seco (C)	Seca	Saturada		
1	305,68	495,90	494,92	2602	2607	0,52	0,20
2	311,89	505,60	504,60	2605	2610	0,52	0,20
3	300,45	487,34	486,35	2602	2608	0,53	0,20
4	311,96	505,50	504,50	2607	2612	0,52	0,20
5	305,22	494,84	493,89	2605	2610	0,50	0,19
6	308,67	500,20	499,30	2607	2612	0,47	0,18
7	305,38	495,19	494,23	2604	2609	0,51	0,19
8	308,73	500,20	499,20	2607	2612	0,52	0,20
9	309,98	502,50	501,60	2605	2610	0,47	0,18
10	301,19	488,51	487,53	2603	2608	0,52	0,20
Valores Médios:				2605	2610	0,51	0,19
Desvio Padrão:				2	2	0,02	0,01
Coefficiente de Variação:				0,1	0,1	4,3	4,3

Ensaio para Determinação de Índices Físicos – Norma – NBR – 15.845/2010

Amostra: Red Dragon Início: 27/6/2011
 Procedência: Sobral – Ceará Término: 30/6/2011

CP num.	PESO (g)			Densidade (kg/m ³)		Porosidade %	Abs. de água %
	Sub (A)	Sat (B)	Seco (C)	Seca	Saturada		
1	296,25	478,83	477,80	2617	2623	0,56	0,22
2	297,81	481,26	480,10	2617	2623	0,63	0,24
3	283,71	459,03	457,47	2609	2618	0,89	0,34
4	292,70	472,17	471,25	2626	2631	0,51	0,20
5	280,56	454,96	453,56	2601	2609	0,80	0,31
6	299,01	482,81	481,52	2620	2627	0,70	0,27
7	283,18	459,48	457,84	2597	2606	0,93	0,36
8	294,66	476,80	475,26	2609	2618	0,85	0,32
9	284,09	459,98	458,43	2606	2615	0,88	0,34
10	289,72	469,82	468,13	2599	2609	0,94	0,36
Valores Médios:				2610	2618	0,77	0,30
Desvio Padrão:				9	8	0,15	0,06
Coefficiente de Variação:				0,3	0,3	19,3	19,3

Ensaio para Determinação de Índices Físicos – Norma – NBR – 15.845/2010

Amostra: Yellow Tropical Início: 17/5/2011
 Procedência: Massapê – Ceará Término: 20/5/2011

CP num.	PESO (g)			Densidade (kg/m ³)		Porosidade %	Abs. de água %
	Sub (A)	Sat (B)	Seco (C)	Seca	Saturada		
1	285,77	461,51	459,95	2617	2626	0,89	0,34
2	290,15	470,18	468,70	2603	2612	0,82	0,32
3	297,39	481,53	479,97	2607	2615	0,85	0,33
4	297,66	481,21	479,82	2614	2622	0,76	0,29
5	300,42	485,02	483,69	2620	2627	0,72	0,27
6	291,35	471,89	470,50	2606	2614	0,77	0,30
7	300,75	485,38	483,89	2621	2629	0,81	0,31
8	297,80	480,96	479,57	2618	2626	0,76	0,29
9	289,58	467,97	466,53	2615	2623	0,81	0,31
10	286,88	464,25	462,91	2610	2617	0,76	0,29
Valores Médios:				2613	2621	0,79	0,30
Desvio Padrão:				6	6	0,05	0,02
Coefficiente de Variação:				0,2	0,2	6,0	6,1

Ensaio para Determinação de Índices Físicos – Norma – NBR – 15.845/2010

Amostra: Branco Cristal Quartzó Início: 13/12/2010
 Procedência: Forquilha – Ceará Término: 16/12/2010

CP num.	PESO (g)			Densidade (kg/m ³)		Porosidade %	Abs. de água %
	Sub (A)	Sat (B)	Seco (C)	Seca	Saturada		
1	302,81	489,85	488,89	2614	2619	0,51	0,20
2	293,55	474,66	473,73	2616	2621	0,51	0,20
3	297,98	482,22	481,19	2612	2617	0,56	0,21
4	301,90	488,67	487,76	2612	2616	0,49	0,19
5	305,78	494,62	493,66	2614	2619	0,51	0,19
6	299,47	484,12	483,18	2617	2622	0,51	0,19
7	303,98	491,97	491,00	2612	2617	0,52	0,20
8	300,46	486,21	485,24	2612	2618	0,52	0,20
9	302,21	489,16	488,24	2612	2617	0,49	0,19
10	306,24	495,24	494,25	2615	2620	0,52	0,20
Valores Médios:				2613	2619	0,51	0,20
Desvio Padrão:				2	2	0,02	0,01
Coefficiente de Variação:				0,1	0,1	3,8	3,8

Ensaio para Determinação de Índices Físicos – Norma – NBR – 15.845/2010

Amostra: Rosa Iracema Início: 6/12/2010
 Procedência: Forquilha – Ceará Término: 9/12/2010

CP num.	PESO (g)			Densidade (kg/m ³)		Porosidade %	Abs. de água %
	Sub (A)	Sat (B)	Seco (C)	Seca	Saturada		
1	306,78	495,07	494,25	2625	2629	0,44	0,17
2	305,34	492,21	491,31	2629	2634	0,48	0,18
3	307,05	494,73	493,90	2632	2636	0,44	0,17
4	299,48	481,95	481,13	2637	2641	0,45	0,17
5	314,17	506,10	505,20	2632	2637	0,47	0,18
6	299,31	481,95	481,10	2634	2639	0,47	0,18
7	302,46	487,46	486,49	2630	2635	0,52	0,20
8	303,27	489,39	488,42	2624	2629	0,52	0,20
9	299,39	482,10	481,17	2634	2639	0,51	0,19
10	299,18	482,04	481,19	2631	2636	0,46	0,18
Valores Médios:				2631	2636	0,48	0,18
Desvio Padrão:				4	4	0,03	0,01
Coefficiente de Variação:				0,1	0,1	6,7	6,8

Ensaio para Determinação de Índices Físicos – Norma – NBR – 15.845/2010

Amostra: Cinza Prata
 Procedência: Cariré – Ceará

Início: 6/12/2010
 Término: 9/12/2010

CP num.	PESO (g)			Densidade (kg/m ³)		Porosidade %	Abs. de água %
	Sub (A)	Sat (B)	Seco (C)	Seca	Saturada		
1	310,91	495,25	494,61	2683	2687	0,35	0,13
2	313,53	499,70	499,00	2680	2684	0,38	0,14
3	303,79	483,32	482,68	2689	2692	0,36	0,13
4	318,56	506,30	505,70	2694	2697	0,32	0,12
5	314,40	500,20	499,50	2688	2692	0,38	0,14
6	305,10	486,09	485,40	2682	2686	0,38	0,14
7	307,18	488,44	487,68	2690	2695	0,42	0,16
8	301,68	479,40	478,63	2693	2698	0,43	0,16
9	305,05	487,32	486,60	2670	2674	0,40	0,15
10	306,76	489,21	488,45	2677	2681	0,42	0,16
Valores Médios:				2685	2688	0,38	0,14
Desvio Padrão:				8	8	0,04	0,01
Coefficiente de Variação:				0,3	0,3	9,2	9,3

Ensaio para Determinação de Índices Físicos – Norma – NBR – 15.845/2010

Amostra: Branco Ceará
 Procedência: Santa Quitéria – Ceará

Início: 30/11/2010
 Término: 3/12/2010

CP num.	PESO (g)			Densidade (kg/m ³)		Porosidade %	Abs. de água %
	Sub (A)	Sat (B)	Seco (C)	Seca	Saturada		
1	285,43	462,14	460,35	2605	2615	1,01	0,39
2	292,36	473,03	471,65	2611	2618	0,76	0,29
3	284,89	461,45	460,01	2605	2614	0,82	0,31
4	286,47	463,55	462,17	2610	2618	0,78	0,30
5	286,36	463,55	462,23	2609	2616	0,74	0,29
6	292,48	473,42	472,03	2609	2616	0,77	0,29
7	294,70	477,02	475,66	2609	2616	0,75	0,29
8	295,93	479,17	477,80	2608	2615	0,75	0,29
9	291,59	471,91	470,61	2610	2617	0,72	0,28
10	291,46	471,87	470,53	2608	2616	0,74	0,28
Valores Médios:				2608	2616	0,78	0,30
Desvio Padrão:				2	1	0,08	0,03
Coefficiente de Variação:				0,1	0,1	10,8	10,8

Ensaio para Determinação de Índices Físicos – Norma – NBR – 15.845/2010

Amostra: Branco São Paulo
 Procedência: Santa Quitéria – Ceará

Início: 30/5/2011
 Término: 2/6/2011

CP num.	PESO (g)			Densidade (kg/m ³)		Porosidade %	Abs. de água %
	Sub (A)	Sat (B)	Seco (C)	Seca	Saturada		
1	285,40	459,94	458,48	2627	2635	0,84	0,32
2	290,44	466,44	465,13	2643	2650	0,74	0,28
3	286,52	461,56	460,18	2629	2637	0,79	0,30
4	306,51	492,54	491,13	2640	2648	0,76	0,29
5	308,64	497,06	496,23	2634	2638	0,44	0,17
6	294,67	474,05	472,70	2635	2643	0,75	0,29
7	296,62	476,16	474,76	2644	2652	0,78	0,29
8	301,35	485,54	484,11	2628	2636	0,78	0,30
9	294,09	472,13	470,78	2644	2652	0,76	0,29
10	290,09	467,70	466,27	2625	2633	0,81	0,31
Valores Médios:				2635	2642	0,74	0,28
Desvio Padrão:				7	7	0,10	0,04
Coefficiente de Variação:				0,3	0,3	14,0	14,1

Ensaio para Determinação de Índices Físicos – Norma – NBR – 15.845/2010

Amostra: Infinity Gold
 Procedência: Santa Quitéria – Ceará

Início: 17/5/2011
 Término: 20/5/2011

CP num.	PESO (g)			Densidade (kg/m ³)		Porosidade %	Abs. de água %
	Sub (A)	Sat (B)	Seco (C)	Seca	Saturada		
1	245,65	428,32	416,72	2281	2345	6,35	2,78
2	256,14	439,09	430,21	2352	2400	4,85	2,06
3	258,45	445,87	436,35	2328	2379	5,08	2,18
4	243,94	423,18	413,75	2308	2361	5,26	2,28
5	248,01	424,63	416,38	2357	2404	4,67	1,98
6	254,27	437,94	427,61	2328	2384	5,62	2,42
7	260,97	450,19	441,26	2332	2379	4,72	2,02
8	236,16	413,01	399,52	2259	2335	7,63	3,38
9	250,46	436,02	423,13	2280	2350	6,95	3,05
10	246,98	427,54	417,39	2312	2368	5,62	2,43
Valores Médios:				2314	2371	5,68	2,46
Desvio Padrão:				30	22	0,95	0,44
Coefficiente de Variação:				1,3	0,9	16,7	18,1

Ensaio para Determinação de Índices Físicos – Norma – NBR – 15.845/2010

Amostra: Cinza Ouro Branco
 Procedência: Banabuiú – Ceará

Início: 30/5/2011
 Término: 2/6/2011

CP num.	PESO (g)			Densidade (kg/m ³)		Porosidade %	Abs. de água %
	Sub (A)	Sat (B)	Seco (C)	Seca	Saturada		
1	289,60	468,66	467,07	2608	2617	0,89	0,34
2	317,87	514,11	512,50	2612	2620	0,82	0,31
3	300,44	486,05	484,43	2610	2619	0,87	0,33
4	298,73	483,32	481,67	2609	2618	0,89	0,34
5	304,52	492,83	491,14	2608	2617	0,90	0,34
6	304,10	492,29	490,49	2606	2616	0,96	0,37
7	311,76	504,50	502,70	2608	2618	0,93	0,36
8	316,76	512,51	510,81	2610	2618	0,87	0,33
9	292,28	473,05	471,38	2608	2617	0,92	0,35
10	320,12	517,80	516,10	2611	2619	0,86	0,33
Valores Médios:				2609	2618	0,89	0,34
Desvio Padrão:				1	1	0,04	0,01
Coefficiente de Variação:				0,1	0,04	4,2	4,3

Ensaio para Determinação de Índices Físicos – Norma – NBR – 15.845/2010

Amostra: Bourdeaux Terracota
 Procedência: Parambu – Ceará

Início: 30/11/2010
 Término: 3/12/2010

CP num.	PESO (g)			Densidade (kg/m ³)		Porosidade %	Abs. de água %
	Sub (A)	Sat (B)	Seco (C)	Seca	Saturada		
1	299,48	485,98	483,66	2593	2606	1,24	0,48
2	284,07	461,01	458,64	2592	2605	1,34	0,52
3	281,56	456,99	454,57	2591	2605	1,38	0,53
4	287,97	466,63	464,43	2600	2612	1,23	0,47
5	289,41	468,98	466,82	2600	2612	1,20	0,46
6	280,88	455,33	453,02	2597	2610	1,32	0,51
7	282,81	458,41	456,79	2601	2611	0,92	0,35
8	300,02	486,85	484,52	2593	2606	1,25	0,48
9	287,04	466,23	463,99	2589	2602	1,25	0,48
10	277,91	450,90	448,43	2592	2607	1,43	0,55
Valores Médios:				2595	2607	1,26	0,48
Desvio Padrão:				4	3	0,14	0,05
Coefficiente de Variação:				0,2	0,1	11,0	11,1

APÊNDICE B
CICLOS DE MONITORAMENTO DO ²²²Rn

Ensaio para determinação da exalação do gás Radônio				
Nome Comercial:		Branco Ceará	Sigla: BC	
Procedência:		Santa Quitéria - Ceará		
Descrição da Amostra: Amostra com uma face polida.				
Volume da amostra:	0,00101 m ³	Hora:	16:50	
Área da superfície:	0,04996 m ²	Vácuo Inicial:	440 mmHg	
Peso da amostra:	2,5821 Kg	Vácuo no dia da leitura:	390 mmHg	
Volume do garrafão:	19 L	Vácuo ao final da leitura:	290 mmHg	
Início do Vácuo:		18/01/11	Data da leitura:	
			14/02/11	
Tempo de Medição	Temperatura	UR	Pressão	Exalação (Bq/m ³)
16:57	28°C	84%rH	942 mbar	50 ± 52
17:07	28°C	84%rH	941 mbar	148 ± 48
17:17	28°C	84%rH	941 mbar	138 ± 37
17:27	28°C	84%rH	941 mbar	102 ± 26
				Média: 129,33 ± 37,00
Σ Horas: 648,11		Desvio Padrão: 24,19 ± 11,00		
Σ Dias: 27		Exalação por Hora: 0,19 ± 0,06		
		Exalação por Dia: 4,79 ± 1,37		

Ensaio para determinação da exalação do gás Radônio				
Nome Comercial:		Branco Ceará	Sigla: BC	
Procedência:		Santa Quitéria - Ceará		
Descrição da Amostra: Amostra com uma face polida.				
Volume da amostra:	0,00101 m ³	Hora:	13:25	
Área da superfície:	0,04996 m ²	Vácuo Inicial:	450 mmHg	
Peso da amostra:	2,5821 Kg	Vácuo no dia da leitura:	430 mmHg	
Volume do garrafão:	19 L	Vácuo ao final da leitura:	310 mmHg	
Início do Vácuo:		20/06/11	Data da leitura:	
			05/07/11	
Tempo de Medição	Temperatura	UR	Pressão	Exalação (Bq/m ³)
10:25	18°C	82%rH	949 mbar	15 ± 30
10:35	18°C	81%rH	949 mbar	97 ± 52
10:45	18°C	81%rH	949 mbar	86 ± 32
10:55	18°C	81%rH	948 mbar	72 ± 24
				Média: 85,00 ± 36,00
Σ Horas: 357		Desvio Padrão: 12,53 ± 14,42		
Σ Dias: 14,87		Exalação por Hora: 0,24 ± 0,10		
		Exalação por Dia: 5,71 ± 2,42		

Ensaio para determinação da exalação do gás Radônio				
Nome Comercial:		Branco Ceará	Sigla: BC	
Procedência:		Santa Quitéria - Ceará		
Descrição da Amostra: Amostra com uma face polida.				
Volume da amostra:	0,00101 m ³	Hora:	15:00	
Área da superfície:	0,04996 m ²	Vácuo Inicial:	450 mmHg	
Peso da amostra:	2,5821 Kg	Vácuo no dia da leitura:	410 mmHg	
Volume do garrafão:	19 L	Vácuo ao final da leitura:	290 mmHg	
Início do Vácuo:		03/11/11	Data da leitura:	
			23/11/2011	
Tempo de Medição	Temperatura	UR	Pressão	Exalação (Bq/m ³)
07:50	24°C	78%rH	940 mbar	13 ± 16
08:00	24°C	78%rH	941 mbar	97 ± 51
08:10	24°C	78%rH	941 mbar	86 ± 33
08:20	24°C	78%rH	941 mbar	66 ± 24
				Média: 83,00 ± 36,00
Σ Horas: 472,84		Desvio Padrão: 15,72 ± 13,75		
Σ Dias: 19,7		Exalação por Hora: 0,17 ± 0,07		
		Exalação por Dia: 4,21 ± 1,82		

Ensaio para determinação da exalação do gás Radônio				
Nome Comercial:		Branco Ceará	Sigla: BC	
Procedência:		Santa Quitéria - Ceará		
Descrição da Amostra: Amostra com uma face polida.				
Volume da amostra:	0,00101 m ³	Hora:	10:20	
Área da superfície:	0,04996 m ²	Vácuo Inicial:	450 mmHg	
Peso da amostra:	2,5821 Kg	Vácuo no dia da leitura:	430 mmHg	
Volume do garrafão:	19 L	Vácuo ao final da leitura:	310 mmHg	
Início do Vácuo:		13/08/11	Data da leitura:	
			23/08/11	
Tempo de Medição	Temperatura	UR	Pressão	Exalação (Bq/m ³)
10:25	19°C	78%rH	949 mbar	0 ± 30
10:35	19°C	77%rH	949 mbar	55 ± 24
10:45	19°C	77%rH	949 mbar	80 ± 23
10:55	20°C	76%rH	949 mbar	64 ± 17
				Média: 66,33 ± 21,33
Σ Horas: 239,92		Desvio Padrão: 12,66 ± 3,79		
Σ Dias: 9,99		Exalação por Hora: 0,27 ± 0,09		
		Exalação por Dia: 6,64 ± 2,13		

Ensaio para determinação da exalação do gás Radônio				
Nome Comercial: Branco Ceará		Sigla: BC		
Procedência: Santa Quitéria - Ceará				
Descrição da Amostra: Amostra com uma face polida.				
Volume da amostra:	0,00101 m ³	Hora:	12:25	
Área da superfície:	0,04996 m ²	Vácuo Inicial:	450 mmHg	
Peso da amostra:	2,5821 Kg	Vácuo no dia da leitura:	430 mmHg	
Volume do garrafão:	19 L	Vácuo ao final da leitura:	315 mmHg	
Início do Vácuo: 24/11/2011		Data da leitura: 29/11/2011		
Tempo de Medição	Temperatura	UR	Pressão	Exalação (Bq/m ³)
08:05	24°C	81%rH	942 mbar	21 ± 30
08:15	24°C	80%rH	942 mbar	59 ± 27
08:25	25°C	80%rH	942 mbar	63 ± 21
08:35	25°C	79%rH	942 mbar	47 ± 15
				Média: 56,33 ± 21,00
Σ Horas: 115,67		Desvio Padrão: 8,33 ± 6,00		
Σ Dias: 4,81		Exalação por Hora: 0,49 ± 0,18		
				Exalação por Dia: 11,71 ± 4,36

Ensaio para determinação da exalação do gás Radônio				
Nome Comercial: Branco Cristal Quartzo		Sigla: BCQ		
Procedência: Forquilha - Ceará				
Descrição da Amostra: Amostra com uma face polida.				
Volume da amostra:	0,00088 m ³	Hora:	15:20	
Área da superfície:	0,05072 m ²	Vácuo Inicial:	450 mmHg	
Peso da amostra:	2,2566 Kg	Vácuo no dia da leitura:	410 mmHg	
Volume do garrafão:	19 L	Vácuo ao final da leitura:	300 mmHg	
Início do Vácuo: 03/11/11		Data da leitura: 23/11/11		
Tempo de Medição	Temperatura	UR	Pressão	Exalação (Bq/m ³)
16:00	26°C	69%rH	940 mbar	0 ± 30
16:10	26°C	69%rH	940 mbar	593 ± 101
16:20	27°C	69%rH	940 mbar	492 ± 72
16:30	27°C	69%rH	940 mbar	359 ± 52
				Média: 481,33 ± 75,00
Σ Horas: 480,66		Desvio Padrão: 117,36 ± 24,64		
Σ Dias: 20,02		Exalação por Hora: 1,00 ± 0,15		
				Exalação por Dia: 24,04 ± 3,75

Ensaio para determinação da exalação do gás Radônio				
Nome Comercial: Branco Cristal Quartzo		Sigla: BCQ		
Procedência: Forquilha - Ceará				
Descrição da Amostra: Amostra com uma face polida.				
Volume da amostra:	0,00088 m ³	Hora:	16:40	
Área da superfície:	0,05072 m ²	Vácuo Inicial:	440 mmHg	
Peso da amostra:	2,2566 Kg	Vácuo no dia da leitura:	395 mmHg	
Volume do garrafão:	19 L	Vácuo ao final da leitura:	300 mmHg	
Início do Vácuo: 18/01/11		Data da leitura: 14/02/11		
Tempo de Medição	Temperatura	UR	Pressão	Exalação (Bq/m ³)
14:27	27°C	85%rH	942 mbar	17 ± 34
14:37	27°C	83%rH	942 mbar	652 ± 106
14:47	28°C	81%rH	942 mbar	805 ± 96
14:57	28°C	80%rH	942 mbar	689 ± 78
				Média: 715,33 ± 93,33
Σ Horas: 645,79		Desvio Padrão: 79,83 ± 14,19		
Σ Dias: 26,9		Exalação por Hora: 1,10 ± 0,14		
				Exalação por Dia: 26,59 ± 3,47

Ensaio para determinação da exalação do gás Radônio				
Nome Comercial: Branco Cristal Quartzo		Sigla: BCQ		
Procedência: Forquilha - Ceará				
Descrição da Amostra: Amostra com uma face polida.				
Volume da amostra:	0,00088 m ³	Hora:	13:35	
Área da superfície:	0,05072 m ²	Vácuo Inicial:	450 mmHg	
Peso da amostra:	2,2566 Kg	Vácuo no dia da leitura:	430 mmHg	
Volume do garrafão:	19 L	Vácuo ao final da leitura:	320 mmHg	
Início do Vácuo: 20/06/11		Data da leitura: 05/07/11		
Tempo de Medição	Temperatura	UR	Pressão	Exalação (Bq/m ³)
12:22	19°C	78%rH	947 mbar	7 ± 15
12:32	20°C	77%rH	947 mbar	500 ± 88
12:42	20°C	78%rH	947 mbar	501 ± 73
12:52	20°C	78%rH	947 mbar	385 ± 55
				Média: 462,00 ± 72,00
Σ Horas: 358,79		Desvio Padrão: 66,69 ± 16,52		
Σ Dias: 14,95		Exalação por Hora: 1,28 ± 0,20		
				Exalação por Dia: 30,90 ± 4,81

Ensaio para determinação da exalação do gás Radônio				
Nome Comercial: Branco Cristal Quartzo		Sigla: BCQ		
Procedência: Forquilha - Ceará				
Descrição da Amostra: Amostra com uma face polida.				
Volume da amostra:	0,00088 m ³	Hora:	11:05	
Área da superfície:	0,05072 m ²	Vácuo Inicial:	450 mmHg	
Peso da amostra:	2,2566 Kg	Vácuo no dia da leitura:	425 mmHg	
Volume do garrafão:	19 L	Vácuo ao final da leitura:	280 mmHg	
Início do Vácuo: 15/03/12		Data da leitura: 26/03/12		
Tempo de Medição	Temperatura	UR	Pressão	Exalação (Bq/m ³)
08:40	24°C	85%rH	945 mbar	20 ± 30
08:50	24°C	86%rH	945 mbar	699 ± 110
09:00	25°C	86%rH	946 mbar	620 ± 84
09:10	25°C	86%rH	946 mbar	457 ± 62
				Média: 592,00 ± 85,33
Σ Horas: 261,59				Desvio Padrão: 123,41 ± 24,03
Σ Dias: 10,89				Exalação por Hora: 2,26 ± 0,32
				Exalação por Dia: 54,36 ± 7,83

Ensaio para determinação da exalação do gás Radônio				
Nome Comercial: Branco São Paulo		Sigla: BSP		
Procedência: Santa Quitéria - Ceará				
Descrição da Amostra: Amostra com uma face polida.				
Volume da amostra:	0,00104 m ³	Hora:	15:20	
Área da superfície:	0,04872 m ²	Vácuo Inicial:	410 mmHg	
Peso da amostra:	2,7227 Kg	Vácuo no dia da leitura:	420 mmHg	
Volume do garrafão:	19 L	Vácuo ao final da leitura:	300 mmHg	
Início do Vácuo: 09/02/12		Data da leitura: 05/03/12		
Tempo de Medição	Temperatura	UR	Pressão	Exalação
10:08	27°C	78%rH	947 mbar	0 ± 30
10:18	27°C	78%rH	947 mbar	245 ± 59
10:28	27°C	77%rH	947 mbar	194 ± 42
10:38	27°C	76%rH	947 mbar	159 ± 32
				Média: 199,33 ± 44,33
Σ Horas: 594,8				Desvio Padrão: 34,08 ± 5,69
Σ Dias: 24,78				Exalação por Hora: 0,33 ± 0,07
				Exalação por Dia: 8,04 ± 1,78

Ensaio para determinação da exalação do gás Radônio				
Nome Comercial: Branco Cristal Quartzo		Sigla: BCQ		
Procedência: Forquilha - Ceará				
Descrição da Amostra: Amostra com uma face polida.				
Volume da amostra:	0,00088 m ³	Hora:	12:45	
Área da superfície:	0,05072 m ²	Vácuo Inicial:	450 mmHg	
Peso da amostra:	2,2566 Kg	Vácuo no dia da leitura:	435 mmHg	
Volume do garrafão:	19 L	Vácuo ao final da leitura:	310 mmHg	
Início do Vácuo: 24/11/11		Data da leitura: 29/11/11		
Tempo de Medição	Temperatura	UR	Pressão	Exalação (Bq/m ³)
15:10	28°C	71%rH	940 mbar	15 ± 30
15:20	28°C	72%rH	939 mbar	383 ± 78
15:30	28°C	71%rH	939 mbar	344 ± 58
15:40	28°C	71%rH	939 mbar	261 ± 43
				Média: 329,33 ± 59,67
Σ Horas: 122,41				Desvio Padrão: 62,31 ± 17,56
Σ Dias: 5,10				Exalação por Hora: 2,70 ± 0,48
				Exalação por Dia: 64,57 ± 11,70

Ensaio para determinação da exalação do gás Radônio				
Nome Comercial: Branco São Paulo		Sigla: BSP		
Procedência: Santa Quitéria - Ceará				
Descrição da Amostra: Amostra com uma face polida.				
Volume da amostra:	0,00104 m ³	Hora:	10:50	
Área da superfície:	0,04872 m ²	Vácuo Inicial:	450 mmHg	
Peso da amostra:	2,7227 Kg	Vácuo no dia da leitura:	415 mmHg	
Volume do garrafão:	19 L	Vácuo ao final da leitura:	290 mmHg	
Início do Vácuo: 14/09/11		Data da leitura: 04/10/11		
Tempo de Medição	Temperatura	UR	Pressão	Exalação
13:00	26°C	58%rH	946 mbar	23 ± 30
13:10	26°C	57%rH	946 mbar	120 ± 40
13:20	26°C	57%rH	945 mbar	104 ± 28
13:30	26°C	56%rH	945 mbar	84 ± 21
				Média: 102,67 ± 29,67
Σ Horas: 482,16				Desvio Padrão: 18,04 ± 9,61
Σ Dias: 20,09				Exalação por Hora: 0,21 ± 0,06
				Exalação por Dia: 5,11 ± 1,48

Ensaio para determinação da exalação do gás Radônio				
Nome Comercial: Branco São Paulo		Sigla: BSP		
Procedência: Santa Quitéria - Ceará				
Descrição da Amostra: Amostra com uma face polida.				
Volume da amostra:	0,00104 m ³	Hora:	10:15	
Área da superfície:	0,04872 m ²	Vácuo Inicial:	450 mmHg	
Peso da amostra:	2,7227 Kg	Vácuo no dia da leitura:	425 mmHg	
Volume do garrafão:	19 L	Vácuo ao final da leitura:	320 mmHg	
Início do Vácuo: 11/07/11		Data da leitura: 26/07/11		
Tempo de Medição	Temperatura	UR	Pressão	Exalação
13:53	23°C	71%rH	950 mbar	0 ± 30
14:03	23°C	71%rH	950 mbar	173 ± 51
14:13	23°C	71%rH	949 mbar	170 ± 42
14:23	23°C	70%rH	949 mbar	135 ± 31
		Média: 159,33 ± 41,33		
Σ Horas: 363,63			Desvio Padrão: 21,13 ± 10,02	
Σ Dias: 15,15			Exalação por Hora: 0,44 ± 0,11	
		Exalação por Dia: 10,51 ± 2,73		

Ensaio para determinação da exalação do gás Radônio				
Nome Comercial: Branco São Paulo		Sigla: BSP		
Procedência: Santa Quitéria - Ceará				
Descrição da Amostra: Amostra com uma face polida.				
Volume da amostra:	0,00104 m ³	Hora:	10:30	
Área da superfície:	0,04872 m ²	Vácuo Inicial:	450 mmHg	
Peso da amostra:	2,7227 Kg	Vácuo no dia da leitura:	435 mmHg	
Volume do garrafão:	19 L	Vácuo ao final da leitura:	320 mmHg	
Início do Vácuo: 27/08/11		Data da leitura: 06/09/11		
Tempo de Medição	Temperatura	UR	Pressão	Exalação
12:30	24°C	58%rH	946 mbar	0 ± 30
12:40	24°C	58%rH	946 mbar	141 ± 43
12:50	24°C	58%rH	945 mbar	150 ± 34
13:00	24°C	58%rH	945 mbar	128 ± 27
		Média: 139,67 ± 34,67		
Σ Horas: 242			Desvio Padrão: 11,06 ± 8,02	
Σ Dias: 10,08			Exalação por Hora: 0,57 ± 0,14	
		Exalação por Dia: 13,85 ± 3,44		

Ensaio para determinação da exalação do gás Radônio				
Nome Comercial: Branco São Paulo		Sigla: BSP		
Procedência: Santa Quitéria - Ceará				
Descrição da Amostra: Amostra com uma face polida.				
Volume da amostra:	0,00104 m ³	Hora:	11:05	
Área da superfície:	0,04872 m ²	Vácuo Inicial:	450 mmHg	
Peso da amostra:	2,7227 Kg	Vácuo no dia da leitura:	445 mmHg	
Volume do garrafão:	19 L	Vácuo ao final da leitura:	335 mmHg	
Início do Vácuo: 08/09/11		Data da leitura: 13/09/11		
Tempo de Medição	Temperatura	UR	Pressão	Exalação
10:45	24°C	70%rH	948 mbar	0 ± 30
10:55	24°C	70%rH	948 mbar	114 ± 39
11:05	24°C	70%rH	948 mbar	108 ± 29
11:15	24°C	70%rH	948 mbar	85 ± 21
		Média: 102,33 ± 29,67		
Σ Horas: 119,67			Desvio Padrão: 15,31 ± 9,02	
Σ Dias: 4,99			Exalação por Hora: 0,85 ± 0,25	
		Exalação por Dia: 20,5 ± 5,94		

Ensaio para determinação da exalação do gás Radônio				
Nome Comercial: Cinza Prata		Sigla: CP		
Procedência: Cariré - Ceará				
Descrição da Amostra: Amostra com uma face polida.				
Volume da amostra:	0,00103 m ³	Hora:	10:42	
Área da superfície:	0,05133 m ²	Vácuo Inicial:	450 mmHg	
Peso da amostra:	2,6862 Kg	Vácuo no dia da leitura:	430 mmHg	
Volume do garrafão:	19 L	Vácuo ao final da leitura:	320 mmHg	
Início do Vácuo: 06/05/11		Data da leitura: 31/05/11		
Tempo de Medição	Temperatura	UR	Pressão	Exalação (Bq/m ³)
11:08	18°C	80%rH	948 mbar	9 ± 30
11:18	18°C	79%rH	948 mbar	79 ± 45
11:28	18°C	79%rH	948 mbar	76 ± 26
11:38	19°C	78%rH	948 mbar	62 ± 21
		Média: 72,33 ± 30,67		
Σ Horas: 600,43			Desvio Padrão: 9,07 ± 12,66	
Σ Dias: 25,01			Exalação por Hora: 0,12 ± 0,05	
		Exalação por Dia: 2,89 ± 1,22		

Ensaio para determinação da exalação do gás Radônio				
Nome Comercial: Cinza Prata		Sigla: CP		
Procedência: Cariré - Ceará				
Descrição da Amostra: Amostra com uma face polida.				
Volume da amostra:	0,00103 m ³	Hora:	14:20	
Área da superfície:	0,05133 m ²	Vácuo Inicial:	450 mmHg	
Peso da amostra:	2,6862 Kg	Vácuo no dia da leitura:	400 mmHg	
Volume do garrafão:	19 L	Vácuo ao final da leitura:	290 mmHg	
Início do Vácuo: 14/02/12		Data da leitura: 05/03/12		
Tempo de Medição	Temperatura	UR	Pressão	Exalação (Bq/m ³)
12:41	28°C	71%rH	946 mbar	40 ± 36
12:51	28°C	70%rH	945 mbar	132 ± 43
13:01	28°C	71%rH	945 mbar	139 ± 34
13:11	28°C	71%rH	945 mbar	101 ± 24
				Média: 124,00 ± 33,67
∑ Horas: 478,35				Desvio Padrão: 20,22 ± 9,50
∑ Dias: 19,93				Exalação por Hora: 0,25 ± 0,07
				Exalação por Dia: 6,22 ± 1,68

Ensaio para determinação da exalação do gás Radônio				
Nome Comercial: Cinza Prata		Sigla: CP		
Procedência: Cariré - Ceará				
Descrição da Amostra: Amostra com uma face polida.				
Volume da amostra:	0,00103 m ³	Hora:	10:35	
Área da superfície:	0,05133 m ²	Vácuo Inicial:	450 mmHg	
Peso da amostra:	2,6862 Kg	Vácuo no dia da leitura:	430 mmHg	
Volume do garrafão:	19 L	Vácuo ao final da leitura:	310 mmHg	
Início do Vácuo: 27/08/11		Data da leitura: 06/09/11		
Tempo de Medição	Temperatura	UR	Pressão	Exalação (Bq/m ³)
14:30	25°C	54%rH	944 mbar	17 ± 18
14:40	25°C	53%rH	943 mbar	50 ± 22
14:50	25°C	53%rH	943 mbar	59 ± 19
15:00	25°C	53%rH	943 mbar	53 ± 16
				Média: 54,00 ± 19,00
∑ Horas: 243,91				Desvio Padrão: 4,58 ± 3,00
∑ Dias: 10,16				Exalação por Hora: 0,22 ± 0,07
				Exalação por Dia: 5,31 ± 1,87

Ensaio para determinação da exalação do gás Radônio				
Nome Comercial: Cinza Prata		Sigla: CP		
Procedência: Cariré - Ceará				
Descrição da Amostra: Amostra com uma face polida.				
Volume da amostra:	0,00103 m ³	Hora:	10:20	
Área da superfície:	0,05133 m ²	Vácuo Inicial:	450 mmHg	
Peso da amostra:	2,6862 Kg	Vácuo no dia da leitura:	420 mmHg	
Volume do garrafão:	19 L	Vácuo ao final da leitura:	310 mmHg	
Início do Vácuo: 11/07/11		Data da leitura: 26/07/11		
Tempo de Medição	Temperatura	UR	Pressão	Exalação (Bq/m ³)
15:33	24°C	66%rH	949 mbar	48 ± 45
15:43	24°C	66%rH	949 mbar	90 ± 35
15:53	24°C	66%rH	949 mbar	74 ± 24
16:03	24°C	66%rH	949 mbar	60 ± 18
				Média: 74,67 ± 25,67
∑ Horas: 365,21				Desvio Padrão: 15,01 ± 8,62
∑ Dias: 15,21				Exalação por Hora: 0,20 ± 0,07
				Exalação por Dia: 4,90 ± 1,68

Ensaio para determinação da exalação do gás Radônio				
Nome Comercial: Cinza Prata		Sigla: CP		
Procedência: Cariré - Ceará				
Descrição da Amostra: Amostra com uma face polida.				
Volume da amostra:	0,00103 m ³	Hora:	11:10	
Área da superfície:	0,05133 m ²	Vácuo Inicial:	450 mmHg	
Peso da amostra:	2,6862 Kg	Vácuo no dia da leitura:	445 mmHg	
Volume do garrafão:	19 L	Vácuo ao final da leitura:	325 mmHg	
Início do Vácuo: 08/09/11		Data da leitura: 13/09/11		
Tempo de Medição	Temperatura	UR	Pressão	Exalação (Bq/m ³)
13:00	25°C	70%rH	946 mbar	0 ± 30
13:10	25°C	70%rH	946 mbar	56 ± 26
13:20	25°C	70%rH	946 mbar	62 ± 21
13:30	25°C	69%rH	945 mbar	45 ± 18
				Média: 54,33 ± 21,67
∑ Horas: 121,83				Desvio Padrão: 8,62 ± 4,04
∑ Dias: 5,07				Exalação por Hora: 0,44 ± 0,17
				Exalação por Dia: 10,71 ± 4,27

Ensaio para determinação da exalação do gás Radônio				
Nome Comercial:		Cinza Ouro Branco	Sigla: COB	
Procedência:		Banabuiú - Ceará		
Descrição da Amostra: Amostra com uma face polida.				
Volume da amostra:	0,00073 m ³		Hora:	10:40
Área da superfície:	0,04781 m ²		Vácuo Inicial:	450 mmHg
Peso da amostra:	1,9496 Kg		Vácuo no dia da leitura:	415 mmHg
Volume do garrafão:	19 L		Vácuo ao final da leitura:	320 mmHg
Início do Vácuo:		06/05/11	Data da leitura:	
			31/05/11	
Tempo de Medição	Temperatura	UR	Pressão	Exalação (Bq/m ³)
10:16	17°C	84%rH	949 mbar	20 ± 30
10:26	17°C	83%rH	949 mbar	45 ± 24
10:36	18°C	82%rH	949 mbar	40 ± 16
10:46	18°C	81%rH	949 mbar	34 ± 12
				Média: 39,67 ± 17,33
Σ Horas:	599,60	Desvio Padrão:		5,51 ± 6,11
Σ Dias:	24,98	Exalação por Hora:		0,06 ± 0,03
				Exalação por Dia: 1,58 ± 0,69

Ensaio para determinação da exalação do gás Radônio				
Nome Comercial:		Cinza Ouro Branco	Sigla: COB	
Procedência:		Banabuiú - Ceará		
Descrição da Amostra: Amostra com uma face polida.				
Volume da amostra:	0,00073 m ³		Hora:	10:10
Área da superfície:	0,04781 m ²		Vácuo Inicial:	450 mmHg
Peso da amostra:	1,9496 Kg		Vácuo no dia da leitura:	425 mmHg
Volume do garrafão:	19 L		Vácuo ao final da leitura:	315 mmHg
Início do Vácuo:		11/07/11	Data da leitura:	
			26/07/11	
Tempo de Medição	Temperatura	UR	Pressão	Exalação (Bq/m ³)
11:15	21°C	76%rH	952 mbar	32 ± 37
11:25	22°C	76%rH	952 mbar	46 ± 22
11:35	22°C	75%rH	952 mbar	40 ± 17
11:45	22°C	74%rH	952 mbar	35 ± 12
				Média: 40,33 ± 17,00
Σ Horas:	361,08	Desvio Padrão:		5,51 ± 5,00
Σ Dias:	15,04	Exalação por Hora:		0,11 ± 0,04
				Exalação por Dia: 2,68 ± 1,13

Ensaio para determinação da exalação do gás Radônio				
Nome Comercial:		Cinza Ouro Branco	Sigla: COB	
Procedência:		Banabuiú - Ceará		
Descrição da Amostra: Amostra com uma face polida.				
Volume da amostra:	0,00073 m ³		Hora:	10:40
Área da superfície:	0,04781 m ²		Vácuo Inicial:	450 mmHg
Peso da amostra:	1,9496 Kg		Vácuo no dia da leitura:	410 mmHg
Volume do garrafão:	19 L		Vácuo ao final da leitura:	300 mmHg
Início do Vácuo:		14/09/11	Data da leitura:	
			04/10/11	
Tempo de Medição	Temperatura	UR	Pressão	Exalação (Bq/m ³)
09:20	25°C	61%rH	949 mbar	0 ± 30
09:30	25°C	61%rH	949 mbar	72 ± 29
09:40	25°C	60%rH	948 mbar	50 ± 17
09:50	25°C	59%rH	948 mbar	40 ± 13
				Média: 54,00 ± 19,67
Σ Horas:	478,67	Desvio Padrão:		16,37 ± 8,33
Σ Dias:	19,95	Exalação por Hora:		0,11 ± 0,04
				Exalação por Dia: 2,70 ± 0,98

Ensaio para determinação da exalação do gás Radônio				
Nome Comercial:		Cinza Ouro Branco	Sigla: COB	
Procedência:		Banabuiú - Ceará		
Descrição da Amostra: Amostra com uma face polida.				
Volume da amostra:	0,00073 m ³		Hora:	10:25
Área da superfície:	0,04781 m ²		Vácuo Inicial:	450 mmHg
Peso da amostra:	1,9496 Kg		Vácuo no dia da leitura:	430 mmHg
Volume do garrafão:	19 L		Vácuo ao final da leitura:	315 mmHg
Início do Vácuo:		27/08/11	Data da leitura:	
			06/09/11	
Tempo de Medição	Temperatura	UR	Pressão	Exalação (Bq/m ³)
11:10	23°C	63%rH	947 mbar	10 ± 30
11:20	23°C	62%rH	947 mbar	44 ± 23
11:30	23°C	61%rH	947 mbar	44 ± 16
11:40	23°C	61%rH	947 mbar	36 ± 12
				Média: 41,33 ± 17,00
Σ Horas:	240,75	Desvio Padrão:		4,62 ± 5,57
Σ Dias:	10,03	Exalação por Hora:		0,17 ± 0,07
				Exalação por Dia: 4,12 ± 1,69

Ensaio para determinação da exalação do gás Radônio				
Nome Comercial: Cinza Ouro Branco		Sigla: COB		
Procedência: Banabuiú - Ceará				
Descrição da Amostra: Amostra com uma face polida.				
Volume da amostra:	0,00073 m ³	Hora:	11:00	
Área da superfície:	0,04781 m ²	Vácuo Inicial:	450 mmHg	
Peso da amostra:	1,9496 Kg	Vácuo no dia da leitura:	445 mmHg	
Volume do garrafão:	19 L	Vácuo ao final da leitura:	330 mmHg	
Início do Vácuo: 08/09/11		Data da leitura: 13/09/11		
Tempo de Medição	Temperatura	UR	Pressão	Exalação (Bq/m ³)
09:45	23°C	72%rH	949 mbar	15 ± 30
09:55	23°C	72%rH	949 mbar	66 ± 28
10:05	23°C	71%rH	949 mbar	49 ± 18
10:15	23°C	71%rH	949 mbar	38 ± 13
		Média: 51,00 ± 19,67		
Σ Horas: 118,75			Desvio Padrão: 14,11 ± 7,64	
Σ Dias: 4,95			Exalação por Hora: 0,43 ± 0,16	
		Exalação por Dia: 10,30 ± 3,97		

Ensaio para determinação da exalação do gás Radônio				
Nome Comercial: Verde Light		Sigla: VL		
Procedência: Massapê - Ceará				
Descrição da Amostra: Amostra com uma face polida.				
Volume da amostra:	0,00097 m ³	Hora:	16:35	
Área da superfície:	0,04931 m ²	Vácuo Inicial:	450 mmHg	
Peso da amostra:	2,5514 Kg	Vácuo no dia da leitura:	420 mmHg	
Volume do garrafão:	19 L	Vácuo ao final da leitura:	310 mmHg	
Início do Vácuo: 06/10/11		Data da leitura: 26/10/11		
Tempo de Medição	Temperatura	UR	Pressão	Exalação (Bq/m ³)
11:20	25°C	80%rH	943 mbar	53 ± 40
11:30	25°C	79%rH	943 mbar	173 ± 55
11:40	25°C	79%rH	942 mbar	141 ± 37
11:50	25°C	79%rH	943 mbar	106 ± 27
		Média: 140,00 ± 39,67		
Σ Horas: 474,75			Desvio Padrão: 33,51 ± 14,19	
Σ Dias: 19,78			Exalação por Hora: 0,29 ± 0,08	
		Exalação por Dia: 7,07 ± 2,00		

Ensaio para determinação da exalação do gás Radônio				
Nome Comercial: Verde Light		Sigla: VL		
Procedência: Massapê - Ceará				
Descrição da Amostra: Amostra com uma face polida.				
Volume da amostra:	0,00097 m ³	Hora:	11:10	
Área da superfície:	0,04931 m ²	Vácuo Inicial:	440 mmHg	
Peso da amostra:	2,5514 Kg	Vácuo no dia da leitura:	410 mmHg	
Volume do garrafão:	19 L	Vácuo ao final da leitura:	300 mmHg	
Início do Vácuo: 15/02/11		Data da leitura: 10/03/11		
Tempo de Medição	Temperatura	UR	Pressão	Exalação (Bq/m ³)
10:40	25°C	87%rH	943 mbar	19 ± 30
10:50	25°C	86%rH	942 mbar	99 ± 39
11:00	25°C	86%rH	942 mbar	102 ± 31
11:10	25°C	85%rH	942 mbar	81 ± 23
		Média: 94,00 ± 31,00		
Σ Horas: 551,5			Desvio Padrão: 11,36 ± 8,00	
Σ Dias: 22,97			Exalação por Hora: 0,17 ± 0,05	
		Exalação por Dia: 4,09 ± 1,35		

Ensaio para determinação da exalação do gás Radônio				
Nome Comercial: Verde Light		Sigla: VL		
Procedência: Massapê - Ceará				
Descrição da Amostra: Amostra com uma face polida.				
Volume da amostra:	0,00097 m ³	Hora:	15:35	
Área da superfície:	0,04931 m ²	Vácuo Inicial:	450 mmHg	
Peso da amostra:	2,5514 Kg	Vácuo no dia da leitura:	430 mmHg	
Volume do garrafão:	19 L	Vácuo ao final da leitura:	325 mmHg	
Início do Vácuo: 01/06/11		Data da leitura: 16/06/11		
Tempo de Medição	Temperatura	UR	Pressão	Exalação (Bq/m ³)
10:30	17°C	85%rH	951 mbar	31 ± 36
10:40	17°C	84%rH	951 mbar	92 ± 34
10:50	18°C	83%rH	951 mbar	78 ± 24
11:00	18°C	83%rH	951 mbar	62 ± 17
		Média: 77,33 ± 25,00		
Σ Horas: 354,92			Desvio Padrão: 15,01 ± 8,54	
Σ Dias: 14,78			Exalação por Hora: 0,21 ± 0,07	
		Exalação por Dia: 5,23 ± 1,69		

Ensaio para determinação da exalação do gás Radônio				
Nome Comercial: Verde Light		Sigla: VL		
Procedência: Massapê - Ceará				
Descrição da Amostra: Amostra com uma face polida.				
Volume da amostra:	0,00097 m ³	Hora:	11:13	
Área da superfície:	0,04931 m ²	Vácuo Inicial:	450 mmHg	
Peso da amostra:	2,5514 Kg	Vácuo no dia da leitura:	415 mmHg	
Volume do garrafão:	19 L	Vácuo ao final da leitura:	315 mmHg	
Início do Vácuo: 15/03/12		Data da leitura: 26/03/12		
Tempo de Medição	Temperatura	UR	Pressão	Exalação (Bq/m ³)
12:40	28°C	78%rH	943 mbar	0 ± 30
12:50	28°C	78%rH	943 mbar	101 ± 34
13:00	28°C	78%rH	943 mbar	82 ± 23
13:10	28°C	77%rH	943 mbar	65 ± 18
				Média: 82,67 ± 25,00
∑ Horas: 265,45				Desvio Padrão: 18,01 ± 8,19
∑ Dias: 11,06				Exalação por Hora: 0,31 ± 0,09
				Exalação por Dia: 7,47 ± 2,26

Ensaio para determinação da exalação do gás Radônio				
Nome Comercial: Verde Ceará		Sigla: VC		
Procedência: Meruoca - Ceará				
Descrição da Amostra: Amostra com uma face polida.				
Volume da amostra:	0,00089 m ³	Hora:	11:35	
Área da superfície:	0,05035 m ²	Vácuo Inicial:	440 mmHg	
Peso da amostra:	2,2896 Kg	Vácuo no dia da leitura:	400 mmHg	
Volume do garrafão:	19 L	Vácuo ao final da leitura:	300 mmHg	
Início do Vácuo: 15/02/11		Data da leitura: 10/03/11		
Tempo de Medição	Temperatura	UR	Pressão	Exalação (Bq/m ³)
15:15	25°C	87%rH	939 mbar	0 ± 30
15:25	25°C	87%rH	939 mbar	65 ± 29
15:35	25°C	86%rH	938 mbar	52 ± 19
15:45	25°C	86%rH	938 mbar	41 ± 14
				Média: 52,67 ± 20,67
∑ Horas: 555,66				Desvio Padrão: 12,01 ± 7,64
∑ Dias: 23,15				Exalação por Hora: 0,09 ± 0,03
				Exalação por Dia: 2,27 ± 0,89

Ensaio para determinação da exalação do gás Radônio				
Nome Comercial: Verde Light		Sigla: VL		
Procedência: Massapê - Ceará				
Descrição da Amostra: Amostra com uma face polida.				
Volume da amostra:	0,00097 m ³	Hora:	10:35	
Área da superfície:	0,04931 m ²	Vácuo Inicial:	450 mmHg	
Peso da amostra:	2,5514 Kg	Vácuo no dia da leitura:	450 mmHg	
Volume do garrafão:	19 L	Vácuo ao final da leitura:	330 mmHg	
Início do Vácuo: 27/10/11		Data da leitura: 01/11/11		
Tempo de Medição	Temperatura	UR	Pressão	Exalação (Bq/m ³)
10:40	22°C	58%rH	949 mbar	0 ± 30
10:50	22°C	59%rH	949 mbar	69 ± 27
11:00	22°C	58%rH	949 mbar	84 ± 24
11:10	23°C	58%rH	949 mbar	63 ± 17
				Média: 72,00 ± 22,67
∑ Horas: 120,08				Desvio Padrão: 10,82 ± 5,13
∑ Dias: 5				Exalação por Hora: 0,60 ± 0,19
				Exalação por Dia: 14,40 ± 4,53

Ensaio para determinação da exalação do gás Radônio				
Nome Comercial: Verde Ceará		Sigla: VC		
Procedência: Meruoca - Ceará				
Descrição da Amostra: Amostra com uma face polida.				
Volume da amostra:	0,00089 m ³	Hora:	16:30	
Área da superfície:	0,05035 m ²	Vácuo Inicial:	450 mmHg	
Peso da amostra:	2,2896 Kg	Vácuo no dia da leitura:	415 mmHg	
Volume do garrafão:	19 L	Vácuo ao final da leitura:	300 mmHg	
Início do Vácuo: 06/10/11		Data da leitura: 26/10/11		
Tempo de Medição	Temperatura	UR	Pressão	Exalação (Bq/m ³)
10:20	25°C	79%rH	943 mbar	0 ± 30
10:30	25°C	79%rH	943 mbar	79 ± 29
10:40	25°C	79%rH	943 mbar	72 ± 22
10:50	25°C	79%rH	943 mbar	63 ± 17
				Média: 71,33 ± 22,67
∑ Horas: 473,84				Desvio Padrão: 8,02 ± 6,03
∑ Dias: 19,74				Exalação por Hora: 0,15 ± 0,04
				Exalação por Dia: 3,61 ± 1,15

Ensaio para determinação da exalação do gás Radônio				
Nome Comercial: Verde Ceará		Sigla: VC		
Procedência: Meruoca - Ceará				
Descrição da Amostra: Amostra com uma face polida.				
Volume da amostra:	0,00089 m ³	Hora:	15:50	
Área da superfície:	0,05035 m ²	Vácuo Inicial:	450 mmHg	
Peso da amostra:	2,2896 Kg	Vácuo no dia da leitura:	430 mmHg	
Volume do garrafão:	19 L	Vácuo ao final da leitura:	310 mmHg	
Início do Vácuo: 01/06/11		Data da leitura: 16/06/11		
Tempo de Medição	Temperatura	UR	Pressão	Exalação (Bq/m ³)
14:13	20°C	74%rH	948 mbar	15 ± 30
14:23	20°C	73%rH	948 mbar	60 ± 26
14:33	20°C	73%rH	948 mbar	68 ± 21
14:43	20°C	73%rH	948 mbar	60 ± 17
				Média: 62,67 ± 21,33
Σ Horas: 358,39				Desvio Padrão: 4,62 ± 4,51
Σ Dias: 14,93				Exalação por Hora: 0,17 ± 0,06
				Exalação por Dia: 4,19 ± 1,42

Ensaio para determinação da exalação do gás Radônio				
Nome Comercial: Verde Ceará		Sigla: VC		
Procedência: Meruoca - Ceará				
Descrição da Amostra: Amostra com uma face polida.				
Volume da amostra:	0,00089 m ³	Hora:	10:30	
Área da superfície:	0,05035 m ²	Vácuo Inicial:	450 mmHg	
Peso da amostra:	2,2896 Kg	Vácuo no dia da leitura:	445 mmHg	
Volume do garrafão:	19 L	Vácuo ao final da leitura:	320 mmHg	
Início do Vácuo: 27/10/11		Data da leitura: 01/11/11		
Tempo de Medição	Temperatura	UR	Pressão	Exalação (Bq/m ³)
09:25	22°C	62%rH	948 mbar	0 ± 30
09:35	22°C	62%rH	948 mbar	36 ± 19
09:45	22°C	61%rH	949 mbar	38 ± 15
09:55	22°C	61%rH	949 mbar	32 ± 11
				Média: 35,33 ± 15,00
Σ Horas: 118,92				Desvio Padrão: 3,06 ± 4,00
Σ Dias: 4,95				Exalação por Hora: 0,29 ± 0,12
				Exalação por Dia: 7,13 ± 3,03

Ensaio para determinação da exalação do gás Radônio				
Nome Comercial: Verde Ceará		Sigla: VC		
Procedência: Meruoca - Ceará				
Descrição da Amostra: Amostra com uma face polida.				
Volume da amostra:	0,00089 m ³	Hora:	11:20	
Área da superfície:	0,05035 m ²	Vácuo Inicial:	450 mmHg	
Peso da amostra:	2,2896 Kg	Vácuo no dia da leitura:	430 mmHg	
Volume do garrafão:	19 L	Vácuo ao final da leitura:	315 mmHg	
Início do Vácuo: 29/07/11		Data da leitura: 09/08/11		
Tempo de Medição	Temperatura	UR	Pressão	Exalação (Bq/m ³)
11:40	25°C	71%rH	946 mbar	0 ± 30
11:50	25°C	71%rH	945 mbar	70 ± 29
12:00	25°C	70%rH	945 mbar	62 ± 20
12:10	25°C	70%rH	945 mbar	47 ± 14
				Média: 59,67 ± 21,00
Σ Horas: 264,33				Desvio Padrão: 11,68 ± 7,55
Σ Dias: 11,01				Exalação por Hora: 0,22 ± 0,07
				Exalação por Dia: 5,41 ± 1,90

Ensaio para determinação da exalação do gás Radônio				
Nome Comercial: Juparaná Gold		Sigla: JG		
Procedência: Santa Quitéria - Ceará				
Descrição da Amostra: Amostra com uma face polida.				
Volume da amostra:	0,00095 m ³	Hora:	11:00	
Área da superfície:	0,04827 m ²	Vácuo Inicial:	440 mmHg	
Peso da amostra:	2,4865 Kg	Vácuo no dia da leitura:	400 mmHg	
Volume do garrafão:	19 L	Vácuo ao final da leitura:	300 mmHg	
Início do Vácuo: 15/02/11		Data da leitura: 10/03/11		
Tempo de Medição	Temperatura	UR	Pressão	Exalação (Bq/m ³)
11:53	25°C	84%rH	942 mbar	14 ± 26
12:03	25°C	84%rH	942 mbar	335 ± 71
12:13	26°C	84%rH	942 mbar	367 ± 60
12:23	26°C	84%rH	942 mbar	263 ± 43
				Média: 321,67 ± 58,00
Σ Horas: 552,88				Desvio Padrão: 53,27 ± 14,11
Σ Dias: 23,03				Exalação por Hora: 0,58 ± 0,10
				Exalação por Dia: 13,96 ± 2,51

Ensaio para determinação da exalação do gás Radônio				
Nome Comercial: Juparaná Gold		Sigla: JG		
Procedência: Santa Quitéria - Ceará				
Descrição da Amostra: Amostra com uma face polida.				
Volume da amostra:	0,00095 m ³	Hora:	16:45	
Área da superfície:	0,04827 m ²	Vácuo Inicial:	450 mmHg	
Peso da amostra:	2,4865 Kg	Vácuo no dia da leitura:	420 mmHg	
Volume do garrafão:	19 L	Vácuo ao final da leitura:	300 mmHg	
Início do Vácuo: 06/10/11		Data da leitura: 26/10/11		
Tempo de Medição	Temperatura	UR	Pressão	Exalação (Bq/m ³)
15:00	26°C	76%rH	941 mbar	26 ± 30
15:10	26°C	76%rH	941 mbar	339 ± 73
15:20	26°C	75%rH	941 mbar	325 ± 57
15:30	26°C	75%rH	941 mbar	252 ± 42
Média:				305,33 ± 57,33
Σ Horas: 478,25	Desvio Padrão:			46,72 ± 15,50
Σ Dias: 19,92	Exalação por Hora:			0,63 ± 0,12
Exalação por Dia:				15,32 ± 2,87

Ensaio para determinação da exalação do gás Radônio				
Nome Comercial: Juparaná Gold		Sigla: JG		
Procedência: Santa Quitéria - Ceará				
Descrição da Amostra: Amostra com uma face polida.				
Volume da amostra:	0,00095 m ³	Hora:	15:55	
Área da superfície:	0,04827 m ²	Vácuo Inicial:	450 mmHg	
Peso da amostra:	2,4865 Kg	Vácuo no dia da leitura:	440 mmHg	
Volume do garrafão:	19 L	Vácuo ao final da leitura:	330 mmHg	
Início do Vácuo: 01/06/11		Data da leitura: 16/06/11		
Tempo de Medição	Temperatura	UR	Pressão	Exalação (Bq/m ³)
15:12	20°C	71%rH	948 mbar	0 ± 30
15:22	20°C	71%rH	948 mbar	351 ± 82
15:32	20°C	71%rH	948 mbar	339 ± 61
15:42	20°C	70%rH	948 mbar	252 ± 44
Média:				314,00 ± 62,33
Σ Horas: 359,29	Desvio Padrão:			54,03 ± 19,04
Σ Dias: 14,97	Exalação por Hora:			0,87 ± 0,17
Exalação por Dia:				20,97 ± 4,16

Ensaio para determinação da exalação do gás Radônio				
Nome Comercial: Juparaná Gold		Sigla: JG		
Procedência: Santa Quitéria - Ceará				
Descrição da Amostra: Amostra com uma face polida.				
Volume da amostra:	0,00095 m ³	Hora:	11:09	
Área da superfície:	0,04827 m ²	Vácuo Inicial:	450 mmHg	
Peso da amostra:	2,4865 Kg	Vácuo no dia da leitura:	425 mmHg	
Volume do garrafão:	19 L	Vácuo ao final da leitura:	315 mmHg	
Início do Vácuo: 15/03/12		Data da leitura: 26/03/12		
Tempo de Medição	Temperatura	UR	Pressão	Exalação (Bq/m ³)
14:17	28°C	72%rH	942 mbar	25 ± 30
14:27	29°C	72%rH	942 mbar	302 ± 71
14:37	29°C	71%rH	942 mbar	297 ± 54
14:47	29°C	70%rH	942 mbar	220 ± 39
Média:				273,00 ± 54,67
Σ Horas: 267,13	Desvio Padrão:			45,97 ± 16,01
Σ Dias: 11,13	Exalação por Hora:			1,02 ± 0,2
Exalação por Dia:				24,52 ± 4,91

Ensaio para determinação da exalação do gás Radônio				
Nome Comercial: Juparaná Gold		Sigla: JG		
Procedência: Santa Quitéria - Ceará				
Descrição da Amostra: Amostra com uma face polida.				
Volume da amostra:	0,00095 m ³	Hora:	10:45	
Área da superfície:	0,04827 m ²	Vácuo Inicial:	450 mmHg	
Peso da amostra:	2,4865 Kg	Vácuo no dia da leitura:	445 mmHg	
Volume do garrafão:	19 L	Vácuo ao final da leitura:	320 mmHg	
Início do Vácuo: 27/10/11		Data da leitura: 01/11/11		
Tempo de Medição	Temperatura	UR	Pressão	Exalação (Bq/m ³)
15:15	24°C	55%rH	947 mbar	18 ± 30
15:25	24°C	56%rH	947 mbar	263 ± 63
15:35	24°C	56%rH	947 mbar	215 ± 45
15:45	24°C	56%rH	946 mbar	161 ± 32
Média:				213,00 ± 46,67
Σ Horas: 124,5	Desvio Padrão:			51,03 ± 15,57
Σ Dias: 5,18	Exalação por Hora:			1,71 ± 0,37
Exalação por Dia:				41,12 ± 9,00

Ensaio para determinação da exalação do gás Radônio				
Nome Comercial: Yellow Tropical		Sigla: YT		
Procedência: Massapê - Ceará				
Descrição da Amostra: Amostra com uma face polida.				
Volume da amostra:	0,00097 m ³	Hora:	10:30	
Área da superfície:	0,04835 m ²	Vácuo Inicial:	450 mmHg	
Peso da amostra:	2,5592 Kg	Vácuo no dia da leitura:	420 mmHg	
Volume do garrafão:	19 L	Vácuo ao final da leitura:	300 mmHg	
Início do Vácuo: 06/05/11		Data da leitura: 31/05/11		
Tempo de Medição	Temperatura	UR	Pressão	Exalação (Bq/m ³)
13:44	19°C	78%rH	946 mbar	0 ± 30
13:54	19°C	78%rH	946 mbar	185 ± 51
14:04	19°C	78%rH	945 mbar	156 ± 36
14:14	19°C	78%rH	945 mbar	119 ± 26
				Média: 153,33 ± 37,67
Σ Horas: 603,23				Desvio Padrão: 33,08 ± 12,58
Σ Dias: 25,13				Exalação por Hora: 0,25 ± 0,06
				Exalação por Dia: 6,10 ± 1,50

Ensaio para determinação da exalação do gás Radônio				
Nome Comercial: Yellow Tropical		Sigla: YT		
Procedência: Massapê - Ceará				
Descrição da Amostra: Amostra com uma face polida.				
Volume da amostra:	0,00097 m ³	Hora:	09:45	
Área da superfície:	0,04835 m ²	Vácuo Inicial:	450 mmHg	
Peso da amostra:	2,5592 Kg	Vácuo no dia da leitura:	415 mmHg	
Volume do garrafão:	19 L	Vácuo ao final da leitura:	300 mmHg	
Início do Vácuo: 19/02/12		Data da leitura: 05/03/12		
Tempo de Medição	Temperatura	UR	Pressão	Exalação (Bq/m ³)
13:45	28°C	69%rH	945 mbar	50 ± 40
13:55	28°C	69%rH	944 mbar	193 ± 57
14:05	28°C	69%rH	944 mbar	198 ± 43
14:15	28°C	69%rH	944 mbar	153 ± 32
				Média: 181,33 ± 44,00
Σ Horas: 366,3				Desvio Padrão: 24,66 ± 12,53
Σ Dias: 15,26				Exalação por Hora: 0,49 ± 0,12
				Exalação por Dia: 11,96 ± 2,9

Ensaio para determinação da exalação do gás Radônio				
Nome Comercial: Yellow Tropical		Sigla: YT		
Procedência: Massapê - Ceará				
Descrição da Amostra: Amostra com uma face polida.				
Volume da amostra:	0,00097 m ³	Hora:	11:10	
Área da superfície:	0,04835 m ²	Vácuo Inicial:	450 mmHg	
Peso da amostra:	2,5592 Kg	Vácuo no dia da leitura:	415 mmHg	
Volume do garrafão:	19 L	Vácuo ao final da leitura:	295 mmHg	
Início do Vácuo: 14/09/11		Data da leitura: 04/10/11		
Tempo de Medição	Temperatura	UR	Pressão	Exalação (Bq/m ³)
14:55	27°C	53%rH	944 mbar	0 ± 30
15:05	27°C	53%rH	944 mbar	219 ± 58
15:15	27°C	53%rH	944 mbar	178 ± 40
15:25	27°C	53%rH	944 mbar	138 ± 29
				Média: 178,33 ± 42,33
Σ Horas: 483,75				Desvio Padrão: 40,50 ± 14,64
Σ Dias: 20,15				Exalação por Hora: 0,36 ± 0,08
				Exalação por Dia: 8,85 ± 2,10

Ensaio para determinação da exalação do gás Radônio				
Nome Comercial: Yellow Tropical		Sigla: YT		
Procedência: Massapê - Ceará				
Descrição da Amostra: Amostra com uma face polida.				
Volume da amostra:	0,00097 m ³	Hora:	10:40	
Área da superfície:	0,04835 m ²	Vácuo Inicial:	450 mmHg	
Peso da amostra:	2,5592 Kg	Vácuo no dia da leitura:	430 mmHg	
Volume do garrafão:	19 L	Vácuo ao final da leitura:	0 mmHg	
Início do Vácuo: 27/08/11		Data da leitura: 06/09/11		
Tempo de Medição	Temperatura	UR	Pressão	Exalação (Bq/m ³)
15:50	26°C	50%rH	943 mbar	15 ± 30
16:00	26°C	50%rH	943 mbar	130 ± 52
16:10	26°C	49%rH	942 mbar	271 ± 56
16:20	26°C	49%rH	942 mbar	354 ± 54
				Média: 251,67 ± 54,00
Σ Horas: 245,16				Desvio Padrão: 113,24 ± 2,00
Σ Dias: 10,21				Exalação por Hora: 1,02 ± 0,22
				Exalação por Dia: 24,65 ± 5,29

Ensaio para determinação da exalação do gás Radônio				
Nome Comercial: Yellow Tropical		Sigla: YT		
Procedência: Massapê - Ceará				
Descrição da Amostra: Amostra com uma face polida.				
Volume da amostra:	0,00097 m ³	Hora:	11:15	
Área da superfície:	0,04835 m ²	Vácuo Inicial:	450 mmHg	
Peso da amostra:	2,5592 Kg	Vácuo no dia da leitura:	445 mmHg	
Volume do garrafão:	19 L	Vácuo ao final da leitura:	0 mmHg	
Início do Vácuo: 08/09/11		Data da leitura: 13/09/11		
Tempo de Medição	Temperatura	UR	Pressão	Exalação (Bq/m ³)
14:05	25°C	68%rH	945 mbar	24 ± 30
14:15	25°C	68%rH	945 mbar	49 ± 24
14:25	26°C	68%rH	944 mbar	233 ± 48
14:35	26°C	67%rH	944 mbar	305 ± 47
Média:				195,67 ± 39,67
Σ Horas: 122,83	Desvio Padrão:			132,02 ± 13,58
Σ Dias: 5,11	Exalação por Hora:			1,60 ± 0,32
Exalação por Dia:				38,30 ± 7,76

Ensaio para determinação da exalação do gás Radônio				
Nome Comercial: Rosa Iracema		Sigla: RI		
Procedência: Forquilha - Ceará				
Descrição da Amostra: Amostra com uma face polida.				
Volume da amostra:	0,00109 m ³	Hora:	15:15	
Área da superfície:	0,04929 m ²	Vácuo Inicial:	450 mmHg	
Peso da amostra:	2,8982 Kg	Vácuo no dia da leitura:	410 mmHg	
Volume do garrafão:	19 L	Vácuo ao final da leitura:	290 mmHg	
Início do Vácuo: 03/11/11		Data da leitura: 23/11/11		
Tempo de Medição	Temperatura	UR	Pressão	Exalação (Bq/m ³)
13:25	26°C	70%rH	942 mbar	16 ± 30
13:35	26°C	70%rH	941 mbar	309 ± 63
13:45	26°C	70%rH	941 mbar	263 ± 47
13:55	26°C	70%rH	941 mbar	196 ± 34
Média:				256,00 ± 48,00
Σ Horas: 478,17	Desvio Padrão:			56,82 ± 14,53
Σ Dias: 19,92	Exalação por Hora:			0,53 ± 0,10
Exalação por Dia:				12,85 ± 2,40

Ensaio para determinação da exalação do gás Radônio				
Nome Comercial: Rosa Iracema		Sigla: RI		
Procedência: Forquilha - Ceará				
Descrição da Amostra: Amostra com uma face polida.				
Volume da amostra:	0,00109 m ³	Hora:	15:20	
Área da superfície:	0,04929 m ²	Vácuo Inicial:	440 mmHg	
Peso da amostra:	2,8982 Kg	Vácuo no dia da leitura:	410 mmHg	
Volume do garrafão:	19 L	Vácuo ao final da leitura:	300 mmHg	
Início do Vácuo: 09/02/12		Data da leitura: 05/03/12		
Tempo de Medição	Temperatura	UR	Pressão	Exalação (Bq/m ³)
08:25	25°C	89%rH	947 mbar	12 ± 30
08:35	25°C	87%rH	947 mbar	327 ± 73
08:45	26°C	86%rH	947 mbar	239 ± 48
08:55	26°C	85%rH	947 mbar	167 ± 33
Média:				244,33 ± 51,33
Σ Horas: 593,09	Desvio Padrão:			80,13 ± 20,21
Σ Dias: 24,71	Exalação por Hora:			0,41 ± 0,08
Exalação por Dia:				9,88 ± 2,07

Ensaio para determinação da exalação do gás Radônio				
Nome Comercial: Rosa Iracema		Sigla: RI		
Procedência: Forquilha - Ceará				
Descrição da Amostra: Amostra com uma face polida.				
Volume da amostra:	0,00109 m ³	Hora:	13:45	
Área da superfície:	0,04929 m ²	Vácuo Inicial:	450 mmHg	
Peso da amostra:	2,8982 Kg	Vácuo no dia da leitura:	430 mmHg	
Volume do garrafão:	19 L	Vácuo ao final da leitura:	0 mmHg	
Início do Vácuo: 20/06/11		Data da leitura: 05/07/11		
Tempo de Medição	Temperatura	UR	Pressão	Exalação (Bq/m ³)
15:26	21°C	76%rH	945 mbar	20 ± 30
15:36	21°C	76%rH	945 mbar	194 ± 66
15:46	21°C	76%rH	945 mbar	323 ± 59
15:56	21°C	76%rH	945 mbar	345 ± 53
Média:				287,33 ± 59,33
Σ Horas: 361,68	Desvio Padrão:			81,57 ± 6,51
Σ Dias: 15,07	Exalação por Hora:			0,79 ± 0,16
Exalação por Dia:				19,06 ± 3,93

Ensaio para determinação da exalação do gás Radônio				
Nome Comercial: Rosa Iracema		Sigla: RI		
Procedência: Forquilha - Ceará				
Descrição da Amostra: Amostra com uma face polida.				
Volume da amostra:	0,00109 m ³	Hora:	10:30	
Área da superfície:	0,04929 m ²	Vácuo Inicial:	450 mmHg	
Peso da amostra:	2,8982 Kg	Vácuo no dia da leitura:	430 mmHg	
Volume do garrafão:	19 L	Vácuo ao final da leitura:	300 mmHg	
Início do Vácuo: 13/08/11		Data da leitura: 23/08/11		
Tempo de Medição	Temperatura	UR	Pressão	Exalação (Bq/m ³)
15:35	22°C	76%rH	947 mbar	0 ± 30
15:45	22°C	75%rH	946 mbar	141 ± 36
15:55	22°C	75%rH	947 mbar	144 ± 30
16:05	22°C	76%rH	947 mbar	114 ± 24
		Média: 133,00 ± 30,00		
Σ Horas: 245,08			Desvio Padrão: 16,52 ± 6,00	
Σ Dias: 10,21			Exalação por Hora: 0,54 ± 0,12	
		Exalação por Dia: 13,02 ± 2,93		

Ensaio para determinação da exalação do gás Radônio				
Nome Comercial: Rosa Iracema		Sigla: RI		
Procedência: Forquilha - Ceará				
Descrição da Amostra: Amostra com uma face polida.				
Volume da amostra:	0,00109 m ³	Hora:	12:40	
Área da superfície:	0,04929 m ²	Vácuo Inicial:	450 mmHg	
Peso da amostra:	2,8982 Kg	Vácuo no dia da leitura:	435 mmHg	
Volume do garrafão:	19 L	Vácuo ao final da leitura:	320 mmHg	
Início do Vácuo: 24/11/11		Data da leitura: 29/11/11		
Tempo de Medição	Temperatura	UR	Pressão	Exalação (Bq/m ³)
13:05	28°C	70%rH	941 mbar	0 ± 30
13:15	28°C	70%rH	940 mbar	93 ± 34
13:25	28°C	69%rH	940 mbar	103 ± 28
13:35	28°C	69%rH	940 mbar	77 ± 20
		Média: 91,00 ± 27,33		
Σ Horas: 120,41			Desvio Padrão: 13,11 ± 7,02	
Σ Dias: 5,01			Exalação por Hora: 0,75 ± 0,22	
		Exalação por Dia: 18,16 ± 5,45		

Ensaio para determinação da exalação do gás Radônio				
Nome Comercial: Vermelho Filomena		Sigla: VF		
Procedência: Alcântaras - Ceará				
Descrição da Amostra: Amostra com uma face polida.				
Volume da amostra:	0,00077 m ³	Hora:	11:15	
Área da superfície:	0,05028 m ²	Vácuo Inicial:	440 mmHg	
Peso da amostra:	1,9832 Kg	Vácuo no dia da leitura:	400 mmHg	
Volume do garrafão:	19 L	Vácuo ao final da leitura:	300 mmHg	
Início do Vácuo: 15/02/11		Data da leitura: 10/03/11		
Tempo de Medição	Temperatura	UR	Pressão	Exalação (Bq/m ³)
10:00	24°C	89%rH	943 mbar	20 ± 23
10:10	24°C	88%rH	943 mbar	225 ± 52
10:20	25°C	88%rH	943 mbar	208 ± 40
10:30	25°C	87%rH	943 mbar	164 ± 31
		Média: 199,00 ± 41,00		
Σ Horas: 550,75			Desvio Padrão: 31,48 ± 10,54	
Σ Dias: 22,95			Exalação por Hora: 0,36 ± 0,07	
		Exalação por Dia: 8,67 ± 1,78		

Ensaio para determinação da exalação do gás Radônio				
Nome Comercial: Vermelho Filomena		Sigla: VF		
Procedência: Alcântaras - Ceará				
Descrição da Amostra: Amostra com uma face polida.				
Volume da amostra:	0,00077 m ³	Hora:	16:40	
Área da superfície:	0,05028 m ²	Vácuo Inicial:	450 mmHg	
Peso da amostra:	1,9832 Kg	Vácuo no dia da leitura:	415 mmHg	
Volume do garrafão:	19 L	Vácuo ao final da leitura:	300 mmHg	
Início do Vácuo: 06/10/11		Data da leitura: 26/10/11		
Tempo de Medição	Temperatura	UR	Pressão	Exalação (Bq/m ³)
12:40	25°C	78%rH	942 mbar	19 ± 34
12:50	25°C	78%rH	942 mbar	225 ± 56
13:00	26°C	77%rH	942 mbar	171 ± 37
13:10	26°C	77%rH	942 mbar	139 ± 29
		Média: 178,33 ± 40,67		
Σ Horas: 476			Desvio Padrão: 43,47 ± 13,87	
Σ Dias: 19,83			Exalação por Hora: 0,37 ± 0,08	
		Exalação por Dia: 8,99 ± 2,05		

Ensaio para determinação da exalação do gás Radônio					
Nome Comercial:		Vermelho Filomena	Sigla: VF		
Procedência:		Alcântaras - Ceará			
Descrição da Amostra: Amostra com uma face polida.					
Volume da amostra:	0,00077 m ³	Hora:		15:40	
Área da superfície:	0,05028 m ²	Vácuo Inicial:		450 mmHg	
Peso da amostra:	1,9832 Kg	Vácuo no dia da leitura:		435 mmHg	
Volume do garrafão:	19 L	Vácuo ao final da leitura:		315 mmHg	
Início do Vácuo:		01/06/11	Data da leitura:		16/06/11
Tempo de Medição	Temperatura	UR	Pressão	Exalação (Bq/m ³)	
11:35	18°C	80%rH	950 mbar	0 ± 30	
11:45	19°C	79%rH	950 mbar	163 ± 49	
11:55	19°C	79%rH	950 mbar	145 ± 36	
12:05	19°C	79%rH	950 mbar	101 ± 25	
Média:				136,33 ± 36,67	
Σ Horas: 355,92		Desvio Padrão:		31,90 ± 12,01	
Σ Dias: 14,83		Exalação por Hora:		0,38 ± 0,10	
		Exalação por Dia:		9,19 ± 2,47	

Ensaio para determinação da exalação do gás Radônio					
Nome Comercial:		Vermelho Filomena	Sigla: VF		
Procedência:		Alcântaras - Ceará			
Descrição da Amostra: Amostra com uma face polida.					
Volume da amostra:	0,00077 m ³	Hora:		10:40	
Área da superfície:	0,05028 m ²	Vácuo Inicial:		450 mmHg	
Peso da amostra:	1,9832 Kg	Vácuo no dia da leitura:		450 mmHg	
Volume do garrafão:	19 L	Vácuo ao final da leitura:		325 mmHg	
Início do Vácuo:		27/10/11	Data da leitura:		01/11/11
Tempo de Medição	Temperatura	UR	Pressão	Exalação (Bq/m ³)	
13:10	23°C	57%rH	948 mbar	36 ± 40	
13:20	23°C	57%rH	948 mbar	84 ± 29	
13:30	23°C	57%rH	948 mbar	84 ± 23	
13:40	23°C	57%rH	948 mbar	66 ± 17	
Média:				78,00 ± 23,00	
Σ Horas: 122,5		Desvio Padrão:		10,39 ± 6,00	
Σ Dias: 5,1		Exalação por Hora:		0,63 ± 0,18	
		Exalação por Dia:		15,29 ± 4,50	

Ensaio para determinação da exalação do gás Radônio					
Nome Comercial:		Vermelho Filomena	Sigla: VF		
Procedência:		Alcântaras - Ceará			
Descrição da Amostra: Amostra com uma face polida.					
Volume da amostra:	0,00077 m ³	Hora:		11:30	
Área da superfície:	0,05028 m ²	Vácuo Inicial:		450 mmHg	
Peso da amostra:	1,9832 Kg	Vácuo no dia da leitura:		430 mmHg	
Volume do garrafão:	19 L	Vácuo ao final da leitura:		315 mmHg	
Início do Vácuo:		29/07/11	Data da leitura:		09/08/11
Tempo de Medição	Temperatura	UR	Pressão	Exalação (Bq/m ³)	
14:00	25°C	71%rH	945 mbar	22 ± 30	
14:10	25°C	72%rH	945 mbar	182 ± 48	
14:20	25°C	72%rH	945 mbar	156 ± 35	
14:30	25°C	72%rH	945 mbar	123 ± 26	
Média:				153,67 ± 36,33	
Σ Horas: 261,5		Desvio Padrão:		29,57 ± 11,06	
Σ Dias: 10,89		Exalação por Hora:		0,58 ± 0,14	
		Exalação por Dia:		14,11 ± 3,33	

Ensaio para determinação da exalação do gás Radônio					
Nome Comercial:		Red Dragon	Sigla: RD		
Procedência:		Sobral - Ceará			
Descrição da Amostra: Amostra com uma face polida e outra telada.					
Volume da amostra:	0,00098 m ³	Hora:		17:05	
Área da superfície:	0,04926 m ²	Vácuo Inicial:		445 mmHg	
Peso da amostra:	2,5526 Kg	Vácuo no dia da leitura:		400 mmHg	
Volume do garrafão:	19 L	Vácuo ao final da leitura:		300 mmHg	
Início do Vácuo:		18/01/11	Data da leitura:		14/02/11
Tempo de Medição	Temperatura	UR	Pressão	Exalação (Bq/m ³)	
15:53	28°C	84%rH	942 mbar	30 ± 57	
16:03	28°C	85%rH	942 mbar	64 ± 43	
16:13	28°C	84%rH	943 mbar	54 ± 29	
16:23	28°C	84%rH	942 mbar	45 ± 21	
Média:				54,33 ± 31,00	
Σ Horas: 646,8		Desvio Padrão:		9,50 ± 11,14	
Σ Dias: 26,95		Exalação por Hora:		0,08 ± 0,04	
		Exalação por Dia:		2,01 ± 1,15	

Ensaio para determinação da exalação do gás Radônio				
Nome Comercial: Red Dragon		Sigla: RD		
Procedência: Sobral - Ceará				
Descrição da Amostra: Amostra com uma face polida e outra telada.				
Volume da amostra:	0,00098 m ³	Hora:	15:10	
Área da superfície:	0,04926 m ²	Vácuo Inicial:	450 mmHg	
Peso da amostra:	2,5526 Kg	Vácuo no dia da leitura:	410 mmHg	
Volume do garrafão:	19 L	Vácuo ao final da leitura:	310 mmHg	
Início do Vácuo: 03/11/11		Data da leitura: 23/11/11		
Tempo de Medição	Temperatura	UR	Pressão	Exalação (Bq/m ³)
11:10	25°C	73%rH	942 mbar	0 ± 30
11:20	25°C	73%rH	942 mbar	71 ± 27
11:30	25°C	73%rH	942 mbar	81 ± 22
11:40	25°C	72%rH	942 mbar	71 ± 18
				Média: 74,33 ± 22,33
Σ Horas: 476				Desvio Padrão: 5,77 ± 4,51
Σ Dias: 19,83				Exalação por Hora: 0,15 ± 0,05
				Exalação por Dia: 3,75 ± 1,12

Ensaio para determinação da exalação do gás Radônio				
Nome Comercial: Red Dragon		Sigla: RD		
Procedência: Sobral - Ceará				
Descrição da Amostra: Amostra com uma face polida e outra telada.				
Volume da amostra:	0,00098 m ³	Hora:	10:27	
Área da superfície:	0,04926 m ²	Vácuo Inicial:	450 mmHg	
Peso da amostra:	2,5526 Kg	Vácuo no dia da leitura:	435 mmHg	
Volume do garrafão:	19 L	Vácuo ao final da leitura:	320 mmHg	
Início do Vácuo: 13/08/11		Data da leitura: 23/08/11		
Tempo de Medição	Temperatura	UR	Pressão	Exalação (Bq/m ³)
13:40	22°C	74%rH	948 mbar	0 ± 30
13:50	22°C	74%rH	948 mbar	39 ± 20
14:00	22°C	74%rH	947 mbar	46 ± 17
14:10	22°C	74%rH	947 mbar	43 ± 14
				Média: 42,67 ± 17,00
Σ Horas: 243,21				Desvio Padrão: 3,51 ± 3,00
Σ Dias: 10,13				Exalação por Hora: 0,17 ± 0,07
				Exalação por Dia: 4,21 ± 1,68

Ensaio para determinação da exalação do gás Radônio				
Nome Comercial: Red Dragon		Sigla: RD		
Procedência: Sobral - Ceará				
Descrição da Amostra: Amostra com uma face polida e outra telada.				
Volume da amostra:	0,00098 m ³	Hora:	13:40	
Área da superfície:	0,04926 m ²	Vácuo Inicial:	450 mmHg	
Peso da amostra:	2,5526 Kg	Vácuo no dia da leitura:	430 mmHg	
Volume do garrafão:	19 L	Vácuo ao final da leitura:	310 mmHg	
Início do Vácuo: 20/06/11		Data da leitura: 05/07/11		
Tempo de Medição	Temperatura	UR	Pressão	Exalação (Bq/m ³)
14:25	21°C	76%rH	946 mbar	66 ± 67
14:35	21°C	76%rH	945 mbar	51 ± 44
14:45	21°C	76%rH	945 mbar	44 ± 26
14:55	21°C	76%rH	945 mbar	41 ± 19
				Média: 45,33 ± 29,67
Σ Horas: 360,75				Desvio Padrão: 5,13 ± 12,90
Σ Dias: 15,03				Exalação por Hora: 0,12 ± 0,08
				Exalação por Dia: 3,01 ± 1,97

Ensaio para determinação da exalação do gás Radônio				
Nome Comercial: Red Dragon		Sigla: RD		
Procedência: Sobral - Ceará				
Descrição da Amostra: Amostra com uma face polida e outra telada.				
Volume da amostra:	0,00098 m ³	Hora:	12:35	
Área da superfície:	0,04926 m ²	Vácuo Inicial:	450 mmHg	
Peso da amostra:	2,5526 Kg	Vácuo no dia da leitura:	440 mmHg	
Volume do garrafão:	19 L	Vácuo ao final da leitura:	335 mmHg	
Início do Vácuo: 24/11/11		Data da leitura: 29/11/11		
Tempo de Medição	Temperatura	UR	Pressão	Exalação (Bq/m ³)
11:20	27°C	74%rH	942 mbar	0 ± 30
11:30	27°C	75%rH	942 mbar	43 ± 23
11:40	27°C	75%rH	942 mbar	38 ± 15
11:50	27°C	74%rH	942 mbar	31 ± 11
				Média: 37,33 ± 16,33
Σ Horas: 118,75				Desvio Padrão: 6,03 ± 6,11
Σ Dias: 4,95				Exalação por Hora: 0,31 ± 0,13
				Exalação por Dia: 7,54 ± 3,29

Ensaio para determinação da exalação do gás Radônio				
Nome Comercial: Green Galaxy		Sigla: GG		
Procedência: Marco - Ceará				
Descrição da Amostra: Amostra com uma face polida e outra telada.				
Volume da amostra:	0,00114 m ³	Hora: 10:55		
Área da superfície:	0,05238 m ²	Vácuo Inicial: 440 mmHg		
Peso da amostra:	2,8786 Kg	Vácuo no dia da leitura: 400 mmHg		
Volume do garrafão:	19 L	Vácuo ao final da leitura: 0 mmHg		
Início do Vácuo: 15/02/11		Data da leitura: 10/03/11		
Tempo de Medição	Temperatura	UR	Pressão	Exalação (Bq/m ³)
11:16	25°C	85%rH	946 mbar	15 ± 20
11:26	25°C	85%rH	946 mbar	49 ± 22
11:36	25°C	84%rH	945 mbar	63 ± 20
11:46	25°C	85%rH	945 mbar	68 ± 19
Média:				60,00 ± 20,33
Σ Horas: 552,35	Desvio Padrão:			9,85 ± 1,53
Σ Dias: 23,01	Exalação por Hora:			0,10 ± 0,03
Exalação por Dia:				2,60 ± 0,88

Ensaio para determinação da exalação do gás Radônio				
Nome Comercial: Green Galaxy		Sigla: GG		
Procedência: Marco - Ceará				
Descrição da Amostra: Amostra com uma face polida e outra telada.				
Volume da amostra:	0,00114 m ³	Hora: 15:45		
Área da superfície:	0,05238 m ²	Vácuo Inicial: 450 mmHg		
Peso da amostra:	2,8786 Kg	Vácuo no dia da leitura: 435 mmHg		
Volume do garrafão:	19 L	Vácuo ao final da leitura: 0 mmHg		
Início do Vácuo: 01/06/11		Data da leitura: 16/06/11		
Tempo de Medição	Temperatura	UR	Pressão	Exalação (Bq/m ³)
13:25	20°C	77%rH	949 mbar	20 ± 30
13:35	20°C	76%rH	949 mbar	54 ± 25
13:45	20°C	76%rH	949 mbar	39 ± 16
13:55	20°C	75%rH	948 mbar	51 ± 16
Média:				48,00 ± 19,00
Σ Horas: 357,67	Desvio Padrão:			7,94 ± 5,20
Σ Dias: 14,9	Exalação por Hora:			0,13 ± 0,05
Exalação por Dia:				3,22 ± 1,27

Ensaio para determinação da exalação do gás Radônio				
Nome Comercial: Green Galaxy		Sigla: GG		
Procedência: Marco - Ceará				
Descrição da Amostra: Amostra com uma face polida e outra telada.				
Volume da amostra:	0,00114 m ³	Hora: 14:17		
Área da superfície:	0,05238 m ²	Vácuo Inicial: 450 mmHg		
Peso da amostra:	2,8786 Kg	Vácuo no dia da leitura: 410 mmHg		
Volume do garrafão:	19 L	Vácuo ao final da leitura: 310 mmHg		
Início do Vácuo: 14/02/12		Data da leitura: 05/03/12		
Tempo de Medição	Temperatura	UR	Pressão	Exalação (Bq/m ³)
11:41	28°C	76%rH	946 mbar	0 ± 30
11:51	28°C	76%rH	946 mbar	18 ± 15
12:01	28°C	72%rH	946 mbar	18 ± 10
12:11	28°C	73%rH	946 mbar	15 ± 8
Média:				17,00 ± 11,00
Σ Horas: 476,6	Desvio Padrão:			1,73 ± 3,61
Σ Dias: 19,85	Exalação por Hora:			0,03 ± 0,02
Exalação por Dia:				0,85 ± 0,55

Ensaio para determinação da exalação do gás Radônio				
Nome Comercial: Green Galaxy		Sigla: GG		
Procedência: Marco - Ceará				
Descrição da Amostra: Amostra com uma face polida e outra telada.				
Volume da amostra:	0,00114 m ³	Hora: 11:15		
Área da superfície:	0,05238 m ²	Vácuo Inicial: 450 mmHg		
Peso da amostra:	2,8786 Kg	Vácuo no dia da leitura: 430 mmHg		
Volume do garrafão:	19 L	Vácuo ao final da leitura: 315 mmHg		
Início do Vácuo: 29/07/11		Data da leitura: 09/08/11		
Tempo de Medição	Temperatura	UR	Pressão	Exalação (Bq/m ³)
10:13	23°C	76%rH	946 mbar	0 ± 30
10:23	23°C	75%rH	946 mbar	23 ± 18
10:33	24°C	74%rH	946 mbar	18 ± 11
10:43	24°C	73%rH	946 mbar	16 ± 9
Média:				19,00 ± 12,67
Σ Horas: 262,97	Desvio Padrão:			3,61 ± 4,73
Σ Dias: 10,96	Exalação por Hora:			0,07 ± 0,05
Exalação por Dia:				1,73 ± 1,15

Ensaio para determinação da exalação do gás Radônio				
Nome Comercial: Green Galaxy		Sigla: GG		
Procedência: Marco - Ceará				
Descrição da Amostra: Amostra com uma face polida e outra telada.				
Volume da amostra:	0,00114 m ³	Hora: 10:25		
Área da superfície:	0,05238 m ²	Vácuo Inicial: 450 mmHg		
Peso da amostra:	2,8786 Kg	Vácuo no dia da leitura: 440 mmHg		
Volume do garrafão:	19 L	Vácuo ao final da leitura: 310 mmHg		
Início do Vácuo: 27/10/11		Data da leitura: 01/11/11		
Tempo de Medição	Temperatura	UR	Pressão	Exalação (Bq/m ³)
08:15	21°C	65%rH	948 mbar	35 ± 39
08:25	21°C	64%rH	948 mbar	11 ± 10
08:35	21°C	64%rH	948 mbar	9 ± 7
08:45	21°C	64%rH	948 mbar	8 ± 5
				Média: 9,33 ± 7,33
Σ Horas: 117,84		Desvio Padrão: 1,53 ± 2,52		
Σ Dias: 4,91		Exalação por Hora: 0,08 ± 0,06		
		Exalação por Dia: 1,90 ± 1,49		

Ensaio para determinação da exalação do gás Radônio				
Nome Comercial: Infinity Gold		Sigla: IG		
Procedência: Santa Quitéria - Ceará				
Descrição da Amostra: Amostra com uma face polida e outra telada.				
Volume da amostra:	0,00106 m ³	Hora: 10:35		
Área da superfície:	0,04943 m ²	Vácuo Inicial: 450 mmHg		
Peso da amostra:	2,4599 Kg	Vácuo no dia da leitura: 410 mmHg		
Volume do garrafão:	19 L	Vácuo ao final da leitura: 300 mmHg		
Início do Vácuo: 14/09/11		Data da leitura: 04/10/11		
Tempo de Medição	Temperatura	UR	Pressão	Exalação (Bq/m ³)
08:35	24°C	64%rH	949 mbar	0 ± 30
08:45	24°C	63%rH	949 mbar	17 ± 12
08:55	24°C	63%rH	949 mbar	24 ± 11
09:05	24°C	62%rH	949 mbar	18 ± 8
				Média: 19,67 ± 10,33
Σ Horas: 478		Desvio Padrão: 3,79 ± 2,08		
Σ Dias: 19,91		Exalação por Hora: 0,04 ± 0,02		
		Exalação por Dia: 0,98 ± 0,51		

Ensaio para determinação da exalação do gás Radônio				
Nome Comercial: Infinity Gold		Sigla: IG		
Procedência: Santa Quitéria - Ceará				
Descrição da Amostra: Amostra com uma face polida e outra telada.				
Volume da amostra:	0,00106 m ³	Hora: 10:25		
Área da superfície:	0,04943 m ²	Vácuo Inicial: 450 mmHg		
Peso da amostra:	2,4599 Kg	Vácuo no dia da leitura: 420 mmHg		
Volume do garrafão:	19 L	Vácuo ao final da leitura: 300 mmHg		
Início do Vácuo: 06/05/11		Data da leitura: 31/05/11		
Tempo de Medição	Temperatura	UR	Pressão	Exalação (Bq/m ³)
15:50	19°C	79%rH	945 mbar	26 ± 30
16:00	19°C	79%rH	945 mbar	12 ± 9
16:10	19°C	79%rH	945 mbar	12 ± 7
16:20	19°C	79%rH	945 mbar	10 ± 5
				Média: 11,33 ± 7,00
Σ Horas: 605,41		Desvio Padrão: 1,15 ± 2,00		
Σ Dias: 25,22		Exalação por Hora: 0,01 ± 0,01		
		Exalação por Dia: 0,45 ± 0,27		

Ensaio para determinação da exalação do gás Radônio				
Nome Comercial: Infinity Gold		Sigla: IG		
Procedência: Santa Quitéria - Ceará				
Descrição da Amostra: Amostra com uma face polida e outra telada.				
Volume da amostra:	0,00106 m ³	Hora: 10:05		
Área da superfície:	0,04943 m ²	Vácuo Inicial: 450 mmHg		
Peso da amostra:	2,4599 Kg	Vácuo no dia da leitura: 430 mmHg		
Volume do garrafão:	19 L	Vácuo ao final da leitura: 320 mmHg		
Início do Vácuo: 11/07/11		Data da leitura: 26/07/11		
Tempo de Medição	Temperatura	UR	Pressão	Exalação (Bq/m ³)
10:28	20°C	81%rH	953 mbar	54 ± 58
10:38	20°C	80%rH	953 mbar	13 ± 12
10:48	21°C	79%rH	953 mbar	9 ± 7
10:58	21°C	78%rH	953 mbar	9 ± 6
				Média: 10,33 ± 8,33
Σ Horas: 360,38		Desvio Padrão: 2,31 ± 3,21		
Σ Dias: 15,01		Exalação por Hora: 0,03 ± 0,02		
		Exalação por Dia: 0,69 ± 0,55		

Ensaio para determinação da exalação do gás Radônio				
Nome Comercial: Infinity Gold		Sigla: IG		
Procedência: Santa Quitéria - Ceará				
Descrição da Amostra: Amostra com uma face polida e outra telada.				
Volume da amostra:	0,00106 m ³	Hora: 10:20		
Área da superfície:	0,04943 m ²	Vácuo Inicial: 450 mmHg		
Peso da amostra:	2,4599 Kg	Vácuo no dia da leitura: 420 mmHg		
Volume do garrafão:	19 L	Vácuo ao final da leitura: 295 mmHg		
Início do Vácuo: 27/08/11		Data da leitura: 06/09/11		
Tempo de Medição	Temperatura	UR	Pressão	Exalação (Bq/m ³)
10:15	21°C	71%rH	948 mbar	28 ± 36
10:25	21°C	69%rH	948 mbar	18 ± 13
10:35	22°C	68%rH	948 mbar	15 ± 8
10:45	22°C	66%rH	948 mbar	10 ± 6
				Média: 14,33 ± 9,00
Σ Horas: 239,92		Desvio Padrão: 4,04 ± 3,61		
Σ Dias: 9,99		Exalação por Hora: 0,06 ± 0,03		
				Exalação por Dia: 1,43 ± 0,90

Ensaio para determinação da exalação do gás Radônio				
Nome Comercial: Bourdeaux Terracota		Sigla: BT		
Procedência: Parambu - Ceará				
Descrição da Amostra: Amostra com uma face polida e outra telada.				
Volume da amostra:	0,00111 m ³	Hora: 17:10		
Área da superfície:	0,05120 m ²	Vácuo Inicial: 440 mmHg		
Peso da amostra:	2,8362 Kg	Vácuo no dia da leitura: 400 mmHg		
Volume do garrafão:	19 L	Vácuo ao final da leitura: 300 mmHg		
Início do Vácuo: 23/12/2010		Data da leitura: 18/01/11		
Tempo de Medição	Temperatura	UR	Pressão	Exalação (Bq/m ³)
12:40	28°C	87%rH	942 mbar	0 ± 30
12:50	27°C	86%rH	942 mbar	68 ± 31
13:00	27°C	86%rH	942 mbar	89 ± 28
13:10	27°C	86%rH	942 mbar	87 ± 23
				Média: 81,33 ± 27,33
Σ Horas: 619,50		Desvio Padrão: 11,59 ± 4,04		
Σ Dias: 25,81		Exalação por Hora: 0,13 ± 0,04		
				Exalação por Dia: 3,15 ± 1,05

Ensaio para determinação da exalação do gás Radônio				
Nome Comercial: Infinity Gold		Sigla: IG		
Procedência: Santa Quitéria - Ceará				
Descrição da Amostra: Amostra com uma face polida e outra telada.				
Volume da amostra:	0,00106 m ³	Hora: 10:55		
Área da superfície:	0,04943 m ²	Vácuo Inicial: 450 mmHg		
Peso da amostra:	2,4599 Kg	Vácuo no dia da leitura: 440 mmHg		
Volume do garrafão:	19 L	Vácuo ao final da leitura: 325 mmHg		
Início do Vácuo: 08/09/11		Data da leitura: 13/09/11		
Tempo de Medição	Temperatura	UR	Pressão	Exalação (Bq/m ³)
09:00	22°C	70%rH	949 mbar	0 ± 30
09:10	22°C	71%rH	949 mbar	7 ± 9
09:20	22°C	72%rH	949 mbar	8 ± 7
09:30	22°C	72%rH	949 mbar	7 ± 5
				Média: 7,33 ± 7,00
Σ Horas: 118,09		Desvio Padrão: 0,58 ± 2,00		
Σ Dias: 4,92		Exalação por Hora: 0,06 ± 0,06		
				Exalação por Dia: 1,49 ± 1,42

Ensaio para determinação da exalação do gás Radônio				
Nome Comercial: Bourdeaux Terracota		Sigla: BT		
Procedência: Parambu - Ceará				
Descrição da Amostra: Amostra com uma face polida e outra telada.				
Volume da amostra:	0,00111 m ³	Hora: 15:05		
Área da superfície:	0,05120 m ²	Vácuo Inicial: 450 mmHg		
Peso da amostra:	2,8362 Kg	Vácuo no dia da leitura: 405 mmHg		
Volume do garrafão:	19 L	Vácuo ao final da leitura: 300 mmHg		
Início do Vácuo: 03/11/11		Data da leitura: 23/11/11		
Tempo de Medição	Temperatura	UR	Pressão	Exalação (Bq/m ³)
09:05	24°C	75%rH	941 mbar	0 ± 30
09:15	25°C	75%rH	941 mbar	110 ± 40
09:25	25°C	75%rH	941 mbar	98 ± 28
09:35	25°C	75%rH	942 mbar	71 ± 19
				Média: 93,00 ± 29,00
Σ Horas: 474		Desvio Padrão: 19,97 ± 10,54		
Σ Dias: 19,75		Exalação por Hora: 0,19 ± 0,06		
				Exalação por Dia: 4,7 ± 1,46

Ensaio para determinação da exalação do gás Radônio				
Nome Comercial: Bourdeaux Terracota Sigla: BT				
Procedência: Parambu - Ceará				
Descrição da Amostra: Amostra com uma face polida e outra telada.				
Volume da amostra:	0,00111 m ³		Hora:	13:30
Área da superfície:	0,05120 m ²		Vácuo Inicial:	450 mmHg
Peso da amostra:	2,8362 Kg		Vácuo no dia da leitura:	430 mmHg
Volume do garrafão:	19 L		Vácuo ao final da leitura:	320 mmHg
Início do Vácuo: 20/06/11		Data da leitura: 05/07/11		
Tempo de Medição	Temperatura	UR	Pressão	Exalação (Bq/m ³)
11:24	19°C	79%rH	949 mbar	44 ± 60
11:34	19°C	79%rH	948 mbar	55 ± 26
11:44	19°C	79%rH	948 mbar	61 ± 21
11:54	19°C	78%rH	948 mbar	48 ± 15
				Média: 54,67 ± 20,67
Σ Horas: 357,9				Desvio Padrão: 6,51 ± 5,51
Σ Dias: 14,91				Exalação por Hora: 0,15 ± 0,05
				Exalação por Dia: 3,66 ± 1,38

Ensaio para determinação da exalação do gás Radônio				
Nome Comercial: Bourdeaux Terracota Sigla: BT				
Procedência: Parambu - Ceará				
Descrição da Amostra: Amostra com uma face polida e outra telada.				
Volume da amostra:	0,00111 m ³		Hora:	10:24
Área da superfície:	0,05120 m ²		Vácuo Inicial:	450 mmHg
Peso da amostra:	2,8362 Kg		Vácuo no dia da leitura:	435 mmHg
Volume do garrafão:	19 L		Vácuo ao final da leitura:	310 mmHg
Início do Vácuo: 13/08/11		Data da leitura: 23/08/11		
Tempo de Medição	Temperatura	UR	Pressão	Exalação (Bq/m ³)
11:38	21°C	76%rH	949 mbar	11 ± 30
11:48	21°C	76%rH	949 mbar	80 ± 30
11:58	21°C	76%rH	949 mbar	60 ± 20
12:08	21°C	76%rH	949 mbar	50 ± 15
				Média: 63,33 ± 21,67
Σ Horas: 241,23				Desvio Padrão: 15,28 ± 7,64
Σ Dias: 10,05				Exalação por Hora: 0,26 ± 0,09
				Exalação por Dia: 6,3 ± 2,15

Ensaio para determinação da exalação do gás Radônio				
Nome Comercial: Bourdeaux Terracota Sigla: BT				
Procedência: Parambu - Ceará				
Descrição da Amostra: Amostra com uma face polida e outra telada.				
Volume da amostra:	0,00111 m ³		Hora:	12:30
Área da superfície:	0,05120 m ²		Vácuo Inicial:	450 mmHg
Peso da amostra:	2,8362 Kg		Vácuo no dia da leitura:	440 mmHg
Volume do garrafão:	19 L		Vácuo ao final da leitura:	330 mmHg
Início do Vácuo: 24/11/11		Data da leitura: 29/11/11		
Tempo de Medição	Temperatura	UR	Pressão	Exalação (Bq/m ³)
09:30	26°C	77%rH	942 mbar	21 ± 30
09:40	26°C	76%rH	942 mbar	66 ± 29
09:50	26°C	76%rH	942 mbar	55 ± 19
10:00	26°C	76%rH	942 mbar	43 ± 14
				Média: 54,67 ± 20,67
Σ Horas: 117				Desvio Padrão: 11,50 ± 7,64
Σ Dias: 4,87				Exalação por Hora: 0,46 ± 0,17
				Exalação por Dia: 11,22 ± 4,24