

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

Luis Christian De Montreuil Carmona

**GEOLOGIA, GEOQUÍMICA E AVALIAÇÃO ECONÔMICA
DO MIGMATITO “ROSA IMPERIAL”, DOMÍNIO
MERIDIONAL DA PROVÍNCIA BORBOREMA,
NORDESTE BRASILEIRO**

Dissertação de Mestrado
2002

LUIS CHRISTIAN DE MONTREUIL CARMONA

Ingeniero Geólogo, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 1988

**GEOLOGIA, GEOQUÍMICA E AVALIAÇÃO ECONÔMICA DO MIGMATITO “ROSA
IMPERIAL”, DOMÍNIO MERIDIONAL DA PROVÍNCIA BORBOREMA,
NORDESTE BRASILEIRO**

Dissertação que apresenta à Pós-Graduação em Geociências do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, orientada pelo Prof. Dr. Marcelo Reis Rodrigues da Silva, em preenchimento parcial dos requisitos para obter o grau de Mestre em Geociências, área de concentração Petrologia, Litogeoquímica e Evolução Crustal, defendida e aprovada em 17 de janeiro de 2002.


RECIFE, PE
2002

GEOLOGIA, GEOQUÍMICA E AVALIAÇÃO ECONÔMICA DO MIGMATITO "ROSA
IMPERIAL", DOMÍNIO MERIDIONAL DA PROVÍNCIA BORBOREMA,
NORDESTE BRASILEIRO.

LUIS CHRISTIAN DE MONTREUIL CARMONA

Aprovado:


_____ 17.01.2002
Prof. Dr. Marcelo Reis Rodrigues da Silva Data


_____ 17.01.02
Prof. Dr. Adejardo Francisco da Silva Filho Data


_____ 17.01.2002
Prof. Dr. Edilton José dos Santos Data

Aos meus pais Hortênsia e Luis,
a minha esposa, companheira
e amiga, Maria Angélica,
aos meus amados filhos Christian
André e Leonardo Vinícius,
a meu querido irmão Charles e sua
esposa Ana Cristina,
e aos meus familiares e amigos
pelo carinho e incentivo
a meu aperfeiçoamento técnico,
bem como, por seu apoio e
compreensão
nos momentos de nossa ausência.

AGRADECIMENTOS

À CAPES (Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo apoio financeiro através da concessão de uma bolsa de Mestrado.

Ao Professor Marcelo Reis Rodrigues da Silva, pela orientação e apoio, nas diversas fases de desenvolvimento do presente trabalho.

Ao Professor Adejardo Francisco da Silva Filho pela orientação na seleção de bibliografia técnica atualizada e nas discussões sobre os dados obtidos nos trabalhos de campo e laboratório.

Ao Professor Edilton José dos Santos pela orientação nos resultados dos trabalhos de campo e pelas discussões sobre Geologia Regional e Geotectônica, as quais foram de grande utilidade para a elaboração do mapa geológico, bem como, pelo apoio e pelo interesse em me ensinar o entendimento dos mecanismos envolvidos na evolução da área estudada, meu agradecimento especial.

À Profa. Ignez de Pinho Guimarães, por ter lido e sugerido idéias e modificações no Capítulo de Geoquímica, sendo de importância primordial para a elaboração do mesmo.

Aos professores Hartmut Beurlen e Marcelo Reis Rodrigues da Silva por terem disponibilizado a estrutura do Laboratório de Estudos Metalogenéticos Aplicados.

Um agradecimento especial para minha esposa e colega Maria Angélica Sampaio pelas discussões dos diferentes e abundantes trabalhos e artigos lidos, pelo apoio e colaboração na redação dos capítulos desta pesquisa, bem como na paciência e constante incentivo para que eu chegasse ao final do presente trabalho.

À Walmisa Alves de Araújo, Secretária da Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, pelos diversos esclarecimentos das normas que regem o referido curso e permanente boa vontade.

Aos amigos colegas, professores e alunos, funcionários dos Departamentos de Geologia e de Engenharia de Minas e da Biblioteca do Centro de Tecnologia e Geociências (UFPE).

APRESENTAÇÃO

A presente Dissertação tem por objetivo cumprir com as exigências curriculares obrigatórias à obtenção do título de Mestre em Geociências, pela Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal de Pernambuco.

Esta Dissertação está vinculada ao projeto “Cartografia Geológica e Sensoriamento Remoto Aplicados à Prospecção de Granitos e Migmatitos para Fins Ornamentais na Folha Garanhuns” (PROAN). O referido Projeto teve apoio financeiro do PADCT-III, (processo N° 88.98.0745), sob a coordenação do Prof. Dr. Adejardo Francisco da Silva Filho, Departamento de Geologia da UFPE.

A presente Dissertação trata do reconhecimento da geologia, geoquímica e avaliação econômica do migmatito “Rosa Imperial”, Domínio Meridional da Província Borborema, Nordeste Brasileiro.

RESUMO

As unidades litológicas constituintes do migmatito “Rosa Imperial” são representantes de complexos metamórficos de alto grau de possível idade Mesoproterozóica no Maciço/Terreno Pernambuco-Alagoas, Domínio Meridional da Província Borborema.

Identificou-se a ocorrência de dois domínios, um supracrustal ou paraderivado, geologicamente pertencente ao Complexo Cabrobó constituído por duas unidades, ocupando 45% da área. O outro domínio é metaplutônico ou ortoderivado, inserido no Complexo Belém de São Francisco, onde foram descritas três unidades, ocupando 55% da área estudada.

Quimicamente o mesossoma e o leucossoma do migmatito “Rosa Imperial” são subalcalinos, sendo que o leucossoma tem caráter peraluminoso e o mesossoma metaluminoso. O leucossoma é empobrecido em CaO, P₂O₅, TiO₂, Fe₂O_{3(t)}, Sr, Nb e Ta em relação ao mesossoma, sugerindo que plagioclásio, apatita e biotita foram fases residuais durante o processo de fusão parcial.

Quanto aos aspectos estruturais, ambos domínios estão distribuídos geograficamente em faixas sub-paralelas, alternadas e dobradas, com orientação predominantemente leste-oeste, mostrando a presença de, no mínimo, duas fases de deformação (D2 e D3), caracterizadas por estruturas dúcteis e rúpteis, de escala regional. As estruturas dúcteis são observadas com direção ENE-WSW provavelmente de idade Mesoproterozóica (D2). As estruturas rúpteis são representadas por um sistema de fraturamento regional, datadas possivelmente do Neoproterozóico (Ciclo Brasileiro), com direções preferenciais NE-SW e ENW-WSE e distribuídas regularmente na área mapeada. A fase D3 está aparentemente acompanhada por fraturas de alívio preenchidas por diques pegmatíticos e aplíticos (direção NE-SW principal e NW-SE secundária).

Na área de estudo, as rochas de maior índice de atratividade com fins ornamentais são representadas pelo ortogneisse/migmatito “Rosa Imperial”

(diatexitos do Complexo Belém do São Francisco), pertencente à categoria de rochas movimentadas, as quais foram priorizadas como alvo da investigação.

Em total foram pontuadas 31 ocorrências de rochas para fins ornamentais. Os afloramentos com valores maiores que 60 de IAEG (Índice de Atratividade Econômica-Geológica), representam ocorrências do migmatito “Rosa Imperial”, encontrando-se 15 ocorrências com valores nesta categoria. Estes valores são obtidos com base na soma dos seguintes fatores predominantes: cores da rocha, dureza relativa, texturas e estruturas, densidade de fraturamento/xenólitos, modo de ocorrência, relevo, infra-estrutura disponível e localização. Os maiores valores obtidos estão localizados na região central da faixa de diatexitos, entre os povoados de São Pedro e Volta do Rio, relacionados geológica e estruturalmente a stocks de granodiorito/tonalito/quartzo-diorito.

O migmatito “Rosa Imperial” apresenta aspecto estético-decorativo muito agradável e de alta cotação e procura no mercado internacional. Este alvo de pesquisa, nos poderá levar à descoberta de novos jazimentos e sua caracterização tecnológica.

Palavras chaves: Garanhuns, migmatito “Rosa Imperial”, rocha ornamental.

ABSTRACT

The lithological units constituent of the "Rosa Imperial" migmatite are representatives of metamorphic complexes of high degree of possible Mesoproterozoic age in Pernambuco-Alagoas Massif/Terrane, Southern Domain of the Borborema Province.

It was identified the occurrence of two domains, a supracrustal or paraderivade, geological it belongs to Cabrobó Complex, constituted by two units, occupying 45% of the area. It is other metaplutonic or ortoderivade domain inserted in Belém of San Francisco Complex, where three units were described, occupying 55% of the studied area.

Chemically the mesosome and the leucosome of the "Rosa Imperial" migmatite are subalkaline, the leucosome has character peraluminous and the mesosome character metaluminous. The leucosome is depleted in CaO, P₂O₅, TiO₂, Fe₂O₃(t), Sr, Nb and Ta in relation to the mesosome, suggesting that plagioclase, apatite and biotite were residual phases during the process of partial melt.

With relationship to the structural aspects, both domains are distributed geographically in sub-parallel, alternate and folding strips, with orientation predominantly east-west, showing the presence of, at least, two deformation phases (D2 and D3), characterized by ductile structures and brittle, of regional scale. The ductile structures are probably observed with direction ENE-WSW of Mesoproterozoic age (D2). The brittle structures are represented by a system of regional breaking, dated possibly of Neoproterozoic (Brazilian Cycle), with preferential directions NE-SW and ENW-WSE and regularly distributed in the mapping area. The D3 phase is seemingly accompanied by relief fractures filled by dikes pegmatitic and aplitic (direction NE-SW main and NW-SE secondary).

In the study area, the rocks of larger attractiveness index with ornamental ends are represented by the orthogneiss "Rosa Imperial" migmatite (diatexites of

Belém de San Francisco Complex), belonging to the category of busy rocks, which were prioritized as objective of the investigation.

In total 31 occurrences of rocks were punctuated for ornamental ends. The blooming with larger values than 60 of IAEG (Index of Attractiveness Economic-Geological), they represent occurrences of the "Rosa Imperial" migmatite, meeting 15 occurrences with values in this category. These values are obtained with base in the sum of the following predominant factors: colors of the rock, relative hardness, textures and structures, fracturing/xenolites density, occurrence way, relief, available infrastructure and location. The largest obtained values are located in the central area of the diatexites strip, among São Pedro and Volta do Rio towns, geological and estruturalling related the granodiorite/tonalite/quartz-diorite stocks.

The "Rosa Imperial" migmatite presents very pleasant aesthetic-ornamental aspect and of high quotation and it seeks in the international market. This research objective, it can take us to the discovery of new mining areas and its technological characterization.

Key words: Garanhuns, "Rosa Imperial" migmatite, ornamental rocks.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS

APRESENTAÇÃO

RESUMO

ABSTRACT

1. CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	25
1.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	25
1.2 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	26
1.3 OBJETIVOS.....	27
1.4 METODOLOGIA	28
1.5 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS.....	31
1.5.1 Clima e Vegetação.....	31
1.5.2 Hidrografia e Relevo.....	32
2. CAPÍTULO 2 - GEOLOGIA REGIONAL	33
2.1 PROVÍNCIA BORBOREMA: COMPARTIMENTAÇÃO TECTÔNICA...33	33
2.2 LINEAMENTOS OU ZONAS DE CISALHAMENTOS.....37	37
2.3 PLUTONISMO MESOPROTEROZÓICO.....38	38
2.3.1 Plutonismo Cariris Velhos.....39	39
2.4 TERRENO PERNAMBUCO-ALAGOAS.....42	42
2.4.1 Caracterização Tectônica	42
2.4.2 Complexos metamórficos de alto grau.....45	45
2.4.2.1 Complexo Cabrobó.....45	45
2.4.2.2 Complexo Belém do São Francisco.....45	45
2.4.3 Sedimentos Fanerozóicos..... 46	46
2.4.4 Análise dos dados Sm-Nd do Terreno Pernambuco-Alagoas.....46	46
3. CAPÍTULO 3 - REVISÃO CONCEITUAL SOBRE MIGMATITOS	51
3.1 MIGMATITOS.....51	51
3.1.1 Gênese dos migmatitos anatexíticos (metatexitos e diatexitos).....54	54
4. CAPÍTULO 4 - GEOLOGIA LOCAL	61
4.1 UNIDADES LITOLÓGICAS: RELAÇÕES DE CAMPO PETROGRAFIA.....61	61

4.2	COMPLEXO CABROBÓ.....	63
4.2.1	Quartzitos e metarcósios.....	63
4.2.2	Rochas cálcio-silicáticas.....	67
4.2.3	Paragneisses e biotita-xistos.....	67
4.2.4	Migmatitos/gnaisses com protólito metassedimentar (metatexitos).....	70
4.3	COMPLEXO BELÉM DE SÃO FRANCISCO.....	78
4.3.1	Metagranodioritos a metadioritos/biotita ortogneisses cinzentos e metadioritos.....	78
4.3.2	Ortogneisses/migmatitos: granodioríticos/tonalíticos, cálcioalcalinos e potássicos.....	88
4.3.3	Leucogranitos.....	110
4.3.4	Anfibolito.....	114
4.4	ASPECTOS ESTRUTURAIS.....	114
4.5	EVOLUÇÃO PETROGENÉTICA	115
5.	GEOQUÍMICA	117
5.1	INTRODUÇÃO.....	117
5.2	ELEMENTOS MAIORES.....	120
5.3	ELEMENTOS TRAÇO.....	125
5.4	ELEMENTOS TERRAS RARAS.....	130
5.5	DIAGRAMAS MULTIELEMENTARES (ARANHAGRAMAS).....	133
5.6	GEOTERMOMETRIA.....	135
5.7	AMBIENTES TECTÔNICOS.....	137
5.8	RESULTADOS.....	141
6.	GEOLOGIA APLICADA	143
6.1	DEFINIÇÃO E CARACTERÍSTICAS DAS ROCHAS ORNAMENTAIS.....	143
6.1.1	Introdução.....	143
6.1.2	Definição e características das rochas ornamentais.....	144
6.2	CARACTERÍSTICAS DA PROSPECÇÃO GEOLÓGICA COM FINS ORNAMENTAIS.....	145
6.3	ROCHAS ORNAMENTAIS NO ESTADO DE PERNAMBUCO.....	153
6.4	ASPECTOS PETROGRÁFICOS DA DETERIORAÇÃO DE ROCHAS ORNAMENTAIS UTILIZADAS EM REVESTIMENTO.....	155
6.4.1	Características petrográficas no estudo microscópico.....	162
6.5	IMPACTOS AMBIENTAIS NA EXTRAÇÃO DE ROCHAS ORNAMENTAIS.....	163
6.5.1	Desperdício na indústria de extração e beneficiamento de rochas com fins ornamentais.....	166
6.6	CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA.....	167
6.7	TENSÕES NAS ROCHAS.....	174
6.7.1	Tensões tectônicas e residuais.....	175
6.7.1.1	Tensões tectônicas.....	175
6.7.1.2	Tensões residuais.....	175
6.8	CONTROLE GEOLÓGICO DO MIGMATITO “ROSA IMPERIAL”.....	180

7. CONCLUSÕES	185
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	189

ANEXOS

LISTA DAS TABELAS

- Tabela 01:** Análises químicas de rocha total para elementos maiores, elementos traço e elementos terras raras das rochas constituintes do leucossoma e mesossoma do migmatito “Rosa Imperial”.....118
- Tabela 01 (continuação):** Análises químicas de rocha total para elementos maiores, traço e terras raras das rochas constituintes do leucossoma e mesossoma do migmatito “Rosa Imperial”119
- Tabela 02:** Valores obtidos de Geotermometria usando o Método dos teores de Zr em rocha total (Watson, 1987) em rochas graníticas, para as rochas do leucossoma granítico do migmatito “Rosa Imperial”.....136
- Tabela 03:** Fases iniciais do planejamento de rochas para fins ornamentais (Macêdo, 1998).....147
- Tabela 04:** Efeitos dos fatores do meio sobre a resistência das rochas que podem ser utilizadas com fins ornamentais (Amadei, 1996; Amadei & Stephansson, 1997).....156
- Tabela 05:** Valores de Especificações ASTM e de testes em Rochas Brasileiras (Frazão et al., 1996; Rolim Filho, 1996).....169
- Tabela 06:** Ensaio de Caracterização Tecnológica. Fonte: IPT-1990, Catálogo de Rochas para fins Ornamentais, São Paulo.....172
- Tabela 07:** Relação de forças tectônicas e sua atuação (Zoback et al., 1989).....176
- Tabela 08:** Relação das mais importantes ocorrências ou jazidas para fins ornamentais na área estudada. Pontuados segundo o Índice de Atratividade Econômico-Geológico com a finalidade de localizar corpos com interesse imediato para prospecção e controle do migmatito “Rosa Imperial”.....182

LISTA DAS FIGURAS

- Figura 01:** Mapa de Localização da área estudada ao norte-nordeste da cidade de Garanhuns-PE, Nordeste Brasileiro.....27
- Figura 02:** Compartimentação da Província de Borborema em domínios e terrenos tectono-estratigráficos, segundo Santos (1998), com a localização da Folha Garanhuns.....36
- Figura 03:** Esboço geológico da Folha Garanhuns (SC.24-X-B), segundo Medeiros (1998).....44
- Figura 04:** Tipos de migmatitos: (a) Agmatito; (b) Dictionito ou dictionítico; (c) Migmatito-*Schollen*; (d) Flebítico; (e) Estromático; (f) Migmatito surreítico; (g) Migmatito com dobras; (h) Veios ptigmáticos; (i) Estrutura oftálmica ou *augen*; (j) Estrutura estictolítica ou *fleck*; (k) Estrutura *schlieren*; (l) Estrutura nebulítica. (Mehnert, 1968).....53
- Figura 05 a:** Diagrama de fluxo ilustrando a evolução dos estágios postulados para o modelo de fusão parcial com extração parcial do fundido e retro-reações em um sistema fechado para migmatitos anatexíticos, segundo Kriegsman (2001).....58
- Figura 05 b:** Diagrama de fluxo ilustrando o modelo dos protólitos diferenciados ara os migmatitos anatexíticos, segundo Johannes & Gupta (1982), Johannes (1983, 1985, 1988) e Ashworth (1976,1985).....59
- Figura 05 c:** Representação esquemática (similar à figura anterior 05 b) ilustrando o modelo dos protólitos diferenciados ara os migmatitos anatexíticos, segundo Johannes & Gupta (1982), Johannes (1983, 1985, 1988) e Ashworth (1976,1985)..... 60
- Figura 06:** Classificação petrográfica do leucossoma (círculos vermelhos) e do mesossoma dos diatexitos da área a norte-nordeste de Garanhuns, segundo o Diagrama QAP de Streckeisen (1976).....95
- Figura 07:** Diagrama TAS para os migmatitos tipo “Rosa Imperial”. **Legenda:** círculo vermelho: leucossoma granítico; quadrado azul: mesossoma granodiorítico.....120
- Figura 08:** Diagrama AFM (Irvine & Baragar, 1971) para os migmatitos tipo “Rosa Imperial”. **Legenda:** círculo vermelho: leucossoma granítico; quadrado azul: mesossoma granodiorítico.....121
- Figura 09:** Diagrama A/NK versus A/CNK com os campos de Maniar & Picolli (1989) para os migmatitos tipo “Rosa Imperial”. **Legenda :** ANK: $Al_2O_3/(Na_2O+K_2O)$; ACNK: $Al_2O_3/(CaO+Na_2O+K_2O)$; círculo: leucossoma granítico; quadrado azul:

mesossoma granodiorítico.....122

Figura 10: Diagrama ternário CaO-Na₂O-K₂O para os migmatitos tipo “Rosa Imperial”. **Legenda:** círculo vermelho: leucossoma granítico; quadrado azul: mesossoma granodiorítico. As setas representam os *trends* cálcio-alcálico (CA) e trondhjemítico (TR).....123

Figura 11: Diagramas de variação tipo Harker para elementos maiores, usando SiO₂ como índice de diferenciação, para os migmatitos tipo “Rosa Imperial”. **Legenda:** Círculo vermelho: leucossoma granítico; quadrado azul: mesossoma granodiorítico.....124

Figura 12: Diagrama ternário Rb-Sr-Ba, segundo El Bouseily & El Sokkary (1975), tomado como referencia para os migmatitos tipo “Rosa Imperial”. **1:** granitos fortemente diferenciados; **2:** granitos comuns (*normal granites*); **3:** granitos anômalos; **4:** granodioritos; e **5:** dioritos. **Legenda:** Círculo vermelho: leucossoma granítico; quadrado azul: mesossoma granodiorítico.....126

Figura 13: Diagramas de variação tipo Harker para elementos traços incompatíveis LIL (Ba, Rb, Sr e Cs) e actinídeos (U e Th), usando SiO₂ como índice de diferenciação, para os migmatitos tipo “Rosa Imperial”. **Legenda:** Círculo vermelho: leucossoma granítico; quadrado azul: mesossoma granodiorítico.....127

Figura 14: Diagramas de variação tipo Harker para elementos traços incompatíveis HFS (Ta, Nb, Hf, Zr, Sc e Y), usando SiO₂ como índice de diferenciação, para os migmatitos tipo “Rosa Imperial”. **Legenda:** Círculo vermelho: leucossoma granítico; quadrado azul: mesossoma granodiorítico.....128

Figura 15: Diagramas de variação tipo Harker para elementos traços compatíveis (Ni, Cu, Co, Zn e V), usando SiO₂ como índice de diferenciação, para os migmatitos tipo “Rosa Imperial”,. **Legenda:** Círculo vermelho: leucossoma granítico; quadrado azul: mesossoma granodiorítico.....129

Figura 16a: Diagramas de variação tipo Harker para elementos terras raras leves (La, Ce, Pr, Nd, Sm e Eu), usando SiO₂ como índice de diferenciação, para os migmatitos tipo “Rosa Imperial”. **Legenda:** Círculo vermelho: leucossoma granítico; quadrado azul: mesossoma granodiorítico.....130

Figura 16b: Diagramas de variação tipo Harker para elementos terras raras pesados (Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb e Lu), usando SiO₂ como índice de diferenciação, para os migmatitos tipo “Rosa Imperial”. **Legenda:** Círculo vermelho: leucossoma granítico; quadrado azul: mesossoma granodiorítico.....131

Figura 17a: Diagrama de variação para elementos terras raras, normalizado para o Condrito de Nakamura (1977), para os migmatitos tipo “Rosa Imperial”. **Legenda:** Círculo: leucossoma granítico.....132

Figura 17b: Diagrama de variação para elementos terras raras, normalizado para o Condrito de Nakamura (1977), para os migmatitos tipo “Rosa Imperial”. **Legenda:**

- Quadrado: mesossoma granodiorítico.....133
- Figura 18a:** Diagrama multielementar (aranhagrama) normalizado para o manto primitivo (Wood, 1980) para os migmatitos tipo “Rosa Imperial”. **Legenda:** Círculo leucossoma granítico.....134
- Figura 18b:** Diagrama multielementar (aranhagrama) normalizado para o manto primitivo (Wood, 1980) para os migmatitos tipo “Rosa Imperial”. **Legenda:** Quadrado: mesossoma granodiorítico.....135
- Figuras 19a:** Diagrama discriminante de ambientes tectônicos para rochas graníticas (Rb vs. Y+Nb), para o migmatito (diatexito) tipo “Rosa Imperial”, segundo Pearce et al. (1984). **Legenda:** Círculo vermelho: leucossoma granítico, quadrado azul: mesossoma granodiorítico.....139
- Figuras 19b:** Diagrama discriminante de ambientes tectônicos para rochas graníticas (Nb vs. Y), para o migmatito (diatexito) tipo “Rosa Imperial”, segundo Pearce et al. (1984). **Legenda:** Círculo vermelho: leucossoma granítico, quadrado azul: mesossoma granodiorítico.....139
- Figura 20:** Diagrama R1-R2 discriminante de ambientes tectônicos para rochas graníticas, para o migmatito (diatexito) tipo “Rosa Imperial”, segundo Batchelor & Bowden (1985). **Legenda:** Círculo: leucossoma granítico, quadrado: mesossoma granodiorítico.....140
- Figura 21:** Diagrama Nb versus SiO₂ com o campo discriminante de granitóides de refusão crustal para rochas graníticas, para o migmatito (diatexito) tipo “Rosa Imperial”, segundo Pearce & Gale (1975). **Legenda:** Círculo vermelho: leucossoma granítico, quadrado azul: mesossoma granodiorítico.....141
- Figura 22:** Classificação das rochas no triângulo de Streckeisen (Diagrama de Classificação de Rochas Ígneas - 1976), e sua variação com relação à aplicabilidade para fins ornamentais (Melo, 1998).....173
- Figura 23:** Apresenta um esboço da escala de atuação das forças tectônicas, cujos eventos estão numerados e agrupados na Tabela 07 (Zoback et al., 1989).....176

LISTA DE FOTOGRAFIAS

- Fotografia 01:** Quartzito intemperizado, mostrando estruturas reliquiares de acamamento e mergulho das camadas, cortadas por fraturamentos regulares. Direção do acamamento: 118°Az. Fraturamento principal: direção 250°Az, mergulho: 24°/SW (afloramento 42, ao sul do Sítio Gameleira).....65
- Fotografia 02:** Quartzito dobrado, extremamente intemperizado. As dobras são regulares, com vergência para 173° Az e mergulho de 40°/NW (afloramento 15, área leste da Serra da Suçuarana).....65
- Fotografia 03:** Observa-se o contraste entre o relevo arrasado dos migmatitos (metatexitos e diatexitos) e o relevo colinoso dos quartzitos. Esta fotografia foi tomada entre o afloramento 47 (quartzito) e o afloramento 48 (metatexito). Afloramentos localizados entre os Sítios Cachoeirinha e Varzinha.....66
- Fotografia 04:** Contato entre o biotita-xisto migmatizado, protólito do metatexito e um dique granítico. O biotita-xisto mostra intercalações de leucossoma ao longo dos planos de foliação, talvez gerado por segregação pegmatóide (afloramento 66, localizado ao norte do Sítio Paulista).....68
- Fotografia 05:** Vista geral dos biotita-xistos migmatizados (estromáticos), protólitos dos metatexitos. Observam-se lentes de leucossoma intercalados nos planos de foliação (afloramento 66, localizado ao norte do Sítio Paulista). Se observa feições de cisalhamento simples dextral. A foliação é sub-horizontal de orientação Norte-Sul.....69
- Fotografia 06:** Metatexito passando a granito foliado. As porções onde domina o metatexito conferem um aspecto listrado à rocha, de boa aceitação estético decorativa para uso com fins ornamentais. Observam-se zonas de cisalhamento (provavelmente extensionais) preenchidas por leucossoma granítico (afloramento 30, Sítio Riacho).....71
- Fotografia 07:** Dobras intrafoliais regulares no metatexito, mesossoma tonalítico e leucossoma dobrados e afetados por duas fases D2 e D3, (afloramento 65, zona de dobras do Sítio Cachoeirinha).....71
- Fotografia 08:** Metatexito cinza escuro de aspecto heterogêneo, textura estromática (mesossoma diorítico), englobadas por granito intrusivo com enclaves máficos deslocados. Observam-se duas gerações de leucossoma granítico, uma intercalada com o melanossoma biotítico e outra intrusiva que trunca discordantemente à estrutura bandada (Sítio Capim Grosso).....73
- Fotografia 09:** Metatexito foliado. A fotografia mostra a foliação principal **c** (direção 235°Az) e a foliação secundária **s** (direção 204°Az) (afloramento 48, Sítio Pitombeira).....74

- Fotografia 10:** Metatexito foliado. Observa-se o aspecto dobrado e redobrado das faixas de leucossoma e mesossoma, evidenciando as várias fases de deformação. Exibe-se na porção central da fotografia zonas de cisalhamento sinistrais (afloramento 48, Sítio Pitombeira).....74
- Fotografia 11:** Metatexito cinza escuro de textura estromática (mesossoma diorítico), apresentando bandas restíticas de melanossoma biotítico. Observa-se zonas de cisalhamento pós-migmatização, com rejeito sinistral. A zona de cisalhamento central desenvolve-se em regime frágil ou dúctil-frágil (Sítio Capim Grosso).....75
- Fotografia 12:** Metatexito mostrando estruturas oftalmíticas dadas pelos feldspatos estrangulados em forma de olhos (*augën*), alinhados formados boudins. A rocha aqui pode ser considerada um milonito ou um *augën*-gnaisse em zona de alto *strain*, critérios cinemáticos indicam rejeito dextral (afloramento 48, Sítio Pitombeira).....76
- Fotografia 13:** Na parte inferior da fotografia observa-se o metatexito na forma de bandamento migmatítico dobrado, com zonas de cisalhamento sinistrais, com mesossoma de composição tonalítica grosseira a média. Na porção central, mostra-se um veio pegmatítico intrusivo ao longo das zonas de cisalhamento cortando o metatexito. Na porção superior exibe-se o ortogneisse cinza (afloramento 48, Sítio Pitombeira).....77
- Fotografia 14:** Metagranodiorito aflorando sob a forma de maciço rochoso, as rochas ocorrem levemente abauladas quase concordantes com a superfície do terreno, muito fraturadas. Indicado para a produção de ladrilhos para calçamento e brita, mas não para extração de blocos (afloramento 32, nordeste do Sítio Lagoa da Pedra).....78
- Fotografia 15:** Metagranodiorito aflorando sob a forma de maciço rochoso, muito fraturado, indicado para a produção de ladrilhos para calçamento e brita, mas não para extração de blocos (afloramento 32, nordeste do Sítio Lagoa da Pedra).....79
- Fotografia 16:** Metagranodioritos ocorrendo sob a forma de blocos soltos, próximo à Pedreira Ferreira Costa (afloramento 71, oeste de Lagoa da Pedra).....79
- Fotografia 17:** Contato retilíneo entre o metagranodiorito (possivelmente fase intrusiva) e o migmatito diatexítico tipo “Rosa Imperial” (afloramento 11, localizado ao norte da cidade de São Pedro).....80
- Fotografia 18:** Observa-se um afloramento com mesossoma tonalítico-diorítico exibindo apófises do leucossoma diatexítico tipo “Rosa Imperial” (fase intrusiva) penetrando no metagranodiorito, aproveitando os planos de fraqueza do mesmo (direção: 250° Az). No canto esquerdo da fotografia se vêem porções do metatexito cinzento, englobado pelo migmatito diatexítico tipo Rosa Imperial (afloramento 11, localizado ao norte da cidade de São Pedro).....81

- Fotografia 19:** Metagranodiorito, mesossoma diorítico e de leucossoma granítico, com porções (restitos) de melanossoma biotítico. Observa-se no centro da fotografia uma zona de cisalhamento com rejeito dextral (afloramento 12, localizado ao norte da cidade de São Pedro).....81
- Fotografia 20:** Metagranodiorito com mesossoma diorítico e filmes de leucossoma granítico com bolsões (restitos) de melanossoma biotítico. No centro da fotografia observam-se estruturas de cisalhamento com rejeito dextral (afloramento 58, localizado no sul do Sítio Cachoeira, ao norte da área estudada).....82
- Fotografia 21:** Mesossoma quartzo-diorítico com veios de leucossoma granítico de fácies potássicas (rósea), englobando porções de mesossoma, muito fraturado. O leucossoma corresponde a 10 a 15% do volume total da rocha (afloramento 58, localizado no sul do Sítio Cachoeira, ao norte da área estudada).....83
- Fotografia 22:** Fotomicrografia de biotitas alinhadas formando faixas paralelas, (amostra CH-GW-13).....84
- Fotografia 23:** Fotomicrografia de biotita cloritizando nas bordas, indicando aporte de fluidos por retrometamorfismo, (amostra CH-GC-32).....85
- Fotografia 24:** Fotomicrografia de plagioclásio mostrando geminação polissintética conjugada com geminação Carlsbad, contendo inclusões de opacos, fortemente alterado, (amostra CH-GC-32).....85
- Fotografia 25:** Fotomicrografia de K-feldspato alterado para sericita e argilominerais, (amostra CH-GFC-32).....86
- Fotografia 26:** Fotomicrografia de plagioclásio fraturado, alterado para sericita, com inclusões de opacos, (amostra CH-GW-11).....86
- Fotografia 27:** Fotomicrografia de K-feldspato mostrando linhas de crescimento, contendo inclusões de biotita e quartzo, (amostra CH-GC-32).....87
- Fotografia 28:** Fotomicrografia de plagioclásios alterado para argilominerais e sericita, o plagioclásio da direita contém diversas inclusões de quartzo, (amostra CH-GC-38).....87
- Fotografia 29:** Ortognaisse cinza/migmatito de composição tonalítica fina, mostrando estruturas *schlieren*, com bolsões de leucossoma contendo granadas ferríferas, zona de *strain* cisalhante mais forte (afloramento 17, localizado entre os Sítios Volta do Rio e Salina).....88
- Fotografia 30:** Ortognaisse cinza/migmatito, mostrando estruturas *schlieren*. A rocha está percolada por uma rede de veios aplíticos e graníticos, separados por mesossoma de composição granodiorítica, espaçados a intervalos regulares de 30 a 40 cm, com direção de 215° Az.; a foliação principal tem direção 125° Az. Observa-se na parte superior da fotografia um dique mesocrático com direção paralela aos veios (afloramento 34, Sítio Gameleira).....89

- Fotografia 31:** Diatexito com mesossoma (ortognaisse cinza) interdigitado afloramento 17, localizado entre os Sítios Volta do Rio e Salina).....90
- Fotografia 32:** Diatexito tipo “Rosa Imperial”, aflorando sob a forma de maciço rochoso mostrando dobras regulares (fase D3) no leucossoma granítico e mesossoma granodiorítico (afloramento 07-A, típico do Complexo Belém do São Francisco).....91
- Fotografia 33:** Migmatito tipo diatexito, cor cinza azulado-creme, mostrando dobras ptigmáticas (afloramento 34, zona de dobras de Gameleira).....91
- Fotografia 34:** Fotomicrografia de granadas fragmentadas em contato com biotitas e muscovitas, (amostra CH-GFC-37 F).....92
- Fotografia 35:** Granito leucocrático contendo cristais eudrais de granada medindo entre 1,0 e 3,0. O granito está em contato difuso com o ortognaisse cinza, observando-se o processo de migmatização de uma metaplutônica (diatexito) (Afloramento 17, entre os Sítios Volta do Rio e Salina).....93
- Fotografia 36:** Diatexito (ortognaisse cinzento) com porções de leucossoma granítico, orientados segundo a direção da foliação 135° Az. (afloramento 17, localizado entre os Sítios Volta do Rio e Salina). Observa-se na porção central da fotografia o dique granítico (contendo granadas ferríferas) preenchendo o fraturamento principal na direção 25°Az.....93
- Fotografia 37:** Detalhe do granito leucocrático granatífero em contato com o mesossoma do diatexito cinzento. Neste local, a textura é mais fina, com cristais de granada menores, da ordem de 0,2 a 0,4 cm (afloramento 17, localizado entre os Sítios Volta do Rio e Salina).....94
- Fotografia 38:** Fotomicrografia de textura mirmequítica em plagioclásio (intercrescimento entre quartzo e plagioclásio), (amostra CH-GC-38 A).....96
- Fotografia 39:** Fotomicrografia de plagioclásio com geminação polissintética mostrando deformação, indicando que a rocha foi submetida a esforços, (amostra CH-GC-34).....97
- Fotografia 40:** Fotomicrografia de biotitas e muscovitas alinhadas segundo duas direções preferenciais, formando um ângulo de 60° entre elas (foliações C e S), (amostra CH-GC-30).....98
- Fotografia 41:** Fotomicrografia de K-feldspato com diversas inclusões de quartzo, (amostra CH-GW-13).....98
- Fotografia 42:** Ortognaisse cinza (diatexito) visto no leito de um riacho, fraturado em várias direções. O fraturamento está preenchido por veios pegmatíticos. Direção do fraturamento principal: 204°Az, com mergulho subvertical; fraturamento secundário: 304°Az, com mergulho de 70° p/40°Az (Sítio Varzinha, no limite exterior sudeste da área pesquisada).....99

- Fotografia 43:** Textura agmatítica no diatexito (estruturas reliquiárias do metatexito). Observa-se o leucossoma granítico de fácies potássica com intercalações de mesossoma máfico e filmes de melanossoma (afloramento 55, localizado ao noroeste do Sítio Capim Grosso).....100
- Fotografia 44:** Ortognaisse cinza com duas gerações de leucossomas: uma concordante e outra ortogonal à foliação, associada a zonas de cisalhamento sinistrais. Os leucossomas se apresentam como veios graníticos que intrudem a rocha segundo um padrão reticulado. Contra-indicado para uso como rocha ornamental, devido ao excesso de veios cortando a rocha (afloramento 27, localizado entre os povoados de Riacho e Lagoa).....101
- Fotografia 45:** Diatexito potássico mostrando enclaves máficos de composição biotita-diorítico, exibindo zona de cisalhamento com rejeito dextral, conferindo aspecto heterogêneo (afloramento 55, localizado ao noroeste do Sítio Capim Grosso).....101
- Fotografia 46:** Na porção superior exhibe-se lentes de metamáficas ou metadioritos (mesossoma máfico) que podem ser relictos da primeira unidade metaplutônica (indicando possivelmente uma tectônica contracional, com as lentes máficas sugerindo transporte *up-dip* e observando-se migmatização penetrando a superfície de *thrust*). Na porção inferior observa-se o ortognaisse cinza exibindo leucossoma granítico, a foliação apresenta orientação 340° Az. A parte inferior direita da fotografia mostra porções reliquiárias do metatexito (afloramento 17, localizado entre os Sítios Volta do Rio e Salina).....102
- Fotografia 47:** Fotomicrografia de granadas fragmentadas em contato com biotitas e muscovitas, (amostra CH-GFC-37 F).....103
- Fotografias 48 e 49:** Fotomicrografias de biotita alterando nas bordas para muscovita e clorita. O K-feldspato também mostra alteração para sericita, ao longo dos planos de clivagem. O quartzo mostra-se inalterado, (amostra CH-GFC-37 A).....104
- Fotografia 50:** Fotomicrografia de textura mirmequítica em plagioclásio, (amostra CH-GFC-37 A).....105
- Fotografia 51:** Fotomicrografia da assembléia mineral típica do granodiorito. observa-se a abundância de minerais máficos, constituindo 50% da lâmina: piroxênio, anfibólio, biotita. Como acessórios, observam-se agulhas de apatitas (vide setas), (amostra CH-GC-38 B).....106
- Fotografia 52:** Fotomicrografia da observação em maior detalhe do granodiorito. Observa-se a aparência quase eudral de um anfibólio, o qual mostra clivagem perfeita, formando planos de 60° e 120°, estando corroído numa das bordas, (amostra CH-GC-38 B).....107
- Fotografia 53:** Diatexito mostrando porções com textura nebulítica (afloramento 17, localizado ao norte do Sítio Volta do Rio). Aprecia-se o leucossoma leucogranítico com uma faixa (restito) de melanossoma orientado segundo a direção do

fraturamento 140° Az. Na porção superior observa-se o mesossoma (ortognaisse cinza) mais homogêneo de composição granodiorítica. Na parte central observa-se zonas de cisalhamentos (sinistrais).....108

Fotografia 54: Diatexito tipo “Rosa Imperial” mostrando neossoma granítico no fácies potássico (rosa) exibindo dobramento (fase D3) desenhado por lentes de mesossoma. Observa-se na porção da esquerda zonas de cisalhamentos - sinistrais (afloramento 53, ao leste do Sítio Lagoa da Pedra).....108

Fotografia 55: Zona de contato entre o metatexito variando a granito foliado, a rocha apresenta excelente potencial para rocha ornamental: é homogênea, pouco fraturada, apresenta ausência de xenólitos, poucos pontos de alteração e bom padrão estético-decorativo (afloramento 30-A, Sítio Riacho).....111

Fotografia 56: Fotomicrografia de biotitas margeando quartzos e feldspatos em forma de “olhos” (augen), indicando deformação da rocha, (amostra CH-GC-33)..112

Fotografia 57: Fotomicrografia de granadas subédricas, isotrópicas, em contato com biotitas e muscovitas, (amostra CH-GFC-37 F).....113

Fotografia 58: Frente de lavra na Pedreira de Ferreira Costa, mostrando a ocorrência do mesossoma máfico (quartzo-diorito) englobado pelo neossoma félsico no fácies potássico (álcali-feldspato granito róseo). Neste caso é necessário um processo de lavra mais seletivo.....149

Fotografia 59: Frente de lavra com extração de blocos pelo método de bancadas horizontais. Na parte superior da fotografia vêem-se perfuratrizes. O maciço rochoso do migmatito “Rosa Imperial” apresenta uma reserva estimada em mais de 1.500.000 m³, está minerado pela Empresa Ferreira Costa Minerações Ltda., que extrai mensalmente entre 150 a 200 m³ em blocos do jazimento. No processo de extração, a empresa utiliza a serração contínua para o corte lateral de bancada, seguido do fio diamantado para o corte longitudinal e furos de bancada para a liberação da frente. Após a liberação da bancada, a mesma é subdividida em blocos através de corta-blocos.....152

Fotografia 60: Exibe-se nesta rocha uma grande variação de padrão estético e é um exemplo, dentro da Pedreira de Ferreira Costa de uma área com valor comercial reduzido, por estar percolada por veios de leucossoma de composição cálcio-sódica (branca), enquanto o leucossoma tem composição potássica (rosa).....157

Fotografia 61: Vista panorâmica da Pedreira Ferreira Costa, localizada dentro da área estudada. Observa-se a grande quantidade de rejeitos e blocos de dimensões inadequadas, indicando o baixo aproveitamento da jazida.....165

Fotografia 62: Frente de lavra da Mineração Ferreira Costa, na qual são observados fraturamentos subhorizontais e subverticais provocados por liberação de tensões de alívio no maciço rochoso, após extração dos blocos. Próximo aos fraturamentos regionais, geralmente não ocorrem estas fraturas, pois as rochas já liberaram as tensões de alívio anteriormente. Também observa-se algumas porções onde

predomina o mesossoma máfico, inviabilizando o uso comercial destes blocos.....178

Fotografia 63: Frente de lavra da Mineração Ferreira Costa, na qual são observados fraturamentos subhorizontais e subverticais provocados por liberação de tensões de alívio no maciço rochoso. Possivelmente os sistemas de extração aplicados não são os mais adequados, faltando um estudo geológico e de tensões locais e regionais mais acurado.....179

Fotografia 64: Exemplo de rocha contra-indicada para a extração de blocos para uso como rocha ornamental: intenso fraturamento, bastante percolada por veios pegmatíticos. Trata-se de um granito cinza com porções reliquiares de metatexitito. Foi explorado e depois abandonada (afloramento 33). É importante definir ao máximo, a presença e distribuição espacial das descontinuidades (falhas, veios, fraturas de resfriamento, tectônicas, juntas de estratificação, etc.), bem como os defeitos da rocha (anomalias e diferenciações de composição, presenças de elementos de alteração, porosidade, microfraturamentos dos cristais, entre outros), capazes de influenciar diretamente na comercialização do material em questão.....180

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

A região Nordeste do Brasil é possuidora de um enorme potencial geológico de rochas ornamentais (granitos, gnaisses, migmatitos, sienitos, dioritos, mármore, calcários, quartzitos, arenitos e conglomerados).

A Província Borborema não possui uma vocação mineira, voltada para jazidas de minerais metálicos. A atividade mineira da região, excetuando-se o Estado da Bahia, é restrita a algumas ocorrências minerais, exploradas em nível de garimpagem rudimentar ou semi-mecanizada. Na verdade, o potencial mineiro do Nordeste Oriental situa-se no grupo dos chamados “Minerais Industriais”, destacando-se o Pólo Gesseiro do Araripe, rochas calcárias com aplicações diversas na indústria e as rochas ornamentais (granitos), ocorrendo principalmente nos terrenos pré-cambrianos.

Não obstante o grande impulso que tomou o setor de rochas ornamentais no Nordeste nos últimos 20 anos, existe ainda um vazio em termos de conhecimentos geológicos das áreas pré-cambrianas em relação ao assunto, bem como falta conhecimento tecnológico no tocante aos processos de lavra e beneficiamento de chapas.

A cartografia geológica da região, em geral em escala de reconhecimento, além da precariedade no detalhamento dos litotipos, não apresenta um direcionamento para a temática das rochas ornamentais.

A viabilização de uma ocorrência mineral de rocha ornamental em uma jazida necessita de uma série de estudos geológicos detalhados, tais como levantamento dos litotipos aflorantes, avaliação estrutural, grau de intemperismo, além de estudos petrográficos e ensaios tecnológicos.

A realização de negócios com rochas ornamentais pressupõe o conhecimento integrado de todos os segmentos de atividade afetos ao setor, tanto de pesquisa geológica, caracterização tecnológica e lavra, quanto de transporte, beneficiamento, *marketing* e comercialização. Fatores geológicos condicionam as características de ocorrência dos materiais, devendo-se identificar e avaliar tais fatores, em bases técnicas adequadas, como suporte para a tomada de decisões.

As faixas potenciais e a forma de distribuição das rochas, a ocorrência dos materiais comuns, clássicos ou excepcionais, as feições estéticas esperadas, o quadro aproximado de reservas, as perspectivas de alteração físico-química dos produtos aplicados, a dimensão dos blocos lavráveis e o próprio método mais recomendado de lavra, entre outros parâmetros de interesse, podem ser inferidos através de condicionantes geológicas regionais e locais (Chiodi Filho, 1995), os quais trataremos de pesquisar e avaliar antes de atribuir favorabilidade na área pesquisada, em relação ao migmatito denominado “Rosa Imperial”.

Tendo em vista o interesse comercial crescente por “rochas movimentadas” (gnaisses e migmatitos), escolheu-se a região de Garanhuns como objeto de estudo por abrigar um importante jazimento desse tipo de material (“Rosa Imperial”), na tentativa de estabelecer controles geológicos desses litotipos e paralelamente dar uma contribuição ao conhecimento geológico-petroológico da região.

1.2 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Dentro do Domínio Meridional foi destacada para nosso estudo uma área de cerca de 260 km² (tendo forma retangular com lado maior na direção oeste-leste), localizada (**Figura 01**) entre os paralelos 8°46'00” e 8°52'00” de latitude sul e os meridianos 36°18'00” e 36°30'00” de longitude oeste de Greenwich, na Folha Garanhuns (SC.24-F-IV), sendo mapeada na escala de trabalho de 1:50.000 e impressa na escala gráfica 1:90.000 (**Anexo 1**). Esta área está localizada ao norte-nordeste da cidade de Garanhuns, incluindo os municípios de São Pedro, Neves e São João e alguns povoados pequenos e/ou sítios tais como: Volta do Rio, Capim Grosso, Sítio Riacho, Cachoeirinha, Papa Terra, Várzea de Barro entre os principais.

O acesso à área pesquisada desde a cidade de Recife é realizado pela rodovia federal BR-232 que une Recife a São Caetano, e depois pela BR-423 de São Caetano até Garanhuns. São observadas outras estradas, todavia não-pavimentadas, a partir das rodovias mencionadas, que unem os municípios com os povoados pequenos da região, além de caminhos transitáveis que ligam fazendas e sítios com as cidades.

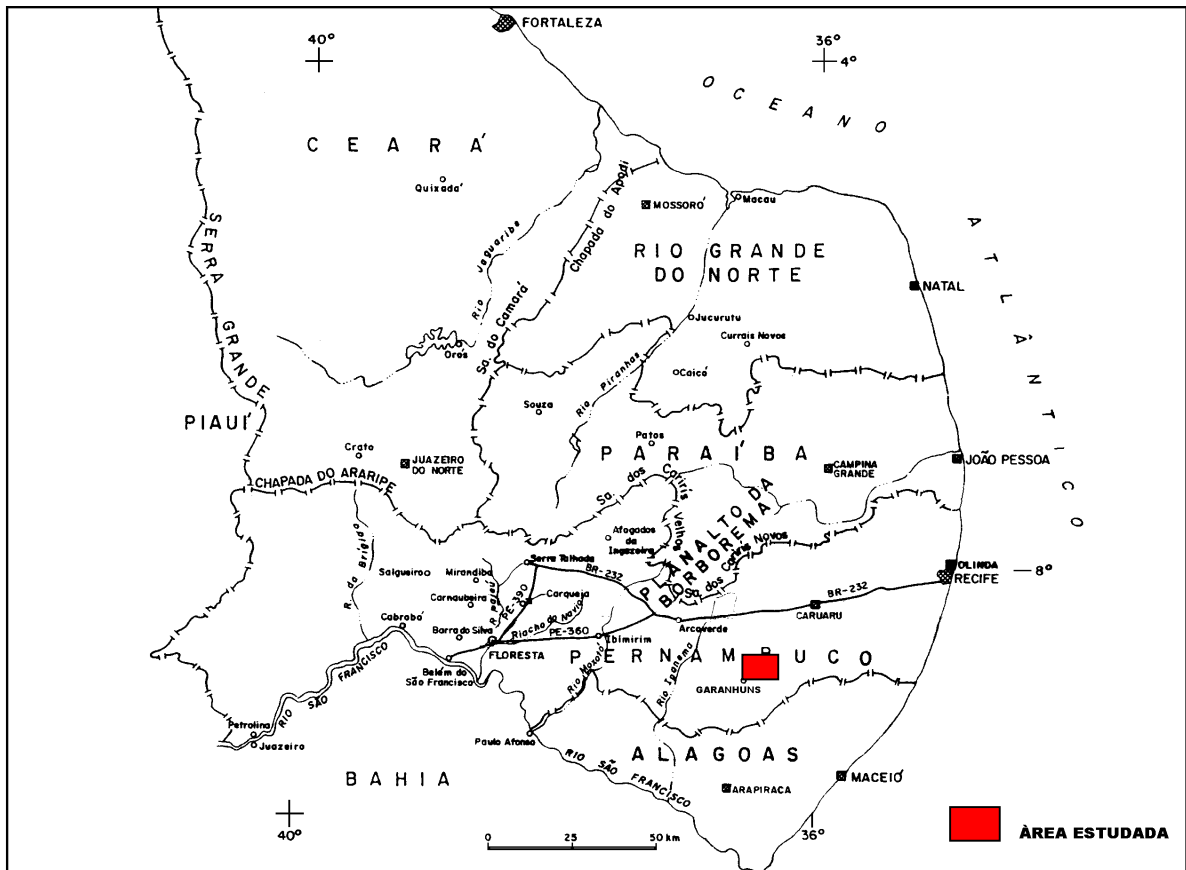


Figura 01: Mapa de Localização da área estudada ao norte-nordeste da cidade de Garanhuns-PE, Nordeste Brasileiro.

1.3 OBJETIVOS

Esta pesquisa tem como objetivo a identificação de afloramentos e zonas propícias à prospecção para uso como rocha ornamental de granitos e migmatitos na área de estudo (260 Km² aproximadamente) da Folha Garanhuns (no âmbito dos Complexos Belém do São Francisco e Cabrobó), no Domínio Meridional da Província Borborema, pretendendo-se a identificação de novas jazidas.

Basicamente o estudo compreende o controle geológico do migmatito “Rosa Imperial”, o qual apresenta aspecto estético-decorativo muito agradável e muito alta cotação e procura no mercado internacional. Atualmente uma jazida deste migmatito é explorada pela Mineração Ferreira Costa. O reconhecimento geológico e estrutural

(tectônico) deste migmatito servirá para um melhor conhecimento dos processos geológicos, geoquímicos e petrogenéticos ocorridos nos migmatitos da área (rochas movimentadas em geral), além da identificação de possíveis novas jazidas, os quais poderão servir de subsídio para futuros estudos dos migmatitos das áreas vizinhas, os quais apresentam potenciais similares para uso como rocha ornamental.

O migmatito “Rosa Imperial” aflora em forma de faixas dobradas no quadrante norte da cidade de Garanhuns, encontrando-se também nas zonas central e sul da Folha Venturosa e seu controle litológico e estrutural está associado à presença de corpos de granodiorito/tonalito/quartzo-dioritos, aflorantes em forma de faixas paralelas às faixas dos migmatitos. O migmatito “Rosa Imperial” pertence à categoria das rochas movimentadas, constituindo um migmatito homogêneo do tipo diatexito, com predominância de estruturas nebulíticas e dobradas, exibindo-se ainda os tipos homófanos e *schlieren*.

O migmatito “Rosa Imperial” na Folha Garanhuns ocorre associado aos Complexos Belém do São Francisco e Cabrobó, constituindo um amplo maciço situado entre as cidades de Pesqueira, Garanhuns e Iati. Ocorrem associados ao migmatito “Rosa Imperial”, os migmatitos róseos de Iati e o tipo “Relíquia”, aflorantes ao norte de Garanhuns. Os tipos em questão, constituem fácies de uma mesma seqüência migmatítica, destacando-se o “Rosa Imperial” que por dispor de um maior equilíbrio entre os feldspatos potássicos e cálcio-sódicos, apresenta uma tonalidade rosa mais suave e uma aparência estética muito agradável.

Foram definidos os controles geológicos, litológicos e estruturais do migmatito “Rosa Imperial”, visando uma melhor caracterização desta rocha ornamental, por sua alta cotação no mercado internacional (atualmente com preços de U.S.\$ 600,00/m³ em bruto). Este alvo de pesquisa poderá levar à descoberta de novos jazimentos de granitos movimentados.

Por fim, será apresentado um mapa geológico-estrutural na escala trabalhada de 1:50.000 (**Anexo 1**, 1:90.000 escala gráfica), mostrando também a localização de áreas potenciais para a exploração deste migmatito com fins ornamentais (**Anexo 2**).

1.4 METODOLOGIA

Esta pesquisa é resultado de um mapeamento geológico, efetuado em uma

área ao norte-nordeste do Município de Garanhuns, abrangendo os distritos de Neves, São Pedro e São João. Constou de várias etapas de estudo, tanto de campo como de laboratório.

A metodologia empregada no presente trabalho abrange estudos de revisão bibliográfica da geologia da área e a elaboração de um mapa geológico na escala mencionada, fundamentado em fotointerpretação, trabalhos de campo, estudos petrográficos, litogeoquímicos e de atratividade econômica-geológica das ocorrências, tendo sido divididos nas seguintes etapas:

- (a) Revisão Bibliográfica – consistiu no levantamento e avaliação dos mapas geológicos existentes na área de estudo, bem como na identificação das jazidas em exploração para rocha ornamental e dos dados tecnológicos disponíveis para as rochas exploradas.
- (b) Foi usado como base cartográfica o mapa planialtimétrico da SUDENE, (Folha SC.24-F-IV), escala 1/100.000, além de fotografias aéreas na escala de 1:25.000. Foi utilizado o software AUTOCAD 2000 para digitalizar os mapas geológico, de afloramentos e de atratividade econômica, escala trabalhada 1:50:000, resultando num produto final na escala gráfica de 1/90.000 (pela escolha do desenho no formato A3). Esta escala não usual foi escolhida devido ao fato do mapeamento ter sido seletivo, visando especificamente o estudo de rochas ornamentais, sendo que neste caso esta escala resultou como a mais apropriada.
- (c) Reconhecimento de campo de ocorrências pré-selecionadas: consistiu na checagem dos locais promissores para fins ornamentais, identificadas através de fotografias aéreas (escala 1:25.000) e mapeamento em nível de reconhecimento da área estabelecida na Folha Garanhuns, localizada ao norte da cidade de Garanhuns. A metodologia do trabalho de campo, consistiu no estudo de afloramentos com coletas de amostras dos tipos e variedades litológicas, reunindo dados estruturais e petrográficos da área. No total foram estudados 72 afloramentos (em duas saídas ao campo de seis dias cada) ao longo de caminhos ou estradas asfaltadas ou não, e de riachos que atravessam a região (**Anexo 2**). Houve algumas inconveniências em encontrar afloramentos devido à cobertura regolítica da região principalmente pelo intemperismo dos quartzitos que predominam nas cotas mais elevadas da área e por esta zona ser eminentemente agrícola, predominando grandes áreas de cultivo e atividades agropecuárias. Grandes trechos dos caminhamentos foram realizados a pé

devido a dificuldades em trasladar-se a certos lugares por falta de transitabilidade de veículos e por ser uma área predominantemente agrária onde as propriedades particulares se encontram geralmente cercadas e de difícil acesso.

- (d) Atribuição de Pontuação às Ocorrências pré-selecionadas – consistiu na pontuação dos afloramentos selecionados por fotografias aéreas (1:25.000) e reconhecidos durante os trabalhos de campo, com a finalidade de atribuir um índice de atratividade econômico-geológico das ocorrências (**Anexo 2**). A pontuação leva em conta elementos de prospecção, tais como elementos estéticos (cor, textura e estrutura) e elementos limitantes (densidade e sistemas de fraturamento, densidade de veios, densidade de enclaves ou xenólitos e uniformidade de fácies).
- (e) Petrografia – No Laboratório de Microscopia Óptica da UFPE foram efetuados os estudos petrográficos-mineralógicos em lâminas delgadas com contagem de pontos dos distintos tipos litológicos e suas variedades. O estudo petrográfico das rochas teve como objetivo a identificação das fases minerais presentes nas rochas, determinando a classificação modal das mesmas, definindo e considerando os minerais que emprestem à rocha atrativos do ponto de vista ornamental.
- (f) Análise Estrutural – efetuamos uma avaliação em escala de reconhecimento, coletando-se dados estruturais como foliações primária e secundária, e relações entre ambas, além de direções de fraturas e veios aplíticos e pegmatíticos.
- (g) Análises químicas de elementos maiores, traço e terras raras, visando à caracterização litogeoquímica dos migmatitos (diatexitos) e granitóides (granodioritos/tonalitos/quartzo-dioritos e leucogranitos). Estas análises foram realizadas em laboratórios comerciais.
- (h) Processamos as informações obtidas, analisando e interpretando os dados pesquisados, na tentativa de integrá-los na determinação dos controles geológicos do migmatito “Rosa Imperial”.
- (i) Finalmente a construção das conclusões a partir dos resultados obtidos no trabalho.

1.5 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS

1.5.1 Clima e Vegetação

A região de Garanhuns está localizada no agreste meridional de Pernambuco.

O clima predominante na região é do tipo CS'a segundo a classificação de Köppen, o qual pode ser caracterizado como mesotérmico com chuvas de outono-inverno, temperaturas amenas e umidade relativa baixa; havendo todavia nas proximidades de Garanhuns a ocorrência do clima tipo AS', quente e sub-úmido, com chuvas concentradas no outono-inverno.

Nos domínios do clima do tipo CS'a a temperatura anual está em média superior a 22°C, sendo que as médias térmicas de julho e agosto (inverno) atingem cerca de 18°C, porém as mínimas absolutas chegam a 10°C. Nos meses de novembro e dezembro (verão) ocorrem as temperaturas máximas da região, todavia inferiores a 30°C, sendo a pluviosidade média anual de cerca de 907 mm. Já nos domínios do clima do tipo AS', as temperaturas são mais altas, atingindo em média 20°C nos períodos de inverno e 30°C nos períodos de verão, e com pluviosidade média anual entre 400 e 600 mm, caracterizando uma transição do agreste para o semi-árido.

Esta região apresenta uma vegetação típica do agreste, representada por árvores, arvoredos e cactos de média altura, tais como umbuzeiro, ouricuri, sapucaia, etc... Além de vegetação do tipo caatinga (também chamada tipo estepe), cujos arbustos espinhosos (caule grosso) e cactáceos principais são coroa de frade, mandacaru, etc.

É comum nesta área a presença de “ilhas” de clima e vegetação mais frios e úmidos que as áreas circunvizinhas, conhecidas pela denominação de “brejos”, situando-se em geral no topo de serras ou próximo aos rebordos de relevos tabulares residuais.

Também se verificam em alguns poucos trechos remanescentes das matas que outrora floresceram na região, do tipo mata atlântica, mas estas foram em geral substituídas por campos de cultivo de milho, feijão, mandioca e pastagens para bovinos.

1.5.2 Hidrografia e Relevo

Na área de pesquisa observa-se que o sistema fluvial é do tipo dendrítico, tendo como agentes formadores principais da rede hidrográfica o Rio Canhoto e outros riachos secundários com drenagem na orientação predominantemente norte-nordeste.

Em períodos de precipitação mais elevada os rios apresentam suas cheias de tipo torrencial, tendo de modo geral um regime temporário segundo as condições climáticas da região.

Na superfície reconhecida observa-se uma morfologia topográfica relativamente destacada, por vezes abrupta. O relevo maior é exibido na zona sudoeste da área, perto da cidade de Garanhuns apresentando-se altitudes médias de 850 m, com relevos maiores nas áreas de ocorrência de quartzitos, com altitudes de 910 m aproximadamente.

Os quartzitos são o tipo de rocha mais resistente ao intemperismo, sendo observados nas cotas elevadas e com espessas coberturas de material regolítico. Os migmatitos, tanto metatexitos quanto diatexitos exibem-se com relevo arrasado ou aplainado, portanto nas cotas mais baixas. Além disso, as rochas de natureza granodiorítica/tonalítica/quartzo-dioríticas, sendo possivelmente mais velhas que os diatexitos e mais resistentes aos agentes erosivos, apresentam-se na forma de colinas suaves.

CAPÍTULO 2 - GEOLOGIA REGIONAL

2.1 PROVÍNCIA BORBOREMA: COMPARTIMENTAÇÃO TECTÔNICA

Almeida et al. (1977) definiram o termo **Província Borborema** para denominar a Região de Dobramentos Nordeste de Brito Neves (1975) situada ao norte do Cráton do São Francisco e afetada pela Orogênese Brasileira.

A Província Borborema é limitada pelas Províncias do São Francisco ao sul (principalmente pelo Cráton do São Francisco), e o Cráton do São Luís, ao norte, Paraíba a oeste, sendo recoberta pelas bacias costeiras do Ceará, Potiguar, Pernambuco-Paraíba e Sergipe-Alagoas.

Posteriormente Brito Neves (1983) referiu-se a uma subdivisão territorial na Província Borborema em cinco domínios geológicos: os domínios geológicos Médio Coreaú e Sergipano, mais externos e próximos aos núcleos cratônicos; o domínio geológico Central, compreendendo uma zona central que atravessa toda região de SW para NE e domínios geológicos Jaguaribeano e Centro-oriental, em posição intermediária aos anteriormente citados.

Examinando e pesquisando a geologia regional da Província Borborema, Brito Neves (1983) e Santos & Brito Neves (1984), distinguiram no seu embasamento dois tipos fundamentais de terrenos Pré-Cambrianos: os terrenos gnáissico-migmatítico-graníticos, ou os “maciços”, que são denominados de interiores ou medianos, fundamentado em razões meramente geográficas; os terrenos metassedimentares e metavulcanossedimentares, ou simplesmente, “sistemas de dobramentos”, ou cinturões metamórficos.

Na década de 80, os trabalhos de Jardim de Sá & Hackspacher (1980), Macedo et al. (1984) e Jardim de Sá (1984) redefiniram o conceito da Província, introduzindo a noção de policiclismo na sua evolução; segundo este modelo, a deposição e a deformação das supracrustais internas seriam de idade Transamazônica/Eburniana (Bertrand & Jardim de Sá, 1990), com retrabalhamento durante o Brasileiro; apenas as faixas adjacentes aos crátons (Médio Coreaú e Vasa-Barris) e a granitogênese seriam geradas no Neoproterozóico. Caby (1984), Caby & Arthaud (1986) e Caby et al. (1991), em um modelo alternativo

fundamentado na correlação com as faixas africanas, interpretaram as intrusivas Transamazônicas como um magmatismo anorogênico, sendo a deposição/sedimentação, deformação e a granitogênese das faixas dobradas da Província de idade essencialmente Brasileira.

Brito Neves (1983) e Santos et al. (1984) apresentam outro tipo de subdivisão, em domínios estruturais e distinguindo os domínios Sergipano, Extremo-Nordeste, Transnordestino ou Central, Cearense e Médio Coreau.

Recentemente, Oliveira & Santos (1993) e Santos (1995, 1996), baseando-se no modelo de evolução do tipo colagem tectônica, implantaram o conceito de “terrenos” ou processo de colagem de terrenos tectono-estratigráficos distintos (**Figura 02**), na qual os terrenos da Província Borborema, na evolução pré-cambriana, teriam sido colados durante as orogêneses Cariris Velhos (de idade Grenville) e Brasileira (Pan-Africana). Esta última teria sido responsável pela justaposição e dispersão dos terrenos. Conseqüentemente, definiram ao sul do Lineamento Patos, três subdomínios ou terrenos estabelecidos como: Terreno Alto Moxotó, Terreno Alto Pajeú e Terreno Pernambuco-Alagoas. Depois, Santos & Medeiros (1997) determinaram dois novos terrenos, o Terreno Piancó-Alto Brígida e o Terreno Rio Capibaribe.

Van Schmus et al. (1993); Brito Neves et al. (1993); Santos (1993), Van Schmus et al. (1994) e Santos et al. (1994), com novos dados acrescentados de U/Pb, Pb/Pb e Sm/Nd, determinaram que, ao sul do Lineamento Patos, a evolução é essencialmente Meso a Neoproterozóica, sendo os terrenos antigos remanescentes de uma antiga massa cratônica fragmentada ou terrenos exóticos trazidos por processos colisionais/transpressionais subseqüentes. Jardim de Sá (1994) e Campos Neto et al. (1994) sugeriram a individualização de um cinturão situado entre os lineamentos de Patos e Pernambuco, denominado-o de “Domínio da Zona Transversal” ou “Faixa Rio Pajeú”, concepção, já defendida há alguns anos por Mello & Assunção (1979) e Lima et al. (1985).

Segundo Van Schmus et al. (1995) e Brito Neves et al. (1995a, 1995b), o desenvolvimento da geodinâmica na Província Borborema teria se iniciado ainda no Arqueano com superposições de vários estágios evolutivos durante o Proterozóico. A Província Borborema compreenderia a parte central de uma larga faixa orogenética Pan-Africana-Brasileira formada como resultado da convergência e colisão dos crátons São Luís-Oeste da África e São Francisco-Congo-Kasai no

Neoproterozóico tardio, abarcando vários processos orogenéticos mais antigos, onde rifteamento e fragmentação há 1.0 Ga. foi um importante evento de formação crustal e assumindo que durante o Brasileiro estes blocos cratônicos colidiram para a formação do supercontinente Gondwana (Van Schmus et al., 1995).

Posteriormente, Van Schmus et al. (1997) redefiniram a Província Borborema em Domínio Setentrional, Domínio Central e Domínio Meridional.

Santos (1996 e 1998) adotou a compartimentação da Província Borborema em domínios e terrenos que teriam sofrido uma colagem tectono-estratigráfica nas margens de crátons, durante as orogêneses Cariris Velhos (de idade Grenville) e Brasileira (Pan-Africana). Esta última teria sido responsável pela justaposição e dispersão dos terrenos. Esta compartimentação se daria da seguinte forma: ao norte do Lineamento Patos, os Domínios Médio Coreaú, Cearense e Rio Grande do Norte; entre os Lineamentos Patos e Pernambuco o Domínio do Super-Terreno Rio Pajeú ou Transversal, o qual abrangeria os Terrenos Alto Moxotó, Alto Pajeú, a Faixa Piancó-Alto Brígida e o Terreno Rio Capibaribe. Neste contexto, no Domínio Externo, ao sul do Lineamento Pernambuco, estariam inseridos os Terrenos Monte Orebe, Brejo Seco, Riacho do Pontal, Sergipano, Canindé-Marancó e Pernambuco-Alagoas (**Figura 02**).

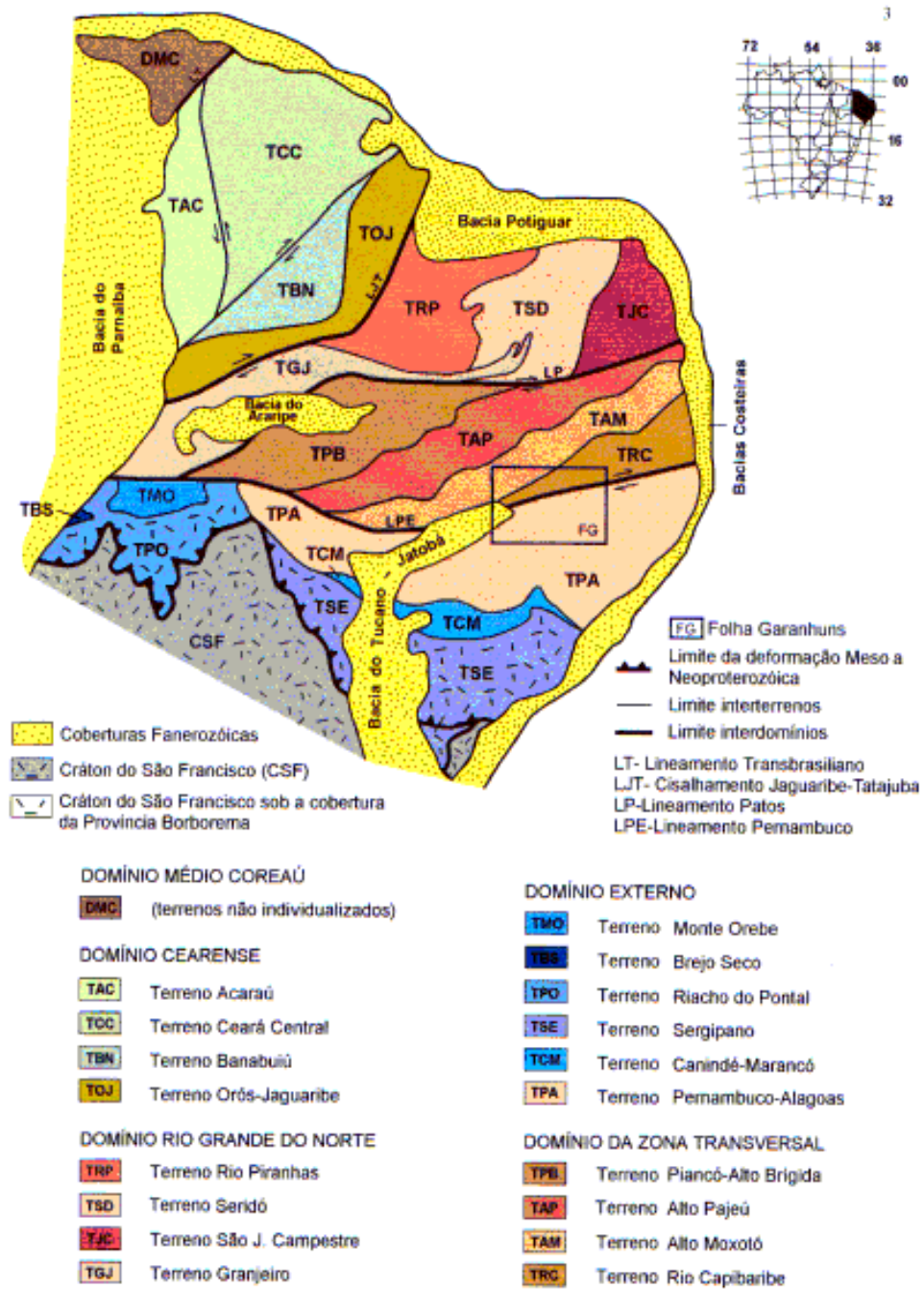


Figura 02 – Compartimentação da Província de Borborema em domínios e terrenos tectono-estratigráficos, segundo Santos (1998), com a localização da Folha Garanhuns.

2.2 LINEAMENTOS OU ZONAS DE CISALHAMENTOS

Na Província Borborema a principal característica estrutural são os feixes de zonas de cisalhamento com direção NE-SW e E-W. São encontradas todas as gradações da série milonítica, desde protomilonitos, milonitos até ultramilonitos, com importante componente transcorrente. Rochas cataclásticas também são descritas como resultado de um posterior soergimento da Província Borborema após a orogênese Brasileira (Santos & B. Neves 1984; Mello, 1984).

Na Zona Transversal, para as zonas de cisalhamento E-W, geralmente tem sido proposto o movimento dextral. Já para as zonas NE-SW o movimento é sinistral (Jardim de Sá, 1994: o chamado “Modelo Dominó”), embora Davison & Powell (1991) descrevam movimentos dextrais em zonas de cisalhamento subsidiárias com trend NE.

A trama dúctil foi formada em condições metamórficas de fácies xisto-verde a anfíbolito, texturalmente caracterizada por uma foliação de alto ângulo e uma lineação de baixa obliquidade, mas identificam-se também estruturas rúpteis superimpostas (Agrawal, 1990). Os autores França & Szatmari (1987) distinguiram uma deformação rúptil para as zonas de cisalhamento dúcteis, mas entendem difícil a correlação temporal para este episódio. Além disto, França & Szatmari (op. cit.) definem um sentido inverso de cisalhamento (left-lateral) fundamentado nos indicadores cinemáticos de cisalhamento rúptil.

Existem vários sistemas de lineamentos na Província Borborema (Lineamentos Transbrasiliano, Zona de Cisalhamento Senador Pompeu, Zona de Cisalhamento Jaguaribe e Portalegre), sendo que dois deles, denominados Patos e Pernambuco, de escala crustal (Ebert, 1970), apresentam comprimentos da ordem de centenas de quilômetros e atravessam a Província Borborema com trend E-W.

As zonas de cisalhamentos, de regime rúptil-dúctil a dúctil, ora se ramificam, ora coalescem formando um linked strike-slip system e têm uma história policíclica.

Algumas zonas de cisalhamento poderiam ser limites de terrenos, microplacas ou faixas e exerceram um papel marcante na colagem de blocos no final da orogenia Brasileira. Durante o evento Wealdeniano serviram de sítio de alívio e acomodação de esforços.

Este conceito de utilizar as zonas de cisalhamento como limites de terrenos serviu de base para Van Schmus et al. (1995,1997) subdividir a Província

Borborema em domínios (Domínios Tectônicos Setentrional, Central e Meridional), separados pelos Lineamentos Patos e Pernambuco, classificação que é adotada nesta dissertação. Todavia alguns autores (Neves & Mariano, 1997, 1998), estudando o Lineamento Pernambuco, lançaram a idéia de que este não representaria um limite válido para separar terrenos dentro da Província Borborema, por não se tratar de uma estrutura simples e contínua, tal qual o Lineamento Patos, e portanto discordam desta subdivisão proposta por Van Schmus et al. (1995, 1997).

2.3 PLUTONISMO MESOPROTEROZÓICO

O plutonismo Mesoproterozóico possivelmente acontece em três formas: como rochas metaplutônicas anorogênicas, como rochas metaplutônicas sin-tectônicas à orogênese Cariris Velhos e como rochas de natureza indiscriminada.

O plutonismo anorogênico Mesoproterozóico foi caracterizado por Sá et al. (1997) no biotita–anfíbólio augen gnaiss denominado Taquaritinga do Norte-PE (Terreno Rio Capibaribe), designando um caráter metaluminoso, anorogênico/intraplaca e uma idade U-Pb (em zircão) de 1.521 ± 7 Ma para estes litotipos. Neves (1996), Sá et al. (1997) sugerem que a deformação/foliação observada nos augen gnaisses não poderia ser atribuída ao Ciclo Brasileiro, indicando a possibilidade de ser uma deformação de idade Cariris Velhos.

Os ortognaisses, migmatitos e augen gnaisses do Terreno Pernambuco-Alagoas, na região de Palmeira dos Índios-AL, foram considerados como Mesoproterozóicos, com idade U-Pb (em zircão) de 1.577 ± 73 Ma, obtida por Van Schmus et al. (1995), sendo estes dados bastante similares aos obtidos em Taquaritinga do Norte (PE).

Segundo Medeiros (1998), na porção leste do Terreno Pernambuco-Alagoas, na região a norte de Iatí-PE, os augen gnaisses são encontrados como xenólitos em termos gnáissicos migmatíticos designados como pertencentes ao Complexo Belém do São Francisco, indicando serem estes mais antigos que 1,15 Ga. (idade máxima admitida para o Complexo Belém do São Francisco).

Estes fatos podem estar revelando a presença do plutonismo anorogênico Mesoproterozóico no âmbito do Terreno Pernambuco-Alagoas.

As rochas metaplutônicas sin-tectônicas, constituem a atividade magmática desenvolvida sin-tectonicamente à orogênese Cariris Velhos, tendo sido caracterizada principalmente no Domínio da Zona Transversal (Terrenos Alto-Pajeú e Alto Moxotó) e na porção oeste do Terreno Pernambuco-Alagoas. Santos (1995 e 1998) descreve nestas regiões, a presença de metagranitóides tipo Recanto/Riacho do Forno (Terreno Alto-Pajeú), tipo São Pedro/Riacho das Lajes (Terreno Alto Moxotó, suíte cálcioalcalina e trondhjemítica, constituída por biotita ortognaisses leucocráticos) e metamáficas-metaultramáficas (Suíte Serrote das Pedras Pretas) sin-colisionais ao evento Cariris Velhos, com idade U-Pb entre 1,15 e 1,0 Ga. e T_{DM} entre 1,4 e 1,2 Ga.

A presença deste plutonismo na porção leste do Terreno Pernambuco-Alagoas mostra similaridades entre ortognaisses desta região com os metagranitóides Cariris Velhos descritos por Santos (1995 e 1998), bem como devido a uma idade modelo T_{DM} de 1,37 Ga. obtida por Van Schmus et al. (1995) em ortognaisses da região de Santana do Ipanema-PE.

Além dos ortognaisses descritos acima, outros corpos com natureza petrológica e posicionamento tectônico indefinidos são observados no âmbito dos terrenos Alto Moxotó, Rio Capibaribe e Pernambuco-Alagoas referidos como metaplutônicas de natureza indiscriminada (Medeiros, 1998).

2.3.1 Plutonismo Cariris Velhos

A suíte granítica típica Cariris Velhos ocorre como uma larga faixa plutônica, localizada ao longo do Terreno Alto Pajeú e em parte do Domínio Meridional, se estendendo por mais de 750 km, entre a faixa Riacho do Pontal (nos estados de Pernambuco e Piauí) e a área litoral Atlântica no limite entre os estados de Paraíba e Rio Grande do Norte. Vários tipos de plútons (granitóides) foram reconhecidos como batólitos, stocks, intrusões sheet-like, de composições variadas como principalmente sienogranito, monzogranito e em menores proporções granodiorito, quartzo-diorito e quartzo-sienito.

Dois tipos texturais básicos foram identificados: 1) migmatitos e granitóides a duas-micas tipo Riacho do Forno e 2) biotita (com muscovita secundária) augen ortognaisse tipo Recanto. Ambos tipos contêm granada e localmente sillimanita, e

mostram um intervalo composicional mínimo, especialmente nos campos sienogranítico e monzogranítico. Apresentam padrões similares REE e de elementos traço, sendo por sua vez semelhantes às rochas metavulcanoclásticas do Complexo São Caetano. Isto sugere que a geração desta sequência hospedeira foi por fusão incongruente das micas (Santos, 1995). Normalmente apresentam foliação penetrativa em zonas de alto strain, localmente ocorrem como leucossomas em migmatitos estromáticos. De acordo com Barbarin (1997) e Brown & Solar (1998) estes tipos contêm muitas características típicas de granitos colisionais.

Estes ortognaisses constituem a principal suíte de idade Cariris Velhos, sendo característicos da Zona Transversal e de partes do Domínio Meridional e estendendo-se para mais de 700 km da faixa Riacho do Pontal ao Oceano Atlântico. No Terreno Alto Pajeú dominam migmatitos peraluminosos com muscovita e granitóides deformados (ortognaisses-augen), os quais geralmente ocorrem como camadas empilhadas (sheets stacked) intrusivas ao longo das superfícies de empurrão deste evento orogênico. Os plútons mostram composições restritas aos campos monzogranítico e sienogranítico e exibem dois padrões geoquímicos distintos. O migmatito peraluminoso e o leucogranito, dominante no Terreno Alto Pajeú são semelhantes ao sub-tipo de CW de Barbarin (1996). Os padrões REE e elementos traço são similares à sequência vulcanoclástica tipo arco (no bloco adjacente), estas características sugerem fusões crustais em um ambiente de colisão arco-continente. A associação rochas máficas a ultramáficas juvenis (Suíte Serrote das Pedras Pretas) indica que o crescimento crustal pode ter representado um papel importante em partes da faixa Cariris Velhos. Por outro lado, a composição de alguns corpos leucograníticos e trondhjemíticos de um segmento do Terreno Alto Moxotó é semelhante em composição à crosta inferior continental e crosta continental total. Estes corpos podem estar relacionados a fluidos de subducção ou derivados de manto enriquecido. As assinaturas de subducção e as curvas dos padrões REE para alguns destes corpos de leucogranitos se assemelham à adakita, recentemente identificada. A origem poderia estar relacionada à fusão da crosta oceânica subductada (ou à fusão de raízes basálticas) de uma placa oceânica (ou margem de um rift vulcânico) sobre uma zona de subducção (Pearce, 1996).

Dados de U/Pb iniciais para zircão indicaram idades que variam de 1.037 a 999 Ma para intrusão destes plútons granitóides (Jardim de Sá, 1994; Santos, 1995; Van Schmus et al., 1995); b). Novos dados detalhados de U/Pb (Kozuch et al., 1997)

e análises de microsonda iônica (SHRIMP) (Van Schmus, inédito, In: Cordani, et al., 2000) determinaram idades de 980 a 950 Ma. como sendo mais representativos do magmatismo Cariris Velhos. As idades mais velhas inicialmente obtidas provavelmente mostram um pouco de influência de componentes mais antigos nas populações analisadas. As idades isocrônicas Rb/Sr são um pouco semelhantes ou só um pouco mais jovens (c. 950 Ma; Brito Neves et. al, 1995b, c), sugerindo que deformação do Brasileiro e o metamorfismo tiveram relativamente pequeno efeito no sistema de Rb/Sr. Dados isotópicos de Sm/Nd produziram valores T_{DM} entre 1.3 e 1.6 Ga e ϵ_{Nd} de -1.8 para +0.8, sugerindo que estes plútons cristalizaram de fusões de fontes nem exclusivamente juvenis nem exclusivamente da crosta continental mais velha (Transamazônica). Os dados são consistentes com a mistura de material juvenil derivado do manto e crosta continental mais velha, como aconteceria para magmas formados em um arco magmático continental.

Com respeito às rochas encaixantes nas quais os corpos graníticos são intrudidos, é possível distinguir no Terreno Alto Moxotó tipos diferentes. Primeiramente, o Complexo Lagoa das Contendas, hospedeiro dos corpos granitóides, aparentemente relacionados à gênese de magmas cálcioalcalinos (tipo-arco) deste complexo. A Suíte São Pedro-Riacho das Lages consiste de séries cálcioalcalinas trondjemíticas, variando de composição de tonalito a monzogranito. Há alguns padrões de elementos traço disponíveis que são compatíveis com plagiogranito (MORB), mas uma associação tipo-M de arco vulcânico pode ser sugerida. É possível que estas rochas possam ter uma associação de alguma maneira com o gabro-diorito (menor proporção anortosito) da Suíte Malhada Vermelha. Um segundo tipo corresponde a leucossomas do migmatito estromático e biotita-granitos intrusivos no Complexo Sertânia e no Paleoproterozóico do Complexo Floresta. Em ambos os casos eles representam monzogranitos peraluminosos sin-colisionais. Mas padrões REE exibem relações de LREE/HREE altas e anomalia de Eu fortemente negativa e provavelmente refletem fontes distintas para o granito. Os sistemas isotópicos U/Pb destes plútons de granito do Terreno Alto Moxotó são diferentes e mostram zircão zonado com núcleos herdados. O diagrama Concórdia normalmente apresenta erros grandes e mostra os efeitos das orogenias do Brasileiro. A escassez de unidades rochosas do Brasileiro no Terreno Alto Moxotó, sugere que os plútons graníticos Cariris Velhos poderiam ser formados por fusões parciais de fontes do embasamento mais velhas.

Na parte do sudeste de Afogados da Ingazeira (zona de cisalhamento), os granitos com características semelhantes aos plútons Cariris Velhos mostram idades U/Pb em zircão, ambos por métodos da Concórdia e dissolução, variando de 1.9 Ga para 1.0 Ga (Leite & Lima, 1997). Dados de campo como controle estrutural e a presença de xenólitos supracrustais do Mesoproterozóico, confirmaram que estes plútons são granitóides Cariris Velhos e demonstraram que estas fusões podem em alguns casos preservar zircões de várias idades, representando ambas fontes: Cariris Velhos e Transamazônico.

Existe um trend descontínuo de rochas **máficas-ultramáficas**, com relíquias do fácies granulito e eclogito de alta pressão ao longo do limite dos terrenos Alto Moxotó-Alto Pajeú, que foi atribuído à faixa Cariris Velhos (Santos, 1999). A maior área preservada está exposta na Suíte Serrote das Pedras Pretas como camadas intercaladas dentro do ortogneisse Cariris Velhos no Complexo Lagoa das Pedras, ao N de Floresta, PE. Estas rochas exibem padrões geoquímicos de uma série basalto-tholeiítica com afinidades de MORB (Santos, 1995). Esta suíte também inclui pods de rochas com granada dentro do Bloco de Icaçara na parte mais ocidental do Terreno Alto Moxotó, apresentando semelhanças de eclogito associada com zonas de subducção (Beurlen et al., 1992). Outras características geofísicas e tectônicas são associadas com o limite dos terrenos Alto Moxotó-Alto Pajeú na direção E, onde existem ocorrências espalhadas de rochas que se formaram em ambientes de alta pressão, interpretadas como uma sutura ofiolítica interrompida.

2.4 TERRENO PERNAMBUCO-ALAGOAS

2.4.1 Caracterização Tectônica

O Terreno Pernambuco-Alagoas (Santos 1995, 1996 e 1998) e também Maciço Pernambuco-Alagoas (Brito Neves, 1975) constitui um bloco tectônico de forma triangular, com uma área aproximada de 70.000 Km². Limita-se ao norte pelo Lineamento Pernambuco e ao sul pelos Terrenos Canindé-Marancó e Sergipano, estendendo-se na direção leste-oeste até o limite com a Faixa Riacho do Pontal. A Bacia Tucano-Jatobá divide geograficamente este Terreno em duas porções diferentes chamadas anteriormente de Terrenos Pernambuco-Alagoas leste e oeste.

Atualmente é denominado Complexo Pernambuco-Alagoas (Silva Filho et al., 2001, 2002). Segundo explicam estes autores o termo **Complexo** Pernambuco-Alagoas é preferível em relação aos termos anteriormente usados **Terreno/Maciço**, por esta área compreender muitos tipos diferentes de protólitos e de plútons, configurando assim um complexo, embora estes protólitos sejam difíceis de identificar devido às várias fases de deformação e metamorfismo ocorridos na área relacionados às orogênias Cariris Velhos e Brasileiro. Todavia o termo Terreno Pernambuco-Alagoas está relativamente consagrado na literatura atual e será respeitado e utilizado por nós nas citações de autores aqui empregadas.

A área de estudo encontra-se inserida na Folha Garanhuns, situada na porção sul da Província Borborema. Nesta Folha o Terreno Pernambuco-Alagoas aflora ao longo de toda sua área sul. Esta região compreende as unidades correlacionadas aos complexos metamórficos Cabrobó e Belém do São Francisco, assim como exposições de ortognaisses mesoproterozóicos e alguns plútons neoproterozóicos, além de um intenso magmatismo brasileiro na evolução proterozóica tardia do Terreno Pernambuco-Alagoas.

Neste contexto, o pré-cambriano da Folha Garanhuns estaria constituído pelos assim chamados terrenos Alto Moxotó, Rio Capibaribe (Domínio da Zona Transversal) e Pernambuco- Alagoas (Medeiros, 1998, **Figura 03**).

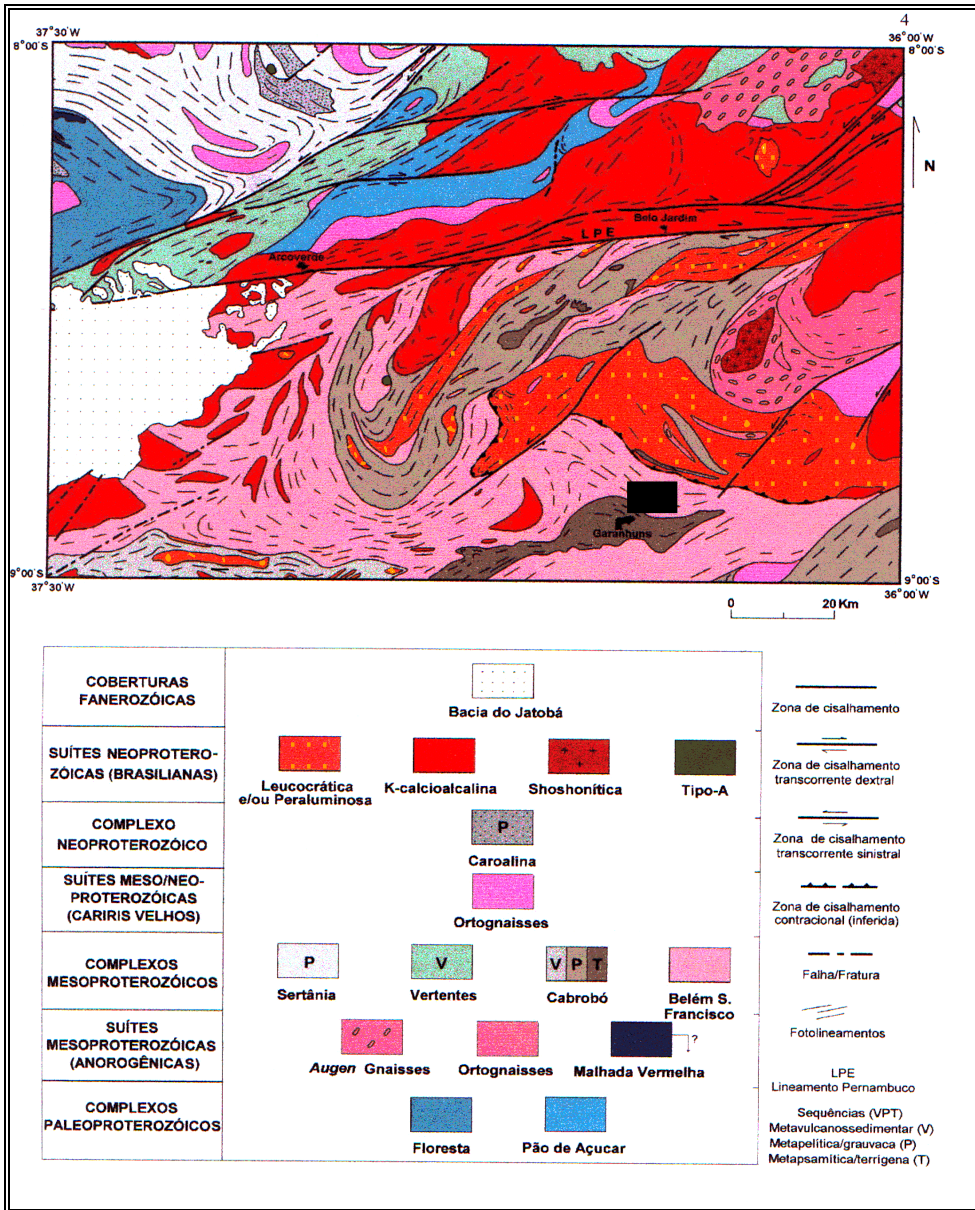


Figura 03 – Esboço geológico da Folha Garanhuns (SC.24-X-B), segundo Medeiros (1998). Localização da área estudada: retângulo preto.

2.4.2 Complexos metamórficos de alto grau

2.4.2.1 Complexo Cabrobó

Este complexo é determinado por seqüências metassedimentares: biotita gnaisses quartzo-feldspáticos (às vezes com granada), mica-xistos, muscovita gnaisses, metagrauvas, paragnaisses (algumas vezes migmatitizados) e migmatitos. Apresentando também lentes de quartzitos, anfibolitos e mármore e meta-arcósios com níveis quartzíticos.

Ocorrem em seqüência metavulcano-sedimentar: paragnaisses com freqüentes lentes de metamáficas /anfibolitos.

As lentes de quartzito ocorrentes no Complexo Cabrobó representam uma seqüência continental de metarcóseos/metaterrígenos, denominadas Formação Garanhuns (Cardoso & Castro, 1979).

2.4.2.2 Complexo Belém do São Francisco

Este Complexo foi redefinido por Santos (1995, 1998), a partir de uma unidade denominada de Complexo Cabrobó C₂ (Lima et al., 1985). Este Complexo é constituído por rochas compostas de uma associação granítico-migmatítica que apresenta biotita ortognaisses tonalíticos a granodioríticos, leucocráticos de cor cinza, migmatitizados e migmatitos com mesossoma quartzo diorítico/tonalítico a anfibólio e/ou biotita, além de porções anfibolíticas. Apresenta também ortognaisses metaluminosos a peraluminosos leucocráticos de granulação fina a grossa, exibindo-se em alguns casos migmatitizados, bem como, augen gnaisses metaluminosos. Além disso, exibem-se neste Complexo, relíquias de rochas paraderivadas do Complexo Cabrobó, tais como: quartzitos, mármore e rochas cálcio-silicáticas.

Os núcleos arqueanos e as rochas que ocorrem neste terreno supostamente foram retrabalhados tectonicamente no Proterozóico, devido a um amplo magmatismo predominante no Terreno Pernambuco-Alagoas leste. Isto porque até o presente momento suspeita-se da existência destes núcleos, mas ainda não há comprovação dos mesmos.

Lima et al. (1985; In: Santos, 1995) obtiveram uma isócrona Rb-Sr (rocha total) de 1.070 Ma, idade designada como a geração destas rochas durante um

evento orogenético (Uruçuano), fato vastamente aceito na atualidade e denominado como a Orogênese Cariris Velhos (1.1 a 0.95 G.a.).

Segundo Medeiros (1998), na porção leste do Terreno Pernambuco-Alagoas é sugerida uma atividade magmática do início do Mesoproterozóico (Calimiano). A orogênese Cariris Velhos foi importante neste terreno, sobretudo na porção oeste (região de Belém de São Francisco-PE), o qual deformou os litotipos pré-existentes e foi responsável pela presença de suítes crustais colisionais (atualmente migmatizadas).

2.4.3 Sedimentos Fanerozóicos

Na porção oeste da Folha Garanhuns, as rochas pré-cambrianas encontram-se cobertas por sedimentos Fanerozóicos, representantes da porção nordeste da Bacia de Jatobá (Medeiros et al., 1998).

2.4.4 Análise dos dados Sm-Nd do Terreno Pernambuco-Alagoas

O plutonismo granítico ocorrido dentro do Terreno Pernambuco-Alagoas pode ser dividido em magmatismo Mesoproterozóico e magmatismo Neoproterozóico/Cambriano.

O plutonismo Mesoproterozóico possivelmente acontece em três formas: como rochas metaplutônicas anorogênicas, como rochas metaplutônicas sintectônicas à orogênese Cariris Velhos e como rochas de natureza indiscriminada.

Segundo Silva Filho et al. (1999), o plutonismo Neoproterozóico/Cambriano (Brasiliano), ocorre nos terrenos Pernambuco-Alagoas e Rio Capibaribe sob forma de vários batólitos graníticos, exibindo cada qual diversas intrusões. Estes autores identificaram seis batólitos: Os batólitos de Toritama-Arcoverde, Jaboatão-Garanhuns, Ipojuca-Atalaia, Marimbondó-Correntes, Buíque-Paulo Afonso e Águas Belas-Canindé.

O Batólito Jaboatão-Garanhuns está posicionado, dentro do Terreno Pernambuco-Alagoas, intrudido no terreno gnáissico-migmatítico, alongado na direção NE-SW e controlado na parte NE pelo Lineamento Pernambuco. Este batólito inclui as seguintes intrusões: Jaboatão, Pannels, Quipapá, Angelim, Caetés,

Belo Jardim, Cachoerinha, Chã Grande, Massauassú, Uruçu, Pedra selada (Silva Filho et al., 1999).

Alguns plútons deste subdomínio forneceram idades de referência isocrônica Rb/Sr de 595 M.a. enquanto outros produziram idades Rb/Sr de 669 ± 67 M.a. Os dados de ϵ Nd (600) para o Batólito Jabotão-Garanhuns variam entre -8.1 e -19.6, compatíveis com uma hipótese genética favorável com a fusão de crosta Transamazônica (sendo necessário dados T_{DM} para confirmar) durante o evento colisional Brasileiro precoce.

Dados Sm/Nd para 55 amostras (provenientes dos seis batólitos) permitiram subdividir o Terreno Pernambuco-Alagoas em dois domínios crustais: um domínio crustal Transamazônico com maioria de idades modelo maiores que 2.0 G.a., e um domínio crustal Cariris Velhos/Brasileiro com maioria das idades modelo caindo no intervalo entre 1.49 e 1.0 G.a.

Trabalhos posteriores (Silva Filho et al., 2000) destacam, pelas inferências geotectônicas que deles se pode tirar, alguns plútons de caráter cálcio-alcálico de alto K a shoshoníticos. Estes plútons são em sua maioria de natureza metaluminosa, com composições variando de intermediária a ácida, podendo ser petrograficamente subdivididos em intrusões sieníticas, sieníticas a graníticas e graníticas "strictu sensu". Apresentam todos eles texturas rapakivi e anti-rapakivi (indicativas de desequilíbrio químico, possivelmente provocado por mistura de magma ou contaminação crustal) e composições em geral cálcicas dos anfibólios e piroxênios (sendo que os anfibólios freqüentemente ocorrem substituindo os piroxênios, indicando hidratação progressiva do magma), com raras ocorrências de anfibólios alcalinos.

Os dados isotópicos para estes plútons sugerem correlação positiva entre Sr e idades-modelo Sm-Nd, sendo que os isotópos de Sm-Nd permitem dividi-los em granitóides com idades-modelo Mesoproterozóicas, variando entre 1.20 a 1.50 G.a. e ϵ Nd entre -8.7 e -12.4 (plútons Serra da Caiçara, Serra do Catú, Enxames de diques, Serra da Boa Vista e Água Branca); e granitóides com idades-modelo Paleoproterozóicas, variando entre 1.90 e 2.20 G.a. e ϵ Nd entre -3.6 e -7.7 (plútons Águas Belas, Mata Grande, Correntes, Viçosa e Cachoerinha).

Estes dados, em conjunção com idades U-Pb em zircão, sugerem que estes mesmos granitóides pertencem a quatro fases tectônicas distintas com relação à

Orogênese Brasileira, podendo ser caracterizados como cedo-colisionais, em torno de 624 ± 5 M.a. (ex: plúton Água Branca); sin-colisionais, em torno de 617 e 613 M. a. (ex: plútons Serra da Caiçara, Serra do Catu e Curitiba); tardi-colisionais, em torno de 593 ± 5 M. a. (ex: plútons Correntes e Cachoeirinha) e pós-colisionais, em torno de 528 ± 4 M. a. (ex: plúton Águas Belas); estes dados indicam que no Terreno Pernambuco-Alagoas houve um magmatismo recorrente com duração de cerca de 100 M. a., possivelmente extraído de um manto enriquecido e iniciado ao mesmo tempo que a colisão Brasileira.

Dentre as interpretações sugeridas para a ocorrência deste magmatismo (Silva Filho et al., 2000), estão a de que ele teria sido gerado por um efeito térmico causado por underplating de magma máfico ou por ação de uma pluma sublitosférica.

Este mesmo efeito teria sido igualmente responsável pela fusão parcial extensiva existente em toda a parte no Terreno Pernambuco-Alagoas, e que possivelmente fundiu os migmatitos, gerando os granitóides de refusão crustal. Esta hipótese é reforçada pela ocorrência de stocks dioríticos encaixados nos complexos metamórficos de alto grau (migmatitos metatexíticos e diatexíticos) e pela íntima ocorrência de quartzo-dioritos e monzogranitos, intrudidos nos migmatitos diatexíticos (Silva Filho et al., inédito). O mapeamento geológico, na área estudada, mostra claramente esta situação (**Anexo 1**), podendo todavia haver outras explicações para este contexto geológico.

Trabalhos posteriores (Silva Filho et al., 2001, 2002) com as idades de residência crustal Sm-Nd ou composições isotópicas iniciais de Nd para gnaisses e plútons dos cinco maiores batólitos graníticos que intrudem o Terreno Pernambuco-Alagoas ajudaram a definir melhor a possível história crustal desta região. Segundo estes autores, foram separados dois domínios isotópicos maiores: o Domínio Garanhuns, com rochas com idades-modelo Sm-Nd variando entre 1.8 e 2.4 G.a., mostrando que a maior parte deste domínio está constituído basicamente por uma crosta Paleoproterozóica, com insignificantes quantidades de material juvenil acrescido; e o Domínio Água Branca, com rochas com idades-modelo Sm-Nd entre 0.90 e 2.10 G.a., sendo a maioria destas rochas entre 1.5 e 1.0 G.a., indicando que a crosta pré-Brasileira deste domínio inclui substanciais quantidades de adições juvenis Meso a Neoproterozóicas.

No Domínio Água Branca, a presença de algumas idades-modelo mais antigas sugere uma possível zonação crustal vertical, com segmentos crustais Paleoproterozóicos e Neoproterozóicos tectonicamente interestratificados durante sucessivos episódios acrescionários ou colisionais. As idades-modelo Nd Mesoproterozóicas podem representar preferencialmente mistura de diferentes fontes mantélicas/crustais do que um discreto episódio de formação crustal Mesoproterozóico.

As idades-modelo entre 0.90 e 1.10 G.a. de diversos granitóides metaluminosos ou peraluminosos de idade Brasiliana existentes neste último domínio parecem sugerir que estes foram ou totalmente derivados de material juvenil de cerca de 1.0 G.a. proveniente da Orogenia Cariris Velhos, ou que tiveram substanciais contribuições de material juvenil de cerca de 0.6 G.a. do Ciclo Brasileiro.

Estudos de Silva Filho et al. (inédito) com maior detalhamento nos granitóides do Domínio Água Branca, pertencentes aos batólitos Maribondo-Correntes, Buíque-Paulo Afonso e Águas Belas-Canindé e às rochas encaixantes destes granitóides, mostraram composições metaluminosas a peraluminosas, com ϵ Nd (0.60 G.a.) variando entre +3.2 e -2.0 e T_{DM} entre 0.90 e 1.20 G.a. Estes dados isotópicos favorecem a hipótese de crescimento crustal com adição de material juvenil durante a Orogênese Brasiliana ou formação litosférica juvenil nos estágios tardios do Mesoproterozóico (Cariris Velhos).

Três modelos foram então sugeridos para a evolução da crosta neste domínio do Terreno Pernambuco-Alagoas (Silva Filho et al., inédito), durante a transição do Mesoproterozóico para o Neoproterozóico.

O primeiro modelo consistiria na separação de material magmático máfico juvenil mantélico durante o Brasileiro, e sua interação com uma crosta ortoderivada de T_{DM} Mesoproterozóico, por ocasião da colisão Brasiliana entre o Cráton do São Francisco e a Província Borborema. Em diversos trabalhos é mostrado que granitóides metaluminosos são geralmente extraídos de fontes metaígneas de composição anfibolítica a eclogítica, com ou sem componentes mantélicos. Como dois dos plútons deste domínio mostram composição metaluminosa e também mineralogia e geoquímica compatíveis com uma fonte de origem manto/anfibolítica.

Isto sugere que este material poderia haver sido extraído ou de um manto litosférico subcontinental, metassomatizado durante o Neoproterozóico, ou de uma

crosta inferior de composição máfica. Esta hipótese é reforçada pela presença na área de granitóides com assinatura de subducção, associados à metassomatismo do manto, cujas idades T_{DM} de Nd apontam para 1.0 G.a., e cujas composições são intermediárias, com ausência de zircões herdados.

O segundo modelo estaria baseado no retrabalhamento das rochas ortoderivadas de idade modelo T_{DM} de cerca de 1.0 G.a., possivelmente ocorrente durante a Orogenia Brasileira, originando plútons graníticos. Esta hipótese poderia ser reforçada pela presença na área de alguns granitos Brasileiros, contendo zircões herdados de cerca de 1.0 G.a., apresentando foliação de baixo ângulo, indicativas de que uma ou mais colisões ocorreram na área entre o fim do Mesoproterozóico e os estágios tardios do Neoproterozóico. Imagina-se que durante a colisão Brasileira, teriam ocorrido processos de fusão crustal profunda, como por exemplo, underplating de magma máfico. A presença de stocks dioríticos encaixados nos complexos metamórficos de alto grau (migmatitos metatexíticos e diatexíticos) e a íntima ocorrência de quartzo-dioritos e monzogranitos, intrudidos nos migmatitos diatexíticos é sugestiva deste processo.

O terceiro modelo apontaria para a formação de um arco magmático entre o fim do Mesoproterozóico e início do Neoproterozóico, o qual teria sido erodido e preenchido bacias de antearco (Van Schmus et al., 1995), este arco estaria relacionado à Orogenia Cariris Velhos. Esta hipótese estaria apoiada pela presença na área de granitos tipo I contendo anfibólios com idades modelo T_{DM} de Nd e ϵ Nd (0.60 G.a.) positivos evidenciando a formação de litosfera durante o fim do Mesoproterozóico e inícios do Neoproterozóico; e pela existência de rochas para e ortoderivadas com idades modelo T_{DM} de Nd variando entre 0.90 e 1.20 G.a.

Atualmente, estes três modelos estão em fase de análise pelos pesquisadores, havendo necessidade de maiores estudos para se chegar a uma melhor interpretação.

Correlações entre os dados destes domínios do Nordeste do Brasil com os dados dos domínios do Oeste da África podem proporcionar subsídios para uma melhor identificação dos terrenos individuais e suturas associadas à colagem tectônica que ocorreu durante a agregação de Gondwana Ocidental, durante o Ciclo Brasileiro-Panafricano.

CAPÍTULO 3 – REVISÃO CONCEITUAL SOBRE MIGMATITOS

3.1 MIGMATITOS

Devido ao fato de esta pesquisa estar centrada no uso do migmatito “Rosa Imperial”, como rocha ornamental, e sendo que esta é a rocha predominante na área pesquisada, foi elaborada uma breve revisão dos conceitos básicos e características gerais dos migmatitos.

O enigma do desenvolvimento dos migmatitos em relação à gênese dos granitos foi reconhecido desde a introdução do termo migmatito (Sederholm, 1923, 1967). Read (1957), enfocou em uma consideração histórica o problema da origem dos fluidos graníticos e sua migração através das rochas produzindo uma progressiva e total transformação de uma rocha dentro de outra, especificamente com referência à produção de rochas graníticas. White (1966) listou quatro processos que foram considerados darem lugar a migmatitos de caráter granítico: (1) completa injeção de magma granítico de uma intrusão ígnea adjacente; (2) produção de uma porção de leucossoma granítico por metassomatismo; (3) fusão parcial e segregação subsequente dos componentes de ponto fusão mais baixo durante metamorfismo regional de alto grau; (4) segregação sem diferenciação de fusão-metamorfismo.

Mehnert (1968) classificou os tipos de migmatitos de acordo às morfologias e/ou texturas apresentadas no campo. Esta classificação dos migmatitos é feita com base nas relações gerais entre leucossoma e mesossoma e também sugere que contatos discordantes do leucossoma com o mesossoma, nitidamente definidos sejam indicativos de que o leucossoma é alóctone. Da mesma maneira, contatos difusos poderiam ser indicativos de metassomatismo, diferenciação metamórfica, ou originados por fusão parcial *in situ*. Excluindo metassomatismo, que definitivamente implica a introdução de um ou mais componentes exóticos, os outros dois processos poderiam dar lugar a um leucossoma autóctone (nativo), dadas as condições adequadas de pressão e temperatura.

Estes termos morfológicos (Mehnert, 1968) se apresentam da seguinte maneira:

Agmatito: originalmente se referia a brechas intrusivas, mas atualmente é usado para migmatitos nos quais blocos angulares de mesossoma são separados por um inter cruzamento de diversos veios de leucossoma discordantes, ou são circundados por um complexo de veios reticulados de leucossoma. Mais de um tipo de agmatito ou gnaisse venulado pode se desenvolver em qualquer tipo de terreno migmatítico. As relações entre veios e hospedeiro podem variar consideravelmente desde diques extremamente discordantes até veios truncados e bolhas de distribuição discreta (aleatória). (**Figura 4 a**).

Diadisito: uma rede de veios graníticos em um mesossoma metamórfico, sinônimo de agmatito.

Dictionito: rede de veios de leucossoma finamente espaçados e estreitos entrelaçados através do mesossoma (**Figura 4 b**), muitos veios seguem zonas de charneira de dobras.

Migmatito *schollen*: migmatito *raft*-estruturado semelhante a um agmatito, porém contendo faixas de leucossoma mais espaçadas, as quais interrompem os blocos de mesossoma como se estes fossem xenólitos mistos (**Figura 4 c**), também chamados venitos ou migmatitos de injeções veníticas, ou ainda arteritos.

Flebito: um gnaisse venulado ou migmatito no qual veios irregulares, mas subparalelos entre si, mostram-se dobrados e contorcidos (**Figura 4 d**).

Estromatito (Estromático): migmatito ou gnaisse com veios acamadados nos quais os veios paralelos de leucossoma separam camadas de mesossoma, freqüentemente paralelos à foliação principal ou xistosidade da rocha (**Figura 4 e**).

Estrutura surreítica ou dilacional: estruturas nas quais o leucossoma está localizado ao longo de limites litológicos, por exemplo, nos núcleos de dobras ou nos pescoços de *boudins* (**Figura 4 f**).

A maioria dos trabalhos sobre migmatitos concentrou-se nos aspectos petrográficos e geoquímicos e não os combinou com o controle estrutural, responsável pelo aspecto “misturado” dos migmatitos (Hopgood, 1984).

Homofânico: uma massa homogênea na qual leucossoma e mesossoma não são claramente distinguíveis. Um migmatito homofânico é em si um termo contraditório, mas se refere à concepção de Sederholm (1967) de um progressivo engolfamento de uma rocha hospedeira por líquidos graníticos, do qual resultaria

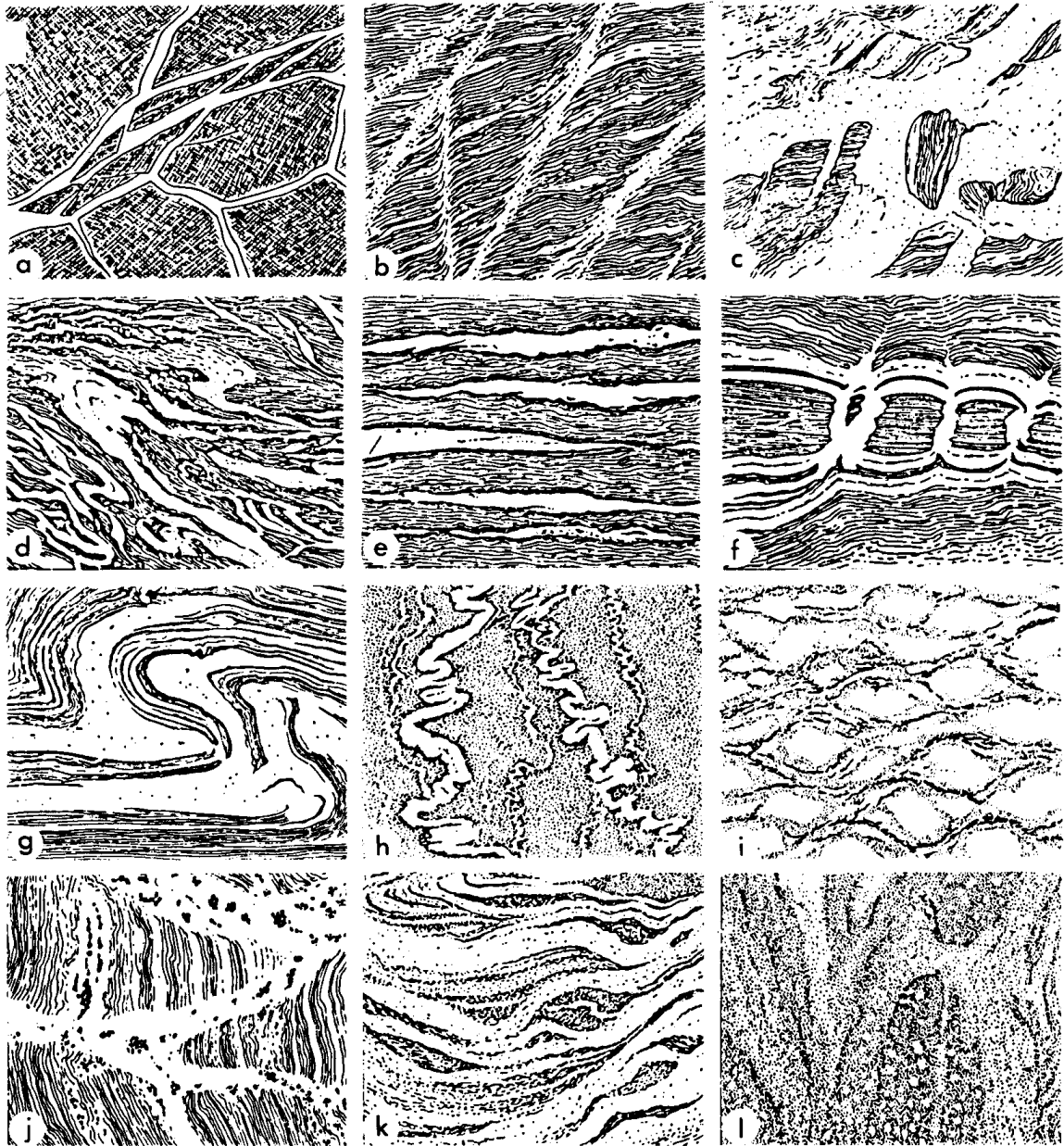


Figura 04: Tipos de migmatitos: (a) Agmatito; (b) Dictionito ou dictionítico; (c) Migmatito-*Schollen*; (d) Flebítico; (e) Estromático; (f) Migmatito surreítico; (g) Migmatito com dobras; (h) Veios ptigmáticos; (i) Estrutura oftálmica ou *augen*; (j) Estrutura estictolítica ou *fleck*; (k) Estrutura *schlieren*; (l) Estrutura nebulítica. (Mehnert, 1968).

este tipo de rocha. Este migmatito não tem uma fábrica orientada, e os outros tipos de migmatito, os quais possuem fábricas orientadas, poderiam ser chamados heterofânicos. Estes termos (homofânico, heterofânico) devem ser usados apenas quando as séries propostas por Sederholm puderem ser demonstradas.

Veios ptigmáticos: veios de leucossoma mostrando intenso e intrincado dobramento em fina-escala (**Figura 4 h**).

Estrutura oftalmítica ou *augen*: contém ou porfiroblastos de feldspato em forma de olhos, ou agregados de leucossoma com a mesma forma lenticular, espalhados através do mesossoma (Oftalmito, **Figura 4 i**).

Estrutura estictolítica ou estrutura *fleck*: estrutura consistindo em agregados de material máfico espalhados através do paleossoma circundados por halos pálidos; pobre em minerais máficos (**Figura 4 j**).

Estrutura *schlieren*: faixas (camadas) ou bandas de mesossoma ou melanossoma englobando leucossoma; as faixas, ou *schlieren*, são freqüentemente paralelos à foliação, ou mesmo definem a foliação (**Figura 4 k**).

Nebulito: um migmatito “nebuloso”, no qual os limites entre os diferentes componentes são difusos ou não diferenciados (**Figura 4 l**).

3.1.1 Gênese dos migmatitos anatexíticos (metatexitos e diatexitos)

Segundo Kriegsman (2001), os migmatitos são rochas macroscopicamente compostas que incluem domínios máficos e félsicos (estes últimos mais móveis que os máficos). Os domínios mais máficos são compostos por misturas de componentes félsicos e máficos (mesossoma), ou quase exclusivamente por componentes máficos (melanossoma).

Os três elementos estruturais estão geralmente presentes. O melanossoma comumente, embora não invariavelmente, separa o leucossoma do mesossoma. Quando no migmatito as texturas de bandamento estão presentes, a rocha é denominada **metatexito**, quando o bandamento é desfeito devido a elevados volumes de fusão, esta é denominada **diatexito** (Brown, 1973).

Os processos de migmatização são geralmente acompanhados de reações progressivas (geradores de entropia), que produzem fases de vapor hidratadas (“migmatito sub-solidus”, Sawyer & Barnes, 1988) ou produzem fundidos, ou seja, magmas gerados por fusão *in situ* (“migmatito anatexítico”, Spear et al., 1999).

O modelo mais aceito atualmente é o de fusão parcial, seja hidratada ou desidratada.

A fusão parcial é responsável pela produção de grandes volumes de magmas graníticos na crosta terrestre, e deste modo desempenha um importante papel nos processos de diferenciação crustal. Processos de fusão na crosta podem ser gerados em crosta empobrecida ou não, e produzir migmatitos anatexíticos ou plútons, dependendo do volume de fusão e da taxa de fusão transferida (Vielzeuf & Vidal, 1990).

Migmatitos anatexíticos proporcionam laboratórios naturais para estudar as propriedades físico-químicas de assembléias de fusão parcial, embora seja importante frisar que estes provêm informação principalmente sobre as condições nas quais a segregação do fundido granítico foi ineficiente e as taxas de transferência de fusão foram baixas, ou seja, o aporte térmico foi insuficiente para fundir completamente o protólito (Brown et al., 1995), observa-se muito comumente fusão quase total nos diatexitos. A natureza incompleta da extração de magmas dos migmatitos comumente leva a reações retrogressivas entre o fundido cristalizado *in situ* e o restito (resíduo), após o esfriamento (Spear et al., 1999). Este processo tem implicações significativas para o entendimento da geotermobarometria e a derivação das trajetórias P-T (pressão-temperatura). As reações retrogressivas também afetarão as composições de elementos maiores e traços dos leucossomas e poderão causar reações retrogressivas nos melanossomas.

Migmatitos de anatexia comumente mostram a ocorrência tanto de processos progressivos (geradores de entropia) quanto retrogressivos entre minerais e fundido.

As texturas finais, modo de ocorrência dos minerais e química mineral dos migmatitos, são afetadas por quatro processos sucessivos: (i) fusão parcial progressiva com segregação em pequena escala em domínios fundidos e domínios restíticos (residuais); (ii) extração do fundido (magma gerado por fusão parcial *in situ*); (iii) reações retrógradas parciais (retro-reações) entre o fundido cristalizado *in situ* e o restito; (iv) cristalização do fundido remanescente próximo à temperatura do solidus, liberando voláteis. A conclusão é que ambos os processos, progressivo e retrogressivo, ocorrem nos migmatitos.

Um modelo novo, segundo Kriegsman (2001), é apresentado que combina os quatro processos sucessivos (**Figura 5a**). É assumido que fusão parcial afeta todos os elementos texturais de uma unidade de migmatito em um sistema fechado.

Conseqüentemente, o protólito (paleossoma) é separado em um restito (agora chamado mesossoma)+ um fundido. Um modelo de fusão parcial é assumido com segregação de todos as porções exceto a última. O magma segregado, mas não extraído, reage retrogressivamente com porções adjacentes do mesossoma, resultando em um par melanossoma-leucossoma. Uma outra porção não-segregada do fundido, formada por uma pequena fração volumétrica localmente abaixo da temperatura de início da segregação, reage retrogressivamente com o mesossoma adjacente. Um pouco do fundido não-reagente cristaliza próximo ou sobre a temperatura do solidus, liberando voláteis. Uma consequência importante deste modelo é que as composições de melanossoma-leucossoma-mesossoma não necessariamente mostram tendências composicionais lineares em um sistema fechado.

Isto afeta composições líquidas deduzidas dos leucossomas, modos de ocorrência de minerais e composições dos mesmos (química mineral), como também o balanço de massa em migmatitos e o resultado deste quadro é que a possível conexão entre granitos e migmatitos pode não ficar muito esclarecida. Hidratação ou desidratação do sistema não afetam seriamente estas conclusões.

Uma simples análise gráfica sugere que texturas observadas em retro-reações entre fundido *in situ* e restito podem acontecer se forem cumpridas certas condições, sendo as mais importantes: (i) fusão incongruente, desidratada; (ii) cristalização bem acima da linha do solidus; (iii) extração incompleta do fundido.

O melanossoma biotítico pode então ser reliquiar (residual) na fusão parcial hidratada, bem como em reações que não consomem biotita. Em outros casos, o melanossoma biotítico é em parte reliquiar e em parte neoformado, produzido durante retro-reação. O melhor critério textural para retro-reações é o crescimento das assembléias minerais contendo uma fase hidratada (biotita, por exemplo) separando o leucossoma da fase ou fases incongruentes produzidas durante a fusão parcial precoce (mesossoma).

A relação entre os processos retrogressivos versus progressivos para biotita dependerá assim da composição do protólito, da reação de fusão, e de fatores cinéticos (Kriegsman, 2001).

Outro fator a analisar é o tamanho dos grãos minerais nos migmatitos anatexíticos, que é em geral considerado como função do grau e dos mecanismos de fusão parcial sofridos pela rocha. Acredita-se que uma fusão parcial com eficiente

extração do fundido levaria a uma redução do tamanho dos grãos, enquanto uma extração incompleta ou ausente do fundido levaria a um aumento dos grãos.

Geralmente o tamanho dos grãos decresce progressivamente entre leucossoma, melanossoma e mesossoma. Isto pode ser explicado no caso do par leucossoma-melanossoma por fusão parcial progressiva com redução do tamanho do grão nas interfaces mica-quartzo durante contato por fusão, seguida por retro-reações, ou seja, grandes cristais de quartzo e feldspatos no leucossoma cristalizando da fusão e grandes grãos de biotita no melanossoma crescendo pela reação entre restito e fundido.

Resumindo, a gênese dos migmatitos anatexíticos pode ser considerada como resultante de fusão parcial de um protólito com extração parcial do fundido e retro-reações parciais entre fundidos e restitos.

Todavia, embora esta teoria seja a mais recente e bem-aceita, existem muitas outras teorias para explicar a gênese dos migmatitos anatexíticos, e entre elas está o modelo do mesossoma paleossômico de Mehnert (1968) e Mehnert & Büsch (1982); o modelo do mesossoma restítico de Holmquist (1921) e Winkler & Von Platen (1961) e o modelo dos protólitos diferenciados para o mesossoma e leucossoma de Johannes & Gupta (1982) e Johannes (1983, 1985, 1988) e também de Ashworth (1976,1985).

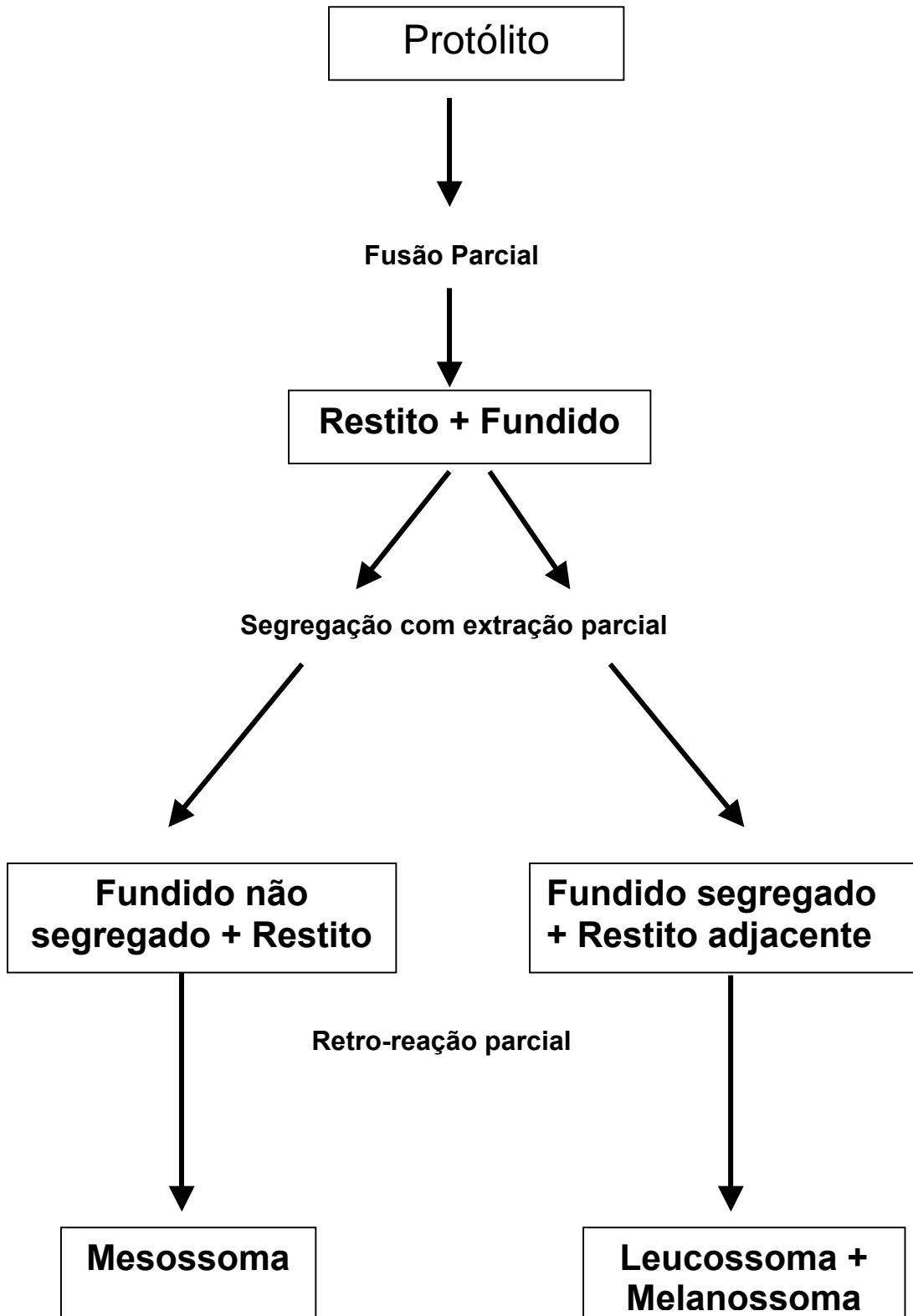


Figura 05a: Diagrama de fluxo ilustrando a evolução dos estágios postulados para o modelo de fusão parcial com extração parcial do fundido e retro-reações em um sistema fechado para migmatitos anatexíticos, segundo Kriegsman (2001).

Explicaremos resumidamente cada um destes modelos: (1) o modelo do mesossoma paleossômico considera que o mesossoma representa o protólito inalterado do migmatito, ou seja, o paleossoma, o qual foi localmente transformado em um restito (melanossoma) e um fundido (leucossoma), permanecendo todavia em sua maior parte não-modificado; (2) o modelo do mesossoma restítico considera que um protólito ao sofrer fusão segregou um fundido que diferenciou-se em um leucossoma e um melanossoma, permanecendo como resíduo o mesossoma (restito). O modelo adotado por Kriegsman (2001) segue esta linha de raciocínio, com algumas adaptações (retro-reações, etc.); (3) O modelo dos protólitos diferenciados para mesossoma e leucossoma considera que o mesossoma representa um protólito não-fundido, e portanto diferente do paleossoma, este paleossoma representaria o protólito do leucossoma e melanossoma, ou seja, do neossoma, por fusão parcial.

Nesta dissertação, utilizaremos o conceito de protólitos diferenciados, ou seja, o modelo de Johannes & Gupta (1982), Johannes (1983, 1985, 1988) e Ashworth (1976,1985), por considerá-lo o mais compatível com as observações de campo (**Figura 5b e 5c**).

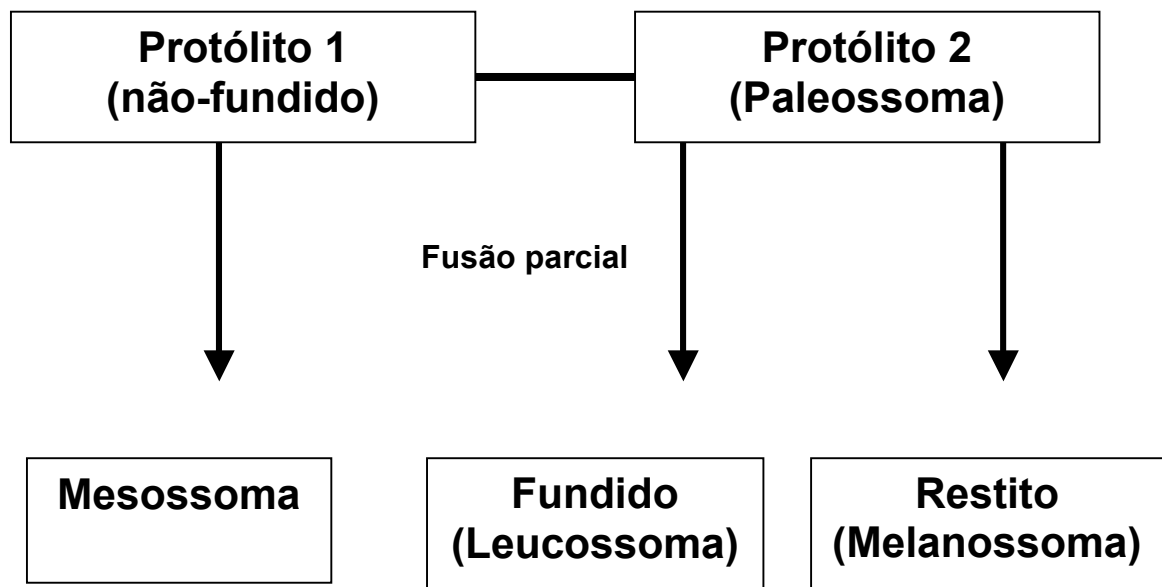


Figura 05b: Diagrama de fluxo ilustrando o modelo dos protólitos diferenciados para os migmatitos anatexíticos, segundo Johannes & Gupta (1982), Johannes (1983, 1985, 1988) e Ashworth (1976,1985).

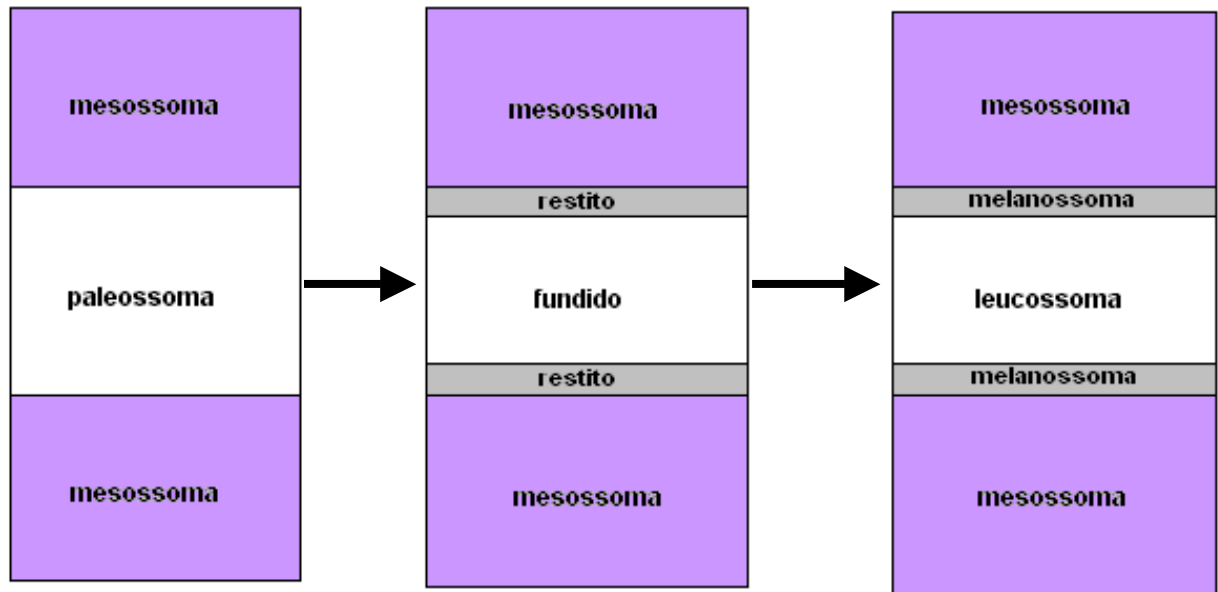


Figura 05c: Representação esquemática (similar à figura anterior 05 b) ilustrando o modelo dos protólitos diferenciados para os migmatitos anatexíticos, segundo Johannes & Gupta (1982), Johannes (1983, 1985, 1988) e Ashworth (1976,1985).

O modelo dos protólitos diferenciados para o mesossoma e leucossoma de Johannes & Gupta (1982) e Johannes (1983, 1985, 1988) e também de Ashworth (1976,1985), considera que o mesossoma representa um protólito não-fundido, e portanto diferente do paleossoma. Este paleossoma representaria o protólito do leucossoma e melanossoma, ou seja, do neossoma, por fusão parcial. Este modelo serviria como base para tratar de explicar a presença na área de estudo de dois protólitos, um metaplutônico não fundido (o mesossoma) e outro de origem paraderivado (o paleossoma que seria o protólito do neossoma). Isto seria evidenciado no campo pela presença de leucossoma (leucogranitos) com muscovita e granadas associadas a rochas ortognaisses/migmatitos (diatexitos) de composição tonalítica de cores cinza claro a cinza escuro, pertencentes ao Complexo Belém do São Francisco.

CAPÍTULO 4 – GEOLOGIA LOCAL

4.1 UNIDADES LITOLÓGICAS: RELAÇÕES DE CAMPO E PETROGRAFIA

A área estudada está localizada na Folha Garanhuns (SC.24-F-IV, escala 1/100.000), pertencente ao embasamento Pré-Cambriano geotectonicamente inserido na Província Borborema dentro do Domínio Meridional, Terreno Pernambuco-Alagoas, no âmbito dos Complexos Belém do São Francisco e Cabrobó. Na **Figura 02** (Capítulo 2) apresenta-se a compartimentação da Província Borborema em domínios tectonoestratigráficos, com a localização da Folha Garanhuns, segundo Santos (1998).

A área está localizada ao norte-nordeste da cidade de Garanhuns, incluindo os municípios de São Pedro, Neves e São João e alguns povoados pequenos e/ou sítios tais como: Volta do Rio, Capim Grosso, Sítio Riacho, Cachoeirinha, Papa Terra, Várzea de Barro entre os principais.

As unidades litológicas presentes na área podem ser consideradas, como representantes de complexos metamórficos de alto grau, dentro dos quais separamos dois domínios, sendo um domínio supracrustal ou paraderivado (ocupa cerca de 45% da área estudada), correspondente ao Complexo Cabrobó e um domínio metaplutônico ou ortoderivado (ocupa aproximadamente 55% da área estudada), correspondente ao Complexo Belém de São Francisco, (vide Anexo 1). Ambos domínios estão distribuídos geograficamente em faixas sub-paralelas, alternadas, dobradas e redobradas, com orientação predominantemente leste-oeste, mostrando a presença de, no mínimo, duas fases de deformação (D2 e D3).

No **domínio supracrustal ou metassedimentar** (Complexo Cabrobó), foram descritas duas unidades: a **primeira unidade** deste domínio é representada por supracrustais metamorfizadas no fácies anfíbolito, predominando os quartzitos e metarcósios, com outras rochas representativas formadas por muscovita gnaisses, biotita gnaisses quartzo-feldspáticos (podendo conter granada), mica-xistos, paragnaisses (por vezes migmatizados). A **segunda unidade** deste domínio é representada por migmatitos com protólito metassedimentar predominando tipos estromáticos. Os migmatitos são derivados de metapelitos (micaxistos e

paragnaisses), observando-se muita biotita e muscovita em sua composição mineralógica, além de granada. É observada a ocorrência de intrusões de granitóides leucocráticos sob a forma de diques concordantes aos planos de foliação dos migmatitos, provavelmente sintectônicos. Sob o enfoque petrológico, esta unidade é designada como **metatexito** (segundo classificação sugerida por Brown, 1973; Kriegsman, 2001).

No **domínio metaplutônico ou ortoderivado** (Complexo Belém de São Francisco), foram descritas basicamente três unidades: a **primeira unidade** é representada por metagranodioritos a metadioritos/biotita ortognaisses cinzentos e metadioritos, constituindo o mesossoma quartzo diorítico/tonalítico a biotita e/ou anfibólio, além de porções anfibolíticas. Esta unidade se mostra em geral muito fraturada. A **segunda unidade** é representada por ortognaisses granodioríticos/tonalíticos, leucocráticos de cor cinza, geralmente migmatizados e migmatitos com protólito metaplutônico, apresentando dois fácies principais: um potássico de cor predominantemente rosa (mais rico em K-feldspatos) e outro cálcio-sódico, de cor branca a cinza-azulado (mais rico em plagioclásios). Esta unidade apresenta os mais diversificados tipos texturais, principalmente as texturas nebulítica e schlieren. Ambas unidades apresentam diques pegmatíticos e aplíticos. Sob o enfoque petrológico, esta unidade é designada como **diatexito** (segundo classificação sugerida por Brown, 1973; Kriegsman, 2001).

A **terceira unidade** é representada por leucogranitos, rocha de granulação grosseira heterogênea, constituída predominantemente por minerais de coloração clara (quartzo, plagioclásio, K-feldspato e subordinadamente muscovita e granada) e de minerais máficos (principalmente biotita e opacos). Esta unidade, metamorfisada em fácies anfibolito de alto grau, apresentam localmente processos de anatexia, onde são observados termos migmatíticos e leucogranitóides neossomáticos. Exibindo nos maciços bordas difusas não diferenciadas, resultado da difícil separação entre o corpo e suas encaixantes. Em geral apresentam enclaves supermicáceos e xenólitos de supracrustais. Estes granitos são bastante fraturados, estando estas fraturas preenchidas geralmente por diques pegmatíticos.

O metamorfismo atuante na área foi de características regionais e modificou toda a litologia existente, com indícios de regime de alto grau de temperatura e baixa pressão, atingindo a anatexia em quase a metade da área estudada. A anatexia ficou bem caracterizada nos ortognaisses/migmatitos (diatexitos), onde é observado

o fundido de composição álcali-feldspato-granito, acompanhado de restitos, sendo isto exibido principalmente nos contatos entre migmatitos/paragneisses (metatexitos) e ortogneisses/migmatitos (diatexitos). Nesta zona predomina o relevo muito erodido ou arrasado, apresentando insuficiência de bons afloramentos.

A seguir descreveremos mais detalhadamente as unidades relacionadas aos domínios metassedimentar e metaplutônico, em ordem crono-estratigráfica (**Anexo 1**), abordando principalmente os aspectos texturais (tipos de estruturas) e petrográficos.

4.2 COMPLEXO CABROBÓ

4.2.1 Quartzitos e metarcósios

Os quartzitos e metarcósios constituem as supracrustais predominantes, sendo que os quartzitos representam cerca de 15% de toda a área estudada, ocorrendo nas porções noroeste (localidades de Neves e Jucati), em toda a porção sul (os melhores afloramentos podendo ser vistos ao longo de cortes na estrada Garanhuns-São João-Angelim, ver **Fotografia 01**) e em serras isoladas nas porções centrais (ex: Serra da Suçuarana), sempre ocupando as cotas mais elevadas. Estas exposições de rochas supracrustais se apresentam na forma de faixas alongadas, com um *trending* principal E-W e localmente ENW-WSW (Serra da Suçuarana). Apresentam-se em contato direto com os migmatitos ou cobertos por um espesso manto de intemperismo.

Onde aparece esta unidade de quartzitos, o solo é de cor bege claro a branco, a textura do solo é arenosa, de granulação média a fina; mineralogicamente está constituído predominantemente por grãos arredondados a subarredondados na proporção de aproximadamente 85-90% de quartzo e 5% de muscovita, contendo ainda 5% de plagioclásio e algumas impurezas argilosas em proporção insignificante. Em menor proporção texturas xenoblásticas são observadas.

A ocorrência do quartzito apresenta-se variando de composição quartzo-feldspático bandada a extremamente quartzoso e, em geral, tem pouca muscovita o que nos leva a supor que é parcialmente um metarcósio, possivelmente com características miloníticas, sendo que grande parte estaria fortemente recristalizado.

Em seção delgada mostra ser uma rocha leucocrática, holocristalina, constituída predominantemente por quartzo (90%), e secundariamente por muscovita e plagioclásio (5%).

O quartzo ocorre sob forma de grãos irregulares, alongados segundo uma direção preferencial (textura indicativa de esforços sofridos pela rocha, possivelmente por metamorfismo regional), mostra também extinção ondulante e aspecto límpido (sem alterações e inclusões).

A muscovita ocorre sob a forma de lamelas, orientadas formando alinhamentos descontínuos, com direção paralela ao alongamento dos grãos de quartzo.

Sob forma reliquiar e em proporção insignificante (<1%), ocorrem lamelas de biotitas de cor marrom avermelhada, associadas às muscovitas, alinhadas segundo a mesma direção destas.

Nos cortes da estrada Garanhuns-São João-Angelim, os quartzitos estão intemperizados, mas observa-se a estrutura original, existindo uma variação de feldspato alterado, mostrando estruturas reliquiaras de camadas com mergulhos de baixo ângulo. A direção das camadas é 118°Az , mergulhando $24^{\circ}/\text{SW}$, cortadas por um fraturamento regular e paralelo. A direção do fraturamento principal é de 250°Az (**Fotografia 01**). Observa-se a presença de pontuações brancas caulinizadas indicando o feldspato na composição da rocha. Localmente os quartzitos encontram-se cortados por diques de quartzo leitoso perpendicular às estruturas. Também são notados efeitos da migmatização neste quartzito, mostrando-se o mesmo dobrado e fraturado.

Na Serra da Suçuarana, o quadro é semelhante: os quartzitos mostram camadas com mergulhos regulares, homoclinais, com vergência para 173°Az e mergulho 40° para noroeste, dobradas (**Fotografia 02**).



Fotografia 01: Quartzito intemperizado, mostrando estruturas reliquias de acamamento e mergulho das camadas, cortadas por fraturamentos regulares. Direção do acamamento: 118°Az . Fraturamento principal: direção 250°Az , mergulho: $24^{\circ}/\text{SW}$ (afloramento 42, ao sul do Sítio Gameleira).



Fotografia 02: Quartzito dobrado, extremamente intemperizado. As dobras são regulares, com vergência para 173°Az e mergulho de $40^{\circ}/\text{NW}$ (afloramento 15, área leste da Serra da Suçuarana).

Também próximo a Angelim, no limite sudeste da área, ocorrem afloramentos de quartzitos apresentando fraturamentos E-W com espaçamento de 15 a 30 cm cortando a rocha regularmente (afloramento 45). Na realidade toda a porção sul da área de estudo está constituída por quartzitos, porém devido ao intemperismo estes já se encontram arrasados e transformados em uma espessa camada de vários metros de solo arenoso, de cor branca.

De um modo geral são raros os afloramentos desta unidade, a qual encontra-se predominantemente decomposta formando serras isoladas que se elevam topograficamente cerca de 80 a 100 m acima dos migmatitos (**Fotografia 03**).

Em alguns locais o quartzito está cortado por diques pegmatíticos, mostrando feldspatos róseos e biotitas alteradas para argila avermelhada (provavelmente por oxidação de ferro existente na estruturas destes minerais), e fragmentos de quartzo soltos em blocos e seixos quebrados.



Fotografia 03: Observa-se o contraste entre o relevo arrasado dos migmatitos (metatexitos e diatexitos) e o relevo colinoso (topograficamente com maiores elevações) dos quartzitos. Esta fotografia foi tomada entre o afloramento 47 (quartzito) e o afloramento 48 (metatexito, vide seta). Afloramentos localizados entre os Sítios Cachoeirinha e Varzinha.

4.2.2 Rochas cálcio-silicáticas

Este tipo de rocha é originado possivelmente de calcários impuros, submetidos a metamorfismo regional no fácies anfíbolito de metamorfismo regional. A única ocorrência está posicionada próxima à localidade de Lagoa da Pedra (**Anexo 1**). Esta rocha se encontra espalhada de forma aleatória como blocos soltos silicificados, de coloração escura, recobertos por uma crosta laterítica de coloração marrom avermelhada.

Esta variedade de rocha está composta de diopsídio, plagioclásio, calcita, hornblenda e titanita. Esta unidade não está apresentada no mapa geológico por ocorrer em escala não-cartografável (muito pequena).

4.2.3 Paragnaisses e biotita-xistos

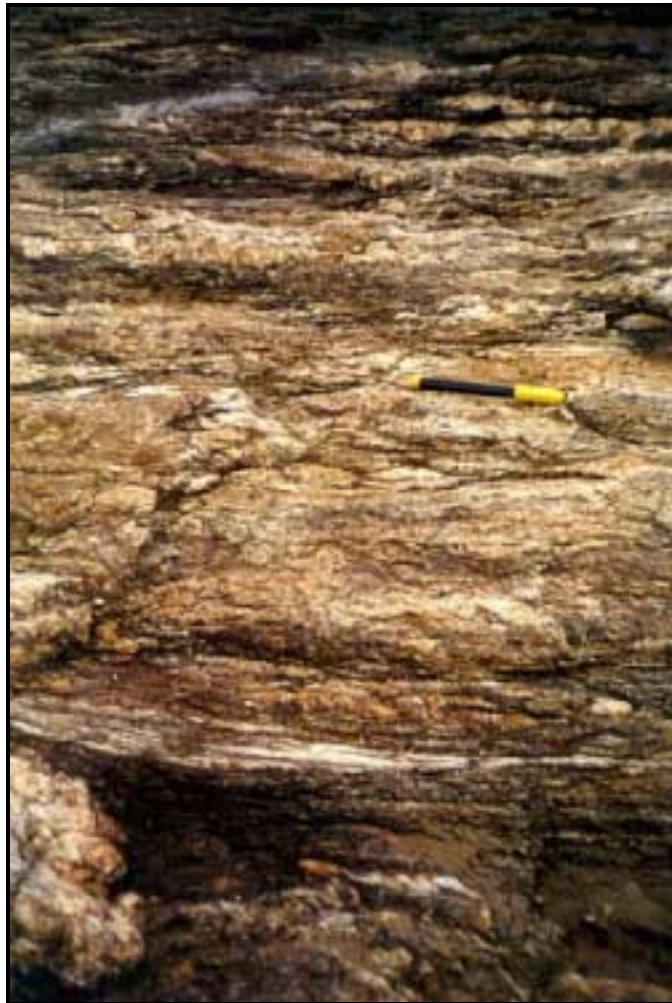
Os paragnaisses bandados ocorrem principalmente na localidade de Sítio de Laje. Apresentam-se um pouco intemperizados e, formando um solo argiloso de tonalidade escura. Sua textura macroscópica é grano-lepidoblástica fina, composta de biotita em abundância, muscovita, feldspato, quartzo e granada. São freqüentes diques aplíticos que os cortam concordantemente; apresentando uma orientação geral NNE a N e foliação de 260°Az ($30^{\circ}/350\text{Az}$).

Também ocorrem paragnaisses no limite oeste da área de estudos. Igualmente não está representada no mapa, pelo mesmo motivo da unidade anterior (escala muito pequena). Pertencente ao Complexo das Encaixantes regionais, a foliação tem direção 286°Az (afloramento 04, fora da área).

Os biotita-xistos possivelmente representam o protólito dos metatexitos (**Fotografias 04 e 05**); no mapa geológico ocorrem na localidade de Cachoeirinha, a norte de Paulista, como afloramentos reliquias dentro dos metatexitos.



Fotografia 04: Contato entre o biotita-xisto migmatizado, protólito do metatexito e um dique granítico. O biotita-xisto mostra intercalações de leucossoma ao longo dos planos de foliação, talvez gerado por segregação pegmatóide (afloramento 66, localizado ao norte do Sítio Paulista).



Fotografia 05: Vista geral dos biotita-xistos migmatizados (estromáticos), protólitos dos metatexitos. Observam-se lentes de leucossoma intercalados nos planos de foliação (afloramento 66, localizado ao norte do Sítio Paulista). Observa-se feições de cisalhamento simples dextral. A foliação é sub-horizontal de orientação Norte-Sul.

Petrograficamente podem ser descritos como rochas muito foliadas, com textura xistosa; em seção delgada as biotitas estão fortemente alinhadas a espaços regulares e paralelos entre si, segundo uma direção preferencial formando finas faixas de máficos intercaladas com faixas mais largas de félsicos (quartzo, K-feldspato e plagioclásio), estes últimos em mosaico cristalino de grãos irregulares a sub-arredondados, também estirados (alongados) segundo a mesma direção das biotitas. Aproximadamente 40% das lâminas estudadas está constituída por biotitas, em duas seções: uma basal, sem clivagem e com cor marrom avermelhada, e outra longitudinal, com excelente plano de clivagem e cores variando de marrom claro a escuro, algumas vezes cloritizando nas bordas; algumas vezes as biotitas estão acompanhadas por muscovitas.

Os plagioclásios apresentam em alguns locais intercrescimentos mirmequíticos e geminação polissintética combinada ou não com geminação Carlsbad. Ambos os feldspatos apresentam inclusões de quartzo, biotita, apatita.

Infelizmente, por falta de opção, algumas lâminas foram confeccionadas a partir de amostras de rochas alteradas.

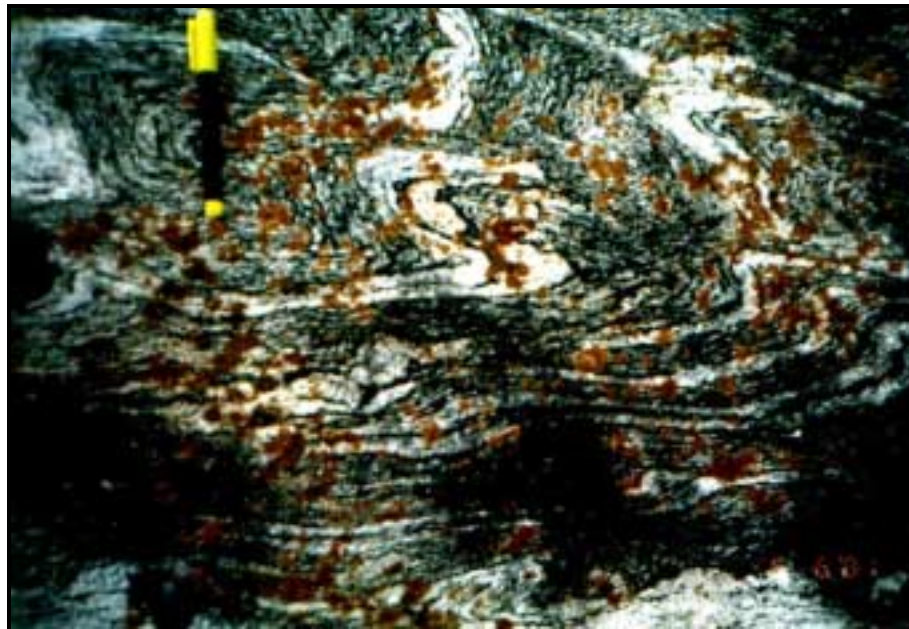
4.2.4 Migmatitos/paragnaisses com protólito metassedimentar (metatexitos)

No Mapa Geológico (**Anexo 1**) pode-se observar o domínio supracrustal ou metassedimentar representado pelos quartzitos e metarcósios, paragnaisses e biotita-xistos (ver **Fotografias 04 e 05**) e migmatitos/paragnaisses (metatexitos). Podemos acompanhar no mapa geológico a seqüência de ocorrência destas unidades, dispostas em faixas alternadas com direção aproximadamente leste-oeste e nordeste-sudoeste. Ocorrem como três faixas com orientação E-W, paralelas e subparalelas, alternadas e dobradas. Sendo localizadas na porção norte e central da área estudada e apresentando-se também em menor proporção no sul-sudeste da área pesquisada, na forma de faixas com orientação SW-NE.

Estes migmatitos apresentam estruturas dobradas e redobradas regulares (**Fotografias 06 e 07**) mostrando intenso dobramento afetados por duas fases D2 e D3.



Fotografia 06: Metatexito passando a granito foliado. As porções onde domina o metatexito conferem um aspecto listrado à rocha, de boa aceitação estético decorativa para uso com fins ornamentais. Observam-se zonas de cisalhamento (provavelmente extensionais) preenchidas por leucossoma granítico (afloramento 30, Sítio Riacho).



Fotografia 07: Dobras intrafoliais regulares no metatexito, mesossoma tonalítico e leucossoma dobrados e afetados por duas fases D2 e D3, (afloramento 65, zona de dobras do Sítio Cachoeirinha).

Os migmatitos/paragnaisses (metatexitos) constituem aproximadamente 30% das rochas da área estudada, e afloram geralmente em locais onde as cotas são relativamente baixas, apresentando estruturas diversas; nos metatexitos apresentam-se na maior parte estruturas de tipo estromática, agmatítica, flebítica, dobrada e mais raramente oftalmítica e dictionítica

Os migmatitos/paragnaisses (utilizaremos também o termo petrogenético metatextito) deste sub-domínio representam possivelmente o processo de fusão parcial dos paragnaisses e biotita-xistos. A intensidade da migmatização varia bastante. Os migmatitos/paragnaisses exibem pequenas áreas granitizadas, formando assim uma unidade litológica extremamente heterogênea. O contato com os ortognaisses (diatexitos) é bem irregular, podendo ser gradativos e até interdigitados em alguns locais. Parecem estar controlados pelos sistemas de fraturamento/falhamento regionais.

Esta unidade é constituída por migmatitos com bandamento metamórfico em geral muito nítido. Leucossoma e mesossoma também estão bem definidos. De acordo com as observações de campo o mesossoma tem composição variável, sendo observado que a composição predominante é a granodiorítica podendo ser de composição quartzo-diorítico a tonalítica.

Estes migmatitos paraderivados (metatexitos) apresentam estruturas estromáticas predominantemente e subordinadamente estruturas porfirobláticas e textura dictionítica (veios entrecruzados na forma de malha), exibindo camadas de centímetros a metros de leucossoma, mesossoma e melanossoma.

Nos migmatitos (metatexitos) de tipo agmatitos, o hospedeiro toma a forma de blocos angulares, interrompidos por um ou mais conjuntos de veios graníticos.

Nos migmatitos (metatexitos) de tipo flebíticos apresentam-se com intercalações de veios pegmatíticos fazendo parte do leucossoma, que foram formados possivelmente através de injeções magmáticas tardias no paragnaisse, durante o metamorfismo regional (associado possivelmente à fase de dobramentos D3), onde o mesossoma é atravessado irregularmente pelo leucossoma.

Os migmatitos de tipo estromáticos apresentam uma certa granitização com corpos pegmatíticos em algumas zonas. O leucossoma apresenta-se sob a forma de camadas claras e escuras no mesossoma, freqüentemente paralelos à foliação principal ou xistosidade da rocha, possivelmente originadas pela injeção de um magma estranho através de afastamento de planos de xistosidade do mesossoma.

O leucossoma granítico, em alguns locais, apresenta-se orientado paralelamente ao mesossoma e ao melanossoma, e outras vezes trunca discordantemente os mesmos (**Fotografia 08**); sua granulação é idêntica a do mesossoma, exibindo uma textura essencialmente granoblástica, e em seção delgada é composto essencialmente de quartzo, plagioclásio e K-feldspato (microclina).



Fotografia 08: Metatexito cinza escuro de aspecto heterogêneo, textura estromática (mesossoma diorítico), englobadas por granito intrusivo com enclaves máficos deslocados. Observam-se duas gerações de leucossoma granítico, uma intercalada com o melanossoma biotítico e outra intrusiva que trunca discordantemente à estrutura bandada (Sítio Capim Grosso).

Estes migmatitos-paragnaisses (metatexitos) mostram em geral cor cinzento escuro, exibem-se muito foliados e estão cortados por diques graníticos, pegmatíticos e quartzosos concordantes com a foliação geral da rocha (**Fotografias 09 e 10**).



Fotografia 09: Metatexito foliado. A fotografia mostra a foliação principal **c** (direção 235°Az) e a foliação secundária **s** (direção 204°Az) (afloramento 48, Sítio Pitombeira).



Fotografia 10: Metatexito foliado. Observa-se o aspecto dobrado e redobrado das faixas de leucossoma e mesossoma, evidenciando as várias fases de deformação. Exibe-se na porção central da fotografia zonas de cisalhamento sinistrais (afloramento 48, Sítio Pitombeira).

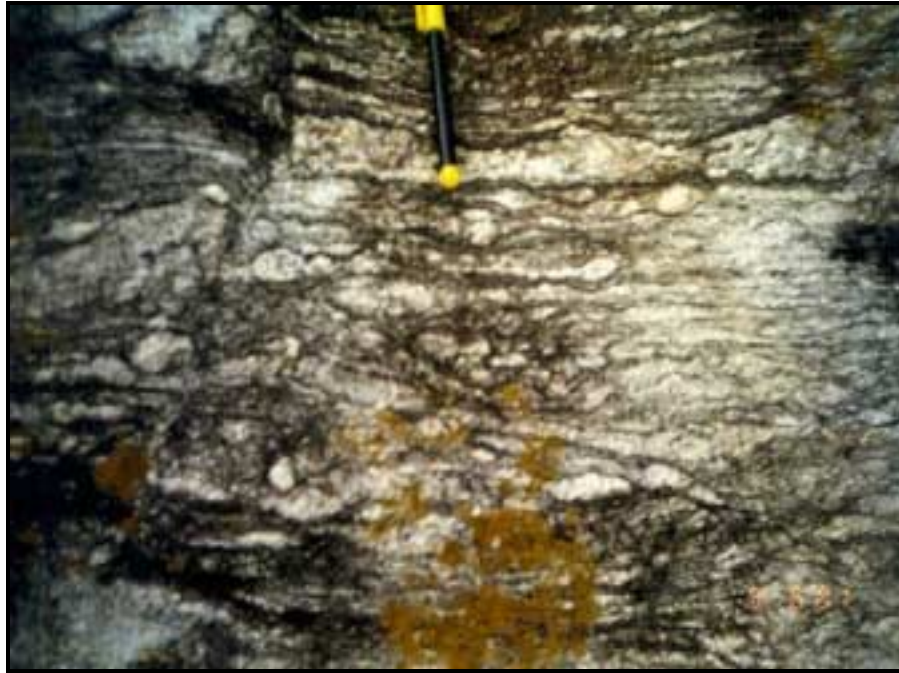
Estes migmatitos são derivados de metapelitos (biotita-xistos e paragnaisses, **Fotografias 04 e 05**), observando-se muita biotita e muscovita em sua composição mineralógica, além de granadas. É observada a ocorrência de intrusões de granitóides leucocráticos sob a forma de diques concordantes aos planos de foliação dos metatexitos, provavelmente sintectônicos, pois estes granitóides apresentam fenocristais de K-feldspatos deformados na forma de olhos (*augen*), seguindo a mesma direção da foliação e algumas vezes escalonados.

Macroscopicamente, o melanossoma tem composição biotítica, e ocorre basicamente como faixas reliquiares e restitos nos migmatitos/paragnaisses (metatexitos) (**Fotografia 11**); o mesossoma tem em geral uma estrutura gnáissica, de cor cinza média a escura, devido à presença de biotita em sua composição, exibindo uma textura grano-lepidoblástica cuja granulação varia de fina a média. Ambos, mesossoma e melanossoma, têm a mesma orientação do bandamento gnáissico, e das foliações C e S; (bem caracterizadas no Sítio Capim Grosso), foliação C ($35^\circ/20^\circ$ Az) e S ($70^\circ/295^\circ$ Az).



Fotografia 11: Metatextito cinza escuro de textura estromática (mesossoma diorítico), apresentando bandas restíticas de melanossoma biotítico. Observa-se zonas de cisalhamento pós-migmatização, com rejeito sinistral. A zona de cisalhamento central desenvolve-se em regime frágil ou dúctil-frágil (Sítio Capim Grosso).

Os migmatitos oftalmíticos ocorrem em menor proporção que os demais, com porfiroblastos de plagioclásio em forma de olhos (*augën*), compondo, em geral, o leucossoma (**Fotografia 12**).



Fotografia 12: Metatexito mostrando estruturas oftalmíticas dadas pelos feldspatos estrangulados em forma de olhos (*augën*), alinhados formando boudins. A rocha aqui pode ser considerada um milonito ou um *augën*-gnaisse em zona de alto *strain*, critérios cinemáticos indicam rejeito dextral (afloramento 48, Sítio Pitombeira).

Embora estas estruturas se apresentem bem diversificadas, os migmatitos têm uma composição mineralógica bastante semelhante tanto para o mesossoma quanto para o melanossoma e leucossoma.

Cortando os migmatitos/paragneisses (metatexitos) ocorrem diques de pegmatitos (**Fotografia 13**). Estes pegmatitos se apresentam com espessura variada e de pequenas dimensões. Ocorrem nitidamente relacionados com a tectônica de ruptura, preenchendo os eixos dos dobramentos da última fase de deformação (D3).



Fotografia 13: Na parte inferior da fotografia observa-se o metatexito com textura de bandamento migmatítico dobrado, com zonas de cisalhamento sinistrais e mesossoma de composição tonalítica grosseira a média. Na porção central, mostra-se um veio pegmatítico intrusivo ao longo das zonas de cisalhamento cortando o metatexito. Na porção superior exhibe-se o ortogneisse cinza (afloramento 48, Sítio Pitombeira).

4.3 COMPLEXO BELÉM DE SÃO FRANCISCO

4.3.1 Metagranodioritos a metadioritos/biotita ortognaisses cinzentos e metadioritos

Destes três tipos de rochas o mais freqüente é o metagranodiorito, o qual foi considerado como representativo destes três tipos de rochas, devido à dificuldade de individualizar em campo estes três litotipos.

Em escala de afloramento os metagranodioritos encontram-se às vezes, em pequenas áreas de exposição, ocorrendo sob forma de maciços rochosos (**Fotografias 14 e 15**) ou em blocos soltos e matacões pequenos (**Fotografia 16**).

Os granodioritos também podem ocorrer como rochas levemente abauladas quase concordantes com a superfície do terreno, e às vezes em pequenos blocos envolvidos pela massa migmatítica, formando agmatitos.



Fotografia 14: Metagranodiorito aflorando sob a forma de maciço rochoso, as rochas ocorrem levemente abauladas quase concordantes com a superfície do terreno, muito fraturadas. Indicado para a produção de ladrilhos para calçamento e brita, mas não para extração de blocos (afloramento 32, nordeste do Sítio Lagoa da Pedra).



Fotografia 15: Metagranodiorito aflorando sob a forma de maciço rochoso, muito fraturado, indicado para a produção de ladrilhos para calçamento e brita, mas não para extração de blocos (afloramento 32, nordeste do Sítio Lagoa da Pedra).



Fotografia 16: Metagranodioritos ocorrendo sob a forma de blocos soltos, próximo à Pedreira Ferreira Costa (afloramento 71, oeste de Lagoa da Pedra).

Apresentam-se diques pegmatíticos dentro do metagranodiorito, o qual se mostra em geral muito fraturado. O metagranodiorito mostra intenso fraturamento, com espaçamento regular de 40 a 60 cm. As fraturas são paralelas entre si e têm predominantemente direções de 200° a 210° Az (afloramento 11).

Em vários afloramentos da área estudada são observados zonas de contato entre os granodioritos e migmatitos, tanto de tipo metatexito como diatexito (em algumas áreas estas rochas ocorrem interdigitadas). Bem como, é observado o contato entre o granodiorito e o migmatito diatexítico potássico denominado “Rosa Imperial” e o granodiorito em contato com o migmatito metatexítico cinzento foliado (**Fotografias 17 e 18**).



Fotografia 17: Contato retilíneo entre o metagranodiorito (possivelmente fase intrusiva) e o migmatito diatexítico tipo “Rosa Imperial” (afloramento 11, localizado ao norte da cidade de São Pedro).



Fotografia 18: Observa-se um afloramento com mesossoma tonalítico-diorítico exibindo apófises do leucossoma diatexítico tipo “Rosa Imperial” (fase intrusiva) penetrando no metagranodiorito, aproveitando os planos de fraqueza do mesmo (direção: 250° Az). No canto esquerdo da fotografia se vêem porções do metatexito cinzento, englobado pelo migmatito diatexítico tipo “Rosa Imperial” (afloramento 11, localizado ao norte da cidade de São Pedro).



Fotografia 19: Metagranodiorito com mesossoma diorítico e leucossoma granítico, e porções (restitos) de melanossoma biotítico. Observa-se no centro da fotografia uma zona de cisalhamento com rejeito dextral (afloramento 12, localizado ao norte da cidade de São Pedro).

Além disto, o migmatito é observado com porções de leucossoma granítico englobando o mesossoma biotítico, isolando-o em blocos de aparência como xenólitos (**Fotografias 19, 20 e 21**).



Fotografia 20: Metagranodiorito com mesossoma diorítico e filmes de leucossoma granítico mostrando bolsões (restitos) de melanossoma biotítico. No centro da fotografia observam-se estruturas de cisalhamento com rejeito dextral (afloramento 58, localizado no sul do Sítio Cachoeira, ao norte da área estudada).



Fotografia 21: Mesossoma quartzo-diorítico com veios de leucossoma granítico de fácies potássica (rósea), englobando porções de mesossoma, muito fraturado. O leucossoma corresponde a 10 a 15% do volume total da rocha (afloramento 58, localizado no sul do Sítio Cachoeira, ao norte da área estudada).

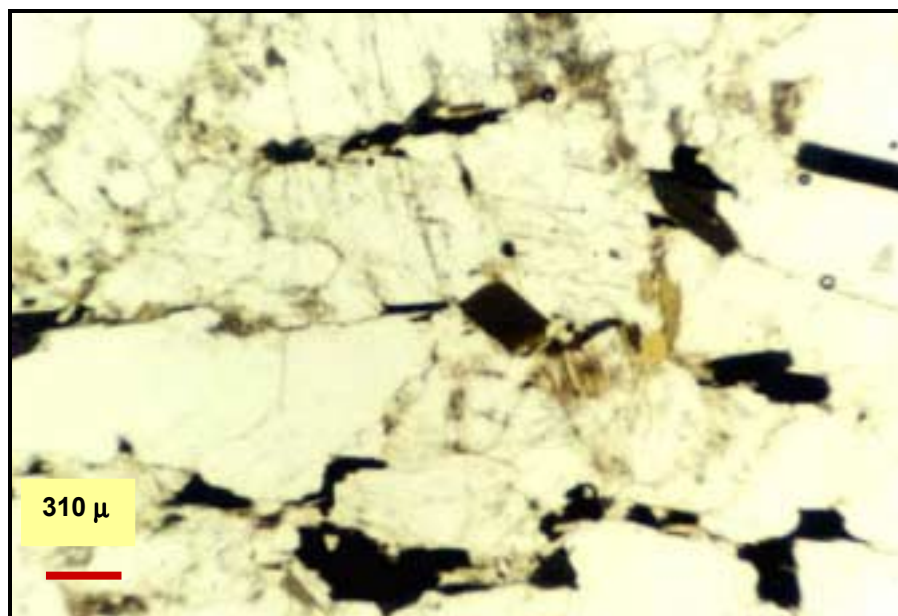
PETROGRAFIA: Em amostra de mão esta rocha geralmente apresenta-se mesocrática, de cor cinza médio a cinza escuro, equigranular isotrópica de granulação média a fina, podendo todavia gradar para uma granulação grosseira heterogênea, de coloração cinza a esbranquiçada, conforme a variação composicional para granodiorito ou tonalito. Petrograficamente está constituída predominantemente por biotita, quartzo e feldspato (plagioclásio), além de freqüentes pontuações de coloração marrom de minerais metálicos ferrosos. O granodiorito apresenta variações ou mudanças de fácies a tonalito e quartzo-diorito.

Em seção delgada, como minerais principais temos quartzo, K-feldspato (microclina) e plagioclásio, ocorrendo como grãos xenomórficos formando textura em mosaico (textura granoblástica); secundariamente ocorrem micas (biotitas e em menor proporção muscovita), as quais estão claramente alinhadas segundo uma direção preferencial (**Fotografia 22**), como faixas que se alternam.

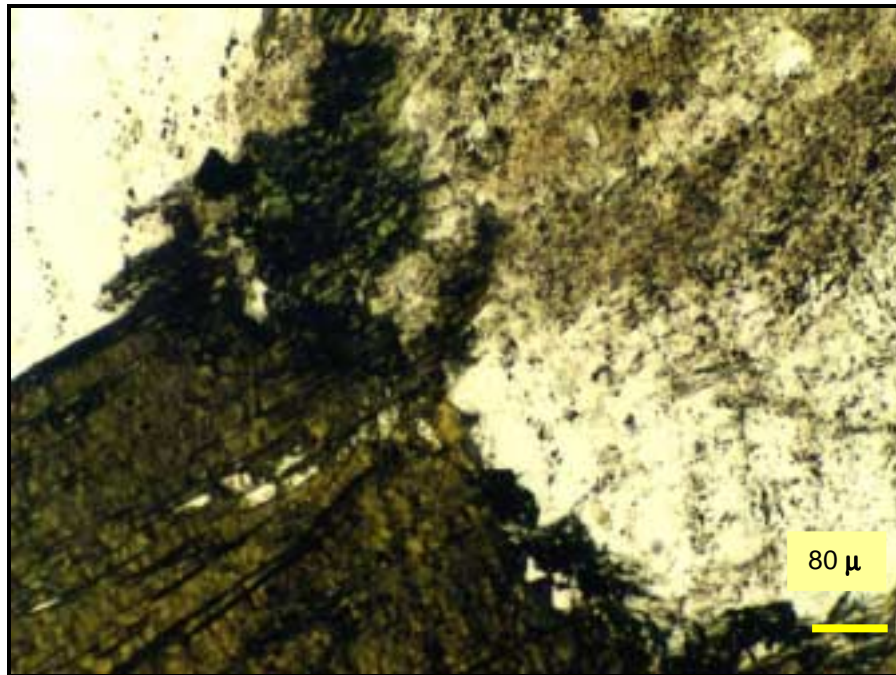
As biotitas mostram algumas vezes cloritização nas bordas, indicando aporte de fluidos por retrometamorfismo, durante a separação mesossoma-leucossoma (**Fotografia 23**).

Como minerais acessórios, temos minerais opacos e, associados às micas, apatitas (em forma de prismas hexagonais, mostrando cores de retardo cinza escuro) e zircões (inclusos nas biotitas, mostrando halos pleocróicos). Há também um mineral verde, ocorrendo em proporção irrisória, que é possivelmente turmalina.

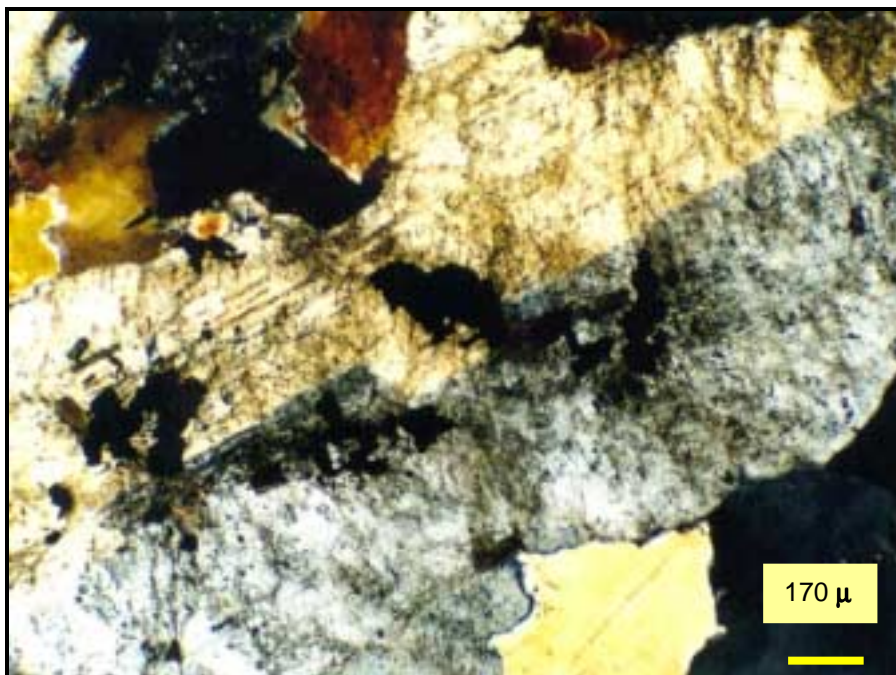
Os feldspatos encontram-se bastante alterados (**Fotografias 24 e 25**), às vezes preenchidos por numerosas inclusões de quartzo, biotita, outros feldspatos, opacos e apatitas (**Fotografias 26 e 27**) e muitas vezes microfraturados. Alguns cristais de K-feldspato mostram linhas de crescimento (**Fotografia 28**).



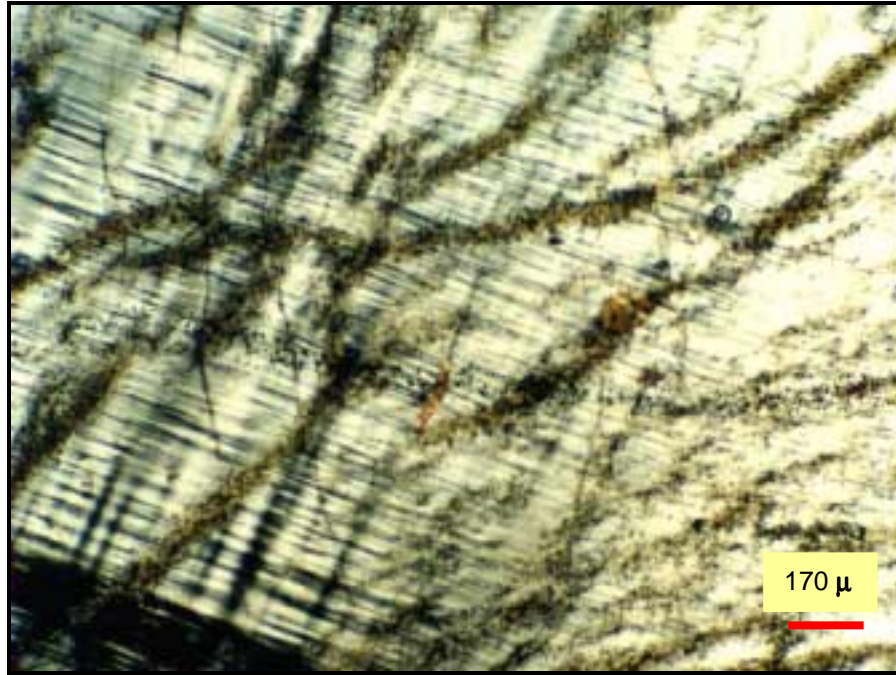
Fotografia 22: Fotomicrografia de biotitas alinhadas formando faixas paralelas, (amostra CH-GW-13).



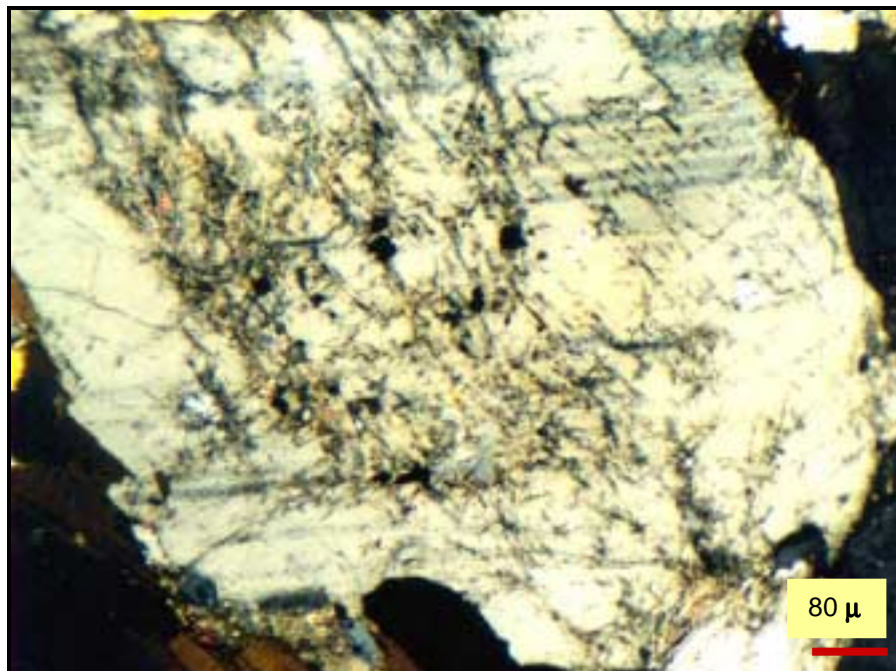
Fotografia 23: Fotomicrografia de biotita cloritizando nas bordas, indicando aporte de fluidos por retrometamorfismo, (amostra CH-GC-32).



Fotografia 24: Fotomicrografia de plagioclásio mostrando geminação polissintética conjugada com geminação Carlsbad, contendo inclusões de opacos, fortemente alterado, (amostra CH-GC-32).



Fotografia 25: Fotomicrografia de K-feldspato alterado para sericita e argilominerais, (amostra CH-GFC-32).

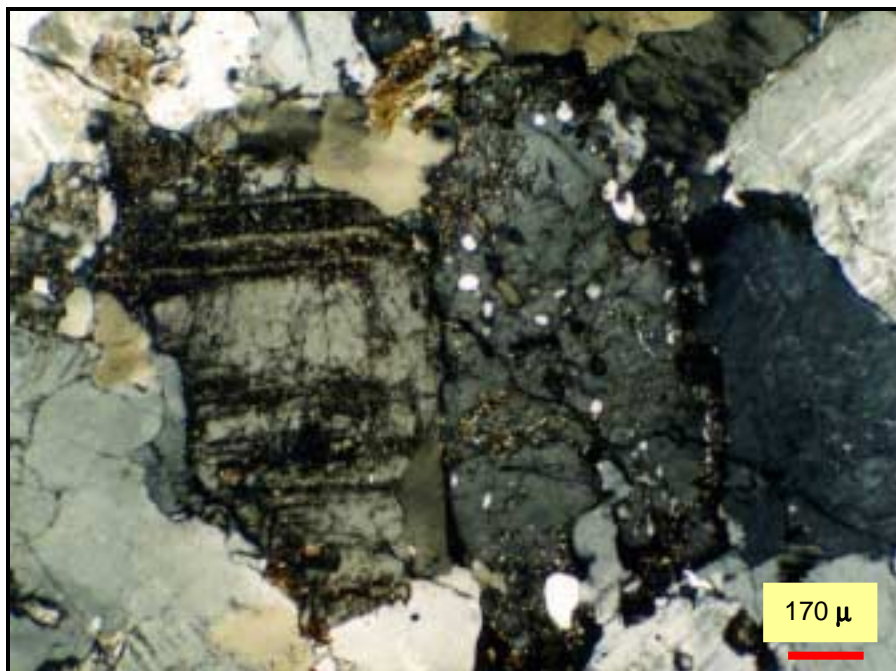


Fotografia 26: Fotomicrografia de plagioclásio fraturado, alterado para sericita, com inclusões de opacos, (amostra CH-GW-11).



Fotografia 27: Fotomicrografia de K-feldspato mostrando linhas de crescimento, contendo inclusões de biotita e quartzo, (amostra CH-GC-32).

Os plagioclásios mostram-se muitas vezes alterados para argilominerais e sericita, e costumam conter diversas inclusões de quartzo (**Fotografia 28**).



Fotografia 28: Fotomicrografia de plagioclásios alterando para argilominerais e sericita, o plagioclásio da direita contém diversas inclusões de quartzo, (amostra CH-GC-38).

4.3.2 Ortognaisses/migmatitos: granodioríticos/tonalíticos, cálcioalcalinos e potássicos (diatexitos)

Os ortognaisses/migmatitos (diatexitos) constituem aproximadamente 40% das rochas da área estudada, e afloram geralmente em locais onde as cotas são relativamente baixas, observam-se predominantemente leucocráticos a mesocráticos, com granulação fina a média. Porções ou camadas de leucossoma e messosoma de contrastante e variado tamanho e tonalidades de cor, apresentam-se na forma de texturas homófanas, nebulíticas e *schlieren* (**Fotografias 29 e 30**). Os diatexitos de tipo leucognaisses mostram uma grande variação composicional de sienogranitos a granodioritos.

Os migmatitos de tipo diatexitos ocorrem em dois fácies principais, um cálcio-sódico (de cor branco a cinza-azulado) e um potássico (rosa), os quais finalmente diferenciam-se em um leucossoma granítico (que pode ser cálcio-sódico ou potássico) e um mesossoma de composição granodiorítica, tonalítica e granodiorítica, conservando vestígios do melanossoma biotítico da rocha máfica original.



Fotografia 29: Ortogneisse cinza/migmatito de composição tonalítica fina, mostrando estruturas *schlieren*, com bolsões de leucossoma contendo granadas ferríferas, zona de *strain* cisalhante mais forte (afloramento 17, localizado entre os Sítios Volta do Rio e Salina).



Fotografia 30: Ortognaisse cinza/migmatito, mostrando estruturas *schlieren*. A rocha está percolada por uma rede de veios aplíticos e graníticos, separados por mesossoma de composição granodiorítica, espaçados a intervalos regulares de 30 a 40 cm, com direção de 215° Az; a foliação principal tem direção 125° Az. Observa-se na parte superior da fotografia um dique mesocrático com direção paralela aos veios (afloramento 34, Sítio Gameleira).

É observado em alguns locais migmatitos de tipo diatexito provenientes possivelmente da fusão parcial (por processos de anatexia) com porções do metatexito cinzento, preservando ou englobando estruturas reliquias do metatexito de estrutura bandada.

Esta unidade litológica apresenta-se aflorando principalmente sob a forma de maciço rochoso, homogêneo. A textura da rocha é foliada e de granulação grosseira, assemelhando-se algumas vezes a um augên-gnaisse. Apresenta em geral fraturamento baixo a médio, sendo percolado por veios aplíticos e pegmatíticos, porém sua cor é cinzenta e de aspecto estético decorativo comum.

Os diatexitos por definição, correspondem ao fácies com anatexia total ou de aparência mais homogênea, sem distinção nítida entre leucossoma e mesossoma, porém se observam diatexitos (heterogêneos) que correspondem ao fácies com anatexia parcial diferenciando-se parcialmente em variadas porções de leucossoma e mesossoma (**Fotografia 31**).

Os núcleos ou faixas individualizados de granodioritos, tonalitos e quartzodioritos, seriam possivelmente as rochas protólitos do mesossoma do ortognaisse cinza (diatexito).



Fotografia 31: Diatexito com mesossoma (ortognaisse cinza) interdigitado afloramento 17, localizado entre os Sítios Volta do Rio e Salina).

Estes ortognaisses/migmatitos apresentam estruturas dobradas e redobradas regulares (**Fotografia 32**) algumas vezes estas dobras evoluem para dobras ptigmáticas (**Fotografia 33**), mostrando intenso e intrincado dobramento em fina-escala. Podemos acompanhar no mapa geológico a seqüência de ocorrência desta unidade, disposta em faixas alternadas dobradas e redobradas regulares com direção aproximadamente leste-oeste, afetados pelas deformações das fases D2 e D3.



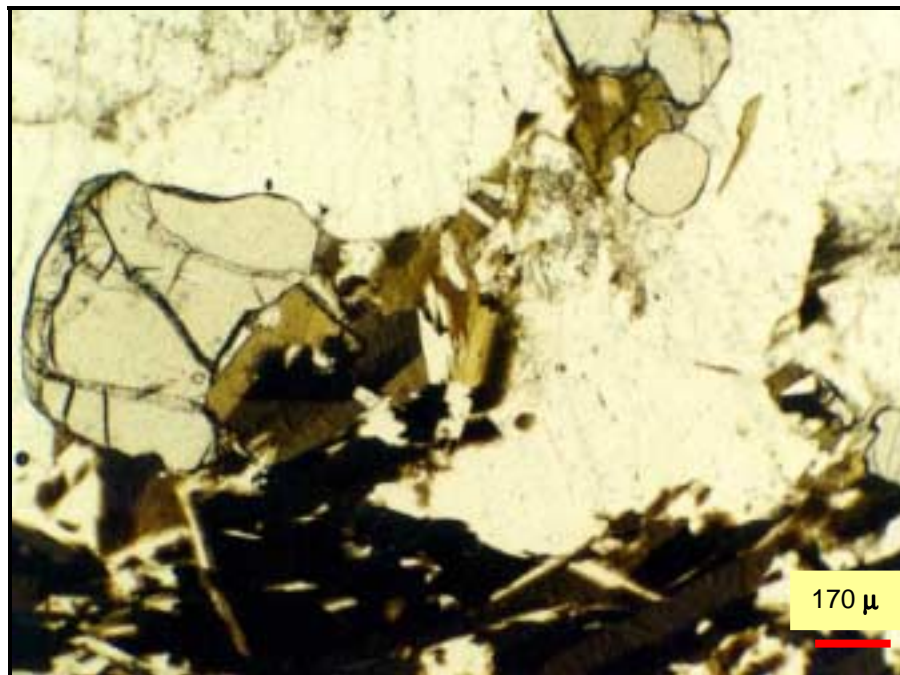
Fotografia 32: Diatexito tipo “Rosa Imperial, aflorando sob a forma de maciço rochoso mostrando dobras regulares (fase D3) no leucossoma granítico e mesosoma granodiorítico (afloramento 07-A, típico do Complexo Belém do São Francisco).



Fotografia 33: Migmatito tipo diatexito, cor cinza azulado-creme, mostrando dobras ptigmáticas (afloramento 34, zona de dobras de Gameleira).

Porém, os ortognaisses/migmatitos (diatexitos) de interesse comercial, designados tipo “Rosa Imperial”, e que constituem a ocorrência mais nobre da área estudada, apresentam dois fácies principais: um potássico de cor predominantemente rosa (mais rico em K-feldspatos) e outro cálcio-sódico, de cor branca a cinza-azulado (mais rico em plagioclásios).

O **leucossoma** dos diatexitos, tanto os cálcio-sódicos quanto os potássicos, freqüentemente contém megacristais de granada euedrais, de cor vinho (almandina), e muitas vezes estes diatexitos evoluem para leucogranitos, ou granitos a duas micas, e mantêm estas granadas (**Fotografias 34, 35, 36 e 37**).



Fotografia 34: Fotomicrografia de granadas fragmentadas em contato com biotitas e muscovitas, (amostra CH-GFC-37 F).



Fotografia 35: Granito leucocrático contendo cristais euedrais de granada medindo entre 1,0 e 3,0. O granito está em contato difuso com o ortognaisse cinza, observando-se o processo de migmatização de uma metaplutônica (diatexito) (Afloramento 17, entre os Sítios Volta do Rio e Salina).



Fotografia 36: Diatexito (ortognaisse cinzento) com porções de leucossoma granítico, orientados segundo a direção da foliação 135° Az. (afloramento 17, localizado entre os Sítios Volta do Rio e Salina). Observa-se na porção central da fotografia o dique granítico (contendo granadas ferríferas) preenchendo o fraturamento principal na direção 25° Az.



Fotografia 37: Detalhe do granito leucocrático granatífero em contato com o mesossoma do diatexito cinzento. Neste local, a textura é mais fina, com cristais de granada menores, da ordem de 0,2 a 0,4 cm (afloramento 17, localizado entre os Sítios Volta do Rio e Salina).

No Diagrama de Streckeisen (1976), os diatexitos (ortognaisses) podem ser classificados como sienos a monzogranitos (**Figura 06**).

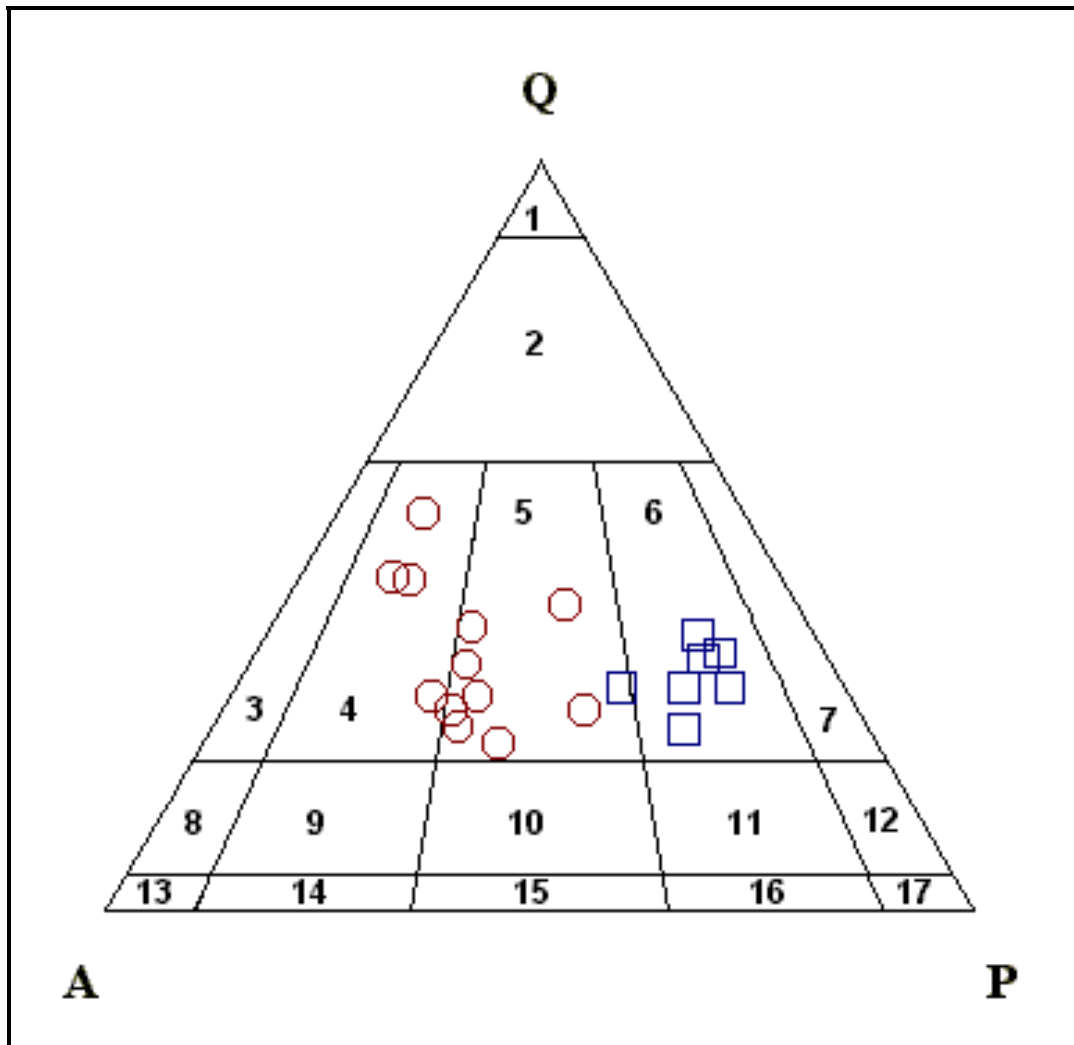
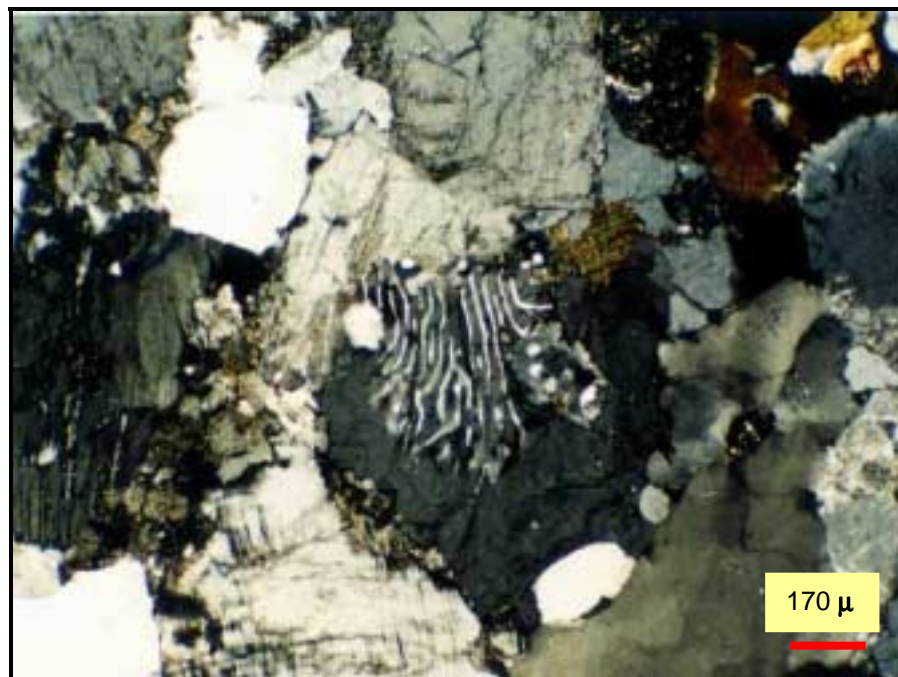


Figura 06: Classificação petrográfica do **leucossoma** (círculos vermelhos) e do **mesossoma** (quadrados azuis) dos diatexitos da área a norte-nordeste de Garanhuns, segundo o Diagrama QAP de Streckeisen (1976). 1: Quartzolito (silexito); 2: Granito rico em quartzo; 3: Granito álcali-feldspático; 4: Sienogranito; 5: Monzogranito; 6: Granodiorito; 7: Tonalito; 8: Quartzo-sienito álcali-feldspático; 9: Quartzo-sienito; 10: Quartzo-monzonito; 11: Quartzo-monzodiorito; 12: Quartzodiorito; 13: Sienito álcali-feldspático; 14: Sienito; 15: Monzonito; 16: Monzogabro; 17: Diorito/gabro/anortosito.

O leucossoma dos **ortognaisses/migmatitos** (diatexitos) **potássicos**, tipo “Rosa Imperial”, mostram predominância de K-feldspato (microclina) sobre o plagioclásio e o quartzo, como minerais principais, constituindo 90% das rochas, além de biotita, que constitui um pouco menos de 10%. A biotita apresenta-se esparsa na matriz quartzo-feldspática, mostrando uma tênue orientação reliquiar, como se anteriormente estivesse alinhada segundo uma orientação preferencial, como uma textura gnáissica, e tivesse conservado essa direção, porém de forma muito sutil.

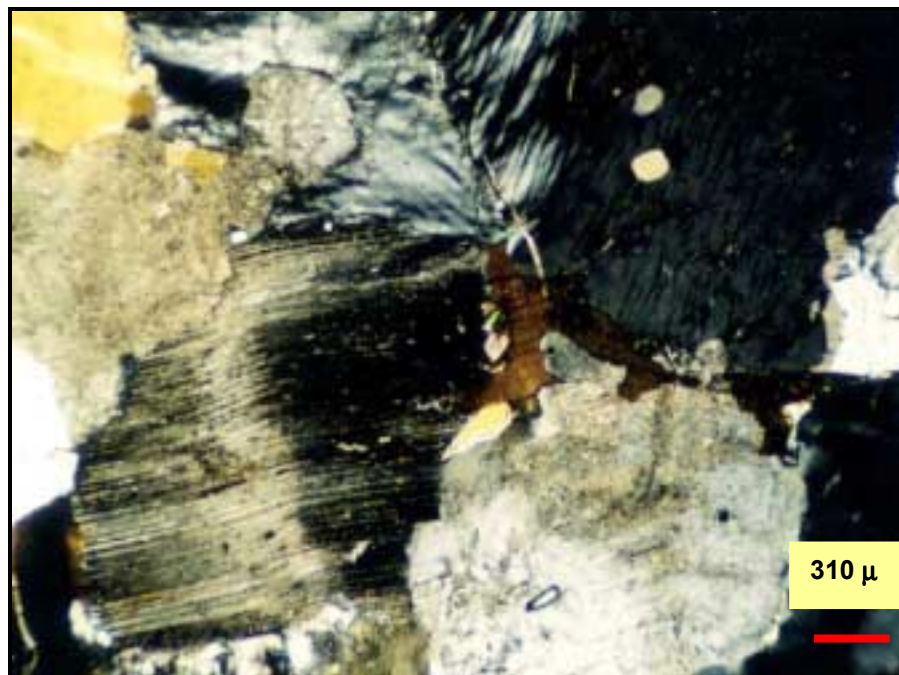
Em quantidade ínfima (menos de 1%) temos muscovitas, apatitas e opacos associados às biotitas.

É observado em seção delgada, o leucossoma dos ortognaisses/migmatitos (diatexitos) cálcio-sódicos apresentando como minerais principais plagioclásio, K-feldspato (microclina), quartzo, biotitas; e como minerais acessórios muscovita, apatita, muscovita, zircão (mostrando halos pleocróicos), titanitas e opacos (**Fotografia 38**). Textura mirmequítica (intercrescimento de plagioclásio e quartzo) é uma feição comum nestas rochas (**Fotografias 38 e 50**).



Fotografia 38: Fotomicrografia de textura mirmequítica em plagioclásio (intercrescimento entre quartzo e plagioclásio), (amostra CH-GC-38 A).

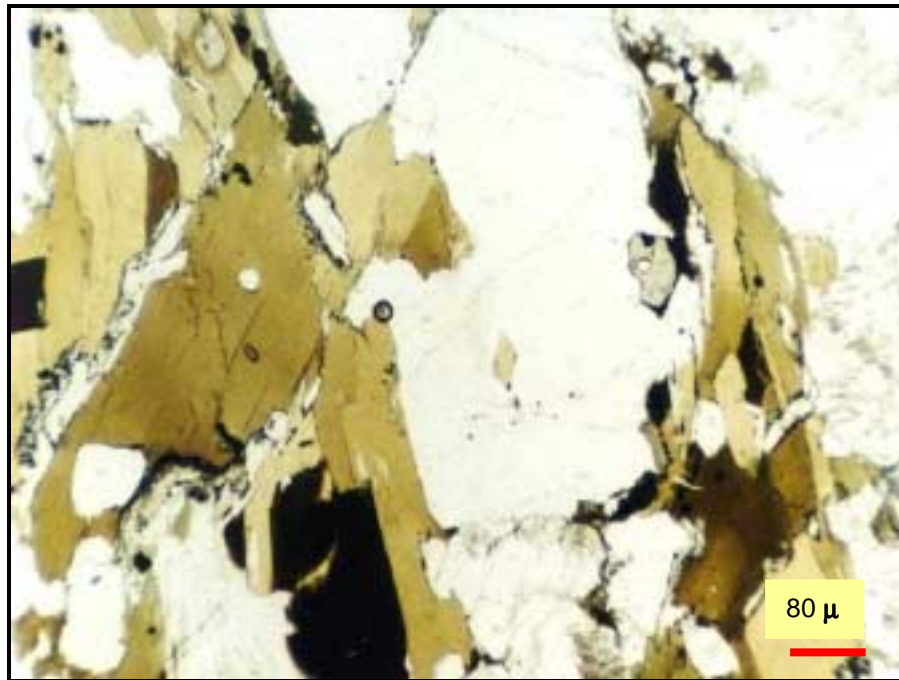
Os K-feldspatos mostram algumas vezes exsoluções pertíticas, os plagioclásios apresentam combinação de geminação polissintética (**Fotografia 39**) e Carlsbad. Esta combinação de geminações mostra o esfriamento progressivo sofrido pelo plagioclásio, pois a geminação polissintética é típica de temperaturas mais altas e a Carlsbad, de temperaturas mais baixas. A granulação da rocha é grosseira em lâmina, embora equigranular (não é porfírica), porém a textura geral é em mosaico de grãos de quartzo e feldspatos, intercalados com finas faixas de biotitas e opacos.



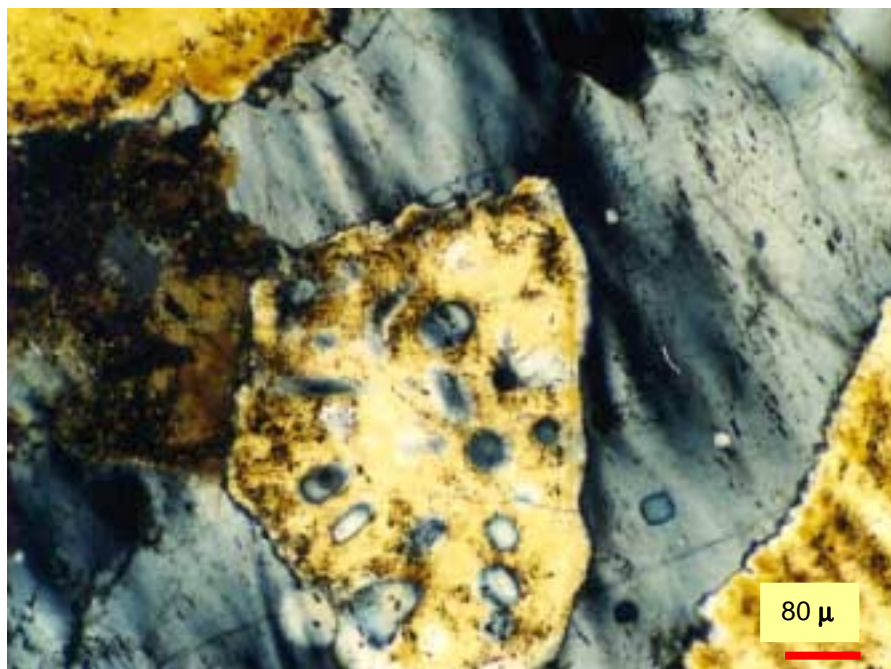
Fotografia 39: Fotomicrografia de plagioclásio com geminação polissintética mostrando deformação, indicando que a rocha foi submetida a esforços, (amostra CH-GC-34).

Biotitas, muscovitas e opacos ocorrem associados, formando alinhamentos em duas direções: uma preferencial, principal (C) e outra secundária (S), transversal e formando um ângulo com esta primeira (**Fotografia 40**). As biotitas e os opacos estão bastante fragmentados.

Em geral, nas amostras selecionadas os feldspatos estão medianamente alterados, às vezes preenchidas por numerosas inclusões de quartzo, biotitas, apatitas e opacos (**Fotografia 41**).



Fotografia 40: Fotomicrografia de biotitas e muscovitas alinhadas segundo duas direções preferenciais, formando um ângulo de 60° entre elas (foliações C e S), (amostra CH-GC-30).



Fotografia 41: Fotomicrografia de K-feldspato com diversas inclusões de quartzo, (amostra CH-GW-13).

Cortando os ortognaisses/migmatitos (diatexitos), os granitos e os metagranodioritos, ocorrem diques de pegmatitos (**Fotografias 13 e 42**). Estes se apresentam com espessura variada e de pequenas dimensões. Macroscopicamente estes pegmatitos são de granulação grosseira, constituídos por megacristais de plagioclásio, microclina, quartzo e biotita. Estes pegmatitos se mostram nitidamente relacionados com a tectônica de ruptura, preenchendo os eixos dos dobramentos da última fase de deformação (D3).



Fotografia 42: Ortogneisse cinza (diatexit) visto no leito de um riacho, fraturado em várias direções. O fraturamento está preenchido por veios pegmatíticos. Direção do fraturamento principal: 204°Az , com mergulho subvertical; fraturamento secundário: 304°Az , com mergulho de 70° p/ 40°Az (Sítio Varzinha, no limite exterior sudeste da área pesquisada).

Nos migmatitos de tipo agmatíticos, o hospedeiro toma a forma de blocos angulares de mesossoma, interrompidos por um ou mais conjuntos de veios

graníticos (leucossoma) discordantes, ou apresentam-se circundados por um complexo de veios graníticos ou leucossoma em forma reticulada, a semelhança de uma “brecha intrusiva” pela presença de porções reliquiares do migmatito tipo metatexito (**Fotografia 43**).



Fotografia 43: Textura agmatítica no diatexito (estruturas reliquiares do metatexito). Observa-se o leucossoma granítico de fácies potássica com intercalações de mesossoma máfico e filmes de melanossoma (afloramento 55, localizado ao noroeste do Sítio Capim Grosso).

Em alguns afloramentos de tipo dictioníticos os veios se estendem por todo o afloramento, algumas vezes sem nenhuma direção preferencial, sendo que a rede de veios de leucossoma exhibe-se finamente espaçada, os veios estreitos e entrelaçados através do mesossoma, outras vezes formando um padrão reticulado. Neste caso o ortogneisse cinza apresenta duas gerações de leucossomas: uma concordante e outra ortogonal à foliação, associada a zonas de cisalhamento sinistrais. (**Fotografia 44**).



Fotografia 44: Ortognaisse cinza com duas gerações de leucossomas: uma concordante e outra ortogonal à foliação, associada a zonas de cisalhamento sinistrais. Os leucossomas se apresentam como veios graníticos que intrudem a rocha segundo um padrão reticulado. Contra-indicado para uso como rocha ornamental, devido ao excesso de veios cortando a rocha (afloramento 27, localizado entre os povoados de Riacho e Lagoa).



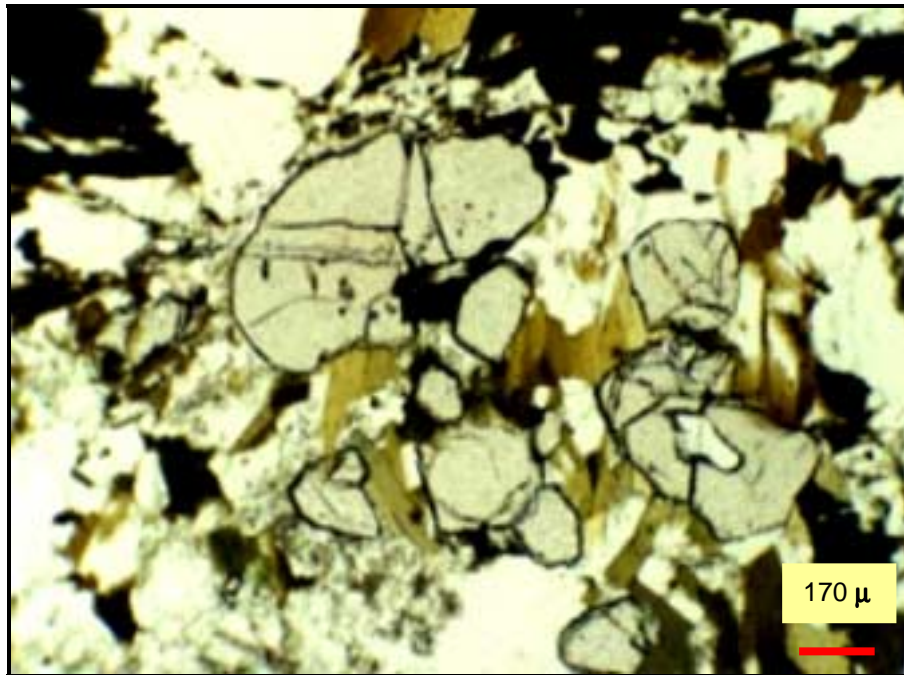
Fotografia 45: Diatexitito potássico mostrando enclaves máficos de composição biotita-diorítico, exibindo zona de cisalhamento com rejeito dextral, conferindo aspecto heterogêneo (afloramento 55, localizado ao noroeste do Sítio Capim Grosso).

Dentro deste domínio metaplutônico, e observado em alguns afloramentos, apresentam-se enclaves máficos de composição biotita-diorítico, exibindo zona de cisalhamento com rejeito dextral (**Fotografia 45**), bem como, lentes de metamáficas ou metadioritos (mesossoma máfico), sugerindo possivelmente relictos da primeira unidade metaplutônica (indicando talvez uma tectônica contracional, com as lentes máficas sugerindo transporte *up-dip* (**Fotografia 46**).



Fotografia 46: Na porção superior exibe-se lentes de metamáficas ou metadioritos (mesossoma máfico) que podem ser relictos da primeira unidade metaplutônica (indicando possivelmente uma tectônica contracional, com as lentes máficas sugerindo transporte *up-dip* e observando-se migmatização penetrando a superfície de *thrust*). Na porção inferior observa-se o ortognaisse cinza exibindo leucossoma granítico, a foliação apresenta orientação 340° Az. A parte inferior direita da fotografia mostra porções reliquiares do metatextito (afloramento 17, localizado entre os Sítios Volta do Rio e Salina).

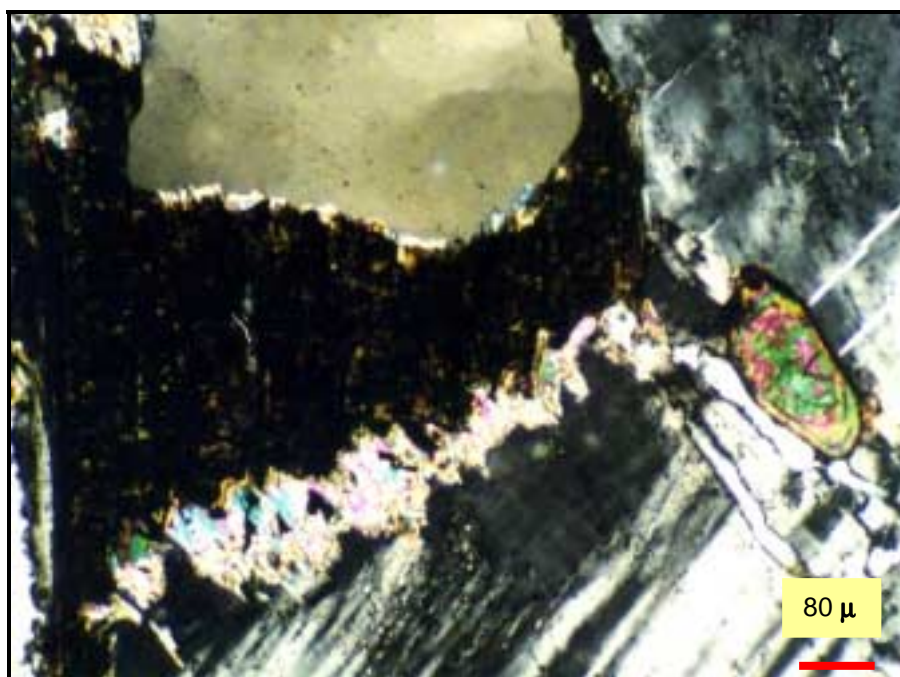
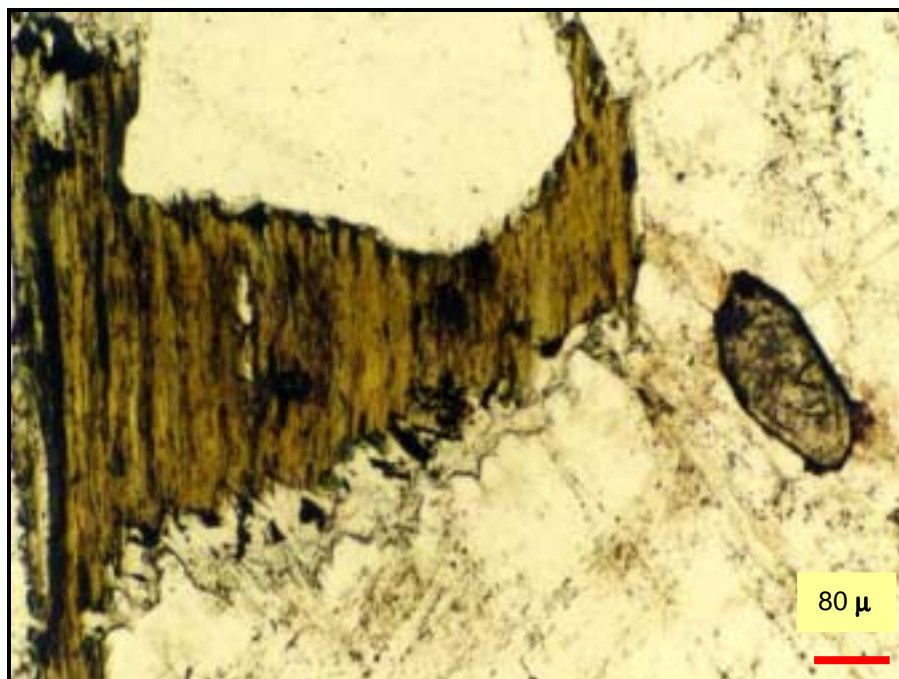
Algumas amostras apresentam leucossoma com granadas, estas em lâmina freqüentemente se mostram fragmentadas (**Fotografias 34 e 47**). Estas granadas são subidiomórficas, apresentam cor rosa pálido e possivelmente devem ser almandina (Fe) ou piropo (Mg).



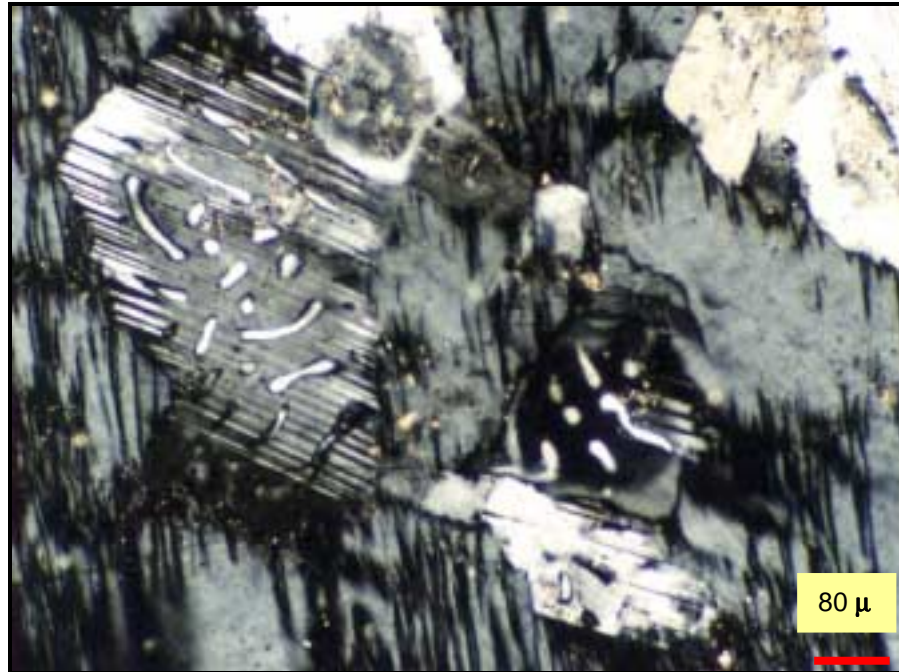
Fotografia 47: Fotomicrografia de granadas fragmentadas em contato com biotitas e muscovitas, (amostra CH-GFC-37 F).

O K-feldspato e o quartzo apresentam-se sob a forma granular, com cristais mostrando contatos retilíneos a sub-retilíneos (textura em mosaico), tamanhos médio a grande. Os K-feldspatos às vezes mostram-se um pouco alterados para argilominerais e sericita, e a biotita para muscovita e clorita (**Fotografias 48 e 49**). Ocorrem intercrescimentos entre o quartzo e o plagioclásio (textura mirmequítica) (**Fotografias 38 e 50**).

Próximo ao contato leucossoma granítico-mesossoma granodiorítico, a rocha apresenta uma textura de bandamento composicional (faixas félsicas e máficas se alternando). A porção mais félsica (leucossoma) apresenta textura em forma de mosaico equigranular de K-feldspato (geminção cruzada), plagioclásio (geminção polissintética) e quartzo; ocorre às vezes textura mirmequítica nos plagioclásios.



Fotografias 48 e 49: Fotomicrografias de biotita alterando nas bordas para muscovita e clorita. O K-feldspato também mostra alteração para sericita, ao longo dos planos de clivagem. O quartzo mostra-se inalterado, (amostra CH-GFC-37 A).



Fotografia 50: Fotomicrografia de textura mirmequítica em plagioclásio, (amostra CH-GFC-37 A).

Os K-feldspatos mostram algumas exsoluções peritíticas (finas faixas de albita inseridas regularmente em cristais de microclina), indicando duas fases sólidas: separação entre uma fase rica em Na (albita) e outra fase rica em K (microclina), por decréscimo da temperatura (esfriamento da rocha), além disso, os K-feldspatos mostram combinação de geminação cruzada e Carlsbad.

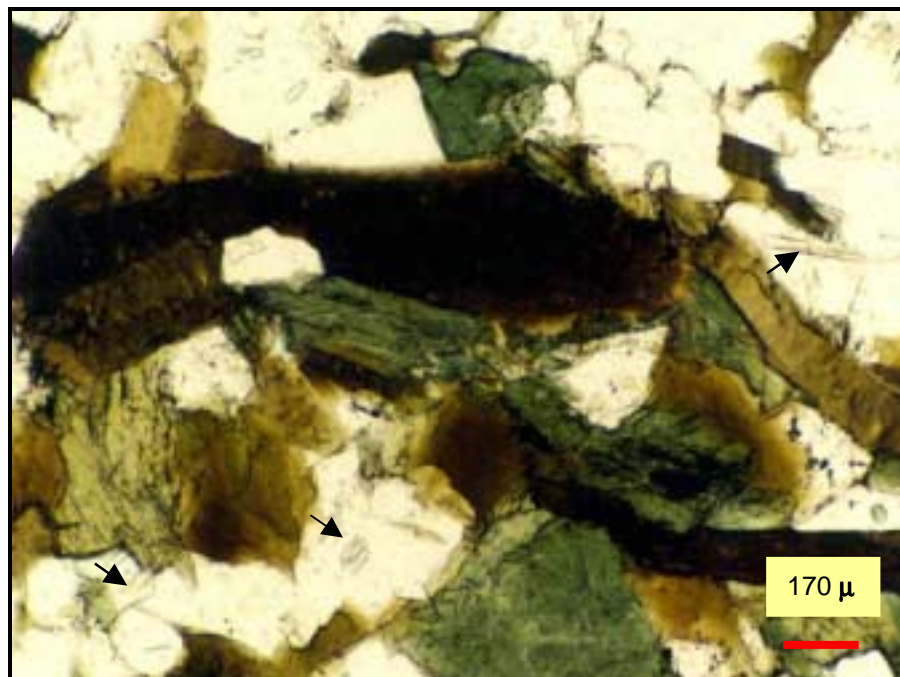
As biotitas mostram-se alinhadas segundo duas direções preferenciais: uma direção principal C e uma secundária S, e são acompanhadas por muscovitas, estas últimas em pequeníssima proporção.

Ambos tipos de feldspatos apresentam inclusões, principalmente apatita e quartzo.

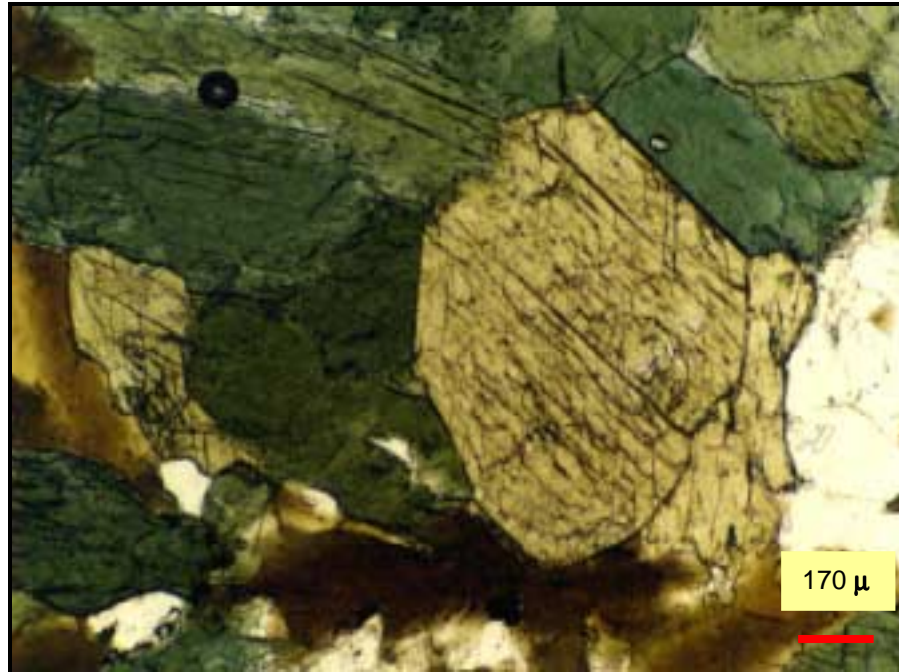
O **mesossoma** dos ortognaisses/migmatitos tanto potássicos quanto cálcio-sódicos tem composição predominantemente granodiorítica (segundo o Diagrama de Streckeisen, 1976, ver **Figura 06**). Mais de 40% das lâminas está constituída por minerais máficos (biotita, hornblenda e possivelmente augita) de cor verde escura a verde clara (no caso dos anfibólios e piroxênios). As biotitas ocorrem sobre a forma de grandes lamelas, alongadas segundo uma direção preferencial, com forte

pleocroísmo variando de marrom claro a marrom escuro, fragmentadas e com numerosas inclusões (de plagioclásios, muscovitas, opacos, quartzo). Frequentemente estas biotitas mostram-se alteradas para clorita nas bordas, a cloritização é marcada por uma mudança na tonalidade das biotitas, que de marrons passam a verdes.

Os restante 60% das lâminas são ocupados por um mosaico de grãos formados por K-feldspato (microclina), plagioclásio e quartzo, todos estes minerais formam uma matriz microgranular isotrópica, mas com textura lepidoblástica (**Fotografias 51 e 52**). Nesta matriz estão imersos alguns poucos fenocristais de quartzo (contendo inclusões de apatitas aciculares), configurando uma textura equigranular a fracamente porfirítica. Os plagioclásios mostram uma combinação de geminação polissintética e Carlsbad, e raramente textura mirmequítica (intercrescimento com quartzo); às vezes estão alterados para argilomimerais e sericita.



Fotografia 51: Fotomicrografia da assembléia mineral típica do granodiorito. observa-se a abundância de minerais máficos, constituindo 50% da lâmina: piroxênio, anfibólio, biotita. Como acessórios, observam-se agulhas de apatitas (ver setas), (amostra CH-GC-38 B).



Fotografia 52: Fotomicrografia da observação em maior detalhe do granodiorito. Observa-se a aparência quase eudral de um anfibólio, o qual mostra clivagem perfeita, formando planos de 60° e 120° , estando corroído numa das bordas, (amostra CH-GC-38 B).

Os migmatitos (diatexitos) com textura nebulítica apresentam-se com intercalações de pegmatitos e, em poucos locais, o leucossoma é um granito composto essencialmente por feldspato, quartzo, muscovita e biotita, porém no conjunto é muito difícil separar o mesossoma do leucossoma (**Fotografia 53**) em outras vezes o migmatito pode ser descrito como “nebuloso” (textura nebulítica) por mostrar limites difusos entre os diferentes componentes, como figuras fantasmas (**Fotografia 54**).

Os migmatitos (diatexitos) de tipo *schlieren* apresentam-se em faixas (camadas) de mesossoma alternando-se com leucossoma (**Fotografia 55**); as faixas, ou *schlieren*, são freqüentemente paralelas à foliação, ou mesmo definem a foliação com uma direção geral nordeste, mergulhando para sudeste de 45° a sub-vertical e, estão localizados no extremo sudeste da área.



Fotografia 53: Diatexito mostrando porções com textura nebulítica (afloramento 17, localizado ao norte do Sítio Volta do Rio). Aprecia-se o leucossoma leucogranítico com uma faixa (restito) de melanossoma orientado segundo a direção do fraturamento 140° Az. Na porção superior observa-se o mesossoma (ortognaisse cinza) mais homogêneo de composição granodiorítica. Na parte central observa-se zonas de cisalhamentos (sinistrais).



Fotografia 54: Diatexito tipo “Rosa Imperial” mostrando neossoma granítico no fácies potássico (rosa) exibindo dobramento (fase D3) desenhado por lentes de mesossoma. Observa-se na porção da esquerda zonas de cisalhamentos sinistrais (afloramento 53, ao leste do Sítio Lagoa da Pedra).

A possível interpretação petrogenética da unidade dos ortognaisses/migmatitos (diatexitos) fundamenta-se na progressão da fusão parcial observada desde os metatexitos. A intensidade da anatexia varia de bem pequena a intensa, gerando assim uma unidade onde predominam rochas graníticas com restos de gnaisses migmatizados e migmatitos da unidade anterior, que podem aparecer em proporções variáveis até áreas granitizadas, contudo encontram-se preservadas porções metamórficas, que acompanham a foliação. Existem evidências, dentro deste contexto, de que houve aporte/intrusão de magma durante a deformação regional, e não apenas uma fusão parcial *in situ* da rocha metamórfica original, formando-se rochas relativamente heterogêneas e complexas, mostrando uma íntima relação com os metatexitos.

A mineralogia é formada por quartzo, plagioclásio, biotita e/ou anfibólio e álcali-feldspato que pode aparecer como fenocristais por vezes alongados, definindo uma textura levemente porfirítica. Predomina uma granulação grossa, porém nos membros porfiríticos a matriz tem granulação média, sempre observada a presença de mesossoma máfico, ou de restitos. O bandamento original pode ocorrer preservado indicando claramente o processo de anatexia. Observa-se um sistema de fraturas tardias em direções NE-SW e NW-SE, que foram preenchidas por veios de quartzo e granitóides muito ricos em álcali-feldspato, com anfibólios e apresentando granulação mais fina.

O aumento no conteúdo de K_2O com o aumento no conteúdo de SiO_2 reflete o fato que K-feldspato é a última fase em cristalizar. Assim, em grande escala, fases de desidratação na fusão de magmas pelíticos, produzindo magmas graníticos, só aconteceriam sob elevadas temperaturas crustais. Porém, sob certos tipos de colisão continental, fluidos hidratados (ricos em água) podem ganhar acesso para a porção metamórfica e gerar quantidades substanciais de magmas graníticos peraluminosos, sob condições de elevadas temperaturas (Clemens & Vielzeuf, 1987; Wickham, 1987).

A presença de uma fase fluida no estágio metamórfico tardio pode haver ocorrido, e pode explicar a constante ocorrência de pegmatitos, já seja nos metatexitos, diatexitos e no mesossoma granodiorítico. A fase fluida gerada por *breakdown* parcial do restito rígido, ou de uma fonte externa (afluência de fluido hidratado dentro da zona de fusão), induziria assim uma fusão substancial. Quando um grande volume de magma é gerado, podem acontecer processos de

homogeneização convectiva seguidos por fracionamento. Nesta fase o magma se torna gravitacionalmente instável, intrudindo a sucessão de camadas de migmatitos.

Na fase tardia de formação de granitos e processos de anatexia, sempre ocorre a presença de diques aplíticos e de quartzo associados com a fase pegmatítica. Os quais intrudiram as rochas durante um regime extensional, seguindo o fraturamento regional. Estes pegmatitos se mostram nitidamente relacionados com a tectônica de ruptura, preenchendo os eixos dos dobramentos da última fase de deformação (D3) (**Fotografias 13 e 42**). A presença de pegmatitos não necessariamente implicaria condições hidratadas durante a fusão, já que os pegmatitos da área poderiam ser o resultado da liberação de voláteis durante a fase de cristalização.

4.3.3 Leucogranitos

Esta rocha em amostra de mão apresentou-se leucocrática, com uma granulação grosseira heterogênea, constituída predominantemente por minerais de coloração clara (quartzo, plagioclásio, K-feldspato e subordinadamente muscovita) e de minerais máficos (principalmente biotitas e opacos) que dão à rocha uma leve orientação, podendo às vezes se observar localmente aglomerados disformes desses minerais máficos.

Estes granitos são bastante fraturados, estando estas fraturas preenchidas geralmente por diques pegmatíticos.

A ocorrência destes granitos é produto do processo de anatexia, exibindo nos maciços bordas difusas não diferenciadas, resultado da difícil separação entre o corpo e suas encaixantes (**Fotografia 35**); outra característica destas rochas é seu caráter deformado, devido a intrusões pegmatíticas, e ao extenso falhamento regional.

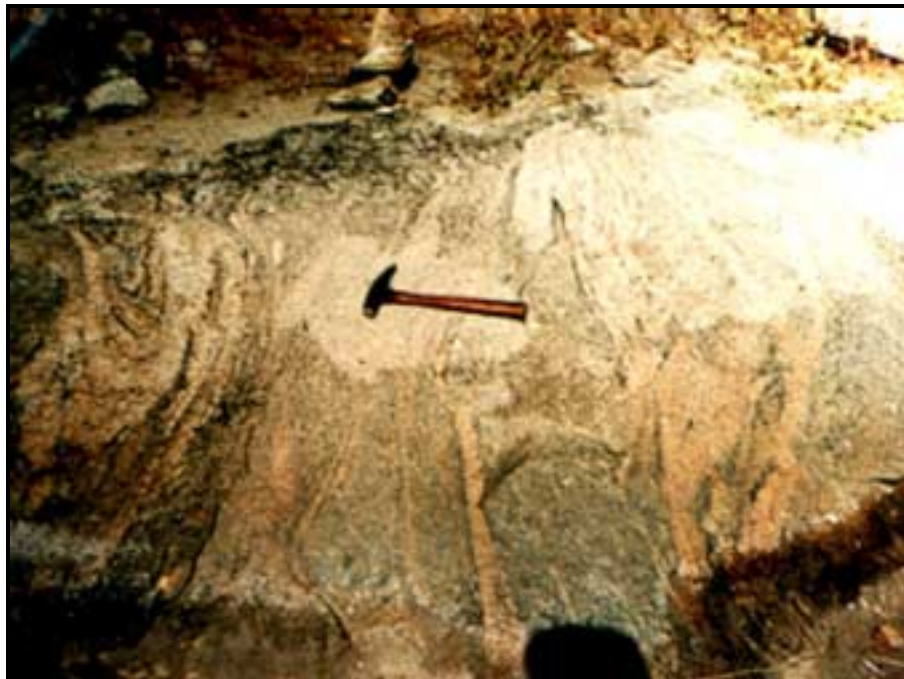
Em seção delgada, estes leucogranitos mostram uma composição modal nas seguintes proporções: quartzo (25%), plagioclásio (25%), K-feldspato (37%), biotita (10%), acessórios (muscovita, apatita, zircão) (1%), opacos (2%).

Como minerais principais temos K-feldspato (microclina), plagioclásio e quartzo formando um mosaico de grãos bem desenvolvidos (textura holocristalina granoblástica) e também biotita. Como minerais acessórios muscovita, granada, opacos, apatita e zircão.

Os feldspatos apresentam-se granulares, bastante alterados para argilominerais (ao contrário do quartzo que possui aspecto límpido) e apresentam numerosas inclusões (apatita, biotita, muscovita e quartzo).

Ocupando os espaços intersticiais aos grãos de quartzo e feldspato, temos finas faixas de minerais micáceos (biotitas e muscovitas) que se alternam a espaços regulares e estão nitidamente alinhados segundo uma direção preferencial e deformados (estirados e dobrados).

Próximo ao contato com estas finas faixas micáceas, os grãos de quartzo e feldspatos apresentam-se, muitas vezes, deformados (estirados em forma de augên), sendo contornados pelas micas (**Fotografia 56**). Os feldspatos mostram-se bastante alterados, microfraturados, com numerosas inclusões. Alguns plagioclásios mostram geminação polissintética conjugada com geminação tipo Carlsbad.

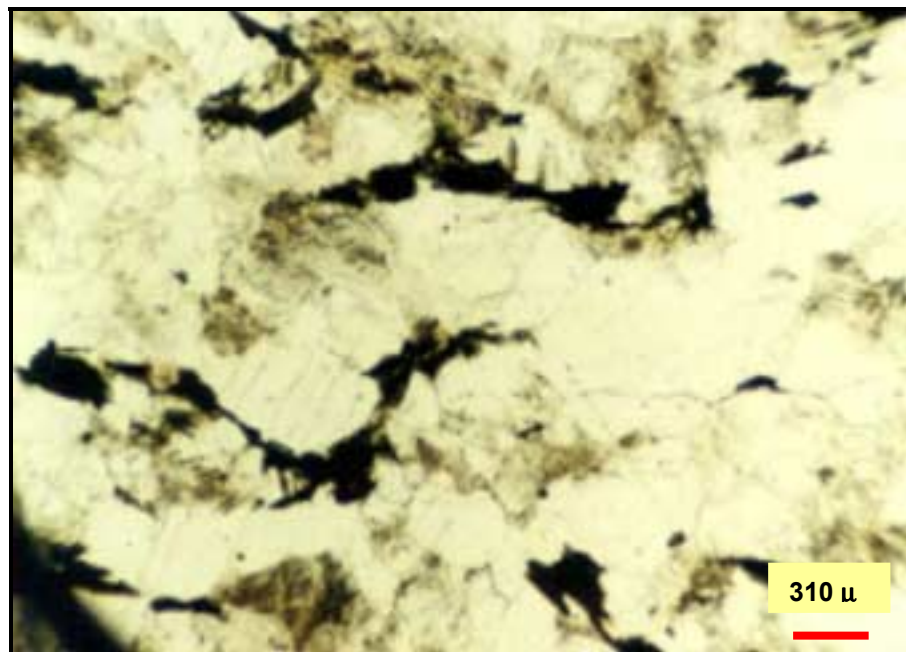


Fotografia 55: Zona de contato entre o metatexito variando a granito foliado, a rocha apresenta excelente potencial para rocha ornamental: é homogênea, pouco fraturada, apresenta ausência de xenólitos, poucos pontos de alteração e bom padrão estético-decorativo (afloramento 30-A, Sítio Riacho).

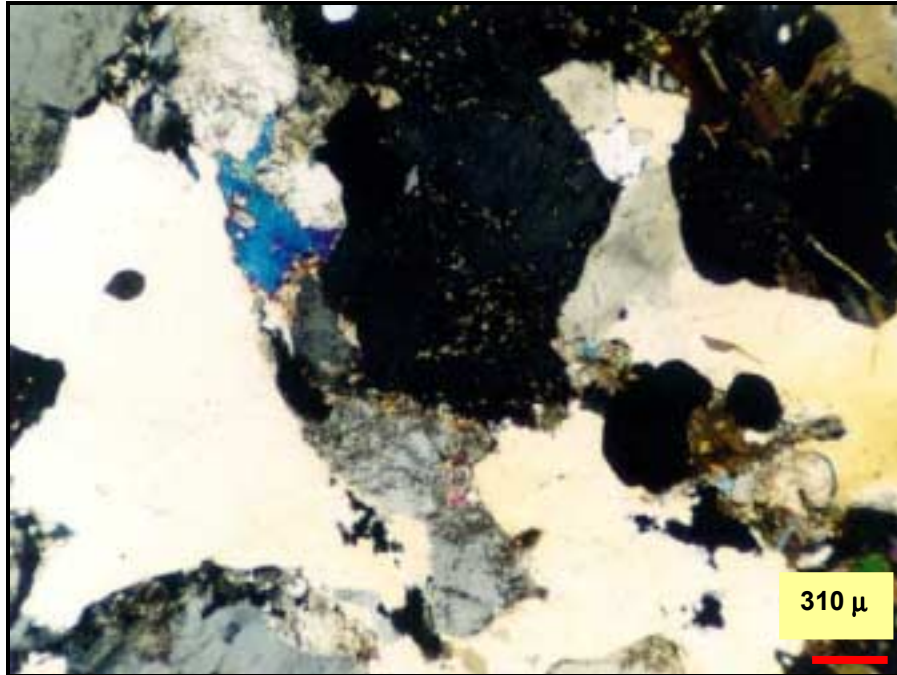
Freqüentemente se observam cristais euedrais de granadas (**Fotografias 35 e 57**) nestes granitos, indicativos juntamente com a muscovita, do caráter peraluminoso destas rochas.

Granitos com granada no Terreno Pernambuco-Alagoas, principalmente dentro da área onde se encontra o assim denominado Domínio Garanhuns, sugere que fusão parcial crustal intensiva de rochas metassedimentares geraram granitos no ponto mínimo de fusão. Provavelmente, isto ocorreu durante eventos do Meso a Neoproterozóico (Silva Filho et al. 2002).

Entre os acessórios, temos zircões ocorrendo como inclusões nas biotitas, apresentando halos pleocróicos, indicativos de emanações de elementos radioativos gerando alteração metamórfica quando em contato com minerais coloridos (como é o caso da biotita); apatitas (em forma idiomórfica ou seja, prisma hexagonal) como inclusão nos feldspatos e incluindo por seu turno muscovitas. As apatitas mostram retardo cinza escuro, quase extinto.



Fotografia 56: Fotomicrografia de biotitas margeando quartzos e feldspatos em forma de “olhos” (augên), indicando deformação da rocha, (amostra CH-GC-33).



Fotografia 57: Fotomicrografia de granadas subédricas, isotrópicas, em contato com biotitas e muscovitas, (amostra CH-GFC-37 F).

A transformação de rochas para granito, seria o produto final da migmatização. Os granitos formados por anatexia, se apresentam em geral bastante homogêneos, mas com aspectos heterogêneos em detalhe, com partes claras e escuras distintas. A biotita ocorre com aspectos difusos *schlieren* ou em concentrações nebulíticas (fácies nebulítica). Os maciços de granito de anatexia contêm enclaves de dimensões variadas de rochas metamorfizadas que escaparam da anatexia.

Estes leucogranitos ocorrem associados aos diatexitos e na área de estudo a maior ocorrência na escala mapeada está situada na parte nordeste da área estudada, encontrando-se outras ocorrências de granitos em escala de afloramento.

O protólito destes granitos, que originaram-se por diferenciação e extração do fundido a partir do neossoma dos diatexitos, é diferente do protólito do mesossoma, o que pode ser comprovado pela composição mineralógica e natureza quimicamente distintas, conforme será visto no Capítulo de Geoquímica e que corrobora a teoria dos protólitos diferenciados de Johannes & Gupta (1982), Johannes (1983, 1985 e 1988) e Ashworth (1976,1985).

4.3.4 Anfibolito

Esta rocha aflora como intercalações no ortognaisse, na localidade de Sítio Aroeira no quadrante SW da área mapeada.

Rocha melanocrática, de textura muito fina, cuja composição mineralógica é formada de anfibólio (hornblenda), feldspato (plagioclásio) e pequena porcentagem de quartzo. Esta unidade ocorre em escala muito pequena, não-mapeável.

4.4 ASPECTOS ESTRUTURAIS

Quanto aos aspectos estruturais, ambos domínios estão distribuídos geograficamente em faixas sub-paralelas, alternadas e dobradas, com orientação predominantemente leste-oeste. De um modo geral toda a área mostra-se afetada principalmente, no mínimo, duas fases de deformação (D2 e D3), caracterizadas por estruturas dúcteis e rúpteis, de escala regional. Sendo observadas em escala de fotografia aérea e podem ser visualizadas no mapa geológico na escala 1:90.000 (escala gráfica) (**Anexo 1**).

A xistosidade imposta pelo alinhamento dos minerais micáceos e pela foliação característica dos migmatitos, apresenta-se com medidas predominantemente na direção NE, com mergulhos variando em intensidade de 15° a 60°, e com sentido geralmente para NW. Localmente estas atitudes variam para NW com mergulhos verticais a sub-verticais.

A área em estudo é caracterizada por estruturas dúcteis e rúpteis, de escala regional. As estruturas dúcteis são observadas com direção E-W a NE-SW provavelmente de idade Mesoproterozóica (D2). Neste contexto ocorrem os migmatitos/paragneisses (metatexitos) e ortognaises/migmatitos (diatexitos).

Observa-se no campo, dobramentos da foliação e do bandamento (D3), presentes, de forma mais intensamente marcada nos migmatitos/paragneisses (metatexitos), gerando dobras isoclinais entre outras. Nos ortognaises/migmatitos (diatexitos), estes dobramentos têm menores dimensões e existem apenas nas porções metamórficas preservadas. A fase D3 está aparentemente acompanhada por fraturas de alívio preenchidas por diques pegmatíticos e aplíticos (direção NE-SW principal e NW-SE secundária).

A foliação observada com base na fotointerpretação, tem direções preferenciais NE-SW e E-W (coincidindo com D2) mas podem estar dobradas (D3). Em escala de campo as atitudes desta foliação confirmam as direções preferenciais NE-SW e E-W, com mergulhos de baixo ângulo com sentido geralmente para NW.

Os padrões de dobramento dos migmatitos representam os efeitos acumulativos de uma sucessão de estruturas. Embora eles não representem a sucessão completa, nem necessariamente incluem as primeiras ou últimas fases das estruturas, eles são representativos de fases de dobramento típicos de sucessões estruturais nos migmatitos. Estas estruturas variam de dobras intrafoliais, isoclinais, dobras assimétricas e dobras angulares. O tipo de deformação mostra a ampla transição seqüencial de esforços dúcteis a rúpteis (**Fotografias 07, 32, 33 e 45**).

As estruturas rúpteis são representadas por um sistema de fraturamento regional, datadas possivelmente do Neoproterozóico (Ciclo Brasileiro). Este sistema de fraturamento regional tem direções preferenciais NE-SW e ENW-WSE e está distribuído na área mapeada. Este fraturamento define quase todos os contatos tanto nos migmatitos/paragnaisses (metatexitos) e ortognaisses/migmatitos (diatexitos), quanto nos granitóides intrusivos.

Estas fraturas controlam ainda cursos de alguns riachos. Secundariamente ocorre outro sistema de fraturamento com direções NW-SE. Aparecem em escala macroscópica e megascópica, preenchidas por diques graníticos e pegmatíticos.

Assim, tratando de explicar os eventos tectônicos da área estudada, uma hipótese seria que as rochas foram submetidas a um sistema de esforços cuja direção principal de deformação na direção NE-SW foi suficiente para provocar estes falhamentos e fraturas, e que tais esforços provavelmente foram influenciados pelos movimentos que causaram o Lineamento Pernambuco.

4.5 EVOLUÇÃO PETROGENÉTICA

A evolução petrogenética mostra que o metamorfismo atuante na área foi de características regionais e modificou toda a litologia existente, com indícios de regime de alto grau de temperatura e baixa pressão, atingindo a anatexia em quase a metade da área estudada. A anatexia ficou bem caracterizada nos ortognaisses/migmatitos (diatexitos), onde é observado o fundido de composição

álcali-feldspato-granito, acompanhado de restitos, sendo isto exibido principalmente nos contatos entre migmatitos/paragnaisses (metatexitos) e ortognaisses/migmatitos (diatexitos). Nesta zona predomina o relevo muito erodido ou arrasado, apresentando insuficiência de bons afloramentos.

A petrogênese desta área parece estar relacionada a processos de fusão parcial ou anatexia, como será visto posteriormente no Capítulo de Geoquímica. A fusão parcial dos metassedimentos, em grande escala, registrada na área de Garanhuns é provavelmente acontecida devido a temperaturas crustais anormalmente elevadas.

As elevadas temperaturas possivelmente poderiam estar relacionadas a material máfico quente do manto superior ou *underplating* (?), o qual teria intrudido a crosta continental, promovendo anormalmente processos de desidratação e elevadas temperaturas.

Outra hipótese é que o calor gerado poderia ser devido à fricção entre blocos tectônicos ocasionando incremento da temperatura na área, localmente causando desidratação e fusão parcial de rochas pelíticas.

CAPÍTULO 5 – GEOQUÍMICA

5.1 INTRODUÇÃO

Foram analisadas 12 amostras representativas do migmatito tipo “Rosa Imperial”, sendo 9 do leucossoma félsico de composição granítica (amostras CH-GC-30, CH-GC-33, CH-GC-34, CH-GC-38 B, CH-GE-21, CH-GFC-37 A, CH-GFC-37 F, CH-GW-11 e CH-GW-13) e 3 do mesossoma de composição granodiorítica (amostras CH-CG-32, CH-GC-38 e CH-GFC-37 C). A preparação das amostras foi realizada no Laboratório de Preparação de Amostras da UFPE. Inicialmente, as amostras foram britadas no britador (moinho de mandíbula) marca EOD fabricado por Primelétrica Ltda., obtendo-se fragmentos com um diâmetro de aproximadamente ½ polegada. Posteriormente as amostras, foram pulverizadas no moinho de disco marca Retsch (*Shatter Box*), até a granulação de 200 *mesh*.

As amostras foram analisadas para elementos maiores, traço e terras raras por ICP-ES e ICP-MS por fusão com LiBO₂, no ACME Analytical Laboratories Ltda, Canadá. Para realizar o controle de qualidade dos dados, utilizaram-se análises de amostras “anônimas” repetidas, e padrões internacionais. Os resultados das análises são apresentados na **Tabela 01**.

Devido ao relevo encontrar-se bastante arrasado e aplainado, houve grande dificuldade para selecionar amostras frescas, adequadas para análises químicas. Foram selecionadas as amostras com menor índice de intemperização, que no caso, coincidiram com as amostras do leucossoma granítico do migmatito tipo diatexito “Rosa Imperial”.

Nos afloramentos do mesossoma granodiorítico, foram encontradas algumas pedreiras abandonadas onde foi possível coletar amostras inalteradas. Todavia, não foi possível obter amostras do migmatito de tipo metatexito nem para estudo de lâmina nem para análises químicas, apenas para estudos macroscópicos, por se encontrarem bastante intemperizados.

Uma dos objetivos desta caracterização geoquímica é que os resultados obtidos sejam utilizados, visando criar parâmetros, na identificação de outras áreas semelhantes ao migmatito “Rosa Imperial” (possíveis áreas prospectivas).

Tabela 01 - Amostra	CH-GC-30	CH-GC-33	CH-GC-34	CH-GC-38B	CH-GE-21	CH-GFC-37A
Tipo	Leucossoma	Leucossoma	Leucossoma	Leucossoma	Leucossoma	Leucossoma
Elementos Maiores						
SiO ₂	67.16	72.40	73.92	76.10	71.44	71.77
TiO ₂	0.73	0.28	0.21	0.18	0.36	0.10
Al ₂ O ₃	15.08	14.50	13.73	12.49	14.33	14.25
Fe ₂ O ₃	4.37	1.65	1.62	1.38	2.21	0.92
MnO	0.03	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01
MgO	1.40	0.51	0.44	0.40	0.51	0.22
CaO	2.52	1.34	1.02	1.20	1.11	0.73
Na ₂ O	3.67	3.58	3.08	2.94	3.07	2.33
K ₂ O	3.57	5.00	5.40	4.40	5.71	8.36
P ₂ O ₅	0.32	0.04	0.10	0.13	0.17	0.16
LOI	0.7	0.4	0.3	0.4	0.8	0.7
Total	99.66	99.84	99.91	99.70	99.87	99.72
Elementos Traço						
Ba	979.0	1065.0	571.0	559.0	1208.0	1476.0
Rb	178.8	137.3	192.8	122.5	238.8	200.4
Sr	268.4	244.1	110.8	155.1	188.0	266.5
Y	22.2	3.6	21.1	9.9	11.7	10.5
Zr	246.0	168.4	147.5	286.6	252.6	73.3
Nb	15.9	7.8	7.3	4.8	14.8	4.3
Th	16.3	29.2	34.3	33.7	40.5	23.4
Pb	3.0	3.0	4.0	4.0	10.0	5.0
Ga	20.0	24.4	14.3	14.3	19.6	15.1
Zn	84.0	47.0	30.0	28.0	44.0	16.0
Cu	56.0	1.0	22.0	3.0	11.0	1.0
Ni	8.0	7.0	25.0	23.0	2.0	2.0
V	54.0	30.0	14.0	9.0	16.0	6.00
Hf	6.1	4.8	4.9	8.3	6.9	2.3
Cs	1.5	1.0	0.9	1.0	3.7	1.2
Sc	9.0	3.0	4.0	3.0	3.0	1.0
Ta	0.8	0.6	0.6	0.4	1.1	0.5
Co	66.8	104.0	89.6	79.4	60.9	55.6
U	2.2	2.1	3.5	2.6	6.2	2.1
W	513.0	866.0	845.0	694.0	464.0	475.0
Sn	8.0		1.0	2.0	3.0	2.0
Mo						
Elem. Terras Raras						
La	76.6	80.4	46.0	61.2	122.7	41.4
Ce	136.6	151.0	91.5	123.5	213.8	79.7
Pr	14.72	16.63	10.7	14.21	21.54	8.98
Nd	50.9	55.0	37.9	52.6	67.7	31.9
Sm	8.3	7.4	7.8	9.3	9.3	6.2
Eu	1.66	1.38	0.93	1.21	1.25	1.30
Gd	5.34	2.58	5.48	5.39	4.24	4.16
Tb	0.86	0.26	0.79	0.59	0.63	0.52
Dy	4.64	1.10	4.21	2.41	2.88	2.56
Ho	0.83	0.13	0.74	0.36	0.41	0.37
Er	2.05	0.36	2.02	0.91	0.86	0.86
Tm	0.21		0.22	0.10	0.08	0.09
Yb	1.13	0.25	1.54	0.69	0.47	0.57
Lu	0.14	0.04	0.19	0.09	0.06	0.06

Tabela 01: Análises químicas de rocha total para elementos maiores, traço e terras raras das rochas constituintes do leucossoma e mesossoma do migmatito "Rosa Imperial".

Tab.01 Cont.-Amostra	CH-GFC-37F	CH-GW-11	CH-GW-13	CH-GC-32	CH-GFC-37C	CH-GC-38
Tipo	Leucossoma	Leucossoma	Leucossoma	Mesossoma	Mesossoma	Mesossoma
Elementos Maiores						
SiO ₂	72.18	65.04	71.16	56.66	62.28	52.87
TiO ₂	0.61	0.91	0.28	2.00	1.47	1.26
Al ₂ O ₃	12.45	15.58	15.01	14.87	15.35	14.63
Fe ₂ O ₃	5.24	5.55	2.05	8.53	6.98	9.48
MnO	0.19	0.07	0.02	0.11	0.08	0.16
MgO	1.54	1.14	0.69	3.70	2.43	8.31
CaO	1.73	2.63	1.59	5.91	3.93	6.83
Na ₂ O	3.16	2.77	3.58	3.28	3.46	0.88
K ₂ O	1.98	4.9	4.57	2.80	2.37	3.30
P ₂ O ₅	0.04	0.31	0.13	1.20	0.71	0.50
LOI	0.7	0.7	0.7	0.5	0.6	1.5
Total	99.88	99.84	99.88	99.77	99.84	99.90
Elementos Traço						
Ba	435.0	2136.0	876.0	1739.0	1480.0	871.0
Rb	112.3	148.8	142.7	106.4	173.8	184.1
Sr	222.8	398.5	203.7	882.6	564.4	254.7
Y	26.3	14.1	14.1	27.1	22.6	25.1
Zr	213.4	399.2	163.4	290.3	410.4	162.2
Nb	11.9	18.2	6.2	30.4	24.9	23.2
Th	10.1	12.8	36.5	14.6	12.5	5.7
Pb	3.0	3.0	3.0	3.0		
Ga	17.6	20.3	15.2	20.4	24.2	17.6
Zn	80.0	88.0	37.0	102.0	124.0	74.0
Cu	59.0	10.0	40.0	67.0	82.0	8.0
Ni	26.0	6.0	20.0	55.0	33.0	158.0
V	65.0	51.0	23.0	133.0	99.0	176.0
Hf	6.2	9.5	5.2	7.3	9.8	4.5
Cs	1.5	1.7	1.1	1.4	3.1	3.2
Sc	11.0	8.0	7.0	13.0	12.0	26.0
Ta	0.8	0.9	0.4	2.1	1.8	1.8
Co	62.4	65.3	105.2	68.9	63.9	73.7
U	2.3	1.3	2.3	2.2	2.3	2.3
W	454.0	491.0	736.0	355.0	365.0	261.0
Sn	1.0	2.0	4.0	3.0	8.0	4.0
Mo					1.0	1.0
Elem. Terras Raras						
La	30.5	102.3	64.8	111.7	109.8	40.0
Ce	61.4	177.7	113.0	221.1	206.5	82.7
Pr	7.33	18.71	12.36	26.68	23.97	10.48
Nd	28.4	65.6	43.7	102.2	89.0	43.7
Sm	5.6	8.4	7.3	16.8	13.9	8.6
Eu	0.99	1.87	1.29	4.41	3.17	2.31
Gd	4.84	3.95	4.45	9.81	7.83	6.50
Tb	0.71	0.52	0.67	1.24	1.02	0.89
Dy	4.49	2.92	3.33	6.04	5.22	4.71
Ho	0.92	0.48	0.52	1.01	0.86	0.90
Er	3.01	1.41	1.21	2.66	2.20	2.54
Tm	0.41	0.17	0.13	0.29	0.25	0.33
Yb	3.11	1.24	0.75	1.91	1.55	2.20
Lu	0.45	0.17	0.09	0.26	0.19	0.32

Tabela 01 (contin.): Análises químicas de rocha total para elementos maiores, traço e terras raras das rochas constituintes do leucossoma e mesossoma do migmatito "Rosa Imperial".

5.2 ELEMENTOS MAIORES

As rochas do leucossoma granítico mostram teores de SiO_2 variando de 65,04 a 76,10 %, CaO variando de 0,73 a 2,63 %, Fe_2O_3 (t) variando de 0,92 % a 5,55 %, MgO variando de 0,22 % a 1,54 %, elevados teores de álcalis total ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 4,31$ a 12,03) e razões $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ médias a elevadas (0,85 a 2,28), teores baixos a elevados de Ba (435 a 2136 ppm), baixos teores de Rb (112,3 a 238,8 ppm) e baixos teores de Sr (110,8 a 398,5 ppm).

O mesossoma granodiorítico mostra teores mais baixos de SiO_2 (52,87 a 62,28 %) e álcalis total ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 3,25$ a 6,76 %), Fe_2O_3 (t) variando de 6,98 % a 9,48 %, MgO variando de 2,43 % a 8,31 %, teores de CaO mais elevados (3,93 a 6,83 %), quando comparados ao leucossoma, razões $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ variando de 0,95 a 2,69, teores elevados de Ba (1480 a 1739 ppm), baixos de Rb (106,4 a 184,1 ppm) e variados de Sr (254,7 a 882,6 ppm).

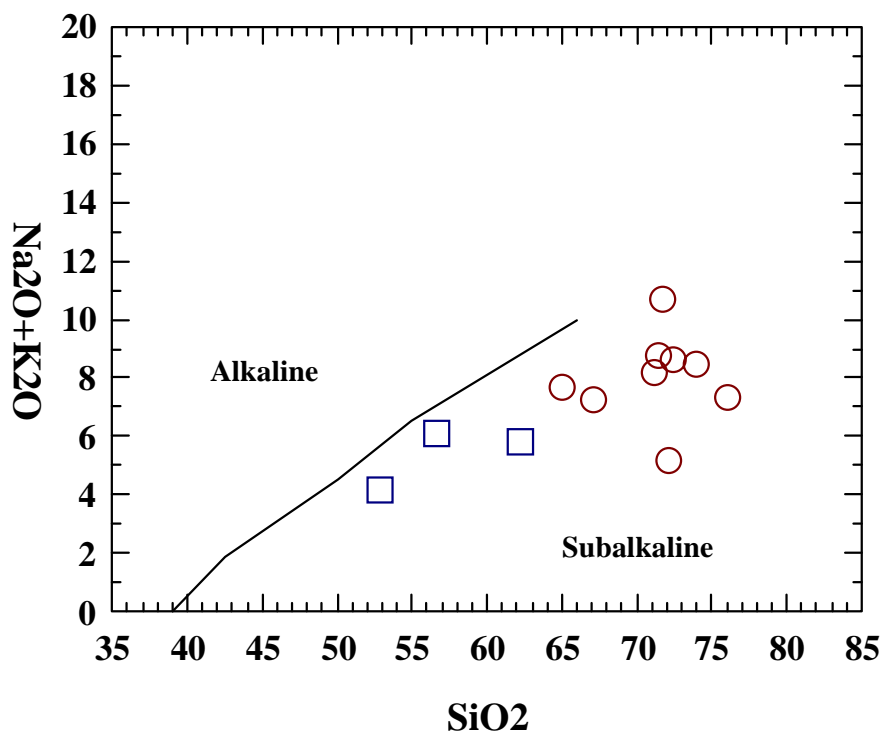


Figura 07: Diagrama TAS para os migmatitos tipo “Rosa Imperial”. **Legenda:** círculo vermelho: leucossoma granítico; quadrado azul: mesossoma granodiorítico.

As rochas do migmatito tipo “Rosa Imperial”, quando projetadas no diagrama TAS (álcalis total versus sílica) (**Figura 07**, acima), com os campos de Irvine & Baragar (1971), caem no campo das séries subalcalinas, tanto para o mesossoma quanto para o leucossoma, sendo que as rochas do mesossoma mostram-se mais próximas da linha divisória das alcalinas e apresentam-se claramente separadas das rochas do leucossoma claramente refletindo os processos de fusão fracionada.

No diagrama AFM (**Figura 08**), as rochas do migmatito tipo “Rosa Imperial” caem no campo da série cálcio-alcalina e mostram claramente um enriquecimento nos teores de Fe para as rochas do mesossoma, e um enriquecimento em álcalis para as rochas do leucossoma granítico.

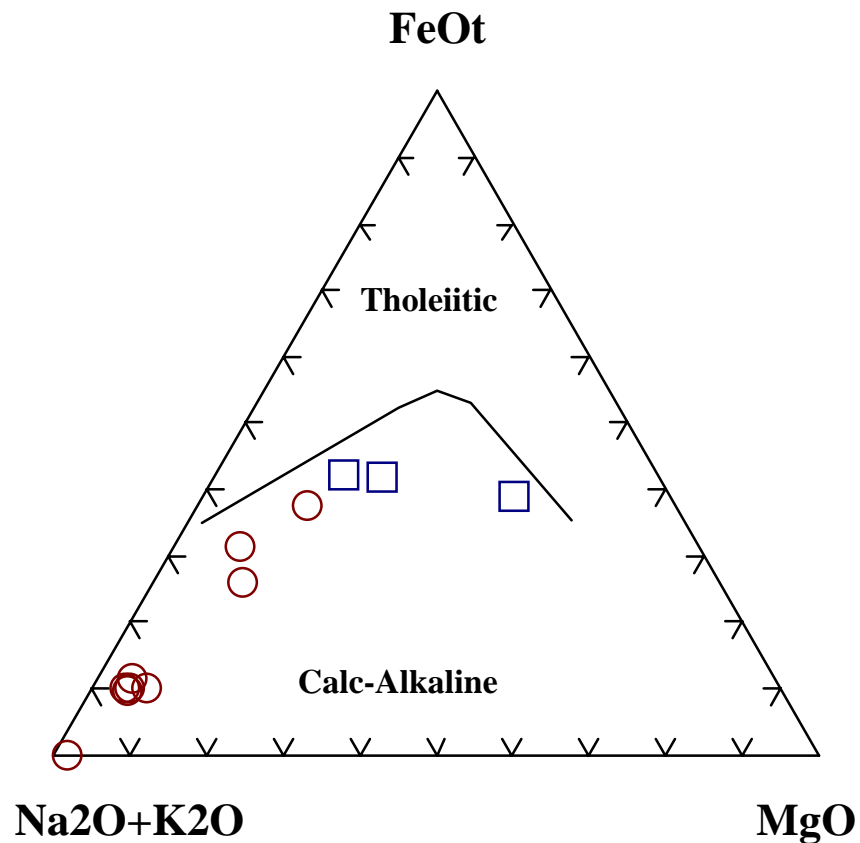


Figura 08: Diagrama AFM (Irvine & Baragar, 1971) para os migmatitos tipo “Rosa Imperial”. **Legenda:** círculo vermelho: leucossoma granítico; quadrado azul: mesossoma granodiorítico.

No diagrama A/NK versus A/CNK, com os campos de Maniar & Picolli (1989), o qual é baseado nos Índices de Shand (In: Shand, 1950), as amostras do leucossoma do migmatito tipo “Rosa Imperial” caem, em sua grande maioria, dentro do campo das rochas peraluminosas (**Figura 09**).

As amostras do mesossoma granodiorítico caem no campo das rochas metaluminosas. Isto ocorre devido ao pequeno grau de fusão parcial gerar magmas enriquecidas em álcalis e pobres em CaO devido ao plagioclásio residual. Isto leva a valores maiores da razão A/NK nos mesossomas e menores nos leucossomas, o inverso sendo observado em relação aos valores de A/CNK.

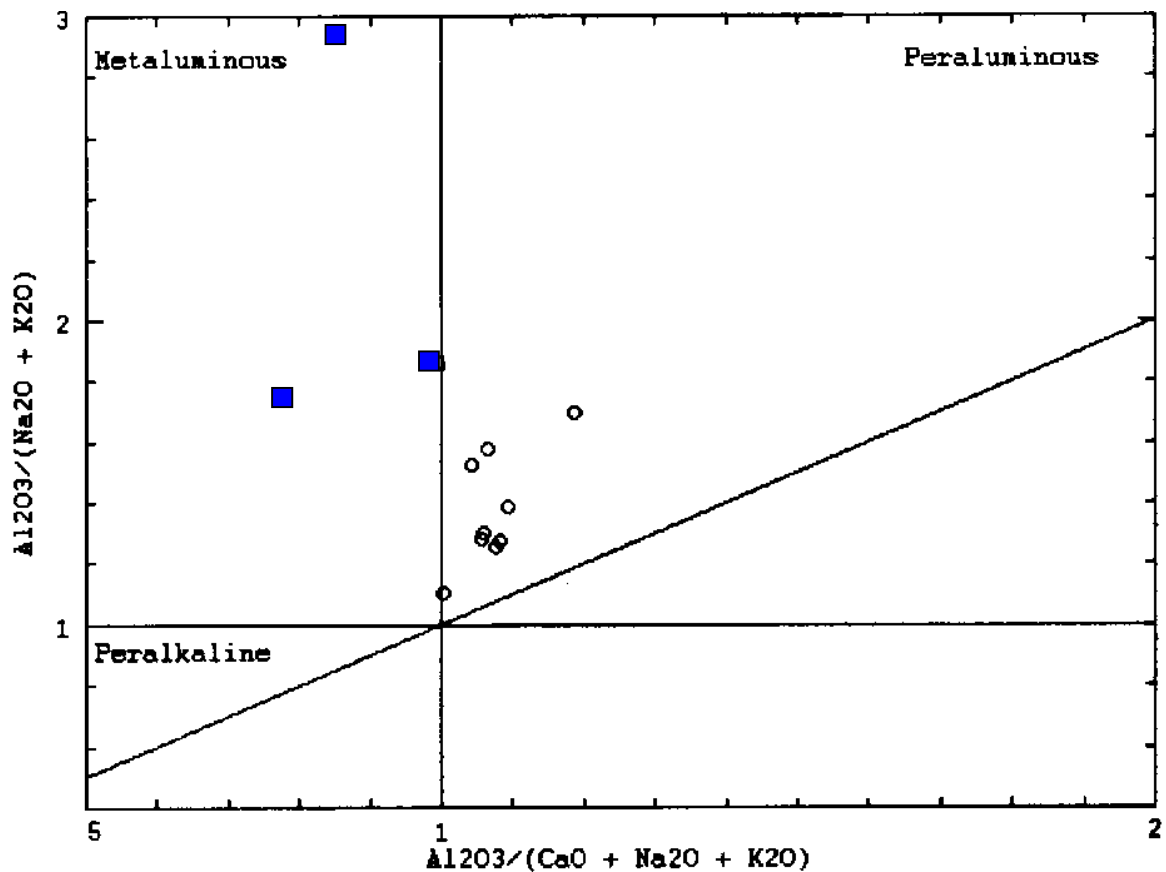


Figura 09: Diagrama A/NK versus A/CNK com os campos de Maniar & Picolli (1989) para os migmatitos tipo “Rosa Imperial”. **Legenda:** ANK: $Al_2O_3/(Na_2O+K_2O)$; ACNK: $Al_2O_3/(CaO+Na_2O+K_2O)$; círculo preto: leucossoma granítico; quadrado azul: mesossoma granodiorítico.

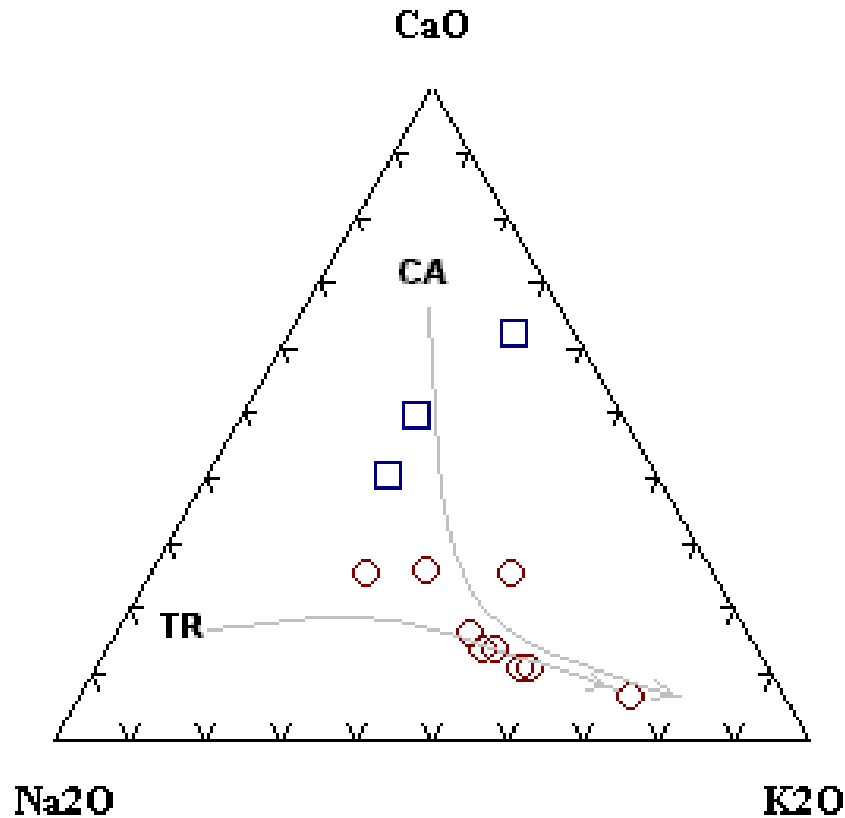


Figura 10: Diagrama ternário CaO-Na₂O-K₂O para os migmatitos tipo “Rosa Imperial”. **Legenda:** círculo vermelho: leucossoma granítico; quadrado azul: mesossoma granodiorítico. As setas representam os *trends* cálcio-alcalino (CA) e trondhjemítico (TR).

Na **Figura 10**, acima, (Diagrama CaO-Na₂O-K₂O), a diminuição dos conteúdos de CaO e Na₂O com um aumento em K₂O pode ser explicada pela presença de plagioclásio no resíduo. Explicando melhor: quando o protólito funde, forma um fundido (líquido) e deixa um resíduo não fundido. Se o conteúdo em CaO e Na₂O diminui no fundido, isto significa que ficou retido em algum mineral do resíduo que seja rico nestes elementos, no caso o plagioclásio.

Foram utilizados **diagramas de variação química tipo Harker** (1909) utilizando como índice de diferenciação o SiO₂ (**Figura 11**). Nestes diagramas, observa-se que o leucossoma é empobrecido em TiO₂, Fe₂O₃, MgO, MnO, CaO e P₂O₅, sugerindo que plagioclásio, apatita, titanita e biotita foram fases residuais durante o processo de fusão.

A biotita pode ser uma fase residual dentro da evolução de diatexitos de composição granítica passando a granitos anatexíticos (granitos leucocráticos), e responde pela diminuição progressiva em Fe_2O_3 , TiO_2 e MgO . O efeito da presença de biotita no conteúdo de K_2O da fusão residual é desprezível.

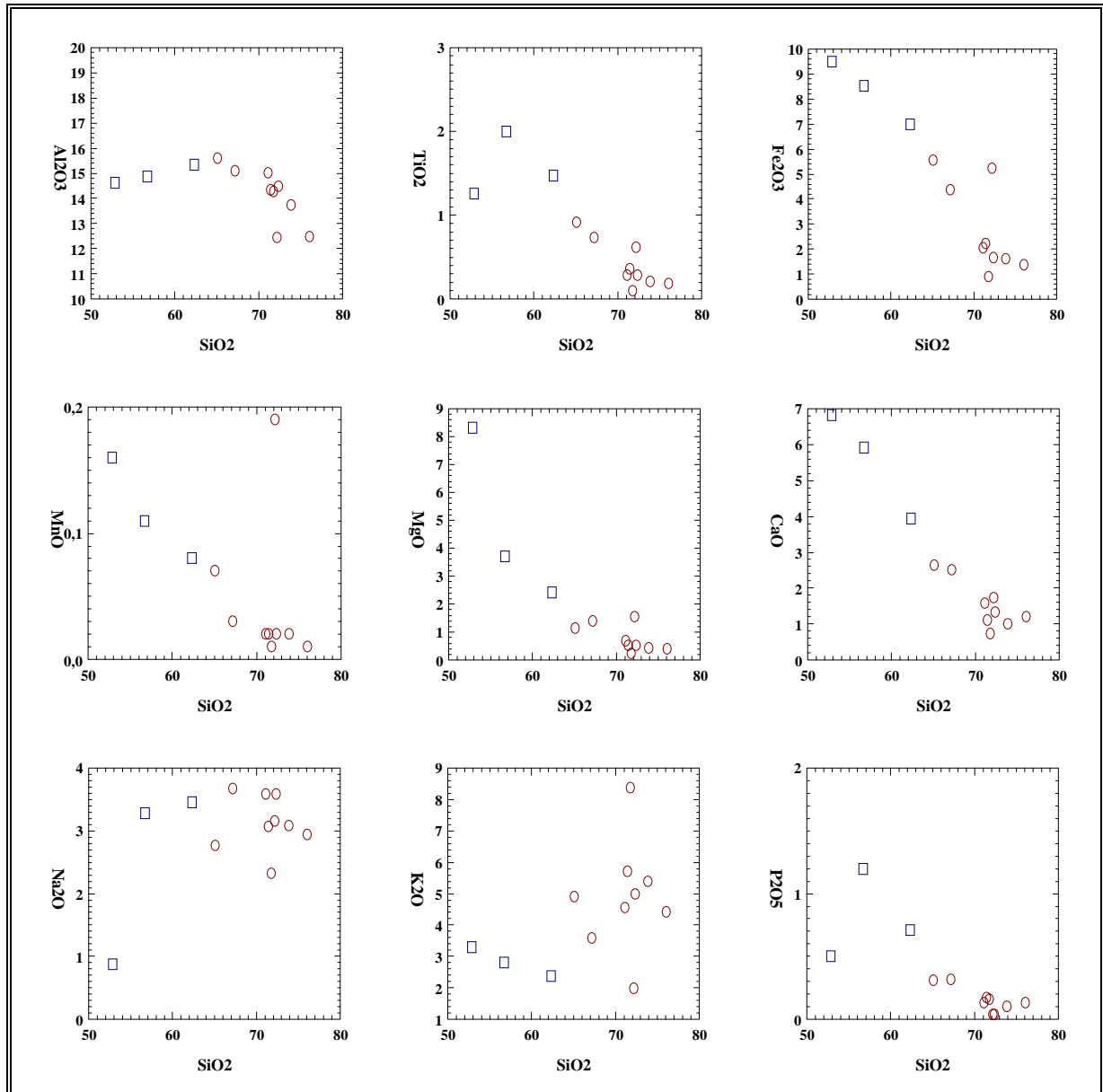


Figura 11: Diagramas de variação tipo Harker para elementos maiores, usando SiO_2 como índice de diferenciação, para os migmatitos tipo “Rosa Imperial”. **Legenda:** Círculo vermelho: leucossoma granítico; quadrado azul: mesossoma granodiorítico.

O K_2O mostra dois trends de fusão: um trend negativo para as rochas do mesossoma e um trend positivo para as rochas do leucossoma. O aumento no conteúdo de K_2O com o conteúdo de SiO_2 reflete o fato de que K-feldspato foi umas das primeiras fases fundidas.

O Al_2O_3 mostra dois trends: um positivo para as rochas do mesossoma, e um negativo para as rochas do leucossoma, sugerindo a presença de granada e/ou biotita residual, como já era de se esperar em um leucossoma de refusão crustal.

5.3 ELEMENTOS TRAÇO

Foram analisados 22 (vinte e dois) elementos traço, entre elementos incompatíveis LIL (Ba, Rb, Sr e Cs), actinídeos (U e Th), HFS (Ta, Nb, Hf, Zr, Sc e Y), compatíveis (Ni, Cu, Co, Zn e V) e outros (Pb, Ga, Sn, Mo, W). Os resultados são mostrados nas **Figuras 12, 13, 14, 15**.

No diagrama ternário Rb-Sr-Ba (**Figura 12**), segundo El Bouseily & El Sokkary (1975), as amostras do leucossoma do migmatito tipo “Rosa Imperial” caíram basicamente no campo dos granitos normais e anômalos, e as amostras do mesossoma caíram no campo dos granitos anômalos e granodioritos. Isto é sugestivo que os migmatitos diatexíticos sofreram variadas mudanças químicas e que não são originados por mecanismos simples.

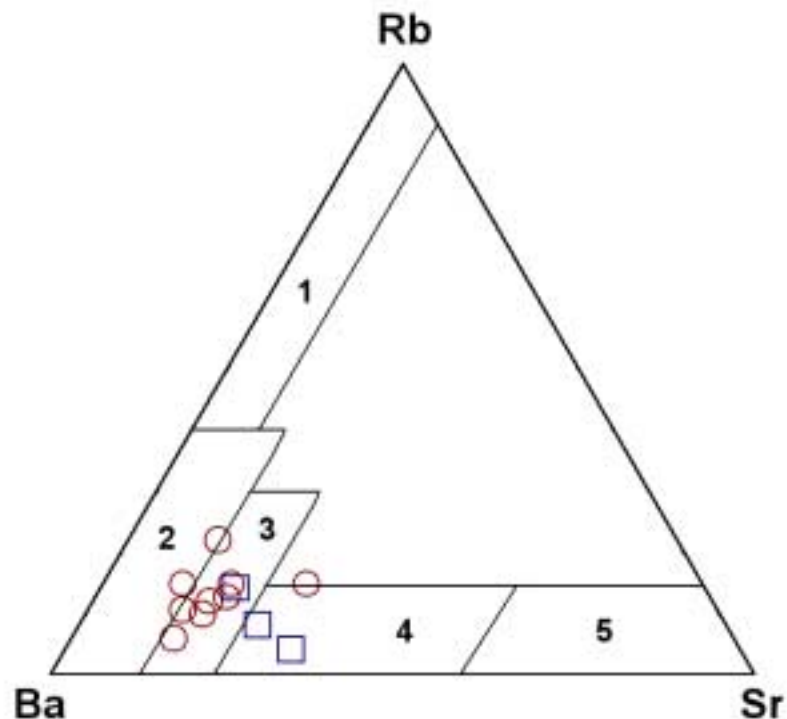


Figura 12: Diagrama ternário Rb-Sr-Ba , segundo El Bouseily & El Sokkary (1975), tomado como referência para os migmatitos tipo “Rosa Imperial”. **1:** granitos fortemente diferenciados; **2:** granitos comuns (*normal granites*); **3:** granitos anômalos; **4:** granodioritos; e **5:** dioritos. **Legenda:** Círculo vermelho: leucossoma granítico; quadrado azul: mesossoma granodiorítico.

As rochas do **leucossoma** granítico dos migmatitos tipo “Rosa Imperial” mostram teores baixos a elevados de Ba (435 ppm a 2136 ppm), Rb variando de 112.3 ppm a 238.8 ppm, Sr variando de 110.8 ppm a 398.5 ppm, Y variando de 3.6 ppm a 26.3 ppm, Zr variando de 73.3 ppm a 399.2 ppm, Nb variando de 4.3 ppm a 18.2 ppm, Th variando de 10.1 ppm a 40.5 ppm e Hf variando de 2.3 ppm a 9.5 ppm.

Por outro lado, as rochas do **mesossoma** granodiorítico mostram teores de Ba variando de 1480.0 ppm a 1739 ppm, Rb variando de 184.1 ppm a 106.4 ppm, Sr variando de 254.7 ppm a 882.6 ppm, Y variando de 22.6 ppm a 27.1 ppm, Zr variando de 162.2 ppm a 410.4 ppm, Nb variando de 23.2 ppm a 30.4 ppm, Th variando de 5.7 ppm a 14.6 ppm e Hf variando de 4.5 ppm a 9.8 ppm.

Para os elementos incompatíveis LIL, as rochas do leucossoma granítico mostram uma suave correlação negativa com a sílica para Ba, Rb e Cs, sugerindo presença residual de biotita e K-feldspato; uma correlação negativa mais forte para o Sr, sugerindo presença de plagioclásio no resíduo; os actinídeos Th e U mostram o Th uma forte correlação positiva e o U uma suave correlação positiva, sugerindo ausência de zircão no resíduo. As rochas do mesossoma mostram correlações contrárias às do leucossoma, no caso do Ba, Rb, Sr e Cs; porém para Th e U parecem seguir o mesmo *trend*.

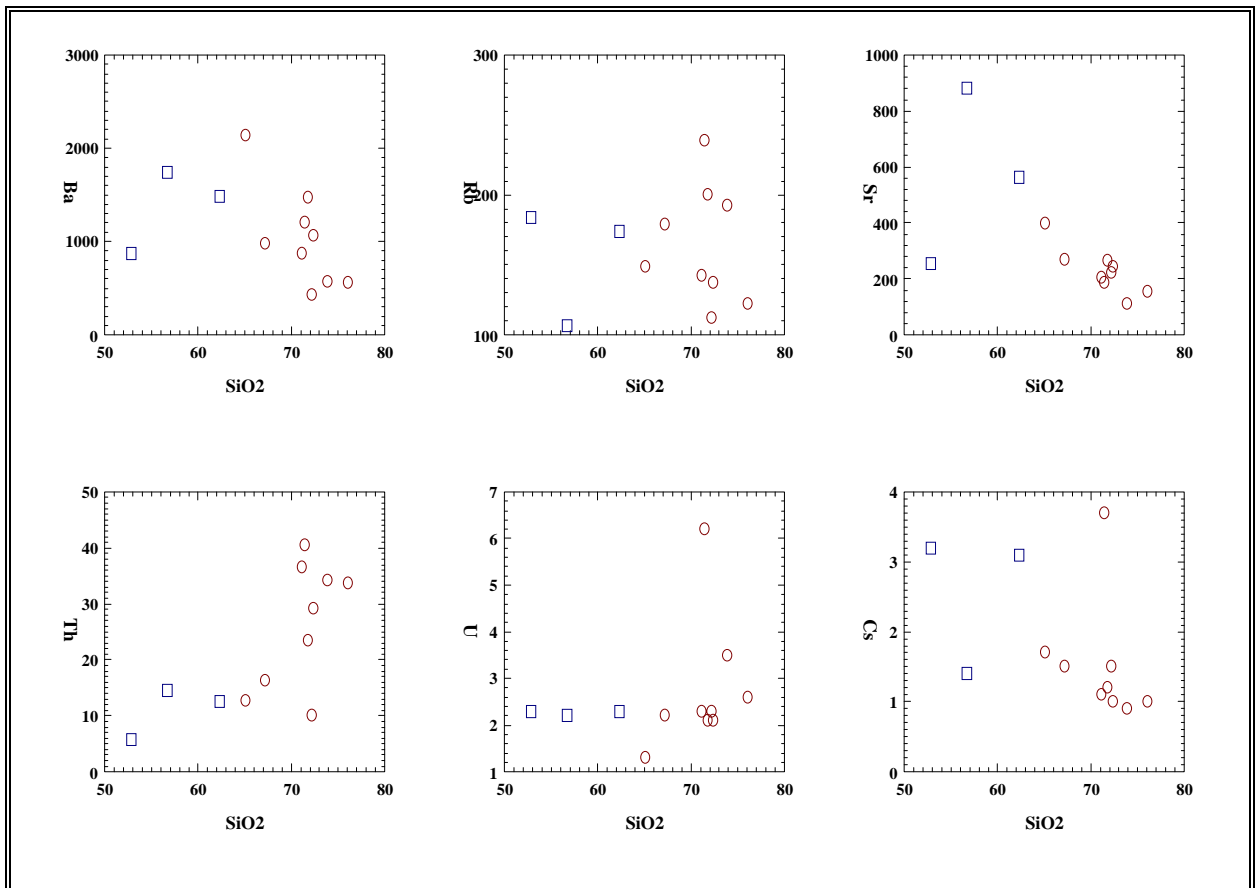


Figura 13: Diagramas de variação tipo Harker para elementos traço incompatíveis LIL (Ba, Rb, Sr e Cs) e actinídeos (U e Th), usando SiO₂ como índice de diferenciação, para os migmatitos tipo “Rosa Imperial”. **Legenda:** Círculo vermelho: leucossoma granítico; quadrado azul: mesossoma granodiorítico.

Para os elementos incompatíveis HFSE, as rochas do leucossoma granítico mostram correlações negativas com a sílica para Ta, Nb, Y e Sc, sugerindo presença residual de titanita ou apatita no caso do Ta e Nb, e de anfibólio no caso do Y e Sc; em todos estes casos as rochas do mesossoma seguem o mesmo trend negativo. Hf e Zr mostram correlações positivas para as rochas do mesossoma e negativas para as rochas do leucossoma, sugerindo presença de zircônio herdado no leucossoma, não como zircão residual mas dentro da estrutura da biotita, isto está de acordo com os diagramas do Th e U, que mostram ausência de Zr residual no mesossoma.

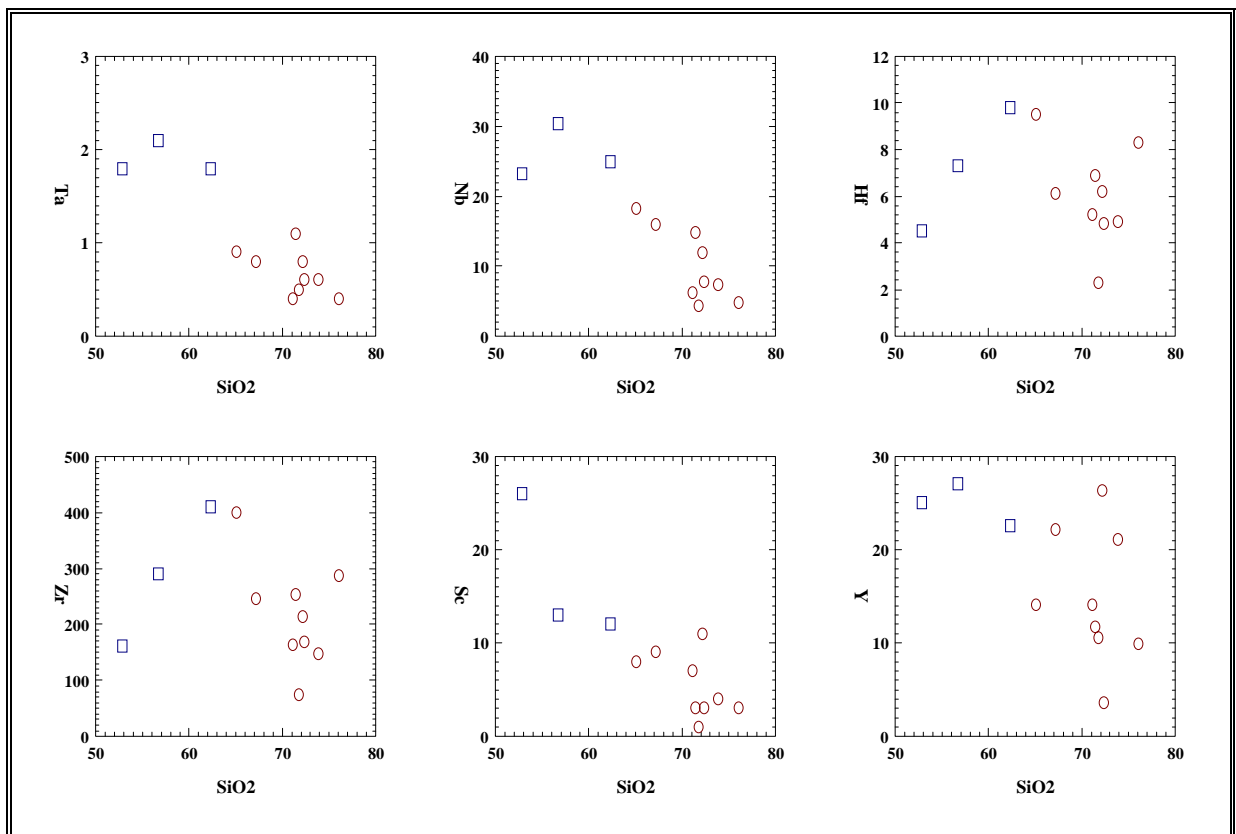


Figura 14: Diagramas de variação tipo Harker para elementos traço incompatíveis HFS (Ta, Nb, Hf, Zr, Sc e Y), usando SiO₂ como índice de diferenciação, para os migmatitos tipo “Rosa Imperial”. **Legenda:** Círculo vermelho: leucossoma granítico; quadrado azul: mesossoma granodiorítico.

Para os elementos compatíveis, as rochas do leucossoma mostram correlações negativas para todos os elementos (Zn, V, Cu, Co e Ni), enquanto o mesossoma mostra correlações negativas para V, Ni e Co, sugerindo presença de biotita \pm anfibólio no resíduo.

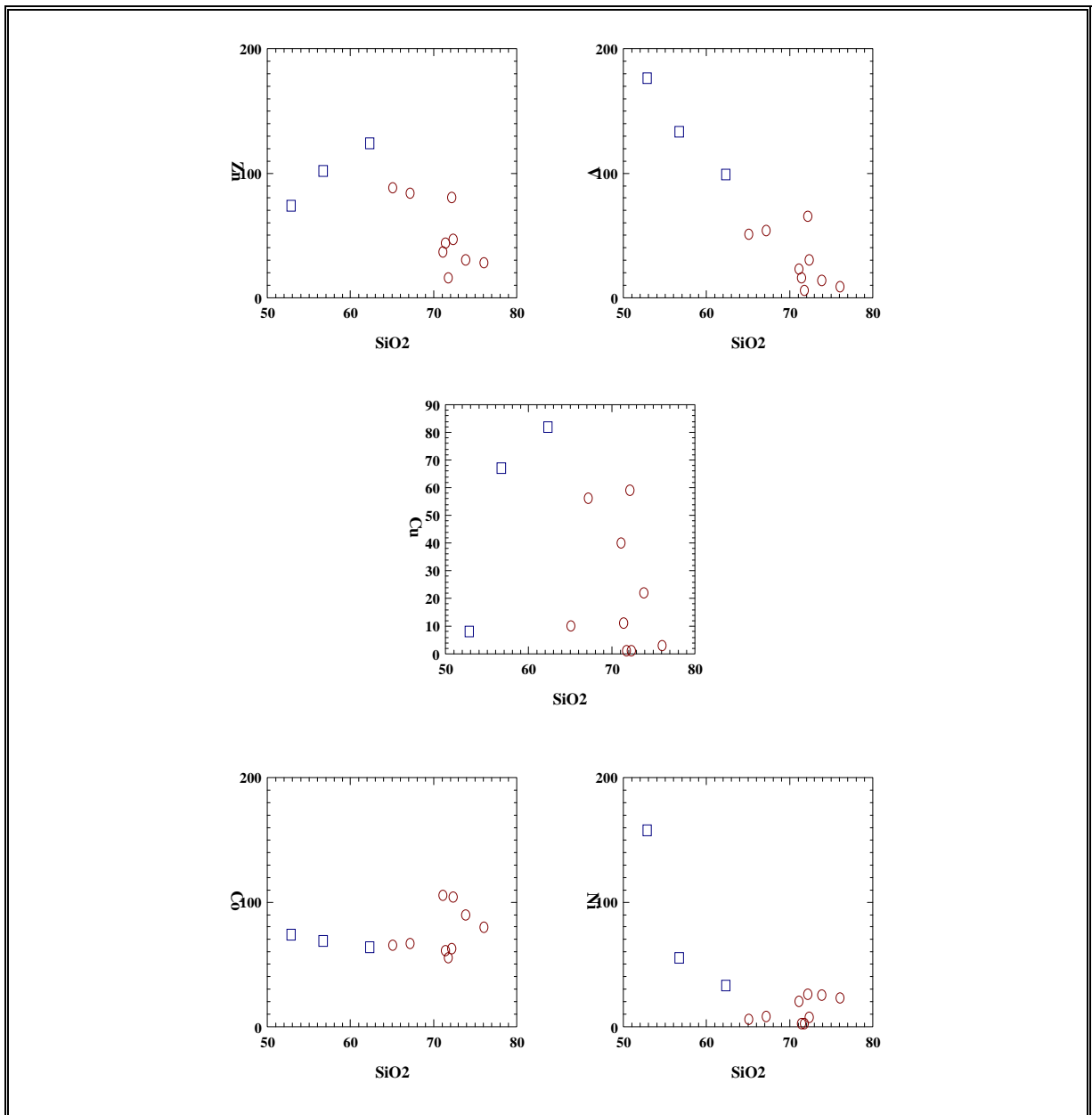


Figura 15: Diagramas de variação tipo Harker para elementos traço compatíveis (Ni, Cu, Co, Zn e V), usando SiO₂ como índice de diferenciação, para os migmatitos tipo “Rosa Imperial”. **Legenda:** Círculo vermelho: leucossoma granítico; quadrado azul: mesossoma granodiorítico.

5.4 ELEMENTOS TERRAS RARAS

Os lantanídeos foram analisados e projetados em diagramas tipo Harker utilizando o SiO_2 como índice de diferenciação (**Figuras 16a e 16b**) e também em um diagrama de variação de elementos terras raras normalizado para o condrito de Nakamura (1977), ver **Figuras 17a e 17b**.

Os diagramas Harker mostram tanto para as rochas do leucossoma quanto para as rochas do mesossoma (com exceção de uma amostra) correlações negativas com a sílica para todos os elementos terras raras, leves e pesados, mais pronunciadas nos leves e mais suaves nos pesados. Também se pode observar nos diagramas Harker do Tm, Yb e Lu a presença de fases mais refratárias no resíduo.

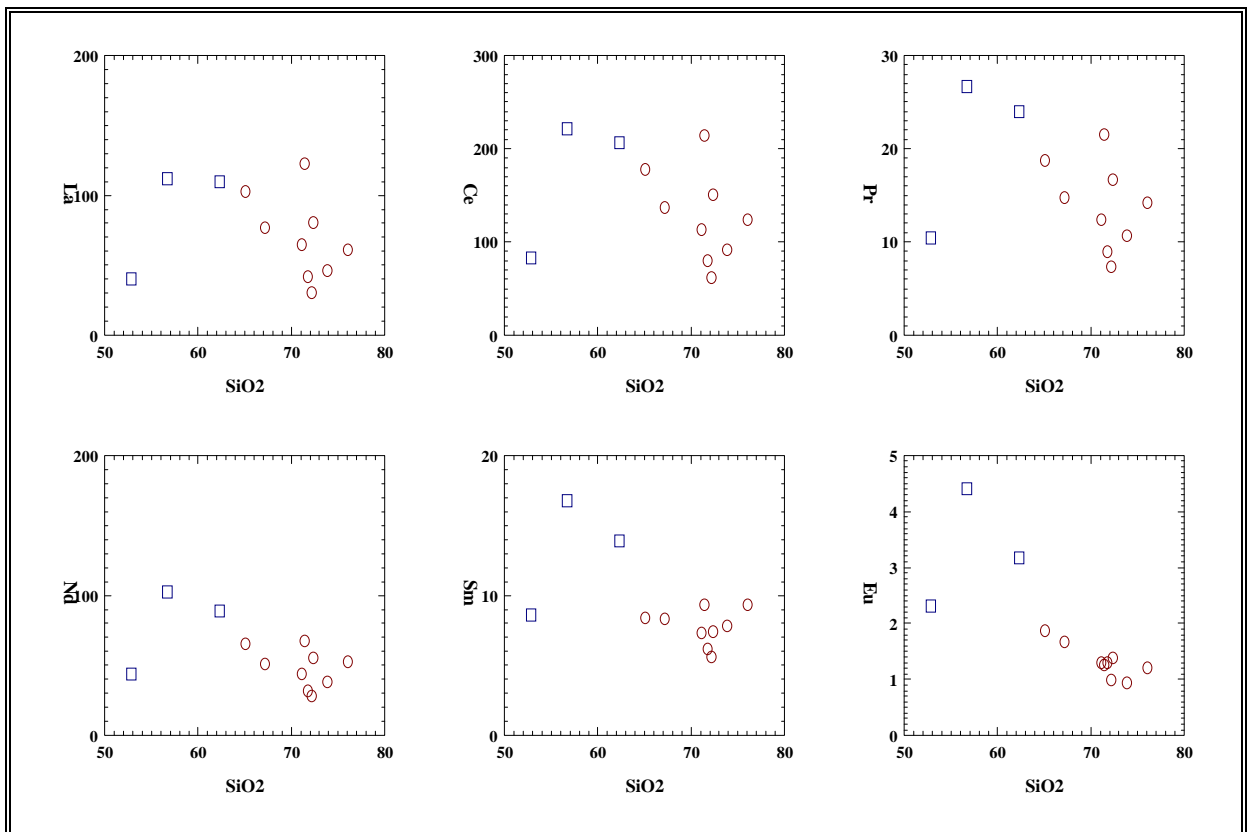


Figura 16a: Diagramas de variação tipo Harker para elementos terras raras leves (La, Ce, Pr, Nd, Sm e Eu), usando SiO_2 como índice de diferenciação, para os migmatitos tipo “Rosa Imperial”. **Legenda:** Círculo vermelho: leucossoma granítico; quadrado azul: mesossoma granodiorítico.

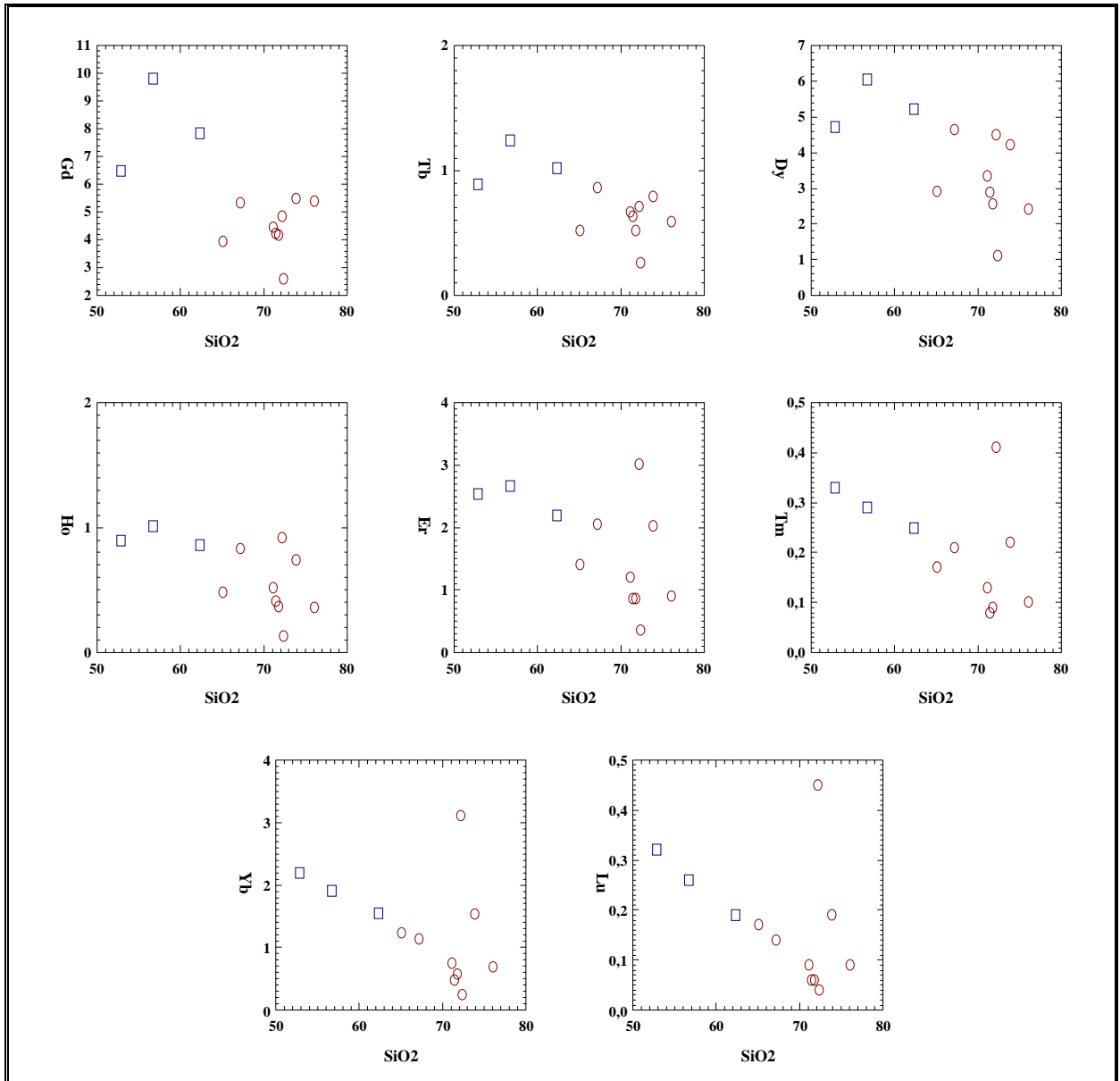


Figura 16b: Diagramas de variação tipo Harker para elementos terras raras pesados (Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb e Lu), usando SiO_2 como índice de diferenciação, para os migmatitos tipo “Rosa Imperial”. **Legenda:** Círculo vermelho: leucossoma granítico; quadrado azul: mesossoma granodiorítico.

O diagrama de variação de elementos terras raras normalizado para o condrito mostra enriquecimento em terras raras leves e empobrecimento em terras raras pesados, tanto para as rochas do leucossoma como para as rochas do mesossoma, indicando fases minerais ricas em terras raras pesadas no resíduo como granada e zircão.

Ou seja, após a fusão do protólito, se estas fases diminuem no fundido (líquido), é porque ficaram retidas no resíduo, contidas em algum mineral que apresente estes elementos em sua fórmula química, no caso a granada e o zircão.

Os padrões de elementos terras raras normalizados em relação ao condrito mostram razões $(Ce/Yb)_N$ distintas para o leucossoma (17,5 a 62,3) e mesossoma (13,6 a 25,6). Os padrões ETR dos leucossomas mostram anomalia negativa de Eu, sugerindo fases residuais de plagioclásio e granada durante os processos de fusão, esta anomalia está ausente no mesossoma.

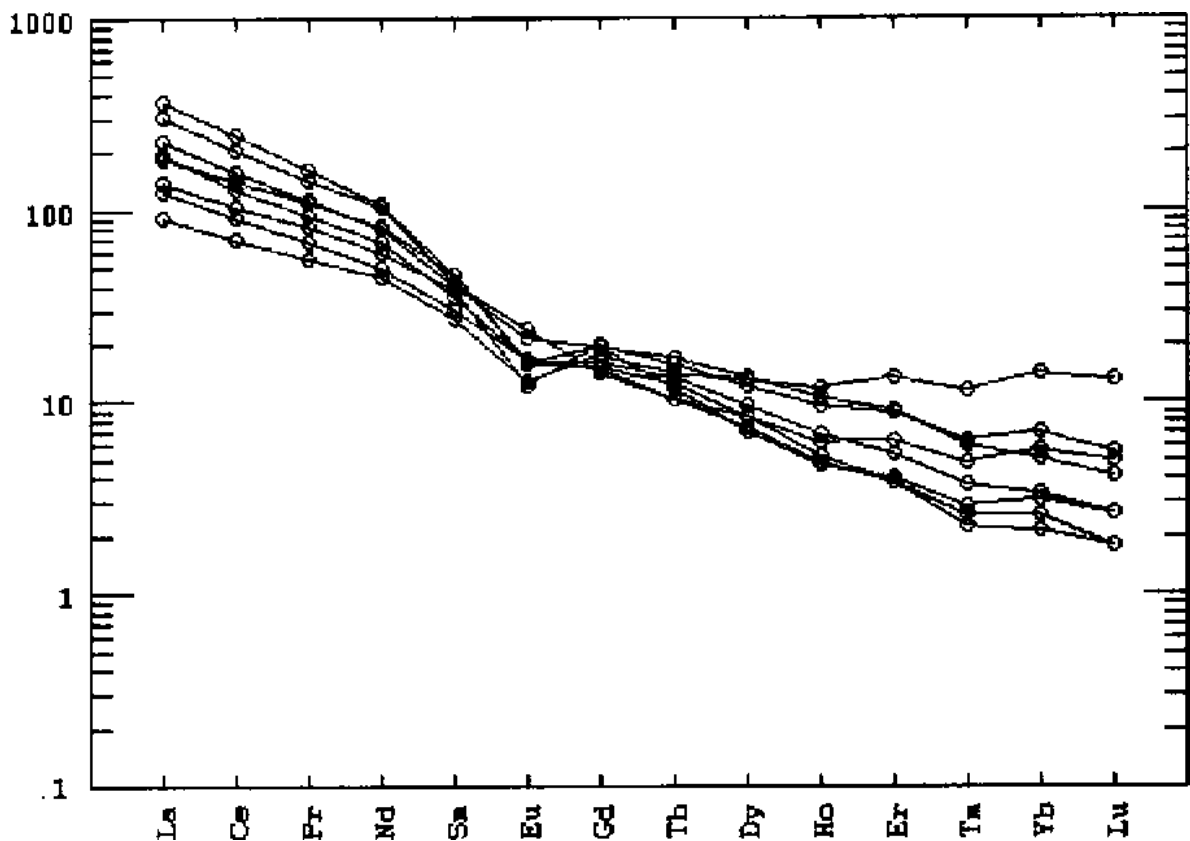


Figura 17a: Diagrama de variação para elementos terras raras, normalizado para o Condrito de Nakamura (1977), para os migmatitos tipo "Rosa Imperial". **Legenda:** Círculo: leucossoma granítico.

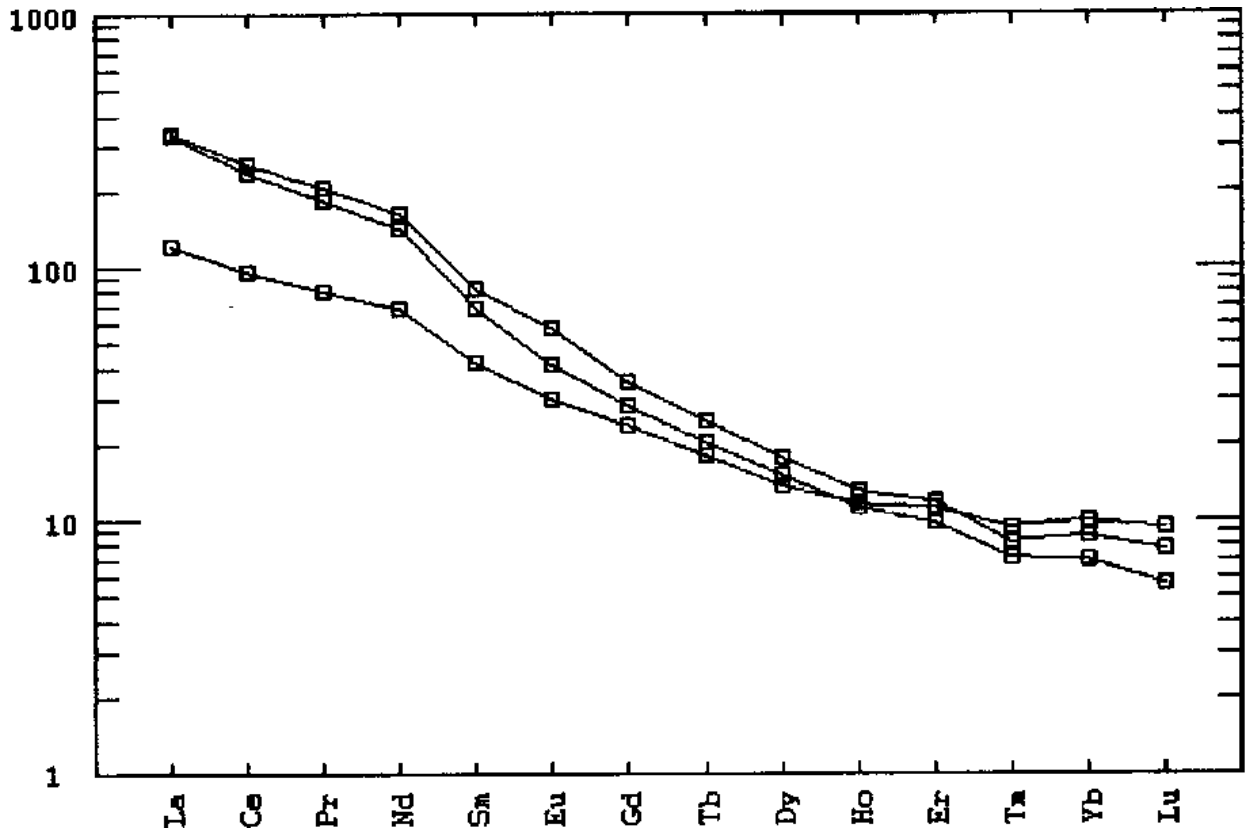


Figura 17b: Diagrama de variação para elementos terras raras, normalizado para o Condrito de Nakamura (1977), para os migmatitos tipo “Rosa Imperial”. **Legenda:** Quadrado: mesossoma granodiorítico.

5.5 DIAGRAMAS MULTIELEMENTARES (ARANHAGRAMAS)

Foram projetados os dados do leucossoma granítico e do mesossoma granodiorítico para as rochas do migmatito tipo “Rosa Imperial” em gráfico tipo aranhagrama (*spiderdiagram*) normalizado para o manto primitivo (**Figuras 18a e 18b**). Os padrões são semelhantes para o leucossoma e o mesossoma. São caracterizados por depressões em Nb, Sr e Ti. As depressões em Nb e Ti costumam ser interpretadas como refletindo retenção na fonte de fases ricas em Nb e Ti, durante processos de fusão. No caso em questão, estas fases devem ter ficado retidas na biotita, possivelmente durante os processos de migmatitização. A depressão em Sr é indicativa de presença de plagioclásio e/ou apatita no resíduo, ou baixos teores de Sr na fonte.

Também podem ser vistos picos discretos nos elementos incompatíveis LIL, Th e K e nos ETR leves La, Nd e Sm. Estes elementos têm em comum o fato de serem elementos de grande raio iônico, sendo típicos de minerais formados em ambientes crustais. Os picos em Th e K possivelmente refletem a ausência de K-feldspato no resíduo, o que já havia sido visto nos diagramas Harker de K_2O e Th versus SiO_2 , ambos mostrando correlação positiva com a sílica.

Os dados geoquímicos sugerem que o leucossoma granítico do migmatito “Rosa Imperial” é derivado da fusão crustal *in situ*, deixando granada, plagioclásio, apatita e biotita no resíduo.

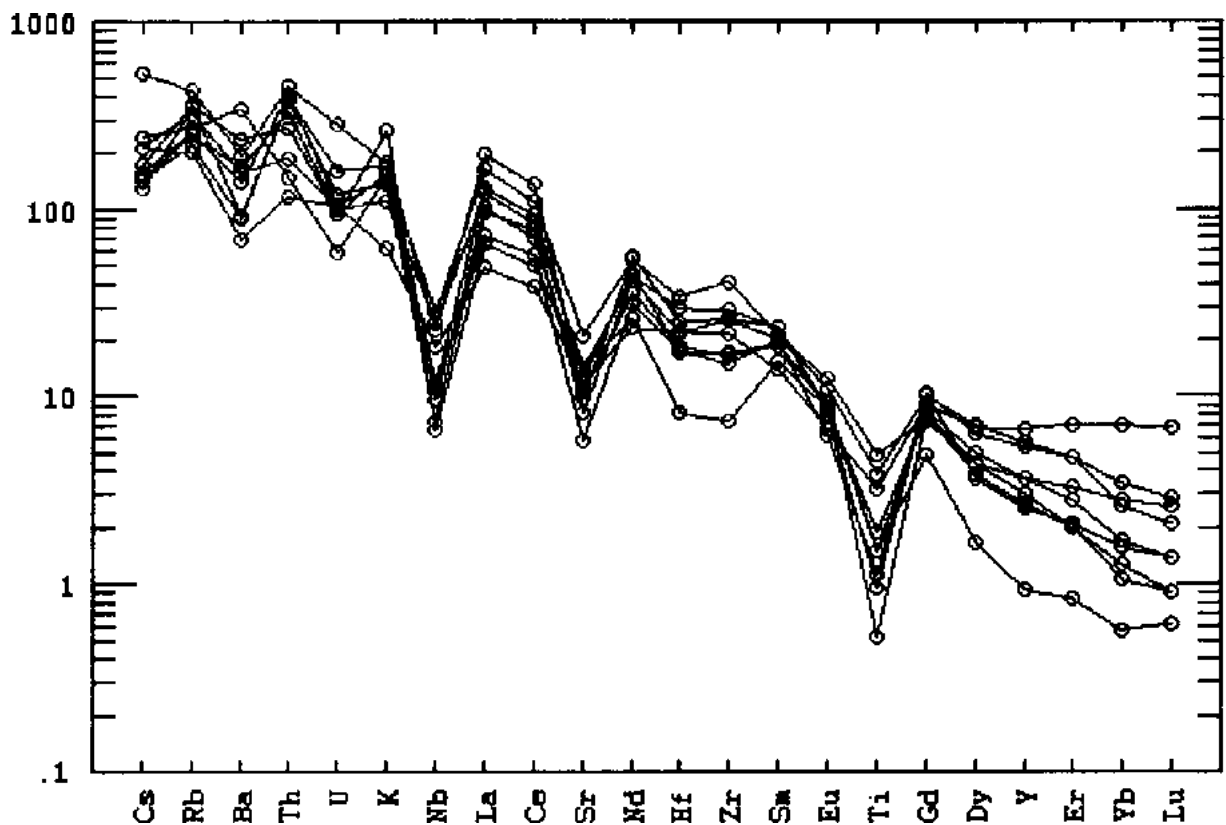


Figura 18a: Diagrama multielementar (aranhagrama) normalizado para o manto primitivo (Wood, 1980) para os migmatitos tipo “Rosa Imperial”. **Legenda:** Círculo leucossoma granítico.

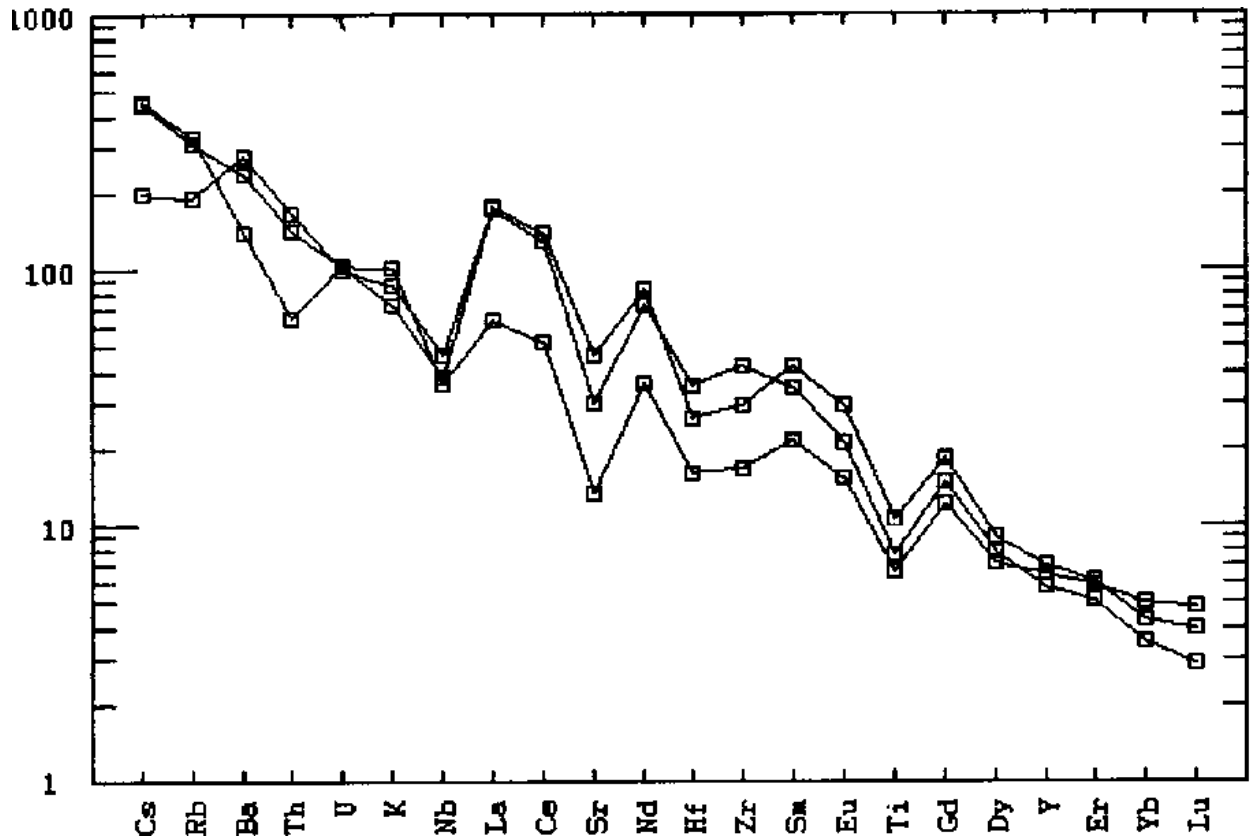


Figura 18b: Diagrama multielementar (aranhagrama) normalizado para o manto primitivo (Wood, 1980) para os migmatitos tipo "Rosa Imperial". **Legenda:** Quadrado: mesossoma granodiorítico.

5.6 GEOTERMOMETRIA

Comumente as estimativas de geotermobarometria são feitas baseadas em geotermômetros e geobarômetros à base de pares minerais em equilíbrio nas rochas durante sua cristalização (por exemplo, o geotermômetro hornblenda-plagioclásio, o geobarômetro granada-biotita, etc...). Para tal, utilizam-se análises de química mineral dos minerais da rocha estudada (análises químicas por microsonda eletrônica dos K-feldspatos, plagioclásios, anfibólios, piroxênios, biotitas, apatitas, epidotos, etc...). Além da geotermobarometria, com estas análises também podem ser inferidos muitos outros parâmetros intensivos da rocha, tais como fugacidade de oxigênio, teor de H₂O do magma progenitor, P_{H₂O} e P_{O₂}, determinação dos voláteis, natureza química do magma progenitor, etc...

Porém, como este trabalho enfoca os aspectos prospectivos com fins comerciais, direcionado para rochas ornamentais, não foram feitas análises de química mineral, apenas de litogeoquímica (geoquímica de rocha total), e portanto em nossa pesquisa utilizamos como alternativa o geotermômetro proposto por Watson (1987), baseado nos teores de Zr em rocha total, em rochas graníticas.

Estes valores são obtidos a partir da fórmula:

$$T = -273 + [12.900 / (17.18 - \ln Zr)]$$

Segundo Watson (1987), utilizando esta fórmula, proporciona uma estimativa da temperatura em que o magma torna-se saturado em Zr, para sistemas graníticos. Em nosso caso, como se tratam de migmatitos diatexíticos, foram utilizadas apenas as amostras do leucossoma granítico. Os resultados podem ser vistos na **Tabela 02**.

Obtivemos o intervalo de temperaturas em que o leucossoma granítico se formou e começou a cristalizar o zircão, a partir da rocha ainda fundida. Este intervalo está compreendido entre os valores de 728.13° C (Mínimo) e 880.79° C (Máximo), e por serem temperaturas relativamente altas, indicam que a refusão da crosta migmatítica deve ter se dado em níveis de profundidade equivalentes à crosta inferior. Porém, não há um método alternativo para estimar a pressão em que este leucossoma se formou, o que comprovaria esta hipótese.

Amostra	Teor Zr (ppm)	Ln Zr	Temp. (°C)
CH-GC-30	246.0	5.50533	831.96
CH-GC-33	168.4	5.12634	797.21
CH-GC-34	147.5	4.99383	785.58
CH-GC-38 B	286.6	5.65809	846.61
CH-GE-21	252.6	5.53181	834.47
CH-GFC-37 A	73.3	4.29456	728.13
CH-GFC-37 F	213.4	5.36317	818.66
CH-GW-11	399.2	5.98946	880.79
CH-GW-13	163.4	5.09620	794.55

Tabela 02: Valores obtidos de Geotermometria usando o Método dos teores de Zr em rocha total (Watson, 1987) em rochas graníticas, para as rochas do leucossoma granítico do migmatito tipo “Rosa Imperial”.

No caso específico de migmatitos, estudos de morfologia de zircões envolvendo tanto corrosão de zircões como novo crescimento de zircões em melanossomas (Dirks & Hand, 1991; Watt et al., 1996; Oliver et al., 1999; Schaltegger et al., 1999), sugerem que a presença de zircões nos migmatitos nestas duas condições representam um processo de dois estágios: i) fusão parcial simultaneamente com dissolução do zircão e ii) subsequente precipitação de zircão a partir do fundido, nucleando sobre cristais pré-existentes de zircão no melanossoma. Oliver et al. (1999) relatou que a abundância de zircões é baixa em leucossomas, moderada em mesossomas e elevada em melanossomas em migmatitos estromatíticos por ele estudados. Em geral, os zircões destes migmatitos são inclusões nas biotitas, tanto nos leucossomas quanto nos melanossomas.

No migmatito diatexítico tipo “Rosa Imperial”, na medida que não foram encontrados zircões no leucossoma é muito possível que os teores de Zr considerados sejam produto de zircões herdados, inclusos nas biotitas, de modo que estes valores de temperatura obtidos seriam de pouco significado. Normalmente temperaturas superiores a 800°C não seriam esperadas para estas rochas.

Temperaturas da ordem de 720°C, determinadas pelo método de teores de Zr em rocha total, indicam que os processos de fusão ocorreram em condições de temperaturas não muito elevadas. A provável presença de possíveis zircões herdados neste tipo de rocha, permite apenas inferir esta temperatura, como a temperatura máxima alcançada, durante o processo de fusão. Logo, a fusão ocorreu em condições muito próximas a da temperatura mínima de fusão do granito (é claro, dependendo também da pressão), não permitindo assim a migração de magmas.

5.7 AMBIENTES TECTÔNICOS

Como não existem diagramas discriminantes específicos para migmatitos, foram utilizados para as rochas do migmatito diatexítico tipo “Rosa Imperial” os diagramas discriminantes de ambientes tectônicos de Pearce et al. (1984) e de Batchelor & Bowden (1985). Os resultados são mostrados nas **Figuras 19 a, 19b, 20 e 21**.

No diagrama Rb versus (Y+Nb), as rochas do leucossoma granítico caem no campo dos granitos de arco vulcânico próximo ao limite com os granitos sin-

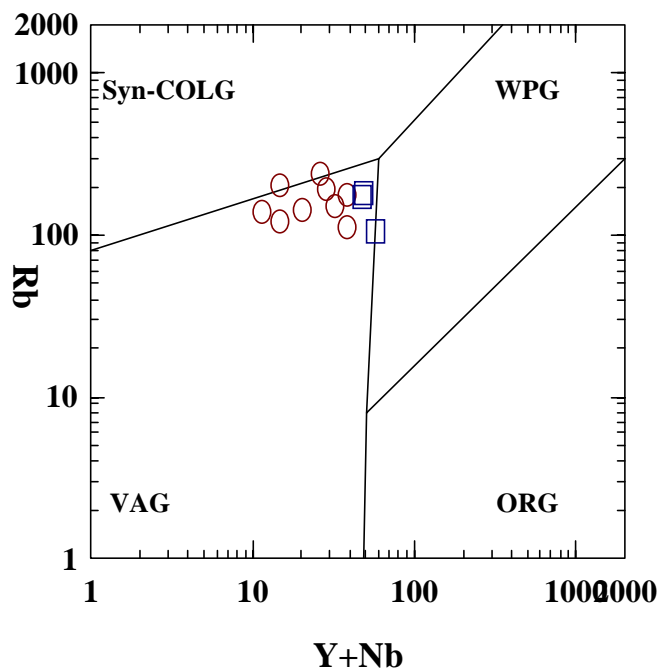
colisionais, sendo que duas amostras caem dentro do campo dos granitos sin-colisionais; já as rochas do mesossoma granodiorítico caem também no campo dos granitos de arco vulcânico mas próximo ao limite com os granitos intraplacas, e uma amostra cai exatamente neste limite.

No diagrama Nb versus Y, as rochas do leucossoma granítico caem no campo dos granitos de arco vulcânico e sin-colisionais; enquanto que as rochas do mesossoma granodiorítico caem no campo dos granitos intraplacas próximo ao limite com os granitos de arco vulcânico e sin-colisionais.

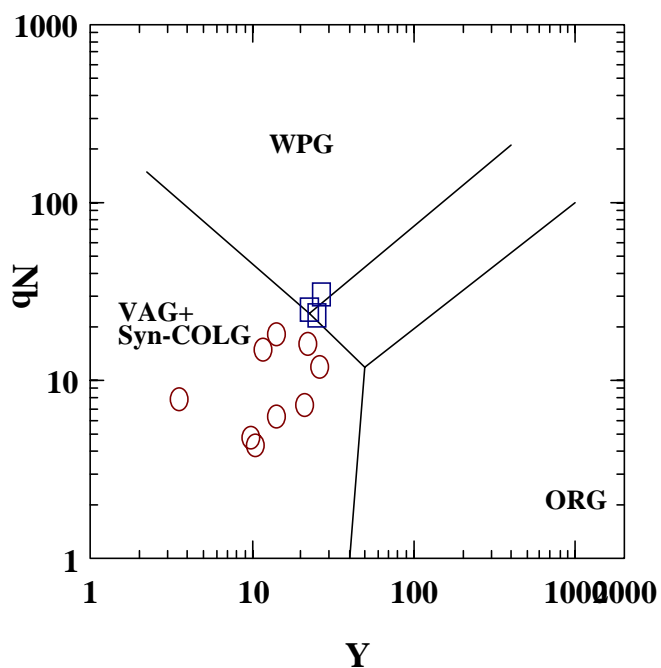
Os resultados destes dois diagramas são coerentes entre si, e mostram que a fonte das rochas do leucossoma granítico do migmatito tipo “Rosa Imperial” é quimicamente semelhante aos granitos sin-colisionais ou tipo S (de refusão crustal). A pesar que no diagrama da **Fig. 19 a**, as amostras caem mais para arco vulcânico, o que não é um ambiente comum para geração de migmatitos.

Em geral, migmatitos são gerados em ambientes colisionais, conforme Pitcher (1993) e Barbarin (1990). Isto poderia ser interpretado como uma evidência de que o leucossoma granítico é derivado de um protólito diferente do protólito do mesossoma, conforme a teoria de Johannes & Gupta (1982), Johannes (1983, 1985, 1988) e Ashworth (1976, 1985). Este leucossoma originou-se por fusão parcial *in situ*, o que é corroborado tanto pelas evidências de campo quanto pela mineralogia destas rochas, as quais são portadoras de granada e muscovita (vide **Fotografias 50 e 60**), minerais típicos de granitos tipo S (sin-colisionais ou de refusão crustal).

Os diagramas discriminantes de ambientes tectônicos (**Figuras 19a e 19b**) podem refletir o ambiente em que a **rocha fonte** dos diatexitos foi gerada. Neste caso se observam que os leucossomas são sistematicamente mais empobrecidos em Nb, sugerindo que Nb ficou em fase refratária durante a migmatitização.



(a)



(b)

Figuras 19a e 19b: Diagramas discriminantes de ambientes tectônicos para rochas graníticas, para o migmatito (diatexito) tipo “Rosa Imperial”, segundo Pearce et al. (1984). **Legenda:** Círculo vermelho: leucossoma granítico, quadrado azul: mesossoma granodiorítico.

Levando esta hipótese em consideração, os diagramas de Pearce et al. (1984) sugerem que a **fonte** do mesossoma dos diatexitos pode ter sido gerado a partir de granitos intraplacas e o leucossoma dos diatexitos a partir de granitos de arco vulcânico ou sin-colisionais.

O diagrama R1-R2 de Batchelor & Bowden (1985) mostra que as amostras do mesossoma granodiorítico caem no campo pré-colisional, enquanto as amostras do leucossoma granítico caem no campo sin-colisional, (**Figura 20**). Entretanto, isto era esperado porque este diagrama reflete muito mais processos de fracionamento (fusão ou cristalização) que o ambiente tectônico.

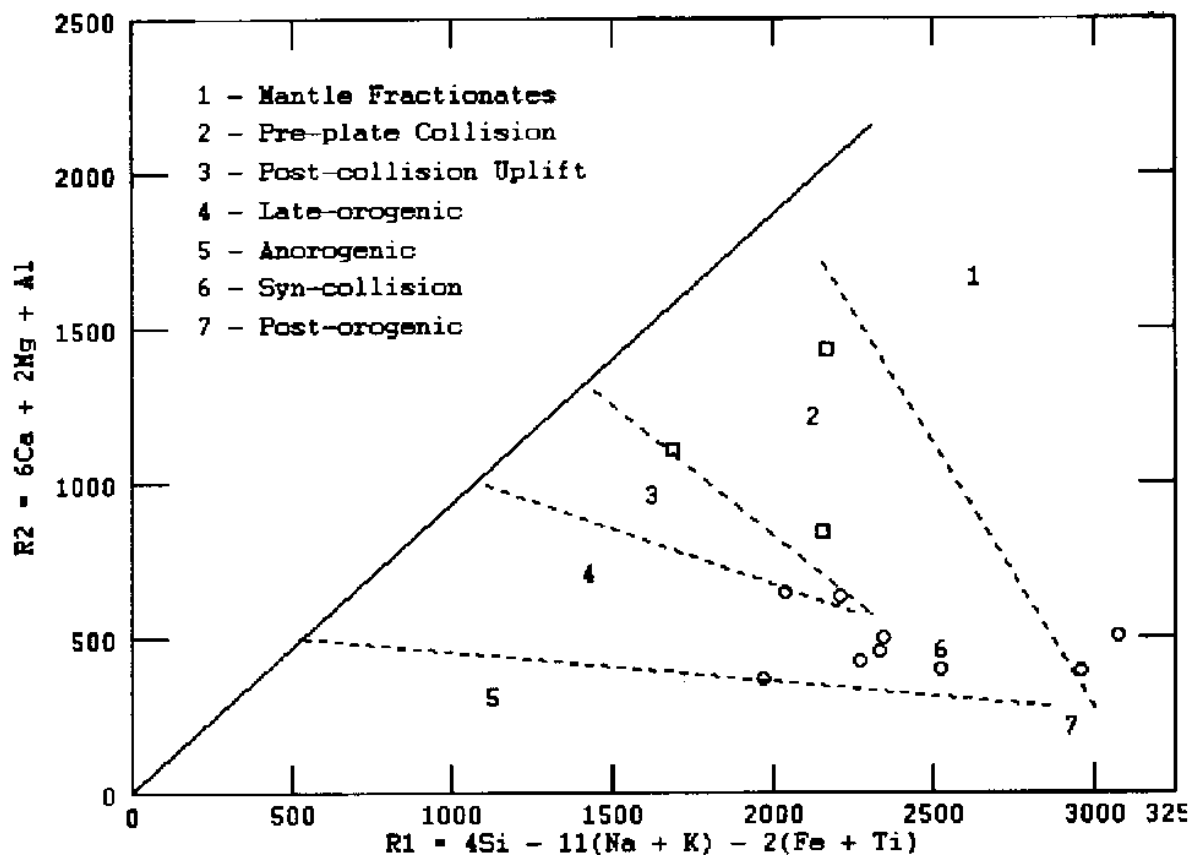


Figura 20: Diagrama R1-R2 discriminante de ambientes tectônicos para rochas graníticas, para o migmatito (diatexito) tipo “Rosa Imperial”, segundo Batchelor & Bowden (1985). **Legenda:** Círculo: leucossoma granítico, quadrado: mesossoma granodiorítico.

O diagrama Nb versus SiO₂ de Pearce & Gale (1975) mostra que os leucossomas do migmatito tipo “Rosa Imperial” caem parcialmente no campo dos granitóides de refusão crustal (**Figura 21**).

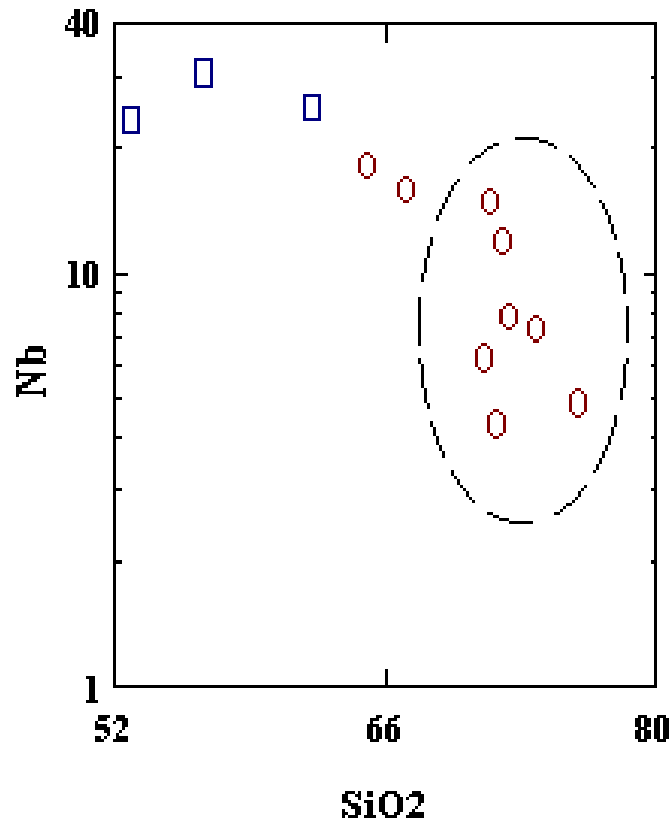


Figura 21: Diagrama Nb versus SiO₂ com o campo discriminante de granitóides de refusão crustal para rochas graníticas, para o migmatito (diatexito) tipo “Rosa Imperial”, segundo Pearce & Gale (1975). **Legenda:** Círculo vermelho: leucossoma granítico, quadrado azul: mesossoma granodiorítico.

5.8 RESULTADOS

Os resultados dos estudos do migmatito “Rosa Imperial” neste capítulo sugerem o seguinte:

Quimicamente as rochas do migmatito “Rosa Imperial” são subalcalinas, tanto para o mesossoma quanto para o leucossoma, sendo que o leucossoma tem caráter peraluminoso e o mesossoma metaluminoso. O leucossoma é empobrecido em CaO, P₂O₅, TiO₂, Fe₂O_{3 (t)}, Sr, Nb e Ta em relação ao mesossoma, sugerindo que plagioclásio, apatita e biotita foram fases residuais durante o processo de fusão.

Do ponto de vista geotectônico, o leucossoma granítico cai no campo de arco vulcânico e sin-colisional e o mesossoma granodiorítico cai no campo pré-colisional nos diagramas discriminantes para ambientes tectônicos, sendo que os critérios de aplicação destes diagramas são orientados principalmente para granitóides.

Os padrões de elementos terras raras normalizados em relação ao condrito mostram razões (Ce/Yb)_N distintas para o leucossoma (17,5 a 62,3) e mesossoma (13,6 a 25,6). Os padrões ETR dos leucossomas mostram anomalia negativa de Eu sugerindo fases residuais de plagioclásio e granada durante os processos de fusão. Os padrões *spidergram* normalizados para o manto primitivo mostram depressões em Nb, Sr e Ti, tanto no leucossoma como no mesossoma.

Os dados geoquímicos sugerem que o leucossoma granítico do migmatito “Rosa Imperial” é derivado da fusão crustal *in situ*, deixando granada, plagioclásio, apatita e biotita no resíduo. Temperaturas da ordem de 720°C, determinadas pelo método de teores de Zr em rocha total, indicam que os processos de fusão ocorreram em condições de temperaturas não muito elevadas. A provável presença de possíveis zircões herdados neste tipo de rocha, permite apenas inferir esta temperatura, como a temperatura máxima alcançada, durante o processo de fusão. Logo, a fusão ocorreu em condições muito próximas a da temperatura mínima de fusão do granito (dependendo também da pressão), não permitindo assim a migração de magmas.

A fonte das rochas do leucossoma granítico do migmatito tipo “Rosa Imperial” é quimicamente semelhante aos granitos sin-colisionais ou tipo S (de fusão crustal). Isto é interpretado como uma evidência de que o leucossoma granítico é derivado de um protólito diferente do protólito do mesossoma, conforme a teoria de Johannes & Gupta (1982), Johannes (1983, 1985, 1988) e Ashworth (1976, 1985) o qual sofreu fusão parcial, o que é corroborado tanto pelas evidências de campo quanto pela mineralogia destas rochas, as quais são portadoras de granada e muscovita, minerais típicos de granitos tipo S (sin-colisionais ou de fusão crustal).

CAPÍTULO 6 – GEOLOGIA APLICADA

6.1 DEFINIÇÃO E CARACTERÍSTICAS DAS ROCHAS ORNAMENTAIS

6.1.1 Introdução

A pedra natural passou a ser essencial para os revestimentos, pela sua praticidade, durabilidade e beleza, além do baixo custo para manutenção. Somando a isto a evolução da tecnologia nos últimos anos, que oferece ao mercado os mais diversos tipos de beneficiamento das pedras.

Atualmente, cresce a extração de granitóides em todo o mundo, pelo incremento em sua utilização na engenharia de construções, obras de arte e decoração de interiores, apreciadas pela qualidade estética e durabilidade dessas rochas.

A firmeza e solidez de um objeto leva-nos a afirmar que sua aparência é granítica. Essa é a descrição adequada desta rocha de alta dureza, resistente à compressão e à vibração, composta de grânulos de sílica na forma de quartzo, feldspatos e mica. O “granito” é muito utilizado como material de revestimento. Quanto às cores, predomina o cinza, tanto escuro como claro, dependendo dos minerais que fazem parte da composição. Os granitos nas cores verdes, rosa ou azul são originários de diferentes variedades de feldspatos, ou presença de minerais como o epidoto etc. Estima-se que no Brasil existem mais de 3000 tipos de granitos.

As tonalidades são os fatores que mais influenciam na escolha. A tendência é para os tons vermelho e amarelo. A demanda pelo verde se mantém estável. Com cotações em bons níveis e em alta estão os “granitos” em tons brancos que substituem ao mármore.

Para transformar uma ocorrência de rocha ornamental em uma jazida faz-se necessário uma série de estudos geológicos e tecnológicos detalhados, tais como levantamento dos litotipos aflorantes, avaliação estrutural, grau de intemperismo, além de estudos petrográficos e ensaios tecnológicos.

Órgãos governamentais ligados ao comércio exterior brasileiro afirmam que o Brasil é o terceiro maior produtor de granito do mundo. Os dois maiores são a China

e Índia. No ranking de exportação de granito em blocos o Brasil ocupa o 4º lugar e, o 12º lugar em produtos acabados.

Estudos elaborados por empresários do segmento concluíram que os produtos acabados têm valorização dez vezes mais que a exportação bruta e que é preciso modernizar o setor industrial para melhorar na produção, produtividade e qualidade. A metade da exportação brasileira de blocos de granito vai para Itália onde é beneficiado e reexportado para outros países.

A região Nordeste do Brasil é possuidora de um enorme potencial geológico que oferece condicionamento favorável à ocorrência de rochas ornamentais. Os Estados do Nordeste do Brasil, possuem cerca de 70% do seu território constituído por rochas antigas do embasamento cristalino e supracrustais, datadas do Proterozóico. Neste contexto, a exploração de rochas ornamentais poderia tornar-se uma excelente alternativa sócio-econômica para a região.

Tendo em vista o interesse comercial crescente por “rochas movimentadas” (gnaisses e migmatitos) essa região caracterizada pela presença de rochas antigas e submetidas a várias fases de deformação e metamorfismo, aponta como uma fonte promissora de tais produtos.

6.1.2 Definição e características das rochas ornamentais

Os fatores fundamentais para o uso de rochas como pedras de revestimento são, pela ordem de importância, os seguintes:

- Aspecto estético decorativo agradável, que depende principalmente da cor, da composição mineralógica, do arranjo dos minerais e da facilidade de polimento do conjunto.
- Uniformidade da rocha, que é função da constância mineralógica e textural, também da frequência de elementos perturbadores: veios e xenólitos principalmente. Assim, a rocha não deve ter fraturas, nem ferrugens que são grãos de ferro (magnetita, hematita ou limonita), de pirita ou de granada, que com o tempo se decompõem manchando de amarelo (ou marrom) as pedras polidas. É conveniente anotar que existe um tipo especial de “granito” os – migmatitos – onde o mercado no lugar da uniformidade exige extrema heterogeneidade, preferindo os litotipos com desenhos complexos (como nebulitos ou diatexitos), embora sem veios transversais,

fraturas, ferrugens e xenólitos em grandes quantidades.

- Fatores geológicos tais como reservas, tipos de afloramentos, disposição dos matacões e maciços rochosos, etc.

- Boas propriedades físicas e mecânicas dimensionadas pela absorção d'água, pela porosidade aparente e pelos módulos de resistência à flexão e à compressão axial. O módulo de ruptura da flexão fornece o valor máximo de tensão aceita pela rocha. O módulo de resistência à compressão axial, mostra o esforço máximo de compressão aceito pelo granito. A absorção d'água e a porosidade expressam as microdescontinuidades das rochas.

- Resistência à corrosão nos ataques com água, detergentes comuns ou ácidos fracos, uma vez que a presença de materiais solúveis ou facilmente transportados pela água ou por detergentes, prejudicam o seu aspecto estético decorativo.

- Originalidade, o mercado tradicionalmente dá preferência a rochas de tonalidades ou de texturas diferentes. Neste item o Brasil tem muitas vantagens em relação a outros países, por sua quantidade e qualidade de variação de tipos de granitos e migmatitos, tais como: o migmatito "Rosa Imperial".

- No mercado de rochas ornamentais para revestimento o termo "granito" tem um significado muito menos rígido e mais abrangente, pois serve para denominar rochas cristalinas de composição e origem das mais diversas onde se incluem granitos "strictu sensu", granitos gnáissicos, migmatitos, gabros, diabásios, anortositos, piroxenitos, etc.

6.2 CARACTERÍSTICAS DA PROSPECÇÃO GEOLÓGICA COM FINS ORNAMENTAIS

No estado de Pernambuco, a localização de jazidas de rochas ornamentais, que representa a base de uma importante atividade extrativa, vem sendo executada de forma empírica e sem assessoria de pessoal técnico, eliminando-se as vantagens que a geologia oferece. A possibilidade de se encontrar um tipo de rocha ornamental particular depende fundamentalmente do contexto geológico, ou seja, da avaliação do ambiente geológico a ser analisado e estudado, limitando o campo de

prospecção. A falta de um estudo geológico pormenorizado tem, muitas vezes, como resultado a inviabilização de uma área com elevado potencial, potencializando problemas tais como: posicionamento de uma frente de lavra inadequada (**Fotografias 58 e 64**); elevado grau de fraturamento (**Fotografias 15, 30, 42 e 64**); aparecimento de veios, xenólitos e encraves a poucos metros de profundidade e aparecimento de material de qualidade inferior em bancadas subjacentes; etc.

A seguir mencionaremos algumas das mais importantes características e recomendações, segundo bibliografia revisada (**Tabela 03**), a respeito da melhor forma de desenvolver a pesquisa geológica, no caso da avaliação mineiro-geológica de uma futura pedreira:

A análise morfo-estrutural em imagens de satélite e fotografias aéreas convencionais, por exemplo, permite discriminação de zonas homólogas representativas dos principais domínios litológicos aflorantes, separando-se áreas de rochas maciças e/ou isotrópicas, faixas estruturalmente mais preservadas e campos de matações. A análise geomorfológica permite a discriminação das formas de relevo, sua evolução e paisagens geradas, principalmente, quanto à existência de áreas desnudadas (sem capeamento de solos).

No caso de migmatitos deveremos dirigir a prospecção, preferencialmente, nos cinturões mais antigos, onde predominam os complexos gnáissico-migmatíticos. Para granitóides escuros, deveremos orientar a prospecção nos domínios de complexos básicos e ultrabásicos.

Os granitos homogêneos (isotrópicos) associam-se a corpos intrusivos com formas de elípticas a arredondadas, rastreáveis em fotografias aéreas convencionais e imagens de satélite através de estruturas circulares a semicirculares.

Na fase de pesquisa de detalhe, é muito importante a realização de estudos geológicos superficiais pormenorizados, em escala adequada, envolvendo feições estruturais, composicionais e fisiográficas, bem como, o mapeamento e amostragem das variedades litológicas aflorantes; pontuação de afloramentos; levantamentos geofísicos; sondagens bem distribuídas e orientadas que permitam aferir, com um nível de probabilidade aceitável, a viabilidade de um futuro investimento de capital.

Tabela 03: FASES INICIAIS DO PLANEJAMENTO DE ROCHAS PARA FINS ORNAMENTAIS		
Fase	Denominação	Descrição
I	Prospecção e Exploração (corte de uma área de 0,5 m2 em afloramento para definição de cor, tipo de rocha, textura)	Amostragem
		Avaliação do Potencial Comercial
		Mapeamento Geológico Preliminar
		Detalhamento Geológico e Topográfico
		Avaliação Econômica e Ambiental
		Execução de Campanha de Sondagem
II	Projetos e estimativas	Definição de Reservas e Recup. de Lavra
III	Testes de Materiais (corte de blocos com dimensões compatíveis com as exigências da indústria)	Definição de Planos de Corte Naturais
		Relação de Recuperação de Lavra
		Análise da Qualidade do Produto
		Valor Comercial
IV	Método de Mineração	Definição de Parâmetros: mineralogia, planos naturais de partição e propriedades físicas da rocha.

Fonte: Macêdo (1998)

Segundo Pfaltzgraff (2000), um mapa geológico de cunho exploratório voltado para a pesquisa e lavra de rochas ornamentais, deve fornecer informações sobre: a) Tipos litológicos existentes, com elaborada descrição petrográfica e textural das variedades de maior potencial comercial; b) Estruturas geológicas c) Direção principal dos esforços tectônicos regionais; d) Tipos de ocorrências; e) Localização dos blocos com volumes próximos a 100 m³; f) Espessura média da cobertura de solo nas áreas de maior interesse.

É determinante a análise petrográfica microscópica (estudo da natureza de encraves e pórfiros (porfiroclastos e porfiroblastos), assim como, texturas e natureza dos contatos (sinuosos/não-sinuosos; bruscos ou gradativos); a caracterização tecnológica das rochas selecionadas; tipificação e caracterização comercial dos materiais escolhidos; cálculo de reservas, definição de métodos de exploração de lavra, marketing e avaliação de mercado dos produtos.

Zonas xistificadas ou fraturadas podem determinar perdas na lavra e menor dimensão dos blocos lavráveis (**Fotografias 04 e 05**), bem como ocasionar problemas de resistência físico-mecânica em chapas. Concentrações de minerais máficos (sobretudo biotita grosseira) e sulfetos geram problemas de polimento nas chapas e alterabilidade mais acentuada nos produtos aplicados (Chiodi Filho, 1994, 1995).

Usualmente, a presença de nódulos, encraves, pequenos diques, veios, principalmente em rochas homogêneas (isotrópicas), determinam problemas de padrão estético e perdas no esquadrejamento das chapas. Nos afloramentos de corpos de aparência isotrópica deve-se mapear os diques e inclusões, para permitir um processo de lavra mais seletivo, orientado e dimensionado de acordo com estas feições (**Fotografia 58**).



Fotografia 58: Frente de lavra na Pedreira de Ferreira Costa, mostrando a ocorrência do messoma máfico (quartzo-diorito) englobado pelo neossoma félsico no fácies potássico (álcali-feldspato granito róseo). Neste caso é necessário um processo de lavra mais seletivo.

Variações litológicas implicam problemas de caracterização comercial dos materiais, dificultando a garantia de suprimento de padrões estéticos homogêneos. A capa de intemperismo produz alterações cromáticas, principalmente nos granitos, sendo responsável pela coloração amarelada das rochas, merecendo uma avaliação de espessura do intemperismo.

As feições estruturais mais evidentes consistem de fraturamento de baixo mergulho (em torno de 15 a 25°). Estas estruturas, também chamadas fraturas de alívio ou esfoliação, são ligadas ao alívio de pressão provocado pela exumação tectônica e erosão de rochas cristalinas, (granitos e gnaisses). Formam um sistema penetrativo e contínuo paralelo à superfície topográfica do corpo, são independentes da estruturação pretérita. O detalhamento da geometria dos planos de esfoliação, o mapeamento das frentes de avanço, análise de sondagens e rastreamento com GPR (*Ground Penetrating Radar*) devem ser realizados. Cruzando estes dados, pode-se selecionar as áreas com espessuras adequadas para extração, aproveitando a existência da esfoliação e evitando seus aspectos negativos.

Levantamentos geofísicos podem discriminar feições de interesse na avaliação dos maciços rochosos, destacando-se como aplicáveis os métodos

seguintes: através da sísmica, pode-se avaliar o estado de fraturamento em profundidade, revelando principalmente as fraturas concêntricas (acebolamento) paralelas/subparalelas ao contorno morfológico do maciço. A magnetometria pode pesquisar diques de rochas máficas. A Anisotropia de Susceptibilidade Magnética permite melhor orientar a pedreira ao Bloco de Partição Natural do Maciço aparentemente homogêneo. A gravimetria permite detectar a existência de estruturas cársticas subterrâneas (cavernas) em rochas carbonatadas (Chiodi Filho, op. Cit). O GPR (radar de superfície), utilizado em geotecnia, também pode ser uma importante ferramenta no estudo do fraturamento dos maciços rochosos.

A partir do ano 1994 está sendo utilizado o GPR para análise do comportamento lito-estrutural do maciço, em três dimensões. A técnica de georadar é baseada no princípio de reflexão de onda de alta frequência nas zonas heterogêneas limites de sub-superfície, apresentando alta recuperação em investigações geológicas e geofísicas em profundidades menores que 50 metros. Esta técnica deve ser aperfeiçoada para definir o planejamento das atividades, em fase preliminar de coleta de dados, servindo-se de instrumento para o estudo do corpo mineral, principalmente quanto ao seu comportamento estrutural.

Caso haja presença de campo de matacões utilizá-los para inferir o espaçamento dos sistemas de juntas do maciço, principalmente nos matacões menos ovalados por intemperismo. A dimensão dos blocos e matacões em superfície fornece, em princípio, uma noção preliminar sobre o grau de fraturamento do maciço, permitindo assim inferências a respeito da exploração. Atenção com a situação geológico-estrutural (proximidades com cisalhamentos, etc.) e nível de erosão (Melo, 1998). Em superfície, as zonas próximas a contatos tectônicos são as de menor confinamento e apresentam-se mais aliviadas de tensões.

Entre os técnicos que operam em pedreiras, é reconhecida a inconveniência que oferecem ao desmonte corpos com elevações acima de 50 m em relação ao *datum* (nível 0) do piso de bancada. Adicionalmente, os blocos submetidos a maiores tensões confinantes, apresentam mais tensões residuais a partir da criação de faces livres.

Durante a fase pesquisa geológica é interessante saber, que devido ao baixo consumo das rochas para fins ornamentais, as pedreiras ocupam áreas restritas. Por exemplo, uma área de exposição do maciço de 1,5 hectares pode suprir uma demanda de rocha por 10 anos, caso o pacote aproveitável tenha 10,0 metros de

espessura.

No caso de maciços rochosos, efetua-se o cálculo de volume da frente considerada através da simulação com figuras geométricas (em relevos alongados) ou de seções transversais com bancadas hipotéticas (em relevos abobadados). Do volume calculado, subtrai-se até 20% referentes a capeamento dos solos e imperfeições do relevo. Dependendo do grau de fraturamento, variações litológicas, presença de veios, encraves e xenólitos, subtrai-se até 50% relativos a perdas presumíveis na exploração (**Fotografias 21, 30, 44, 58 e 64**), estimando-se assim a reserva potencial teoricamente explorável (Chiodi Filho, 1994, 1995).

O estudo geológico geral da área interessada permite reduzir a área em questão em zonas mais favoráveis, nas quais serão conduzidas pesquisas geológicas de detalhes nos afloramentos, individualizando as linhas de fraturamento e as anomalias estruturais. Medidas geofísicas podem indicar em superfície, as continuidades estruturais existentes. Eventuais sondagens podem definir as extensões das faixas de oxidação e de alteração, derivadas de processos de resfriamento (Ciccu, 1989, In: Vidal 1999).

Para o cálculo de reservas deve-se considerar o capeamento, a perda direta na lavra e as irregularidades naturais geradas nas seis faces dos blocos produzidos, permitindo-se definir os volumes a serem mobilizados e as relações de recuperação efetiva da lavra. Ao atingir um certo grau de conhecimento da reservas, tal como forma e volume disponíveis, qualidade do material, dimensões dos blocos a serem lavrados, características geológicas e petrográficas, deve-se passar ao estudo de planejamento da lavra da pedreira definido sua metodologia de extração e recuperação ambiental (**Fotografia 59**).



Fotografia 59: Frente de lavra com extração de blocos pelo método de bancadas horizontais. Na parte superior da fotografia vêem-se perfuratrizes. O maciço rochoso do migmatito “Rosa Imperial” apresenta uma reserva estimada em mais de 1.500.000 m³, está minerado pela Empresa Ferreira Costa Minerações Ltda., que extrai mensalmente entre 150 a 200 m³ em blocos do jazimento. No processo de extração, a empresa utiliza a serração contínua para o corte lateral de bancada, seguido do fio diamantado para o corte longitudinal e furos de bancada para a liberação da frente. Após a liberação da bancada, a mesma é subdividida em blocos através de corta-blocos.

Bortolussi, 1990 (In: Vidal, 1999), determina a relação existente entre os resultados produtivos da lavra (rendimento, dimensão e forma dos blocos) e as características mineiro-petrográficas (tipo e distribuição das fraturas e imperfeições dos blocos), e sugere utilizar um controle estatístico dos dados, confirmando, assim, a necessidade de embasar a etapa de lavra sobre um conhecimento suficientemente aprofundado dos condicionantes geológicos e tecnológicos do jazimento.

O potencial econômico de uma reserva de granito depende do rendimento da lavra, através da dimensão dos blocos obtidos, que não deverá ser inferior a um limite determinado pelo valor comercial unitário do material extraído. Dessa forma a produção da pedra está diretamente influenciada pelo estado de fraturamento e pela qualidade da rocha (**Fotografias 09, 17, 42, 62, 63 e 64**).

Identificar as estruturas em que se aloja o corpo de rocha, é importante porque as superfícies de partição, podem ter distribuição e frequência diversas, segundo a geometria de posicionamento e a geotectônica. Ciccu (op cit.), ressalta que particularmente no caso do granito é de extrema importância individualizar a direção preferencial de orientação dos cristais e do plano de melhor clivagem, os quais são necessários para definir a orientação ótima para frentes de avanço da lavra, bem como dos planos para as subdivisões sucessivas. O conhecimento prévio das características de uma determinada formação rochosa representa condição indispensável para uma correta escolha da metodologia de lavra e programação racional a ser adotada.

Estudo do posicionamento dos corpos (segundo os métodos de gravimetria ou método de ASM), caracterizando leptótenos e sua inter-relação, elementos geométrico-estruturais (direta ou indiretamente), formas e definição de bloco de partição para definir as superfícies de corte (alongante, levantante e trincante).

Segundo Caranassios et al. (1994), mencionam no caso da lavra de granitos em matacões com respeito à dificuldade na homogeneidade e aos baixos níveis produtivos alcançados. No caso de lavras de rochas ornamentais no maciço oferecem possibilidades de manutenção de elevados níveis de produção, permitindo extrair-se blocos de rochas dentro de uma padronização do material tanto qualitativa como estética.

6.3 ROCHAS ORNAMENTAIS NO ESTADO DE PERNAMBUCO

Em relação às rochas com fins ornamentais, existem jazimentos de granitóides distribuídos em todo o estado de Pernambuco que constituem as principais reservas de rochas ornamentais, compreendendo "granitos sensu latu", ortognaisses e migmatitos. Trabalhos de pesquisa foram efetuados por várias empresas, principalmente pela Minérios de Pernambuco e CPRM, determinaram que

o potencial do estado para produção deste bem mineral é alto. Atualmente existem aproximadamente 10 minas situadas nos terrenos Rio Capibaribe e Pernambuco-Alagoas, localizadas nas zonas Agreste norte e sul e distando no máximo 250 km do Recife (Gomes, 2000).

Segundo Paiva & Mendes (2000), com base nos elementos geológicos disponíveis, definiu-se, na região compreendida pela Folha Garanhuns, os seguintes tipos de granitos para fins ornamentais:

- Granito Marrom Imperial - este litótipo de reconhecida aceitação no mercado internacional, ocorre sob a forma de lentes e apresenta, como controle litológico, os quartzo-sienitos, pertencentes à seqüência shoshonítica peralcalina;
- Migmatito “Rosa Imperial”, Samba, Frevo, Relíquia - tais rochas representam expressões de ortognaisses migmatizados. Pertencem ao Complexo Belém de São Francisco e são controlados por migmatitos tipo diatexiticos, com leucossoma de cor rosa-suave a avermelhada ricos em feldspato potássico (**Fotografias 54, 58 e 60**);
- Granitos Vermelho Ventura e Ipanema - associam-se a biotita-anfibolio granitóides grosseiros porfiríticos, com fácies equigranular médio. Apresentam coloração vermelha e pertencem à suite potássica cálcio-alcalina, de amplitude regional;
- Granitos tipo Cinza-Prata e Ouro Branco são controlados pela seqüência peraluminosa leucocrática formada por leucogranitóides e metagranitóides cinza à claros, a duas micas;
- Granito Tipo Branco Cristal - constitui rochas associadas à suite cálcioalcalina - trondhjemítica, aflorante a sul de Sertânia;
- Granito Tipo Verde Ubatuba - este litotipo relaciona-se às rochas charnokíticas, às quais localizadas na fazenda Normandia, em Caruaru e próximo a Santa Cruz do Capibaribe;
- Granito Preto Pernambuco - relaciona-se aos quartzo-dioritos escuros de granulação fina, aflorantes em Panelas e pertencentes à suite potássica-cálcio-alcalina.

6.4 ASPECTOS PETROGRÁFICOS DA DETERIORAÇÃO DE ROCHAS COM FINS ORNAMENTAIS

Em alguns granitóides e migmatitos tais como o “Rosa Imperial”, utilizados com fins ornamentais são observadas as deteriorações de suas superfícies ocorrendo inicialmente à perda de brilho, conferindo aspecto opaco, segundo áreas, dimensões e formas variáveis, posteriormente o desprendimento de fragmentos de minerais. Estes materiais rochosos usados na construção civil podem apresentar alterações após o uso, que podem estar relacionados à atuação de agentes diversos, ligados principalmente às variações climáticas e à interferência humana, que vai desde os processos inadequados de beneficiamento até a utilização de produtos de limpeza inadequados, poluição ambiental, etc.

Segundo Frazão & Caruso (1989), as patologias dos materiais de revestimento estão ligadas à alterabilidade das rochas da qual provêm e o reflexo da interação dos parâmetros de natureza da rocha (além de propriedades induzidas pelo beneficiamento) e os agentes ambientais. A alteração das rochas é variável de acordo ao tipo de rocha e o agente agressor (sejam de tipo químico ou mecânico). Conforme os mesmos autores, as alterações se manifestam através de modificações nas características das rochas tais como: variações em nas cores originais, de manchas, de eflorescências, de degradação, de fissuras, da queda da resistência mecânica, do desgaste, do descolamento do revestimento, etc.

De acordo com Flain (1995), as patologias são provocadas por agentes físicos, químicos e biológicos, podendo atuar de forma isolada ou simultânea.

Os agentes físicos são relacionados às tensões. Essas tensões poderão estar localizadas nos poros, nas fissuras e nas fraturas provocadas pela cristalização de sais (formados por agentes químicos) e pela dilatação e contração causadas por variações de temperatura. Os esforços poderão causar o enfraquecimento das ligações intergranulares da rocha e gerar fissuras (**Fotografias 39, 40 e 56**), fraturas e descolamento do revestimento.

Na **Tabela 04** se observam as características mais importantes dos efeitos dos fatores do meio sobre a resistência das rochas.

TABELA 04: RESISTÊNCIA DAS ROCHAS	
Fatores	Efeitos
Tensão de Confinamento	As rochas exibem pequenas deformações plásticas sob elevada tensão de confinamento.
Temperatura	A deformação plástica é bem menor nas proximidades da superfície, aumentando a possibilidade de sua ocorrência em maiores profundidades, devido ao aumento da temperatura e pressão de confinamento
Tempo	Como os processos geológicos ocorrem em períodos prolongados de tempo, eles imprimem a necessidade de que sejam definidos dois conceitos para sua análise: <ul style="list-style-type: none"> - Ocorrência de fluência: que é uma deformação lenta, devido ao efeito combinado entre um deformação elástica e outra permanente, devido às altas pressões e temperatura; - Presença de soluções: a existência de soluções quimicamente relativas nos poros das rochas são capazes de proceder a dissolução de minerais antigos e precipitação de novos.
Pressão dos Poros	Enfraque-se a rocha, a pesar da resistência da rocha aumentar com a profundidade, o aumento da pressão dos poros causa a diminuição da pressão efetiva de confinamento.
Anisotropia e Heterogeneidades	As rochas acamadas, bandeadas ou foliadas apresentam resistência em função da orientação das forças aplicadas, relativamente às estruturas planares.
Atividades Antrópicas	Alterações rápidas na geometria de um corpo rochoso pode produzir a concentração de esforços localizados.

(Fonte: Amadei, 1996; Amadei & Stephansson, 1997)

Os principais agentes químicos são os ácidos gerados pela dissolução de gases na água de chuva, em atmosferas poluídas, como os ácidos sulfúrico, clorídrico, nítrico e bicarbônico. Esses ácidos são mais prejudiciais principalmente em rochas carbonáticas, pois geram sais que mancham a superfície da rocha ou dissolvem-nas, além de provocarem uma tensão de tração quando se cristalizam.

Os principais agentes biológicos são as bactérias, os musgos, as algas e os líquens, entre outros, sendo que, com o produto de seu metabolismo, atacam os minerais das rochas, provocando manchas e tensionando os poros, resultando em fissuras e fraturas na superfície do revestimento.

Por outro lado, a alteração apresentada pelas rochas, que produz variação do padrão estético (**Fotografia 60**), está condicionada a dois fatores: (a) suas características intrínsecas: propriedades físicas e químicas como mineralogia, microfissurações e alterações preexistentes (de minerais essenciais ou acessórias, ou as inclusões e intercrescimentos), e (b) aos defeitos gerados no processo de beneficiamento: corte (desdobramento dos blocos em placas) e polimento.



Fotografia 60: Exibe-se nesta rocha uma grande variação de padrão estético e é um exemplo, dentro da Pedreira de Ferreira Costa de uma área com valor comercial reduzido, por estar percolada por veios de leucossoma de composição cálcio-sódica (branca), enquanto o leucossoma tem composição potássica (rosa).

Os fatores que promovem as alterações estão relacionados aos agentes, a forma como os minerais estão associados nas rochas, o tamanho dos grãos e as frequências com que os mesmos ocorrem. É importante ressaltar que os problemas de manchas serão visíveis, principalmente em rochas de cor clara. Portanto, a presença dos minerais com certas alterações não significa que a utilização dos mesmos seja inviável. Alguns minerais apresentaram alterações que poderiam vir a comprometer as características físicas e/ou estéticas das rochas e portanto, seu valor comercial (**Fotografia 58**). Em Geral estes produtos são oferecidos principalmente no mercado interno.

Mudanças dos índices físicos das rochas, tornam-se mais graves à medida que as mesmas estejam expostas a ambientes úmidos, acelerando o processo de alteração, o que leva a uma menor expectativa de vida útil.

O metamorfismo influencia de forma positiva melhorando as características físicas (porosidade e absorção d'água) das rochas. Isso ocorre devido à recristalização metamórfica que promove maior interação entre os minerais. Por outro lado, a deformação pode dar origem à orientação mineral, o que muitas vezes, ocorre segundo planos, esses facilitam a percolação de água levando ao aumento dos índices de porosidade e, conseqüentemente aumento da absorção de água, da possibilidade de alteração dos minerais, além de serem planos favoráveis ao rompimento das rochas.

Os granitos apresentam um maior grau de dispersão dos valores dos índices de porosidade e absorção d'água, devido à presença de maior variedade mineralógica. As rochas com granulação mais grossa e rochas compostas por minerais com grau de intemperismo altos, possuem maiores valores dos índices de porosidade e absorção d'água. Na área pesquisada, principalmente a nordeste, observa-se a ocorrência de uma rocha granitóide leucocrática a duas micas, equigranular, granulação média, mostrando uma discreta orientação dada pelo alinhamento das micas (biotitas e muscovitas). Mineralogicamente está constituída por quartzo e K-feldspato de cor bege clara, plagioclásio também de cor bege claro e a presença de duas micas (biotita e muscovita) e granada, indicando ser peraluminoso e portanto, paraderivado. Não se observam xenólitos máficos e nem pontos de alteração ferruginosa. Possivelmente este material apresente altos índices de porosidade e absorção d'água devido a seu alto grau de intemperismo e fraturamento.

As rochas com predominância de textura bandada (gnaisse e/ou migmatito com estrutura estromática) apresentam maiores índices de porosidade e absorção d'água em relação àquelas com textura migmatítica. Na área de estudo os migmatitos paraderivados (metatexitos) apresentam estruturas estromáticas predominantemente e, subordinadamente, estruturas porfiroblásticas e textura dictionítica (veios entrecruzados na forma de malha), exibindo camadas de centímetros a metros de leucossoma, messosoma e melanossoma. Apresentam também estruturas agmatítica, flebítica e estromática. Nos migmatitos (metatexitos) de tipo agmatitos, o hospedeiro toma a forma de blocos angulares, interrompidos por um ou mais conjuntos de veios graníticos (**Fotografias 06, 07, 09, 10, 11**). É muito provável que os metatexitos apresentem maiores índices de porosidade e absorção d'água em relação aos diatexitos tipo "Rosa Imperial".

Serão mostrados a seguir alguns estudos de deterioração de rochas ornamentais e as principais **feições mineralógicas/petrográficas** condicionantes e/ou resultantes destas alterações:

- A presença de minerais como quartzo e biotita oferece correlação positiva com a porosidade aparente e com a absorção de umidade. A pobreza em biotita é fator positivo contra alterabilidade e altos índices de absorção d'água. No caso do mesossoma de composição granodiorítica do migmatito "Rosa Imperial", no estudo microscópico, as biotitas constituem aproximadamente 50% das lâminas, ocorrendo sobre a forma de grandes lamelas, alongadas segundo uma direção preferencial, com forte pleocroísmo variando de marrom claro a marrom escuro, fragmentadas e com numerosas inclusões (de plagioclásios, muscovitas, opacos, quartzo);
- Os processos de alteração, inclusive os de origem hidrotermal, com produção de sílica, produzem endurecimento relativo na rocha; assim, por exemplo, um sienito mais pobre em quartzo pode ter sua dureza anormalmente elevada por processos hidrotermais que resultem em uma fina película de quartzo ou de diversas inclusões sobre os campos de K-feldspato (**Fotografia 41**);
- A presença de manchas de alteração esta associada com a correspondente presença principalmente de minerais opacos e granadas (**Fotografias 34, 47 e**

57) inclusos nos minerais essenciais, ou situados intersticialmente na matriz da rocha;

- O relativo alto conteúdo em quartzo é sugestivo de alta resistência à abrasão, embora, em contrapartida, deve-se ter cuidado com os índices de absorção de umidade, no caso que os cristais de quartzo apresentem microfissuramento intergrãos. Portanto, um dos enfoques que se têm incentivado é aquele pertinente à investigação do quantitativo de intercrescimentos, de quartzo, de frequência de microfissuramentos e também de minerais com maior potencial de oxidação, na expectativa de se identificarem correspondências entre composição modal mineral, e propriedades geomecânicas (Medeiros et al., 2000b);
- O fácies petrográfico em que dominam as cores com tonalidades de róseo mais intenso, é caracterizado quando diminui a quantidade de biotita e aumenta a de K-feldspato; apresenta padrão estético mais homogêneo, sendo portanto, o tipo mais nobre, com aplicações mais diversificadas, apesar de aumentar as despesas na produção e polimento, pois o fechamento ao brilho das chapas é mais difícil. As variações de tonalidades da cor rósea estão associadas principalmente à presença de antipertitas, isto é plagioclásios hospedando K-feldspato (Medeiros et al., 2000a). A cor das tonalidades de amarelo parece ser como consequência de processos hidrotermais e sucessivamente intemperismo de minerais ferromagnesianos, tais como biotitas desferrificadas;
- A grande ocorrência de intercrescimento com hospedeiro plagioclásio (**Fotografias 38 e 50**) aponta sempre para a palidez de tonalidades na cor creme, bem como pela sua pouca definição dentro dos limites dos cristais, permitindo sempre manchas esbranquiçadas;
- O lustro é a propriedade que indica o potencial de preservação estético-decorativa da rocha, economizando o trabalho de manutenção. Fechamento é a propriedade que varia diretamente com o potencial de sericitização, argilização (**Fotografias 25, 26 e 28**), e carbonatação da rocha. A carbonatação (produto da alteração hidrotermal dos plagioclásios cálcicos) e a sericitização (produto da alteração hidrotermal dos K-feldspatos) devem contribuir para a qualidade do “fechamento” do polimento das chapas (Melo, 1998);
- A resistência à tração pode ser beneficiada pela recomposição estrutural sugerida por “poligonalização” das seções de quartzo, tendo cuidado quando predominar o fácies mais rico em biotita;

- A alterabilidade nas amostras deve ser contida pelo “envelopamento” dos opacos nos intercrescimentos, nos K-feldspatos e/ou plagioclásios e ainda pela natureza mais magnésiana da biotita, e pela não constituição de xistosidade;
- Nas construções e principalmente nos revestimentos externos, nas áreas metropolitanas são muito mais susceptíveis à alteração devido à liberação dos escapamentos dos veículos, envolvendo reação exotérmica mais acentuada. As águas usadas nas construções geralmente são oriundas de lençóis rasos, ou seja mais acidificados pela ação da matéria orgânica;
- No processo de beneficiamento (provavelmente no polimento), a alteração do plagioclásio e a presença de microfissuras (**Fotografias 24, 26 e 28**) possivelmente favoreceram um microfissuramento adicional da superfície, ocasionando a degradação da placa de rocha. Isto é devido à presença de microfissuras transgranulares, sem preenchimento, perpendiculares à superfície polida, provavelmente originárias do processo de beneficiamento. Na placa degradada é comum a presença de fraturas côncavas próximas à superfície polida, particularmente nos locais onde há desprendimentos de fragmentos minerais;
- Segundo Medeiros et al. (2000b), as amostras que apresentaram maiores massas específicas são aquelas que apresentam maiores percentuais de minerais ferromagnesianos em sua composição. Quanto aos minerais essenciais nas amostras (quartzo, K-feldspato e plagioclásio) eles interferem de forma mais reduzida na massa específica. O maior ou menor percentual de quartzo tem grande influência nos índices de porosidade e absorção de água. O percentual de plagioclásio também interfere de forma proporcional nos índices porosidade e absorção. Os minerais ferromagnesianos (máficos) interferem de forma muito pequena nesses índices e de forma inversamente proporcional, o seja que sua interferência ocorre em razão da ausência de quartzo e do plagioclásio. O aumento dos índices de porosidade e absorção d'água leva a uma maior alterabilidade dos minerais e progressiva baixa na resistência mecânica e, também, possibilita a modificação das características estéticas com o aparecimento de manchas e mudanças de cor.

6.4.1 Características petrográficas no estudo microscópico

É importante o estudo das propriedades que diferenciam os feldspatos, na identificação das seguintes características: inclusões minerais, intercrescimentos (pertita e antipertita), alterabilidade e peculiaridade na chapa polida (iridescência, por exemplo). Em geral, na porção leucocrática (rósea) do diatexito “Rosa Imperial” apresenta-se principalmente cristais de microclina pertítica, com pouco plagioclásio e quartzo. Também as texturas minerais e a respectiva resposta à distribuição das tensões superficiais.

No caso do mesossoma de composição biotita-granodiorito do migmatito “Rosa Imperial”, os feldspatos e quartzo também estão muito alterados (por argilominerais), porém mantém as geminações características tipo Carlsbad no caso de K-feldspato (**Fotografia 24**), polissintética no caso do plagioclásio e extinção ondulante do quartzo. Algumas lâminas das amostras estudadas se encontram muito intemperizadas, possivelmente porque algumas amostras foram tomadas muito na superfície devido à dificuldade de extrair amostras menos rasas, pela topografia do terreno muito arrasada e a falta de equipamento de extração adequado.

Quando a clorita ocorre com pleocroísmo verde e sem indicação de desferrificação, nos sugere o baixo conteúdo em ferro das biotitas. No mesossoma de composição biotita-granodiorito do migmatito “Rosa Imperial”, as biotitas constituem uma proporção de 25-30% nas lâminas estudadas (GC-32; GC-38; GFC-37C; GC-60; GC-62C e GW-71), freqüentemente são observadas biotitas mostrarem-se alteradas para clorita nas bordas, a cloritização é marcada por uma mudança na tonalidade das biotitas, que de marrons passam a verdes. As biotitas ocorrem sobre a forma de grandes lamelas, alongadas segundo uma direção preferencial, com forte pleocroísmo variando de marrom claro a marrom escuro, fragmentadas e com numerosas inclusões (de plagioclásios, muscovitas, opacos, quartzo). A proporção restante das lâminas são ocupados por um mosaico de grãos de plagioclásio (35-45%), quartzo (15-20%), K-feldspato e acessórios; os plagioclásios mostram uma combinação de geminação polissintética e Carlsbad, e raramente textura mirmequítica (intercrescimento com quartzo); às vezes estão alterados para argilominerais e sericita. Quanto mais plagioclásio for o hospedeiro do

intercrescimento mais iridescente é o brilho da chapa polida e melhor será o fechamento do polimento.

A presença de inclusões, principalmente de óxidos torna mais avermelhada a cor do feldspato potássico e, no caso de quartzo, na forma de intercrescimentos ou inclusões, atenua a tonalidade da cor, empalidecendo o feldspato (**Fotografias 27 e 41**). A palidez de tonalidades de cor rósea é vinculada com grande presença de intercrescimento antipertítico, cujo hóspede é plagioclásio.

As cores com tonalidades mais próximas de marrom são indicativas da presença de intercrescimentos com inclusões de óxidos e/ou opacos, principalmente de ferro, podendo dar origem à manchas nos cristais (**Fotografias 24 e 26**). A presença de minerais de ferro, tais como: cristais de pirita, quer sejam homoganeamente ou irregularmente dispersos nas rochas, poucos meses após seu assentamento podem apresentar manchas amareladas; indicando possivelmente que a causa destas manchas estaria ligada à presença à oxidação do ferro natural de rocha e não à adição de ferro proveniente da argamassa de assentamento. Desta forma a água desta argamassa, que percola a rocha poderia ter grande influência no processo de oxidação.

Na porção leucocrática (leucossoma) do diatextito “Rosa Imperial” a extinção ondulante do quartzo é um elemento característico. Dados como extinção ondulante, texturas do tipo “mosaico”, desenvolvimento de xistosidade, etc., tem permitido indicar a natureza e estágio de deformação a que a rocha esteve submetida.

No caso da alteração de plagioclásio (**Fotografias 24, 26 e 28**) em argilominerais (grupo da illita) ou da alteração da biotita (esmectitas), acontecerá que, devido à pressão de expansão que estes argilominerais sofrem quando hidratados, aliada ao intenso microfissuramento da rocha e à forte alteração do plagioclásio e biotita, nesta situação ocorra o desprendimento de fragmentos de minerais.

6.5 IMPACTOS AMBIENTAIS NA EXTRAÇÃO DE ROCHAS ORNAMENTAIS

Nas pedreiras visitadas, localizadas dentro da área estudada, sendo duas paralisadas e uma em exploração (Mineração Ferreira Costa), se observa uma grande quantidade de rejeitos e blocos de dimensões inadequadas, indicando o

baixo aproveitamento destas jazidas.

Koppe et al. (1993), descrevem o crescimento no Brasil, nos últimos anos da preocupação com a preservação do meio ambiente nas lavras de rochas ornamentais e geração de alguns impactos ambientais, sobretudo na degradação física do meio ambiente que reflete em forte impacto visual. É importante estabelecer as medidas mitigadoras, envolvendo a recuperação das áreas exploradas sem planejamento ambiental e a adequação paisagística das mesmas, bem como os procedimentos necessários para implantar as demais medidas de controle ambiental e recuperação das áreas degradadas e fauna associada (Vidal, 1999).

A atividade de extração de granitos e afins, sob o ponto de vista de meio ambiente, pode ser considerada de baixo risco.

Na atividade de transporte, verifica-se a ocorrência de impactos manifestados, principalmente pela emissão de poeira e ruídos. Notadamente, em áreas urbanas e de ocupação preferentemente residencial, o fluxo intenso de caminhões acaba por degradar as condições de estradas e ruas nas áreas contíguas à unidade de beneficiamento. A redução de impactos, deve contar com o devido aparelhamento das vias de transporte escoamento.

A geração de ruído e a emissão de material particulado são efeitos que se manifestam mais diretamente sobre as condições de trabalho na unidade produtiva e residualmente sobre a população circunvizinha, eventualmente existente.

Ciccu (op cit.), descreve a importância desde o início das atividades de produção, ações relacionadas à recuperação do meio ambiente. Verificam-se freqüentemente casos de pedreiras, onde as colocações de material estéril encontram-se extremamente concentrados em espaços muito reduzidos, chegando às vezes a poucos metros da frente de lavra. Principalmente nas áreas onde a quantidade de poeira é excessiva, acarretando problemas para as futuras possibilidades de desenvolvimento da lavra, além de ocasionar um forte impacto visual na paisagem.

O estéril é constituído principalmente por fragmentos de rocha, resultantes da operação de transformação, na pedreira, de grandes pastilhas de maciço em paralelogramos ou blocos, projetados dentro das dimensões especificadas pela usina de beneficiamento, na qual os blocos são desdobrados em chapas por serragem. O acúmulo deste material, com o desenvolvimento dos trabalhos mineiros, caso não haja um monitoramento constante, pode resultar na formação de

depósitos com tamanhos e formas aleatórias. Estes devem ocupar áreas apropriadas e previstas com antecedência ao início da lavra. Os depósitos de rejeito constituem um elemento novo e destoante na paisagem, fazendo-se necessário amenizar este impacto, se possível, mediante a revegetação da zona explorada (**Fotografia 61**).

No segmento industrial de beneficiamento, é imperioso assegurar o bom fluxo de movimentação de materiais, assim como a adequada disposição dos estoques. Os cuidados requeridos com a disposição de rejeitos, os quais, convenientemente situados, poderão propiciar a geração de receitas adicionais como, a produção de brita ou de marmorites ou mosaicos.



Fotografia 61: Vista panorâmica da Pedreira Ferreira Costa, localizada dentro da área estudada. Observa-se a grande quantidade de rejeitos e blocos de dimensões inadequadas, indicando o baixo aproveitamento da jazida.

Remodelagem do terreno: nos seguintes casos: a) A remodelagem do terreno é efetuada durante a abertura das praças ou pátios e frentes de lavra, através da terraplenagem do terreno, para facilitar a movimentação de máquinas,

equipamentos, veículos e pessoal envolvido na operação de extração do bem mineral. b) A remodelagem do terreno tem sua maior influência na drenagem, é necessário o cuidado em não interromper os riachos, nem desviá-los de seus cursos, quando na abertura/terraplenagem de pátios de lavra.

Na ocasião da abertura dos pátios ou de frentes de lavra, é necessário que estas tenham a declividade adequada, para não apresentar perigo de desmoronamento, visto tratar-se de lavras de rochas extremamente duras e coesas.

O rejeitos ou blocos de dimensões inadequadas para a comercialização, quando mal acondicionados ou depositados nas margens/ vales de riachos são altamente nocivos ao meio ambiente, além de onerar o empreendimento com custos adicionais de remoção e reparação de drenagem afetada.

As atividades de desdobramento, corte e polimento de rochas ornamentais não são causadoras de graves impactos ambientais, que se manifestam, preponderantemente, na indústria local. A minimização dos efeitos daí decorrentes pode ser assegurada com a adoção de aprimoramento na produção através, da adequada utilização de abrasivos e água. Da mesma forma, o aprimoramento da técnica de produção incluindo não só a boa especificação de equipamentos com também a racionalização do arranjo físico das instalações podem assegurar a prevenção dos impactos mencionados.

6.5.1 Desperdício na indústria de extração e beneficiamento de rochas com fins ornamentais:

São fontes potenciais de desperdício, tanto na jazida como na serraria e nos teares de beneficiamento e nas marmorarias. As causas geralmente estão relacionadas à falta de qualificação e capacitação de mão de obra. No fator tecnologia, o baixo rendimento do equipamento a não utilização plena da capacidade dos mesmos, e a baixa disponibilidade são significativas fontes de desperdício, desde a extração até a etapa do acabamento das rochas ornamentais.

Na produção, estudos determinam que as principais fontes de desperdício são atribuídas à baixa ocupação dos equipamentos, fruto de um processo desorganizado; à falta de padronização da matéria prima; ao baixo tempo efetivo de

operação dos equipamentos; a desqualificação da mão de obra. No aspecto da gestão, verifica-se que um planejamento e controle da produção adequado à realidade da empresa, podem modificar sensivelmente o seu desempenho global, contemplando a racionalização do tempo, mão de obra, matéria-prima e ocupação de equipamentos. Na análise do fator produção, a extração de blocos pode ser mostrada como potencial fonte de desperdício em nossas jazidas face ao elevado índice de não conformidade do produto. Problemas de defeito natural e zoneamento de cores numa pedreira podem ser identificados através de prévios estudos geológicos e/ou geofísicos, buscando-se desta forma, reduzir as perdas num processo de extração.

A realidade nas poucas pedreiras do estado de Pernambuco é, que ostentam elevados índices de perdas em seu processo produtivo, apesar dos elevados investimentos isolados de algumas empresas do setor. É estimado que o percentual médio de desperdício pode chegar até a 50% no processo de extração do bloco na jazida.

No caso da pedreira de Ferreira Costa, pelo elevado índice de ocorrência de fraturas de alívio no processo de exploração e alta densidade de xenólitos no migmatito “Rosa Imperial”, é provável que as perdas superem os 50% no processo de extração de blocos (**Fotografia 61**). Observa-se, a partir daí, um efeito de desperdício em cadeia, que ocasiona perdas, segundo estimativas de até 30% no processo de serragem dos blocos. Estimam-se perdas de até 10% na produção de ladrilhos de uma serraria. Na construção civil, estima-se perda de até 30% das rochas ornamentais empregadas no processo de fabricação das edificações. Em algumas empresas as perdas ou desperdícios são ainda maiores.

É importante o aproveitamento de resíduos, tendo noção do valor agregado. O produto natural, à medida que sofre os processos de transformação ou beneficiamento, ganha mais valor, uma vez que existem mais despesas em cada novo processo. Portanto, maior será a venda do produto final.

6.6 CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA

As rochas utilizadas para fins ornamentais sofrem variações naturais e artificiais que provocam sua alteração físico-química. Os agentes naturais estão

relacionados ao intemperismo, deformação (tectônica e atectônica) e erosão; enquanto os artificiais, à lavra, beneficiamento, manuseio e uso/aplicações.

Os ensaios determinam os campos de aplicação dos materiais segundo padrões normalizados, sendo exigidos pelos grandes compradores, constando como itens obrigatórios em catálogos promocionais.

Os ensaios mais importantes (**Tabela 05**), designados como “índices de qualidade”, incluem:

- Análise petrográfica em seções delgadas e polidas, para definição da composição mineralógica em minerais transparentes (silicatos e carbonatos) e opacos (óxidos e sulfetos), classificação da rocha, observação de alterações metassomáticas e intempéricas, bem como a observação das microfissuras e frequência destas.
- Ao determinar a granulometria pode ser prevista a alterabilidade. Quando a granulometria de uma rocha é mais fina, aumenta a superfície específica (relação entre área da superfície do grão e o seu volume) estimulando a decomponibilidade da rocha sobretudo em ambientes mais reativos como aqueles com problemas de “chuva ácida” ou em áreas próximas a zonas industriais.
- Índices físicos, que determinam a massa específica (densidade), a porosidade aparente e absorção de água. A produção de chapas torna a rocha mais susceptível à alteração e a oxidação de elementos metálicos resultado no aumento de massa. Assim, altos índices de porosidade aparente e absorção de água servem como parâmetros que podem inviabilizar o uso da rocha para revestimento externo e pisos, assim como nos casos de cozinhas, banheiros, jardins, etc. O peso específico cujo conhecimento ajudará à boa definição do cálculo de carga estrutural, segundo seu uso em pisos, revestimentos, etc.
- Desgaste por abrasão ou ensaio *Amsler* e impacto (choque), mede a resistência do material à solicitação abrasiva, definindo a utilização da rocha em pisos com

Tabela 05: Valores de Especificações ASTM e de Testes em Rochas Brasileiras

Propriedades	ASTM C-615	Resultados Brasileiros		Valor Adotado	*M. "Rosa Imperial"	**Granito Relíquia
		Classe	Frequênc. %			
Massa Espec. Aparente (Kg/m ³)	≥ 2,560	2,550 / 2,600	99,4	≥ 2,550	2,616	2,633/2,637
Porosidade Aparente (%)	n.e.	0,8 / 1,0	91,1	≤ 1,0	0,676	0,50%
Absorção de Água (%)	≤ 0,4	0,3 / 0,4	93,3	≤ 0,4	0,26%	0,19%
Velocid. de Propag. de Ondas (m/s)	n.e.	4.000 / 4.500	96,1	≥ 4.000	n.e.	n.e.
Dilataç. Térm. Linear (1/1000 mm/m°C)	n.e.	11 / 12	93,1	≤ 12	n.e.	n.e.
Desgaste de Amsler (mm)	n.e.	0,8 / 1,0	90,4	≤ 1,0	0,33 / 0,65	n.e.
Compressão Simples (MPa)	≥ 130	100 / 125	97,5	≥ 100	118,61/148,2	121,9
Resistência à Flexão (MPa)	≥ 10,34	10 / 15	96,2	≥ 10,00	n.e.	19,02
Módulo Deformab. Estático (Gpa)	n.e.	30 / 40	94,7	≥ 30	n.e.	n.e.
Impacto de Corpo Duro (m)	n.e.	0,3 / 0,4	97,2	≥ 0,3	n.e.	n.e.

n.e.= não especificado

Fonte: Frazão et al. (1996).

* ** Rolim Filho (1996)

acentuado ou intenso atrito como pistas de rolamento, tais como aeroportos, supermercados, etc.

- Compressão Uniaxial, que determina a resistência ao cisalhamento.
- Resistência à Tração na Flexão, que avalia a resistência do material à ruptura por flexão. A resistência à tração e à compressão dependem da utilização da rocha ornamental como suporte de carga. Uma granulometria mais reduzida (milimétrica ou submilimétrica) sugere que a amostra tem uma superfície específica maior e conseqüentemente uma maior resistência aos esforços de tração.
- Coeficiente de Dilatação Térmica linear, que mede a dilatação do material em condições de temperatura crescente. Segundo as características apresentadas se determinou o uso de juntas de dilatação em pisos e fachadas.
- Características de gelo e degelo, cuja importância é maior quando o material se destina à exportação e seu uso em regiões de invernos rigorosos, em que os contrastes de temperatura são bem acentuados. Sua maior importância é vinculada às rochas de elevada absorção de água.

Os principais conjuntos de normas técnicas seguidas pelas instituições que realizam os ensaios para rochas ornamentais são os da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), ASTM (*American Society for Testing and Materials*), DIN (*Deustch Institut für Normung*), AFNOR (*Association Française of Normalization*) e no Brasil, o Instituto de Pesquisas Tecnológicas-IPT, de São Paulo (**Tabela 06**).

Segundo Costa et al. (2000), os parâmetros referências mínimos exigidos em nível nacional, correspondem aos estabelecidos pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), a saber: massa específica aparente $\geq 2.550,0$ Kg/m³; porosidade aparente $\leq 1,0$ %, absorção de água $\leq 0,40$ %, desgaste de Amsler $\leq 1,0$ mm; compressão uniaxial simples $\geq 100,0$ MPa; resistência à flexão $\geq 10,0$ Mpa.

Segundo Rolim Filho (1996) os resultados dos ensaios a que foram submetidas (de acordo aos procedimentos dos modelos indicados pelas normas ABNT) as amostras de migmatito “Rosa Imperial” seriam os seguintes:

Massa específica seca (g/cm ³)	2.616 ± 0,002
Massa específica saturada (g/cm ³)	2.616 ± 0,003
Porosidade	0.676 ± 0,003%
Absorção de água	0.258 ± 0,003%
Desgaste Amsler a 500m	0,33mm ± 0,05
Desgaste Amsler a 1000m	0,65mm ± 0,05

Resistência à compressão simples:

Aplicação do esforço normal ao plano de fraqueza 148,15 ± 0,43 Mpa

Aplicação do esforço paralela ao plano de fraqueza 118,61 ± 0,22 Mpa

Segundo Rolim Filho (op cit.), os valores acima expostos denotam uma boa qualidade da rocha, a qual mostra qualidades superiores, no que se refere principalmente a porosidade e a absorção, em relação à maioria das rochas com fins ornamentais.

Nos resultados dos ensaios de determinação de alterabilidade química do migmatito “Rosa Imperial”, apesar da agressividade a que foi submetido este material, por diversos agentes químicos mais comuns de serem encontrados em lares e escritórios (sais, graxas, sabões, detergentes, óleos minerais e vegetais, ácidos e bases), não apresenta restrições sensíveis ao uso em locais sujeitos aos agentes intempéricos externos e em ambientes internos tais como balcões de cozinhas, banheiros, etc. Na **Tabela 06** encontram-se os diversos ensaios de caracterização tecnológica efetuados segundo o uso das rochas com fins ornamentais.

Muitas vezes não se consideram, ao se escolher o material segundo a aplicabilidade futura, as características físicas, mecânicas e mineralógicas das rochas adequadas para cada uso específico, e em decorrência disto normalmente se verificam fachadas manchadas ou com trincas e eflorescências, bem como apresentando desprendimento do material.

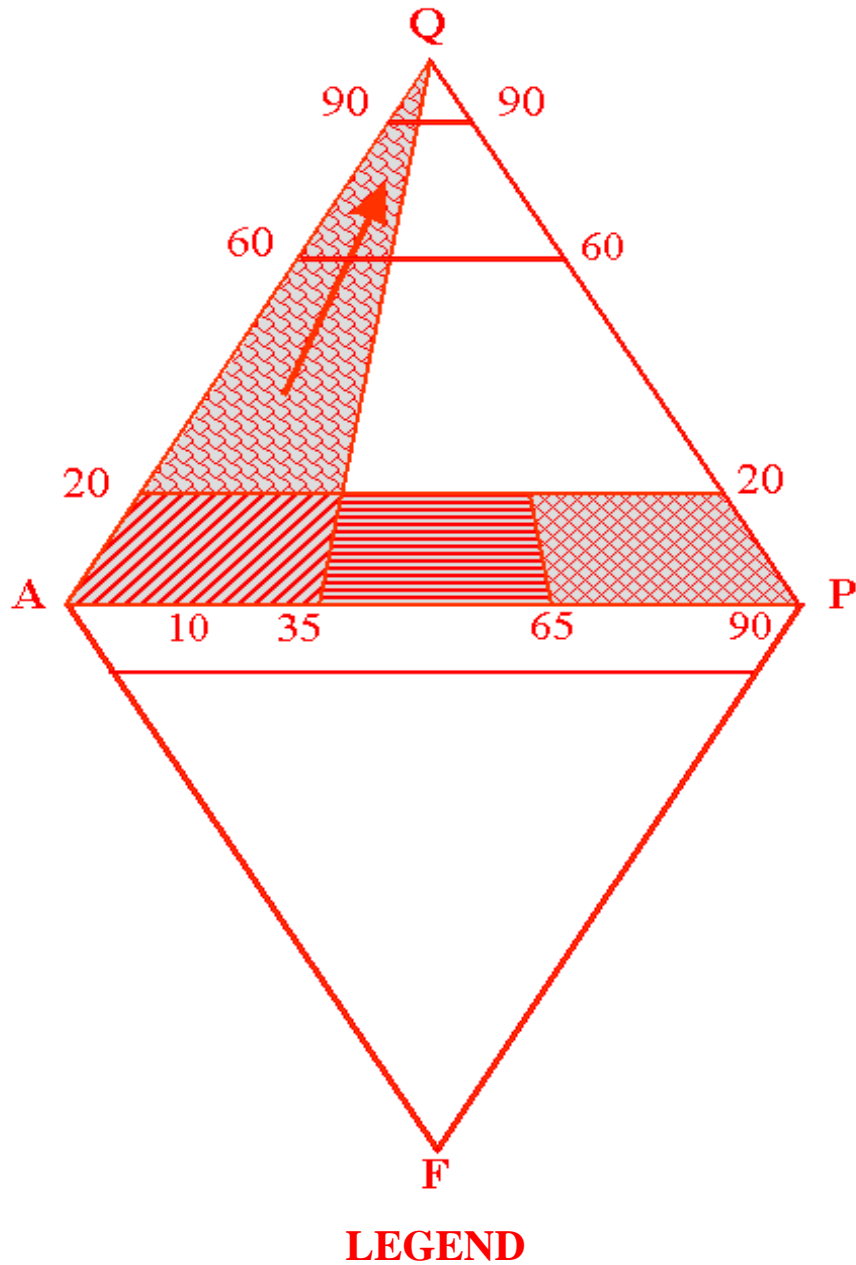
Isto pode ser evitado levando em conta a classificação da rocha no triângulo de Streckeisen (Diagrama de Classificação de Rochas Ígneas-1976), e sua variação dos diferentes tipos de rochas com relação à aplicabilidade (**Figura 22**) (Melo, 1998).

Tabela 06: Ensaios de Caracterização Tecnológica

Fase/Uso	Ensaios								
	Petrografia	Índices Físicos	Resistência ao Desgaste	Resistência ao Impacto	Resistência à Compressão	Resistência à Flexão	Módulo de Deformaç. Estática	Dilatação Térmica Linear	Alterab.
Extração	■	■	■	■	■				
Beneficiamento	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Revestimento externo	■	■	■			■		■	■
Revestimento interno	■	■	■			■		■	
Pisos	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Colunas e Pilares	■	■			■	■	■	■	■
Pedestais	■	■			■		■		■
Tampos de mesas e balcões	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Pias	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Soleiras	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Esculturas	■	■	■						■
Cilindros (granitos)*	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Mesas e aparelhos de desempenho	■	■	■	■	■	■	■	■	■

* Utilizados nas indústrias de papel, alimentos, etc.

Fonte: IPT-1990, Catálogo de Rochas para Fins Ornamentais, São Paulo.







-  **REVESTIMENTOS INTERNOS (ESTÉTICA)**
-  **REVESTIMENTOS EXTERN. E AMBIENTE/ÚMIDOS**
-  **REVESTIMENTOS INT. E EXTERNO**
-  **PISOS → PISTAS DE ROLAMENTOS**

Figura 22: Classificação da rocha no triângulo de Streckeisen (Diagrama de Classificação de Rochas ígneas, 1976), e sua variação com relação à aplicabilidade para fins ornamentais, segundo Melo (1998).

Exemplificando: a) alta quantidade de K-feldspato (vermelho) pode tornar uma amostra pouco resistente a esforços de cisalhamento, em virtude da existência de planos de clivagem do K-feldspato; b) pouca quantidade de quartzo deve contribuir para uma baixa resistência à abrasão e pequeno coeficiente de absorção de umidade; c) a presença de minerais ferromagnesianos contribui para uma maior propensão à alterabilidade e também para o aumento da absorção d'água (Medeiros et al., 2000b). Estes parâmetros devem então ser considerados, ao se escolher a rocha que se quer para o uso que se pretende.

6.7 TENSÕES NAS ROCHAS

Este sub-capítulo tem como base os conceitos de Macêdo (1998). Tensões in situ (ou virgens) se manifestam através da orientação de estruturas geológicas, anisotropia, presença de trincas recentes e de eventos de instabilidade local e regional, configuração do relevo e de trabalhos que emitem cargas dinâmicas nas proximidades da área analisada.

Estudando a morfologia do terreno é possível analisar as formas do relevo, principalmente as cicatrizes de deslizamentos, variações de inclinações de taludes naturais e movimentos de massa.

O estudo da geologia estrutural em escala regional adequada pode fornecer indicações sobre a ordem de grandeza e direção do campo de tensões.

Em corpos que imprimem feição de resalto acentuado de relevo deve-se procurar trabalhar em setores próximos às bordas, dando-se preferência a corpos menores da mesma composição (se existentes), onde tensões de efeito topográfico são desprezíveis.

O fraturamento e as discontinuidades geomecânicas limitam as dimensões dos blocos a serem extraídos, que deveram ser compatíveis com os tipos de maquinárias das operações de lavra.

A qualidade está relacionada com as características da rocha (tipo petrográfico, textura, composição mineralógica, índices físicos e mecânicos, presença de veios e de elementos degradáveis).

Na área estudada o sistema de fraturamento regional tem direções preferenciais NE-SW e E-W e está distribuído na área mapeada. Este fraturamento define quase todos os contatos tanto nos migmatitos/paragneisses (metatexitos) e ortogneisses/migmatitos (diatexitos), quanto nos granitóides intrusivos. Estas fraturas controlam ainda cursos de alguns riachos. Secundariamente ocorre outro sistema de fraturamento com direções NW-SE. Aparecem em escala macroscópica e megascópica, preenchidas por diques graníticos e pegmatíticos.

6.7.1 Tensões tectônicas e Residuais

As tensões podem resultar em juntas, ou fraturas, que são geneticamente classificadas de acordo com suas causas fundamentais:

- Tensões tectônicas: fraturamento singenético com a atividade tectônica;
- Tensões residuais: fraturamento tardio devido a eventos que ocorreram bem antes de sua propagação;
- Contração por eventos alternados de congelamento e degelo;
- Movimentos mássicos de superfície.

6.7.1.1 Tensões Tectônicas

A diferenciação entre tensões tectônicas ativas e remanescentes, através da observação das estruturas geológicas, geralmente é difícil. O estado de tensões atual de uma determinada área pode não ser relacionada às estruturas geológicas que vemos hoje. É comum que tenha mudado durante eventos tectônicos passados, resultando em dobras e falhas. Assim, tratando de explicar os eventos tectônicos da área estudada, uma hipótese seria que as rochas foram submetidas a um sistema de esforços cuja direção principal de deformação na direção ENE-WSW foi suficiente para provocar estes falhamentos e fraturas, e que tais esforços provavelmente foram influenciados pelos movimentos que causaram o Lineamento Pernambuco.

Segundo Zoback et al. (1989), há dois grupos de forças que são identificadas como responsáveis pelas tensões tectônicas de acordo com a escala de atuação: as principais, cujas forças atuam nos limites da placas litosféricas; e as locais. A **Figura**

23 apresenta um esboço da escala de atuação das forças tectônicas, cujos eventos estão numerados e agrupados na **Tabela 07**.

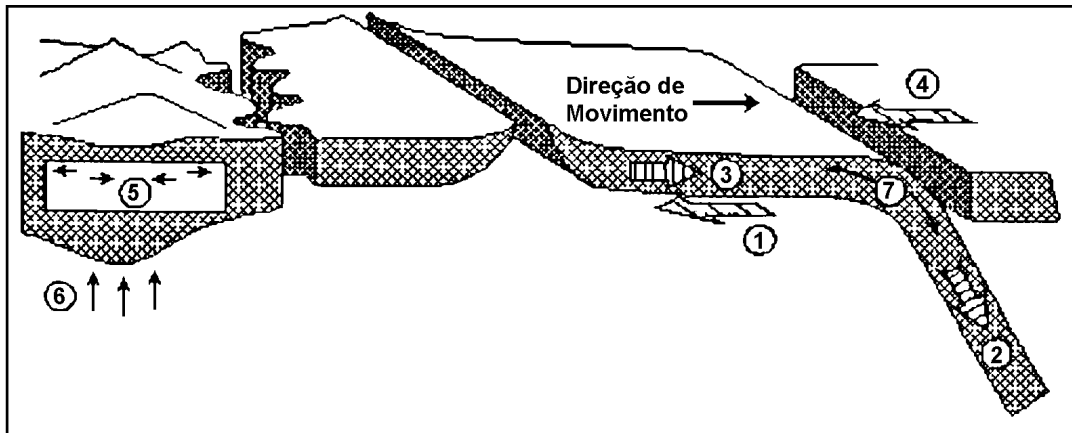


Tabela 07: Relação de Forças Tectônicas e sua Atuação	
Forças Tectônicas	Atuação
Escala Principal	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tensão de cisalhamento de base da litosfera; 2. Grandes placas arrancadas das zonas de subducção; 3. Cordilheiras impelidas de cadeias oceânicas; 4. Sobreposição de placas na sucção de fossas;
Escala Local	<ol style="list-style-type: none"> 5. Encurvamento devido a cargas superficiais; 6. Compressão isostática; 7. Flexão de litosfera oceânica.

Figura 23: Apresenta um esboço da escala de atuação das forças tectônicas, cujos eventos estão numerados e agrupados na **Tabela 07** (Zoback et al., 1989).

6.7.1.2 Tensões residuais

São tensões auto-equilibrantes que permanecem numa estrutura mesmo se as forças e momentos externos forem removidos (Voight, 1966). Aparentemente essas tensões estão relacionadas com um sistema de balanceamento (não necessariamente nulo) entre forças de tração e compressão, sendo encontradas em domínio desde micro (grãos e cristais) até macro-escala.

Hyett et al. (1986) sugerem três características fundamentais para a geração de tensão residual na rocha:

1. variação de nível de energia (tensão ou topografia);
2. heterogeneidade causada por diferentes partes constituintes do material;
3. compatibilidade (pelo menos parcial) de partes constituintes.

As tensões residuais podem permanecer no maciço que esteve sujeito a elevadas tensões, quer as condições ainda ocorram, ou não.

Mesmo que o maciço tenda a relaxar, quando a carga é reduzida (devido à erosão ou soerguimento), ou ocorrendo variações de temperatura (devido ao resfriamento), são criadas restrições pelo entrelaçamento da trama da própria rocha.

Se a tensão residual aumenta, o volume de rocha diminui em toda escala de observação. Esta tendência é atribuída ao fato de que, como o volume aumenta, torna-se mais comum se encontrar descontinuidades que não permitam a transmissão das tensões residuais (Hyett et al., 1986).

As tensões residuais são estimuladas pelo desmonte inadequado de blocos, não considerando o volume de partição natural e não determinando apropriadamente a máxima liberação das tensões de confinamento (Melo, 1998).

As tensões residuais (**Fotografias 62, 63, e 64**), podem resultar em dois tipos genéticos de juntas, devido a:

- tensões tectônicas que não foram completamente aliviadas;
- tensões de rochas consolidadas em grandes profundidades e que gradualmente se aproximam da superfície, devido à erosão. Assim, quando a rocha aflora a componente vertical é imediatamente anulada, visto que apenas o ar atmosférico é a barreira existente, mas os esforços laterais permanecem e podem cada vez mais se pronunciar sob a forma de erosão.

Principalmente sobre exposições de corpos graníticos (nas pedreiras) pode ocorrer o fenômeno de deslocamento (*sheeting*), como forma de ruptura similar às juntas, devido ao alívio de cargas suprajacentes, produzido pelo o efeito da erosão ou pela retirada dos blocos de rocha, não estando relacionado com o processo de flexão ou outra feição estrutural primária.

Os planos de deslocamento são um tanto curvos e sub-paralelos ou paralelos à superfície topográfica. As fraturas resultantes são pouco espaçadas, quando próximo da superfície, mas com o aumento da profundidade tendem a desaparecer em alguns metros. Igualmente, se observa em forma geral que o deslocamento corta xenólitos, foliação e pegmatitos tardios.

Porém, em superfície e em grandes profundidades, existem planos de fraqueza não visíveis (microfraturas), paralelos ao plano de deslocamento, que podem ser utilizados na fase de exploração.



Fotografia 62: Frente de lavra da Mineração Ferreira Costa, na qual são observados fraturamentos subhorizontais e subverticais provocados por liberação de tensões de alívio no maciço rochoso, após extração dos blocos. Próximo aos fraturamentos regionais, geralmente não ocorrem estas fraturas, pois as rochas já liberaram as tensões de alívio anteriormente. Também se observa algumas porções onde predomina o mesossoma máfico, inviabilizando o uso comercial destes blocos.

Tensões horizontais elevadas, podem ser usualmente inferidas a partir de observações de campo e em sondagens. No campo, estas tensões podem se manifestar sob diferentes feições estruturais (predominância de falhas de empurrão, existência de falhas e dobras nas estruturas próximas à superfície e nas praças de minas a céu aberto. Na área estudada, é possível o aumento nas tensões horizontais e residuais regionais, devido ao efeito dos bandamentos e dobramentos da foliação (D2 e D3), presentes de forma mais intensamente marcada nos migmatitos/paragnaisses (metatexitos), gerando dobras isoclinais entre outras.

Nos ortognaisses/migmatitos (diatexitos), estes dobramentos têm menores dimensões e existem apenas nas porções metamórficas preservadas. A fase D3 está aparentemente acompanhada por fraturas de alívio preenchidas por diques pegmatíticos e aplíticos (com direção preferencial NE-SW).



Fotografia 63: Frente de lavra da Mineração Ferreira Costa, na qual são observados fraturamentos subhorizontais e subverticais provocados por liberação de tensões de alívio no maciço rochoso. Possivelmente os sistemas de extração aplicados não são os mais adequados, faltando um estudo geológico e de tensões locais e regionais mais acurado.

A influência do estado de tensões do maciço, está em função da quantidade de energia por elas acumulada, em geral, pode apresentar trincas e fissuras do material, como resultado do alívio dessas tensões, propiciado pela lavra (**Fotografias 62, 63, e 64**). A magnitude dessas tensões no maciço tem influenciado seu sistema produtivo, levando em alguns casos a redução significativa na recuperação da lavra, ao mesmo tempo em que se compromete a sanidade do bloco de rocha produzido.

Atualmente têm sido realizados esforços para desenvolver e aperfeiçoar as técnicas de extração. As tecnologias avançadas de corte têm se mostrados eficientes na elevação da recuperação e na melhor preservação da integridade física da rocha durante o processo de isolamento dos blocos, uma vez que existe a eliminação quase total do uso do explosivo.



Fotografia 64: Exemplo de rocha contra-indicada para a extração de blocos para uso como rocha ornamental: intenso fraturamento, bastante percolada por veios pegmatíticos. Trata-se de um granito cinza com porções reliquiares de metatexito. Foi explorada e depois abandonada (afloramento 33, no Sítio Cachoeira). É importante definir ao máximo, a presença e distribuição espacial das discontinuidades (falhas, veios, fraturas de resfriamento, fraturas tectônicas, juntas de estratificação, etc.), bem como os defeitos da rocha (anomalias e diferenciações de composição, presenças de elementos de alteração, porosidade, microfraturamentos dos cristais, entre outros), capazes de influenciar diretamente na comercialização do material em questão.

6.8 CONTROLE GEOLÓGICO DO MIGMATITO “ROSA IMPERIAL”

O presente trabalho utilizou a sistemática desenvolvida por Barbosa & Paiva (1998), mediante uma avaliação quantitativa das rochas pontuadas. Assim, cada corpo ou afloramento com boa área de exposição é avaliado através de um índice, denominado Índice de Atratividade Econômico-Geológico (IAEG), que prioriza os

fatores físicos das rochas e a infra-estrutura, utilizando os dados obtidos nas fases de campo. Posteriormente estes afloramentos pontuados, os quais incluem corpos graníticos e gnaisses/migmatitos (homogêneos, orientados e movimentados), foram visualizados no contexto geológico regional (**Anexo 2**), a fim de determinar as áreas mais favoráveis a uma possível futura exploração comercial.

Os afloramentos pontuados, apresentam um número denominado de (IAEG), sendo que os valores mais elevados têm um papel importante na seleção de ocorrências e evidenciam as possibilidades de aprofundamento de pesquisa sistemática, direcionada ao aproveitamento das rochas com fins ornamentais. O IAEG é obtido com base na soma dos valores dos seguintes fatores: cores predominantes da rocha (FC), fator de dureza relativa (FD), fator de texturas predominantes (FT), fator de estruturas predominantes (FE), fator de densidade de fraturamento/xenólitos (FF), fator de modo de ocorrência (FM), fator de relevo predominante (FR), fator de infra-estrutura disponível (FI) fator de localização (FL). Portanto, o índice é calculado da seguinte maneira: $IAEG=FC+FD+FT+FE+FF+FM+FR+FI+FL$.

As ocorrências pontuadas são avaliadas qualitativamente e quantitativamente segundo os seguintes intervalos de IAEG: muito alto > 80 a 100 IAEG; alto > 60 a 80 IAEG; médio > 40 a 60 IAEG; baixo > 20 a 40 IAEG; muito baixo > 20 IAEG. É importante notar que na pontuação feita não consideramos o fator de nobreza ou seja o posicionamento da rocha no mercado seja considerando se o produto é vendido ao mercado externo (sob a forma de blocos ou sob a forma de chapas ou padronizados) ou o mercado interno seja em blocos ou chapas. Como é conhecido o produto na forma de blocos e chapas o migmatito “Rosa Imperial” é vendido quase exclusivamente ao mercado externo com boa valorização e cotização, desta forma aumentariam os valores dos índices obtidos. Foram pontuadas 31 ocorrências de rochas para fins ornamentais (**Tabela 08**).

Considerando que na área de estudo as rochas de maior atratividade são representadas pelo ortogneiss/migmatito “Rosa Imperial”, pertencente à categoria de rochas orientadas e movimentadas, elas foram priorizadas como rochas-alvo da investigação, sendo discriminadas no mapa geológico conforme a favorabilidade à exploração comercial através de cores indicativas e índices de atratividade. As rochas metassedimentares (metatexitos) e os quartzitos, foram consideradas como rochas sem interesse imediato à prospecção.

Ocorrência	Localidade	Coordenadas	Cor	Fraturam.(FF)	FE	Relevo	Tipo de rocha	AE (m ²)	IAEG
Ponto 7-A	Cachoeira/Papa Terra	S 8°50.386/W 36°29.845	Rósea-preta	Baixo	Movimentada	Colinas	Migmatito R. Imperial.	40	77
Ponto 11	São Pedro (Itacatu)	S 8°47.679/W 36°29.109	Cinza-preto	Muito alta	Orientada	SO	Granodiorito/Qz-diorito	100	29
Ponto 17	Volta do Rio e Calçado	S 8°47.647/W 36°20.759	Rósea-cinza	Média	Movimentada	SO	Migmatito R. Imperial.	60	59
Ponto 18	Volta do Rio (norte)	S 8°47.198/W 36°20.299	Crema-cinza	Muito alta	Orientada	SO	Granito leucocrático	120	29
Ponto 19	Volta do Rio (sul)	S 8°48.546/W 36°20.869	Rósea-cinza	Baixo	Movimentada	Colinas	Ortogna./Migmatito R. I.	60	68
Ponto 23	Lag. da Picada/Melancia	S 8°47.406/W 36°18.236	Rósea-preto	Baixo	Movimentada	SO	Ortogna./Migmatito R. I.		63
Ponto 25	Sítio Boavista	S 8°47.152/W 36°18.294	Rósea-cinza	Baixo	Movimentada	Colinas	Ortogna./Migmatito R. I.	200	68
Ponto 26	Sítio Riacho	S 8°48.820/W 36°23.394	Rósea-cinza	Baixo	Movimentada	Colinas	Ortogna./Migmatito R. I.	50	68
Ponto 27	Sítio Riacho	S 8°48.663/W 36°23.785	Vermelho-cinza	Baixo	Movimentada	Colinas	Ortogna./Migmatito R. I.	80	68
Ponto 29	Sítio Riacho	S 8°48.956/W 36°24.199	Rósea-cinza	Baixo	Movimentada	SO	Granito foliado/metatexitc	150	68
Ponto 30	Sítio Riacho	S 8°48.938/W 36°24.449	Cinza-róseo	Baixo	Orientada	SO	Granito foliado		55
Ponto 33	Sítio Cachoeira	S 8°46.868/W 36°24.881	Rósea-cinza	Muito alta	Orientada	SO	Leucogranito	120	28
Ponto 34	Gameleira	S 8°51.715/W 36°25.583	Rósea-cinza	Muito alta	Movimentada	Colinas	Migmatito R. Imperial.	220	43
Ponto 38	Canhoto e Cabeludo	S 8°49.082/W 36°28.625	Rósea-cinza	Média	Movimentada	Colinas	Migmatito R. Imperial.	100	64
Ponto 41	São Pedro (oeste)	S 8°47.796/W 36°29.971	Rósea-cinza	Muito alta	Movimentada	SO	Migmatito R. Imperial.	50	33
Ponto 43	Aroeira	S 8°51.225/W 36°21.616	Amarela-cinza	Média	Orientada	Aplainado	Paragnaisse(metatexitc)		46
Ponto 44	Sítio Varzinha	S 8°51.198/W 36°18.149	Amarela-cinza	Média	Orientada	SO	Paragnaisse(metatexitc)	30	50
Ponto 48	Pitombeira	S 8°50.365/W 36°18.876	Cinza	Média	Orientada	SO	Paragnaisse(metatexitc)	20	46
Ponto 52	Volta do Rio (leste)	S 8°48.612/W 36°19.123	Branca-cinza	Média	Orientada	SO	Leucogranito		50
Ponto 53	Lagoa da Porta	S 8°48.255/W 36°26.089	Rósea-preta	Muito alta	Movimentada	Colinas	Ortogna./Migmatito R. I.	50	43
Ponto 54	Lagoa da Porta	S 8°48.125/W 36°25.786	Rósea-cinza	Média	Movimentada	SO	Migmatito R. Imperial.	40	64
Ponto 55	Cachoeira	S 8°47.684/W 36°24.838	Rósea-cinza	Média	Movimentada	Colinas	Ortogna./Migmatito R. I.	300	69
Ponto 57	Capim Grosso (norte)	S 8°47.388/W 36°24.439	Rósea-cinza	Média	Movimentada	Colinas	Ortogna./Migmatito R. I.	60	69
Ponto 58	Cachoeira	S 8°46.726/W 36°24.317	Cinza	Média	Orientada	SO	Granodiorito/Qz-diorito	30	46
Ponto 63	Suçarana	S 8°47.835/W 36°22.812	Rósea-cinza	Média	Movimentada	Colinas	Migmatito R. Imperial.		64
Ponto 64	Serra da Suçarana	S 8°48.783/W 36°22.626	Branca-cinza	Média	Orientada	Colinas	Paragnaisse(metatexitc)	50	51
Ponto 65	Paulista/Papa Terra	S 8°50.885/W 36°27.796	Cinza	Média	Orientada	SO	Paragnaisse(metatexitc)	40	46
Ponto 66	Paulista/Papa Terra	S 8°50.625/W 36°27.858	Amarela-cinza	Média	Orientada	SO	Paragnaisse(metatexitc)		46
Ponto 69	Guandu/Pedra Comprida	S 8°47.547/W 36°27.389	Rósea-cinza	Média	Movimentada	Colinas	Migmatito R. Imperial.	160	69
Ponto 70	P. Comprida/Lag. da Porta	S 8°48.181/W 36°27.796	Rósea-cinza	Média	Movimentada	SO	Migmatito R. Imperial.	100	64
Ponto 72	Lagoa da Porta	S 8°48.833/W 36°27.682	Rósea-cinza	Média	Movimentada	SO	Migmatito R. Imperial.	40	64
	FF: Fator de Fraturament[^{FF}			*** AE: Área de Exposição;					
									IAEG: Índice de atratividade econômico-geológico

Tabela 08: Relação das mais importantes ocorrências ou jazidas para fins ornamentais na área estudada, pontuados segundo o Índice de Atratividade Econômico-Geológico para prospecção e controle do migmatito “Rosa Imperial”.

Trabalhos de campo, efetuados em alvos pré-selecionados (pela fotointerpretação), compreenderam: estudo do registro da densidade de fraturamento, de xenólitos, veios, diques, estado de alteração da rocha e outros elementos de prospecção relacionados com as características estéticas e originalidade das rochas, principalmente a cor, textura e estrutura. Estes dados foram coletados em fichas de cadastramento das principais ocorrências da área pesquisada, com a finalidade de determinar o índice de atratividade econômico-geológico (IAEG).

Após as confirmações resultantes do trabalho de campo, concluiu-se que os ortognaisses/migmatitos (diatexitos) do Complexo Belém do São Francisco são os que oferecem melhor índice de atratividade, e portanto maior potencial de uso para rocha ornamental, sendo comercialmente classificados na categoria de rochas movimentadas (migmatitos com texturas nebulítica e *schlieren*), de variada granulação (incluindo desde tipos porfiríticos a equigranulares e heterogêneos) e de cores rosa, rosa-avermelhada, rosa acinzentada.

Os afloramentos com maiores valores (> 60) de atratividade representam ocorrências do migmatito “Rosa Imperial”, encontrando-se 15 ocorrências com valores que superam os 60 de IAEG (vide **Tabela 08**). No mapa (**Anexo 2**) foi selecionada uma área de maior potencial de ocorrência e qualidade deste migmatito.

Os maiores valores obtidos na pontuação (IAEG) das ocorrências estão localizados na região central da faixa de diatexitos, entre São Pedro e Volta do Rio, relacionados geológica e estruturalmente aos corpos de granodiorito/tonalito/quartzo-diorito (mesossoma), os quais se apresentam regionalmente na forma de faixas com orientação WNW-ESSE (afloramentos ou pontos 38, 54, 55, 57, 63, 69, 70, 72). No mapa (**Anexo 2**), foi determinada uma área com maior potencial do migmatito “Rosa Imperial”, já que foram encontradas as ocorrências com as melhores características para uso ornamental, e sempre relacionadas a estes corpos de composição intermediária a básica. Seguindo a mesma orientação desta faixa central e com o mesmo controle geológico, todavia fora da área de pesquisa, tanto a leste, em Boa Vista (pontos 23 e 25, com índices elevados, e 24, índices médios) quanto a oeste de São Pedro (pontos 40 A e 41, com índices médios, e ponto 7-A, de índice elevado, no SW da área pesquisada), temos ocorrências interessantes para futuras investigações.

Próximo ao ponto 37 está a Mineração Ferreira Costa, atualmente a única pedreira de rocha ornamental operativa na área do migmatito “Rosa Imperial”. Existem outras pedreiras na área, mas de produção de brita e bloquetes de calçamento, de baixo valor comercial, as quais se localizam sobretudo sobre os corpos granodioríticos/tonalíticos/quartzo-dioríticos.

Fora desta região central, ocorrem também afloramentos de boa pontuação nos diatexitos localizados entre os metatexitos de Sítio Riacho e os quartzitos da Serra da Suçuarana, igualmente relacionados a ocorrência de corpos granodioríticos/tonalíticos/quartzo-dioríticos (pontos 26, 27 e 29).

Em toda a área sul do mapa geológico, não foram encontrados pontos favoráveis à exploração comercial para fins de rocha ornamental, embora se trate de uma extensa faixa de diatexitos tipo “Rosa Imperial”. Isto se deve basicamente a dois fatores: primeiro a ocorrência de um extenso capeamento sedimentar, proveniente dos quartzitos mais a sul; e segundo por não existirem na área os corpos granodioríticos/tonalíticos/quartzo-dioríticos aos quais os afloramentos de melhores pontuações estão associados.

Nos metatexitos da região norte do mapa geológico, próximo a áreas de ocorrência de corpos granodioríticos/tonalíticos/quartzo-dioríticos, também poderiam ser encontrados afloramentos com potencial para rocha ornamental, sendo que pela exigüidade de tempo disponível para os trabalhos de campo, não foi possível confirmar esta hipótese. Esta inferência foi feita tomando por base o ponto 29 (próximo a Sítio Riacho) (**Anexo 2**), o qual apresenta características similares às da região norte da área de pesquisa.

Todavia, nos metatexitos de outras áreas diversas do mapa foram encontradas seis ocorrências com índices de pontuação médios (entre 46 e 51): ponto 43 (Aroeira), ponto 44 (Sítio Varzinha), ponto 48 (Pitombeira), ponto 64 (Serra da Suçuarana), ponto 65 e ponto 66 (entre os Sítios Paulista e Papa-Terra) (**Anexo 2**). Estas ocorrências apresentam potencial para motivar estudos futuros, sendo interessante coletar amostras para testes geomecânicos, os quais indicariam a favorabilidade destas áreas para aproveitamento comercial.

7. CONCLUSÕES

1. As rochas do migmatito “Rosa Imperial” constituem uma unidade metamórfica de alto grau de possível idade Mesoproterozóica no Terreno Pernambuco-Alagoas, Domínio Meridional da Província Borborema. Geologicamente pertence ao Complexo Belém do São Francisco, formado por biotita ortognaisses tonalíticos/granodioríticos, leucocráticos de cor cinza, geralmente migmatizados (diatexitos) com leucossoma granítico, e migmatitos com mesossoma granodiorítico/quartzo-diorítico/tonalítico a anfibólio e/ou biotita, contendo porções anfibolíticas, e ainda relíquias de rochas paraderivadas do adjacente Complexo Cabrobó, formado de migmatitos/paragnaisses (metatexitos), quartzitos, metarcósios, muscovita gnaisses, mica-xistos, paragnaisses (por vezes migmatizados) e rochas cálcio-silicáticas.

2. O leucossoma apresenta composição sieno a monzogranítico e constitui dois tipos petrograficamente distintos: um fácies potássico e cor rosa suave a avermelhado, e outro fácies cálcio-sódico e cor cinza-róseo a branco. Ambos estão associados geológica e estruturalmente a corpos de natureza intermediária a máfica de composição predominantemente granodiorítica/tonalítica, associados a zonas de cisalhamento. Observa-se predominância de estruturas nebulíticas, schlieren e dobradas.

3. As rochas do **leucossoma granítico** mostram teores de SiO_2 variando de 65,04 a 76,10 %, CaO variando de 0,73 a 2,63 %, elevados teores de álcalis total ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 4,31$ a 12,03) e razões $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ médias a elevadas (0,85 a 2,28), teores baixos a elevados de Ba (435 a 2136 ppm), baixos teores de Rb (112,3 a 238,8 ppm) e baixos teores de Sr (110,8 a 398,5 ppm). O **mesossoma granodiorítico** mostra teores mais baixos de SiO_2 (52,87 a 62,28 %) e álcalis total ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 3,25$ a 6,76 %), teores de CaO mais elevados (3,93 a 6,83 %), quando comparados ao leucossoma, razões $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ variando de 0,95 a 2,69,

teores elevados de Ba (1480 a 1739 ppm), baixos de Rb (106,4 a 184,1 ppm) e variados de Sr (254,7 a 882,6 ppm).

4. Quimicamente as rochas do migmatito “Rosa Imperial” são subalcalinas, tanto para o mesossoma quanto para o leucossoma, sendo que o leucossoma tem caráter peraluminoso e o mesossoma metaluminoso. O leucossoma é empobrecido em CaO, P₂O₅, TiO₂, Fe₂O_{3(t)}, Sr, Nb e Ta em relação ao mesossoma, sugerindo que plagioclásio, apatita e biotita, a foram fases residuais durante o processo de fusão.

5. Os padrões de elementos terras raras normalizados em relação ao condrito mostram razões (Ce/Yb)_N distintas para o **leucossoma** (17,5 a 62,3) e **mesossoma** (13,6 a 25,6). Os padrões ETR dos leucossomas mostram anomalia negativa de **Eu** sugerindo fases residuais de plagioclásio e granada durante os processos de fusão. Os padrões “spidergram” normalizados em relação ao manto primitivo mostram depressões em Nb, Sr e Ti tanto no leucossoma como no mesossoma.

6. Os dados geoquímicos sugerem que o leucossoma granítico do migmatito “Rosa Imperial” é derivado da fusão crustal *in situ*, deixando plagioclásio, apatita e biotita (e talvez granada) no resíduo. Temperaturas da ordem de 720°C, determinadas utilizando o método de teores de Zr em rocha total, indicam que os processos de fusão ocorreram em condições de temperaturas não muito elevadas. A provável presença de possíveis zircões herdados neste tipo de rocha, permite apenas inferir esta temperatura, como a temperatura máxima alcançada, durante o processo de fusão. Logo, a fusão ocorreu em condições muito próximas a da temperatura mínima de fusão do granito (é claro, dependendo também da pressão), não permitindo assim a migração de magmas.

7. Os diagramas discriminantes de ambientes tectônicos podem refletir o ambiente em que a **rocha fonte** dos diatexitos foi gerada. Neste caso se observam que os leucossomas são sistematicamente mais empobrecidos em Nb, sugerindo que Nb ficou em fase refratária durante a migmatitização. Levando esta hipótese em consideração, os diagramas de Pearce et al. (1984) sugerem que a **fonte** do **mesossoma** dos diatexitos pode ter sido gerada a partir de **granitos intraplacas** e a fonte do **leucossoma** dos diatexitos a partir de granitos de **arco vulcânico ou sin-**

colisionais.

8. Quanto aos aspectos estruturais de um modo geral toda a área mostra-se afetada principalmente por duas fases de deformação, D2 e D3, que são observadas em escala de fotografia aérea e podem ser visualizadas no mapa geológico na **(Anexo 1)**.

9. O metamorfismo atuante na área foi de características regionais (fácies anfibolito), modificou toda a litologia existente, com indícios de regime de alto grau de temperatura e baixa pressão, atingindo a anatexia em quase a metade da área estudada. A anatexia ficou bem caracterizada nos ortognaisses/migmatitos (diatexitos), onde é observado o fundido de composição álcali-feldspato-granito, acompanhado de restitos, sendo isto exibido principalmente nos contatos entre migmatitos/paragnaisses (metatexitos) e ortognaisses/migmatitos (diatexitos). Nesta zona predomina um relevo muito erodido ou arrasado, apresentando insuficiência de bons afloramentos.

10. Considerando que na área de estudo as rochas de maior atratividade são representadas pelo ortognaisse/migmatito “Rosa Imperial”, pertencente à categoria de rochas orientadas e movimentadas, elas foram priorizadas como rochas-alvo da investigação. Após as confirmações resultantes do trabalho de campo, concluiu-se que os ortognaisses/migmatitos (diatexitos) do Complexo Belém do São Francisco são os que oferecem melhor índice de atratividade, e portanto maior potencial de uso para rocha ornamental.

Em total foram pontuadas 31 ocorrências de rochas para fins ornamentais. Os afloramentos com maiores valores de IAEG (> 60) de atratividade representam ocorrências do migmatito “Rosa Imperial”, encontrando-se 15 ocorrências com valores nesta categoria.

Os maiores valores obtidos na pontuação (IAEG) das ocorrências estão localizados na região central da faixa de diatexitos, entre São Pedro e Volta do Rio, relacionados geológica e estruturalmente aos corpos de granodiorito/tonalito/quartzo-diorito, os quais se apresentam regionalmente na forma de faixas e corpos com orientação WNW-ESSE (pontos 38, 54, 55, 57, 63, 69, 70, 72). Seguindo a mesma orientação desta faixa central e com o mesmo controle

geológico, todavia fora da área de pesquisa, tanto a leste, em Boa Vista (pontos 23 e 25, com índices elevados, e 24, índices médios) quanto a oeste de São Pedro (pontos 40 A e 41, com índices médios, e ponto 7-A, de índice elevado, no SW da área pesquisada), temos ocorrências interessantes para futuras investigações.

Próximo ao ponto 37 está a Mineração Ferreira Costa, atualmente a única pedreira de rocha ornamental operativa na área do migmatito “Rosa Imperial”. Existem outras pedreiras na área, mas de produção de brita e bloquetes de calçamento, de baixo valor comercial, as quais se localizam sobretudo sobre os corpos granodioríticos/tonalíticos/quartzo-dioríticos.

Fora desta região central, ocorrem também afloramentos de boa pontuação nos diatexitos localizados entre os metatexitos de Sítio Riacho e os quartzitos da Serra da Suçuarana, igualmente relacionados à ocorrência de corpos granodioríticos/tonalíticos/quartzo-dioríticos (pontos 26, 27 e 29).

Em toda a área sul do mapa geológico, não foram encontrados pontos favoráveis à exploração comercial para fins de rocha ornamental, embora se trate de uma extensa faixa de diatexitos tipo “Rosa Imperial”. Isto se deve basicamente a dois fatores: primeiro a ocorrência de um extenso capeamento sedimentar, proveniente dos quartzitos mais a sul; e segundo por não existirem na área os corpos granodioríticos/tonalíticos/quartzo-dioríticos aos quais os afloramentos de melhores pontuações estão associados.

Nos metatexitos da região norte do mapa geológico, próximo a áreas de ocorrência de corpos granodioríticos/tonalíticos/quartzo-dioríticos, também poderiam ser encontrados afloramentos com potencial para rocha ornamental, sendo que pela exigüidade de tempo disponível para os trabalhos de campo, não foi possível confirmar esta hipótese. Esta inferência foi feita tomando por base o ponto 29 (próximo a Sítio Riacho), o qual apresenta características similares às da região norte da área de pesquisa.

Todavia, nos metatexitos de outras áreas diversas do mapa foram encontradas seis ocorrências com índices de pontuação médios (entre 46 e 51): ponto 43 (Aroeira), ponto 44 (Sítio Varzinha), ponto 48 (Pitombeira), ponto 64 (Serra da Suçuarana), ponto 65 e ponto 66 (entre os Sítios Paulista e Papa-Terra). Estas ocorrências apresentam potencial para motivar estudos futuros da viabilidade destas áreas para aproveitamento comercial.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRAWAL, V.N. 1990. Microstructure of granitic mylonites of Pernambuco Lineament zone: evidence for deformation at brittle-ductile transition. In: CONG. BRAS. GEOL., 36, Natal, 1990. Anais... Natal, SBG v. 5, p. 2185-2188.
- ALMEIDA, F.F.M., LEONARDOS, O.H., VALENÇA, J. 1967. Review on granitic rocks of Northeast South America. In: SYMPOSIUM ON NORTHEAST SOUTH AMERICA GRANITES, Recife, 1967. Proc...Recife, IUGS/UNESCO, 41p.
- ALMEIDA, F.F.M., HASUI, Y., BRITO NEVES, B.B., FUCK, R.A., 1977. *Províncias estruturais brasileiras*. 1977. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 8. Campina Grande, 1977. Atas...Campina Grande, SBG/NE, p. 363-391.
- AMADEI, B. 1996. Importance of anisotropy when estimating and measuring in situ stresses in rock. In: *J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech.* Vol **33**, N°, 293-325.
- AMADEI, B. & STEPHANSSON, O. 1997. Rock stress and its measurement, Firths Edition-ISBN, Chapman & Hall.
- ASHWORTH, J.R. 1976. Petrogenesis of migmatites in the Huntly-Portsoy area, north-east Scotland. *Min. Mag.* **40**, pp. 661-682.
- ASHWORTH, J.R. 1985. Introduction. In: Ashworth, J.R., Editor, 1985. *Migmatites*, Blackie and Son, Glasgow, UK, pp. 36-85.
- BARBARIN, B. 1990. Granitoids: main petrogenetic classifications in relation to origin and tectonic setting. *Geol. Journ.*, **25**:227-238.
- BARBARIN, B. 1996. Genesis of the two main types of peraluminous granitoids. *Geology*, **24**(2), 295-298.
- BARBARIN, B. 1997. From the mineralogical composition of granitoids to their origins and tectonic settings. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON GRANITES AND ASSOCIATED MINERALIZATIONS, ISGAM, 2. Salvador-BA. *Extended Abstract and Program*, 95-98.
- BARBOSA, A.J. & PAIVA, I.P. 1998. Sistemática metodológica baseada em fatores físicos das rochas e na infra-estrutura, para uso em mapa da atratividade econômico-geológico de rochas para fins ornamentais, CPRM, relatório 12p.
- BEURLEN, H., SILVA FILHO, A., GUIMARÃES, I.P. and BRITO, S. 1992. Proterozoic - type eclogites hosting unusual Ti-Fe±Cr±Cu mineralization in northeastern Brazil. *Precambrian Research*, **58**, 195-214.
- BATCHELOR, R.A. & BOWDEN, P. 1985. Petrogenetic interpretation rocks series using multicationic parameters chemicals. *Geology* **48**: 43-55.

- BERTRAND, J.M. & JARDIM DE SÁ, E.F. 1990. Where are the Eburnian-Transamazonian collisional belts? *Canadian Journal Earth of Sci.*, **27**:1382-1393.
- BORTOLUSSI, A. 1990. Simulação and optimization of rock cutting with diamond wire. In proceedings. 22 st APCOM. Berlin vol. III, p. 163-176.
- BRITO NEVES, B.B. 1975. Regionalização geotectônica do pré-cambriano nordestino. São Paulo, 198p. (Tese de Doutorado, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo).
- BRITO NEVES, B.B. 1983. O Mapa geológico do Nordeste Oriental do Brasil, Escala 1/1.000.000, São Paulo, 177p. (Tese de Livre Docência do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo).
- BRITO NEVES, B.B. & CORDANI, U.G. 1991. Tectonic evolution of South America during the late Proterozoic. In: Crustal evolution in the late Proterozoic (edited by STERN, R.J. and VAN SCHMUS, W.R.), *Precambrian Research*, **53**: 23-40.
- BRITO NEVES, B.B.; VAN SCHMUS, W.R.; BABINSKI, M. & SABIN, T. 1993. O evento de magmatismo de 1.0 Ga. nas faixas móveis ao norte do Cráton São Francisco. In: SIMP. CRÁTON SÃO FRANCISCO, 2, Anais, pp. 243-245.
- BRITO NEVES, B.B., VAN SCHMUS, W.R., HACKSPACHER, P.C., SANTOS, E.J. 1995a. Geocronologia da Província Borborema, 1995: os fatos e as questões abertas. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 16. Recife. Boletim...Recife, SBG/NE, 14(2):410-413.
- BRITO NEVES, B.B., VAN SCHMUS, W.R., SANTOS, E.J., CAMPOS NETO, M.C., KOZUCH, M. 1995b. O Evento Cariris Velhos na Província Borborema: integração de dados, implicações e perspectivas. *Rev. Bras. Geoc.*, **25**(4):279-296.
- BRITO NEVES, B.B., SÁ, J.M., NILSON, A.A. and BOTELHO, N.R 1995c. A Tafrogênese Estateriana nos blocos Paleoproterozóicos da América do Sul e processos subseqüentes. *Geonomos*, **3**(2),1-21.
- BROWN, M. 1973. The definition of metatexis, diatexis and migmatite. *Proc. Geol. Assoc.* **84**, 371-382.
- BROWN, M.; RUSHMER, T. and SAWYER, E.W., Editors. 1995. Mechanisms and Consequences of Melt Segregation from Crustal Protoliths. *J. Geophys. Res. B* 100, pp. 15655-15679.
- BROWN, M. & SOLAR, G.S. 1998. Granite ascent and emplacement during contractional deformation in convergent orogens. *Journal of Structural Geology*, **20**(9110),1365-1393.
- CABY,R. 1984. Rapport de fin de mission dans NE Bresil. Rapport interne,19 p. (inédito).

- CABY, R. & ARTHAUD, M. 1986. Major Precambrian nappes of the Brazilian belt, Ceará, northeast Brazil, *Geology*, **14**: 871-874.
- CABY, R.; SIAL, A. N.; ARTHAUD, M., VAUCHEZ, A. 1991. Crustal evolution and the Brazilian orogeny in Northeast Brazil. In: DALLMEYER, R.D. & LECORCHÉ, J.P. eds. *The West African orogens and Circum-Atlantic correlatives*. Springer-Verlag. pp. 373-397.
- CAMPOS NETO, M.C., BRITO NEVES, B.B., BITTAR, S.M.B. 1994. Domínio tectônico Rio Pajeú: orogêneses superpostas no ciclo Brasiliano/Pan-africano. Relatório científico, FAPESP, Geociências 92/2079-5, s.p. (inédito).
- CARANASSIOS, A., STELLIN JR., A., AYRES DA SILVA, L.A. 1994. Considerações acerca do estado de tensões dos maciços na lavra de rochas ornamentais. In: II CONGRESSO ÍTALO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE MINAS. Anais Verona 1994, p. 283-285.
- CARDOSO, J.J.R.F. & CASTRO, C. 1979. Aspectos geológicos do quartzito de Garanhuns (PE) e seu capeamento. In: SBG, Simpósio de Geologia do Nordeste, 9, Natal. Resumos Expandidos, 343-348.
- CHIODI FILHO, C.A. 1994. Pesquisa geológica: o primeiro passo. *Revista de Rochas de Qualidade*, São Paulo, V. **25**, N° 117, p 58-71.
- CHIODI FILHO, C.A. 1995. Aspectos técnicos e econômicos do setor de rochas ornamentais. Rio de Janeiro: MCT, CNPq e CETEM. Série Estudos e Documentos, 28:75p.
- CICCU, R. 1989. Moderne tecniche di estrazione dei lapidei ornamentali i problemi di impatto ambientali in Italy. In: SIMPÓSIO EPUSP SOBRE CONTROLE AMBIENTAL E SEGURANÇA EM MINERAÇÃO, São Paulo, Anais, 1989, p. 51-65.
- CLEMENS, J.D. & VIELZEUF, D. 1987. Constraints on melting and magma production in the crust. *Earth Planet. Sci. Lett.* **86**, pp. 287-306.
- CORDANI, U.G., MILANI, E.J., THOMAZ FILHO, A., CAMPOS D.A. 2000. Tectonic evolution of South America. 31st INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, august 6-17, 2000. Rio de Janeiro-Brazil. 855p.
- COSTA A.P.L.; NOGUEIRA NETO, J.A.; CAIATY, A.A.; LIMA, M.A.B.; TORQUATO, M.F.P.; VERÍSSIMO, C.U.V. 2000. Granulitos de Chorozinho (NE, do Estado do Ceará): caracterização tecnológica de alguns litotipos, voltada ao aproveitamento como rochas ornamentais. In: XVIII SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE. RESUMOS. Boletim N° 16, Sociedade Brasileira de Geologia Núcleo Nordeste. Recife-PE, 2000. Página 155.
- DAVISON, I. & POWELL, D. 1991. Deformation along a mid-crustal continental strike-slip zone: The Pernambuco Lineament, NE Brazil. In: Casey, M. and

- Dietrich, D., orgs., The Geometry of Naturally Deformed Rocks Meeting, Zurich. Tectonic Studies Group of The Geological Society of London, abstract.
- DIRKS, P. & HAND, M. 1991. Structural and metamorphic controls on the distribution of zircon in an evolving quartzofeldspathic migmatite; an example from the Reynolds Range, central Australia. *J. Metamorph. Geol.* **9**, pp. 191-201.
- EBERT, H. 1970. The Precambrian Geology of the "Borborema" belt. State of Paraíba and Rio Grande do Norte, Northeastern Brazil. *Geol. Rundsch.*, **59**(3):1299-1326.
- EL BOUSEILY, A.M. & EL SOKKARY, A.A. 1975. The relation between Rb, Ba and Sr in granitic rocks. *Chemical Geology* **16**, 207-219.
- FERREIRA, V.P. & SIAL, A.N. 1987. Ultrapotassic peralkaline province of the precambrian Cachoerinha-Salgueiro foldbelt, Northeast Brazil. *Rev. Bras. Geoc./ISGAM*; 199-203.
- FERREIRA, M.A.F.; FERREIRA, V.P.; SIAL, A. N.; PIMENTEL, M.M.; BRASILINO, R.G. 1997. The ultrapotassic Serra do Man Syenite, Alto Pajeú Terrane, NE Brazil. In: International Symposium on Granites and Associated Mineralizations, 2, Salvador. Extended Abstract, 110-111.
- FLAIN, E.P. 1995. Tecnologia de produção de revestimentos de fachadas de edifícios com placas pétreas. Dissertação de Mestrado em Engenharia apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 183p.
- FRANÇOLIN, J.B.L. & SZATMARI, P. 1987. Mecanismo de rifteamento da porção oriental da margem norte brasileira. *Rev. Bras. Geoc.*, **17** (2): 196-207.
- FRAZÃO, E. B. & CARUSO, L.G. 1989. Manutenção em revestimentos de pedra. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE TECNOLOGIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL, 10. Anais. São Paulo, EPUSP, 1989. 89-99p.
- FRAZÃO, E.B. & FARJALLAT, J.E.S. 1996. Características tecnológicas de rochas ornamentais silicáticas brasileiras de revestimento. Contribuição para fixação e especificação brasileira. *Rev. Rochas de Qualidade*, ano XXV, 128 ed.
- GOMES, H.A. 2000. Jazimentos de minerais não-metálicos no estado de Pernambuco. In: XVIII SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE. RESUMOS. Boletim N° 16, Sociedade Brasileira de Geologia Núcleo Nordeste. Recife-PE, 2000. Página 161.
- GUIMARÃES, I.P. 1989. The petrological evolution and tectonic association of the Bom Jardim Complex, Pernambuco state, Brazil. London, 424p. (Tese de Doutorado, Imperial College).
- HARKER, A. 1909. The natural history of the igneous rocks. New York. Eds. MacMillan, 348 p.

- HOLMQUIST, P.J. 1921. Typen und Nomenklatur der Adergesteine. *GFF* 43, pp. 613-631.
- HOPGOOD, A.M. 1984. Structural evolution of Svecokarelian migmatites, southern Finland: a study of Proterozoic crustal development, *Trans. R. Soc. Edinburgh Earth Sci.* 74, 229-264.
- HYETT, A.J., DYKE, C.G., HUDSON, J.A. 1986. A critical examination of basic concepts associated with the existence and measurements of in situ stress. *International Sym. Of Rock Stress Measurements.*
- IRVINE, T.N. & BARAGAR, W.P.A. 1971. A guide to chemical classification of the common volcanic rocks. *Can. J. Earth Sci.*, 8:523-548.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). 1990. Ensaio de caracterização tecnológica Brasileiras. Catálogo de rochas para fins ornamentais, São Paulo.
- JARDIM DE SÁ & HACHSPACHER, P.C. 1980. Reconhecimento estrutural na borda noroeste do Cráton de São Francisco. In: ANAIS, CONGRESSO BRASILEIRO, 31, Vol. 05, pp 2719-2731.
- JARDIM DE SÁ, E.F. 1984. Geologia da região de Seridó: reavaliação das idades. In: ATAS DO SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 11:278-316.
- JARDIM DE SÁ, E.F. 1994. A faixa Seridó (Província Borborema NE do Brasil) e o seu significado geodinâmico na cadeia Brasiliana-Panafricana. Tese de Doutorado Inst. de Geociências da Universidade de Brasília, 804p.
- JOHANNES, W. 1983. On the origin of layered migmatites. In: Atherton, M.P. and Gribble, C.D., Editors, 1983. *Migmatites, Melting and Metamorphism. Shiva Geol. Ser.*, Shiva, Nantwich, UK, pp. 234-248.
- JOHANNES, W. 1985. The significance of experimental studies for the formation of migmatites. In: Ashworth, J.R., Editor, 1985. *Migmatites*, Blackie and Son, Glasgow, UK, pp. 36-85.
- JOHANNES, W. 1988. What controls partial melting in migmatites?. In: Tracy, R.J. and Day, H.W., Editors, 1988. *Studies in the Genesis and Deformation of Migmatites*. *J. Metamorph. Geol.* vol. 6, pp. 451-465.
- JOHANNES, W. & GUPTA, L.N. 1982. Origin and evolution of a migmatite. *Contrib. Mineral. Petrol.* 79, pp. 114-123.
- KOPPE, J.C.; Nova, P.A.C.; Costa, J.F.C. 1993. Projeto e recuperação de área degradada por lavra de granito ornamental em Viamão-RS Brasil. In: II CONGRESSO ÍTALO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE MINAS, São Paulo. Anais, 395-404p.
- KOZUCH, M., BITTAR, S.M.B., VAN SCHMUS, W.R. and BRITO NEVES, B.B. 1997.

- Late Mesoproterozoic and Middle Neoproterozoic magmatism in the Zona Transversal of Borborema Province, NE-Brazil. In: SBG/Núcleo Nordeste, SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 17. Fortaleza-CE. *Resumos Expandidos, Boletim*, **15**,47-49.
- KRIEGSMAN, L.M. 2001. Partial melting, partial melt extraction and partial back reaction in anatectic migmatites. *Lithos* **56** (2001) 75-96.
- LEITE, P.R.B. & Lima, E.S. 1997. Características geoquímicas dos granitóides proterozóicos da Folha Monteiro, terreno Alto Pajeú, nordeste do Brasil. In: *Resumos Expandidos, XVII SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE*, Fortaleza-CE, 282-287.
- LIMA, M.I.C.; GAVA, A.; FERNANDES, P.E.C.A.; PIRES, J.L.; SIGA JR., O. 1985. Projeto ferro-titanio de Floresta. Minérios de Pernambuco/Radambrazil, Vol. I – *Geologia*, 314p.
- MACEDO, M.H.F.; JARDIM DE SÁ, E.F. & SÁ, J.M. 1984. Datações Rb-Sr em ortognaisses e a idade do Grupo Seridó. In: ATAS DO SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, **11**:253-262.
- MACÊDO, A.J. de. 1998. Análise empírica de maciços rochosos para rochas com fins ornamentais. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Minas na Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande / PB, 218p.
- MANIAR, P.D. & PICOLLI, P.M. 1989. Tectonic discrimination of granitoids. *Geol. Soc. Am. Bull.*, **101**(5):635-643.
- MEDEIROS, T.J.L.; OLIVEIRA, F.M.; MELO, E.; BARROS, M.L. 2000a. As texturas minerais nas chapas polidas das rochas ornamentais. resultados preliminares. In: XVIII SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE. RESUMOS. Boletim N° 16, Sociedade Brasileira de Geologia Núcleo Nordeste. Recife-PE, 2000. Página 166.
- MEDEIROS, T.J.L.; OLIVEIRA, F.M.; MELO, E.; BARROS, M.L. 2000b. Parâmetros físicos versus dados texturais-mineralógicos em chapas de rochas ornamentais. resultados preliminares. In: XVIII SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE. RESUMOS. Boletim N° 16, Sociedade Brasileira de Geologia Núcleo Nordeste. Recife-PE, 2000. Página 164.
- MEDEIROS, V.C. 1998. Folha Garanhuns, escala 1:250.000. CPRM, Programa PLGB, Internal Report, Recife, 22p.
- MEDEIROS, V.C.; ANGELIM, L.A.A.; SANTOS, E.J. 1998. Caracterização dos Segmentos Leste e Oeste do Terreno Pernambuco-Alagoas. In: SBG, CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 40, Belo Horizonte.
- MEHNERT, K.R. 1968. Migmatites and the Origin of Granitic Rocks, Elsevier, Amsterdam 393 pp.
- MEHNERT, K.R. & BÜSCH, W. 1982. The initial stage of migmatite formation. *N. Jb.*

- Mineral. Abh.* 145, pp. 211-238.
- MELO, E.B. 1998. Pesquisa mineral de rochas ornamentais. I Seminário de Rochas Ornamentais do Nordeste, Olinda-PE, Anais, p. 76-92.
- MELLO, A.A. DE. 1984. O padrão de falhamentos do nordeste e algumas tentativas de interpretação. In: CONG. BRAS. GEOL., 33, Rio de Janeiro, 1984. Anais... Rio de Janeiro, SBG v. 7, p. 3348-3361.
- MELLO, A.A. DE; ASSUNÇÃO, P.A. 1984. O cinturão móvel transversal: especulação sobre uma possível evolução à luz da tectônica global. In: CONG. BRAS. GEOL., 33, Rio de Janeiro, 1984. Anais... Rio de Janeiro, SBG v. 7, p. 3348-3361.
- NAKAMURA, N. 1977. Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na, and K in carbonaceous and ordinary chondrites. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **38**, 757-775.
- NEVES, S.P. & MARIANO, G. 1997. Segmentação Lateral e Transversal da Porção Leste do Lineamento Pernambuco: Implicações Tectônicas. In: XVII SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE. Fortaleza, CE. Resumos expandidos, p. 91-94.
- NEVES, S.P. & MARIANO, G. 1998. O Lineamento Pernambuco e sua In: Significância para a Evolução Tectônica da Província Borborema. XL CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, Belo Horizonte, MG. Anais, p. 412.
- OLIVEIRA, R.G. & SANTOS, E.J. 1993. Seção geológica-geofísica e inferências geotectônicas na porção centro-sul da Província Borborema. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOFÍSICA, 3. Res. Expand., 1:643-747.
- OLIVER, N.H.S.; BODORKOS, S.; NEMCHIN, A.A.; KINNY, P.D., WATT, W.R. 1999. Relationships between zircon U-Pb SHRIMP ages and leucosome type in migmatites of the Halls Creek Orogen, Western Australia. *J. Petrol.* **40**, 1553-1575 p.
- PAIVA, I.P. & MENDES, V.A. 2000. Condicionamento geológico das ocorrências de rochas ornamentais na Folha Garanhuns – PE. In: XVIII SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE. RESUMOS. Boletim N° 16, Sociedade Brasileira de Geologia Núcleo Nordeste. Recife-PE, 2000. Página 177.
- PEARCE, J. & GALE, G.H. 1975. Identification of ore deposition environment from trace element geochemistry of associated igneous host rocks. In: Volcanic processes in ore genesis, Special Publication of the Geological Society of London, 14-24p.
- PEARCE, J.A., HARRIS, N.B.W., TINDLE, A. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *J. Petrol.*, 25(4):956-983.
- PEARCE, J. 1996. Sources and Settings of Granitic Rocks. *Episodes*, **19**(4),120-125.

- PFALTZGRAFF, P.A.S. 2000. Mapas geológicos voltados para pesquisa de rochas ornamentais. In: XVIII SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE. Resumos. Boletim N° 16, Sociedade Brasileira de Geologia Núcleo Nordeste. Recife-PE, 2000. Página 178.
- PITCHER, W.S. 1993. The nature and origin of granite, Blackie Acad. Prof. London, 322p.
- READ, H.H., 1957. The granite controversy. London: Murby Publication.
- ROLIM FILHO, J.L. 1996. Caracterização de rochas ornamentais (Determinação de índices físicos). Relatório de resultados de testes geomecânicos. Área Fazendas Lagoa de Dentro e Barriguda, Alagoinha-PE. Associação Tecnológica do Estado de Pernambuco (ATEPE).
- SÁ, J.M., BERTRAND, J.M. and LETERRIER, J. 1997. Geocronologia U-Pb e geoquímica de ortognaisses Paleo e Mesoproterozóicos da região de Taquaritinga-PE. In: *Resumos Expandidos*, XVIII SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, Fortaleza-CE, 108-112.
- SANTOS, E.J. & BRITO NEVES, B.B. 1984. Província Borborema. In: Almeida, F.F.M & Hasuy, Y. (coords). O Pré-Cambriano do Brasil. São Paulo, Edgar Blucher, p.123-186.
- SANTOS, E.J.; COUTINHO, M.G.N.; COSTA, M.P.A; RAMALHO, R. 1984. A Região de Dobramentos NE e a Bacia do Parnaíba, incluindo o Cráton de São Luís e as Bacias Marginais. In: Schobbenhaus, C. et al. Geologia do Brasil. Brasília: DNPM, 1984. 501p. il. Cap.5, p. 131-186.
- SANTOS, E.J. 1993. O episódio magmático de 1.1-0.9 Ga do Domínio Extremo Nordeste. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, resumos expandidos, 15. 13: 322-323.
- SANTOS, E.J.; VAN SCHMUS, W.R. & BRITO NEVES, B.B. 1994. Investigação geocronológica U/Pb e Sm/Nd em zona de colisão múltipla de arcos na região de Floresta (PE), Faixa Pajeú-Paraíba, Província Borborema. In: CONG. BRAS. GEOL., 38, 1:247-249.
- SANTOS, E.J. 1995. O complexo granítico Lagoa das Pedras: acreção e colisão na região de Floresta (Pernambuco), Província Borborema. São Paulo, 219p. (Tese de doutoramento, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo).
- SANTOS, E.J. 1996. Ensaio preliminar sobre terrenos e tectônica acrecionária na Província Borborema. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39, Salvador, 1996. Anais..., Salvador, SBG/NÚCLEO BAHIA-SERGIPE, 6:47-50.
- SANTOS, E.J. & MEDEIROS, V.C. 1997. Constraints from granitic plutonism on proterozoic crustal growth of the Zona Transversal Domain, Borborema Province, NE Brazil. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON GRANITES AND ASSOCIATED MINERALIZATION, 2. Salvador, 1997. Extended..., Salvador/SGM.

- SANTOS, E.J. 1998. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil: Carta Geológica. Escala 1:250.000 (Folha SC.24-X-A- Belém do São Francisco). Brasília, CPRM.
- SANTOS, E.J. & MEDEIROS, V.C. 1999. Constraints from granitic plutonism on Proterozoic crustal growth of the Transverse Zone, Borborema Province, NE Brazil *Revista Bras. Geociências*, **29**:73-84.
- SANTOS, T. 1999. Evolução Tectônica e Geocronológica do Extremo Noroeste da Província Borborema. Tesis, Universidade Estadual Paulista - UNESP, Rio Claro-SP, 186 p, (unpublished).
- SAWYER, E.W.; BARNES, S.J. 1988. Temporal and compositional differences between subsolidus and anatectic migmatite leucosomes from the Quetico metasedimentary belt, Canada. In: Tracy, R.J.; Day, H.W. (Eds.), Studies in the genesis and deformation of migmatites. *J. Metamorph. Geol.*, vol. **6**, pp. 437-450.
- SCHALTEGGER, U., FANNING, C.M., GUENTHER, D., MAURIN, J.C., SCHULMANN, K. & GEBAUER, D. 1999. Growth, annealing and recrystallization of zircon and preservation of monazite in high-grade metamorphism; conventional and in-situ U-Pb isotope, cathodoluminescence and microchemical evidence. *Contrib. Mineral. Petrol.* 134, pp. 186-201.
- SEDERHOLM, J.J. 1923. On migmatites and associated Pre-Cambrian rocks of Southwest Finland. *Comm. Geol. Finlande Bull.* 58, & 1926 Bull.77, & 1934, Bull 107.
- SEDERHOLM, J.J. 1967. Selected Works: Granites and Migmatites. Edinburgh Oliver & Boyd.
- SHAND, S.J. 1950. Eruptive Rocks, 4th edn. New York: Wiley Publication, 51p.
- SIAL, A.N., LIMA, E.S., PESSOA, D.A., CASTRO, C., VILLARROEL, H.S., DA SILVA, M.R.R. 1981. Geoquímica de dois stocks granodioríticos de Serrita (PE): e elementos maiores. Universidade Federal de Pernambuco, Depto. Geologia, *Estudos e Pesquisas*, 4:27-52.
- SIAL, A.N. 1984. Litogeoquímica de elementos terras raras na caracterização de granitóides no espaço Cachoeirinha, Nordeste do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33, Rio de Janeiro, 1984. *Anais...*, Rio de Janeiro, SBG, pp. 2697-2709.
- SIAL, A.N.; Ferreira, V.P. 1990. Granitoids in northeastern Brazil: oxygen and sulphur isotope compositions and depth of emplacement. *Jour. South Amer. Earth Sci.*, **3**(2):103-112.
- SILVA FILHO, A.F., THOMPSON, R.N., LEAT, P.T. 1987. Petrology of Terra Nova Pluton, Brazil, and associated ultrapotassic dikes. *Rev. Bras. Geoc.*, **17**(4):481-487.

- SILVA FILHO, A.F.; VAN SCHMUS W.R.; GUIMARÃES, I.P.; LUNA, E.B. 1997. The usage of Sm-Nd isotopic signature of granites as a tool for defining sub-domains in the southern tectonic domain, Borborema Province, NE Brazil. In: XVII SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, Fortaleza, 128-131p.
- SILVA FILHO, A.F.; GUIMARÃES, I.P. E VAN SCHMUS W.R., (Inédito). Mantle accretion evidence during the Neoproterozoic of the Pernambuco-Alagoas Terrane, and its significance of the evolution of the Borborema Province, NE Brazil.
- SILVA FILHO, A F.; GUIMARÃES, I.P.; VAN SCHMUS, W.R. 1999. Crustal Evolution of the PE-AL Terrane, Borborema Province, NE Brazil, Based on the Sm-Nd Data of Their Proterozoic granitic Batholiths. UFPE, Recife-PE. Inédito.
- SILVA FILHO, A.F.; VAN SCHMUS W.R.; GUIMARÃES, I.P.; SIQUEIRA, D.V.; LUNA, E.B. 2000. Granitoids of ca. 1 Ga. T(DM) in the Southern Pernambuco-Alagoas Massif margin, NE Brazil; a Mesoproterozoic plate? In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA. Rio de Janeiro, Brasil.
- SILVA FILHO, A F.; GUIMARÃES, I.P.; VAN SCHMUS, W.R. 2001. Neoproterozoic lithospheric granite systems in the Pernambuco-Alagoas Complex, and their significance for evolution of NE Brazil. *The Geological Society of America*, GSA Annual Meeting, Abstract ID: 26204.
- SILVA FILHO, A F.; GUIMARÃES, I.P.; VAN SCHMUS, W.R. Crustal evolution of the Pernambuco-Alagoas Complex, Borborema Province, NE Brazil: Sm-Nd data from Neoproterozoic granitoids. *Journal of Gondwana Research*, IN PRESS: 2002.
- SPEAR, F.S.; KOHN, M.J. AND CHENEY, J.T. 1999. P-T paths from anatectic pelites. *Contrib. Mineral. Petrol.* **134**, pp. 17-32.
- STRECKEISEN, A., 1976. To each plutonic rock its proper name. *Earth Sci. Rev.*, **12**:1-33.
- VAN SCHMUS, W.R.; BRITO NEVES, B.B.; HACKSPACHER, P., BABINSKI, M. 1993. Identification of crustal blocks in northeast Brazil using Sm-Nd and U-Pb geochronology. Simpósio sobre o Cráton São Francisco, Anais, 2, p.p. 239-242.
- VAN SCHMUS, W.R., BRITO NEVES, B.B., BABINSKI, M. 1994. Mesoproterozoic crustal domains in Borborema Province: evidence from U/Pb and Sm/Nd geochronology. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38. Balneário de Camboriú, 1994. Anais...Balneário de Camboriú, SBG, 403-404.
- VAN SCHMUS, W.R., BRITO NEVES, B.B., HACKSPACHER, P., BABINSKI, M. 1995. U/Pb and Sm/Nd geochronologic studies of the eastern Borborema Province, Northeastern Brazil: initial conclusions. *J. South Am. Earth Sci.*, **8**:267-288.
- VAN SCHMUS, W.R., BRITO NEVES, B.B., HACKSPACHER, P., BABINSKI, M.; FETTER, A.H.; DANTAS E.L. 1997. Application of U-Pb in Sm-Nd geochronology

to understanding the geotectonic history of the Borborema Province, NE Brazil, in the its implications for the evolution of West Gondwana. Extended Abstracts, SOUTH AMERICAM SYMPOSIUM ON ISOTOPE GEOLOGY, Campos do Jordão-SP, Brazil, June, pp. 27-29.

VAN SCHMUS, W.R., BRITO NEVES, B.B., HACKSPACHER, P.C.; FETTER, A.H.; KOZUCH, M.; DANTAS E.L.; BABINSKI, M. 1998. The Borborema Province: a collage of polycyclic crustal domains in NE Brazil. In: FOURTEENTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON BASEMENTS TECTONICS, Ouro Preto, Brazil.

VIDAL, F.W.H. 1999. Estudo dos elementos abrasivos de fios diamantados para a lavra de granitos de Ceará. Tese apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção Título de Doutor em Engenharia, 189p.

VIELZEUF, D. & VIDAL, P. (Eds.). 1990. Granulites and crustal evolution. NATO ASI Ser., Ser. C, vol. 311, Kluwer, Dordrecht, 585 pp.

VOIGHT, B. 1966. Interpretação of in situ stress measurements. In: FIRST CONGRESS INT. SOC. OF ROCK MECHANICS. Vol. III, 332-348.

WATSON, E.B. 1987. The role of accessory minerals in granitoid geochemistry. In: Hutton Conference of the Origin of Granites. Univ. Edinburgh: 209-211.

WATT, G.R., BURNS, I.M. and GRAHAM, G.A. 1996. Chemical characteristics of migmatites; accessory phase distribution and evidence for fast melt segregation rates. *Contrib. Mineral. Petrol.* **125**, pp. 100-111.

WICKHAM, S.M. 1987. Crustal anatexis and granite petrogenesis during low pressure regional metamorphism: the Trois Seigneurs Massif, Pyrenees, France. *J. Petrol.* **28**, pp. 127-169.

WINKLER, H.G.F. & VON PLATEN, H. 1961. Experimentelle Gesteinsmetamorphose: IV. Bildung anatektischer Schmelzen aus metamorphisierten Grauwacken. *Geochim. Cosmochim. Acta* **24**, pp. 48-69.

WHITE, A.J.R. 1966. Genesis of migmatites from the Palmer region of South Australia. *Chem. Geol.* **1**, pp. 165-200.

WOOD, D.A. 1980. The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary volcanic province. *Earth Planet, Sci. Lett.*, **50**, 11-30.

ZOBACK, E. 1989. Global patterns of tectonics stress. *Nature*, Vol. **341**, 291-298.

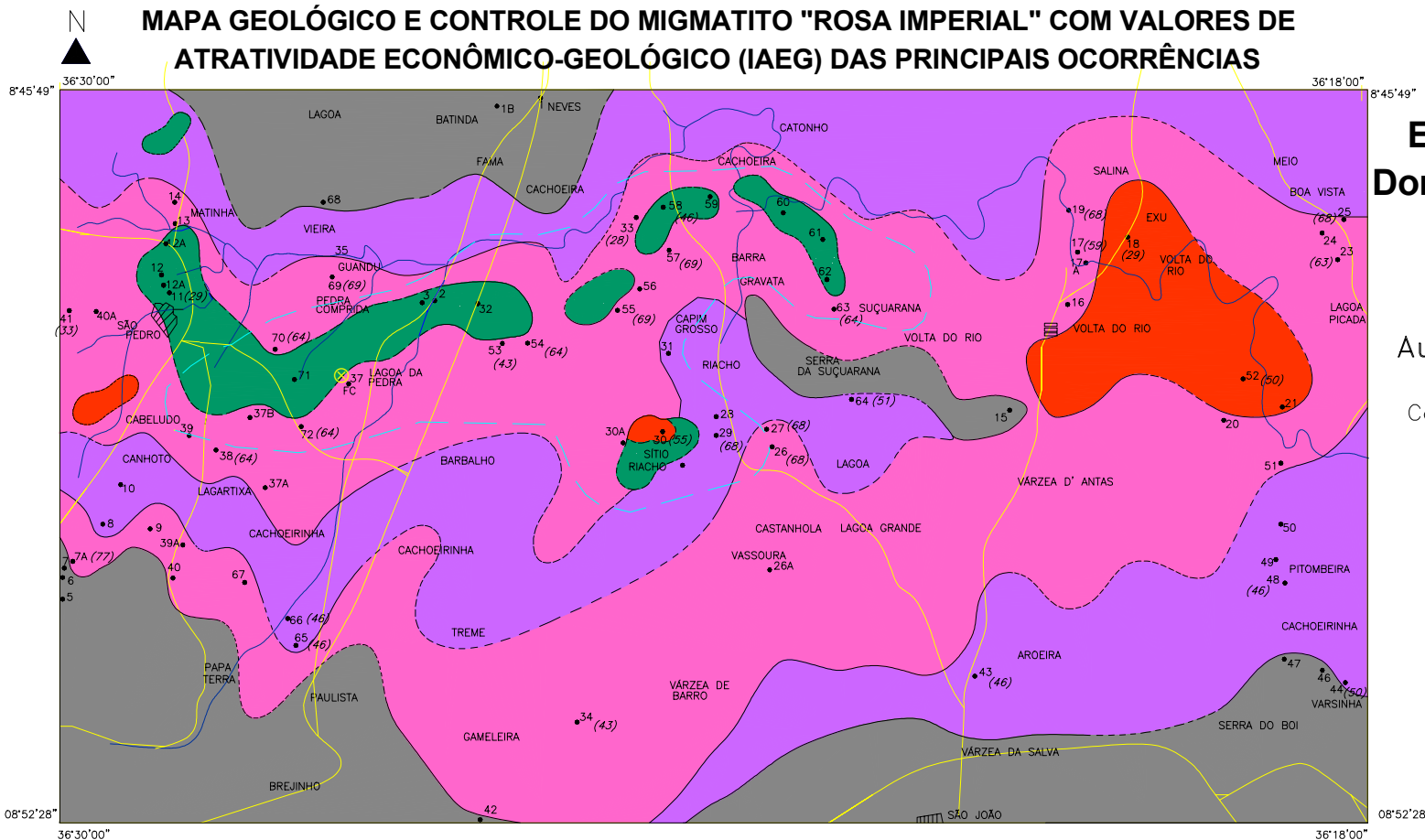
ANEXOS

ANEXO 1: MAPA GEOLÓGICO

ANEXO 2: MAPA GEOLÓGICO E CONTROLE DO MIGMATITO “ROSA IMPERIAL”, COM VALORES DE ATRATIVIDADE ECONÔMICO GEOLÓGICO (IAEG) DOS PONTOS DE AFLORAMENTOS E/OU AS PRINCIPAIS OCORRÊNCIAS

Anexo 2

MAPA GEOLÓGICO E CONTROLE DO MIGMATITO "ROSA IMPERIAL" COM VALORES DE ATRATIVIDADE ECONÔMICO-GEOLÓGICO (IAEG) DAS PRINCIPAIS OCORRÊNCIAS



Dissertação de Mestrado
Geologia, Geoquímica e Avaliação

Econômica do Migmatito "Rosa Imperial",
Domínio Meridional da Província Borborema,
Nordeste Brasileiro

Autor: Luis Christian De Montreuil Carmona
Orientador: Prof. Marcelo Reis Rodrigues da Silva
Co-orientador: Prof. Adejardo Francisco da Silva Filho

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Contato Geológico Definido
- - - Contato Geológico Inferido
- 52 Afloramento
- 52 (50) Afloramento / Valores de IAEG
- ⊗ FC Mineração Ferreira Costa
- Área selecionada de maior potencial do migmatito "Rosa Imperial", com valores de IAEG maiores de 60.
- Estradas
- Rios / Riachos



RELAÇÃO DAS MAIS IMPORTANTES OCORRÊNCIAS PARA FINS ORNAMENTAIS NA ÁREA ESTUDADA

Ocorrência	Localidade	Coordenadas	Cor	Fraturam.(FF)	FE	Relevo	Tipo de rocha	AE (m2)	IAEG
Ponto 7-A	Cachoeira/Papa Terra	S 8°50.386/W 36°29.845	Rósea-preta	Baixo	Movimentada	Colinas	Migmatito R. I.	40	77
Ponto 11	São Pedro (Itacatu)	S 8°47.679/W 36°29.109	Cinza-preto	Muito alta	Orientada	SO	Granodiorito/Qz-diorito	100	29
Ponto 17	Volta do Rio e Calçada	S 8°47.647/W 36°20.759	Rósea-cinza	Média	Movimentada	SO	Migmatito R. I.	60	59
Ponto 18	Volta do Rio (norte)	S 8°47.198/W 36°20.299	Creme-cinza	Muito alta	Orientada	SO	Granito leucocrático	120	29
Ponto 19	Volta do Rio (sul)	S 8°48.546/W 36°20.869	Rósea-cinza	Baixo	Movimentada	Colinas	Ortogna,/Migmatito R. I.	60	68
Ponto 23	Lag. da Picada/Melancia	S 8°47.406/W 36°18.236	Rósea-preto	Baixo	Movimentada	SO	Ortogna,/Migmatito R. I.	60	63
Ponto 25	Sítio Boavista	S 8°47.152/W 36°18.294	Rósea-cinza	Baixo	Movimentada	Colinas	Ortogna,/Migmatito R. I.	200	68
Ponto 26	Sítio Riacho	S 8°48.820/W 36°23.394	Rósea-cinza	Baixo	Movimentada	Colinas	Ortogna,/Migmatito R. I.	50	68
Ponto 27	Sítio Riacho	S 8°48.663/W 36°23.785	Vermelho-cinza	Baixo	Movimentada	Colinas	Ortogna,/Migmatito R. I.	80	68
Ponto 29	Sítio Riacho	S 8°48.956/W 36°24.199	Rósea-cinza	Baixo	Movimentada	SO	Granito foliado/metatexito	150	68
Ponto 30	Sítio Riacho	S 8°48.938/W 36°24.449	Cinza-róseo	Baixo	Orientada	SO	Granito foliado	55	55
Ponto 33	Sítio Cachoeira	S 8°46.868/W 36°24.881	Rósea-cinza	Muito alta	Orientada	SO	Leucogranito	120	28
Ponto 34	Gameleira	S 8°51.715/W 36°25.583	Rósea-cinza	Muito alta	Movimentada	Colinas	Migmatito R. I.	220	43
Ponto 38	Canhoto e Cabeludo	S 8°49.082/W 36°28.625	Rósea-cinza	Média	Movimentada	Colinas	Migmatito R. I.	100	64
Ponto 41	São Pedro (oeste)	S 8°47.796/W 36°29.971	Rósea-cinza	Muito alta	Movimentada	SO	Migmatito R. I.	50	33
Ponto 43	Aroeira	S 8°51.225/W 36°21.616	Amarelo-cinza	Média	Orientada	Aplainado	Paragnaisse/metatexito	46	46
Ponto 44	Sítio Varzinha	S 8°51.198/W 36°18.149	Amarelo-cinza	Média	Orientada	SO	Paragnaisse/metatexito	30	50
Ponto 48	Pitombeira	S 8°50.365/W 36°18.876	Cinza	Média	Orientada	SO	Paragnaisse/metatexito	20	46
Ponto 52	Volta do Rio (leste)	S 8°48.612/W 36°19.123	Branca-cinza	Média	Orientada	SO	Leucogranito	50	50
Ponto 53	Lagoa da Pedra	S 8°48.255/W 36°26.089	Rósea-preta	Muito alta	Movimentada	Colinas	Ortogna,/Migmatito R. I.	50	43
Ponto 54	Lagoa da Pedra	S 8°48.125/W 36°25.786	Rósea-cinza	Média	Movimentada	SO	Migmatito R. I.	40	64
Ponto 55	Cachoeira	S 8°47.684/W 36°24.838	Rósea-cinza	Média	Movimentada	Colinas	Ortogna,/Migmatito R. I.	300	69
Ponto 57	Capim Grosso (norte)	S 8°47.388/W 36°24.439	Rósea-cinza	Média	Movimentada	Colinas	Ortogna,/Migmatito R. I.	60	69
Ponto 58	Cachoeira	S 8°46.726/W 36°24.317	Cinza	Média	Orientada	SO	Granodiorito/Qz-diorito	30	46
Ponto 63	Suquarana	S 8°47.835/W 36°22.812	Rósea-cinza	Média	Movimentada	Colinas	Migmatito R. I.	64	64
Ponto 64	Serra da Suquarana	S 8°48.783/W 36°22.626	Branca-cinza	Média	Orientada	Colinas	Paragnaisse/metatexito	50	51
Ponto 65	Paulista/Papa Terra	S 8°50.885/W 36°27.796	Cinza	Média	Orientada	SO	Paragnaisse/metatexito	40	46
Ponto 66	Paulista/Papa Terra	S 8°50.625/W 36°27.858	Amarelo-cinza	Média	Orientada	SO	Paragnaisse/metatexito	46	46
Ponto 69	Guandu/Pedra Comprida	S 8°47.547/W 36°27.389	Rósea-cinza	Média	Movimentada	Colinas	Migmatito R. I.	160	69
Ponto 70	P.Comprida/Lag. da Pedra	S 8°48.181/W 36°27.796	Rósea-cinza	Média	Movimentada	SO	Migmatito R. I.	100	64
Ponto 72	Lagoa da Pedra	S 8°48.833/W 36°27.682	Rósea-cinza	Média	Movimentada	SO	Migmatito R. I.	40	64

FF: Fator de Fraturamento ** FE: Fator de Estrutura; *** AE: Área de Exposição; IAEG: Índice de atratividade econômico-geológico

Mesoproterozóico
Terreno Pernambuco-Alagoas

Complexo Cabrobó

Complexo Belém do São Francisco

- Leucogranitos: Rocha de granulação grosseira heterogênea, constituída predominantemente por minerais de coloração clara (quartzo, plagioclásio, K-feldspato e subordinadamente muscovita, granada) e de minerais máficos (principalmente biotitas e opacos). Estas seqüências metassedimentares, metamorfisadas em fácies anfibolito de alto grau, apresentam localmente processos de anatexia, onde são observados termos migmatíticos e leucogranitoides neossomatícios.
- Ortognaises granodioríticos/tonalíticos, leucocráticos de cor cinza, geralmente migmatizados e migmatitos com protólito metaplutônico. Ocorrem em texturas nebulíticas e schlieren. Apresentam dois fácies principais: um potássico de cor predominantemente rosa (mais rico em K feldspatos) e outro cálcio-sódico, de cor branca a cinzulado (mais rico em plagioclásios). Apresentam-se diques pegmatíticos e apfíticos.
- Metagranodioritos a metadioritos/biotita ortognaises cinzentos e metadioritos, constituem o mesossoma quartzo diorítico/tonalítico a biotita
- Migmatitos com protólito metassedimentar predominando tipos estromáticos. Os migmatitos são derivados de metapelitos (micaxistos e paragnaises), observando-se muita biotita e muscovita em sua composição mineralógica, além de granadas.
- Supracrustais metamorfizadas nas fácies anfibolito: quartzitos, metarcósios, muscovita gnaises, biotita gnaises quartzo-feldspáticos (podendo conter granada), mica-xistos, paragnaises (por vezes migmatizados).