

ELTON RICHART ADAM

***OS MÁRMORES DA REGIÃO DO TIGRE-PR:
CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS E TECNOLÓGICAS***

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Geologia Exploratória, Curso de Pós-Graduação em Geologia, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. José Manoel dos Reis Neto; Co-orientador: Prof. Dr. . Sidnei Pires Rostirolla

**CURITIBA
2004**

Adam, Elton Richart

Os mármore da Região do Tigre-PR Características geológicas e tecnológicas.

Elton Richart Adam.

Curitiba: UFPR / SCT / PG-G, 2005.

xiii, 119p. 55; il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná – Dissertação -Tese. 2.

Características geológicas e tecnológicas. – Dissertação. I. Título. II. Dissertação (Mestre. – UFPR / SCT / PG-G).

Dedico este trabalho
à minha mãe Wilma e
ao meu pai Luiz (*in memorian*),
aos meus irmãos Egon, Cláudio,
Luiza e Edgar e à grande amiga Sandra.
A eles devo muito por toda a compreensão
e auxílio em todas as etapas.

AGRADECIMENTOS

Deixo aqui um intenso agradecimento a todas as pessoas que direta ou indiretamente auxiliaram para que fosse possível a elaboração deste trabalho.

Primeiramente ao meu orientador Prof. Dr. **José Manoel dos Reis Neto**, pelo incentivo e compreensão durante todas as etapas do trabalho, pela atenção dispensada durante a etapa de campo e pela criteriosa revisão final.

A minha grande amiga Geól. **Sandra Boeira Guimarães**, pela paciência, carinho, companheirismo e incentivo a mim dispensados, pelas participações nas etapas finais de campo, discussões teóricas altamente proveitosas, valiosa colaboração na realização dos trabalhos de petrografia e pelo trabalho de geoprocessamento.

A **Aco Mineração Ltda.** pelo auxílio em todas as etapas de desenvolvimento deste trabalho, como logística, fornecimento de materiais, veículos e equipamentos, acesso aos acervos técnicos e áreas de pesquisa e, principalmente, pelo incentivo e compreensão dispensados, sem os quais não seria possível a finalização deste projeto.

Ao colega Geól. **Antonio Fialho Sobanski** pela leitura, opiniões, discussões, empréstimo de bibliografias e mapas e sugestões durante a realização deste trabalho.

Ao Prof. **Mauro Salgado Monastier** pelo empréstimo e consultas a relatórios, mapas e lâminas petrográficas de equipes de mapeamento de graduação em geologia da UFPR.

Ao Prof. Dr. **Sidnei Pires Rostirolla** pelas valiosas sugestões e observações finais.

A bibliotecária **Eliane Maria Stroparo** pela presteza e carinho dispensados.

A **UFPR** pela realização de todas análises químicas e difratometrias de raio X, através do **LAMIR – Laboratório de Mineração** e ao **LAMIN – Laboratório de Laminação** pela confecção de lâminas delgadas.

Ao projeto **DIMICAL** pelo apoio recebido durante os Seminários da Pós-graduação e pela inserção do tema que desenvolvi dentro de seu contexto.

Ao **Colegiado da Pós-Graduação em Geologia da UFPR** pela compreensão e estímulo e concessão na expansão do prazo para conclusão do presente.

A minha família pela compreensão de minha ausência.

Muito grato.

Elton Richart Adam

SUMÁRIO

CAPÍTULO I.....	1
1 – Introdução.....	1
1.1 – Objetivos	1
1.2 - A Região do Tigre – Características Fisiográficas	2
1.3 - Estado da Arte.....	6
1.3.1 - Histórico da Mineração na Região do Tigre	9
1.4 – Métodos de Trabalho.....	12
1.4.1 – Levantamento Bibliográfico.....	13
1.4.2 - Ensaios e Análises de Laboratório	15
1.4.3 – Análises Petrográficas	15
1.4.4 – Análises Semiquantitativas de Carbonatos por Fluorescência de Raios X.....	16
1.4.5 – Análises Químicas.....	16
1.4.6 – Tratamento e Análise Estatística dos Dados Químicos.....	16
1.4.7 – Ensaios Tecnológicos.....	17
CAPÍTULO II	19
1 - Contexto Geológico Regional.....	19
1.1 – Estratigrafia na Região do Tigre	20
1.1.1 - DOMÍNIO TECTÔNICO SETUVA - Grupo Setuva na Região do Tigre - Pr	24
1.1.1.1 – Biotita Gnaisses Bandados Miloníticos.....	24
1.1.1.2 – Quartzitos	25
1.1.2 – DOMÍNIO TECTÔNICO TRANQUEIRA, PESSEGUEIRO E QUEIMADINHO - Formação Capiru – Conjunto Litológico Bocaina – Região do Tigre – PR.	26
1.1.2.1 – Dolomita Mármore	27
1.1.2.2 – Filitos Indiferenciados.....	29
1.1.2.3 – Quartzitos	31
1.1.3 – DOMÍNIO TECTÔNICO VOTUVERAVA – Formação Votuverava – Conjunto Litológico Bocaina – Região do Tigre – PR	33
1.1.4 - Formação Serra Geral – Diabásios, Micro Gabro, Dioritos e Doleritos.....	35
1.1.5 – Sedimentos Aluvionares Quaternários	37
1.2 – Aspectos Estruturais.....	37
1.2.1 – Aspectos Estruturais Regionais.....	39
1.2.2 – Aspectos Estruturais da Região do Tigre	40
1.2.2.1 – Falhas Transcorrentes.....	41
1.2.2.2 – Falhas de Cavalgamento.....	42
1.2.2.3 – Outras Estruturas	45
1.2.3 – Análise Estrutural da Região do Tigre	48
1.2.4 - Evolução Estrutural da Área	50
1.2.5 – A estrutural como Condicionamento para a Exploração de Mármore para Revestimento.....	53
CAPÍTULO III.....	61
1 - Caracterização do Mármore “Branco Paraná”	61
1.1 - Consideração Sobre o Conceito de Mármore	62
1.2 – Deferências sobre a Gênese do Mármore “Branco Paraná”	63
1.2.1 – A Dolomitização Proterozóica	64
1.2.2 – O Mar Capiru na Região do Tigre - Processos e Produtos.....	65
1.2.3 – Registros da Tectônica Deformadora	67
1.3 – Aspectos Petrográficos e Mineralógicos	67
1.3.1 – Critérios de Classificação e Nomenclatura	69

1.3.2 – As Características Petrográficas	71
1.3.2.1 – Domínio Tectônico Tranqueira	71
1.3.2.2 – Domínio Tectônico Pessegueiro.....	74
1.3.2.3 – Domínio Tectônico Queimadinho	76
1.4 – Geoquímica do Mármore “Branco Paraná”	79
1.4.1 – Aspectos Geoquímicos dos Mármore Proterozóicos.....	79
1.4.2 – Caracterização química do Mármore “Branco Paraná”	79
1.4.2.1 - Classificação Química	79
1.4.2.2 - Influência da Tectônica Deformadora no Quimismo da Rocha.....	80
1.4.2.3 – Distribuição dos Elementos Químicos	85
1.5 – Ensaio Tecnológicos	94
1.5.1 - Caracterizações para Uso em Revestimento de Edificações.....	94
1.5.1.1 – Massa Específica Aparente	98
1.5.1.2 – Porosidade Aparente	99
1.5.1.3 – Absorção de Água	100
1.5.1.4 – Resistência a Flexão e Compressão	101
1.5.1.5 – Coeficiente de Dilatação Térmica Linear – Congelamento e Degelo.....	101
1.5.1.6 – Abrasão - Los Angeles e Desgaste Amsler	102
CAPÍTULO IV	104
1 –Discussões	104
1.1 - O Domínio Tectônico Pessegueiro	104
1.2 - O Domínio Tectônico Queimadinho.....	105
1.3 - O Domínio Tectônico Tranqueira.....	105
1.4 - A Estrutural da Região do Tigre	106
1.5 – Considerações Petrográficas	107
1.6 – Aspectos tecnológicos	108
CAPÍTULO V	109
1 –Conclusões Finais.....	109
CAPÍTULO VI.....	111
1 – Referências.....	111

ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Mapa político simplificado com a localização da área em estudo.....	4
Figura 2 – Modelo Digital de Superfície da área, onde se observa características do relevo.....	5
Figura 3 – Mapa das localidades das principais jazidas de dolomita mármore.....	9
Figura 4 – Foto da Gruta de Campinhos.....	10
Figura 5 – Foto dos trabalhos de exploração de dolomita mármore na década de 40.....	11
Figura 6 – Foto da Mina Capuava.....	12
Figura 7 – Mapa de Pontos com a localização dos afloramentos descritos e amostrados.....	14
Figura 8 - Distribuição dos conjuntos litológicos integrantes do Grupo Açungui.....	19
Figura 9 – Mapa tridimensional dos Domínios Tectônicos.....	22
Figura 10 - Mapa geológico esquemático da ocorrência de gnaiss.....	24
Figura 11 - Amostra de gnaiss milonítico.....	25
Figura 12 – Diferentes faciologias dos dolomita mármore.....	28
Figura 13 – Mapa geológico com exposição dos filitos.....	30
Figura 14- (A) Sericita filito e (B) Quartzo-sericita filito.....	31
Figura 15 – Mapa geológico esquemático das ocorrências de quartzitos.....	32
Figura 16 – Mapa geológico esquemático mostrando os filitos.....	34
Figura 17 – (A) Filito de coloração cinza e (B) Filito de coloração avermelhada.....	35
Figura 18 – Mapa geológico esquemático dos diabásios e/ou doleritos.....	36
Figura 19 – Modelo Digital de Superfície com os lineamentos estruturais.....	38
Figura 20 - Diagrama de contorno das fraturas.....	41
Figura 21 – Mapa estrutural com a compartimentação tectônica.....	43
Figura 22 – Fotografia de dobra referente a estrutura dúctil.....	44
Figura 23 - Diagrama de contorno das fraturas do DTQ.....	45
Figura 24 - Diagrama de contorno das fraturas do DTP.....	45
Figura 25 - Diagrama de contorno das fraturas do DTT.....	45
Figura 26 – Diagrama de densidade de Foliação S_1	46
Figura 27 – Diagrama de representação ciclográfica de foliação S_1	46
Figura 28 - Diagrama de contorno de foliações S_n	47
Figura 29 – Dobra de arrasto.....	49
Figura 30 – (A) Duplex e (B) Esquema do desenvolvimento de leques.....	50
Figura 31 – Localização dos afloramentos.....	56
Figura 32 - Pedreira a SW do corpo Tigre.....	59
Figura 33 – Mapa dos domínios tectônicos e localização de pontos amostrados.....	68

Figura 34 – Fotomicrografias digitais de metadolomito.....	70
Figura 35 – Fotomicrografia digital de cristais de dolomita.....	70
Figura 36 – Fotomicrografia digital de quartzo dolomita mármore.....	74
Figura 37 – Diagrama isobárico para reações em rochas dolomíticas (Winkler, 1976).....	82
Figura 38 – Diagrama isobárico para reações em rochas dolomíticas (Skippen, 1974).....	82
Figura 39 – Fotomicrografia digital de macla deformada em cristal de dolomita.....	83
Figura 40 – Fotomicrografias digitais dos cristais e recristalização das dolomitas.....	84
Figura 41 – Gráficos de teores de CaO e MgO no DTT.....	91
Figura 42 – Gráficos de teores de CaO e MgO no DTQ.....	91
Figura 43 – Diagrama SiO_2 x MgO	92
Figura 44 – Diagrama Al_2O_3 x Fe_2O_3	92
Figura 45 – Diagrama TiO_2	92
Figura 46 – Diagrama MnO	93
Figura 47 – Diagrama Na_2O x K_2O	93
Figura 48 – Diagrama P_2O_5	94
Figura 49 – Gráfico da massa específica em mármore.....	95
Figura 50 - Gráfico comparativo da massa específica do Mármore “Branco Paraná” em relação a outros mármore.....	98
Figura 51 - Gráfico comparativo da porosidade do Mármore “Branco Paraná” em relação a outros mármore.....	99
Figura 52 - Gráfico comparativo da absorção do Mármore “Branco Paraná” em relação a outros mármore.....	100
Figura 53 - Gráfico comparativo da flexão do Mármore “Branco Paraná” em relação a outros mármore.....	101
Figura 54 - Gráfico comparativo de congelamento e degelo do Mármore “Branco Paraná” em relação a outros mármore.....	102
Figura 55 - Gráfico comparativo da abrasão do Mármore “Branco Paraná” em relação a outros mármore.....	103

TABELAS

Tabela 1 – Vértices do polígono.....	3
Tabela 2 – Coluna litoestratigráfica.....	23
Tabela 3 – Classificação petrográfica para as rochas carbonáticas.....	69
Tabela 4 – Descrição Petrográfica dos litotipos do Domínio Tectônico Tranqueira.....	72
Tabela 5 - Descrição Petrográfica dos litotipos do Domínio Tectônico Pessegueiro.....	75
Tabela 6 - Descrição Petrográfica dos litotipos do Domínio Tectônico Queimadinho.....	77
Tabela 7 – Nomenclatura de carbonatos calcíticos e dolomíticos.....	80
Tabela 8 – Valores médios dos dados químicos do Domínio Tectônico Queimadinho.....	86
Tabela 9 – Valores médios dos dados químicos do Domínio Tectônico Tranqueira.....	88
Tabela 10 – Média dos elementos e desvio padrão.....	94
Tabela 11 – Resultados físicos de litotipos utilizados como rocha ornamental.....	96
Tabela 12 – Comparativo entre Mármore Brasileiros destinados a Exportação.....	97

RESUMO

A região do Tigre é historicamente conhecida pela exploração de mármore dolomíticos, comercialmente conhecido como Mármore “Branco Paraná”, destinado à construção civil para emprego em revestimento. A região situa-se a noroeste da cidade de Bocaiúva do Sul – PR no limite com o Município de Cerro Azul –PR, local este pertencente a Formação Capiu do Grupo Açungui. Ali concentra-se uma série de pedreiras, na sua maioria com frentes de lavra desativadas. Dentre as empresas que extraem o mármore na região, somente uma apresenta conhecimento geológico e tecnológico suficiente para impulsionar a exploração, embora se restrinja somente as suas frentes de lavra atuais. Os primeiros estudos realizados na região datam de 1925, após esta época, na década de 1940, outros estudos foram retomados, mas em seguida abandonados. Dentre os pesquisadores que mais contribuíram para o conhecimento geológico da região foi Bigarella, com suas pesquisas nos anos 60, avançaram no entendimento geoquímico daquela área. O mármore “Branco Paraná” é extraído em parte para consumo interno brasileiro, e em outra, destinado à exportação, onde segue já beneficiado, principalmente para países do bloco asiático. A empresa exploradora detém o terceiro lugar no *ranking* das exportações de rochas beneficiadas por volume. Uma das características que recaem sobre este mármore, em detrimento de outros mármore explorados no Brasil, é sua “dureza” – resistência à abrasividade e a sua coloração branca. Baseado nestas prerrogativas é que se insere o objetivo principal desta pesquisa, a caracterização geoquímica, mineralógica, estrutural e tecnológica deste litotipo, para compreender a alta abrasividade do litotipo, com vistas à prospecção de novas jazidas que apresentem as mesmas condições. A validação empírica aliada ao estudo tecnológico e geológico foi a meta presente durante todo trabalho, pois o conhecimento dos mineradores também foi relevante, para o avanço no conhecimento científico. A metodologia constituiu de trabalhos de campo com amostragem, levantamento de perfis e dados estruturais. A região foi subdividida em cinco domínios tectônicos: O Tranqueira (DTT), o Setuva (DTS), o Pessegueiro (DTP), o Queimadinho (DTQ) e o Votuverava (DTV). Esta subdivisão baseou-se nas estruturas de cavalgamentos que compartimentam a área. A exploração do mármore “Branco Paraná” está inserida no DTQ e subdividida em dois corpos principais. O mármore do DTP apresenta pequenas variações em termos de cor e homogeneidade nos cristais. Em amostras polidas, os indícios de cristais de quartzo e material

pelítico, em geral, são mais perceptíveis macroscopicamente, do que no mármore da Vila do Tigre. A alteração intempérica superficial é bem menor do que no DTP. No domínio tectônico Queimadinho observa-se uma granulação média, e apesar de ter uma coloração branca, em certas porções percebe-se manchas cinza-claras decorrente da concentração de material pelítico. As juntas estudadas no DTP são sistemáticas, traduzidas numa maior dispersão das fraturas. Esta condicionante contribui para uma dimensão mais irregular do bloco natural explotado, prejudicando a extração com economicidade. Embora o estudo do diaclasamento efetuado nos mármore do DTQ, tenha sido a partir de dados de superfície, os espaçamentos verificados são ótimos indicadores de que ocorra um aumento destes, em níveis mais profundos. As características de fraturamento, aliadas à homogeneidade textural da rocha, as características mineralógicas e físico-mecânicas favoráveis, além de outros fatores, como boas condições topográficas, facilidades de acessos e reservas elevadas, demonstram o elevado potencial ornamental dos mármore do DTQ. A trama mineralógica do mármore do DTQ é mais homogênea do que a do mármore do DTP. A textura das rochas constitui, no entanto um elemento também muito significativo, pois o seu desgaste pode ocorrer tanto por abrasão, quanto por arranque (escarificação) dos constituintes mineralógicos. Tais aspectos reafirmam o alcance dos estudos petrográficos por microscopia óptica, que permitem tanto a definição dos constituintes mineralógicos, quanto à caracterização da textura da rocha, como elementos auxiliares para a previsão de desgaste dos materiais aplicados. Como a resistência ao desgaste é normalmente proporcional à dureza, na escala de Mohs, dos minerais constituintes da rocha, entre os mármore do DTQ, será tanto maior a resistência, quanto maior o caráter dolomítico. Este estudo permitiu um conhecimento de ambos os mármore, particularmente do seu estado de fraturamento e do potencial das áreas. Cabe salientar que os resultados aqui obtidos, tanto em superfície, quanto em profundidade, são extrapoláveis apenas para as áreas contíguas aos locais estudados, e mesmo assim com reservas, pois o fraturamento tem um componente de aleatoriedade elevada. Finalmente, deve ser salientada a importância da realização de um trabalho litoestrutural detalhado e mineralógico, antes do início da atividade extrativa, pois desta forma é possível otimizar os custos e ter uma base de planejamento para atividades mais onerosas. Além disso, podem-se minimizar os efeitos ambientais e evitar as consequências desastrosas, como aquelas verificadas nos mármore do Tigre.

ABSTRACT

The Tiger area, historically known by the exploitation of dolomitic marbles, well known commercially as “Branco Paraná” marble, destined to the civil construction for employment in coating. The area locates northwest of city of Bocaiúva do Sul - PR in the limit with Cerro Azul - PR district, localized in Acungui Group – Capiru Formation. There concentrates a series of quarries, its majority fronts it's disabled. In the companies that extract the marble in the area, only one presents geologic knowledge. The first studies accomplished in the area date of 1925, after this time, in the decade of 1940, other studies were retakes, but soon after abandoned. In the researchers that more contributed to the geologic area knowledge (sixties) were Bigarella & Salamuni, that although modest they moved forward in the geochemical understanding. The “Branco Paraná” marble is extracted partly for internal consumption, and in other, for export, where it proceeds, already beneficiary, for countries of the Asian block. The exploiting company occupied the third place in the ranking of the beneficiaries' rocks (exports for volume). One of the characteristics that they relapse on this marble, in detriment of another marbles exploited in Brazil, is its "hardness" - abrasive resistance and its white coloration. Based on these prerogatives it is that interferes the main objective of this research, the geochemical characterization, mineralogical, structural and technological of this litotipe, to understand this high abrasivity, with views to the search of new lied that present the same conditions. The empiric validation formed an alliance with the technological and geological study went to the present goal during every work, because the knowledge of the miners was also important, for the progress in the scientific knowledge. The methodology constituted of field works with sampling, rising of profiles, and structural data. The area was subdivided in five tectonic domains: Tranqueira (DTT), Setuva (DTS), the Pessegueiro (DTP), the Queimadinho (DTQ) and Votuverava (DTV). This subdivision based on the thrust faults structures that subdivided the area. The “Branco Paraná” marble exploitation it has inserted in DTQ and subdivided in two main corps. The marble of DTP presents small variations in color terms and homogeneity in the crystals. In polished samples, the indications of crystals of quartz and pelitic granulometry, in general, they are more macro perceptible than in the marble of the Tigre Ville. This last presents a medium granulation and in spite of having a white coloration, in certain portions ash-clear stains are observed due to the concentration of pelitic material. The superficial alteration is much smaller than in DTP. The joints studied in DTP is non-systematic, translated in a larger dispersion of the fractures, have larger influence. This conditional contributes to a more irregular dimension of the exploited natural block, harming the economic extraction. Although the study of the fractures in the DTQ marbles, have been starting from surface data, the verified spacing

are great indicators that it happens an increase of these, in deeper levels. The fractures characteristics, formed an alliance with the rocks homogeneity textural, the mineralogical characteristics, favorable physical-mechanics, besides other factors, as good topographical conditions, means of accesses, and high quarries, demonstrate high ornamental potential in the DTQ marbles. The DTQ texture marble is very homogeneous than the DTP marble. The texture of the rocks constitutes, however an element also very significant, because its waste can happen so much for abrasion, as for outburst (escarification) of the mineralogical representatives. Such aspects reaffirm the reach of the petrographic studies for optical microscopy, that they allow the mineralogical representatives definition so much, with relationship to the characterization of the rock texture, as auxiliary elements for the forecast of waste of the applied materials. As the resistance to the waste is usually proportional to the hardness, in the scale of Mohs, of the minerals representatives of the rock, among the DTQ marbles, it will be so much larger the resistance, as larger the dolomitic character (magnesium). This study allowed knowledge of both marbles, particularly of its state fractures and of the potential of the areas. The results to point out that here obtained, so much in surface, as in depth, they are you just extrapolated for the contiguous areas to the studied places, and even so with reservations, because the fractures has a component of high random. Finally, it should be pointed out the importance of the accomplishment of a work detailed and mineralogical lito-estructural, before the beginning of the extractive activity, because this way it is high possible reduce the costs and to have a planning base for more onerous activities. Besides, the environmental effects can be minimized and to avoid the disastrous consequences, as those verified in the Tigre marbles.

CAPÍTULO I

1 – Introdução

As rochas calcárias, litotipos muito comum em terrenos Proterozóicos, tem despertado interesse de pesquisadores como ferramenta auxiliar no entendimento de fenômenos geológicos pretéritos. Estas rochas, quando metamorfizadas são comumente conhecidas como mármore e preservam informações em sua geoquímica e mineralogia capaz de desvendar lacunas existentes nos estudos de geologia exploratória.

Na execução de trabalhos de caracterização tecnológica dos mármore dolomíticos da Região do Tigre, Município de Cerro Azul – PR, litotipos integrantes da Formação Capiru – Grupo Açungui, o autor constatou uma relativa escassez de estudos, em contraste com sua ampla distribuição territorial e grande acepção econômica e geológica.

Assim, deu-se continuidade aos estudos anteriores, aprofundando-os sob o ponto de vista petrológico, geoquímico, estrutural e tecnológico.

1.1 – Objetivos

No Brasil a extração e beneficiamento de mármore para revestimento correspondem a 30% do material exportado. O estado que lidera o *ranking* das exportações é o Espírito Santo. Em segundo lugar Figura o estado da Bahia e em terceiro o estado do Paraná (Marble, 2004).

Atualmente com o aumento da procura por rochas ornamentais, tanto para exportação, como para o consumo interno, o Dolomita Mármore da Formação Capiru, conhecido comercialmente como mármore “Branco Paraná”, despertou atenção dos consumidores em detrimento a outros mármore, que apresentam as mesmas características de coloração (branco com nuances muito claras de cinza, ou marrom, ou rosa). Questionando os produtores destas rochas, constatou-se, que o motivo da preferência pela mesma incidia sobre a sua elevada dureza (5 a 5,5) e alta resistência a abrasão. Ora, se o litotipo Dolomita Mármore apresenta mais de 80% de cristais de dolomita (resultados obtidos através da difratometria de raios X) e este cristal aponta dureza três e meio (*copper penny*) a quatro (fluorita) na escala de Mohs (Deer *et al*, 2000), a qual dureza se referiam? Poderia ocorrer um litotipo em que a dolomita tivesse uma dureza maior? Ou a dureza a que se referiam seria a da rocha, em si (ensaios de abrasão)?

Partindo-se da observação de que as peculiaridades atribuídas a este litotipo os diferem de outros semelhantes, constatou-se uma janela no conhecimento geológico, que não poderia permanecer obscura. Esta compreensão reverter-se-ia em uma relevante contribuição, tanto para a geociência, como para o setor marmorista.

Dentro desta premissa insere-se o objetivo principal deste trabalho, que é o de sanar a lacuna existente no entendimento científico com relação às características físicas, químicas, estruturais e tecnológicas do mármore “Branco Paraná” apresentando sistematicamente:

- i. suas principais características petrográficas e inferências sobre as condições metamórficas a que se submeteram;
- ii. dados químicos completos, padrão de distribuição dos elementos nas diferentes minerações e considerações acerca da gênese dos litotipos;
- iii. feições estruturais e posição estratigráfica;
- iv. uma breve compilação dos parâmetros tecnológicos analisados em ensaios físicos;
- v. possível seleção de locais homólogos para novas lavras.

Desta forma pretende-se com este trabalho determinar parâmetros, que possam diferenciar este mármore dos demais litotipos com aparência similar, porém com características distintas.

Este estudo servirá principalmente para equiparar mármore aparentemente iguais, oriundos de outras formações geológicas, no intuito de constatar se suas características assemelham-se, ou não, ao mármore “Branco Paraná”.

1.2 - A Região do Tigre – Características Fisiográficas

A área situa-se na Região Metropolitana de Curitiba no Município de Cerro Azul-PR a 18 km ao norte da cidade de Bocaiúva do Sul. Está localizada a aproximadamente 70 km a nordeste da capital do estado do Paraná - Curitiba, e perfaz uma superfície de 45,66 km² em um perímetro de 33,146 km (Fig. 1). O polígono que delimita a área está situado ao norte da Folha de Bocaiva do Sul (SG 22-K-II-2) sendo formado pelos vértices e respectivas coordenadas UTM (Sistema de Projeção Cartográfica SAD 69 – *South American* 1969: zona 22S - meridiano central 51) conforme Tabela 1.

Tabela 1 – Vértices do polígono que delimita a área.

Vértice	UTM E (w Greenwich)	UTM N (S.Ecuador)	Comprimento (m)	Direção
V ₁	684.004,28	7.220.524,40	3.490,73	327°56'51"
V ₂	682.151,76	7.223.483,01	13.082,37	57°56'50"
V ₃	693.239,87	7.230.425,80	3.490,73	147°56'51"
V ₄	695.092,39	7.227.467,19	13.082,37	237°56'50"

O acesso à área partindo-se de Curitiba, por aproximadamente 70 km, até a estrada de acesso a Região do Tigre é realizado através de rodovia federal BR 476 (Estrada da Ribeira – antiga via principal utilizada para ligar a capital paranaense à cidade de São Paulo). Durante o percurso atravessa-se o Município de Colombo e a cidade de Bocaiúva do Sul. No interior da área temos as localidades de Campinhos, Roseira, Capuava, Queimadinho, Campestre, Pulador e Pula Sapo.

A região em estudo está inserida no Planalto de Curitiba (Primeiro Planalto Paranaense) e é considerada como uma zona de eversão entre a Serra do Mar e a Escarpa Devoniana, que constitui o limite oriental dos sedimentos da Bacia do Paraná a oeste (Maack, 1947). Essa unidade apresenta três porções distintas quanto à morfologia: a região de Curitiba (Superfície de Erosão Iguaçu), o Planalto de Maracanã e a região montanhosa do Açungui (Superfície de Erosão Açungui – Ribeira).

A região que comporta as minerações de Dolomita Mármore em estudo é marcada por um relevo enérgico, onde dominam numerosos “cabeços de estratos”, espigões e vales alongados seguindo direções preferenciais de origem tectônica (Maack, 1968) (Fig. 2).

O relevo sofreu influência decisiva do entalhamento do rio Ribeira e seus afluentes, que são em grande parte responsáveis pelo aspecto montanhoso acidentado da região. A área é cortada pelos rios Santana e Faisqueiro, Arroio do Tigre, Boca da Serra, Pula Sapo, Capoeirinha, Ribeirão Grande e Pulador.

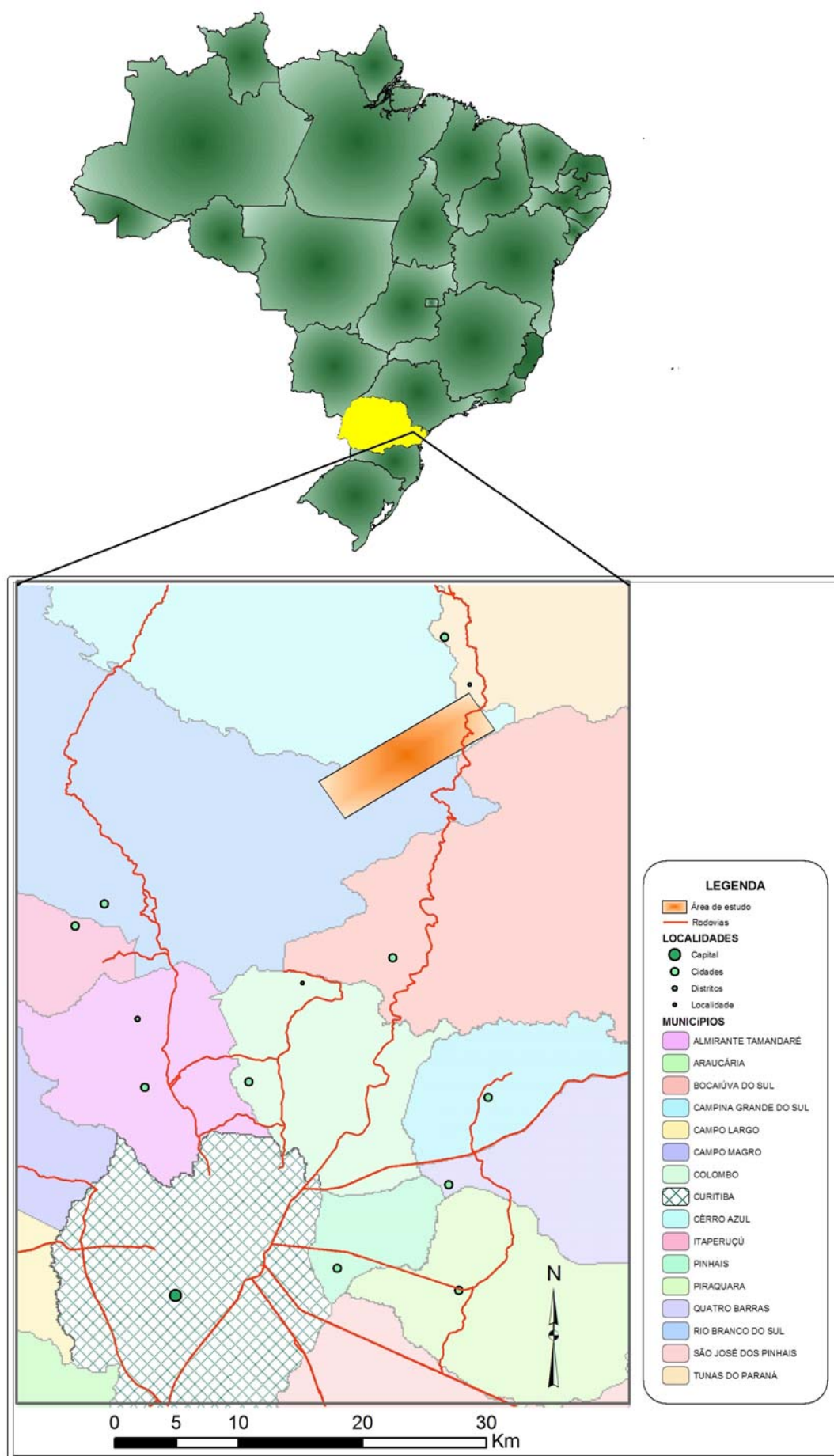


Figura 1 – Mapa político simplificado com a localização da área em estudo

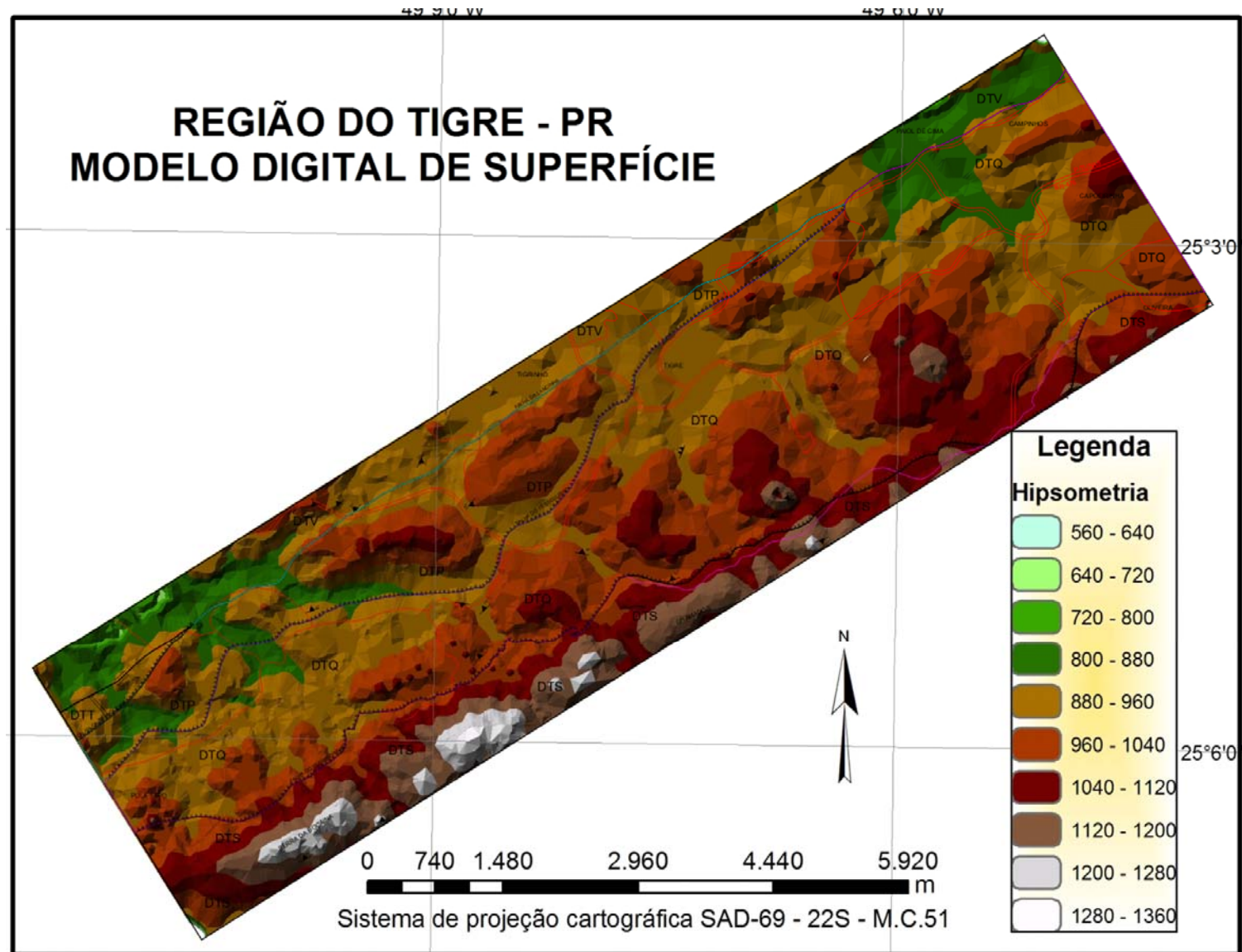


Figura 2 – Modelo Digital de Superfície da área, onde se observa características do relevo.

A região em estudo apresenta uma densidade demográfica relativamente baixa, sem a presença de grandes núcleos populacionais.

A principal atividade econômica na região é a mineração, envolvendo processos de extração em grande escala, principalmente de blocos de Dolomita Mármore para revestimento (ornamental e “*petit pavê*”) e em menor escala saibro para pavimentação de estradas locais. Em segundo lugar aparece a atividade de plantação e cultivo de *Pinus*, com a existência de grandes áreas ocupadas por “fazendas” dedicadas a esta atividade. Como conseqüências da exploração de florestas secundárias ainda existem na região algumas serrarias em funcionamento.

Além destas atividades observa-se a presença da agricultura e da pecuária, porém sem grande expressão. Em termos gerais a região não apresenta perspectivas de desenvolvimento imediato, aparecendo sempre o setor de mineração como a principal possibilidade regional.

A atividade de mineração na região produz um significativo impacto visual sobre o ambiente. O impacto sobre o meio físico é moderado, com alterações no relevo, na cobertura de solos e nas águas superficiais. Essas alterações já mostram localmente sinais preventivos, tais como a implantação de cortinas vegetais, canaletas de drenagem, etc. Observa-se que apesar da mineração não ser causadora dos maiores impactos ambientais da região, é uma atividade especialmente visada, em virtude de sua forte influência sobre a paisagem.

1.3 - Estado da Arte

Os trabalhos sobre a geologia proterozóica paranaense do Grupo Açungui tiveram início na segunda metade do século XIX. A partir daí, até os tempos atuais, sucederam muitos outros estudos que levaram a um conhecimento cada vez mais detalhado da geologia paranaense.

Na fase histórica iniciada por Derby (1878), merecido destaque obteve-se nos trabalhos de Oliveira, (1927). Este pesquisador foi o primeiro a apresentar o mapa geológico regional em escala 1:1.00.000 e a descrever sumariamente as rochas do Grupo Açungui. Duas décadas após Oliveira & Leonardos (1953) ao estudarem o Grupo Açungui concluíram que nesta série teria ocorrido uma deposição em mar relativamente profundo. O termo Setuva foi proposto por Bigarella & Salamuni (1956) sendo designada como unidade basal da Série Açungui, definida na região da Antiforma do Setuva.

Já na etapa intermediária, metade da década de 60, o conhecimento geológico obteve um importante desenvolvimento, decorrente principalmente de uma série de trabalhos científicos

realizados por Bigarella & Salamuni no final da década de 50. Seguidos destes, primeiramente advieram os estudos da Comissão da Carta Geológica do Paraná (Marini, Trein e Fuck, 1967). No mesmo ano (1967) Leprevost, ao abordar as rochas calcárias, forneceu elementos relativos à composição, estruturas e aproveitamento daquelas rochas. Ao aprofundarem seus estudos no Grupo Açungui, Bigarella & Salamuni (1967), analisaram as estruturas singenéticas dos metassedimentos ocorrentes nos litotipos. Estes trabalhos serviram de base para elaboração do mapa leste paranaense da CPRM, 1976, escala 1:100.000.

Foi a partir dos anos 70, que começam a surgir importantes trabalhos de cunho estratigráfico e estrutural, que culminaram com a redefinição de conceitos anteriormente propostos para o Grupo Açungui. É dessa época a proposição das principais colunas estratigráficas, a subdivisão do Grupo Açungui e o primeiro mapeamento sistemático à escala inferior a 1:100.000 do Proterozóico paranaense.

Marini (1970) abre esta fase, propondo uma nova subdivisão estratigráfica do Grupo Açungui.

Ebert (1971) definiu o Complexo Pré-Setuva na região da Antiforma do Setuva, caracterizando os seguintes litotipos: gnaisses finos e escuros, ricos em biotita e epidoto, podendo ser encontradas apófises do granito acompanhando a foliação e micaxistos finos de composição semelhante aos filitos da Formação Capiru, diferindo destes por apresentarem maior grau de deformação mecânica e recristalização. No mesmo ano este autor sugeriu uma contemporaneidade deposicional para as formações Capiru, Votuverava e Água Clara.

Seguem-se trabalhos de Fuck *et al* (1971), Popp *et al* (1979) e Veiga & Salomão e Schöll *et al* (1980). Este último autor subdividiu o complexo Pré-Setuva em duas unidades. A primeira basal composta por migmatitos, de composição granítica, migmatitos estromatíticos com bandas decimétricas a centimétricas. Sobrepostos a estes a segunda unidade, uma seqüência de paragneisses com intercalações de lentes quartzíticas denotando uma origem sedimentar para os mesmos.

Em 1982, Fritzens descreveu o Complexo Pré-Setuva como sendo composto de migmatitos estromatíticos, *augen*-gnaisses, gnaisses graníticos, gnaisses fitados, rochas meta-ultrabásicas, metabasitos, anfíbolitos e quartzitos. Neste mesmo ano o autor propõe a denominação de Grupo Setuva a toda uma seqüência de xistos, quartzitos e rochas associadas de baixo grau metamórfico que tenham sofrido duas fases diastróficas, sobrepostas ao Complexo Pré-Setuva.

Entre estes, diversos trabalhos da Mineropar Minerais do Paraná S/A trouxeram importantes contribuições para a geologia paranaense. Nota-se nesta etapa certo exagero na

criação de novos nomes e proposições de colunas estratigráficas, o que na verdade trouxe certa confusão ao entendimento da geologia do Paraná.

Em 1984 Fiori et al, iniciam múltiplos trabalhos de cunho estrutural analisando diversos sistemas de lineamentos do Proterozóico. O mesmo autor em 1985 considera a ocorrência associada à Falha da Lancinha como um sistema de estruturas secundárias e discute a possibilidade da mesma causar, no Grupo Açungui, os reflexos de uma falha transcorrente profunda já existente no embasamento do mesmo.

Complementando seus estudos sobre o Grupo Açungui Fiori (1990) o separou em blocos estruturais, os quais estariam associados a formações subdivididas em conjuntos litológicos distintos. Este autor salienta que diferentes conjuntos de rocha, hoje lado a lado, poderiam ter sido originados em ambientes, provavelmente distintos e distantes, estando na realidade, justapostos por grandes falhamentos. Isto o levou a concluir que sua ordenação atual do Grupo Açungui não é de ordem estratigráfica e sim tectônica.

Em 1996 Fassbinder utiliza pela primeira vez o termo “Supergrupo Açungui” considerando os seguintes “grupos” ou formações: Água Clara (localizado na base), Votuverava e Capiuru (situado no topo), e o Grupo Setuva ocupando uma posição estratigráfica inferior ao Supergrupo Açungui. Salientou ainda, que a Formação Capiuru ocuparia a margem sudeste da Bacia Açungui, com seqüências terrígenas e carbonáticas típicas de plataforma continental.

O trabalho mais recente envolvendo a Formação Capiuru foi o realizado pela CPRM (1998) com a elaboração do Mapa Metalogenético, na escala 1:100.000, que contribuiu a propósito do potencial dos recursos minerais da folha de Curitiba. Nesta pesquisa foi realizada a distribuição das diferentes unidades, onde foi levada em conta a importância das zonas de cisalhamento. Complementando a proposta de Fiori (1990), que subdividiu a Formação Capiuru em conjuntos litológicos, com a realização deste mapa foi possível avançar no entendimento, de parte, das relações estratigráficas entre unidades.

A fase atual foi encerrada com os trabalhos sobre a Formação Capiuru de Guimarães (2001) e Siqueira (2002). Estes autores realizaram estudos sobre o potencial exploratório dos metadolomitos das regiões de Morro Azul e Morro Grande, respectivamente, elucidando lacunas com relação à estratigrafia, geoquímica, petrografia e estrutural das duas áreas.

1.3.1 - Histórico da Mineração na Região do Tigre

A indústria da mineração na Região do Tigre teve o auge de seu desenvolvimento no país nos anos 80, como resultado do conhecimento geológico gerado nas décadas de 60 e 70.

A ocorrência de mármore destinados a revestimento ornamental no Estado do Paraná é conhecida desde 1925, oriunda dos primeiros trabalhos de levantamentos geológicos realizados por Euzébio Paulo de Oliveira (1927).

A primeira menção a exploração do Dolomita Mármore na Região do Tigre foi através do artigo “Fundamentos Geográficos da Mineração Brasileira” publicado na Revista Brasileira de Geografia (Abreu. S. F., 1945).

As principais jazidas localizavam-se na Estrada da Ribeira nos distritos de Campestre, Queimadinho, Pulador e Tigre (Fig. 3) e eram exploradas por cinco empresas com a produção média de 80m³ mensais. Nas redondezas do distrito de Campinhos, embora ocorressem rochas passíveis de exploração, a dissolução cárstica com águas percolantes no interior de grutas Bigarella, 1948 (Fig.4) atuava como agente impeditivo a lavra.

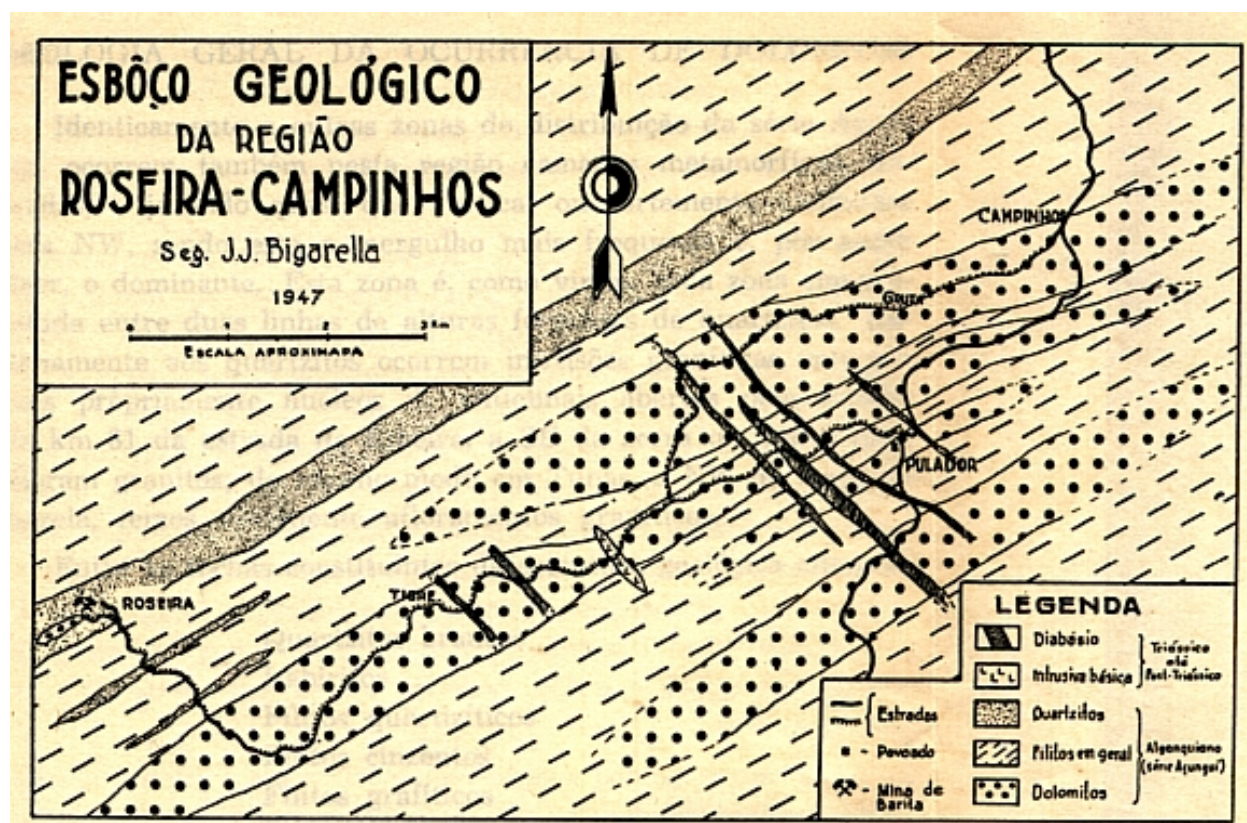


Figura 3 – Mapa original (Bigarella, J.J., 1947) mostrando as localidades onde se situavam as principais jazidas do Dolomita Mármore



Figura 4 – Foto mostrando o interior da Gruta de Campinhos onde se observa espeleotemas em abundância. Foto V. Kosak *in* Bigarella, 1948.

As principais variedades eram denominadas na época como Mármore Branco Núria, Calacatta, Extremós e Carrara. As empresas atuantes na época (Irmãos Bau, Mármore e Pedras do Brasil (Fig. 5), MICA – Mineração Capuava, Mármore e Pedras do Brasil e Margon) acabaram abandonando o extrativismo mineral motivadas principalmente, pela dificuldade do corte do mármore, pela falta de homogeneidade do litotipo e sua elevada dureza (nela se observa a presença de vários nódulos silicosos). Esta atividade demandava um conhecimento tecnológico peculiar, um ferramentário apropriado e conhecimento geológico específico para a determinação dos blocos a serem explorados. Segundo relato de antigos trabalhadores das lavras, então em atividade, para que prosseguisse a mineração, a solução destes entraves estaria no aumento de investimentos, o que resultaria em custos elevados, além da posse dos então mineradores.



Figura 5 – Foto original mostrando os trabalhos de exploração de Dolomita Mármore na década de 40, pela empresa Mármore e Pedras do Brasil. Foto BADEP *in* Leprevost, 1978.

A partir de 1977, a empresa Aco Mineração vislumbrou no mercado de rochas ornamentais uma nova e promissora oportunidade de atuação, tanto na exploração e beneficiamento, quanto na comercialização do produto final.

Em 1988 esta empresa iniciou um projeto de levantamento do potencial de exploração de mármore com a aquisição de uma jazida, que se encontrava paralisada, na localidade Capuava, Região do Tigre (Fig. 6). Esta obteve êxito, e atualmente é a única que explora esta rocha para revestimento, ao qual denominou comercialmente como mármore “Branco Paraná”.



Figura 6 – Foto da Mina de Capuava – Arquivos da Aco Mineração Ltda. (1988).

Atualmente a maioria das lavras está localizada a norte da cidade de Bocaiúva do Sul e sudeste do Município de Cerro Azul, entre as localidades de Campinhos e Boqueirão da Serra. Trata-se de mármore dolomíticos que integram a Formação Capiru. Nessa região, as camadas de Dolomita Mármore exibem maior grau de deformação, devido à proximidade com as zonas de cavalgamento relacionadas com a Antiformal do Setuva e também com a Zona de Cisalhamento Transcorrente Lancinha (CPRM, 1998). Esse tectonismo certamente favoreceu a um incremento na taxa de recristalização dos carbonatos dos metacalcários dolomíticos, permitindo a sua utilização como rocha ornamental. Os Dolomita Mármore da região do Tigre integram os domínios das rochas carbonáticas da Formação Capiru (CPRM, 1998). Em geral, apresentam teores médios de CaO entre 28 e 30% e de MgO entre 19 e 22%. O principal emprego dessa substância destina-se ao uso como corretivo da acidez do solo, e secundariamente cal, granilha, *filler*, ração animal, *petit pavê*, brita e fundente. No caso do mármore do distrito do Tigre a aplicação destina-se a utilização na construção civil como rocha de revestimento.

1.4 – Métodos de Trabalho

Os trabalhos foram realizados integrando métodos de estudo diversos, descritos a seguir.

1.4.1 – Levantamento Bibliográfico

Efetuuou-se coleta e compilação bibliográficas sobre a geologia das rochas calcárias Proterozóicas, com ênfase para as da porção nordeste da Formação Capiru – Grupo Açungui; geoquímica e mineralogia de rochas dolomíticas; gênese e ambientes de sedimentação Proterozóica; ensaios tecnológicos para mármore empregados em revestimento; usos e aplicações dos diferentes tipos de Dolomita Mármore na construção civil.

O desenvolvimento destas atividades compreendeu uma fase inicial de levantamento das áreas de interesse, seguida dos trabalhos de campo propriamente ditos.

Inicialmente procedeu-se à consulta dos principais trabalhos de mapeamento geológico existentes nas áreas onde houvesse ocorrências de Dolomita Mármore para uso em revestimento, dentre os quais só puderam ser analisados os relatórios dos alunos de graduação dos anos de 1989 e 2003 da Universidade Federal do Paraná e da CPRM, 1998.

Uma análise foto-geológica foi minuciosamente realizada em fotografias aéreas na escala 1:25.000 e 1:70.000 com a finalidade de se determinar as estruturas principais, lineamentos estruturais e zonas homólogas com possibilidade de caracterizar os litotipos.

Os locais selecionados durante a fase precedente, geralmente pedreiras com maior exposição da variação litológica e afloramentos representativos em corte de estrada e drenagens, constituíram os alvos para os trabalhos de campo, que visaram:

- reconhecimento geológico dos corpos;
- amostragem de material representativo, passível de análise química e petrográfica.

Totalizaram aproximadamente 60 pontos de amostragem no interior dos Municípios de Cerro Azul, Bocaiúva do Sul, Colombo, Tunas do Paraná e Rio Branco do Sul, cujas localizações encontram-se na Figura 7.

Foi nesta fase também, que se determinou a limitação para a área em que se concentrariam as pesquisas objeto desta dissertação.

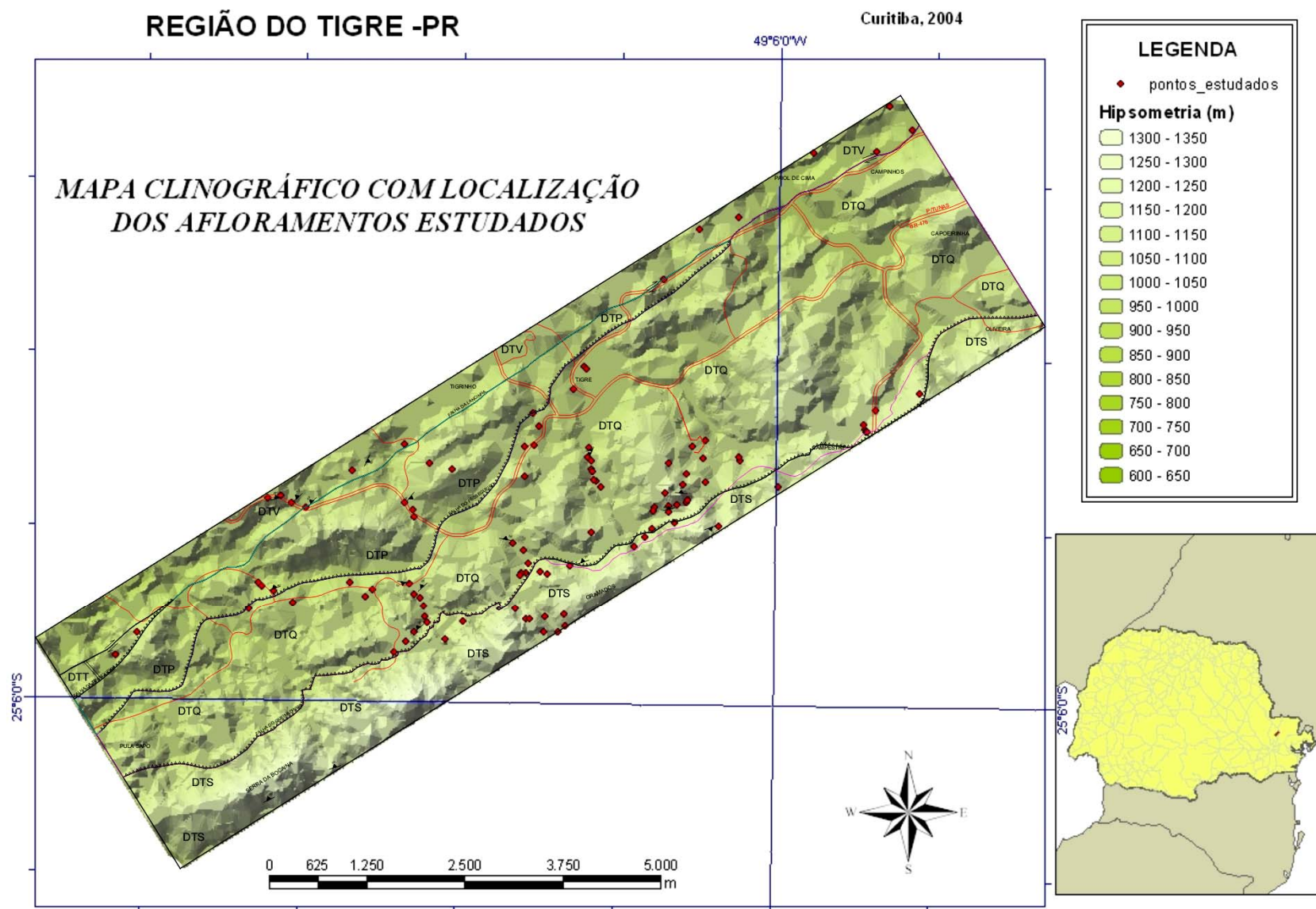


Figura 7 – Mapa de Pontos com a localização dos afloramentos descritos e amostrados.

Em uma segunda fase de campo foram realizados perfis geológicos com a finalidade de corroborar as interpolações oriundas das interpretações de aerofotografias e os dados de campo (anexo1). Nesta fase foi possível a geração de um mapa geológico estrutural definitivo, em escala cartográfica de 1:20.000 (anexo 1).

1.4.2 - Ensaios e Análises de Laboratório

Para a caracterização dos litotipos amostrados foram efetuadas em algumas amostras análise mesoscópica, em outras, nas quais se precisava determinar com maior acuidade a mineralogia do litotipos, realizou-se análise microscópica. Em 13 amostras procedeu-se a análise química dos óxidos maiores e análises semiquantitativas por fluorescência de raios X. Dentre estas análises, 5 (cinco) foram de fluorescência de raios X realizadas no Laboratório de Minerais e Rochas da Universidade Federal do Paraná – LAMIR. Foram também analisados ensaios tecnológicos realizados no Laboratório do Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT (índices físicos, resistência à abrasão Los Angeles e resistência à compressão uniaxial).

Para estabelecer um comparativo com os litotipos estudados foram aproveitadas análises químicas, de outras áreas calcárias da Fm. Capiuru, compiladas de estudos de Guimarães, 2001, uma vez que as mesmas estavam inseridas no DTT (Domínio Tectônico Tranqueira – Fig. 9).

1.4.3 – Análises Petrográficas

A partir de porções representativas das amostras coletadas foram confeccionadas lâminas delgadas para estudo por microscopia óptica de luz transmitida. Para tanto se utilizou os seguintes equipamentos:

- Microscópio Petrográfico *Olympus* modelo BX60;
- Fotomicroscópio Digital *Olympus* modelo BX60 com capturador de imagens digitais através do programa de computador *Image Pro Plus V.3*;
- Lupa estereoscopia binocular *Olympus* modelo CTZ.

Ao todo foram estudadas 45 lâminas delgadas com o propósito de se determinar a mineralogia, relações texturais, granulometria e possíveis estruturas ou deformações.

1.4.4 – Análises Semiquantitativas de Carbonatos por Fluorescência de Raios X

Foram submetidas 05 (cinco) amostras à análise por fluorescência de raios X no Laboratório de Análise de Minerais e Rochas da Universidade Federal do Paraná (anexo 2) para identificação mineralógica. Para tanto, uma porção da amostra foi moída, prensada em suporte de alumínio e submetida aos ensaios.

O equipamento utilizado foi um difratômetro de raios X, marca *Philips*, modelo BW1830. A avaliação semiquantitativa das fases presentes não foi passível de análise, uma vez que os resultados apresentaram, nas cinco amostras analisadas, 100% de dolomita. Na geração dos difratogramas foi utilizado o software *HighScore X'Pert* 1.0 de Julho de 2001, também da marca *Philips* que possui um banco de dados com cerca de 73.000 padrões.

1.4.5 – Análises Químicas

Foram realizadas no Laboratório de Análise de Minerais e Rochas da Universidade Federal do Paraná (Tabela 8) análises químicas dos elementos maiores (além de perda ao fogo) em 13 amostras de rocha através de equipamento de fluorescência da marca *Philips*, modelo BW2400. Os métodos utilizados foram os seguintes:

- Fluorescência de raios X, com amostras fundidas em tetraborato de lítio: SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , P_2O_5 , TiO_2 , K_2O , Na_2O , MnO , (precisão relativa $\pm 1\%$);
- Aquecimento da amostra seca a 1000°C até peso constante para determinação de perda ao fogo (P.F.).

Dentre as demais análises químicas, algumas foram compiladas de Guimarães (2001) (Laboratório Bondar Clegg -Canadá – fluorescência de raios X e Mineradora Terra Rica) e outras de Bigarella (1948) pelo método clássico de análise de rochas calcárias do I.B.P.T. (Instituto Brasileiro Pesquisas Tecnológicas).

1.4.6 – Tratamento e Análise Estatística dos Dados Químicos

A partir dos dados químicos obtidos foram construídos diagramas de variação de elementos maiores *versus* conteúdo de MgO , com o objetivo de definir tendências de comportamento dos elementos químicos.

O tratamento estatístico dos dados químicos constou de histogramas estatísticos, permitindo a comparação da variabilidade química dos diversos elementos.

Os dados de análises químicas também foram submetidos a análise de agrupamentos, uma técnica estatística multivariante que utiliza a similaridade entre indivíduos para classificá-los em grupos, mais ou menos homogêneos, considerando-se simultaneamente todas as variáveis de cada indivíduo.

1.4.7 – Ensaios Tecnológicos

a) Índices Físicos

Foram analisados alguns parâmetros físicos e mecânicos a fim de caracterizar as propriedades tecnológicas das amostras.

São denominados índices físicos de rocha as propriedades: massa específica aparente seca e saturada, porosidade aparente e absorção de água.

Para determinação dos valores dessas propriedades foram utilizadas amostras com até 10 cm de diâmetro pesadas ao ar, após secagem em estufa a 1.000°C (peso A) e após saturação em água por 48 horas (peso B); e na condição submersa, após saturação (peso C). Os valores foram assim calculados:

- massa específica aparente seca = $A/(B-C)$ (kg/m³)
- massa específica aparente saturada = $B/(B-C)$ (kg/m³)
- porosidade aparente = $(B-A) / (B-C) \times 100$ (%)
- absorção de água = $(B-A) / A \times 100$ (%)

b) Compressão Uniaxial

Os ensaios de compressão uniaxial visam determinar qual a tensão que provoca a ruptura da rocha quando submetida a esforços compressivos.

Foram executados em corpos de prova de forma cúbica, com arestas de aproximadamente 6 cm. Sempre que foi possível foram utilizados cinco corpos de prova (no estado seco), os quais foram submetidos a esforços compressivos (taxa de carregamento de 6

kgf/cm²/s) em uma prensa hidráulica com capacidade para até 200 toneladas. A tensão de ruptura foi assim determinada:

$$C = W/A$$

onde:

- C = tensão de ruptura kgf/cm²;
- W = força de ruptura (kgf);
- A = área de carga do corpo de prova (cm²).

Estes ensaios foram executados de acordo com as diretrizes da norma ASTM C 170 – 50 (1981) da *American Society for Testing and Materials* – ASTM e os valores de tensão (kgf/cm²) convertidos para mega Pascal – MPa (sistema Internacional).

c) Abrasão Los Angeles

O ensaio de abrasão Los Angeles consiste em submeter uma amostra de rocha cominuída à pedra brita a solicitações de desgaste e impacto dentro de um cilindro rígido onde são colocadas, também esferas de aço. Faz-se o cilindro girar (na rotação de 33 rpm) por 500 voltas, após o que o material é peneirado na malha da abertura 1,68 mm.

O resultado é calculado pela seguinte expressão:

$$L.A. = 100 \times (M_i/M_f) / M_i$$

onde:

- L.A. = perdas por abrasão Los Angeles;
- M_i = massa inicial;
- M_f = massa final.

CAPÍTULO II

1 - Contexto Geológico Regional

Devido à intensa aloctonia das unidades, sugerida pelas movimentações ao longo das diferentes zonas de cavalgamento/transcorrência reconhecíveis, Fiori (1994) deu um novo enfoque ao estudo do Grupo Açungui, separando diferentes blocos limitados por transcorrências dextrais, onde distintos conjuntos litológicos estariam representados (Fig. 8).

À primeira vista é possível limitar a área de exposição de cada uma das formações do Grupo Açungui a cada um dos blocos (Formação Antinha, Bloco C; Formação Votuverava, Bloco D; Formação Capiru, Bloco E), sendo que cada um dos conjuntos identificados compreenderia uma história deposicional característica.

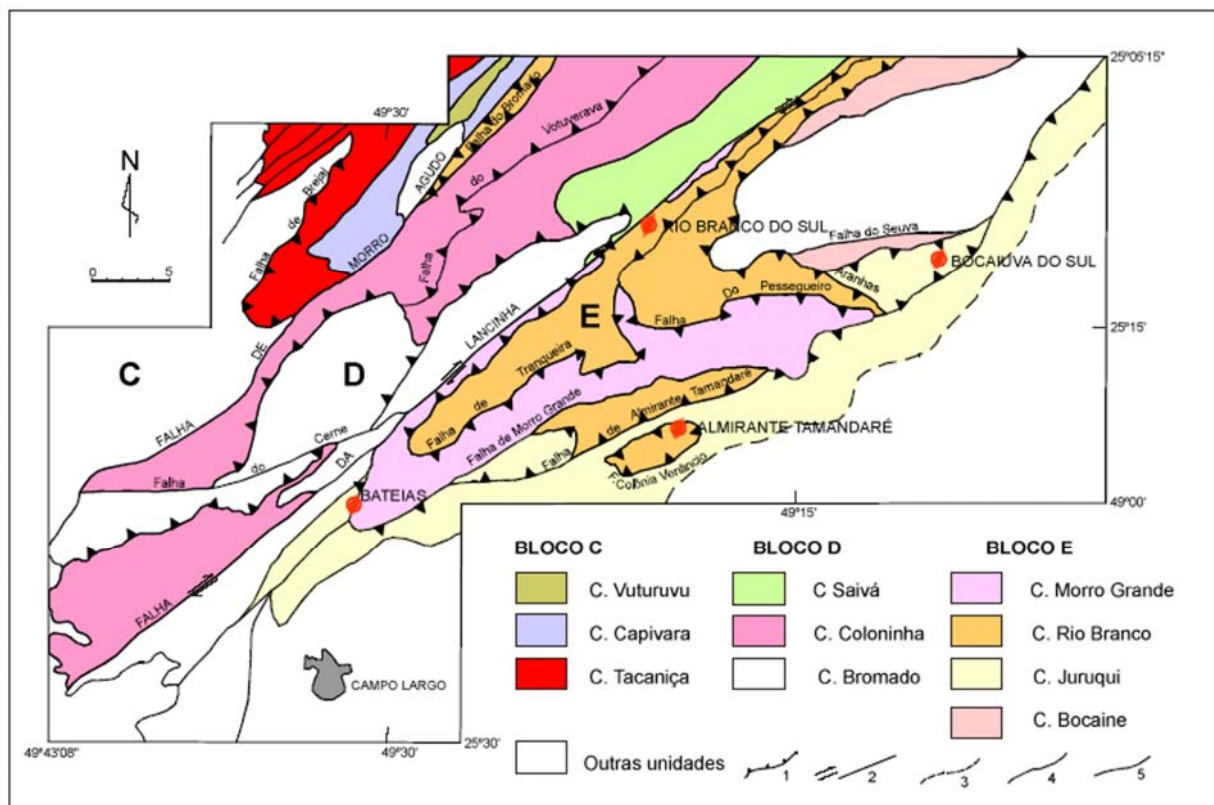


Figura 8 - Distribuição geográfica dos conjuntos litológicos integrantes do Grupo Açungui. C, D e E representam blocos tectônicos separados pelas falhas de Morro Agudo e da Lancinha. 1).

Falhas de cavalgamentos, com mergulho indicado pelos pequenos triângulos; 2). Falhas transcorrentes, com sentido de movimento indicado; 3). Limite aproximado do Embasamento Cristalino/Grupo Açungui; 4). Contato entre conjuntos litológicos; 5) Falhas normais (modificado de Fiori, 1994) in CPRM 1998.

No Bloco E, onde a maior parte da área de estudo está inserida (90%), foram definidos os conjuntos litológicos Juruqui, Rio Branco, Morro Grande e Bocaina, todos separados por grandes cavalgamentos, demonstrando que a atual organização estratigráfica não é original, e sim o resultado de empilhamento tectônico (Fiori, 1990). Neste contexto geológico regional que se insere a Região do Tigre – PR. A mesma está localizada no BLOCO E – Conjunto Litológico Bocaina, e pequena porção (10%) no Bloco E1, Fiori *op cit*.

1. 1 – Estratigrafia na Região do Tigre

O Grupo Açungui originalmente foi subdividido nos trabalhos de Salamuni *et al* (1956, 1958) em Formação Capiçu (ao sul da Falha da Lancinha) e Formação Votuverava (ao norte da mesma falha). Com o aprofundamento dos conhecimentos geológicos, várias modificações foram propostas nesta subdivisão com importantes reflexos no significado original das duas unidades.

No decorrer das décadas de 70 e 80 assistiu-se a uma verdadeira explosão de novas denominações estratigráficas, culminando com definições e redefinições, que levaram a um emaranhado quadro estratigráfico atual.

Os principais traços da geologia da área estudada pertencem a Formação Capiçu e estão representados no mapa geológico-estrutural no anexo 1

Estruturas de cavalgamento que cortam a Região do Tigre compartimentam esta área em cinco domínios tectônicos, a saber, (Fig. 9):

- i. O elemento estrutural mais importante é a Zona de Transcorrência da Lancinha (ZTL) representada principalmente por uma falha de natureza transcorrente, que delimita a Formação Capiçu com a formação Votuverava e litotipos do embasamento. A este Domínio Tectônico denominou-se Votuverava - **DTV**. Ele está posicionado no Bloco Tectônico “1D” (Fiori, 1990) e integra litotipos da Formação Votuverava do Grupo Açungui.
- ii. O segundo elemento estrutural é a Falha da Tranqueira, que tem seu ponto final interceptando a falha da Lancinha. A este Domínio Tectônico deu-se o nome de

Tranqueira - **DTT**. Encontra-se distribuído no Bloco Tectônico “E” (Fiori *op cit*) e integra litotipos da Formação Capiru do Grupo Açungui.

- iii. O terceiro Domínio Tectônico, aqui denominado de Pessegueiro - **DTP** corresponde ao conjunto litológico entre a Falha do Pessegueiro, a Falha da Lancinha e a Falha da Tranqueira. Está posicionado no Bloco Tectônico “E” e integra litotipos da Formação Capiru do Grupo Açungui.
- iv. O quarto domínio tectônico é o composto pelos litotipos posicionados entre a falha do Pessegueiro e a Falha do Queimadinho. A este Domínio Tectônico nomeia-se de Queimadinho - **DTQ**. Ele está disposto no Bloco Tectônico “E” e integra litotipos da Formação Capiru do Grupo Açungui.
- v. É o conjunto litológico entre a falha do Queimadinho e a linha que delimita, no quadrante sul, a área de estudo. Ele integra litotipos do Grupo Setuva (Fritzens, 1982), e está posicionado no Bloco Tectônico “E”, Manto “2” (Fiori, 1990). Aqui neste trabalho foi denominado de Domínio Tectônico Setuva - **DTS**.

Portanto, além dos litotipos dispostos na Formação Votuverava do Grupo Açungui e daqueles pertencentes ao Grupo Setuva, os litotipos aflorantes na Região do Tigre, pertencentes à Formação Capiru, conjunto litológico Bocaina estão representados por quartzitos, filitos, quartzo-dolomita mármores, metadolomitos e dolomita mármores. Como feição marcante quase todos os litotipos apresentam-se fortemente lenticularizados, com uma foliação desenvolvida, geralmente paralela ou subparalela ao acamamento sedimentar, mas a deformação é heterogênea, podendo as rochas em alguns pontos da Formação Capiru apresentar-se pouco deformadas. O grau de metamorfismo é tipicamente baixo, da fácies Xisto Verde (Marini, 1970).

Os litotipos predominantes do Grupo Setuva, aflorantes na Região do Tigre, são principalmente os biotita gnaisses, xistos e milonitos, já os aflorantes na Formação Votuverava do Grupo Açungui estão representados por filitos indiferenciados e quartzitos.

As rochas básicas Mesozóicas (diques de diabásios, dioritos) da Formação Serra Geral, relacionadas ao evento do *Rift* do Atlântico Sul, a Bacia de Curitiba e os depósitos aluvionares Quaternários são descritos independentemente dos domínios supracitados, por se tratarem de eventos posteriores aos principais ciclos orogênicos impressos nesta região.

Na Tabela 2 é apresentada uma coluna estratigráfica proposta para a Região do Tigre-PR. Nesta tomou-se o cuidado de subdividir a estratigrafia por Grupos, Blocos Tectônicos, Formações e Domínios Tectônicos para um melhor entendimento do leitor. Junto a estas subdivisões foi acrescentada a autoria para cada.

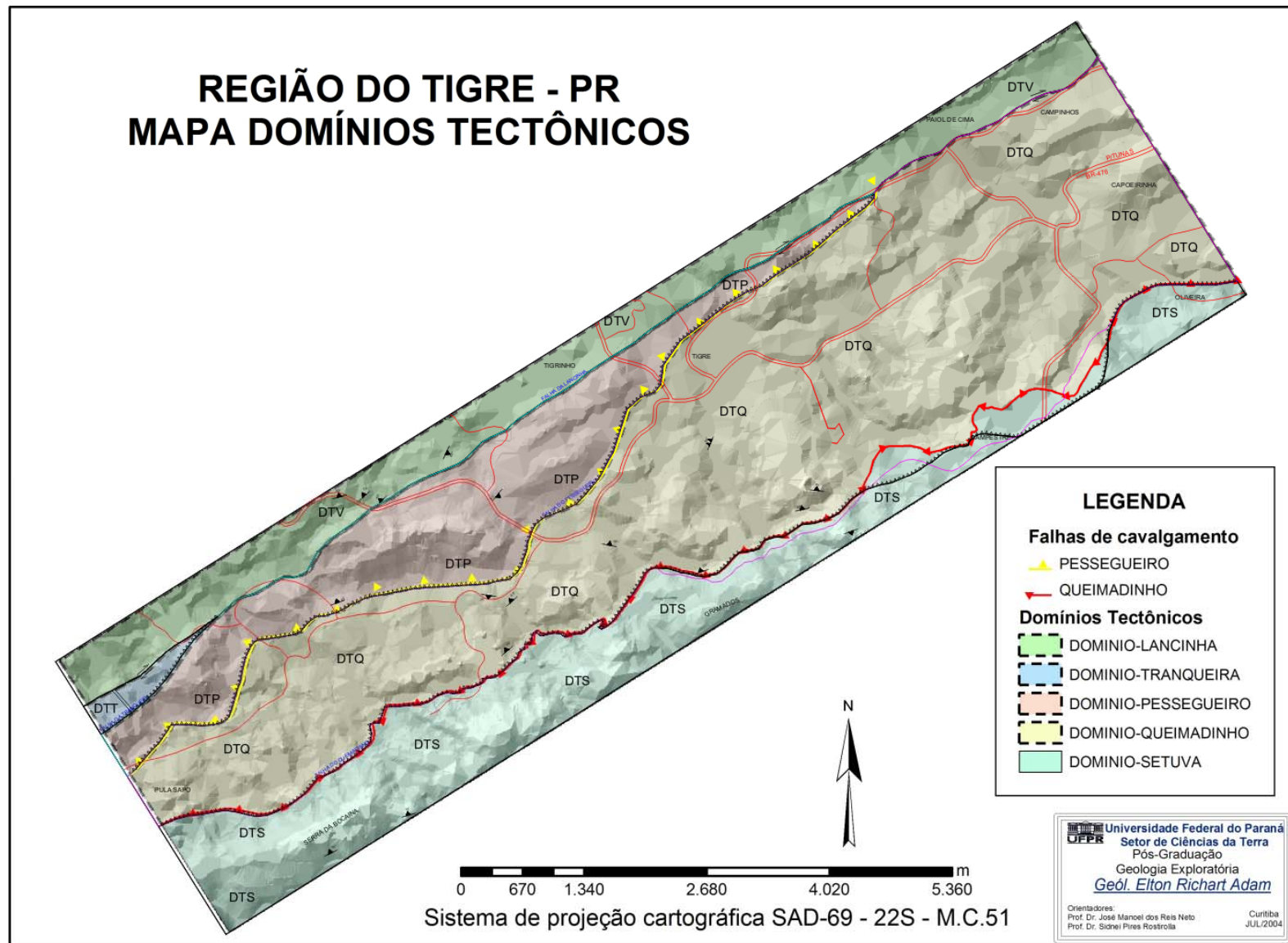


Figura 9 – Mapa tridimensional dos cinco Domínios Tectônicos para a área em estudo.

Tabela 2 – Coluna litoestratigráfica proposta para a Região do Tigre – PR.

COLUNA LITOESTRATIGRÁFICA DA REGIÃO DO TIGRE						
CRONOLOGIA	DIVISÃO ESTRATIGRÁFICA				LITOTIPOS	PONTOS
ERA/PERÍODO						
CENOZÓICO	DEPÓSITOS SEDIMENTARES ALUVIONARES				Sedimentos aluvionares e coluvionares de predominância pelítica com ocorrência local de sedimentos arenosos e cascalhos inconsolidados	
MESOZÓICO SUPERIOR	FR. SERRA GERAL				Diabásio, doleritos, micro dioritos e micro-gabros indiferenciados. 35C	
PROTEROZÓICO	GRUPO AÇUNGUI	BLOCO TECTÔNICO “1D” (Fiori, 1990)	DTV	Fm. Votuverava (Fiori, 1990)	Quartzitos	24A
					Filitos	14 – 16 – 18 – 21 – 53C – 18A – 66A – 65A – 33A – 34A – 116
		BLOCO TECTÔNICO “E” CONJUNTO LITOLÓGICO BOCAINA (Fiori, 1990)	DTT, DTP e DTQ	Fr. Capiçu Manto III (Fiori, 1990)	Quartzitos	83C – 112 – 54C
					Filitos Indiferenciados	37B- 64C- 63C – 38B – 59B – 62C – 29A – 5A – 7A – 15A – 77 – 78 – 79
					Dolomita Mármore	1, 2A, 2C, 3A, 4C, 5C, 6, 6A, 6C, 7A, 7A, 7B, 7B1, 7B2, 7B2, 7C, 8, 8A, 8E, 10A, 12, 13, 14A, 15A, 21A, 22A, 23A, 30A, 32B, 33C, 33C, 34C, 36A, 36B, 36C, 37C, 41A, 47A, 48A, 53A, 55A, 59C, 60C, 61C, 61E, 62B, 64B, 65C, 66C, 67A, 68A, 68C, 69C, 70, 72C, 73C, 74C, 74E, 75E, 76C, 76C, 77, 77C, 78, 79, 80, 80, 81C, 82C, 89, 102, 102, 103, 103, 104, 104B, 104C, 105, 105A, 106, 106A, 107, 107B, 111, 113, 114, 117C, 117E, 119C, 125C, 126
					Qzo Dolomita Mármore	55 – 56 – 58 – 55 – 57 – 19 – 23A – 26A – 61C
					Metadolomit	4 – 39
	GRUPO SETUVA (Fritzens, 1982)	DTS	Complexo Setuva Manto II (Fiori, 1990)	Quartzitos	29CA	
Biotita Gnaisses Bandados Miloníticos				57A – 117 – 111 – 63B – 115 – 84C – 31B – 80C – 33B – 34B – 9C – 10C – 118C – 122C – 123C -124C -121C – 120C – 91C – 92C – 71C – 70C – 67C – 29CD – 29CB – 29CA – 31C – 32C – 29C		

1.1.1 - DOMÍNIO TECTÔNICO SETUVA - Grupo Setuva na Região do Tigre - Pr

A área correspondente a Formação Setuva é dada pelo Antiforme do Setuva, que domina praticamente toda a área do Bloco “E” Manto II (Fiori, 1990) com extensão de cerca de 50 Km, medida ao longo de seu eixo. Na Área de estudo aflora somente uma pequena faixa de gnaisses e quartzitos com aproximadamente 7.657.962,89 m².

1.1.1.1 – Biotita Gnaisses Bandados Miloníticos

Expõe-se na porção norte da Antiforme do Setuva como uma faixa alongada com orientação nordeste em área de exposição nas localidades de Santana e Barra do Passa Vinte (Fig. 10).

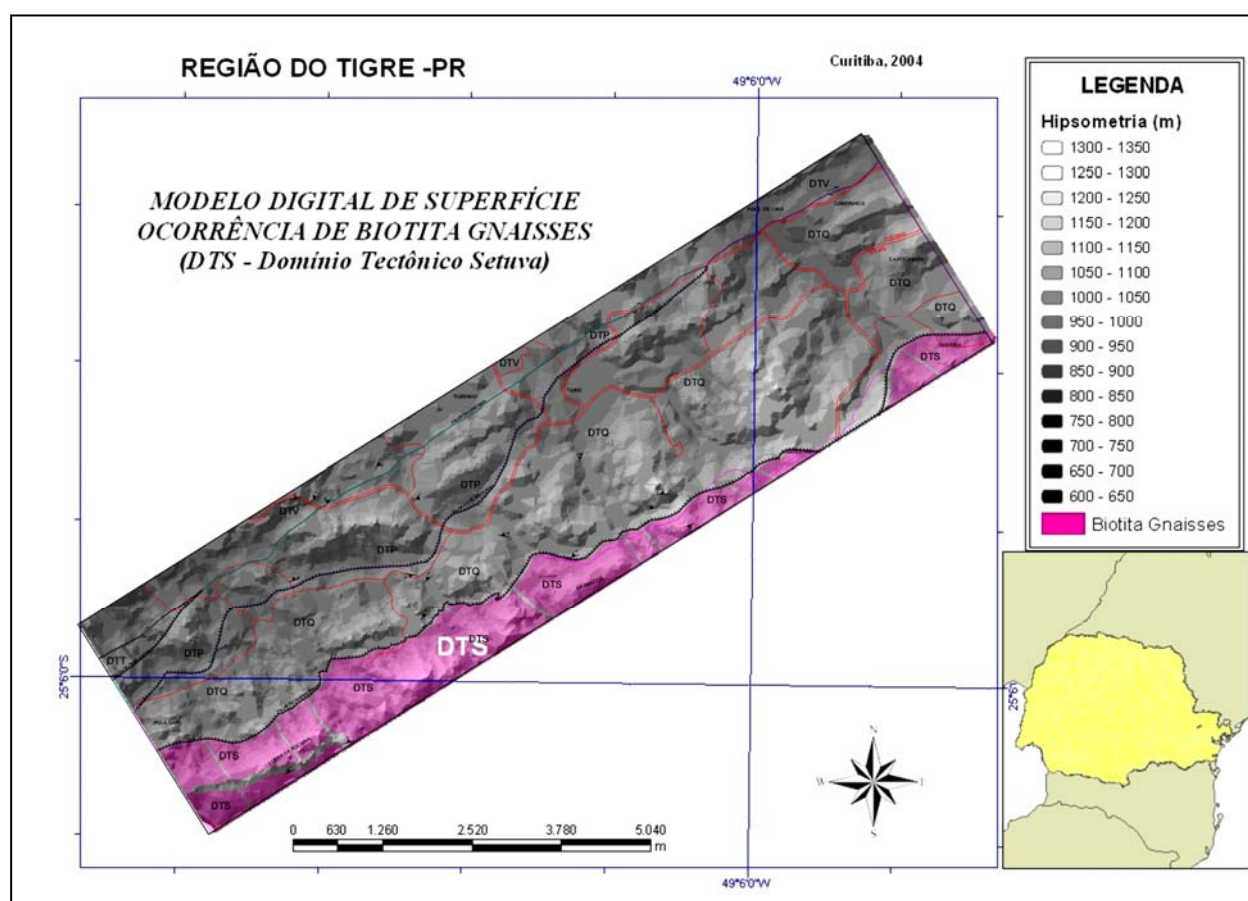


Figura 10 - Mapa geológico esquemático mostrando a ocorrência de biotita gnaisses bandados miloníticos.

Trata-se de um conjunto de rochas bandadas, predominando biotita gnaisses porfiroclásticos a finos, biotita xistos feldspáticos e, subordinadamente, bandas quartzo-feldspáticas leucocráticas e restritas ocorrências de anfibolitos de granulação fina. Todo o conjunto apresenta-se deformado em diferentes estágios, chegando a formar xistos como produto da deformação milonítica. No geral a rocha apresenta uma textura porfiroclástica ressaltada pelos cristais de microclina e plagioclásio, alternados por faixas predominantemente micáceas e faixas quartzo-feldspáticas (Fig. 11).

A mineralogia básica é composta por quartzo, feldspato potássico, plagioclásio, biotita, muscovita (?). Os minerais acessórios são epidoto, zircão, apatita, sericita, clorita, e mica branca. A presença de plagioclásio sericitizado e epidoto ocorrendo de forma disseminada permite interpretar a maioria dos xistos feldspáticos encontrados, como produto de intensa deformação e retrometamorfismo atuando sobre os gnaisses da unidade.

Registram-se, então, pelo menos dois eventos metamórficos importantes atuando sobre a unidade: um metamorfismo inicial na fácies anfibolito (a presença de feldspatos recrystalizados aponta condições compatíveis, no mínimo, com o anfibolito baixo) e um intenso retrometamorfismo na fácies xisto-verde baixo, zona da clorita, provavelmente relacionado ao Sistema de Cavalcamento Açungui.



Figura 11 - Amostra do biotita gnaiss milonítico, onde se observa os bandamentos nítidos.

1.1.1.2 – Quartzitos

Geralmente são compactos e ocorrem intercalados aos filitos constituindo as cristas com direção sudoeste/nordeste. Ocorrem na parte centro-sudeste do mapa também formando pequenas lentes nos mármore dolomíticos. As faciologias encontradas são:

- Quartzitos de cor amarelada a amarela avermelhada de granulação média a fina geralmente com alta maturidade mineralógica.
- Quartzitos arcoseanos com baixa maturidade mineralógica, apresentando matriz filítica.
- Metarenitos com intercalação de bandas de granulação fina a média (localmente granulação grossa), com a forma dos grãos variando de subarredondada à arredondada.

Em geral possuem estrutura maciça com textura granoblástica. Localmente, alguns litotipos apresentam foliação S_n incipiente a moderada definida pela orientação de sericita e dos grãos de quartzo. Também feições do tipo micro-duplex paralela ao acamamento.

Uma feição comum é a presença de magnetitas bem cristalizadas, não orientadas, com granulação média à grossa dispersas na rocha.

1.1.2 – DOMÍNIO TECTÔNICO TRANQUEIRA, PESSEGUEIRO E QUEIMADINHO - Formação Capiu – Conjunto Litológico Bocaina – Região do Tigre – PR.

Pesquisando a seqüência de rochas carbonáticas (dolomíticas), que ocorrem na região ao norte de Curitiba, Bigarella *et al* (1956) denominou esta unidade, pertencente ao Grupo Açungui, como Formação Capiu. Em 1958 os mesmos autores descreveram os litotipos como mármore dolomíticos, por vezes estromatolíticos, metassiltitos, metarritmitos, ardósias, quartzitos, metarenitos, xistos e filitos grafitosos.

A estruturação da Formação Capiu é dada pela Antiforma do Setuva, que domina praticamente toda a área com extensão de cerca de 50 km, medida ao longo de seu eixo. Em seu núcleo afloram rochas atribuíveis ao embasamento, contornados por uma faixa de xistos, gnaisses e quartzitos, conferidos à Formação Setuva (Bigarella *et al*, 1967), e por sua vez, contornados por mármore, filitos e quartzitos.

Marini (1970) e Fuck *et al*. (1971), interpretaram esta unidade como sendo formada por litotipos tais como: dolomitos (mármore dolomíticos), quartzitos e camadas de filitos hematíticos e carbonosos, porém, a característica marcante da formação, no Domínio Tectônico Tranqueira, seria a presença de estruturas estromatolíticas.

No ano de 1980 Schöll *et al.* descreveu a unidade com sendo composta por depósitos predominantemente químicos (mármore dolomíticos), com intercalações de quartzitos, metassiltitos e filitos.

Fiori (1991 e 1993, *apud* Fiori, 1994), subdividiu a Formação Capiu em quatro conjuntos litológicos distintos, denominados Juruqui (composto basicamente por filitos com intercalações não muito freqüentes de quartzitos); Rio Branco (mármore, filitos e quartzitos); Morro Grande (quartzitos, filitos e mármore) e Bocaina. Esta última abrange litotipos da Formação Capiu (filitos, quartzitos e mármore) e do Grupo Setuva (Fritzens, 1982). A denominação de Grupo Setuva, no Bloco E, conjunto litológico Bocaina, deve-se assim, se restringir à faixa de gnaisses, xistos e quartzitos, que bordeja a Antiforma do Setuva sendo denominada de “Manto II” por Fiori *op cit.* Entretanto conforme foi constatado em Fiori (1987) e Althoff (1989), a faixa de xistos e gnaisses, representa, em grande parte, uma zona de rochas bastante deformadas, supondo-se tratar de um tectonofácies, e não propriamente de uma unidade estratigráfica. Isto posto o Grupo Setuva estaria restrito ao conjunto litológico da Serra da Bocaina, representado por quartzitos e filitos (ou xistos) intercalados. Seus contatos são tectônicos e estão representados pelas Falhas do Setuva e do Queimadinho respectivamente, o que leva a considerá-lo como uma lasca tectônica. Desta forma, preferimos, neste trabalho, tratar este conjunto litológico, simplesmente como Bocaina, e incluí-lo no Grupo Açungui, a exemplo de Fiori *op cit.*, haja visto a tendência de se considerar o Grupo Setuva como uma entidade de grau metamórfico mais alto, mais intensamente deformada, e com suas formações aparentemente depositadas em ambiente de águas mais profundas, associadas a vulcanismo (Tabela 2).

Os litotipos distribui-se segundo uma faixa com direção nordeste-sudoeste com largura variando entre 9 a 19km e dispostos nos domínios DTT, DTP e DTQ.

1.1.2.1 – Dolomita Mármore

Os Dolomita Mármore da Região do Tigre dispõe-se em sinforme sob metassedimentos da Formação Capiu. Forma extenso corpo de forma retangular, com a área assim distribuída: DTQ (9.753.598,33m²); DTT (340.550,16m²) e DTP (3.583.209,41m²). Apresenta contatos bruscos com as encaixantes, com exceção da parte do contato ao norte da área, onde os filitos parecem interdigitarem-se com os mármore. Os principais litotipos descritos variam de:

- Dolomita Mármore de cor branca pura, cinza muito claro, rosa muito claro e marrom muito claro, todos com estrutura maciça, textura granoblástica fina.

- Dolomita Mármore brancos com bandas centimétricas a milimétricas de coloração cinza clara, estrutura com bandamento, textura granoblástica.
- Dolomita Mármore silicosos com intercalações de níveis carbonáticos e níveis silicosos, em geral representados por cristais de quartzo. Estrutura bandamento composicional e textura granoblástica. Estes litotipos ocorrem preferencialmente no DTP.
- Metadolomitos cinza azulado, localmente com estruturas sedimentares preservadas. Textura granoblástica e estrutura maciça reliquiar.

De um modo geral estes litotipos são finos, isótopos, bem recrystalizados, homogêneos e dolomíticos (Fig. 12) e ocorrem no DTQ. Localmente observam-se variações de coloração onde, mesmo imperando a coloração branca, ocorrem manchas muito claras em tons de cinza e marrom. Estas manchas demarcam uma foliação metamórfica S_n nas rochas. Estruturas reliquiares somente foram observadas em exposições do DTT.



Figura 12 – Variações de coloração dos Dolomita Mármore da Região do Tigre

Nos dolomita mármore, os fácies bandados são caracterizados pela intercalação de cores em tons de cinza muito claro a branco com textura granoblástica, e são comuns no DTP.

Os metadolomitos ocorrem no Domínio Tectônico Tranqueira. Localmente apresentam marcas onduladas, laminação plano-paralela, estratificação cruzada acanalada de médio e pequeno porte, brechas intraformacionais, micro dobras convolutas e presença de estromatólitos. O bandamento composicional (So) é caracterizado pela intercalação de níveis com fração dololutito e dolarenito, localmente paralelo à foliação S_n incipiente. A forma dos grãos de carbonato nos metadolomitos é arredondada a subarredondada

1.1.2.2 – Filitos Indiferenciados

Ocorrem principalmente na parte noroeste do mapa na formas de lentes alongadas com direção sudoeste a nordeste em meio a rochas carbonáticas (Fig. 13) perfazendo uma área total de 3.129.940,71 m².

Os principais litotipos descritos são sericita filito, quartzo-clorita-sericita filito e grafita-sericita filito (Fig. 14). Geralmente estão associados aos metassiltitos e metarritmitos, exibindo, freqüentemente níveis centimétricos de composição quartzosa. Apresentam cor cinza escuro a castanho claro avermelhado, com granulação fina. São constituídos por sericita, quartzo, grafita, traços de clorita, mica-branca, magnetita e pirita. A textura varia de lepidoblástica a granolepidoblástica.

A estrutura da rocha mostra uma foliação S_n marcante (clivagem ardosiária), definida pela orientação subparalela das lamelas de sericita. Nos afloramentos descritos nos pontos 79 e 15B é caracterizada como uma xistosidade fina devido à presença de mica-branca orientada. Localmente, a foliação S_n (clivagem ardosiária) contém o par $Sc-Ss$, caracterizada pela orientação de sericita, correspondendo a uma deformação não coaxial desta foliação. A foliação S_n encontra-se paralela ao acamamento (S_0) evidenciado pela intercalação de níveis arenosiltosos e argilosos.

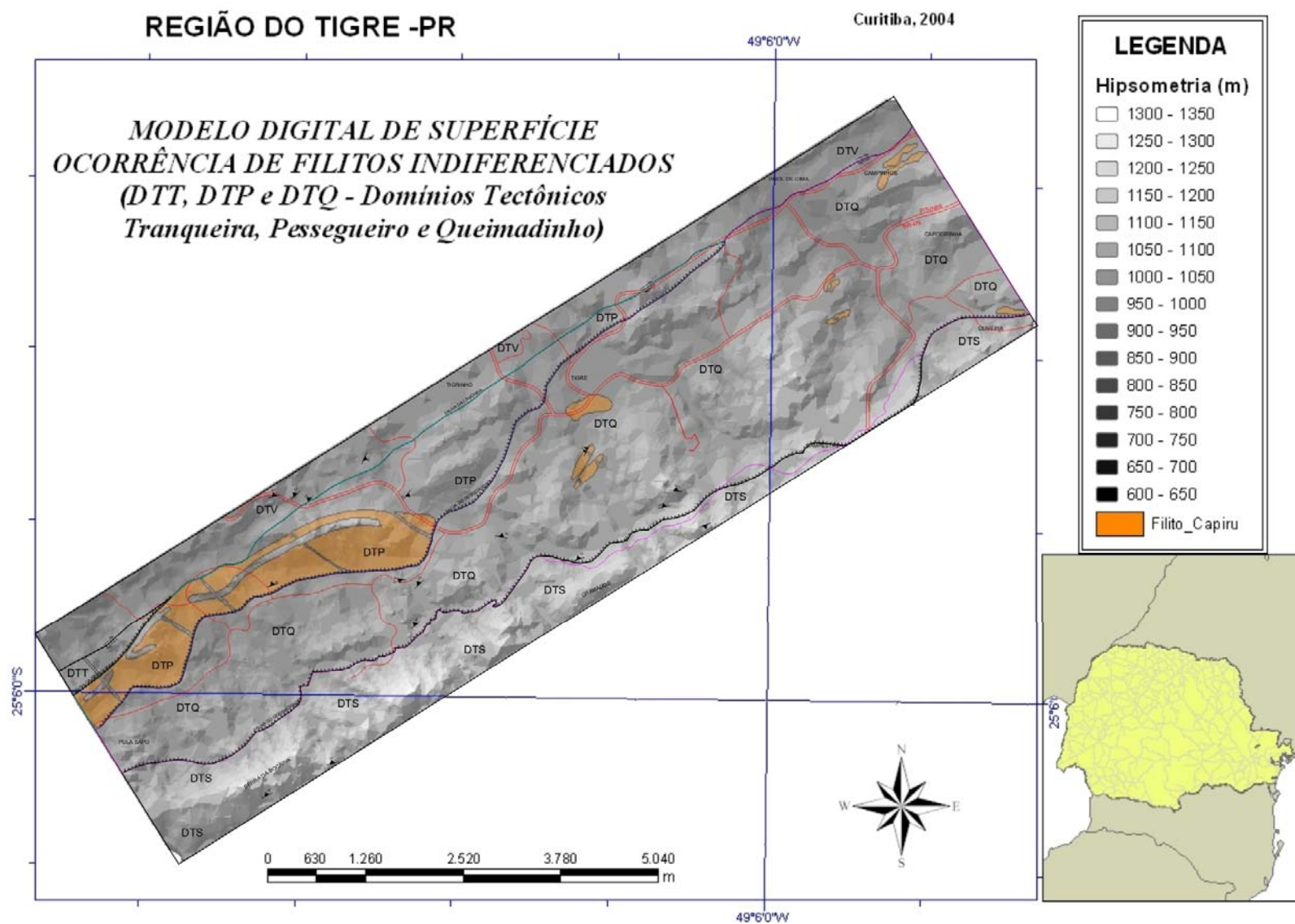


Figura 13 – Mapa geológico da Região do Tigre com exposição dos filitos aflorantes.



Figura 14- A – Sericita filito com níveis centimétricos, descrito no ponto 79. B- Quartzo-sericita filito com orientação sub-paralela de sericita, descrito no ponto 15.

A clivagem ardosiana (S_n) possui dobras milimétricas a centimétricas com ângulos interflancos (variando de fechada à cerrada) definindo uma clivagem de crenulação (S_{n+1}). Apresenta lineação de intersecção e localmente observa-se uma lineação mineral, definida pela orientação de sericita. Nos níveis mais psamíticos da rocha foliação S_{n+1} é observada como uma clivagem de fratura.

1.1.2.3 – Quartzitos

Na unidade onde se insere a Região do Tigre os litotipos quartzíticos sustentam serras alinhadas (Serra da Bocaina e Serra do Vinte e Nove), distribuídas por toda a área associados preferencialmente aos Dolomita Mármore (Fig. 15) no DTT, DTP e DTQ. Estes quartzitos estão sob a forma de cristas, que localmente ressaltam padrão de dobramentos evidenciando dobras com flancos rompidos. Aparecem segundo faixas de pequena largura e continuidade longitudinais. Foram mapeados 34 corpos aflorantes com área total de 2.515.964,02 m²

Os termos arenosos apresentam-se com maior granulação, variando de areia média a grossa. Característica do DTP são os metarenitos acinzentados de granulação grossa, com grãos de quartzo escuro, subarredondados a arredondados, intercalados por filitos carbonosos em lentes descontínuas. Localmente exibem porções ferruginosas de correntes de uma maior concentração original de minerais pesados (com eventual formação de cristais idiomórficos de magnetita) ou ainda devido aos processos secundários que envolvem migração de ferro. Nesta unidade, localmente foi reconhecida uma clara relação erosiva com a unidade basal; onde se preservam

clastos angulosos de metacalcário esbranquiçado (alguns deles apresentando bandamento milimétrico plano-paralelo) em meio à metarenito médio a grosso, subanguloso.

Localmente no DTT foram observadas estruturas sedimentares preservadas, como estratificações cruzadas de médio porte dos tipos acanalada e tabular, estratificações plano-paralelas e porções decimétricas intercaladas de meta conglomerados unimodais com seixos e grânulos de quartzo com forma subangulosa a subarredonda e matriz suportada. Pontualmente apresentam aspecto friável a semi-friável.

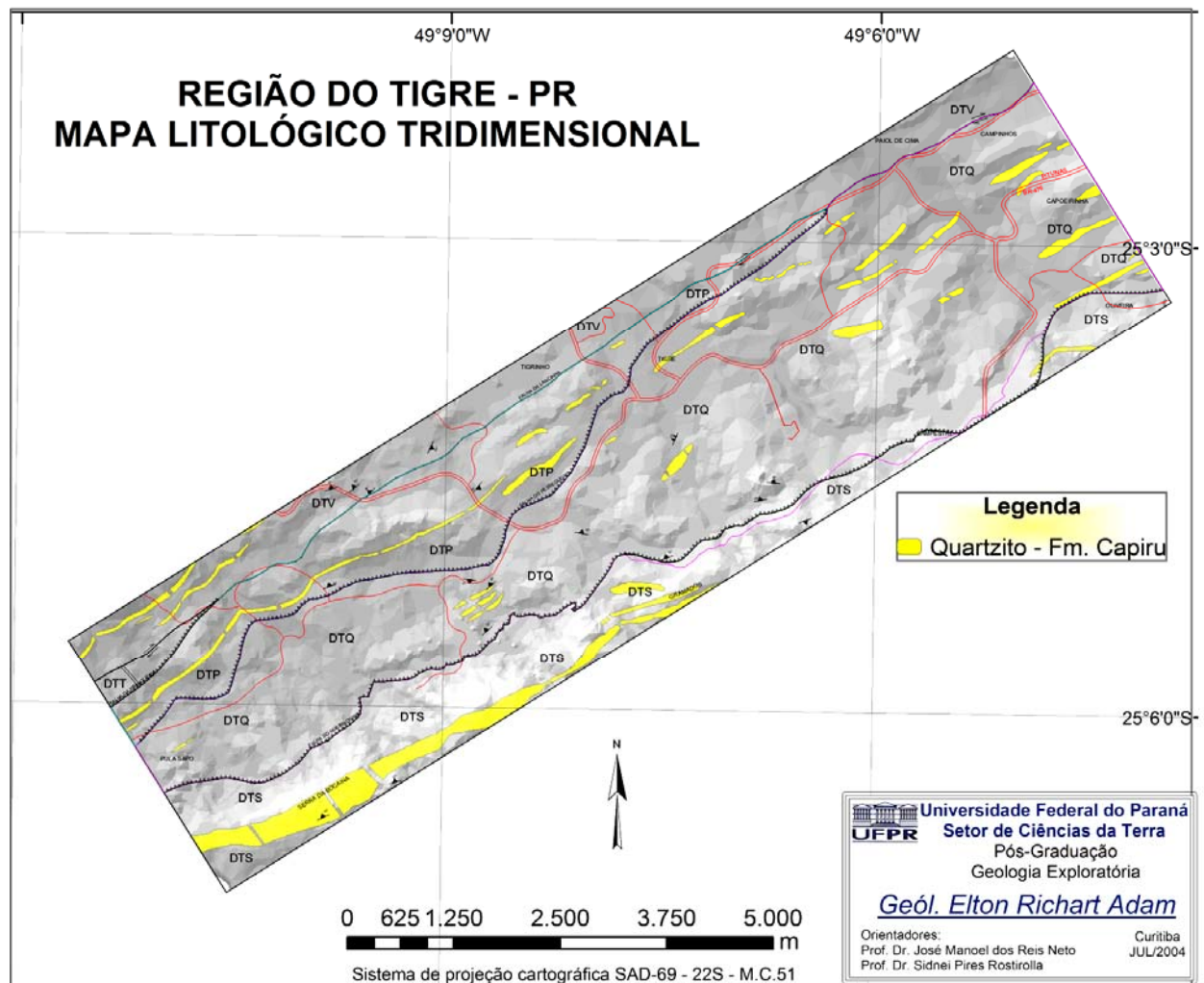


Figura 15 – Mapa geológico esquemático da Região do Tigre mostrando as ocorrências de quartzitos.

1.1.3 – DOMÍNIO TECTÔNICO VOTUVERAVA – Formação Votuverava –

Conjunto Litológico Bocaina – Região do Tigre – PR

Estes litotipos ocorrem na Região do Tigre a norte da ZTL e perfazem um total de 5.292.116,57 m² (Fig. 16) estão dispostos no DTV. Neles se observa dois tipos de coloração distinta e descritas a seguir:

1) Rocha de cor cinza, granulação muito fina, formada por quartzo finamente cristalizado em associação com minerais micáceos orientados e textura lepidoblástica. A estrutura da rocha é caracterizada por uma foliação marcante decorrente da orientação paralela dos filossilicatos representando uma foliação original (S_0) que se encontra seccionada por superfície de deformação S_1 , perpendicular a mesma (Fig. 17A).

2) Rocha de coloração avermelhada (Fig. 17B), composta por quartzo na fração silte e argila, além de filossilicatos (sericita). A textura predominante é lepidoblástica, caracterizada pela orientação destes filossilicatos. Estruturalmente observam-se planos de foliação S_0 marcada pela intercalação de níveis milimétricos quartzosos e níveis milímetros a centimétricos micáceos. A foliação S_1 é marcada pela orientação paralela à subparalela dos filossilicatos conferindo um aspecto anastomosado e uma clivagem ardosiana. A foliação S_2 é assinalada por uma clivagem de crenulação, determinando uma lineação L_1 oblíqua à foliação S_1 . Em algumas porções, o fílitto passa gradativamente para metassiltito e, em outras vezes, para metarritmito, porém este detalhamento não é representativo.

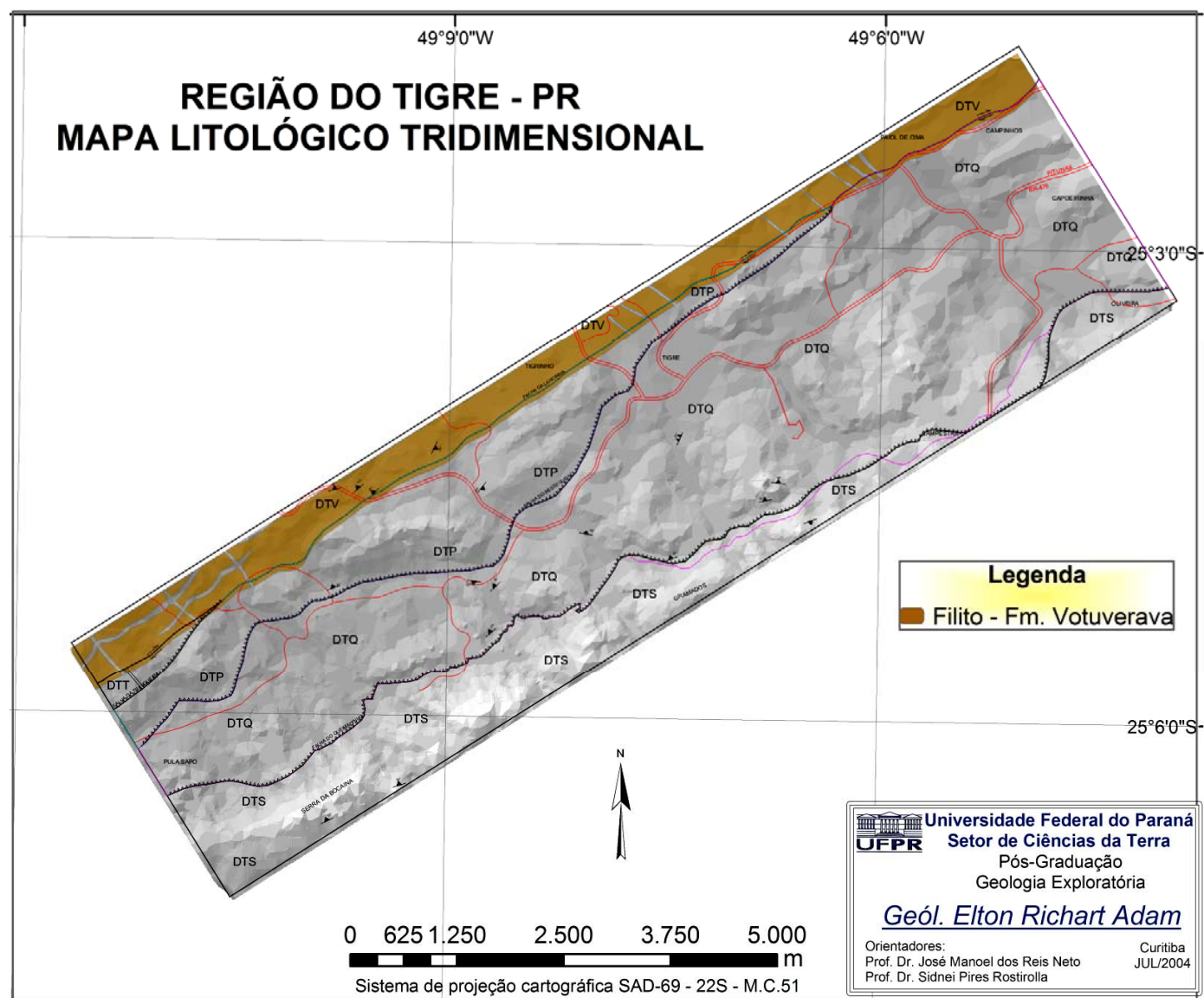


Figura 16 – Mapa Geológico Esquemático da Região do Tigre mostrando a porção aflorante dos filitos pertencentes a Formação Votuverava.

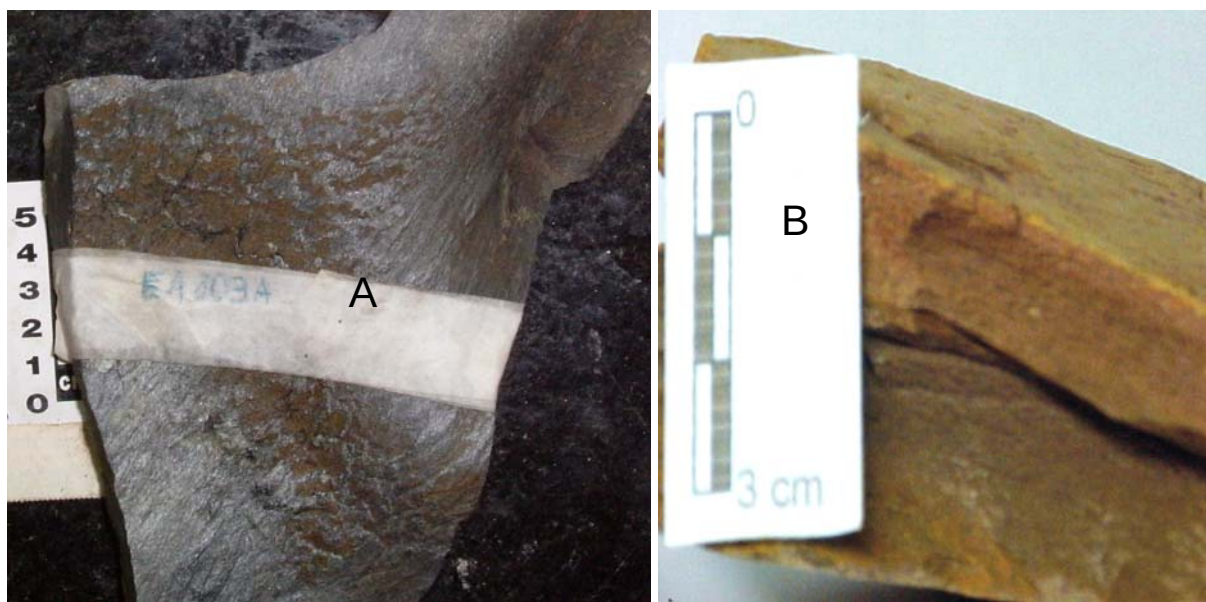


Figura 17 – (A) Filito de cor cinza, granulação muito fina, composto por quartzo cristalizado, ponto 103; (B) Filito de cor avermelhada, textura lepidoblástica e orientação dos filossilicatos.

1.1.4 - Formação Serra Geral – Diabásios, Micro Gabro, Dioritos e Doleritos.

Os litotipos desta Formação são intrusivos e posteriores a toda tectônica Proterozóica, apresentam-se como diques de direção noroeste com extensões métricas até quilométricas (Fig. 18), e estão distribuídos homogeneamente, aflorando nos cinco domínios tectônicos, correspondendo a 25 corpos com área total de 1.408.839,22 m².

Estes foram gerados durante o Evento Sul-Atlântico, de idades Mesozóicas. Ocorrem preenchendo falhas e fraturas segundo a direção geral N50-60°W, com espessuras médias em torno de 10,0 a 40,0 m, por vezes recobertas por solos de coloração avermelhada. É comum a presença de blocos de rocha apresentando esfoliação esferoidal, preservados em meio ao solo (pedra capote). Quando intrudidos em metassedimentos formam relevo negativo (vales), enquanto que nos calcários formam cristas alongadas e contínuas, ressaltando na topografia.

Incluem entre seus litotipos diabásios, dioritos pórfiros, micro-gabros, gabros e micro-dioritos e quartzo dioritos. Os primeiros correspondem a rochas melanocráticas cinza-escuras e de granulação fina; os dioritos pórfiros possuem as mesmas características dos anteriores, porém ocorrendo nos diques de maior espessura. Estes apresentam ainda como características marcantes, cristais milimétricos de plagioclásio em meio a uma matriz fina. A estrutura é maciça e a textura varia de fanerítica equigranular a intergranular.

Geralmente, em campo constituem blocos de tamanho métrico a decimétrico, de forma subarredondada, com decomposição esferoidal e capa de alteração

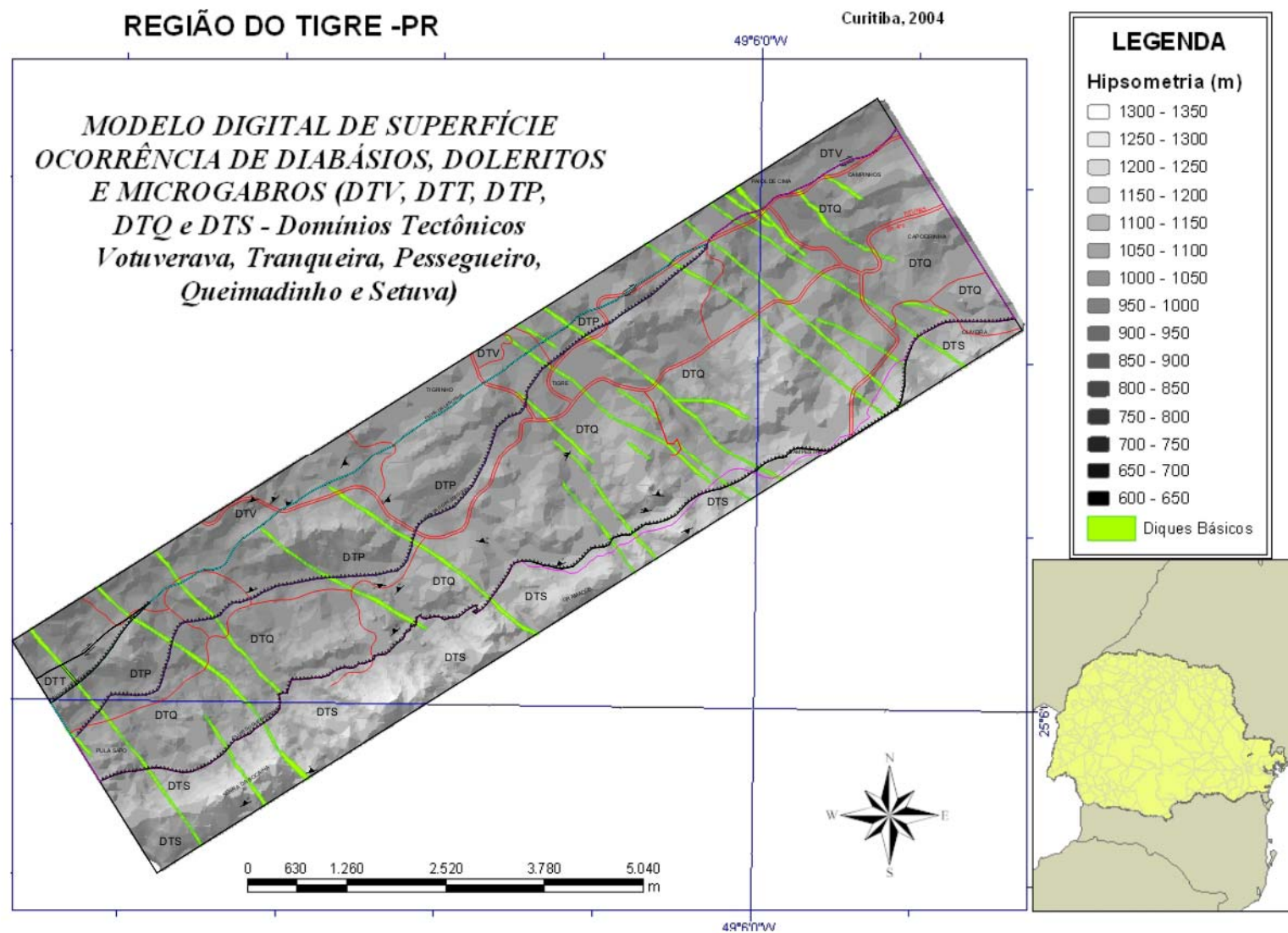


Figura 18 – Mapa geológico esquemático mostrando as ocorrências de diabásios e/ou doleritos.

1.1.5 – Sedimentos Aluvionares Quaternários

Os depósitos de aluviões atuais encontram-se localmente no Domínio Tectônico Pessegueiro em um fundo de vale, recobrimo preferencialmente as rochas carbonáticas em uma área de 0,01 km². Formam áreas aplainadas, via de regra com nível freático raso ou aflorante.

São compostos de cascalhos e areias de granulometria média a grossa, com seixos subarredondados e subangulosos de quartzo, gradando para areia com matriz argilosa e argila plástica cinza no topo. Os depósitos aluvionares atingem espessuras inferiores à 1,0 m, podendo ser capeados por solos hidromórficos.

1.2 – Aspectos Estruturais

Neste capítulo são abordadas as seguintes estruturas: falhas, dobras, foliações, alinhamentos e lineamentos estruturais, analisados segundo o nível crustal em que se desenvolveram e a caracterização estrutural e interpretação da trama tectônica, de modo a respeitar a complexa organização estrutural a qual foi submetido o Grupo Açungui.

O elemento estrutural mais importante da área é a falha da Lancinha, de natureza transcorrente, que delimita a Formação Capiçu com a Formação Votuverava.

Diques de diabásio Mesozóico ocorrem direcionados para Noroeste, marcando um lineamento expressivo para aquela direção.

Os metassedimentos presentes encontram-se dobrados e falhados de forma bastante complexa.

Os principais traços da estrutural da área estudada estão representados na Figura a seguir (Fig. 19).

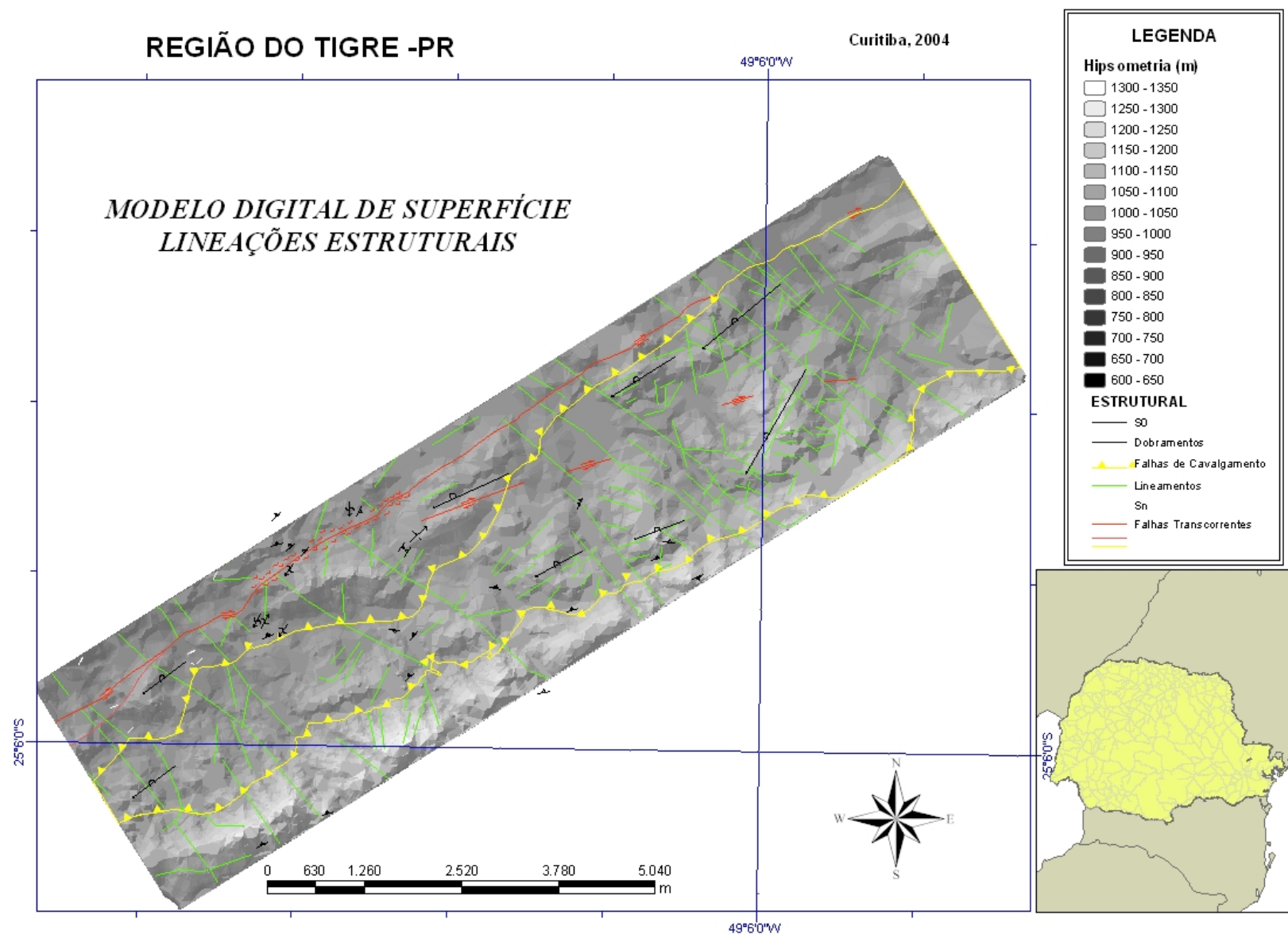


Figura 19 – Modelo Digital de Superfície - MDS com os principais lineamentos estruturais regionais demarcados.

1.2.1 – Aspectos Estruturais Regionais

O grupo Açungui foi subdividido por Fiori (1990) em três grandes blocos tectônicos, os quais foram denominados de “C”, “D” e “E”. A área em estudo encontra-se inserida no bloco tectônico “E” (90%) e no bloco tectônico “D1” (10%).

A tectônica ocorrente derivou três principais sistemas de deformação:

- 1) Sistema de Cavalgamento Açungui (SCA) o mais importante de todos e responsável em grande parte pela complexidade da área. Este sistema gerou foliações S_1 dispostas paralelas ao bandamento (S_0) de origem sedimentar, e a foliação S_2 , localizada ao longo de algumas falhas de cavalgamento, dobras-falha e dobras em raiz. O modelo estrutural que melhor descreve o arranjo espacial é o duplex.
- 2) Sistema de Dobramento Apiaí (SDA), representado por um generalizado dobramento das estruturas anteriormente formadas, sendo melhor evidenciado pela foliação S_1 e/ou S_0 (bandamento de origem sedimentar) e pelas falhas de cavalgamento, estando a ele relacionadas dobras, que variam desde centimétricas até vários quilômetros de extensão.
- 3) Sistema de Transcorrência Lancinha (STL): ao qual se associam as principais falhas transcorrentes da área, entre elas a da Lancinha.

A Bacia Açungui é do tipo retroarco. Sua evolução é marcada por depósitos com evidências de atividade glacial no início, passando a seqüências turbidíticas, realizadas em águas mais profundas e mais tarde passa a exibir condições de deposição em mar relativamente raso e quente, com intensa atividade biológica (estromatólitos da Formação Capiu). Em seguida a Bacia é submetida a um intenso tectonismo de cavalgamento (SCA), reflexo da colisão continente-arco-continente, levando ao seu total fechamento. A coluna estratigráfica original da bacia é consequentemente cortada em fatias, que são transportadas para sul - sudeste, através de grandes falhas de cavalgamento e reempilhadas aleatoriamente.

No final da evolução os SDA e STL, que afetam as estruturas e o empilhamento tectônico anteriormente formado, originando novas estruturas e desenhando o atual quadro da geologia do Grupo Açungui na área.

1.2.2 – Aspectos Estruturais da Região do Tigre

A área foi dividida em cinco compartimentos tectônicos limitados por falhas de cavalgamento e transcorrente representados na Figura 21 a seguir. Quando limitados por pelo menos uma falha de cavalgamento, os domínios tectônicos representam estruturas de “*nappes*” (Fiori, 1990).

Para a divisão da área, além da presença das descontinuidades, os compartimentos foram avaliados quanto à similaridade da estruturação tectônica e geomorfológica.

Os principais sistemas estruturais de deformação observados foram sistemas dúcteis, rúpteis e dúcteis-rúpteis.

As grandes zonas de concentração de deformação ocorrem próximas as grandes falhas mapeadas e estão relacionadas à competência/reologia das rochas e o nível crustal onde se desenvolveram.

Setenta e cinco por cento da área ocupada pela Região do Tigre corresponde a Formação Capiuru.

A estruturação da Formação Capiuru é dada pela Antiforma do Setuva, que domina praticamente toda a área com extensão de cerca de 50 Km, medida ao longo de seu eixo. Em seu núcleo afloram rochas atribuíveis ao embasamento, contornados por uma faixa de xistos, gnaisses e quartzitos, conferidos ao Grupo Setuva (Fritzens, 1982).

A Antiforma do Setuva acha-se estruturada em um amplo “V”, cujo fechamento é voltado para Sudoeste. O traço axial dessa estrutura tem direção aproximada de N50°E, estando seu flanco norte paralelo a falha da Lancinha, local onde se insere a Região do Tigre.

Ocorrem ainda nesta região falhas de cavalgamento, falhas transcorrentes, lineações estruturais e dobras.

As falhas de cavalgamento ocorrentes na região em estudo (Tranqueira, Queimadinho e Pessegueiro) foram formadas em dois eventos tectônicos sucessivos, sendo que a do Queimadinho e do Pessegueiro referem-se ao primeiro evento de deformação (Fiori, 1990). Estes cavalgamentos foram utilizados como divisores dos domínios tectônicos para área do Tigre.

As falhas transcorrentes relacionam-se ao STL. A principal falha é a da Lancinha, que atravessa toda a área, a partir da região de Pula Sapo, trunca a falha de cavalgamento da Tranqueira e alinha-se na direção sudoeste no interior da área. Outras falhas de menor porte podem ser observadas no mapa geológico estrutural (anexo 1).

As lineações estruturais obedecem a três padrões preferenciais de direção sudoeste a nordeste, norte – sul e sudeste a noroeste (Fig. 20). Para a análise foi observado, que as direções preferenciais de fraturamentos, variam de N-S a N10-30E e N30-60W. As fraturas com direção N10-30E, podem estar associadas ao evento tectônico responsável pelo aparecimento da Falha da Lancinha (fraturas de relaxamento) e as famílias com direção N30-60W seriam as fraturas de tração relacionadas ao evento de intrusão das rochas intrusivas.

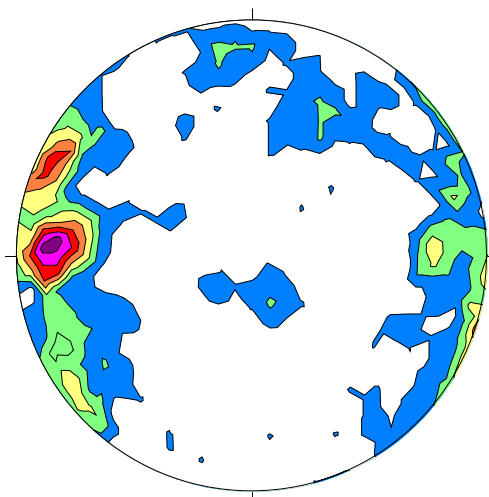


Figura 20 - Diagrama de contorno dos pólos máximos das fraturas. Total de 279 medidas planares e 6 lineares.

1.2.2.1 – Falhas Transcorrentes

A falha da Lancinha encontra-se disposta segundo uma direção média N50°-55°E apresentando um traço essencialmente retilíneo, fazendo prever sua atitude vertical a subvertical limitando a Formação Capiru com a Formação Votuverava. Morfologicamente representa uma linha deprimida no terreno, sobre a qual se instalaram trechos de drenagens de terceira ordem.

Em campo caracteriza-se por apresentar litotipos muito fraturados e aspecto anastomosado, contorcido. Estrias de atrito são dificilmente observadas, quando passíveis de medição, apresentam um caimento variando entre 8° e 15°.

Os planos da foliação cataclástica têm direções N44°-55°E, com mergulhos variando de 45° até subverticais, embora a tendência seja a valores superiores a 60°, geralmente voltados para o quadrante noroeste.

Esta falha segundo Fiori, 1985 e 1987 representa o reflexo de um importante falhamento transcorrente do embasamento, provavelmente a falha de Cubatão.

Quando se trabalha em afloramentos situados próximos ao traçado da mesma há dificuldades no reconhecimento dos efeitos tectônicos atribuíveis a esta falha. Isto ocorre porque

os metassedimentos analisados se apresentam deformados, com uma foliação bem desenvolvida e penetrativa, o que é facilmente tomado como decorrente ao falhamento Lancinha.

1.2.2.2 – Falhas de Cavalgamento

Estas falhas podem ser identificadas em aerofotografias e pelo traçado, às vezes bastante sinuoso. No campo caracterizam-se por uma intensificação da deformação e em certos casos, pela presença de uma foliação S_2 . As falhas de cavalgamento ocorrentes na área em estudo são:

- A falha da Tranqueira surge na região homônima e estende-se para Leste. Nesta região sofre uma inflexão para nordeste interceptando a falha da Lancinha, quando então, cai para nordeste, aproveita esse plano, confundindo-se com aquela falha. Esta falha delimita dois domínios tectônicos na Região do Tigre o DDT e o DTP.
- A falha do Pessegueiro contorna toda a zona periclinal da antiforma do Setuva, cortando grosso modo ao meio, os mármores posicionados entre a falha da Lancinha e a Falha do Queimadinho. Em campo junto aos mármores (pontos 61, 77 e 117), caracteriza-se por um intenso fatiamento tectônico, sendo comum presença de faixas com cores mais escuras, onde houve uma maior deformação.
- A falha do Queimadinho acha-se desenvolvida na parte norte da antiforma do Setuva, e tem um traçado irregular com mergulhos voltados para norte, da ordem de 43° - 62° . Sua direção média é em torno de $N75^{\circ}E$, caracteriza-se no campo por intenso cataclasmamento e desenvolvimento de foliação ao longo de seu traçado. Esta falha corta toda a área correspondente a Região do Tigre (pontos descritos 66, 34, 71, 148 e 119).

Estes grandes falhamentos de cavalgamento (Lancinha, Tranqueira, Pessegueiro, Queimadinho) proporcionaram dividir a região em estudo em compartimentos tectônicos com importantes reflexos na estratigrafia e na geologia estrutural (Fig. 21).

Entende-se por compartimento tectônico, todo o conjunto de litologias e de estruturas situados entre dois ou mais falhamentos, quer seja de cavalgamento ou transcorrentes.

O falhamento transcorrente determina a compartimentação mais evidente, a qual separa a Formação Capiru da Formação Votuverava. A compartimentação decorrente de falhas de cavalgamento é mais complexa. Tipicamente estas falhas separam faixas de rochas, porém, estas estão empilhadas umas sobre as outras, complicando a estratigrafia original. São comuns as duplicações estratigráficas, devido ao empilhamento de tratos de uma mesma ou outra unidade estratigráfica.

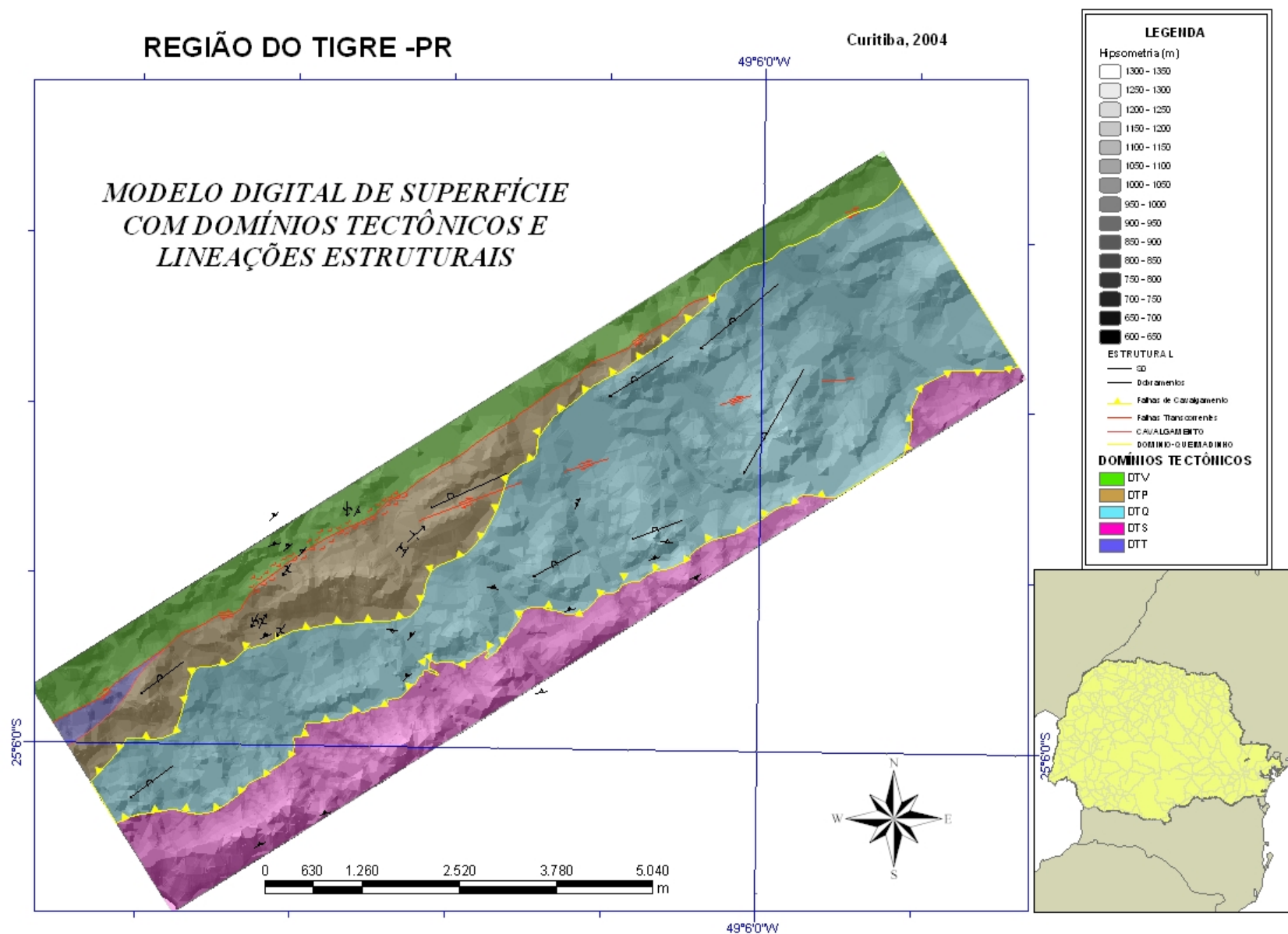


Figura 21 – Mapa estrutural com a compartimentação tectônica da área em estudo.

Outro fato a considerar é que a sobreposição tectônica decorrente das falhas de cavalgamento é anterior a compartimentação devido às falhas transcorrentes. Assim, estas últimas causam uma adicional complicação ao deslocar lateralmente os empilhamentos anteriores, colocando lado a lado empilhamentos diferentes, separados originalmente por grandes distâncias.

A falha de Cavalgamento do Queimadinho, concordante com a antiforme do Setuva, gera uma zona milonítica característica de um cisalhamento dúctil-rúptil conforme pode ser constatado nos pontos 66 e 68. Já no próximo afloramento descrito (ponto 69) observou-se a ocorrência de eixos de dobras com atitudes $N256^{\circ}/60^{\circ}NW$ (Fig. 22), dobras de arrastos e feições indicando vergência de noroeste para sudeste.

No afloramento de n° 119 foram observadas micro-dobras com medidas de eixos variando entre $N32$ a 44 , e estiramento de cristais de quartzo marcando um lineação mineral que indicam um transporte com movimentação de noroeste para sudeste.



Figura 22 – Fotografia mostrando uma dobra referente a estrutura dúctil junto a Falha de Cavalgamento Queimadinho (ponto 69).

Junto à falha do Pessegueiro também foi ressaltado a presença de tectônica dúctil representada por dobras assimétricas, homoclinais métricas com vergência estrutural para sudeste (ponto 08), colocando em contato litotipos filíticos com direção noroeste com dolomita mármore de direção sudeste.

1.2.2.3 – Outras Estruturas

A tectônica rúptil está impressa nas estruturas ao longo da área de estudo. Está representada por um falhamento com movimentação direcional dextral, bem observado em aerofotografia, onde a morfologia mostra um relevo negativo de direção nordeste – sudeste.

Ainda na fotointerpretação predominam traços lineares que representam à intersecção de formas planares verticais, tais como lenticularizações, boudinamentos, dobramentos subverticais impostos ao litotipo e famílias de fraturas com direção predominantemente nordeste, espaçamento e densidade variados (Fig. 23, 24 e 25).

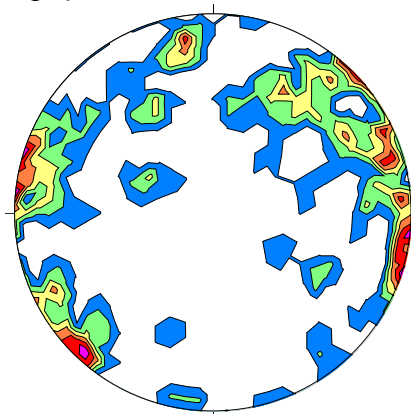


Figura 23 - Diagrama de contorno dos pólos máximos das fraturas do DTQ. Total de 83 medidas planares e 3 lineares.

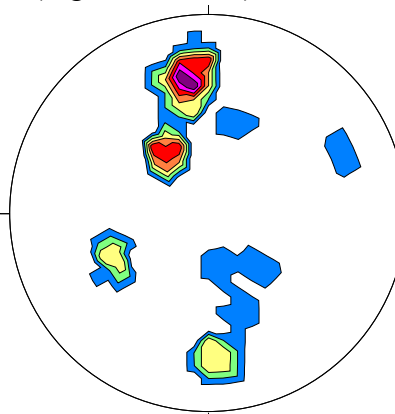


Figura 24 - Diagrama de contorno dos pólos máximos das fraturas do DTP. Total de 43 medidas planares e 1 linear.

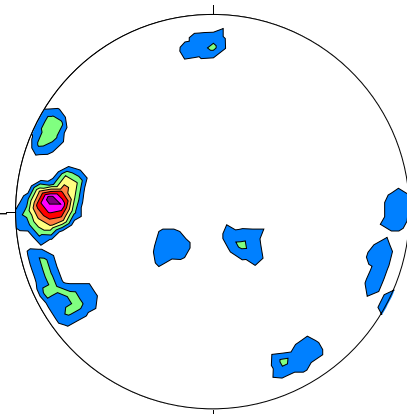


Figura 25 - Diagrama de contorno dos pólos máximos das fraturas do DTT. Total de 31 medidas planares.

Os indícios de falhamentos foram detectados nos afloramentos de números 17, 18, 19, 21 e 53. Nos afloramentos 17 e 18 observou-se uma zona de maior cisalhamento com fraturas apresentando espaçamento centimétrico e direção N46°E/64°NW. É uma estrutura dobrada apresentando mergulhos voltados para norte, com valores em torno de 25° a 68°, em seu trecho onde atravessa toda a Região do Tigre. Ainda nestes afloramentos foram observados microfalhas com deslocamento inverso ao sentido de movimentação da falha da Lacinha e duas dobras: a primeira de caráter fechado, com a atitude do eixo N175°/66° e a segunda, do tipo arrasto com eixo N215°/40°.

São comuns dobras de arrasto e estruturas sigmoidais compatíveis com o movimento dextrógiro da zona de transcorrência Lacinha; as dobras são geralmente abertas, com eixos verticalizados de dimensões centimétricas a métricas.

As dobras D₁ (em escala mesoscópica) não são facilmente encontradas nos afloramentos (Fig. 27), apresentando-se de um modo geral com dimensões centimétricas a decimétricas, e mais raramente, de dimensões métricas. Variam em perfil de dobras fechadas a isoclinais, sendo

desenhadas pelo antigo acamamento sedimentar, sendo mais facilmente encontradas em filitos, mas podem ser freqüentemente vistas também em quartzitos e mármore.

Apresentam a foliação S_1 disposta em posição plano axial, e como feição diagnóstica, mostram pelo menos um de seus flancos rompidos ou extremamente adelgaçados, com o plano de ruptura paralelo ou subparalelo à foliação S_1 . Nas dobras D_1 pode-se observar, o falhamento de um dos flancos, a foliação S_1 disposta em posição plano axial e o paralelismo entre S_1 e o plano de falha.

Nos mármore, a identificação quer de S_0 como de S_1 é geralmente dificultada pela homogeneidade composicional, pela recristalização dos mesmos. Porém, quando os mármore se apresentam bandados, como intercalações de metamargas ou de filitos, as duas estruturas podem ser prontamente reconhecidas. A foliação S_1 apresenta-se discordante de S_0 nos ápices das dobras. À escala regional, podem-se notar uma intensificação de S_1 nas proximidades das falhas de cavalgamento como as do Setuva, do Pessegueiro e do Queimadinho.

A caracterização do acamamento original S_0 (N65°E/55°NW a N38°E/32°NW) foi dificultada por ausência de estruturas mascaradas pela sobreposição de eventos deformacionais posteriores.

A foliação S_1 foi definida como uma superfície gerada por cisalhamento de baixo ângulo que ocorre como estrutura penetrativa de caráter regional. A foliação no domínio Setuva é caracterizada pela xistosidade marcante definida pela cristalização subparalela dos cristais de biotita e muscovita. Esta xistosidade apresenta-se dobrada, anastomosada e crenulada, com estrutura milonítica. De acordo com os diagramas de pólos para S_1 (Fig. 26 e 27) o eixo β apresenta direção noroeste (N286°/46°) e caimento para o mesmo quadrante.

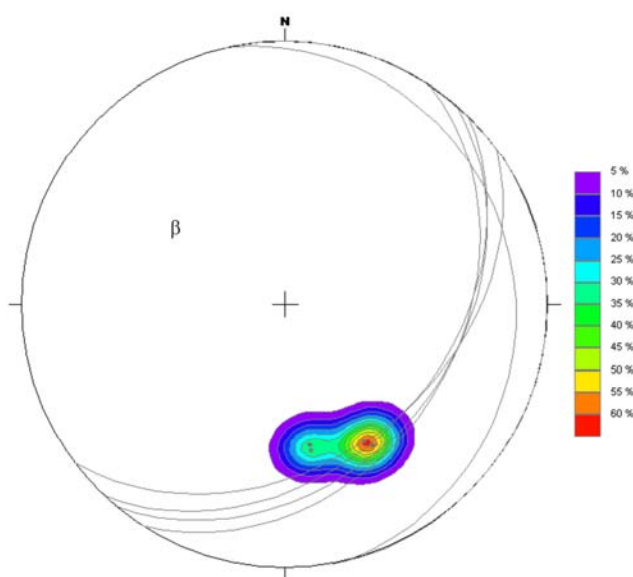


Figura 26 – Diagrama de Densidade de pólos de Foliação S_1 , com a guirlanda e eixo β .

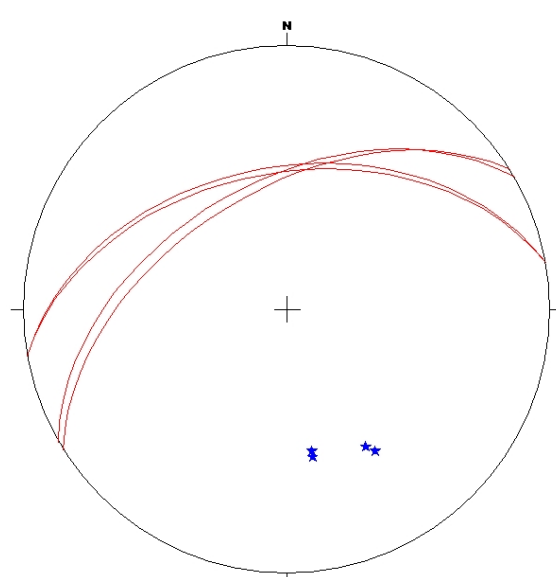


Figura 27 – Diagrama de representação ciclográfica de 46 medidas de foliação S_1

A foliação S_2 (Fig. 28) com direção constante nordeste e mergulho para noroeste, apresenta caráter anastomosado, descontínuo, com espaçamento milimétrico e disposta obliquamente a direção da S_1 . Como regra geral, a foliação S_2 corta transversalmente tanto S_1 como S_0 , a ângulos extremamente variáveis, desde aproximadamente 0° , até cerca de 90° . Verificam-se no campo, casos que S_2 rompe S_1 , outros que intersecta S_1 sem causar-lhe distúrbios aparentes, e outros onde causa intensa crenulação em S_1 .

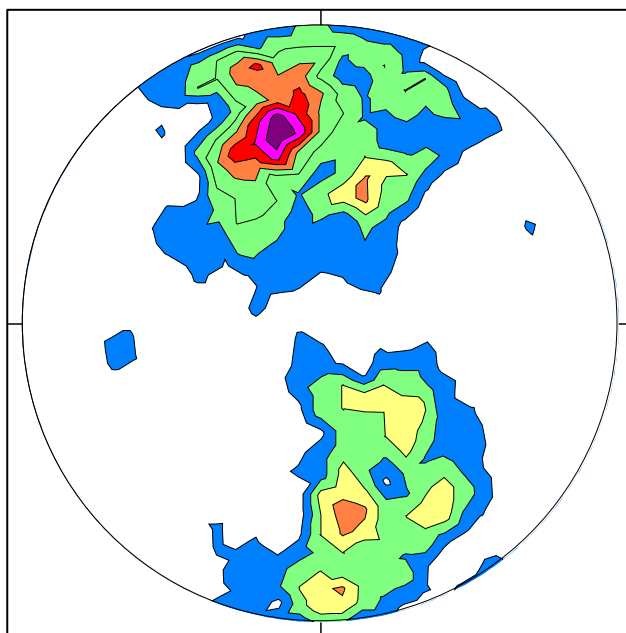


Figura 28- Diagrama de contorno dos pólos máximos das foliações S_n . Total de 299 medidas planares e 12 medidas lineares.

Em caráter local observou-se uma foliação com desenvolvimento não penetrativo por toda a área. Constatou-se ser uma clivagem de crenulação, que resultou da transposição dos flancos de micro-ondulações. Esta foliação denomina-se clivagem ardosiana, já que seus planos não apresentam micas bem desenvolvidas, e sim uma fina cristalização de sericita, que empresta um aspecto sedoso e brilhante aos planos. Raramente é possível identificar com segurança a foliação S_1 disposta transversalmente a S_0 .

Na falha do Pessegueiro, pode-se notar que a foliação S_1 torna-se mais cerrada, levando ao desaparecimento dos microlitons. Nota-se ainda que os minerais planares (sericita) se desenvolvem mais intensamente, e que há um maior estiramento de minerais, como bem pode ser notado em grãos de quartzo no corpo de quartzito situado no flanco norte as Sinforma de Morro Grande.

1.2.3 – Análise Estrutural da Região do Tigre

O primeiro sistema de deformação que afetou as rochas da Região do Tigre (Formação Capiçu) deu-se em condições dúcteis e dúcteis-rúpteis, gerando uma intensa e generalizada foliação S_1 , disposta quase sempre paralelamente ao antigo acamamento sedimentar.

O processo de cisalhamento puro foi o principal mecanismo formador de faixas de dobramento. Por outro lado, em zonas de cisalhamento (ou *shear zones*), o principal processo atuante, ao menos nas fases mais tardias, é essencialmente o cisalhamento simples, ou deformação rotacional. Adicionalmente, o primeiro processo leva a uma deformação homogênea, ao menos em áreas pequenas, enquanto o segundo leva geralmente a uma deformação heterogênea, notável à escala de amostra de mão ou mesmo de afloramento.

A foliação S_1 é a estrutura mais comum e marcante na área, podendo ser verificada em quase todos os afloramentos. Seus aspectos mais marcantes são seu paralelismo com S_0 e sua heterogeneidade, evidenciada pelo forte fatiamento e lenticularização das rochas. A heterogeneidade do processo deformacional que acompanhou o desenvolvimento de S_1 , caracteriza-se pela alternância de níveis de espessuras milimétricas a decimétricas de rocha muito deformadas, com densa foliação, alternados com níveis pouco ou não deformados, nas quais a foliação é inexistente ou então, muito mal desenvolvida.

A relação genética entre a foliação S_1 e as dobras D_1 é evidente na área, uma vez que S_1 situa-se em posição próxima ao plano axial dessas dobras, e paralela à superfície de ruptura dos flancos.

As dobras D_1 , caracterizam-se por apresentar pelo menos um de seus flancos rompido ou extremamente adelgado, com o plano de ruptura paralelo ou subparalelo à foliação S_1 . Tratam-se na realidade, de verdadeiras dobras de arrasto, na forma de pequenas “*nappes*” (Fig. 29), associadas às “*shear zones*”. Daí a razão de serem esparsas pela área e de ocorrerem dentro de um estrato rochoso, limitado por outros estratos não dobrados (lembrando dobras intrafoliais).

As falhas de cavalgamento podem ser vistas em afloramentos, desde escalas centimétricas, associadas ou não a dobras D_1 , como escalas maiores. Dessa forma as grandes falhas de cavalgamento mapeadas, representam grandes “*shear zones*”, de natureza idêntica às aquelas de escala menor.



Figura 29 – Dobra de arrasto na forma de pequenas “*nappes*”(ponto 103).

As zonas de cisalhamento também representam falhas de cavalgamento. Analisando mais detalhadamente esse importante aspecto constata-se que:

- As inclinações da foliação S₁, e conseqüentemente, das zonas de cisalhamento da área, variam desde horizontais a verticais, com um valor médio em torno de 30° - 50°. Este fato, no entanto, é devido à dobras do Sistema de Dobramento Apiaí, que alteram a atitude original das zonas de cisalhamento, dificultando imediato reconhecimento de sua verdadeira posição espacial.
- As dobras do SDA., apresentam uma atitude média do eixo, em torno de S70°W/15. A Antiforma do Setuva é a dobra mais importante dessa fase, na Formação Capiru.
- As zonas de cisalhamento com a foliação S₁, estão relacionadas à falhas de cavalgamento, tendo em vista seu original baixo ângulo de mergulho.

Dessa forma, ao se estabelecer um modelo tectônico para a Formação Capiru junto a Região do Tigre, pode-se dizer que há pelo menos dois eventos relacionados à formação das falhas de cavalgamento.

No primeiro, que está relacionado aos falhamentos ocorrentes na região de estudo, desenvolveram-se as falhas de Tranqueira, Pessegueiro, Queimadinho e do Setuva, e posteriormente, as outras falhas de cavalgamento, ou seja, de Morro Grande e de Almirante Tamandaré, sendo que estas duas últimas encontram-se cortando as primeiras.

A diferença de comportamento entre as Falhas do Setuva, de Tranqueira, Queimadinho e do Pessegueiro com as de Almirante Tamandaré e de Morro Grande ocorre devido aos deslocamentos em sentidos opostos, que apresentam.

A falha de cavalgamento, como é fácil imaginar, instala-se preferencialmente em planos de menor resistência mecânica. Dentre esses planos, os mais importantes são os de acamamento, ou de contato entre diferentes tipos litológicos, e naturalmente, os níveis de rochas mais plásticas.

1.2.4 - Evolução Estrutural da Área

A principal feição estrutural da área são as falhas de cavalgamento do Queimadinho, do Pessegueiro e da Tranqueira. Estas falhas instalaram-se preferencialmente em planos de menor resistência litológica (acamamento e contatos litológicos), recortando e empilhando a seqüência sedimentar em forma de duplex (Fig. 30) e ocasionando a lenticularização das unidades.

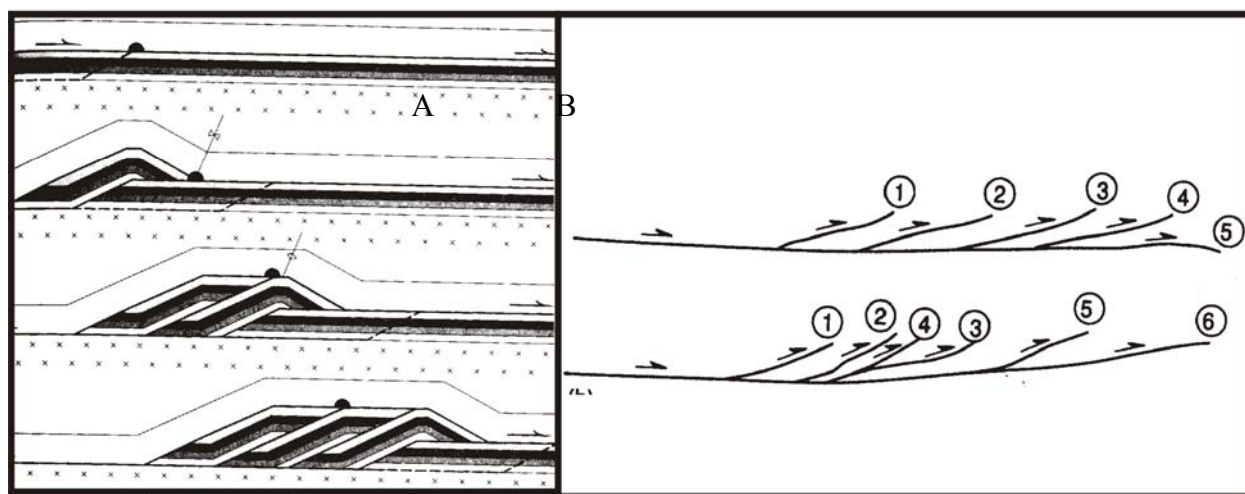


Figura 30 - Feições compressionais observadas. Em “A” esquema de desenvolvimento de um dúplex. Em “B”: esquema geral do desenvolvimento de leques imbricados de cavalgamento.

Fonte: Hatcher (1995)

O sentido de transporte destas falhas foi de sul para norte, convencionalmente diz-se que a seqüência superior cavalgou a inferior. No entanto o movimento é relativo não absoluto, podendo se dizer que seqüência inferior também foi transportada/cavalgada para baixo da superior.

A falha de Pessegueiro ocorre paralela a Falha do Queimadinho. A interpretação para o sistema de falhas de cavalgamento é a de um leque imbricado de cavalgamento, principalmente observado pelo seu arranjo geométrico. Ocorre que esta interpretação sugere movimentos com sentidos contrários, portanto a melhor interpretação seria aquela proposta por Fiori (1990) a de uma estrutura *nappes*. Neste caso diz-se que a seqüência superior, foi transportada, carregada ou cavalgou a inferior ou também se pode dizer que a seqüência inferior foi carregada para baixo da superior. Conceituando-se *nappes*, tem-se que tenha ocorrido uma superposição vertical de duas séries, cuja sucessão não é normal, não está conforme com as leis da estratigrafia, ou seja a série superior está formada por rochas mais antigas que a série inferior.

A falha do Setuva limita as rochas do Grupo Açungui do seu embasamento (Complexo Setuva), caracterizando uma falha de deslocamento (*detachment*). A deformação não coaxial imposta neste evento (Sistema da Cavalgamento Açungui) gerou os planos da foliação S_n com direção média E-W/vertical. Esta deformação tem caráter heterogêneo e são concentradas nas faixas próximas as falhas de cavalgamento.

A foliação principal (S_n) que ocorre paralela à subparalela ao acamamento sedimentar (S_0), está relacionada à tectônica de cavalgamento.

Próximo às falhas ocorre à formação do par conjugado de foliações S_c/S_s , microduplex e dobras falhas ou de arrasto com tamanho milimétrico a decimétrico. Estas feições formadas em regime dúctil-rúptil, correspondem a estruturas não-coaxiais com deslocamento anti-horário, condizente com a movimentação das falhas de cavalgamento.

Superimposta a foliação S_n ocorre uma segunda deformação, caracterizada pelo seu dobramento, onde o produto obtido é uma clivagem de crenulação (S_{n+1}). Esta clivagem de crenulação não é observada em todas as litologias devido à competência das rochas. Em campo as dobras podem ser reconhecidas com escala milimétrica à decamétrica.

As falhas de cavalgamento neste evento são dobradas assumindo a sua configuração atual observada no mapa geológico (anexo 1).

Através da análise dos diagramas estruturais para foliação S_{n+1} disposta em forma de guirlanda, pode-se observar que a simetria e o estilo destes dobramentos podem variar conforme a litologia, de aberto a isoclinal. Nos perfis geológicos realizados estas dobras estão representadas como grandes anticlinais e sinclinais, caracterizando um padrão regional de dobramento correspondente o Sistema de Dobramento Apiaí.

Os eixos β teórico obtido pela interpretação das guirlandas dos compartimentos apresentaram ótima correlação com o eixo obtido em campo. Os eixos apresentam duas direções

sendo estas N260/10 e N85/15. As diferenças principais foram ocasionadas por diferenças de reologia da rocha e/ou ao processo de dobramento superimposto.

A foliação S_{n+2} foi observada (em campo) pelo dobramento do eixo da $S_n + 1$. Na análise dos diagramas de contorno de pólos confeccionados para esta foliação (S_{n+1}), as dobras apresentam eixo β (eixo teórico) de atitude N264/59. Trata-se de uma dobra assimétrica aberta, com ângulo interflancos de 96°.

A Figura de interferência observada entre estes dobramentos (S_{n+1} e S_{n+2}) é do tipo caixa de ovos onde os eixos apresentam a mesma direção, porém a amplitude é diferenciada. O primeiro dobramento (S_{n+1}) é predominantemente caracterizado por dobras isoclinais a fechadas e o segundo (S_{n+2}) por dobras abertas a suaves. Fato que muitas vezes mascara sua visualização (S_{n+2}).

Os eventos de cavalgamento e dobramento que afetaram a área são principalmente compressionais e caracterizaram importante fase de encurtamento crustal ligados ao desenvolvimento de um Cinturão de Dobramento e Deslocamento Ribeira. Os dobramentos responsáveis pela formação das foliações S_{n+1} e S_{n+2} , podem estar contido em um mesmo evento deformacional (Sistema de Dobramentos do Apiaí), ocasionados por mudanças locais no tensor.

O último evento deformacional tem caráter rúptil e corresponde a um sistema de falhas transcorrentes que ocasionou intenso fraturamento das rochas as unidades mapeadas (Sistema Transcorrente da Lancinha).

A falha transcorrente da Tranqueira, inserida neste contexto, desloca as unidades Proterozóicas e falhas de cavalgamento com sentido de movimento direcional anti-horário. As principais estruturas encontradas deste evento são fraturas, falhas transcorrentes e falhas normais.

Uma importante fase de reativação das falhas transcorrentes foi observada pela presença de falhas e fraturas em rochas intrusivas básicas mesozóicas, estando ligados a movimentos direcionais com importantes deslocamentos verticais.

Em virtude da superposição de fraturas relacionadas a falha da Lancinha, não foi possível estabelecer a relação cronológica destas famílias.

1.2.5 – A estrutural como Condicionamento para a Exploração de Mármore para Revestimento.

O presente item tem como objetivo o estudo de áreas com potencialidades para produção de rocha ornamental nos mármore do DTQ, visto que, nem sempre os mesmos apresentam características propícios para exploração como revestimento.

Para que fosse viabilizado um estudo comparativo entre dois tipos de mármore situados no DTQ, local onde se concentram as lavras para exploração ornamental, os mesmos foram subdivididos em dois corpos (Mármore do Tigre e Mármore Capuava).

O mármore do Tigre possui uma forma subcircular com uma estreita faixa a SW (por vezes com menos de 0,5km de largura), prolongando-se até encontrar os mármore do mármore Capuava. Este último exibe uma forma elíptica alongada cobrindo uma área com cerca de 13 km², tem 10 km de comprimento segundo o eixo maior, orientado E-W, e largura máxima de 2,5 a 3 km. Os principais mármore descritos variam de:

- i. Dolomita Mármore nas cores branca, branca-cinza, branca-rosa e branca-marrom todos muito claros. A estrutura é maciça e a textura é granoblástica fina.
- ii. Dolomita Mármore brancos com níveis centimétricos a milimétricos de coloração cinza clara, estrutura com bandamento e textura granoblástica a sacaroidal.
- iii. Dolomita Mármore silicosos com intercalações de níveis carbonáticos e níveis quartzosos, em geral representados por cristais de quartzo. Estrutura com bandamento composicional e mineralógico e textura granoblástica.

A compartimentação deste litotipo e as características das juntas tornam-se mais freqüentes nos afloramentos onde a declividade é mais alta.

A relativa homogeneidade das fácies estudadas, em termos petrográficos e texturais, implica que o fraturamento seja o principal fator condicionante da sua aptidão ornamental, razão pela qual lhe é dada maior importância neste trabalho.

Os lineamentos detectados compreendem principalmente fraturas, falhas ou zonas de falha e drenagens. As direções de fratura no mármore Tigre, embora variáveis, apresentam as seguintes orientações preferenciais: NE, N-S e NW. No domínio das minas “F” e Alvorada existe a predominância de orientação de fraturas NE a NNE, NNW, E-W e N-S.

O estudo do padrão de fraturamento em escala de afloramento, ou seja, a orientação e densidade dos sistemas principais de juntas foram efetuadas com base na amostragem sistemática de fraturas, selecionando-se os locais considerados mais adequados. Esta amostragem foi feita com base no estabelecimento de linhas de observação (*scan-lines*), orientadas preferencialmente perpendiculares ao principal sistema de juntas.

Sempre que os afloramentos o justificavam e permitiam, realizou-se pelo menos duas *scan-lines* perpendiculares entre si. O espaçamento entre fraturas é um dos parâmetros mais importantes para avaliar a aptidão ornamental da rocha num mármore, indispensável para o cálculo da célula unitária (blocometria). No entanto, a sua estimativa nem sempre é direta, devido ao freqüente condicionamento da direção segundo a qual é efetuada a amostragem, não sendo sempre possível escolher as direções perpendiculares aos principais sistemas de juntas. Assim, nestes casos, foram obtidas distâncias e não espaçamentos.

O efeito da orientação das *scan-lines*, na estimativa do espaçamento entre juntas subparalelas consecutivas (L), foi corrigido com base numa relação trigonométrica (Lapointe & Hudson, 1985), onde: $L = a \cos q$, em que “ q ” é o ângulo entre a *scan-line* e a perpendicular às juntas consecutivas, e “ a ” é o comprimento medido. Este efeito pode, assim, ser corrigido, mas a dispersão de orientações das juntas ao longo de uma mesma linha não permite o cálculo de todos os espaçamentos numa *scan-line*.

O espaçamento médio entre juntas, embora facilmente quantificável, tem um significado relativo, devido a fatores como a assimetria das distribuições ou a ocorrência de juntas subparalelas, agrupadas (*clusters*), as quais, quando muito próximas, mascaram o valor médio real. Para reduzir os erros provocados por estes fatores no cálculo do espaçamento médio, recorreu-se a outros parâmetros.

A análise dos espaçamentos dos principais sistemas de juntas em cada afloramento (local de medição e registro de dados) consistiu na verificação de valores máximos e mínimos e cálculo da média aritmética e mediana, esta última mais robusta do que a média e menos sensível aos dados *outliers* de cada distribuição.

Para avaliar a dispersão dos espaçamentos, calculou-se o desvio-padrão e, para comparar as dispersões em diferentes linhas de observação, optou-se por utilizar a dispersão relativa ou coeficiente de variação ($CV = 100 \cdot s/m$), que expressa o desvio-padrão como percentagem do valor médio.

A densidade de fraturamento foi estimada pela freqüência de diaclasamento (número de juntas por unidade de comprimento). Esta, por si só, não permite uma avaliação do potencial ornamental da rocha, pois um valor elevado não implica em uma fraca qualidade ornamental. A situação existe quando ocorrem sistemas de juntas muito próximas ($< 0,5m$), alternadas com espaçamentos maiores. Calculou-se ainda o produto das médias dos espaçamentos em *scan-lines* ortogonais entre si, sempre que existiam unicamente dois sistemas subverticais, de modo a obter a área média entre fraturas.

Verificou-se nos afloramentos uma heterogeneidade bastante elevada nos espaçamentos entre juntas, com valores máximos de 17m. O diaclasamento subhorizontal é geralmente irregular,

com espaçamento muito variável, que tende a diminuir rapidamente com a profundidade. A persistência das juntas nos sistemas principais é em geral elevada (10-20 m).

De acordo com a classificação ISRM-CSLF (1978), a abertura das juntas varia de cerrada (0,1- 0,25 mm) a cerca de 30 cm, valor no intervalo de classe extremamente aberta (10 - 100 cm), sendo que a maioria delas apresentou aberturas inferiores a 1mm, ou seja, entre cerradas e moderadamente abertas (2,5 -10 mm).

A observação conjunta dos parâmetros obtidos fornece indicações qualitativas e quantitativas sobre o estado de compartimentação da rocha num local ou em uma pequena área envolvente. Deste modo, é possível inferir as características de fraturamento e avaliar os locais estudados em termos de aptidão ornamental.

A avaliação das juntas, em ambos os mármore, não revelou deslocamentos discerníveis macroscopicamente. Esta observação indica que o deslocamento tangencial relativo, se ocorreu, foi menor do que a dimensão dos cristais. As observações de campo evidenciam que, a maioria das juntas estudadas não é qualificada como sendo resultante de cisalhamento. Na área estudada, as juntas formaram-se inicialmente como fraturas de distensão (*dilational fractures*).

A análise da compartimentação dos dois mármore, juntamente com as características de alteração da rocha (dissolução) e à escala dos afloramentos, permitiu fazer uma seleção das áreas que apresentam maior potencialidade para exploração de mármore para revestimento. A Figura 31 mostra a localização dos afloramentos onde foram levantados os dados estruturais.

Nos mármore Tigre, as juntas mais freqüentes têm orientação azimuthal geográfica 150°-165°; os mergulhos são elevados, majoritariamente subverticais, embora se verifique uma tendência para o quadrante NE. Identificam-se, com menor freqüência, descontinuidades com orientação 15° - 30° e entre 90° - 150°, com esta última exibindo uma dispersão elevada. As inclinações destas fraturas são superiores a 60°, com predomínio de subverticais.

A importância da orientação de fratura 150° - 165°, no nível da população total, confirma-se pela ocorrência de sistemas com esta direção, entre 16 das 22 linhas consideradas, seja como sistemas principais ou secundários. Neste sistema, apesar da dispersão acentuada, 50% dos espaçamentos observados são inferiores a 1m e os intervalos de espaçamento propostos estão de acordo com a classificação para rochas carbonáticas apresentada por García (1995).

Para identificar agrupamentos de fraturas muito próximas, modificou-se o intervalo definido como espaçamento reduzido ($< 1m$), no qual passam a ser considerados espaçamentos inferiores a 0,3m e compreendidos entre 0,3 e 1m. Os espaçamentos entre juntas dos principais sistemas têm, em sua maioria, variação elevada, havendo, portanto, irregularidade no espaçamento.

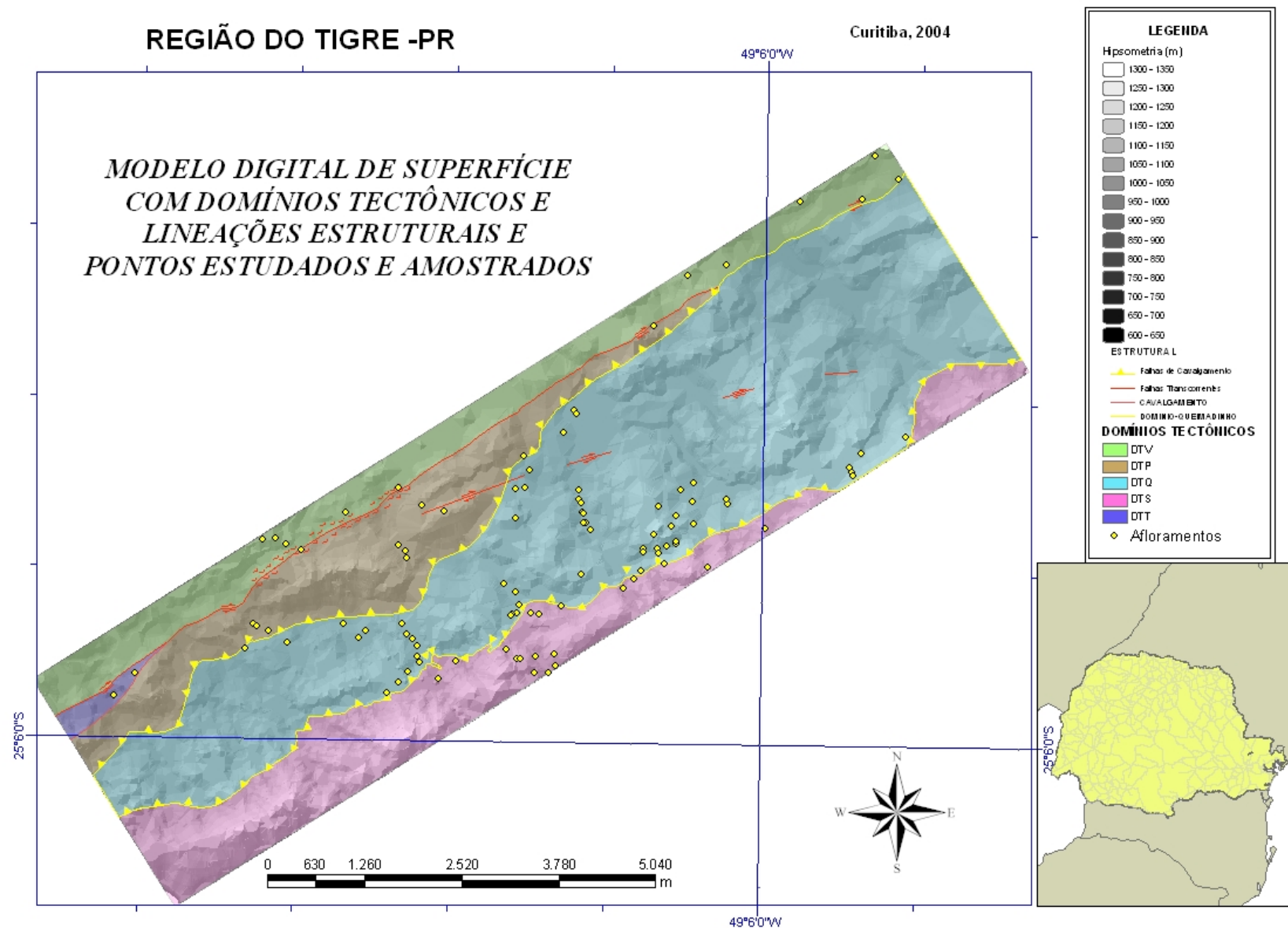


Figura 31 – Localização dos afloramentos estudados.

As juntas sistemáticas, ou seja, aquelas que se agrupam em famílias (geralmente planares e com orientação constante) são as que têm geralmente maior influência no tamanho do bloco natural. No mármore Tigre, as juntas não são sistemáticas (tendência irregular, encurvada) nos níveis superficiais, devido à dissolução do litotipo, têm maior importância, do que no mármore Capuava. Por isto, o padrão de afloramento no mármore Tigre consiste em formas predominantemente subarredondadas, em que se evidencia uma tendência freqüente, da rocha se fraturar em superfícies semicurvas.

A análise da população total de juntas dos mármore Capuava mostra a existência de dois sistemas predominantes de direções: 40° - 50° e 150° - 160° ; os mergulhos das superfícies de juntas dos dois sistemas e demais superfícies observadas são, na maioria, subverticais. No sistema 40° - 50° , existe uma tendência dos mergulhos para o quadrante NW. Verifica-se uma terceira família com direção aproximada E-W, que está, sobretudo, relacionada com a ocorrência de dissoluções de orientação similar. Existe alguma dispersão no diaclasamento segundo a direção NE.

As orientações de falhas mais freqüentemente observadas são 205° : 80° a subvertical e 90° : 75° - 85° . Verificam-se ainda algumas falhas de orientação NW, subverticais.

O sistema 40° - 50° ocorre em 64% das estações, o que evidencia a sua persistência em toda a área estudada. A principal direção de fratura corresponde, em princípio, à superfície de partição mais favorável da rocha e, portanto, à orientação que o desmonte deverá seguir. Apesar de uma relativa homogeneidade em nível regional, existe heterogeneidade na distribuição das fraturas.

Os histogramas de freqüência dos espaçamentos entre juntas, observados nos dois sistemas principais, permitem concluir que os espaçamentos são majoritariamente reduzidos, pois há fraturas que possuem espaçamento menor do que 1m e correspondem a cerca de 65% do total. Em consequência, o sistema 40° - 50° , principalmente, penaliza algumas áreas.

A orientação relativa entre os sistemas de fraturas é um fator igualmente importante, com a situação mais favorável, ocorrendo quando existem dois sistemas principais ortogonais subverticais e um horizontal. Com relação aos sistemas subortogonais, nenhuma das estações apresenta situação ideal. A estação 15 é aquela onde a orientação se mostra mais desfavorável, com um ângulo de cerca de 20° entre os sistemas principais.

O diaclasamento subhorizontal apresenta espaçamento muito variável, desde 30 cm (Marminústria) até mais de 5 m (Pulador), tendendo sempre a aumentar com a profundidade.

No mármore Tigre, os melhores locais de fraturamento (espaçamento, tipo de fratura, orientação) observados, encontram-se na área das estações EA106, EA106A, EA107 e EA107B.

As estações EA106 e EA107B, particularmente, evidenciam a existência de juntas com espaçamento reduzido alternando-se com espaçamentos muito amplos a extremamente amplos. Esta tendência é demonstrada por fortes assimetrias positivas das distribuições (média >> mediana).

No mármore Capuava, embora globalmente sejam irregulares os espaçamentos nos sistemas de juntas e, conseqüentemente, também as distâncias entre fraturas ao longo das *scanlines*, é possível constatar que as áreas correspondentes às estações EA104, EA104A, EA104C, EA105 e EA105A, são aquelas que respectivamente apresentam maiores distâncias.

Comparando os intervalos de classe propostos, verifica-se que a sua distribuição é relativamente similar em Capuava e Tigre, predominando os espaçamentos reduzidos (0,3-1m). No entanto, comparando-se a freqüência das distâncias médias entre fraturas nas *scan-lines*, no conjunto o diaclasamento do mármore Tigre parece ser ligeiramente mais espaçado do que o mármore Capuava.

Este fato deve-se, fundamentalmente, à freqüência de espaçamentos muito reduzidos (0-0,3m) no mármore Capuava, que baixam as distâncias médias entre as fraturas. No mármore Tigre, num terço das linhas efetuadas, não se observam espaçamentos médios inferiores a 2 m. Este aspecto do fraturamento é responsável, na mina Alvorada, pela maior assimetria das distribuições e menor correlação linear entre a média e a mediana.

Os intervalos de espaçamento, segundo a classificação apresentada, são majoritariamente moderados a amplos, em ambos mármore.

A média das freqüências de fraturamento calculada no mármore do Tigre (0,64), também é menor que do que no de Capuava (0,94).

O mármore Tigre, embora texturalmente homogêneo, apresenta, no que se referem à cor, pequenas variações macroscópicas (suaves manchas cinza-claras e marrom-claras). A rocha aflora geralmente em escarpas, cuja dimensão e declividade permitem a instalação de lavra.

A espessura do manto de intemperismo por dissolução é, em geral, inferior a 20 cm (Fig. 32). As características físico-mecânicas deste mármore sugerem sua utilização tanto em decoração de interiores quanto em revestimento de exteriores.

No mármore do Tigre, verifica-se um número grande de pequenas frentes de lavra. Devido à morfologia dos afloramentos e à ausência de planejamento, a extração resume-se, na maior parte das vezes, ao aproveitamento das escarpas superficiais, não existindo qualquer critério baseado em estudos minero-geológico, para a exploração adequada daquelas pedreiras.

Presentemente, o núcleo principal da atividade concentra-se numa faixa de orientação NE, ao longo de uma encosta de declividade média, exposta a SE.

Na encosta exposta a NW, de maior declive, existem pedreiras que atualmente encontram-se paralisadas. Isto reflete a existência de uma desorganização de blocos, com condições de desmonte menos favoráveis do que a encosta a SE. Apenas nestas duas principais pedreiras (Alvorada e Mina F), são extraídas rochas para bloco. Nas demais, extraem-se rochas para subaproveitamentos (*petit pavê*, corretivo agrícola e cal).



Figura 32: Pedreira a SW do mármore Tigre. Notar a zona de intemperização côncava ao fundo, que constitui o limite da pedreira.

Os principais problemas que se colocam à atividade extrativa, tal como no mármore do Tigre, estão relacionados com o fraturamento e o padrão de afloramento da rocha muito irregular devido à dissolução da rocha. Estes, por vezes, são parcialmente aflorantes e encontram-se geralmente pouco fraturados, sendo limitados lateralmente e, em profundidade, por uma zona de dissolução formando grutas de espessura variável. A limpeza com a remoção do solo avermelhado é dificultada por esta irregularidade, podendo ser mecanizada até certo ponto. Este fato, além de encarecer a lavra, despende muito tempo e mão-de-obra.

A frequência das juntas, por vezes, elevada e sem padrões regulares (Adam *et al*, 2004 artigo submetido), juntamente com seu mergulho alto, também são fatores desfavoráveis.

Em alguns locais, verifica-se um crescimento concêntrico destas manchas, na rocha segmentada por juntas. Em todos os casos, as manchas tendem a diminuir com a profundidade. A origem deste fenômeno é duvidosa, podendo estar relacionada com a circulação de água nas fraturas.

As áreas com maior potencial localizam-se em acamamentos de orientação ENE a NE, a norte e sul.

O mármore Capuava apresenta uma tonalidade branca-acinzentada, que é um pouco mais escura do que a do mármore Tigre. Texturalmente apresenta também pequenas diferenças, como uma leve tendência porfirítica. A existência de afloramentos extensos, com reduzida

espessura de intemperização, no flanco da encosta, cria condições favoráveis para a extração. A atividade extrativa atual encontra-se totalmente desativada e confina-se em uma pequena área nas imediações da Pedreira Pulador, onde existiam três pedreiras.

As principais dificuldades encontradas com a atividade extrativa relacionam-se com a densidade das fraturas, padrão da rede por elas constituído e existência de fissuras ou superfícies de fraqueza, que abrem por descompressão. As juntas de alívio assumem importância elevada em algumas áreas deste mármore, notadamente na área da pedreira Bau, o que implica maiores estudos. Estas juntas manifestam-se também no padrão de afloramento, originando “capas”, com formas arredondadas (espeleotemas). Estas ocorrências apresentam predominância segundo a direção E-W e mergulhos subverticais para norte. No entanto, o reduzido número de dados e a sua distribuição espacial próxima limitam a representatividade desta tendência. Pode-se, entretanto, concluir que se trata de uma orientação dominante, pelo menos numa faixa ENE. Esta geração sugere uma compressão máxima horizontal (eixo z de maior encurtamento), paralela à direção E-W, atuante durante a sua implantação.

Um aspecto textural relevante neste quartzo dolomita mármore (Capuava), consiste na freqüente existência de minerais orientados, sobretudo micas, originando superfícies de fraqueza, que se abrem por descompressão, durante o desmonte da rocha.

CAPÍTULO III

1 - Caracterização do Mármore “Branco Paraná”

Qualificar um material rochoso é qualificar suas propriedades. Assim, a qualidade de uma rocha, ou não, será conhecida pela sua composição química, mineralógica (*fabric*), petrográfica (textura e estrutura) e pelas propriedades físicas e físico-mecânicas daí decorrentes.

A propriedade será definida pelas características próprias da rocha e pela interação desta com algum fenômeno do meio (endógeno ou exógeno) ou com outros materiais. Assim, a qualidade de uma rocha poderá ser determinada, conforme suas características indiquem prever um bom ou um mau desempenho ante as exigências da função visada.

A seleção de rochas adequadas para uso de revestimento em edificações, que requeira a mais alta qualidade com o mais baixo custo, não pode prescindir do conhecimento da grande variedade de propriedades que apresentam (Frazão, 2002).

As rochas apresentam grande diversidade de propriedades. Algumas são relevantes para um dado uso, enquanto outras o serão para outro; umas terão utilidade direta, outras indiretas.

As propriedades das rochas que interessam à construção civil podem ser classificadas em geológicas, físicas e físico-mecânicas.

As propriedades geológicas são, na verdade, propriedades químico-mineralógico-petrográficas e estão estreitamente ligadas à natureza da rocha, ou do material pétreo em foco. A natureza da rocha está refletida na composição mineralógica, textura, estrutura, bem como no grau (estado) e tipo de alteração mineralógica, além de propriedades daí decorrentes, como solubilidade, cristalinidade, alterabilidade, forma das partículas na fragmentação, coerência, etc. (Shestoperov, 1983).

As propriedades físicas e físico-mecânicas são altamente influenciadas pelas propriedades geológicas. As físicas podem ser resumidas em: densidade, massa específica, porosidade, permeabilidade, capacidade de absorção d'água, dureza, calor específico, condutibilidade térmica, dilatação térmica, expansibilidade (e contratibilidade), adesividade, etc.

As propriedades físico-mecânicas podem ser resumidas em: resistência à compressão, à tração (direta ou indireta), ao cisalhamento, ao impacto, à deformabilidade (ou elasticidade), à britabilidade, à abrasividade, etc.

1.1 - Consideração Sobre o Conceito de Mármore

A tradição na produção de mármore remonta já há alguns séculos, desde que este material começou a ser utilizado pelos romanos, época em que data as primeiras exportações para utilização como revestimento (Carvalho *et al*, 2000).

A industrialização do setor a partir do século XIX é uma clara resposta ao incremento da procura por este bem mineral no comércio internacional de rochas ornamentais.

Muitas vezes a denominação de mármore refere-se aos tipos de rochas calcárias ou não, que petrográfica e geneticamente não correspondem a verdadeiros mármore, nem mesmo a formações metamórficas. Este fato mostra que, na terminologia comercial, o emprego do vocábulo “mármore” é utilizado como termo genérico para designar toda a rocha carbonatada ou não, mas possa ser aplicada com fins ornamentais e que, em particular, seja susceptível de receber polimento.

Os mármore derivam de rochas calcárias diversas que, sob a influência do metamorfismo, perderam as suas características originais e recrystalizaram completamente.

A estrutura primitiva das rochas calcárias mostra frequentemente os elementos detríticos aglutinados o que caracteriza a sua origem. São exemplos deste tipo de rochas os calcários ornamentais da Formação Irati, onde nos arredores da cidade de Ibaiti existe uma mineradora e beneficiadora que explora calcários calcíticos para fins de revestimento como pisos, a Indústria Extratora de Calcário Solo Bom.

O termo mármore implica numa completa recrystalização de carbonatos com neoformação de calcita e, eventualmente, de outros minerais por intermédio de um processo metamórfico, portanto o termo deverá ser reservado para designar apenas as rochas metamórficas essencialmente constituídas por calcita e/ou dolomita com textura granoblástica (Martins & Rabaçal, 1998).

Assim, ficam fora desta designação todos os calcários que, embora com a mesma composição química e mineralógica dos mármore, se apresentam constituídos, total ou parcialmente, por grãos de calcita ou dolomita, sob a forma micro ou criptocristalina, cuja gênese e diagênese tiveram lugar a temperatura e pressões muito moderadas.

1. 2 – Deferências sobre a Gênese do Mármore “Branco Paraná”

Condições deposicionais deste litotipo, influenciadas pelo processo de sedimentação pretérito, imprimiram no Mármore “Branco Paraná” aspectos visuais, que o distingue em detrimento a outros mármore explorados. As características naturais existentes no jazimento da Região do Tigre estamparam no Mármore “Branco Paraná” uma cor branca muito alva, por vezes associada a nuances muito claras de cinza, marrom e rosa.

Veizer *et al* (1989) procuram relacionar a origem das rochas carbonáticas Proterozóicas (Paleoproterozóicas a Arqueanas) à massiva carbonitização, silicificação e sericitização de corpos silicáticos preexistentes, de caráter intermediário a ultramáfico. Notaram que a litologia carbonática dominante em *greenstones* mais jovens ($2,8 \pm 0,2$ G.a.) é calcária; enquanto dolomitos ferruginosos são dominantes naqueles mais antigos ($3,5 \pm 0,1$ G.a.) e nas formações ferríferas de todas as idades. Em 1990 estes mesmos autores estudaram associações carbonáticas plataformais do Supergrupo Pongola (África do Sul) e grupos Hamersley e Fortescue (Austrália), e formularam a seguinte hipótese a respeito da origem das rochas carbonáticas Proterozóicas: as águas marinhas arqueanas, tal como registrado nos sedimentos carbonáticos de *greestone belts*, foram *mantle buffered*, ou seja, suas propriedades químicas e isotópicas resultaram da ativa interação entre água do mar e rochas vulcânicas e sedimentos.

Esta evolução tectônica deve ter se refletido não somente nas propriedades químicas e isotópicas da água do mar, mas também na mudança dos tipos e proporção das fácies sedimentares. No caso dos carbonatos, o crescimento dos continentes e consequentemente das margens passivas resultaram em associações litológicas típicas de mares plataformais Proterozóicos, com seus abundantes dolomitos, uma fácies conspicuamente rara nas assembléias *greestones* arqueanas.

Weber (1964) individualiza dois tipos de dolomitos: primários e secundários, diferenciando-os com base em aspectos texturais e geoquímicos. Admite que há dificuldade estrutural para a dolomita se formar sob condições sedimentares, mas acredita que pelo menos uma pequena parte se forma nos estágios iniciais da diagênese.

1.2.1 – A Dolomitização Proterozóica

Os sedimentos carbonáticos constituem importante registro de mudanças ambientais pelo fato de terem origem no próprio sítio deposicional, ao contrário dos sedimentos terrígenos, com áreas fontes externas à bacia.

A produção de sedimentos carbonáticos envolve fatores diversos e complexos tais como: luminosidade, temperatura, salinidade, contaminação terrígena, aporte de nutrientes, natureza do substrato e níveis de energia da água. Entretanto temperatura e salinidade são os principais controles em escala global (Less, 1975) (*apud* Reading 1996). O máximo de produção de sedimentos carbonáticos ocorre em águas rasas (<10m) e agitadas. Estas condições são presentes nos interiores de rampas e em bordas de plataformas, onde a produtividade orgânica promove elevada produção biogênica e abiogênica de carbonato. A partir destas regiões, tanto no sentido do continente como no interior da bacia, a produção carbonática diminui (Tucker 1990).

Carbonatos Arqueanos são pouco freqüentes e incomuns. As possíveis causas para essa escassez seriam:

- i. O pH da água do mar no Arqueano esteve baixo para deposição de carbonatos;
- ii. Os carbonatos foram depositados em plataformas estáveis durante o Arqueano e mais tarde erodidos, e
- iii. Os carbonatos foram depositados em bacias oceânicas profundas no Arqueano e mais tarde foram destruídas pelos processos de tectônica de placas (Condie 1982).

Lalou, 1957 (*apud* Bigarella *et. al.* 1967) verificou através de experiências cuidadosas, que a precipitação de carbonatos por bactérias, na presença de grande quantidade de matéria orgânica, é causada pela liberação de CO₂ e posteriormente de H₂S, que provocam respectivamente um decréscimo e um aumento no pH. Isto faz com que os íons de Mg e Ca, livres num meio saturado em CO₂ formem bicarbonatos, provocando na interface água/ar, a formação de carbonatos cristalinos, quando a tensão de CO₂ diminui.

À medida que crescia a espessura dos recifes, o fundo do mar (provavelmente um mar epicontinental) sofria lenta e uniforme subsidência, permitindo a permanência das algas na zona fótica. Ao mesmo tempo processava-se a dolomitização de depósito calcário, parte pela lixiviação do CaCO₃, parte como produto de reações com sais marinhos favorecidos possivelmente por um clima quente. Outra parte do pacote dolomítico deve ter sido também produzida por microorganismos, algas ou bactérias, que não possuindo hábito gregário, não constituíram recifes com estruturas peculiares.

Acredita-se que parte dos dolomitos da Formação Capiru (Grupo Açungui), tenham se originado a partir da deposição de CaCO_3 pela ação de microorganismos (Bigarella *et al* 1967).

Mudanças ao longo do tempo geológico também ocorreram na mineralogia dos sedimentos carbonáticos com predominância de aragonitas e calcitas magnesianas em determinados períodos e calcitas pouco magnesianas em outros, o que refletiria modificações na composição química da água do mar (Wright 1990 *apud* Boggiani 1997).

Atualmente, apesar de a água do mar encontrar-se supersaturada em carbonato de cálcio, a maior parte da precipitação carbonática moderna ocorre por secreção biológica (Grotzinger & Kasting 1993). Ao contrário do que teria ocorrido no Proterozóico, cujo registro carbonático é abundante em micrita criptocristalina (Knoll & Sweet 1990). Isto sugere que a concentração de carbonato de cálcio era relativamente maior e, assim, qualquer desequilíbrio químico ocorrente causaria a precipitação inorgânica. Esta precipitação poderia ainda ocorrer por bioindução, promovida de forma indireta através da atividade microbiana.

Segundo Reading (1996) atualmente a sedimentação carbonática ocorre em áreas que geralmente não recebem grandes quantidades de detritos silicáticos e o volume de material carbonático em plataformas modernas é basicamente de origem orgânica.

1.2.2 – O Mar Capiru na Região do Tigre - Processos e Produtos

O estudo sobre o ambiente de deposição de rochas sedimentares geralmente é um assunto de elevada complexidade. Essa se torna ainda maior quando se pretende interpretar o ambiente de deposição de uma seqüência de rochas afetadas por metamorfismo regional e por uma complexa tectônica de cavalgamento, que não só obstruíram as estruturas primárias, como também alteraram a sucessão estratigráfica original.

Há possibilidade de se esboçar uma tentativa de interpretação ambiental, tendo-se por base certas evidências tais como estruturas organógenas, estruturas e texturas sedimentares associações litológicas, etc.

A maioria dos autores que discutiram o ambiente de formação das rochas do Grupo Açungui é unânime em admitir condições marinhas para sua deposição. Dentro desta premissa podem-se supor três formas deposicionais para os mármore do Mar Capiru:

1. Embora não se tenham ainda encontrado restos orgânicos preservados, a presença de folhelhos grafitosos em alguns níveis da Formação Capiru, é uma evidência inegável da intensa atividade biológica vigente à época de deposição. Essa atividade é ainda reforçada pela existência de estruturas singenéticas estromatolíticas originadas por algas

(Guimarães, *et al*, 2003), encontrada nos metacalcários dolomíticos das Regiões de Morro Azul, Tranqueira e Morro Grande, e de grande importância para a determinação da gênese e ambiente de deposição.

2. Embora não haja dúvida quanto à origem biogênica de parte dos mármore dolomíticos da Formação Capiu, em virtude da presença de estruturas estromatolíticas, parece que grande parte desses sedimentos é na verdade, de origem clástica, como já observaram Bigarella & Salamuni (1956). Dessa forma, calcários dolomíticos estratificados e não fossilíferos, com presença de oólitos-pisólitos e estratificação cruzada, derivariam da ação erosiva mecânica das ondas sobre os biohermas. Os detritos da erosão seriam redistribuídos pelas correntes, formando depósitos puramente clásticos. As brechas intraformacionais, ocasionalmente presentes nos mármore dolomíticos da Formação Capiu, representam retrabalhamento local dos calcários, provavelmente por um breve recuo das águas. A exposição dessas rochas a condições subaéreas, no entanto, não é essencial, com o retrabalhamento podendo ter-se dado em condições subaquáticas, como bem lembraram Bigarella & Salamuni (1956). A presença, ainda que rara, em alguns níveis de marcas de ressecamento e gretas de contração (Guimarães, 2001), indica que ao menos em alguns momentos, houve exposição subaérea do material depositado.
3. A presença de quartzitos e filitos intercalados nos mármore da Formação Capiu, Segundo Petri & Suguio (1969) a deposição de calcário quase puro, em planície de maré, implica na ausência de grandes rios que transportem material terrígeno. Complexas corrente longitudinais à costa “bancos de areia” podem colocar em contato direto depósitos de calcários e arenitos ou siltitos/argilitos em padrões intrincados.

É bem provável que, essas correntes longitudinais sejam responsáveis pela profunda interdigitação faciológica entre os dolomitos e quartzitos/filitos na Formação Capiu, mais precisamente na área de estudo, a Região do Tigre. A propósito, a grande pureza de composição dos mármore e a pouca presença de material insolúvel (Marini, 1970) são bons indicativos da falta de suprimento de material detrítico. Isto resulta, provavelmente, na existência de um continente aplainado, incapaz de fornecer os fragmentos detríticos, e na ausência de desembocaduras de grandes rios nas proximidades.

Determinados tipos de fácies carbonáticas predominaram sobre outros no tempo geológico, como por exemplo, a fácies oolítica, a dolomítica (Given & Wilkinson) e a estromatolítica. Uma das causas destas variações estaria associada ao padrão de variação do nível do mar, enquanto que outras claramente refletem evolução de determinados grupos de seres vivos. Resumindo-se parece que o ambiente deposicional da Formação Capiu era o de mar aberto, com costa de sedimentação carbonática, e com reentrâncias lagunares. Aparentemente, o

clima vigente na época era quente e úmido, e o continente apresentava-se bastante arrasado, fornecendo relativamente pouca sedimentação detrítica (Fiori, 1990).

O resultado deste processo deposicional refletiu-se nas características de elevada beleza, que podem ser observadas na brancura do dolomita mármore oriundo da Região do Tigre explorado para uso ornamental.

1.2.3 – Registros da Tectônica Deformadora

A Bacia Açungui desenvolveu-se sobre uma margem continental adelgada, resultante de um estiramento crustal, por volta de 850 ma. a 1050 ma. Trata-se de uma bacia marginal, cujo arco vulcânico situava-se a oeste (Soares 1987).

Inicia-se a deposição do Grupo Açungui, sobre os depósitos da Formação Setuva, já tectonizados, e sobre as rochas do complexo Pré-Setuva. Os depósitos dessa fase inicial são representados pela Formação Votuverava. A Seqüência Juruqui de Fiori (1990) representa depósitos litorâneos, com provável delta na região de Bocaiúva do Sul e marca a deposição na margem sudeste da bacia, na borda continental.

A seguir advém um período de grande calma tectônica, com a Bacia Açungui posicionando-se diante de um continente totalmente arrasado a sudeste, recebendo poucos suprimentos terrígenos. A Bacia Açungui volta a sofrer uma transgressão marinha, testemunhada pelos depósitos da Seqüência Rio Branco, na parte sudeste, em ambiente de plataforma rasa. Toda a bacia é submetida a um intenso tectonismo, reflexo da colisão continente-arco-continente na parte externa, com transporte do Grupo Açungui para sudeste, por sobre a placa cavalgante (SCA).

Um pouco mais tarde, quando da colisão continente/continente propriamente dita, com a bacia de retro-arco já fechada, e devido a crescente dificuldade de subducção da placa continental, e também devido ao ajuste das reentrâncias e saliências dos continentes colidentes, inicia-se o processo de falhamentos transcorrentes (STL). Este desloca e justapõe diferentes tratos do empilhamento tectônico anteriormente formado.

1. 3 – Aspectos Petrográficos e Mineralógicos

Para a análise petrográfica procedeu-se a coleta de amostras somente nos litotipos carbonáticos da Região do Tigre, Paraná, cuja localização pode ser observada na Figura 33.

As amostras coletadas foram analisadas petrograficamente com o intuito de identificação mineralógica, possíveis estruturas, relações texturais e grau metamórfico. Os carbonatos também foram identificados por meio de difratometria de raios X.

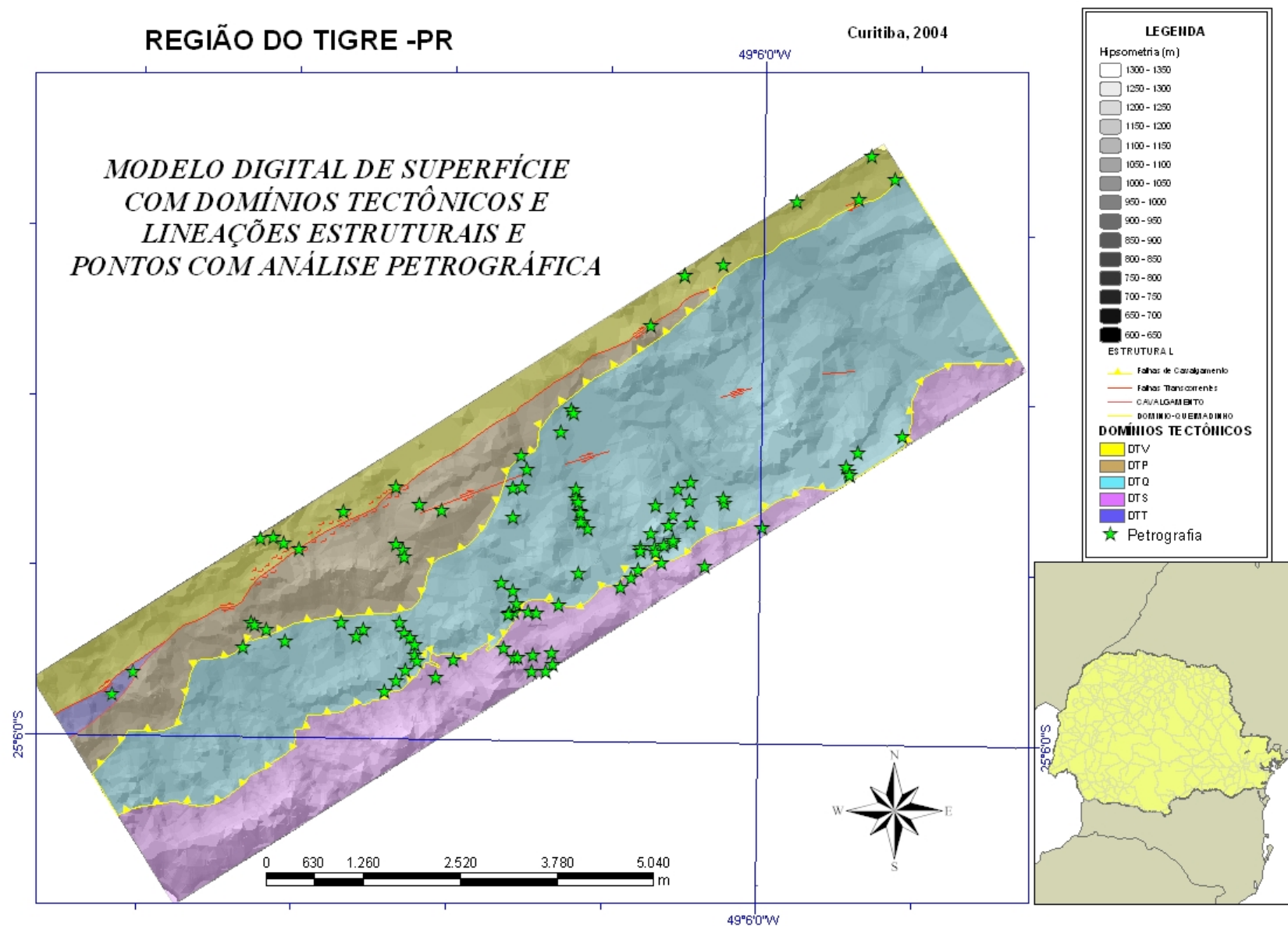


Figura 33 – Mapa da Região do Tigre com a divisão dos domínios tectônicos mostrando a localização dos pontos amostrados para análise petrográfica.

1.3.1 – Critérios de Classificação e Nomenclatura

Calcários são rochas contendo mais de 50% de minerais carbonáticos. A coloração da rocha pode variar de acordo com a mineralogia presente. A cor cinza azulada geralmente se deve à mistura de material argiloso pelítico ou presença de matéria orgânica. As variedades claras que vão desde o branco puro até branco com tons marrom claro, rosa ou cinza claro, provavelmente sejam decorrentes da presença do tipo de carbonato presente. Condições de maior oxidação nas texturas mais finas têm coloração mais escura, frequentemente indicativa de condições redutoras na diagênese inicial (Fairbridge, 1967).

Dolomitos são rochas compostas principalmente de dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), um sal duplo formado por 45,7% de MgCO_3 e 54,3% de CaCO_3 ou, em óxidos: 21,8% MgO , 30,4% CaO e 47,8% CO_2 .

Para a classificação petrográfica das rochas carbonáticas metamórficas em estudo adotaram-se critérios essencialmente mineralógicos e texturais evitando-se aqueles de conotação genética. Para Tanto foram utilizadas as proposições de Leighton & Pendexter (1962) e de Pettijohn (1975), adaptadas às rochas metamórficas. Estas proposições estão inseridas na Tabela 3.

Tabela 3– Classificação petrográfica adotada para as rochas carbonáticas estudadas, baseada nas proposições de Leighton & Pendexter (1962) e Pettijohn (1975).

RELAÇÃO Calcita : Dolomita	ARRANJO TEXTURAL	
	granular cripto a microcristalino	granoblástico
90:10	Metacalcário	Calcita mármore
55:45	Metacalcário dolomítico	Dolomita-calcita mármore
45:55	Metadolomito calcítico	Calcita-dolomita mármore
10:90	Metadolomito	Dolomita mármore

Assim, as designações de metacalcário e metadolomito de um lado e calcita e dolomita mármore de outro, foram definidas de acordo com o arranjo textural (grau de recristalização) exibido ao microscópio, sem indicação direta de diferentes graus metamórficos.

As designações de textura seguem os critérios estabelecidos por Williams *et al* (1970), que as definem como:

- i. Textura granular macrocristalina (neste trabalho denominado granoblástica), aquela com agregados de grãos com diâmetro maior que 0,2 mm;
 - ii. Granular microcristalina aquela com agregados de grãos com diâmetro variando entre 0,01 e 0,2 mm; e
 - iii. Granular criptocristalina aquela com agregados de grãos menores que 0,01 mm.
- As Figuras 34 e 35 ilustram os arranjos texturais granular microcristalino e granoblástico, respectivamente.

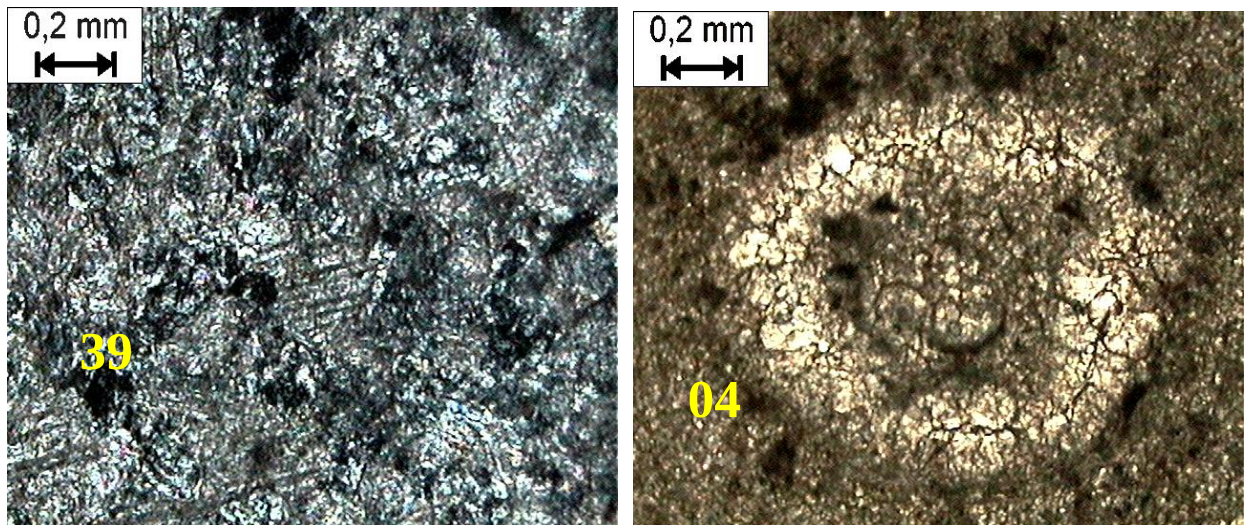


Figura 34 – Amostra 39 (luz polarizada) e 4 (luz natural). Fotomicrografia digital de metadolomito com textura granular microcristalina. Na amostra 4 (DTT) observa-se uma estrutura singenética química milimétrica (oólito).

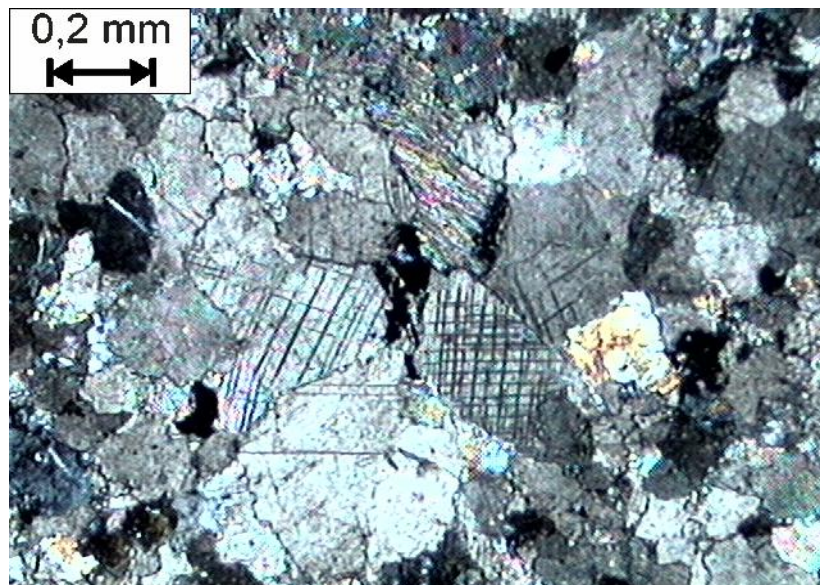


Figura 35 – Amostra 72 C. Fotomicrografia digital com luz polarizada mostrando mosaico de cristais de dolomita constituindo textura granoblástica poligonal.

Neste estudo, observou-se a larga predominância do arranjo granoblástico sobre o granular microcristalino. O arranjo criptocristalino tem ocorrência mais localizada, especialmente em rochas com estruturas oolíticas, pisolíticas muito comuns no DTT. Minerais compondo mais de 10% modais antecedem o nome da rocha em ordem crescente de abundância.

1.3.2 – As Características Petrográficas

A seguir serão apresentadas as feições petrográficas características dos litotipos carbonáticos analisados, segundo os domínios geológicos em que foram amostradas.

1.3.2.1 – Domínio Tectônico Tranqueira

Há grande semelhança mineralógica e textural mostrada pelos litotipos coletados neste domínio, embora ocorresse um escasso número de amostras representativas.

Por serem pouco amostrados optou-se, como apoio para uma melhor interpretação, a utilização das descrições mineralógicas, contidas nos trabalhos de Guimarães (2001) para este domínio.

As rochas deste domínio foram coletadas na Região de Pula Sapo e referem-se aos pontos 4 e 39. Suas principais características petrográficas e respectivos pontos de localização estão dispostos na Tabela 4.

Os litotipos apresentam coloração variando de cinza-escuro azulado ao cinza-claro, a estrutura varia de maciça (predominante) e com bandamento.

Exibe ao microscópio estrutura, granular microcristalina a granoblástica e correspondentes granulações fina a muito fina (0,02 a 0,2 mm) e fina média (0,5 até 1,0 mm). Compõe-se de carbonatos (dolomita) (70% - 100%) e, por vezes, subordinadamente calcita (15% - 30%).

O material não carbonático é basicamente quartzo, opacos (sulfetos, provavelmente grafita) e mais raramente mica branca. Clorita e feldspatos não foram observados em amostras da área de estudo.

O quartzo geralmente ocorre em cristais dispersos ou em pequenos agregados também dispersos na matriz carbonáticos; os componentes terrígenos estão preferencialmente associados ao quartzo ou então ocupam descontinuidades ou espaços intergranulares.

Tabela 4 – Descrição Petrográfica de litotipos carbonáticos do Domínio Tectônico Tranqueira.

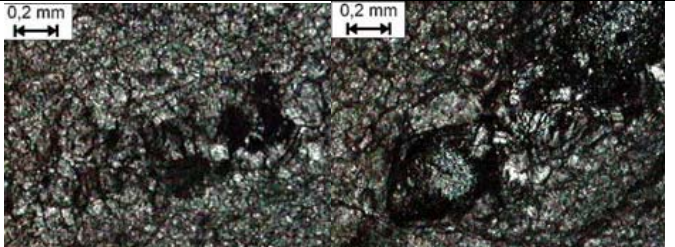
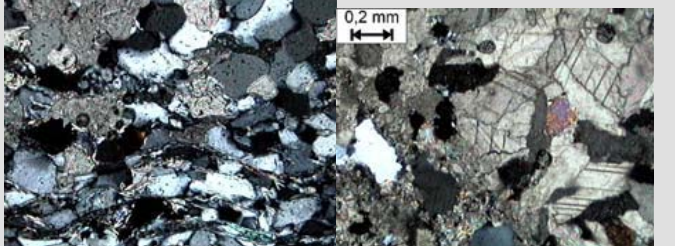
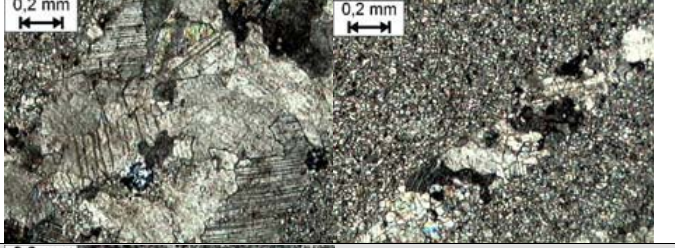
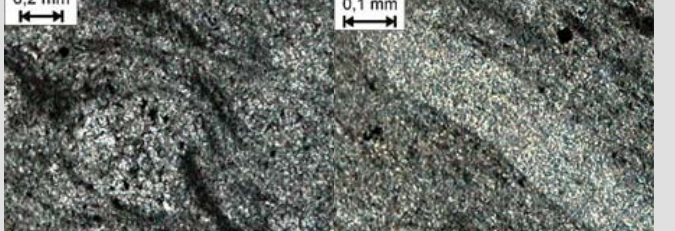
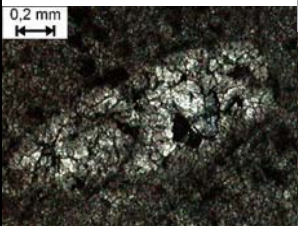
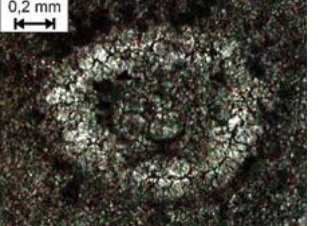
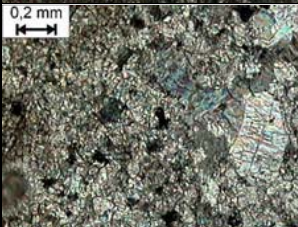
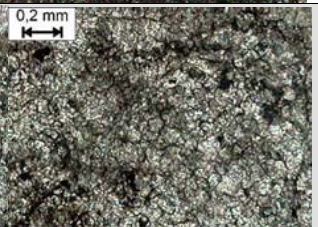
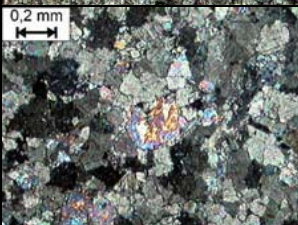
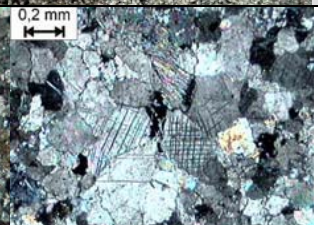
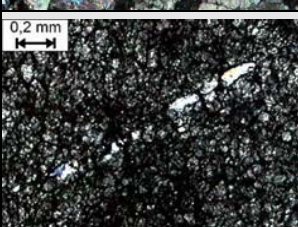
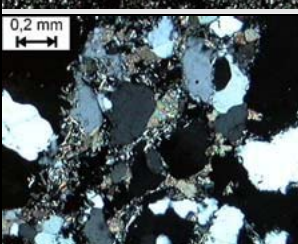
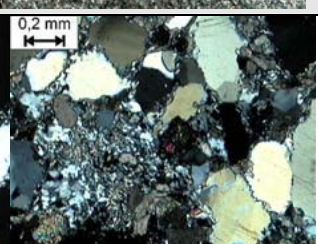
Amostra	Cor Estrutura	Textura	Mineralogia	%	Rocha	Observações	Imagem
89-I-1-80A	Maciça	Granoblástica	carbonatos quartzo labradorita opacos grafita	80 10 tr tr 10	Quartzo Grafita Dolomita Metadolomito	A matriz é constituída por carbonatos granoblásticos. O quartzo apresenta extinção ondulante e ocorre em uma fase de aglomerados e uma fase de fenoblastos. Os plagioclásios apresentam-se em aglomerados juntamente com os cristais de quartzo.	
75-II-2-85	Maciça	Granoblástica	carbonato quartzo labradorita opacos mica branca	75 15 5 tr tr	Quartzo Dolomita Metadolomito	Cristais de carbonato de granulação muito fina. Quartzo de hábito variando desde cristais granulares até alongados, apresentam uma orientação preferencial definindo a foliação Sn. Cristais de plagioclásio com granulação muito fina orientadas paralelamente ao Sn encontram-se dispersos na rocha.	
99-I-1-87	Maciça	Granoblástica	carbonatos quartzo plagioclásio grafita opacos	80 10 5 5 tr	Quartzo Dolomita Metadolomito	Rocha formada essencialmente por carbonatos muito finos Matriz carbonática de granulação muito fina. Pequenos veios de fenoblastos e microfenoblastos de quartzo e plagioclásio.	
43-II-2-85	Foliação Sn	Grano-lepidoblástica	carbonato clorita grafita mat. pelítico	85 tr tr 15	Marga	Cristais granulares de carbonato de granulação muito fina e lamelas de cloritas orientadas de granulação fina. Material pelítico em associação com grafita muito fina associa-se aos cristais de carbonatos. A estrutura da rocha é reliquiar por preservar estruturas sin-genéticas.	

Tabela 1

EA-4-04	Foliação Sn	Granoblástica	carbonato quartzo talco grafita opacos	80 15 tr 5 tr	Quartzo Dolomita Metadolomito	Cristais granulares de carbonato de granulação muito fina criptocristalina.. Cristais granulares de quartzo de granulação fina a muito fina. Localmente são observados concentrações elipsoidais e arredondadas, milimétricas (até 5 mm) – oólitos. O quartzo ocupa espaços intergranulares. A textura da rocha é reliquiar por apresentar estruturas singenéticas químicas.		
55-B-II-1-84	Maciça	Granoblástica	carbonatos quartzo mica branca grafita	80 15 5 tr	Dolomita Metadolomito	Cristais de carbonato de granulação muito fina. Cristais de quartzo com granulação variando de fina a média e hábito variando de granulares a cristais alongados. Micas (clorita) em lamelas de granulação muito fina. Grafitas encontram-se em associação com carbonatos compondo a matriz da rocha.		
15-IV-79-I	Maciça	Granoblástica	carbonatrtto quartzo plagioclásio opacos	85 15 tr tr	Quartzo Dolomita Metadolomito	Cristais granulares de quartzo e de carbonatos, distribuídos de maneira isotropa, de granulação média, configurando uma textura granoblástica e estrutura maciça. Cristais de plagioclásio encontram-se em associação com carbonatos. Os opacos estão dispersos aleatoriamente na rocha.		
EA-39-04	Maciça	Granoblástica	carbonato quartzo andesina ox. fe mat. pelítico grafita	80 10 tr tr 10	Marga	Cristais granulares de carbonato e quartzo com granulação muito fina, além de Ox. Fe e cristais de andesina como minerais traço. Material pelítico em associação com carbonatos e grafita caracterizam a rocha como derivada de um calcário impuro.		
67-IV-2-82-B	Maciça	Porfiroblástica	quartzo carbonato ox. fe andesina opacos	15 80 tr tr tr	Quartzo Dolomita Metadolomito	Fenoblastos de quartzo envoltos em uma matriz constituída por cristais de carbonato de granulação muito fina. Cristais de plagioclásio encontram-se em aglomerados em associação com cristais de quartzo. Opacos esqueléticos encontram-se dispersos aleatoriamente na rocha.		

O bandamento, uma feição conspícua, é caracterizado pela alternância de lâminas ou camadas regulares a irregulares, subparalelas, que diferem entre si pela granulação ora mais fina, ora mais grossa do material carbonático.

Abundantes micrólitos opacos (provavelmente grafita) são caracteristicamente observados e podem estar disseminados na rocha ou preferencialmente concentrados nas bordas dos cristais carbonáticos.

As amostras exibem textura granoblástica e como no caso da amostra 4 a textura é reliquiar com a exposição de um oolítico milimétrico.

É muito comum, cortando as rochas, a presença de vênulas irregulares, preenchidas por dolomitas de granulação mais grossa. Às vezes formam corpos de espessura centimétrica, encaixados em metadolomitos.

1.3.2.2 – Domínio Tectônico Pessegueiro

As amostras deste domínio foram coletadas nas proximidades do Distrito do Tigrinho e equivalem respectivamente aos pontos 19, 56 e 79. Suas principais características petrográficas e respectivos pontos de localização estão apresentados na Tabela 5.

Os litotipos deste domínio tectônico caracterizam-se, nas áreas pesquisadas, pela predominância de quartzo dolomita mármores de coloração cinza muito claro a cinza claro, granulação fina e aspecto frequentemente brechóide conferido por abundantes microfaturas irregulares preenchidas por dolomitas. Em região próxima à falha da Lancinha este aspecto brechóide (amostra 19 e 23) é fornecido por porções decimétricas de rochas dolomíticas cortadas ou envolvidas por material escuro, usualmente acompanhado de talco (Fig. 36).

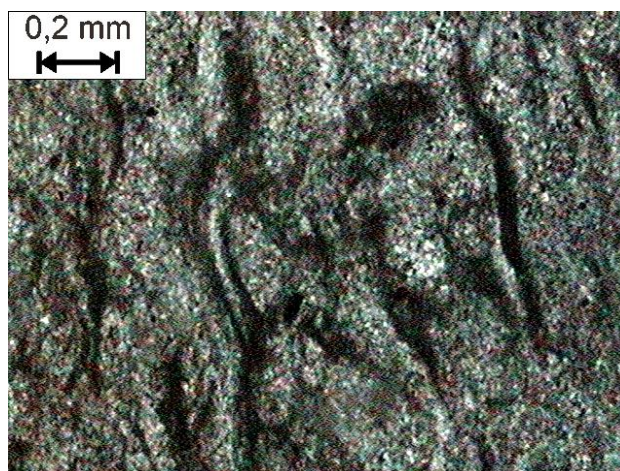
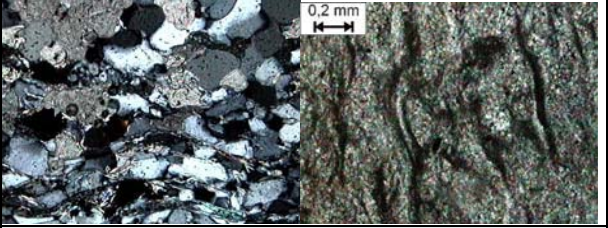
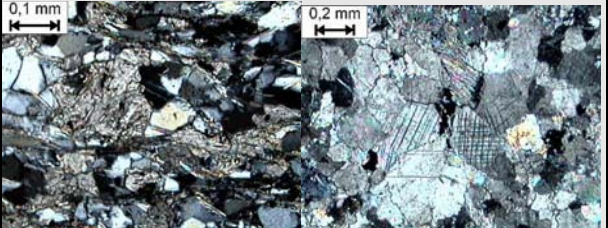
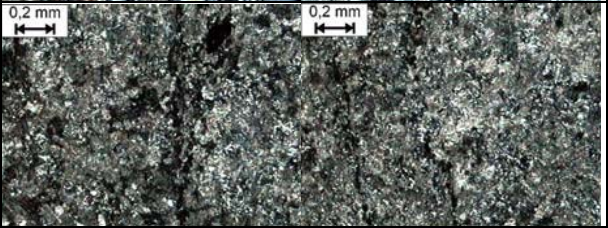
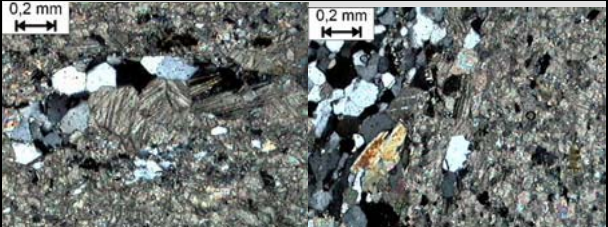


Figura 36 – Fotomicrografia Digital – luz polarizada – Amostra 19.

Tabela 5 - Descrição Petrográfica de litotipos carbonáticos do Domínio Tectônico Pessegueiro.

Amostra	Cor Estrutura	Textura	Mineralogia	%	Rocha	Observações	Imagem
EA 19	Maciça	Granoblástica	carbonato quartzo labradorita	50 40 10	Quartzo Dolomita Mármore	Cristais granulares de carbonato com granulação muito fina. Opacos de hábito lamelar e granulação fina orientados e alinhados definindo uma foliação Sn. Apresenta também cristais de hornblenda com granulação variando de média a grossa sem nenhuma orientação preferencial, além de pequenas quantidades de Ox. Fe e cristais de quartzo representados como minerais traço. A foliação Sn é definida pela orientação dos cristais de carbonato e Opacos.	
EA 79	Foliação Sn	Grano-lepidoblástica	carbonato quartzo micas	15 70 15	Quartzito	Cristais de carbonato de granulação muito fina. Quartzo de hábito variando desde cristais granulares até alongados, apresentam uma orientação preferencial definindo a foliação Sn. Cristais de biotita e clorita lamelares com granulação muito fina orientadas paralelamente ao Sn.	
EA 56	Maciça	Granoblástica	carbonato quartzo andesina ox. fe	90 10 tr tr	Dolomita Mármore Talco	Cristais granulares de carbonato e quartzo com granulação muito fina, além de Ox. Fe e cristais de andesina como minerais traço. Disperso por toda matriz da rocha, em associação com carbonatos ocorrem os talcos.	
45-I-1-84	Foliação Sn Flaser	Porfiroblástica	carbonato quartzo andesina biotita	75 20 5 tr	Dolomita Mármore	Lâmina apresentando cristais de carbonato, com predomínio de granulação muito fina, mas possui também microfenoblastos envolvidos nessa matriz de granulação mais fina. Apresenta também cristais granulares de quartzo com granulação variando de fina a média que se encontram agrupados e também dispersos em meio a matriz. Cristais de andesina em quantidade reduzida e ligeiramente orientados definindo uma sutil foliação Sn. Quartzo em aglomerados com sombra de pressão.	

Petrograficamente os mármore mostram um arranjo textural predominantemente granoblástico, com granulação muito fina variando de 0,01 a 0,2 mm, podendo chegar até 1,0 mm.

A mineralogia compõe-se de dolomita 80% - 90%, quase sempre acompanhada de cristais de quartzo (até 15%), por vezes com sílica microcristalina associada, e mais raramente filossilicatos (talco, mica branca, clorita magnésiana).

Os cristais de quartzo tende a formar agregados lenticulares, com forte extinção ondulante e bordas de subgrãos; outras vezes preenchem fraturas ou vênulas.

1.3.2.3 – Domínio Tectônico Queimadinho

No âmbito do Domínio Queimadinho foram amostrados litotipos por toda a região onde se localizam as pedreiras de mármore ornamental em atividade ou não.

Os pontos analisados foram 102, 103, 104, 107, 06, 07^a, 07B, 07B2 e 8A. A descrição destes pontos e respectiva localização encontram-se na Tabela 6.

Na localidade da Vila do Tigre, Gramados e Campestre ocorrem predominantemente rochas de composição dolomítica, com coloração predominantemente branca. A estrutura da rocha é maciça e a textura é granoblástica. São compostos essencialmente por dolomita (~95%) com pequenas proporções de quartzo (~5%) e raros cristais de minerais opacos arranjados segundo textura granular – granoblástica poligonal inequigranular (0,02 até 0,8 mm).

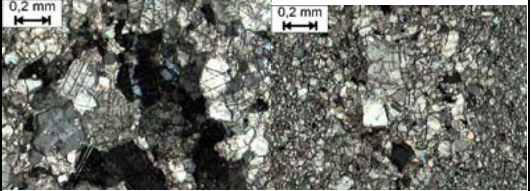
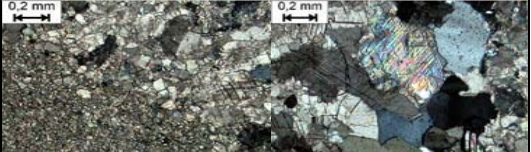
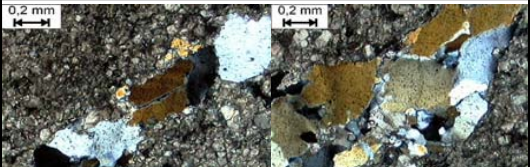
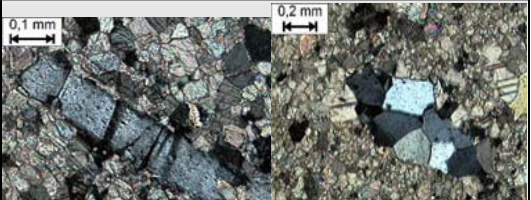
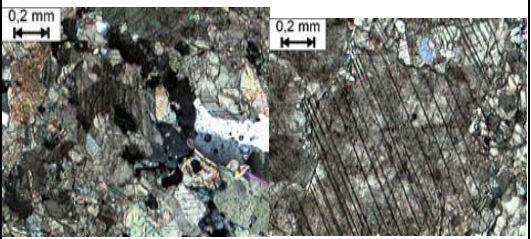
Os cristais de quartzo podem ser encontrados em bolsões e espaços intergranulares.

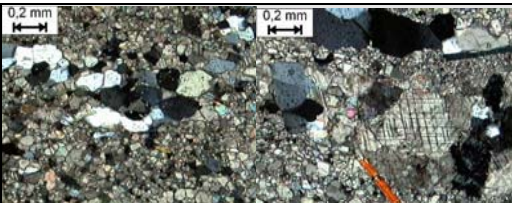
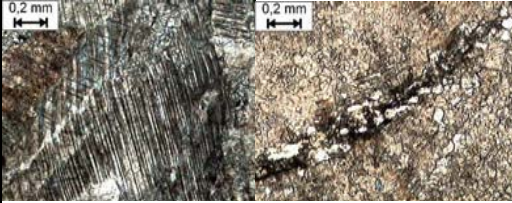
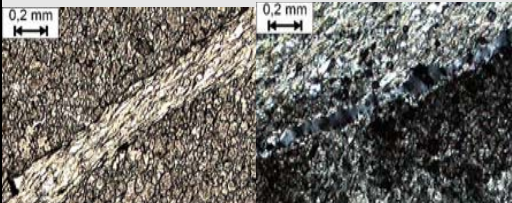
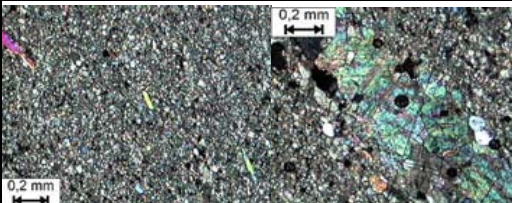
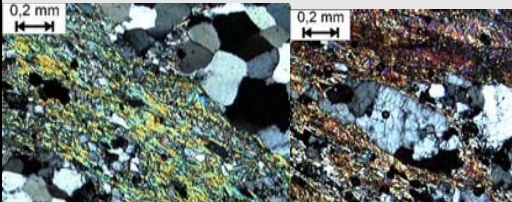
Quando os cristais de carbonato da rocha são lixiviados e/ou dissolvidos observa-se uma estrutura reliquiar representada por cristais de quartzo definindo um plano de foliação S₀.

A estas exposições de níveis quartzosos, preferencialmente em sentido leste oeste, os mineradores chamam empiricamente de “carepas”. E através destes níveis que são determinados os cortes iniciais dos blocos de mármore.

Vale aqui salientar a conspícua presença de romboedros de dolomita crescidos em carbonato criptocristalino, ao qual se associam argilo-minerais e hidróxidos de ferro (estes são responsáveis pelos tons muito claros de marrom e cinza impresso na rocha).

Tabela 6 - Descrição Petrográfica de litotipos carbonáticos do Domínio Tectônico Queimadinho.

n°	Imagem Mesoscópica	Estrutura	Textura	Mineralogia	%	Rocha	Observações	Imagem Microscópica
8b		Maciça	Porfiroblástica	carbonato quartzo hornblenda plagioclásio	90 5 Tr tr	Dolomita Mármore	Fenocristais milimétricos de quartzo em associação com carbonatos em aglomerados. Cristais de hornblenda e plagioclásios dispersos aleatoriamente na rocha. Observa-se 3 fases cristalização dos cristais de carbonato: 1- porfiroblastos (6mm); 2-micro-fenoblastos; e 3- cristais submilimétricos constituintes da matriz. Matriz carbonática.	
8ª		Foliação Sn	Porfiroblástica	oligoclásio carbonato quartzo	Tr 95 5	Dolomita Mármore	Matriz carbonática. Minerais orientados segundo a foliação. Níveis orientados de microfenoblastos de carbonatos com intercalações de cristais de carbonatos.	
6		Maciça, com orientação incipiente	Porfiroblástica	quartzo carbonato plagioclásio	5 95 tr	Dolomita Mármore	Matriz granoblástica média/fina de carbonatos. Quartzo porfiroblástico em níveis com extinção ondulante. Fenocristais de carbonato em aglomerados e dispersos aleatoriamente na rocha. Os plagioclásios estão dispersos na rocha.	
7b2		Maciça	Porfiroblástica	quartzo carbonato galena pelitos muscovita hornblenda	5 95 tr Tr tr	Dolomita Mármore	Matriz granoblástica, quartzo com extinção ondulante com 2 fases de cristalização, onde a 1 fase está em associação com fenocristais de carbonatos e a 2 fase como constituinte da matriz. As 2 fases encontram-se dispersas aleatoriamente, bem como em aglomerados.	
7ª		maciça	Porfiroblástica	oólitos carbonatos quartzo muscovita	tr 80 15 5	Dolomita Mármore	Fantasma: sombra provavelmente de oólito arredondado (~7mm). Nível de fenocristais de quartzo em aglomerados em associação com fenocristais de carbonato. Carbonatos ocorrem em 3 fases distintas: a 1 fase ocorre em aglomerados de fenocristais milimétricos (5-7mm) em associação com carbonatos da 2.a fase. A fase 2 é constituída de microfenocristais milimétricos de 1 a 2 mm. As fases 1 e 2 destacam-se em um nível preferencial em meio a matriz da rocha que é constituída por cristais de carbonatos submilimétricos caracterizando a fase 3. Localmente observa-se muscovita (mica branca). Observa-se uma incipiente foliação com cristais submilimétricos caracterizando a foliação.	

7b1		foliação S0/Sn	Porfiroblástica	quartzo carbonatos muscovita hornblenda pelitos	tr 100 tr tr tr	Dolomita Mármore	A textura é definida pelos microfenocristais de quartzo orientados subparalelamente. A hornblenda ocorre como cristais submilimétricos (0,8 mm), as muscovitas encontram-se estiradas.	
EA - 102 B		bandamento mineralógico incipiente,	Granonematoblástica	carbonato diopsídio plagioclásio quartzo tremolita mica bca	95 tr tr tr tr tr	Dolomita Mármore	Rocha com bandamento mm irregular caracterizado pela alternância de camadas enriquecidas com dolomita e outras de dolomita, quartzo e diopsídio, localmente plagioclásio com tremolita associada. Diopsídio formam poiquiloblastos com orientação subparalela ao bandamento, caracterizando uma textura granonematoblástica, podem estar parcialmente substituídos por tremolita. Observa-se macla de carbonato moderadamente deformada por processo compressivo	
EA - 103		Foliação	Granoblástica	mica bca carbonato tremolita pelitos quartzo diopsídio hidro Fe	20 40 25 5 5 5 tr	Tremolita dolomita Mármore	Rocha constituída por bandas milimétricas cinza claro onde se alternam bandas subparalelas, por vezes anastomosadas, milimétricas, de coloração cinza médio. A banda clara é constituída por carbonatos dispersos pela rocha e em agregados granoblásticos finos, onde se distribuem cristais de diopsídio e poiquiloblastos de pelitos. As bandas cinza médio são compostas por carbonatos, quartzo em agregados. Mica branca preenche descontinuidades oblíquas à estruturação da rocha ou forma de poiquiloblastos.	
EA - 104		Foliação marcante	Granoblástica fina	mica branca carbonato quartzo opacos plagioclásio	5 90 5 tr tr		Micrólitos de opacos com fenocristais de carbonato acham-se dispersos ou concentrados em filetes. Finas plaquetas orientadas de filossilicatos dispersas na matriz granoblástica.	
EA - 107		Foliação subparalela anastomosada	Granol epidoblástica	quartzo carbonato mica branca tremolita ? talco ? óxido de Fe opacos	20 35 25 10 5 5 tr	Quartzo mica branca mármore	Níveis com cristais de quartzo milimétricos aglomerados. Cristais de mica branca suborientados estão dispersos na matriz dolomítica granular microcristalina, caracterizando a foliação Sn. O bandamento é conferido por níveis subparalelos submilimétricos a milimétricos, com granulação mais fina intercalada nesse material. Estes são compostos por dolomita e agregados de tremolita/talco.	

1.4 – Geoquímica do Mármore “Branco Paraná”

O quimismo atual das rochas carbonáticas reflete a combinação de propriedades herdadas dos sedimentos carbonáticos originais e dos fenômenos de alteração pós-deposicionais.

1.4.1 – Aspectos Geoquímicos dos Mármore Proterozóicos

Ao se tratarem de dolomitos vários estágios de dissolução/reprecipitação que se superpõem à já complexa história diagenética dos CaCO_3 precursores. A mineralogia da fase CaCO_3 é o primeiro fator determinante da concentração de elementos traços ou isotópicos em sua estrutura (Veizer, 1983). Elementos como Al, Ti, K, Cr, Ni, Cu, Rb, Ba e Zr são controlados, quase exclusivamente, pela fração terrígena; Ca, Mg e Sr são primariamente controlados pelos minerais carbonáticos; Fe, Mn e Y são comuns em ambos componentes (Graf, 1960).

Alterações pós-deposicionais de rochas sedimentares poderão ocorrer em diversos ambientes geoquimicamente diferentes: durante a diagênese precoce e compactação, a diagênese tardia na presença de água meteórica e durante o metamorfismo.

1.4.2 – Caracterização química do Mármore “Branco Paraná”

1.4.2.1 - Classificação Química

A terminologia utilizada neste item baseia-se em critérios puramente químicos, haja visto que a classificação mineralógica de cada amostra já foi efetivada no item 1.3.

Baseando-se na distribuição de SiO_2 e MgO dividiu-se as amostras em carbonáticas puras ($\text{SiO}_2 < 20\%$) e impuras ($\text{SiO}_2 > 20\%$) critério também utilizado por Rock (1986).

Ocasionado pela falta de consenso entre autores pesquisados (Rock, 1986 e Condie *et al* 1991), quanto ao teor limite de MgO para distinção de calcários dolomíticos e dolomitos, optou-se por aquele definido por Pettijohn (1975), que classifica as misturas calcita-dolomita de acordo com a Tabela 7. Este autor também considera que para quantidades muito pequenas de MgO (até

10% de dolomita estequiométrica), este óxido está presente como MgCO_3 em solução sólida na calcita e o mineral dolomita está ausente; a calcita pode ter até 2% de MgCO_3 em solução sólida.

Desta forma as rochas carbonáticas puras foram subdivididas em calcários, quando com teores de $\text{MgO} < 10,8\%$, e dolomitos, quando com teores de $\text{MgO} > 10,8\%$.

Tabela 7 – Nomenclatura de carbonatos sedimentares calcíticos e dolomíticos (Pettijohn, 1975).

Rocha	% dolomita	% aproximada MgO	% aproximada MgCO ₃
Calcário alto cálcio	0 - 10	0 – 1,1	0 – 2,3
Calcário magnesiano	0 - 10	1,1 – 2,1	2,3 – 4,4
Calcário dolomítico	10 – 50	2,1 – 10,8	4,4 – 22,7
Dolomito calcítico	50 – 90	10,8 – 19,5	22,7 – 41,0
Dolomito	90 – 100	19,5 – 21,6	41,0 – 45,4

1.4.2.2 - Influência da Tectônica Deformadora no Quimismo da Rocha

O metamorfismo de rochas carbonáticas tem sido rigorosamente estudado através do sistema $\text{CaO} - \text{MgO} - \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O} - \text{CO}_2$ (Sistema CMSHC).

Dropp *et al*, (1996) formulou uma possível sequência de formação de minerais durante o metamorfismo progressivo do sistema CMSCH (interação de fluídos aquosos com metasedimentos calcários durante o metamorfismo regional), ao qual Tilley (1948) *apud* Skippen (1974) acrescentou o talco como primeiro mineral gerado. Esta sequência é marcada pelo desenvolvimento sucessivo, com o aumento da temperatura, dos seguintes minerais:

- i. Metamorfismo dinamo-termal - talco, tremolita, forsterita, diopsídio, e
- ii. Metamorfismo de contato de baixas pressões e temperaturas médias a altas - periclásio, wollastonita, embora minerais comuns neste tipo de metamorfismo, não são exclusivos.

Korzhinskii (1959) *apud* Skippen (1974) demonstrou a impossibilidade da previsão de uma única sequência de formação de minerais, sem a consideração da fase fluída ($\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$), a pressão total dos fluídos (soma das pressões parciais de $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$) e a temperatura.

Ainda que o metamorfismo superimpostos aos calcários dolomíticos seja um processo de descarbonitização, a situação é complicada pela presença de água. As reações inicialmente envolvem hidratação e descarbonatação e, posteriormente, conforme as fases hidratadas são eliminadas com o aumento da temperatura, desidratação e descarbonatação (Turner, 1981).

As considerações a seguir apresentadas serão discutidas à luz destes estudos. Serão empregadas as seguintes abreviações:

P_T = pressão total P_F = pressão de fluidos X_{CO_2} = fração molar de CO_2

O litotipo analisado, aqui classificado como Dolomita Mármore, apresenta características marcantes de calcários dolomíticos submetidos a metamorfismo dinamothermal. Encontram-se encaixados em rochas filíticas de grau metamórfico baixo.

Considerando-se que este tipo de metamorfismo em geral se processa a profundidades entre 13 e 28 km – equivalendo a pressões de 4 e 8 kbar, e que reações metamórficas mais comuns geram fluidos enriquecidos em CO_2 , ou seja, com $X_{CO_2} > 0,5$ (Ferry & Burt 1982); estima-se que o metamorfismo se deu nas seguintes condições:

$$P_T = P_F > 3\text{kbar}, X_{CO_2} > 0,5 \text{ (provavelmente } > 0,7)$$

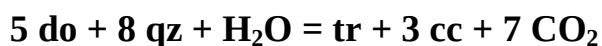
Admite-se que as reações de desvolatilização ocorridas durante o metamorfismo progressivo das rochas carbonáticas liberam fluidos ricos em CO_2 , no entanto permaneceram em equilíbrio no sistema.

Abaixo as paragêneses das rochas analisadas.

a) do + qz + hr + pl	Amostra: EA 8B
b) do + qz + ol	Amostra EA 8A
c) do + qz + pl	Amostra EA 6
d) do + qz + tr + hr	Amostra EA 7B2
e) do + qz + mu	Amostra EA 7A
f) do + qz + mu + hr	Amostra EA 7B1
g) do + dp + pl + qz + tr + mi	Amostra EA 102B
h) do + tr + mi + qz + dp	Amostra EA 103
i) do + qz + pl + mi	Amostra EA 104
j) do + qz + mi + tr + tc	Amostra EA 107

A presença de dolomita em todas as amostras estudadas indica a pobreza de quartzo original. A pouca sílica disponível foi parcialmente consumida nas reações iniciais de decarbonatação (formação de tremolita).

Na amostra EA 7B2 a associação observada teria se originado da seguinte reação:



Esta reação se dá a $P_F = 5$ kbar a $X_{CO_2} > 0,8$ (reação 4 de Winkler, 1976) (Fig. 37) e a $P_F = 3$ kbar a $X_{CO_2} > 0,6$ (reação 19 de Skippen, 1974) (Fig. 38), fornecendo no primeiro caso um intervalo de temperatura entre 600° e 640°C, e no segundo caso entre 490° e 540°C.

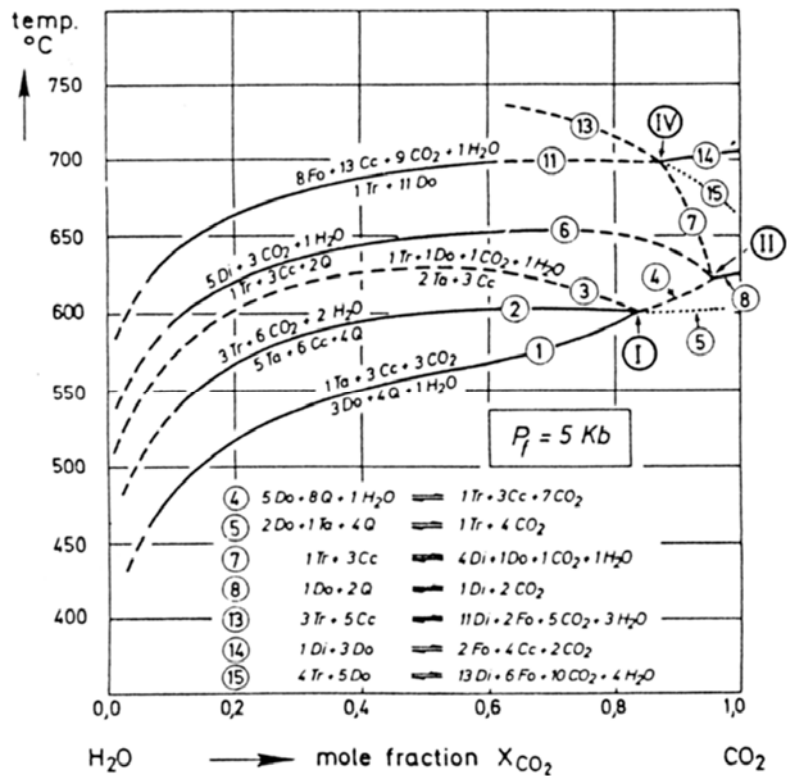


Figura 37 – Diagrama isobárico T - X_{CO_2} a $P_F = 5$ kbar, para reações em rochas dolomíticas (Winkler, 1976).

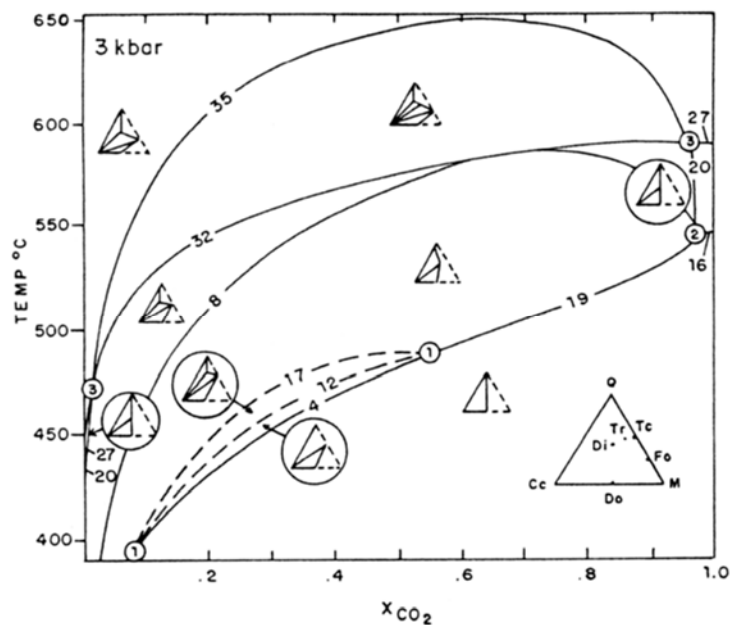
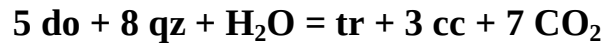
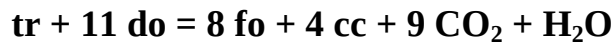
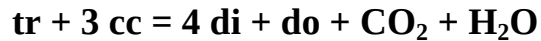


Figura 38 – Diagrama isobárico T - X_{CO_2} a $P_F = 3$ kbar, para reações em rochas dolomíticas (Skippen, 1974).

Na amostra EA 102B a associação (do + dp + pl + qz + tr + mi) teria sido gerada pelas seguintes reações:



para a formação da tremolita e,



para a formação do diopsídio e olivina.

Esta associação configura o ponto invariante IV (Fig. 28) que, para $P_F = 5$ kbar, indica as seguintes condições: $T = 700^\circ\text{C}$ e $X_{\text{CO}_2} = 0,9$.

Alves *et al* (1976), estudando litotipos semelhantes do Complexo Piracicaba, inferiram temperaturas mínimas de metamorfismo de 600°C e pressão ao redor de 5 kbar.

A paragênese observada (do + qz + mu) nos litotipos representado pela amostra EA 7A não fornece indícios do grau metamórfico a que foram submetidos.

Mostram ao microscópio (Fig. 39) conspícua deformação refletindo a ação de esforços deformacionais dúcteis - rúpteis, provavelmente pós-metamórficos.

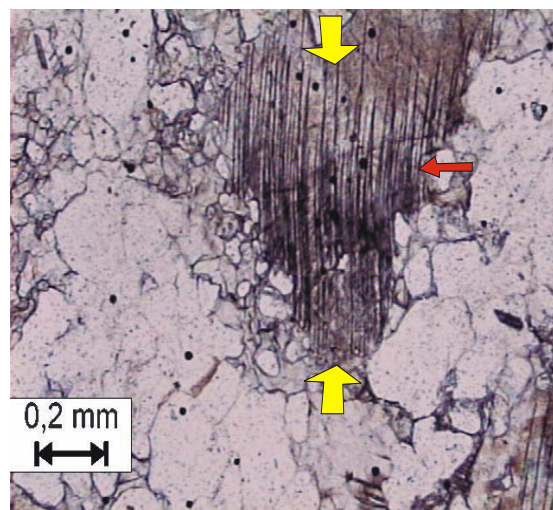


Figura 39 – Fotomicrografia digital – luz natural - mostrando macla deformada em cristal de dolomita – Amostra EA 7A.

Melcher *et al.* (1973), em trabalho sobre geologia e petrologia do Vale da Ribeira, descrevem a ocorrência de mármore dolomítico do Grupo Açungui. As paragêneses anotadas: (cc + do + qz ± mu) caracterizavam um metamorfismo epizonal (fácies xisto verde).

A amostra EA 7B1, aqui estudada, mostra paragênese bem semelhante (do + qz + mu + mica branca - muscovita), indicativa da atuação de metamorfismo brando (grau baixo a muito baixo, Winkler, 1976).

Os litotipos da Região do Tigre são essencialmente dolomita mármore, rochas com paragêneses pouco elucidativas das condições de metamorfismo. Apesar de reações mineralógicas, os dolomita mármore podem sofrer marcantes arranjos texturais como a recrystalização da dolomita produzindo grãos maiores e freqüente orientação preferencial (Yardley, 1989). Tais feições são observadas em parte nas amostras EA 7A, EA 6, EA 45B e EA 72III (fig 40).

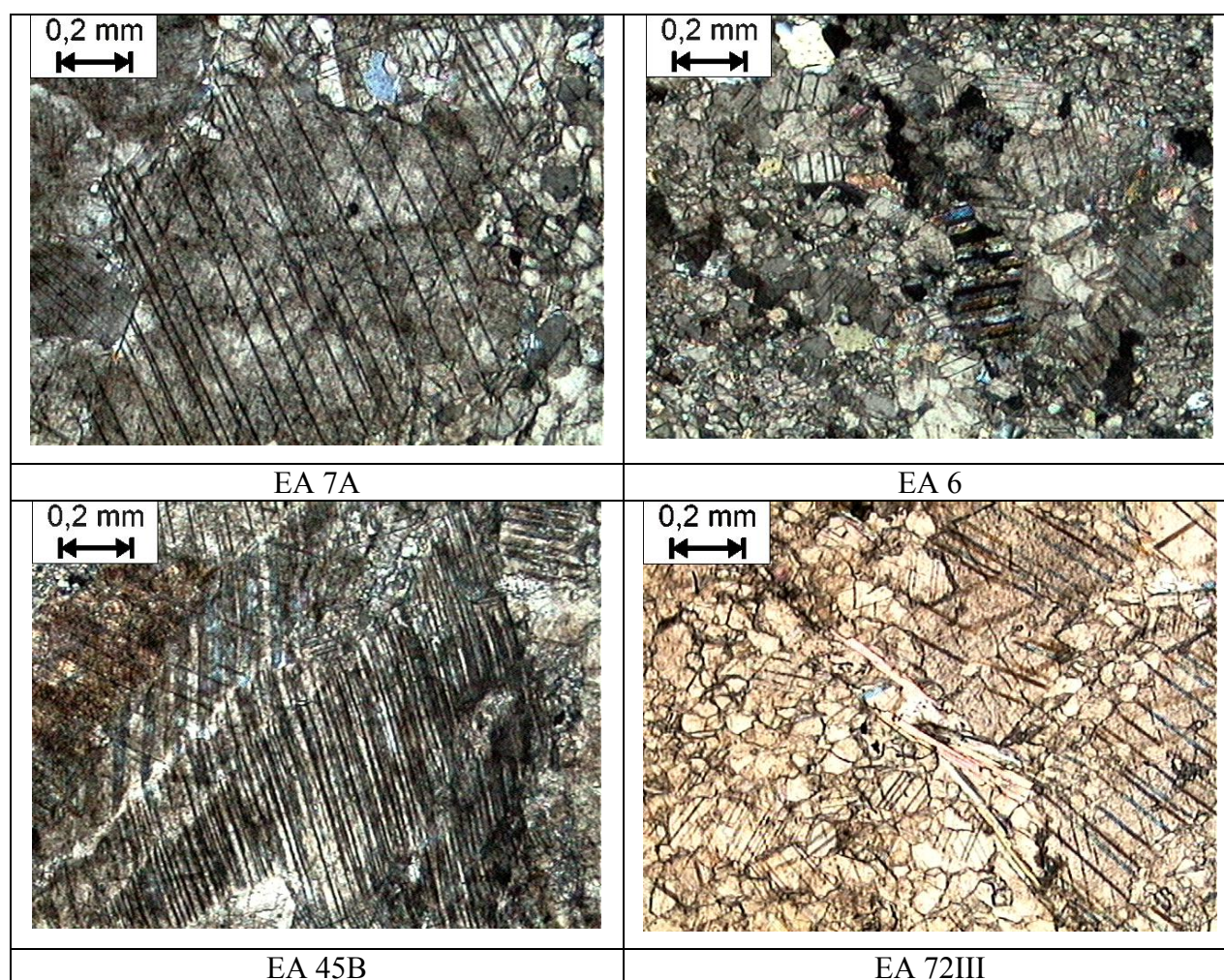


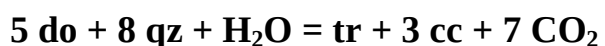
Figura 40 – Fotomicrografias digitais – Luz polarizada e natural. Amostras com evidente arranjo textural, orientação preferencial dos cristais e recrystalização das dolomitas.

Estes mármore se sujeitaram a intensa deformação mecânica, predominantemente plástica, como demonstram o achatamento e isorientação mineral, etc. Sendo a dolomita instável em presença de quartzo, a pequena porcentagem deste cristal presente em boa parte das amostras também deve ter contribuído para o moderado rearranjo mineral.

A água envolvida na reação durante o metamorfismo pode ser explicada pelo fraturamento hidráulico da rocha e é provavelmente proveniente de metapelitos encaixantes, visto a ausência de corpos básicos nas proximidades. Segundo Yardley (1989), compactação, acompanhada da liberação de água estrutural e da expansão termal dos fluídos aproximadamente igual à pressão litostática à medida que a rocha é aquecida. Se a pressão de fluídos excedeu a pressão litostática, superando a geralmente pequena resistência à tensão da rocha, esta se romperá por fraturamento hidráulico. Neste processo, o fluido escapa ao longo das descontinuidades.

De acordo com Rock (1986) a distribuição dos elementos químicos das rochas carbonáticas pode ser afetada pelo metamorfismo nas seguintes situações:

- i. Perdas ou ganhos devido a mobilidade do elemento; nas rochas carbonáticas há uma perda progressiva de álcalis com o incremento do metamorfismo (Ferry, 1983).
- ii. Metassomatismo de contato nas proximidades de *plutons* ígneos. Neste caso não há formação de *skarns*.
- iii. Mineralização; pode ocorrer um mascaramento das características químicas inerentes aos carbonatos aumentando seu conteúdo em elementos traços, especialmente Ba, Cu e Zn.
- iv. Descarbonatação: enquanto calcários calcíticos puros permanecem inertes até alto grau de metamorfismo, dolomitos impuros submetem-se a reações de descarbonatação formando talco, tremolita, diopsídio, etc: o que implica na perda de peso. Em rochas com $\text{SiO}_2 < 20\%$, a máxima perda teórica em peso é de 15%, na reação:



Desta forma deverá ser considerada, antes de se analisar a distribuição dos elementos que:

- i. As rochas carbonáticas analisadas exibem baixo grau metamórfico.
- ii. Alguns litotipos calcários estão próximos a intrusões básicas Mesozóicas.
- iii. Algumas amostras apresentam $\text{SiO}_2 > 20\%$.

1.4.2.3 – Distribuição dos Elementos Químicos

Este item destina-se a uma análise do comportamento dos diversos elementos químicos analisados nos dolomita calcários e nos calcários impuros dos domínios tectônicos Queimadinho DTQ (Tab. 8) e Tranqueira DTT (Tab. 9).

Tabela 8 – Valores médios dos dados químicos de litotipos carbonáticos dos domínios geológicos da Região do Tigre – PR.- DTQ

Amostra	CaO (%)	MgO (%)	SiO2 (%)	Al2O3 (%)	Fe2O3 (%)	MnO (%)	Na2O (%)	K2 (%)	P2O5 (%)	TiO2 (%)	P.F. (%)	Soma	Fonte
BG 4333	25,1	17,1	16,6	0,32	0,4	0,01	0	0	0	0	40,58	100,03	1
BG 4334	30,1	20,5	2,6	0,43	0,37	0,07	0	0	0	0	38,27	92,35	1
BG 4334	30,1	20,5	2,6	0,43	0,37	0,07	0	0	0	0	43,8	97,88	1
BG 4337	30,4	20,2	1,81	0,21	0,39	0,01	0	0	0	0	45,86	98,88	1
BG 4340	30,7	20,8	0,64	0,03	0,57	0,01	0	0	0	0	46	98,69	1
BG 4381	29,8	17,1	9,71	0,05	0,7	0,01	0	0	0	0	42,96	100,33	1
BG 4382	28,8	18,9	7,19	0,26	0,96	0,01	0	0	0	0	42,88	99,06	1
BG 4383	27,9	18,6	9,66	0,53	0,4	0,01	0	0	0	0	42,34	99,43	1
BG 4384	30,9	18,9	3,55	0,01	0,55	0,01	0	0	0	0	45,52	99,38	1
BG 4385	32,4	18,6	1,25	1,53	0,54	0,01	0	0	0	0	39,39	93,75	1
BG 4386	30,4	21,2	0,3	1,14	0,46	0,005	0	0	0	0	46,21	99,695	1
BG 4387	30,3	20,8	1,36	0,49	0,46	0,005	0	0	0	0	45,27	98,705	1
BG 4388	32,2	19,9	3,26	0,63	0,35	0,01	0	0	0	0	44,54	100,87	1
BG 4390	29,9	19,3	4,98	0,18	0,51	0,01	0	0	0	0	45,03	99,99	1
BG 4391	30,4	20,6	2,04	0,2	0,8	0,005	0	0	0	0	42,82	96,845	1
BG 4395	28,6	17,2	8,39	1,24	1,55	0,01	0	0	0	0	43,4	100,39	1
BG 4396	25,6	17,6	13,85	0,05	0,75	0,005	0	0	0	0	41,64	99,425	1
BG 4398	31,9	17,7	4,81	0,12	0,61	0,01	0	0	0	0	46,18	101,37	1
BG 4399	31,2	20,4	0,16	0,23	0,66	0,01	0	0	0	0	44,96	97,56	1
BG 4401	30,7	21,5	0,32	0,45	0,45	0,01	0	0	0	0	42,7	96,12	1
BG 4402	30,8	20,3	3,4	0,55	0,31	0,01	0	0	0	0	46,01	101,38	1
BG 4404	28,2	17,6	10,17	0,02	0,48	0,01	0	0	0	0	35,9	92,4	1
BG 4405	24,6	16,8	17,57	0,08	0,44	0,01	0	0	0	0	40,21	99,74	1
BG 4406	30,1	16,8	11,19	0,29	0,33	0,01	0	0	0	0	40,6	99,38	1
BG 4407	26,0	16,8	12,86	0	0	0	0	0	0	0	P,F,	58,21	1
BG 4408	30,5	20,4	1,58	0	0	0	0	0	0	0	45,48	98,86	1
BG 4408-a	29,5	18,4	2,45	0	0	0	0	0	0	0	39,77	93,9	1
BG 4411	25,0	15,3	18,26	0	0	0	0	0	0	0	42,86	103,52	1
BG 4412	30,4	20,4	2,33	0	0	0	0	0	0	0	39,32	93,850	1
BG 4414	30,9	20,2	3,1	0	0	0	0	0	0	0	44,1	100,71	1
BG 4416	30,7	20,9	1,81	0	0	0	0	0	0	0	45,28	98,960	1
BG 4417	30,6	20,8	0,77	0	0	0	0	0	0	0	46	99,16	1
BG 4419	30,0	20,4	2,73	0	0	0	0	0	0	0	40,96	94,960	1
BG 4421	29,5	20,1	5,62	0	0	0	0	0	0	0	43,72	99,760	1

BG 4422	29,4	19,0	4,31	0	0	0	0	0	0	0	43,52	97,290	1
BG 4423	29,0	19,1	6,33	0	0	0	0	0	0	0	43,56	98,360	1
BG 4424	30,7	19,6	1,32	0	0	0	0	0	0	0	45,12	97,9	1
BG 4425	26,8	16,3	13,8	0	0	0	0	0	0	0	36,79	96,47	1
BG 4426	29,9	19,7	2,72	0	0	0	0	0	0	0	45,82	98,750	1
BG 4427	30,2	19,9	3,07	0	0	0	0	0	0	0	45,04	99,270	1
BG 4428	28,3	18,4	11,36	0	0	0	0	0	0	0	41,75	100,650	1
BG 4429	30,8	21,0	0,34	0	0	0	0	0	0	0	45,17	97,830	1
BG 4430	30,5	20,9	1,26	0	0	0	0	0	0	0	46,38	100,090	1
BG 4431	30,3	20,8	1,61	0	0	0	0	0	0	0	45,71	98,970	1
BG 4432	27,7	15,1	12,73	0	0	0	0	0	0	0	45,25	102,37	1
BG 4433	30,1	20,4	2,35	0	0	0	0	0	0	0	45,3	98,850	1
BG 4435	31,1	20,0	1,3	0	0	0	0	0	0	0	45,96	98,92	1
BG 4436	31,7	21,1	0,54	0	0	0	0	0	0	0	45,72	99,6	1
BG 4436-a	29,9	20,0	1,26	0	0	0	0	0	0	0	45,94	99,27	1
BG 4437	32,0	20,4	1,17	0	0	0	0	0	0	0	45,52	99,86	1
BG 4438	31,2	20,7	1,26	0	0	0	0	0	0	0	46,05	100,15	1
BG 4440	30,3	20,4	1,31	0	0	0	0	0	0	0	45,9	98,72	1
BG 4441	31,5	21,0	2,5	0	0	0	0	0	0	0	46,34	101,75	1
BG 4441-a	30,2	20,5	0,34	0	0	0	0	0	0	0	46,16	98,84	1
BG 4442	30,6	20,9	0,2	0	0	0	0	0	0	0	46,31	99,22	1
BG 4443	30,4	20,4	2,23	0	0	0	0	0	0	0	43	96,82	1
BG 4445	30,1	21,1	0,14	0	0	0	0	0	0	0	46,08	98,75	1
BG 4446	31,4	20,2	0,98	0	0	0	0	0	0	0	45,18	98,7	1
BG 4447	30,9	21,2	0,78	0	0	0	0	0	0	0	46,22	99,83	1
BG 4448	30,9	20,6	1,25	0	0	0	0	0	0	0	45,42	98,97	1
BG 4454	29,8	18,1	7,32	0	0	0	0	0	0	0	44,1	100,93	1
BG 4455	30,6	19,5	1,67	0	0	0	0	0	0	0	44,88	98,92	1
BG 4456	27,2	21,4	13,9	0	0	0	0	0	0	0	37,07	100,470	1
EA 112	25,9	18,5	14,48	1,28	0,09	0,01	0,12	0,01	0,01	0,05	39,69	99,89	2
EA 113	30,6	21,1	1,44	0,02	0,1	0,01	0,03	0,01	0,005	0,005	46,72	100,03	2
EA 117	30,9	21,4	0,32	0,12	0,13	0,01	0,03	0,04	0,01	0,01	46,45	99,32	2
EA 222 A	29,0	20,3	5.125	0,084	0,201	0,022	0,022	0,022	0,01	0,001	44,74	99.483	2
EA 222 B	30,0	20,9	1.736	0,136	0,162	0,016	0,022	0,036	0,01	0,007	46,16	99.125	2
EA 222 C	27,5	19,3	8.784	0,328	0,235	0,025	0,024	0,103	0,01	0,017	42,63	98.909	2
EA 222 D	30,1	21,0	0,638	0,053	0,101	0,011	0,029	0,011	0,003	0,01	46,06	98,03	2
EA 222 E	30,2	21,1	21,1	1,545	0,1631	0,142	0,015	0,046	0,006	0,026	46,06	99.275	2

[illegible]

SG -20-67	30,65	20,59	2,66	0	0	0	0	0	0	0	46,51	98,17
SG -20-68	29,39	22,53	3,02	0	0	0	0	0	0	0	46,8	99,78
SG -20-69	30,59	20,28	1,5	0	0	0	0	0	0	0	47,37	98,94
SG -20-7	31,56	20,97	0,88	0	0	0	0	0	0	0	46,43	98,96
SG -20-70	30,06	19,5	4,84	0	0	0	0	0	0	0	46,08	98,28
SG -20-71	30,59	20,28	1,74	0	0	0	0	0	0	0	47,72	98,73
SG -20-8	31,56	20,97	1	0	0	0	0	0	0	0	43,95	96,64
SG -20-9	29,39	22,53	1,54	0	0	0	0	0	0	0	46,1	98,51
SG -20A	31,03	21,33	0,17	0,05	0,08	0,01	0,09	0,005	0,02	0,005	47,34	100,12
SG -20B	30,87	21,14	1,61	0,12	0,08	0,005	0,1	0,02	0,02	0,005	46,05	100,62
SG -20C	30,46	21,47	1,43	0,13	0,11	0,005	0,1	0,02	0,01	0,005	47,69	100,41
SG -20D	30,63	21,05	1,7	0,07	0,04	0,005	0,09	0,005	0,01	0,005	46,65	100,24
SG -20E	31	21,32	0,87	0,12	0,04	0,005	0,1	0,02	0,01	0,005	46,76	100,24
SG -20F	28,96	19,53	7,5	0,24	0,1	0,005	0,09	0,06	0,01	0,005	43,56	100,06
SG -20G	30,75	20,92	1,48	0,27	0,11	0,005	0,09	0,09	0,02	0,005	46,42	100,15
SG -20H	29,65	19,89	5,81	0,41	0,22	0,005	0,09	0,1	0,02	0,02	43,94	100,14
SG -20I	30,58	20,93	2,03	0,38	0,11	0,005	0,12	0,06	0,02	0,005	46,1	100,32
SG -20J	30,87	20,87	1,81	0,15	0,1	0,005	0,09	0,04	0,01	0,005	46,06	100
SG -20K	30,73	21,03	1,35	0,15	0,08	0,005	0,11	0,06	0,02	0,005	46,43	99,95
SG -31A	31,24	21,15	0,82	0,06	0,25	0,02	0,09	0,03	0,01	0,005	46,51	100,16
SG -31B	31,17	21,35	0,37	0,06	0,27	0,02	0,09	0,02	0,01	0,005	46,8	100,14

Fonte: Mineradora Terra Rica e laboratório Bondar Clegg, Canadá – Método Fluorescência de raios X (*apud* Guimarães, S.B. ,2001).

Ponderando os resultados obtidos a seguir faremos observações para cada elemento químico em razão de sua localização na Região do Tigre:

- i. **Cálcio e Magnésio** – Os valores de CaO e MgO obtidos encontram-se dentro das faixas de teores típicos de rochas carbonáticas sedimentares de Wedepohl (1969) e daqueles de calcita e dolomita apresentados por Deer *et al* (1982). Nos calcários do DTT (Fig. 41) os valores médios de CaO variam de 28,72% a 32,44% e os de MgO apresentam uma variação de 18,98 % a 23,30 %. Nos dolomitos do DTQ (Fig.42), os valores médios de CaO situam-se numa faixa de 24,6% a 32,4% e os MgO entre 15,1% e 21,5%. Teores mais altos de MgO são observados nas amostras EA 54 e BG 4401. A anomalia deve encontrar explicação na possível presença de magnesita no sedimento original.

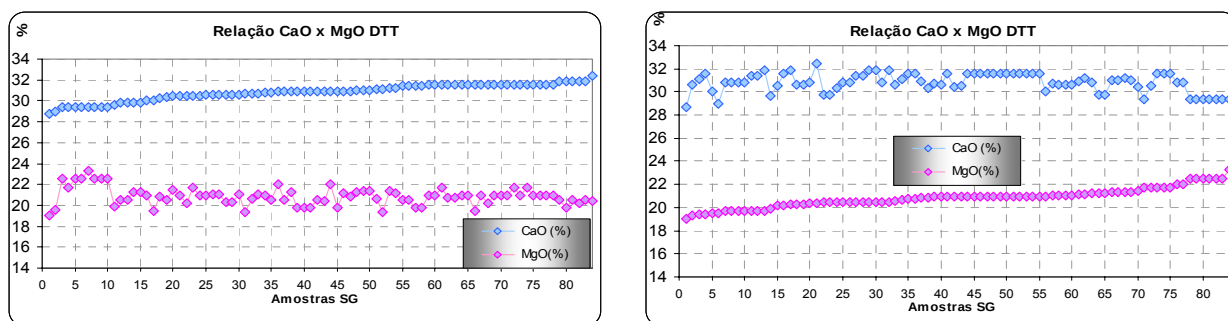


Figura 41 – Gráficos com os teores de CaO e MgO no DTT.

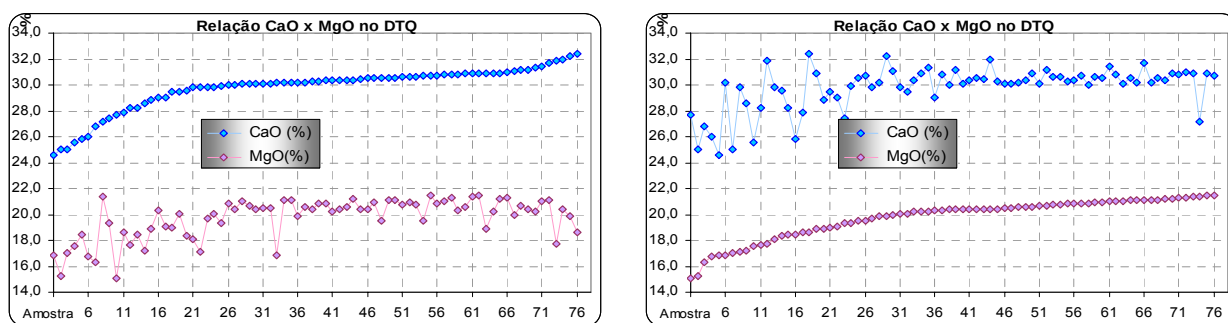


Figura 42 – Gráficos com os teores de CaO e MgO no DTQ.

- ii. **Sílica e Magnésio**-Conforme é mostrada na Figura 42 a grande maioria das amostras analisadas do DTQ corresponde à rocha carbonática pura no que tange aos elementos de SiO₂. Em geral estes ultrapassam a 5%, como por exemplo os litotipos dos pontos EA 112 e EA 222C, que apresentam teores superiores a 9%, com a média de 13% (desvio padrão 2,92). Rochas carbonáticas impuras (SiO₂ > 20%) não também não foram coletadas no DTT, onde se observa os valores mais altos nos pontos SG20F e no SG20-64 (Fig. 43).

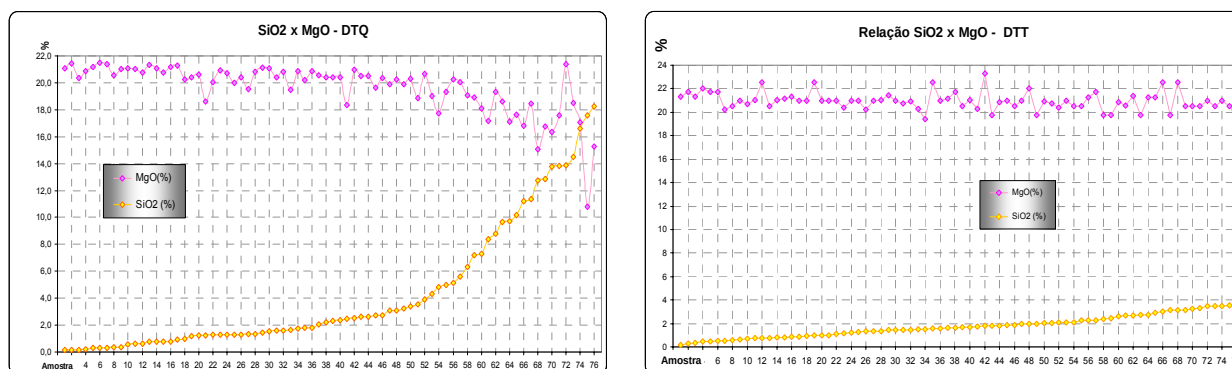


Figura 43 – Diagrama SiO_2 x MgO para as rochas carbonáticas da Região do Tigre-PR DTQ e DTT.

iii. **Ferro e Alumínio** – (Fig.44) Os dolomitos do Domínio Tectônico Tranqueira comparecem com índices baixos de Fe_2O_3 (<0,27%), já os dolomitos do Domínio Queimadinho apresentam índices mais elevados que variam de 0,09% a 1,55% em média 0,67% (desvio padrão 0,283%). Os teores de alumínio no DTT são geralmente baixos (<0,41%). Os litotipos com alumínio mais alto concentram-se nos dolomitos do DTQ provavelmente com mais alta porcentagem de filossilicatos em relação ao DTT. Nestes observam-se valores superiores a 0,05%.

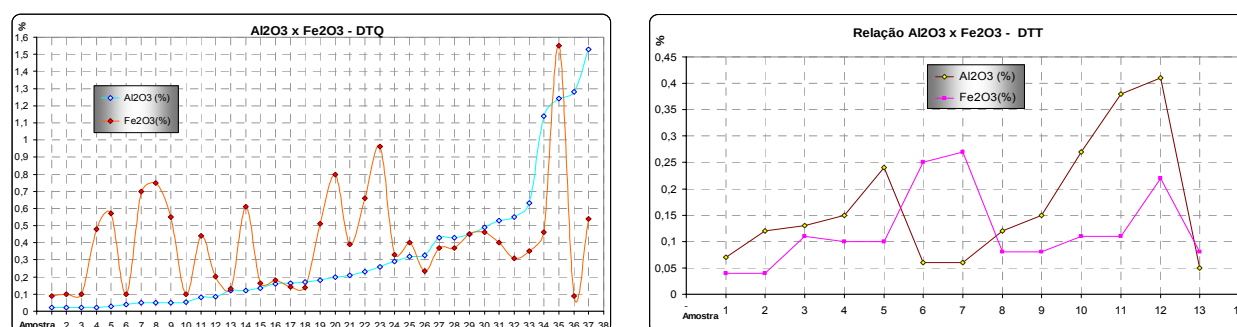


Figura 44 – Diagrama Al_2O_3 x Fe_2O_3 para as rochas carbonáticas da Região do Tigre-PR.

iv. **Titânio** – (Fig. 45) No DTQ este elemento foi detectado em 13 amostras, basicamente naquelas com mais elevado teor de sílica os índices variam de 0,001% a 0,05%. No DTT os valores permaneceram homogêneos concentrados no valor 0,005% (traços).

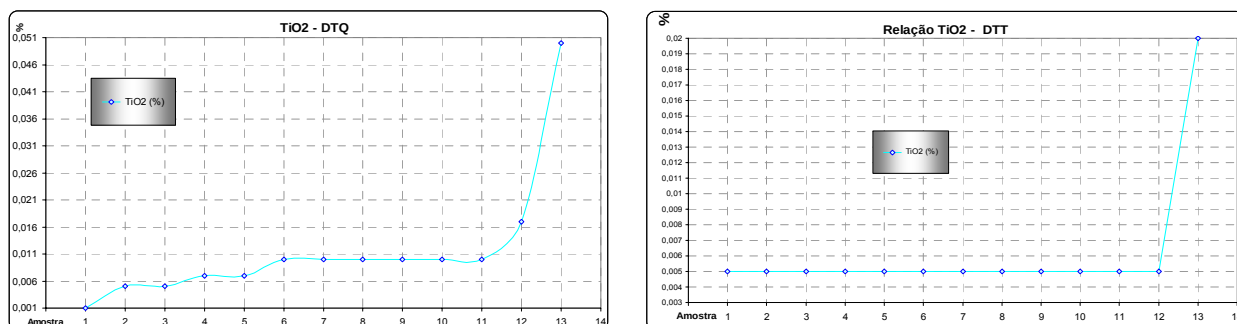


Figura 45 – Diagrama TiO_2 para as rochas carbonáticas da Região do Tigre-PR

- v. **Manganês** – (Fig. 46) Ocorre em valores muito baixos e foi detectado no DTQ uma anomalia em oito amostras com teores $>0,15\%$ e no DTT duas amostras com valores de $0,2\%$.

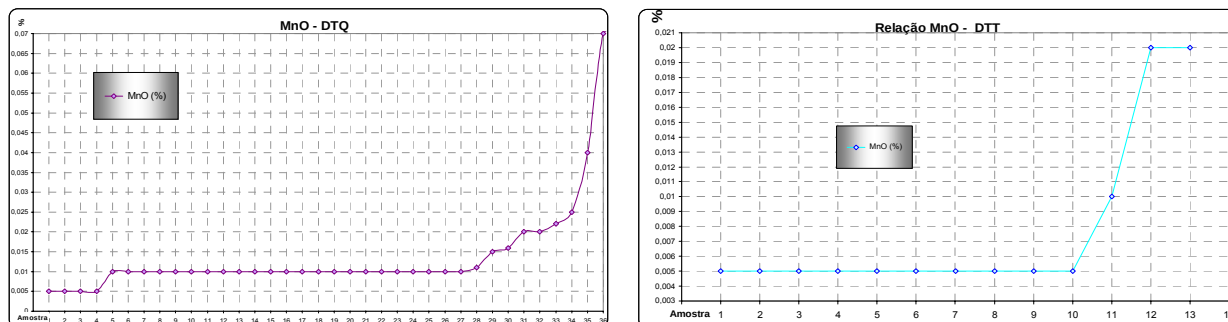


Figura 46 – Diagrama MnO para as rochas carbonáticas da Região do Tigre-PR.

- vi. **Sódio e Potássio** – (Fig. 47) Os dolomitos do Domínio Tectônico Tranqueira comparecem com os índices baixos de Na_2O ($<0,12\%$), igualmente os dolomitos do Domínio Queimadinho que apresentam índices variando de $0,02\%$ a $0,12\%$ em média $0,03\%$ (desvio padrão $0,26\%$). Os baixos teores observados devem estar relacionados à perda progressiva de álcalis com o incremento do grau metamórfico (Ferry, 1983). Os teores de potássio no DTT são geralmente baixos ($<0,098\%$). Os litotipos com potássio mais alto concentram-se nos dolomitos do DTQ. Nestes observam-se valores até $0,105\%$ podendo ser devido à maior contribuição detrítica e conteúdo de filossilicatos.

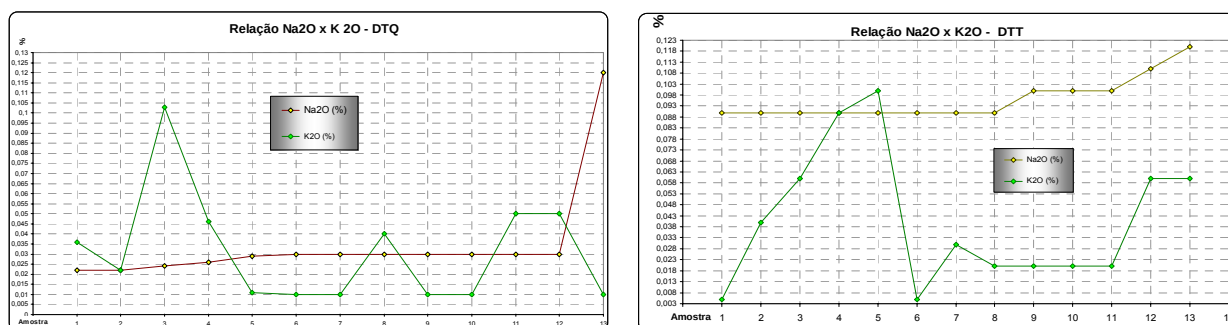


Figura 47 – Diagrama Na_2O x K_2O para as rochas carbonáticas da Região do Tigre-PR.

- vii. **Fósforo** – (Fig. 48) – É um elemento pouco detectado nas análises efetuadas. Sempre com teores muito baixos e homogêneos. No DTQ observa-se uma anomalia de pouca expressão nos pontos EA 222, A, B, C, 117, 58, 59 e 112.

A seguir é apresentada a Tabela 10 onde se pode observar a média de cada elemento, bem como o seu respectivo desvio padrão. Estes dados estão separados para o Domínio Tectônico Tranqueira e Queimadinho.

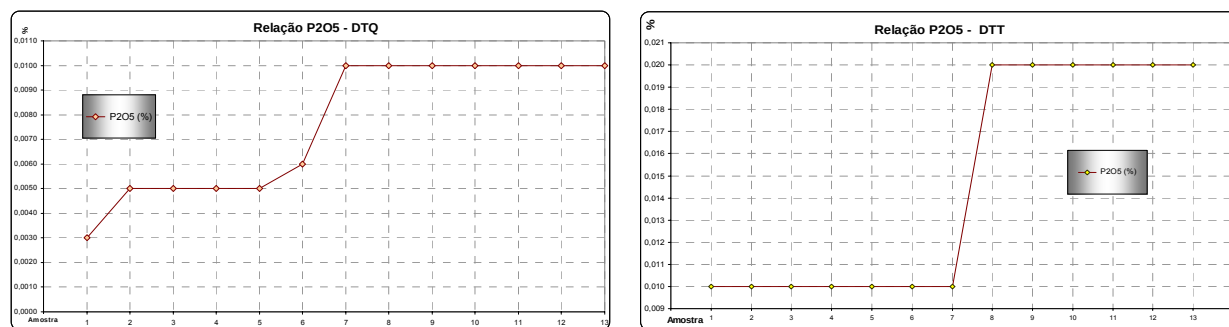


Figura 48 – Diagrama P_2O_5 para as rochas carbonáticas da Região do Tigre-PR.

Tabela 10 – Média de cada elemento e seu respectivo desvio padrão.

Resultados	CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	TiO ₂	P.F.	Soma
Média DTQ	29,834	20,688	3,051	0,065	0,306	0,024	0,030	0,027	0,007	0,010	44,557	98,321
D.Padrão DTQ	1,416	0,825	3,893	0,050	0,245	0,020	0,027	0,028	0,004	0,012	2,597	1,892
Média DTT	30,611	20,922	2,073	0,170	0,122	0,008	0,096	0,041	0,015	0,006	46,178	100,196
D.Padrão DTT	0,637	0,573	2,134	0,120	0,075	0,006	0,010	0,031	0,005	0,004	1,180	0,177

1.5 – Ensaios Tecnológicos

1.5.1 - Caracterizações para Uso em Revestimento de Edificações.

Para uso como revestimento de edificações, as rochas devem apresentar os seguintes parâmetros (Frazão & Paraguassu, 1998):

- Facilidade de afeiçoamento (corte e polimento), para alcançar os efeitos estéticos e geométricos desejados, sem ocasionar desgaste excessivo de ferramentas e consumo exagerado de abrasivos;
- Alta resistência ao intemperismo e a reagentes agressivos, para manter as características estéticas e funcionais que recomendam seu uso;
- Resistências mecânicas adequadas, para suportar satisfatoriamente as solicitações de compressão, flexão, impacto e desgaste, dentre outras, quando do transporte, aplicação e uso e;
- Baixas absorções de líquidos e baixa dilatação térmica, para não afetar sua função estética e garantir a durabilidade desejada.

Na área em estudo foram analisados ensaios tecnológicos em amostras somente do Domínio Tectônico do Queimadinho. É neste domínio, mais precisamente junto à falha do

Queimadinho, que se encontram todas as pedreiras, em atividade ou não, voltadas a exploração do mármore para revestimento em edificações.

Foram estudados também ensaios tecnológicos de outros mármore, explorados em outros estados do Brasil, porém com a mesma aplicação, para se estabelecer um comparativo entre estes e o Mármore “Branco Paraná”.

O intuito da caracterização tecnológica foi determinar quais as propriedades físicas que fossem preponderantes para explicar a dureza da rocha estudada.

Para melhor se compreender o comportamento físico dos mármore, diante de outros litotipos não calcários, reuniu-se na Tabela 9 um apanhado dos resultados gerais para outras rochas destinadas ao revestimento para edificações que são exportadas. Com relação aos resultados analisados nesta Tabela, na Figura 49 é apresentado um gráfico comparando diferentes tipos de mármore em relação à massa específica aparente (único parâmetro que há diversidades).

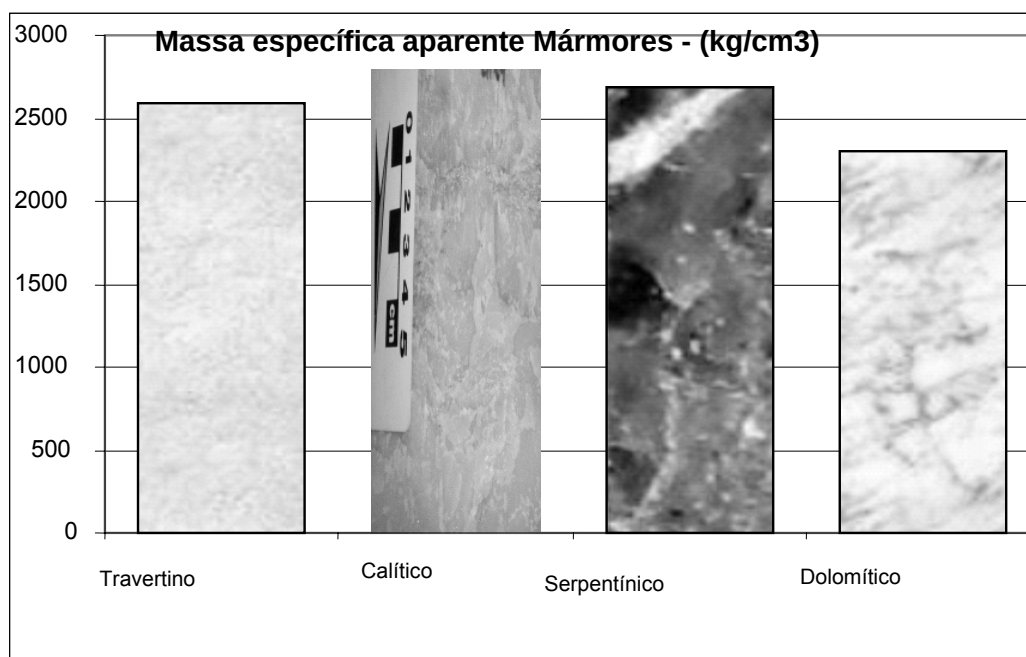


Figura 49 – Gráfico com parâmetros físicos de massa específica em mármore
(fonte Frazão, 2002)

A Tabela 11 mostra o resultado médio obtido nos diferentes litotipos da unidade enfocada em comparação a outros mármore brasileiros. Os dados referentes ao Mármore “Branco Paraná” foram realizados pelo IPT – Instituto Pesquisas Tecnológicas para a empresa Aco Mineração Ltda. e datam de 2002.

Tabela 11 – Resultados físicos dos diversos litotipos utilizados como rocha ornamental e destinados a exportação.

	Propriedade	Massa específica aparente (kg/cm ³)	Porosidade aparente (%)	Absorção d'água aparente (%)	Veloc. propag. ondas P (m/s)	Coef. dilat. térmica linear (10 ⁻³ mm/m°C)	Desgaste Amsler (mm)	Resist. compres. (MPa)	Resist. flexão (por 3 pontos) (MPa)	Resist. flexão (por 4 pontos) (MPa)	Módulo deformabil. estático (GPa)	Resist. impacto (m)	Referên. normat. para específico.
	Litotipos												
Mármore	Granitos	>2560	X	<0.4	X	X	X	>131	10.34	8.27	X	X	ASTM C 615
	Travertino	>2595	X	<0.75	X	X	X	>52	>7	X	X	X	ASTM C 503
	Calítico	>2800	X	<0.75	X	X	X	>52	>7	X	X	X	ASTM C 503
	Serpentinico	>2690	X	<0.75	X	X	X	>52	>7	X	X	X	ASTM C 503
	Dolomítico	>2305	X	<0.75	X	X	X	>52	>7	X	X	X	ASTM C 503
Calcários	Baixa densidade	1760-2160	X	<12	X	X	X	>12	>2.9	X	X	X	ASTM C 568
	Média densidade	2160-2560	X	<7.5	X	X	X	>28	>3.4	X	X	X	ASTM C 568
	Alta densidade	>2560	X	<3	X	X	X	>55	>6.9	X	X	X	ASTM C 568
Arenitos	>60% SiO ₂	>2160	X	<20	X	X	X	>13.8	>2.1	X	X	X	ASTM C 616
	>90% SiO ₂	>2400	X	<3	X	X	X	>68.9	>6.9	X	X	X	ASTM C 616
	>95% SiO ₂	>2560	X	<1	X	X	X	>137.9	>13.9	X	X	X	ASTM C 616
Silicatadas	Rochas silicatadas	>2550	<1	<0.4	>4000	<12	<1	>100	>10	X	>30	<0.3	Frazão & Farjallat (1996)
Referência normativa para ensaio		NBR 12766 ou ASTM C 97	NBR 12766	NBR 12766 ou ASTM C 97	não há	NBR 12765	NBR 12042	NBR 12767 ou ASTM C 170	NBR 12763 ou ASTM C 99	ASTM C 880	NBR 10341 ou ASTM D 3148	NBR 12764	

(Fonte Frazão, 2002).

Tabela 12 – Comparativo entre Mármore Brasileiros destinados a Exportação.

Ensaio/Rocha	Branco Paraná	Mármore Itaiacoca	Mármore S.Roque	Bege Bahia	Branco Clássico	Mármore Lajeado	Mármore Creme	Mármore Rosa BA	Mármore A. Clara	Mármore Setuva	Mármore Rosa
Estado de Origem	PR	PR	SP	BA	ES	SP	CE	BA	SP	SP	BA
Unidade Estratigráfica	Capiru	Itaiacoca	Gr. S. Roque	Bambui	X	Super Gr. Lajeado	X	Bambui	Água Clara	Fr. Setuva	Bambui
Classificação	Quartzo dolomito	Calcita dolomita mármore	Dolomito	Brecha calcítica	Calcita mármore	Dolomito	Calcário dolomítico	Flogopita dolomita mármore	Dolomito	Dolomitós	Mármore calcítico
Massa (Kg/m ³)	2.790	2851	2836	2.606	2.850	2808	2.230	2.636	2672	2824	2.732
Porosidade (%)	0,45	0,30	0,28	2,62	0,26	0,51	12,6	1,67	1,30	0,31	0,17
Absorção (%)	0,16	0,10	0,10	1,01	0,09	0,18	6	0,64	0,49	0,11	0,06
Compressão (MPa)	213,6	181	157	137,3	99,85	149	37,4	156,3	74	84	119,9
Congelamento Degelo (MPa)	255	X	X	101,6	0	X	30,3	0	X	X	118,2
Flexão (MPa)	31	X	X	16,65	6,2	X	6,9	20,71	X	X	18,43
Abrasão (mm)	2,1	2,1	2,03	1,31	0	2,7	3,47	1,56	3,1	2,3	3,31
Impacto (m)	0	X	X	0,41	0	X	0,37	0,35	X	X	0,46
Dilatação (mm/m°C10-3)	7,8	X	X	13,8	8,2	X	4,7	9,4	X	X	8

(Fontes :Abirochas, 2003 e Frasca, 1992)

1.5.1.1 – Massa Específica Aparente

Uma rocha no seu estado natural apresenta-se como um conjunto de minerais interligados ocupando um determinado tamanho, constituído pelos minerais e pelos vazios entre estes. A maior ou menor quantidade de vazios gera menor ou maior compacidade da rocha, que refletirá numa maior ou menor massa específica e, por consequência, maior ou menor porosidade. Por esta razão, há diversas definições para a massa específica e para a porosidade.

A definição de massa específica aparente (P_a) é mais aplicável às rochas, pois representará a relação entre a massa das partículas sólidas (M) e o volume aparente da rocha (V_a): $P_a = M/V_a$.

O volume da rocha, por sua vez, compreende o volume dos minerais e o volume dos vazios.

A massa específica aparente é influenciada pela umidade. Por este motivo, adota-se determinar a massa específica aparente no estado seco e no estado saturado; quando determinada no estado de umidade natural, o teor de umidade deve ser conhecido.

Analisando o gráfico da Figura 50 podemos observar que a massa específica do Mármore “Branco Paraná” encontra-se com valores acima das normas especificadas para mármore dolomíticos ($> 2.305 \text{ kg/m}^3$). O valor de 2.790 kg/m^3 é excelente e se equipara ao valor de outros mármore destinados ao comércio internacional tal como o “Branco Clássico” e o “Rosa Bahia”.

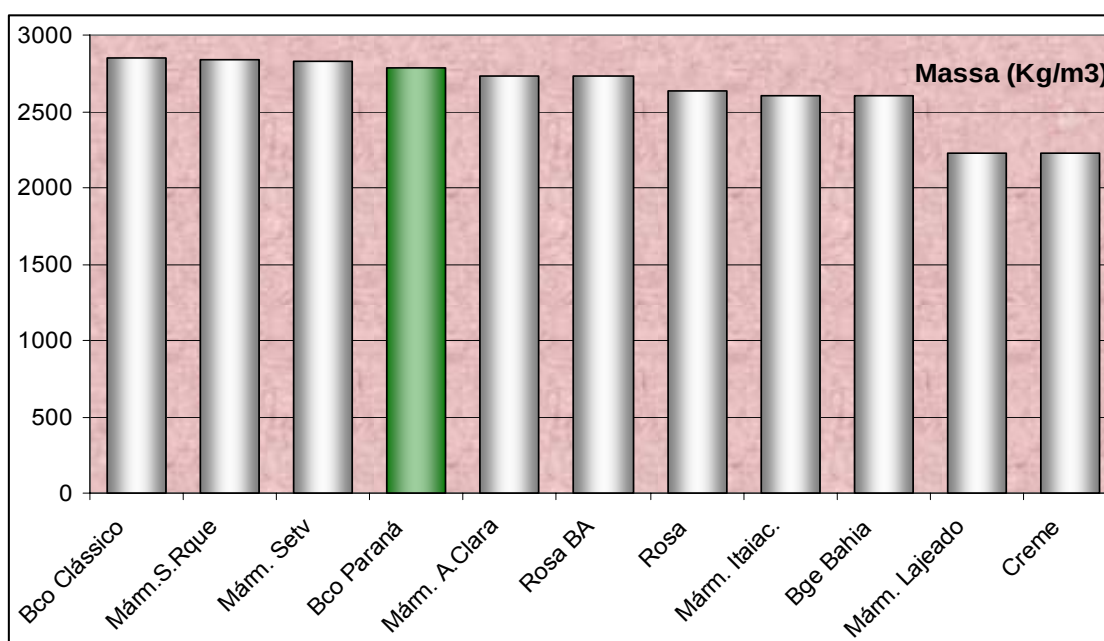


Figura 50 - Gráfico comparativo com a relação à massa específica aparente do Mármore “Branco Paraná” em relação a outros mármore nacionais com a mesma aplicabilidade.

1.5.1.2 – Porosidade Aparente

Rochas com diferentes graus de compacidade apresentarão diferentes graus de porosidade. Em decorrência disto, resulta que a porosidade seja definida como sendo a relação entre o volume dos vazios (V_v) e o volume das partículas (V_r), para porosidade absoluta ou real, ou o volume dos vazios e o volume da rocha (V_a), para porosidade aparente, expressos da seguinte forma, respectivamente: $N_r = V_v/V_r$ $N_a = V_v/V_a$

A porosidade absoluta decorrente pode, por sua vez, ser expressa pela seguinte relação:

$$N_r = 1 - P_a / P_r = 1 - C$$

Os valores de massa específica são apresentados em g/cm³ ou kg/m³, e a porosidade em porcentagem.

Depreende-se das expressões anteriormente mencionadas, que para uma compacidade absoluta a porosidade seria zero, e que quanto maior a porosidade menor a massa específica aparente.

No estudo comparativo, entre o Mármore “Branco Paraná” e outros mármore nacionais (Fig. 51), utilizado como revestimento para edificações, pode-se concluir que a porosidade da rocha (< 1%) é inferior a do mármore “Rosa” e equipara-se ao “Branco Clássico”. Em decorrência disso a massa específica é maior, ou seja, a rocha apresenta maior compacidade, possui menor volume de vazios, logo é altamente qualificada para a aplicação de revestimento em pisos.

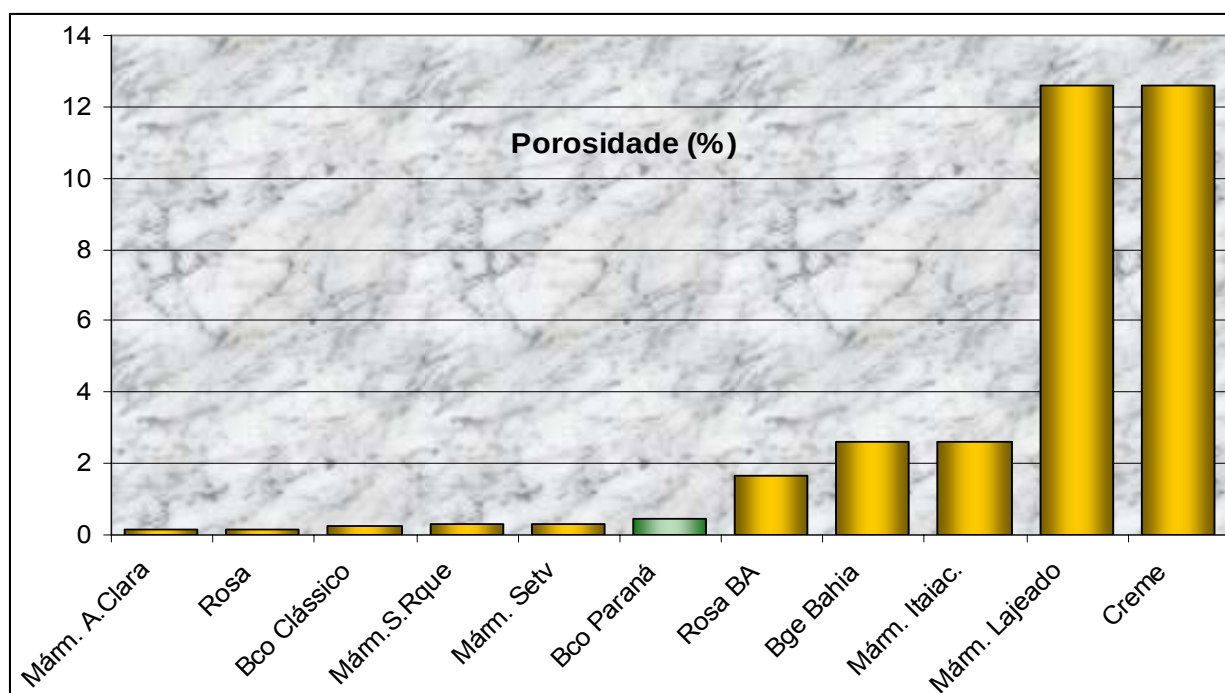


Figura 51 - Gráfico comparativo com a relação à porosidade do Mármore “Branco Paraná” em relação a outros mármore nacionais com a mesma aplicabilidade.

1.5.1.3 – Absorção de Água

A quantidade de água, ou líquido qualquer, capaz de preencher os poros define também uma propriedade importante dos mármore. Esta propriedade representa a capacidade da rocha em absorver e reter a água nos seus poros.

A absorção (αA) pode ser obtida pela diferença entre o peso da rocha saturada (M_2) e o peso da rocha seca (M_1), relacionado ao peso da rocha seca (M_1), para se obter a capacidade de absorção em peso (α_{Ap}), ou em volume (α_{Av}), se os parâmetros citados representarem volumes.

A capacidade de absorção é expressa, em porcentagem, da seguinte maneira:

$$\alpha_{Ap} = [(M_2 - M_1) / M_1] \cdot 100 \quad \alpha_{Av} = [(M_2 - M_1) / V] \cdot 100$$

A absorção é sempre determinada para um estado de saturação completa dos poros pela água e corresponde, portanto, ao máximo teor de umidade que a rocha pode alcançar. Em outras palavras, corresponde ao grau de saturação dos poros de 100%.

O mármore “Branco Paraná” apresenta uma absorção inferior a 0,2 % (Fig. 52), o que a caracteriza como uma rocha de baixíssima absorção, se comparada a outros mármore. Tendo baixa absorção d’água não apresenta aumento na massa específica aparente saturada e na condutividade térmica, desta forma sua resistência mecânica aumenta, pois não ocorre enfraquecimento das ligações intergranulares. A absorção será sempre menor que as porosidades absoluta e aparente, porque a água, ou outro líquido, não penetrará em todos os poros, pois muitos deles não são acessíveis.

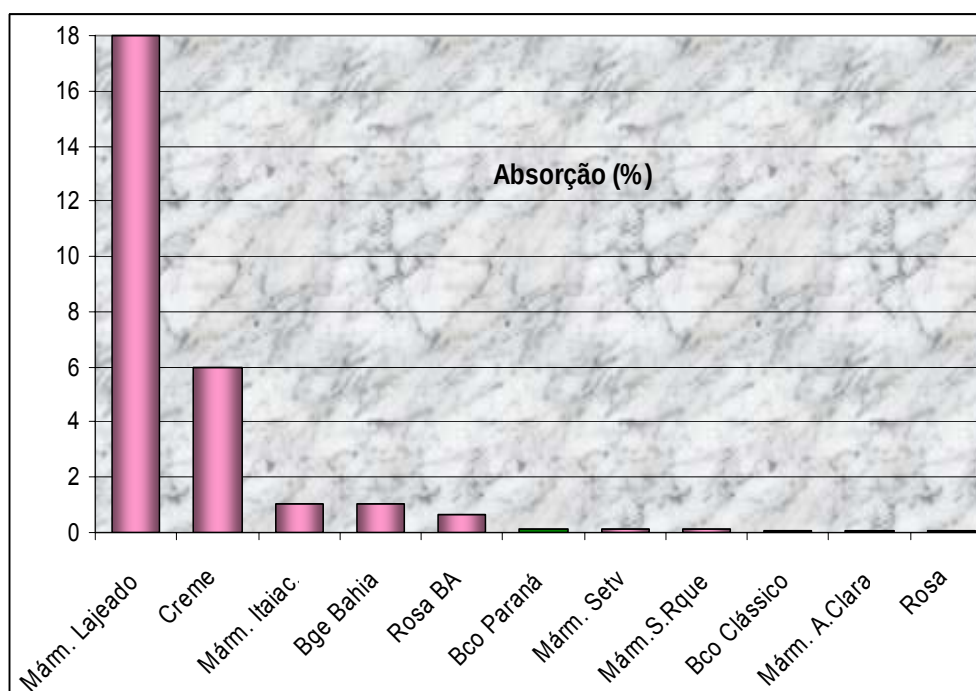


Figura 52 - Gráfico comparativo com a relação de Absorção do mármore “Branco Paraná” em relação a outros mármore nacionais com a mesma aplicabilidade.

1.5.1.4 – Resistência a Flexão e Compressão

Para este ensaio tecnológico são utilizados métodos indiretos. Um dos mais utilizados é o de compressão diametral (método Lobo Carneiro) ISRM (1974). Este consiste em submeter um cilindro com a metade do diâmetro igual à sua altura. Esta resistência é cerca de 1/12 da resistência à compressão uniaxial. Outra maneira de se determinar a resistência à tração indireta é pelo ensaio de flexão onde um corpo-de-prova de mármore na forma de uma viga com comprimento L, largura b espessura d, submetidos à esforços de flexão pode ser tratado de duas maneiras, aplicar a carga por dois pontos contra um ponto de apoio centrado à meia distância do comprimento ou contra dois pontos de apoio centrados, cada uma a 1/4 do comprimento.

No ensaio para o mármore “Branco Paraná” o resultado foi maior do que 30 MPa (Fig. 53), valor muito elevado se comparado aos demais mármore e ao índice mínimo de 7 MPa transcrito na referência normativa do ensaio. Resumindo, este mármore apresenta uma elevada plasticidade, superior se comparado aos mármore de sua categoria.

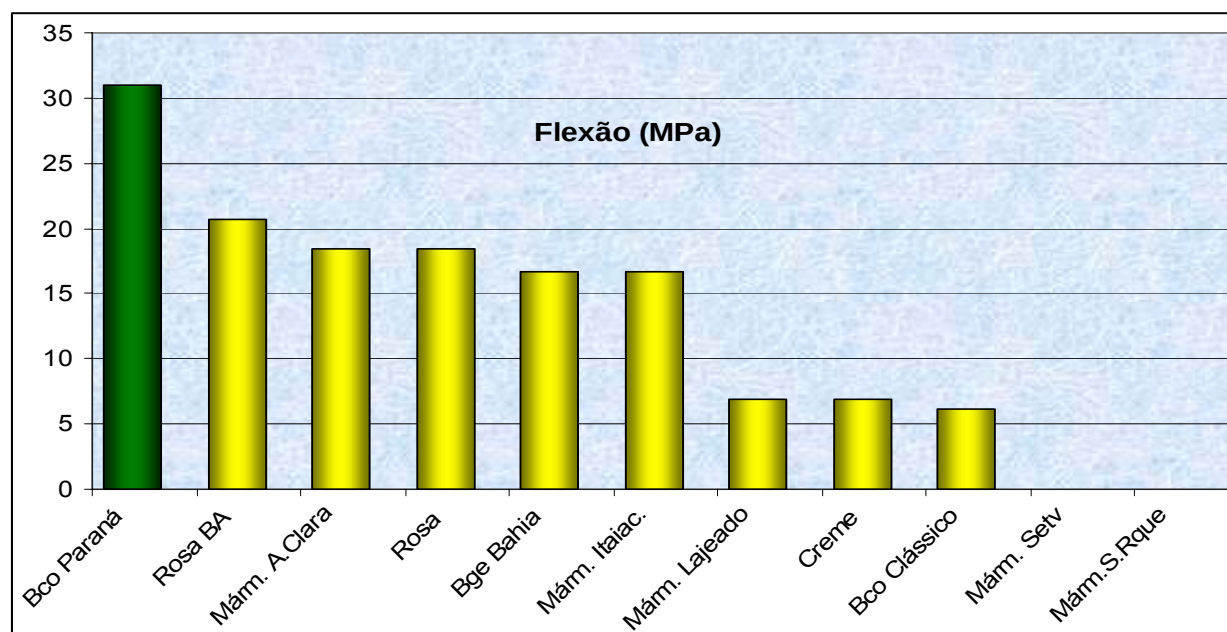


Figura 53 - Gráfico comparativo com a relação à flexão do mármore “Branco Paraná” em relação a outros mármore nacionais com a mesma aplicabilidade.

1.5.1.5 – Coeficiente de Dilatação Térmica Linear – Congelamento e Degelo

Os mármore apresentam propriedades térmicas cujo conhecimento é importante em rochas que se destinam a revestimentos de edificações, pois as chapas utilizadas em fachadas

poderão estar, no clima vigente no Brasil, sujeitas a variações de temperatura de até 50°C ou no clima Asiático com temperaturas freqüentes inferiores a 0°C. O coeficiente de dilatação apresentado pela rocha serve para cálculo do espaçamento entre placas de revestimento e para dimensionamento de seus elementos de fixação.

A dilatação térmica é uma propriedade vetorial e depende muito da natureza mineralógica da rocha, da sua estrutura e da sua porosidade. Os minerais que compõem a rocha têm um coeficiente próprio de dilatação. A estrutura da rocha influencia a dilatação térmica, no caso de um mármore com estrutura de bandamento, a dilatação será maior na direção paralela a este, direção na qual o embricamento intercrystalino é mais eficaz. A dilatação térmica é também influenciada pela porosidade da rocha, no caso do mármore “Branco Paraná”, em que a porosidade é baixa, os minerais não podem se expandir na direção dos poros, diminuindo o valor da dilatação total e aumentando a compacidade.

A compressão através do congelamento e degelo é um ensaio que a exemplo do anterior serve para mensurar a capacidade da rocha em contrair e expandir no caso de ser submetida a oscilações de temperaturas. Se observarmos a Figura 54 poderemos constatar a alta flexibilidade à variação térmica deste mármore em relação aos demais. Este é um ensaio que, independente dos resultados não influencia na compacidade da rocha

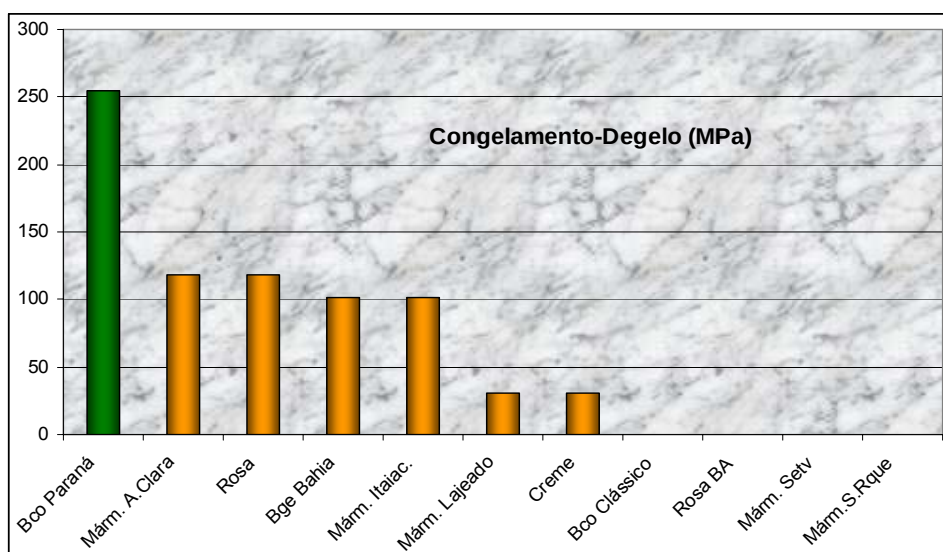


Figura 54 - Gráfico comparativo com resultados de congelamento e degelo do mármore “Branco Paraná” em relação a outros mármore nacionais com a mesma aplicabilidade.

1.5.1.6 – Abrasão - Los Angeles e Desgaste Amsler

Os mármore utilizados como revestimentos estão sujeitos a solicitações de desgaste e abrasão. Este litotipo será tanto mais desgastável ou abrasível quanto menor for sua dureza. A

maneira mais usual de se determinar a dureza de um mármore é por via indireta, por meio da simulação das solicitações de desgaste ou abrasão, às quais a rocha poderá estar sujeita.

O desgaste é, portanto, a propriedade que uma rocha possui de resistir à remoção progressiva de constituintes de sua superfície, a qual pode ser medida por diminuição de volume, ou de altura de corpo-de-prova, ou por perda de massa.

A resistência ao desgaste é normalmente proporcional à dureza, na escala de Mohs, dos minerais constituintes da rocha (Chiodi *et al*, 1996). Rochas silicatadas (graníticas) são mais resistentes que as carbonatadas (mármore e travertinos). Entre os granitos, será tanto maior a resistência quanto maior a quantidade de quartzo. Entre os mármore, será tanto maior a resistência quanto maior o caráter dolomítico (magnesiano).

O equipamento utilizado no Brasil para este ensaio de desgaste em rochas de revestimento é a máquina denominada Amsler que mede a resistência dos materiais frente à solicitação abrasiva. O teste é efetuado com dois corpos de prova friccionados em areia quartzosa granulometricamente selecionada. A medida de desgaste expressa em milímetros, é aferida após 500 e 1.000 giros da roda de fixação dos corpos de prova no equipamento de ensaio.

Quando a rocha está fragmentada utiliza-se o ensaio de abrasão Los Angeles, que é executada em um tambor giratório de aço com esferas de aço em quantidade pré-estabelecida para a graduação adotada para o mármore. Após um dado número de rotações, o desgaste é calculado pelo percentual de massa perdida.

Observando-se a Figura 55 percebe-se que o mármore “Branco Paraná” apresenta um desgaste de 2,1 mm após ter sido submetido aos ensaios na máquina Amsler, caracterizando ao litotipo uma dureza media/alta em relação aos outros mármore com a mesma aplicação (Branco Clássico, Bege Bahia e Rosa Bahia).

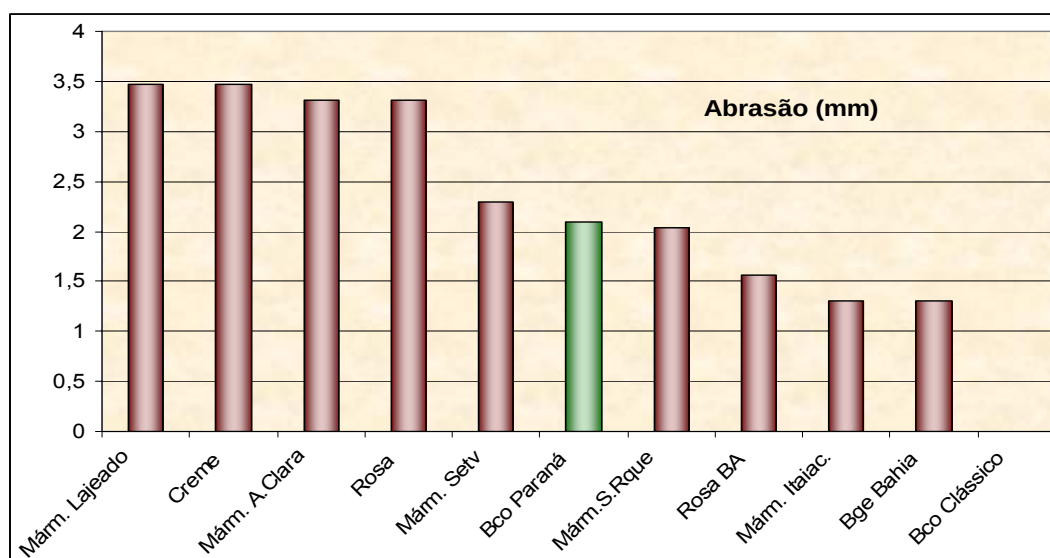


Figura 55 - Gráfico comparativo com resultados de abrasão do mármore “Branco Paraná” em relação a outros mármore nacionais com a mesma aplicabilidade.

CAPÍTULO IV

1 –Discussões

Os estudos estruturais, petrográficos, químicos e tecnológicos efetuados nos mármore da região do Tigre-PR forneceram importantes informações no que se refere a sua mineralogia, intensidade de metamorfismo e distribuição dos elementos químicos. Destacam-se a seguir os principais resultados obtidos.

Os mármore da região do Tigre se incluem, predominantemente, nas seqüências supra crustais do Grupo Açungui as quais ocorrem sob a forma de grandes corpos alongados segundo direção aproximada nordeste. Encaixam-se em metassedimentos pelíticos e psamíticos. Sua deposição teria se dado provavelmente no Proterozóico Superior (Mesoproterozóico a Neoproterozóico). Corpos de menor expressão constituem os gnaisses do Complexo Setuva e os filitos e quartzitos da Formação Votuverava.

1.1 - O Domínio Tectônico Pessegueiro

No domínio tectônico Pessegueiro as rochas carbonáticas ocorrem em corpos de dimensões mais reduzidas inseridas em terrenos filíticos de baixo grau metamórfico. Os litotipos aí coletados são macroscopicamente bastante similares. Caracterizam-se pela coloração branca, por vezes acinzentada, granulação média grossa e estrutura maciça. São quartzo dolomita mármore com tremolita, diopsídio e mica branca em quantidades subordinadas. As associações minerais indicam que os mármore foram submetidos a um metamorfismo predominantemente de grau baixo ($T \sim 400^{\circ}\text{C}$) sempre considerando-se uma pressão de fluidos (= pressão total) de 5 Kbar. As rochas deste domínio tectônico apresentam um padrão de distribuição dos elementos químicos muito semelhante àquele dos mármore dolomitos do domínio tectônico Tranqueira (metadolomitos). Distingue-se destes pelo relativo enriquecimento em ferro e alumínio. Estes teores podem ser justificados pela possível ação metassomática de corpos intrusivos básicos próximos (diques). O metamorfismo imposto a esses litotipos obliterou a maioria de suas características originais, o que não ocorreu no DTT. Próximo à Zona de Transcorrência da

Lancinha o litotipo é caracteristicamente composto por quartzo dolomita mármore de coloração cinza-claro a médio, frequentemente com aspecto brechóide, conferido por abundantes vênulas ou microfraturas irregulares.

1.2 - O Domínio Tectônico Queimadinho

No DTQ foram amostrados dolomita mármore, acompanhados de muscovita e quartzo. Suas paragéneses indicam condições metamórficas de grau muito baixo (Zona da Clorita do Fácies Xisto-Verde) a baixo. Exibem grande similaridade química entre eles. Neste domínio foram também amostrados dolomita mármore bandados, sendo esta estruturação fornecida pela alternância de lâminas ou bandas compostas predominantemente ora por carbonatos, ora por carbonatos e quartzo e material pelítico. Foi detectado um zoneamento metamórfico no sentido centro-sul: Zona da Tremolita com temperaturas próximas a 500°C (pressão de fluidos= 5 Kbar). É neste local que preferencialmente encontram-se as minas em atividade e inativas. Quimicamente estes litotipos mostram-se enriquecidos em alumínio, titânio, sódio, potássio e manganês, elementos correlacionáveis à fase aluminossilicática refletindo a composição da fração detrítica.

No entanto, presume-se que estes corpos, diversamente dos demais tipos carbonáticos aqui caracterizados, tenham se formado em mares abertos no Mesoproterozóico, talvez em uma crosta continental já estável. Os dolomita mármore mostram-se empobrecidos em Mn, Fe e Al, o que parece estar relacionado ao baixíssimo conteúdo de terrígenos. Isso corrobora a deposição de carbonato em mar aberto, pouco profundo em forma de lama aragonítica modificada diagenética ou metamorficamente para calcita magnesiana.

1.3 - O Domínio Tectônico Tranqueira

No DTT ocorrem, predominantemente metacalcários de coloração cinza-escuro que podem gradar para metacalcários dolomíticos cinza azulados ou passar abruptamente para metadolomitos, que por sua vez, exibem caracteristicamente cor cinza-claro. São compostos essencialmente por carbonatos (>80%). O material não carbonático é basicamente quartzo, opacos (sulfetos e provavelmente grafita) e mais raramente mica-branca, clorita, feldspatos. A

paragênese $cc + do + qz \pm mica$ -branca mostra a atuação de um metamorfismo muito brando (grau baixo a muito baixo). A feição mais indicativa das condições metamórficas é a deformação mecânica, predominantemente plástica: achatamento e isorientação mineral, encurvamento das maclas, etc. Este tipo de deformação indica que o material foi submetido a pressões confinantes de poucos quilômetros e temperaturas em torno de 300°C (Williams *et al*, 1982). O padrão geoquímico dos metadolomitos é semelhante àquele exibido nos outros domínios. Porém as características químicas sugerem que estes dolomitos não se formaram pelo processo “clássico” de dolomitização, por dissolução – reprecipitação. Como não é plausível uma precipitação direta de dolomita, é possível que a sua deposição tenha se dado via protodolomita. Próximo à região de Pula-Sapo ocorrem mica-dolomita mármore com quartzo e opacos, geralmente bandados. Aparentemente depositaram-se em águas um pouco mais profundas, com maior contribuição detrítica.

1.4 - A Estrutural da Região do Tigre

Na região do Tigre observa-se uma relação estrutural nos metassedimentos: em regiões de mais alta deformação ocorrem zonas de transcorrência (no caso dextrais) e lateralmente, com a diminuição desta deformação ocorrem dobramentos fechados que vão tendo sua amplitude diminuída ao se afastarem das proximidades da transcorrência; este ciclo se repete produzindo faixas de dobramento delimitadas por zonas de transcorrência. Ao longo destas faixas a superfície S_{n+1} (clivagem de crenulação) tem seu desenvolvimento mais marcante ao se aproximar da zona de transcorrência que as delimitam. No geral em toda a região observa-se direções preferenciais nordeste (70° a 80°) com mergulhos subverticais tanto para sudeste como para noroeste. As estruturas dobradas foram reconhecidas e cartografadas por Fiori, baseado essencialmente na análise geométrica dos pólos de foliação S_n e S_{n+1} . Na região de Campinhos observa-se uma Sinforma ressaltada pelas cristas de quartzito presentes naquela região, correspondendo a uma dobra com flanco inverso. Na parte central da área pelo desenho das cristas de quartzito, sugere-se que as mesmas sejam decorrentes de uma sinforma regional, mas não há representatividade pelas medidas tomadas. Na porção sudoeste da região aparece uma dobra complexa junto à rodovia em litotipos filíticos (próximo à região de Santana). Com apenas um ponto de caracterização na região da charneira os dados apontam para uma dobra inversa com plano axial subhorizontal e vergência para nordeste. Evidenciou-se um importante evento de cavalgamento que afetou a região do Tigre. Este evento não propiciou a inversão de S_0 . O

evento de cavalgamento separou um ciclo bem definido de sedimentação da “Bacia Capiçu”, relativo à fase final de implantação desta bacia, ou seja ciclo de Plataforma carbonática estável. A sedimentação de ciclos anteriores não ficou clara, contudo os filitos do DTP e do DTQ, com ampla distribuição e em contato com rochas do Complexo Setuva poderiam representá-lo, conforme sugerido por Fiori (1994). Os sistemas de cavalgamento reconhecidos não apresentam evidência para serem classificados como sendo do tipo “Tectônica de Nappes”, como originalmente proposto por Ebert (1971), mas como uma variação de modelo de “Duplex” proposto por Fiori (1990). Para este autor a deformação principal ocorreu no contato da Bacia Açungui com o embasamento, e secundariamente como faixas miloníticas que seccionaram toda a estratigrafia original, onde a passagem do sistema de cavalgamento para o sistema de transcorrência parece ter sido de forma progressiva. A grande maioria das transcorrências, assim como a zona de transcorrência Lancinha, apresentam indicadores cinemáticos com movimentação direcional predominantemente dextral.

A estruturação mais preservada na área seria reflexo da deformação relacionada ao Ciclo Brasileiro, responsável pela forte orientação nordeste das foliações e estruturas maiores cartografadas. Esta deformação foi responsável pelo desenvolvimento de foliação em condições compatíveis com o Fácies Xisto Verde da Zona da Clorita.

1.5 – Considerações Petrográficas

A dolomita em rochas sedimentares é importante reagente só quando na rocha original também existe quartzo.

A dolomita presente, além da quantidade necessária às diferentes reações, persiste em metamorfismo regional; dissocia-se em $\text{MgO} + \text{CO}_2 + \text{CaCO}_3$ só em altas temperaturas e baixas pressões de metamorfismo.

A presença de calcita em sedimentos dolomíticos silicosos não é necessária em nenhuma das reações. Toda calcita que participa das reações é produzida em reações anteriores, partindo apenas de dolomita + quartzo.

A magnesita, que pode estar presente em dolomito silicoso, geralmente é toda consumida em reações metamórficas.

1.6 – Aspectos tecnológicos

Entende-se por dureza de uma rocha o resultado da dureza dos seus minerais constituintes e o grau de compacidade ou de coerência da rocha definido como a propriedade que uma rocha possui de opor a penetração de um corpo estranho mais duro, ou de ser riscado por ele (Frazão, 2002).

A determinação da dureza do mármore de uma forma direta é uma prática complexa e seus resultados podem não refletir a real propensão da rocha em se desgastar. Isto ocorre porque os próprios minerais que a constituem podem apresentar diferentes graus de dureza, o que não é o caso do dolomita mármore da Região do Tigre (“Branco Paraná”), que é uma rocha de um modo geral monominerálica (100% dolomita). Outro fator que influencia a dureza dos minerais é a sua clivagem, a direção do eixo cristalográfico, a textura, a estrutura da rocha e a direção de solicitação de desgaste em relação a essas feições. No mármore “Branco Paraná” os cristais se distribuem caoticamente na rocha, numa superfície preparada para o teste de abrasão estes serão cortados em diferentes posições. Desta forma haverá uma variação de dureza ponto a ponto e isto influenciará na reprodutividade dos resultados obtidos, mesmo que as condições sejam estatisticamente programadas.

CAPÍTULO V

1 –Conclusões Finais

- Os mármore da Região do Tigre caracterizam-se como dolomíticos. As características texturais destes mármore são relativamente homogêneas (granoblásticas a sacaroidais), embora se registrem localmente, pequenas variações.
- O mármore do DTP apresenta pequenas variações em termos de cor e homogeneidade nos cristais. Em amostras polidas, os indícios de cristais de quartzo e material pelítico, em geral, são mais perceptíveis macroscopicamente do que no mármore da Vila do Tigre. Este último apresenta uma granulação média e apesar de ter uma coloração branca, em certas porções observam-se manchas cinza-claras decorrente da concentração de material pelítico. A alteração intempérica superficial é bem menor do que no DTQ. As características petrográficas e texturais destes mármore os potencializam para exploração como rochas ornamentais, embora o fraturamento da rocha constitui-se na principal condicionante à definição de áreas com aptidão para exploração ornamental e de revestimento ou aproveitamento puramente industrial. As juntas não sistemáticas, traduzidas numa maior dispersão das fraturas, têm maior influência. Esta condicionante contribui para uma dimensão mais irregular do bloco natural explotado, prejudicando a extração com economicidade.
- Embora o estudo do diaclasamento efetuado nos mármore do DTQ, tenha sido a partir de dados de superfície, os espaçamentos verificados são ótimos indicadores de que ocorra um aumento destes, em níveis mais profundos. Ainda que os espaçamentos aumentem com a profundidade, a tendência do fraturamento é de decrescer conforme se verificou nas pedreiras estudadas. Os espaçamentos são muito semelhantes (de moderados a amplos) nos corpos dos mármore de Capuava e do Tigre, embora nestes últimos sejam um pouco maiores. A média de frequência de fraturamento observada neste último é menor que a média calculada no mármore Capuava.
- As características de fraturamento, aliadas à homogeneidade textural da rocha, as características mineralógicas e físico-mecânicas favoráveis, além de outros fatores, como boas condições topográficas, facilidades de acessos e reservas elevadas, demonstram o elevado potencial ornamental dos mármore do DTQ. A textura do mármore do DTQ é mais homogênea do que a do mármore do DTP.

- A textura das rochas constitui, no entanto um elemento também muito significativo, pois o seu desgaste pode ocorrer tanto por abrasão, quanto por arranque (escarificação) dos constituintes mineralógicos. As texturas metamórficas granoblásticas sacaroidais, comuns em litotipos silicosos conduzem ao processo de escarificação. Tais aspectos reafirmam o alcance dos estudos petrográficos por microscopia óptica, que permitem tanto a definição dos constituintes mineralógicos, quanto à caracterização da textura da rocha, como elementos auxiliares para a previsão de desgaste dos materiais aplicados. Como a resistência ao desgaste é normalmente proporcional à dureza, na escala de Mohs, dos minerais constituintes da rocha, entre os mármore do DTQ, será tanto maior a resistência, quanto maior o caráter dolomítico (magnésiano).
- A atividade extrativa no corpo de mármore de Capuava encontra-se paralisada em todas as minas. Algumas delas limitam-se a conservação e preservação das bancadas e alguns equipamentos ali locados. Pelo contrário, a atividade no mármore do Tigre é intensa embora caótica. A proliferação desordenada de frentes de lavra que, raramente ultrapassam os níveis superficiais, causa um grande impacto visual. A ausência de uma eficaz orientação técnica na maioria das explorações faz com que os níveis mais promissores raramente sejam atingidos, razão pelas quais as algumas frentes de lavra são abandonadas em detrimento de uma nova.
- O material explorado possui elevado valor para a indústria extrativa, sobretudo nas áreas a SW e S do corpo de mármore do Tigre. Os afloramentos nas imediações da pedreira Bau, no mármore Capuava, são considerados os com melhor aptidão para exploração de rocha ornamental, embora esta área se encontre totalmente desativada.
- Este estudo permitiu um conhecimento razoável de ambos os mármore, particularmente do seu estado de fraturamento e do potencial das áreas. Cabe salientar que os resultados aqui obtidos, tanto em superfície, quanto em profundidade, são extrapoláveis apenas para as áreas contíguas aos locais estudados, e mesmo assim com reservas, pois o fraturamento tem um componente de aleatoriedade elevada.
- Finalmente, deve ser salientada a importância da realização de um trabalho litoestrutural detalhado e mineralógico, antes do início da atividade extrativa, pois desta forma é possível otimizar os custos e ter uma base de planejamento para atividades mais onerosas. Além disso, podem-se minimizar os efeitos ambientais e evitar as consequências desastrosas, como aquelas verificadas nos mármore do Tigre.

CAPÍTULO VI

1 – Referências

ABIROCHAS – 2003 - <http://www.abirochas.com.br/br/index.html> em 21/07/2003

ABREU, S. F., 1945 – *Fundamentos Geográficos da Mineração Brasileira* – Revista Bras. de Geografia – Cons. Nac. de Geog. – IBGE – p. 317, rev. 14 – Rio de Janeiro.

ALVES, F.R., KIHARA, Y., CANDIA, M.A.F. 1976 . *Os mármores dolomíticos do Vale do Rio dos Marmelos*. In: Cong. Bras. Geol., 29, Belo Horizonte, 1976. Resumo de Trabalhos. Belo Horizonte: SBG.

ALTHOFF, F. J. 1989 – *Geologia Estrutural da Antiforme do Setuva* – PR. Belém: UFPA, 147 p. Dissertação de Mestrado.

ASTM – 1981 - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – C 99: *Standart test method for modulus of rupture of natural building stone*.

BIGARELLA, J.J. – 1947 – *Estudos Preliminares na Série Açungui. I - Brecha Calcária de Toquinhas*. Arq. Biol. Tecnol. v. 2. p. 41-61. Curitiba.

BIGARELLA, J.J. – 1948 – *Estudos Preliminares na Série Açungui. II – Rochas Calcárias*. Arq. Biol. Tecnol. v. 3. p. 201-214. Curitiba.

BIGARELLA, J.J.; SALAMUNI, R. – 1956 – *Estudos Preliminares na Série Açungui. V – Estruturas Organógenas nos Dolomitos da Formação Capirú (PR)*. v. 6-7. p. 317-322. Curitiba.

BIGARELLA, J.J.; SALAMUNI, R. – 1958 – *Contribuição à Geologia da Região Sul da Série Açungui (PR)*. Bol. Paulista de Geog. v. 29. p. 03-19. São Paulo.

- BIGARELLA, J. J., SALAMUNI, R. & PINTO, V. M.** 1967. *Geologia do Pré-Devoniano e Intrusivas Subsequentes da Porção Oriental do Estado do Paraná*. Boletim Paranaense de Geociências, n°s 23 a 25, Curitiba, 347 p.
- BIGARELLA, J.J. SALAMUNI, R.;** - 1967 - *Contribuição à Geologia do Grupo Açungui*. Bol. Univ. Fed. Paraná. Geol. 23. 28 p. Curitiba.
- BOGGIANI, P. C.** 1997. *Análise estratigráfica da Bacia Corumbá (Neoproterozóico). Mato Grosso do Sul*. Tese de doutoramento - Instituto de Geociências/USP – São Paulo, 181 p.
- CARVALHO, J., MANUPPELLA, G. & MOURA, A. CASAL** - 2000. *Calcários ornamentais portugueses*. Bol. Minas, vol. 37, n.º, pp. 223-232, IGM, Lisboa.
- CHIODI FILHO, C. & ONO, A** -1995 - *Tipos de lavra e técnicas de corte para desmonte de blocos*. Revista Rochas de Qualidade, n° 120, p. 93-106.
- CHIODI FILHO, C. & RODRIGUES, E. P.** – 1996 - *Qualificação Técnica de Mármore e granitos – Termo de Garantia na Arquitetura e Decoração*. Belo Horizonte : LITHOTEC, 1996. 17 p., fotos (inédito)
- CONDIE, K. C.** 1982. *Plate Tectonics and Crustal Evolution*. 2 ed. New Mexico, 184 p.
- CONDIE, K.C., WILKS, M., ROSEN, D.M., ZLOBIN, V.L.** 1991. *Geochemistry of metasediments from the Precambrian Hapschan Series, eastern Anaber Shield, Sibéria*, Precambrian Res., 50:37-47.
- CPRM (COMPANHIA DE PESQUISAS DE RECURSOS MINERAIS)** – 1976 – *Projeto Leste do Paraná. Folha de Cerro Azul: 1:100.000*. Relatório Final. São Paulo. DNPM – CPRM – BADEP.
- CPRM (COMPANHIA DE PESQUISAS DE RECURSOS MINERAIS)** – 1998 – *Curitiba – Folha SG.22-X-D-I Estado do Paraná*. Programa levantamentos geológicos básicos do Brasil. São Paulo. DNPM – CPRM – Min. Minas e Energ. 79 pág.

- DEER**, W.A., **HOWIE**, R.A., **ZUSSMAN**, J. 1982. *Rock-forming minerals*: vol. 1A - orthosilicates. 2 ed. London: Longman. 919 p.
- DEER**, W.A., **ZUSMANN**, J. & **HOWIE**, R.A. ;2000 – *Minerais constituintes das rochas – Uma introdução*. Fundação Calouste Gulbenkian – 562 p. – Lisboa – Portugal
- DERBY**, O (1878). *Geologia da região diamantífera da Província de Paraná no Brasil*. Arquivos Museu Nacional, Rio de Janeiro, n. 3, p. 89-96. (Pasta 2.6).
- DROPP** G. T. R. & **AL-FILALI** I. Y., 1996 - *Interaction of aqueous fluids with calcareous metasediments during high-T, low-P regional metamorphism in the Qadda area, southern Arabian Shield* - Journal of Metamorphic Geology, v. 14, Issue 5 p. 613.
- EBERT**, H. 1971 - *Os Paraibides entre São João D'el Rey, Minas Gerais e Itapirica, São Paulo e a bifurcação entre Paraibides e Araxaides*. In: Cong. Bras. Geol., 25 São Paulo, Resumo Comunicações... São Paulo: SBG. Bol Esp. 1, p. 177-178.
- FAIRBRIDGE**, R.W. 1967. *The dolomite question*. In: *Regional Aspects of Carbonate Deposition* LE BLANC, R.J. & BREEDING, J.G. eds.l, Spec Publ. Soc. Econ. Paleont. Mineral, 5:1 25-1 78.
- FASSBINDER**, E 1996 – *A Unidade Água Clara no Contexto do Grupo Açungui: um modelo transpressivo de colisão oblíqua no Neoproterozóico paranaense*. São Paulo, IG/USP, 1996, 207 p. Tese de Doutorado.
- FERRY**, J.M. & **BURT**, D.M. 1982. *Characterization of metamorphic fluid composition through the mineral equilibria*. In: FERRY, J.M. (ed.) *Characterization of metamorphic fluid composition through the mineral equilibria*. Reviews in Mineralogy, 10:207-262.
- FERY**, J.M. 1983 - *Mineral Reactions and element migration during metamorphism of calcareous sediments from the Vassalboro Formation, south-central Maine*. Am. Mineral..., 68: 334-354.

- FIORI, A. P.; CAMARGO, E.C.; MONASTIER, M.S.; LIMA, R.E.** – 1984 – *Lineamentos Tectônicos e Possíveis Mineralizações Associadas no Pré-Cambriano Paranaense*. Texto Final. Curitiba, Convênio UFPR/MINEROPAR, 2v., v.I.
- FIORI, A.P.** - 1985 - *As Falhas da Lancinha e do Morro Agudo e Estruturas Secundárias Associadas*. In: Simp. Sul Bras. 2. Florianópolis. 1985. An. Florianópolis. SBG. p. 146-158.
- FIORI, A. P. et al.** 1987. *Compartimentação tectônica do Grupo Açungui a Norte de Curitiba*. In: SIMPOSIO SUL BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 3., 1987, Curitiba. Atas... Curitiba : SBG, p. 183-196.
- FIORI, A. P.** 1990. *Tectônica e estratigrafia do grupo Açungui a norte de Curitiba*. São Paulo, 261 f. Tese de Livre-Docência, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. Inédito.
- FIORI, A. P.** (1994). *Evolução geológica da Bacia Açungui*. Boletim Paranaense de Geociências, Curitiba, n. 42, p. 7-27.
- FRAZÃO, E.B.; FARJALLAT, J.E.S.**- 1996 - *Proposta de especificação para rochas silicáticas de revestimento*. In: Cong. Bras. Geol.de Eng., 8, 1996, Rio Janeiro. Anais...São Paulo:ABGE, v.1, p. 369-380.
- FRAZÃO, E.B., PARAGUASSU, A.B.**, 1998 - *Materiais Rochosos para construção*. In: OLIVEIRA, A.M.S., BRITO, S.N.A. (eds.) *Geologia de Engenharia*. São Paulo: ABGE. P.331-342.
- FRAZÃO, E. B.** 2002 - *Tecnologia de rochas na Construção Civil* – ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia Ambiental, 2002. p. 24, 77-93.
- FRASCA, M. H. B. O.** 1992 - *Petrografia e geoquímica de rochas carbonáticas pré-cambrianas do estado de São Paulo*. Dissertação de Mestrado – IG/USP
- FRITZONS Jr., O.; PIEKARZ, G.F.; FALCADE, D.** – 1982 – *Geologia e Potencial Econômico do Grupo Setuva (PR)*. An. XXXII Cong. Bras. Geol. v. 3. p. 987-1001. Salvador.

- FUCK**, R. A.; **MARINI**, O. J.; **TREIN**, E.; **MURATORI**, A. – 1971 – Geologia do Leste Paranaense. An. XXV Cong. Bras. Geol. p. 122-130. São Paulo.
- GARCÍA**, E. O. 1995 – *Investigación de Yacimientos*. In: LIMENO, C.L. (ed) Manual de Rocas Ornamentales. Madrid: Entorno Gráfico S.L. p. 139-174
- GRAF**, D.L. 1960. *Geochemistry of carbonates sediments and sedimentary carbonate rocks - Part II e III. Minor elements distribution*. Illinois State Geological Survey Circular, 298. p. 1-43 e 301. p. 1-71.
- GROTZINGER**, J.P. & **KASTING**, J.F. 1993. *New constraints on Precambrian ocean composition*. Journal of Geology, 101 : 235-243.
- GUIMARÃES**, S. B. 2001 – *Metadolomitos da Região de Morro Azul – PR: Caracterização Geológica do Minério Explotado*- Dissertação de mestrado – UFPR.
- GUIMARÃES**, S.B.; **SIQUEIRA**, R.B.L.; **REIS NETO**, J.M. 2003 - *Caracterização dos Estromatólitos na Formação Capiru (Proterozóico) nas Regiões de Morro Azul e Morro Grande, leste do Estado do Paraná*. Boletim Paranaense de Geociências n° 52 Curitiba-PR.
- HATCHER JR**, R. D. (1995). *Structural Geology – Principles, Concepts and Problems*. Prentice-Hall, New Jersey.
- ISRM-CSLF** – 1974 - INTERNATIONAL SOCIETY FOR ROCK MECHANICS – COMMISSION ON STANDARDIZATION OF LABORATORY AND FIELD TESTS. *Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses*. Int. J. Rock Mech. Sci. & Geomech. Abstr., n. 15, p. 319-368, 1978.
- KNOLL**, A. H. & **SWEET**, K. 1990. *Carbonate deposition during the later Proterozoic Era: An example from Spitsbergen*. American Journal of Science, 290-A: 1 04-1 32.
- LA POINTE**, P. R., **HUDSON**, J. A. – 1985 – *Characterization and Interpretation of rocks Mass Joint Patterns*. The Geological Society of America, Special Paper, n°199, 37 p.

- LEIGHTON, H.W. & PENDEXTER, C.** 1962. *Carbonates rocks types*. In: HAMM, W.E. (ed.) *Classification of carbonate rocks: a symposium*. American Association of Petroleum Geologists. P. 62 - 84 (memoir 1).
- LEPREVOST, A.** 1978 - *Minerais para Indústria*. - Ed. Livro técnico e Científico. Rio de Janeiro. 145 p.
- MAACK, R.** - 1947 - *Breves Notícias Sobre a Geologia dos Estados do Paraná e Santa Catarina*. Arq. Bol. Tecn. v. 2. p. 63-154. Curitiba.
- MAACK, R.** -1968- *Geografia Física do Estado do Paraná*. UFPR e. Instituto de Biologia e Pesquisa Tecnológica. Rio de Janeiro. 450p.
- MARBLE**, 2004 - <http://www.marble.com.br/article/articleview/246/1/47/> em 22/3/2004
- MARINI, O. J.; LEPREVOST, A.** (1967). *Principais recursos minerais do Grupo Açungui no Estado do Paraná*. Boletim Paranaense de Geociências, Curitiba, n. 23/25, p.157-180.
- MARINI, O.J.; TREIN, E.; FUCK, R.A.** - 1967 - *O Grupo Açungui no Estado do Paraná*. In: BIGARELLA, SALAMUNI & PINTO - *Geologia do Pré-Devoniano e Intrusivas Subsequentes da Porção Oriental do Estado do Paraná*. Bol. Paran. Geoc. p. 23-25, 307-324. Curitiba.
- MARINI, O.J.** - 1970 – *Geologia da Folha de Rio Branco do Sul – PR*. Tese da Fac Filos. Cien. e Letras, Rio Claro – SP, inédito, 190 p.
- MARTINS, O. RABAÇAL** (1998). *Grandes linhas do comportamento mundial da indústria e do comércio das rochas ornamentais em 1996*. Bol. Minas, vol. 35, n.º 2, pp. 123-150, IGM, Lisboa.
- MELCHER, G.C.; GOMES, G.B.; CORDANI, U.G.; BITTENCOURT, J.S.; DAMASCENO, E.C.; GIRARD, A.V.; MELFI, A.J.** - 1973- *Geologia e Petrografia das Rochas Metamórficas e Granitos Associados do Vale do Ribeira do Iguape, SP e PR*. Ver. Bras. Geoc. 3 (2). p. 97-123.

- OLIVEIRA**, E.P. - 1927 - *Geologia e Recursos Minerais do Estado do Paraná - Escala 1:1.000.000*. Serv. Geol. Miner. do Brasil. Mon. VI. Rio de Janeiro.
- OLIVEIRA**, E. P. de - 1930 – *Mineral Resources of Brazil*. Rio de Janeiro, 28 p.
- OLIVEIRA**, E.P.; **LEONARDOS**, O.H. - 1943 - *Geologia do Brasil*. Min. Agric. Serv. Didático. v. 2. p.782 p. Rio de Janeiro.
- PETRI**, S.; **SUGUIO**, K. - 1969 - *Sobre os Metassedimentos do Grupo Açungui no Extremo Sul do Estado de São Paulo*. Convênio USP - D.A.E.E. 98 p. Inédito.
- PETTIJOHN**, F.J. - 1975 - *Rocas Sedimentarias*. 4ª Edição. Ed. Univer. de Buenos Aires. Eudeba Manuales. 731 p. Buenos Aires.
- POPP**, J.H.; **ANGULO**, R.; **BIGARELLA**, J.J. - 1979 - *Geologia*. In: **BIGARELLA**, **PASSOS**, **POPP**, **ANGULO** - Recursos Minerais. Folha Ouro Fino. COMEC. p. 22-26. Curitiba.
- READING**, H. G. - 1996. *Sedimentary Environments and Facies*. 2 ed. Oxford, Alden Press, 615 p.
- ROCK**, N.M.S. - 1986. *Chemistry of the Dalradian (Vendian-Cambrian) metalimestones, British Isles*. Chem. Geol., 56: 289-311.
- SCHÖLL**, W.U.; **LOPES**, O.F.; **SILVA**, A.C.G.A.; **PROZZI**, C.R. - 1980 - *Geologia do Pré-Cambriano da Região do Anticlinal do Setuva (Município de Bocaiúva do Sul e Rio Branco do Sul - PR)*. An. XXXI Cong. Bras. Geol. v.5. p. 3003-3012. Camboriú.
- SHESTOPEROV**, S.V. 1983. *Road and building materials*. Moscou: Mir Publishers. V. 1
- SIQUEIRA**, R.B.L. 2002 – *Modelo de Exploração do Metacalcários da Região de Morro Grande:Município de Colombo-PR*. Dissertação de mestrado – UFPR.
- SKIPPEN**, G.B. 1974- *An experimental model for low pressure metamorphism of siliceous dolomitic marble*. Am. J. Sci., 274:487-509.

- SOARES, P.C.** – 1987 – *Seqüências Tectono-sedimentares e Tectônica Deformadora no Centro-oeste do Escudo Paranaense*. In: Simp. Sul-Bras. Geol. 3. Curitiba. 1987. Atas Curitiba. SBG. v.2, p.743-771.
- TUCKER, M. E.** 1990. *Carbon isotopes and Precambrian-Cambrian boundary geology, South Australia: ocean basin formation, seawater chemistry and organic evolution*. Terra Nova, 1:573-582.
- TURNER, F.J.** 1981. *Metamorphic Petrology*.- 2 ed. Washington: Hemisphere. 524p.
- UFPR** – 1989 – Monografia de Graduação. Degeol - Univ. Fed. Paraná. Curitiba-PR - inédito
- UFPR** – 2003 – Monografia de Graduação. Degeol - Univ. Fed. Paraná. Curitiba-PR – inédito
- VEIGA,, Salomão, Schöll,** 1980 *Geologia do pré-cambriano da Região do Anticlinal do Setuva (Municípios de Bocaiúva do Sul e Rio Branco do Sul, PR)*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31., 1980, Balneário de Camboriú. Anais... Balneário de Camboriú : SBG. p. 3003-3012. V.5.
- VEIZER, J., LOWE, D. R.-** 1983. *Carbonates: Mineralogy and chemistry*. Reviews in Mineralogy, 11: 265-299.
- VEIZER, J., HOEFS, J., RIDLER, R.H., JENSEN, S.L., LOWE, D. R.** 1989. *Chemistry of Precambrian Carbonates I. Archean Hydrothermal systems*. Geochim. Cosmochim. Acta, 53:845-857.
- VEIZER, J., CLAYTON, R.N., HINTON, R.W., BRUNN, V. VON, MASON, T.R., BUCK, S.G., HOEFS, J.-**1990- *Geochemistry of Precambrian carbonates 3 – shelf seas and non-marine environments of the Archean*. Geochim. Cosmichim. Acta, 54: 2717-2729
- WEBER, J. N.** 1964 - *Trace element composition of dolostones and dolomites and its bearing on the dolomite problem*. Cheochim. Cosmochim. Cta, 28:1817-1968.

- WEDEPOHL**, K.H. 1969 - *Icomposition and abundance of common sedimentary rocks*. In: WEDEPOHL, K.H. (ed.) *Handbook of geochemistry*. Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag v. 1, p. 250-271.
- WILLIAMS**, H., TURNER, F.J. GILBRERT, C.M. 1970 - *Petrografia*. São Paulo: Polígono. 445p.
- WILLIAMS**, H., TURNER, F.J. GILBRERT, C.M. 1982. *Petrography: an introduction to the stuy of rocks in thin section*. 2 ed. New York: Freeman & Co. 626p.
- WINKLER**, H.G.F. - 1976 - *Petrogênese das Rochas Metamórficas*. 4^a Edição. Porto Alegre. Co-edições URGs. 254 p.
- YARDLEY**, B. W.D. 1989 - *An introduction to metamorphic petrology*. New York: Longman. 248 p.