

ROSSANO BILL LOPES DE SIQUEIRA

CRITÉRIOS DE EXPLORAÇÃO DOS METADOLOMITOS DA REGIÃO DE MORRO GRANDE - COLOMBO - PR

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

Orientador Principal:

Prof. Dr. José Manoel dos Reis Neto

Co-orientadores:

Prof. Dr. Luiz Alberto Fernandes

Prof. Dr. Sidnei Pires Rostirolla

CURITIBA

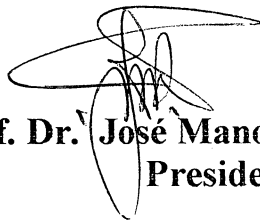
2001

TERMO DE APROVAÇÃO

ROSSANO BILL LOPES DE SIQUEIRA

**“CRITÉRIOS DE EXPLORAÇÃO DOS METADOLOMITOS DA
REGIÃO DE MORRO GRANDE – COLOMBO-PR.”**

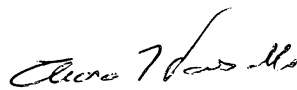
**Dissertação de mestrado aprovada como requisito parcial para
obtenção do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em
Geologia, com área de concentração em Geologia Exploratória, da
Universidade Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos
Professores:**



Prof. Dr. José Manoel dos Reis Neto
Presidente



Prof. Dr. Elias Carneiro Daitx



Profa. Dra. Eleonora Maria Gouvêa Vasconcellos

Curitiba, 11 de outubro de 2001.

Dedico este trabalho aos meus pais, João e Lourdes, ao exemplo dado ao longo de uma vida feita com muito amor e perseverança. A eles devo tudo e somente uma dedicatória não é o suficiente para dizer o quanto eu os amo. Aos meus irmãos Luis Marcelo e Patrícia que sempre me apoiaram e à minha sobrinha Laura.

AGRADECIMENTOS

Numa pesquisa científica, há muitas atividades envolvidas, e muitas delas só podem ser realizadas com o apoio e colaboração de diversas pessoas, as quais gostaria de manifestar meu reconhecimento.

Inicialmente aos meus familiares, João, Lourdes, Luís Marcelo, Patrícia, Regiane e Adriane pelos incentivos e colaboração.

Durante a realização deste trabalho, tive o privilégio de conviver com diversas pessoas do meio docente, dentre as quais gostaria de expressar o meu agradecimento em especial ao Orientador e Prof. Dr. José Manoel dos Reis Neto, pela motivação, pelas críticas construtivas, dicas, pelo apoio incansável, pelas contribuições, enfim, a uma pessoa com um espírito científico motivador e muito dedicada ao exercício de sua profissão.

Ao co-orientador Prof. Luiz Alberto Fernandes pela participação, pelas valiosas sugestões e correções detalhadas do texto.

Ao co-orientador Prof. Dr. Sidnei Pires Rostirolla, a quem devo a motivação inicial que me levou a optar pelo mestrado, além das sugestões, principalmente na etapa inicial.

À colega Geól. Sandra Boeira Guimarães, pelas discussões e sugestões altamente proveitosas, pelas participações nas etapas de campo e pela atenção que sempre me dispensou.

Ao graduando Cristian Bittencourt, pelo companheirismo e pelo auxílio prestado aos assuntos relacionados à informática e geoprocessamento.

Às laboratoristas do LAMIR (Laboratório de Minerais e Rochas) Luciane Lemos do Prado e Elisiane Röper Pescini pelo auxílio na preparação das amostras de rochas calcárias para análise química.

Ao geólogo e amigo Fernando Ferrari pela colaboração na realização das análises químicas de vários litotipos estudados.

Às bibliotecárias Eliane Maria Stroparo, Milena Dinair da Silva Martins, Angela P. de Farias Mengatto, Rosa Mari de Castro e Dulcinéia Gomes Delattre Levis pela atenção e principalmente pelo gentil atendimento que sempre dispensaram.

Agradeço à colega de pós-graduação, Kátia Jaworski pela amizade, pelas dicas, incentivos e pelo carinho dispensado. Ao colega Luiz Fornazzari Neto pela

amizade e sugestões relacionadas à geofísica. Aos demais colegas Gerson Venusso, Márcio da Silva e Eduardo de Mio.

Ao Geól. Maximilian Forlan pelo auxílio na aquisição e tratamento dos dados geofísicos.

Ao Prof. Rubens Nadalin pelas sugestões, discussões e correções do mapa geológico.

Ao Prof. Mauro Salgado Monastier pelo empréstimo dos mapas topográficos.

Ao desenhista Oto Laurentino pela confecção final do mapa geológico.

À CAPES pela concessão de bolsa de estudos e à UFPR pela concessão de auxílio financeiro para campo e análises químicas, através do processo FDA - n.º 124199.

Enfim, a todos os professores e funcionários do Departamento de Geologia da UFPR - Setor de Ciências da Terra, que diretamente me ajudaram na realização deste trabalho, e, como infelizmente não posso citar a todos, manifesto meus sinceros agradecimentos a todos aqueles que, de alguma forma apoiaram a elaboração desta pesquisa.

SUMÁRIO

LISTA DE ANEXOS

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE FOTOGRAFIAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE IMAGENS MICROGRÁFICAS

LISTA DE GRÁFICOS

RESUMO

ABSTRACT

CAPÍTULO 1

1.1 - INTRODUÇÃO E OBJETIVOS	01
1.2 - MÉTODOS DE TRABALHO EMPREGADOS	02
1.3 - SITUAÇÃO GEOGRÁFICA E VIAS DE ACESSO.....	10
1.4 - SEDIMENTAÇÃO CARBONÁTICA	13
1.4.1 - Dolomitização no Neoproterozóico	11
1.5 - ASPECTOS GEOLÓGICOS NO ESTADO DO PARANÁ	15
1.5.1 - Rochas Calcárias do Proterozóico Médio-Superior	16

CAPÍTULO 2

2.1 - A GEOLOGIA E A EXPLORAÇÃO DE METADOLOMITOS NA FORMAÇÃO CAPIRU	18
--	----

CAPÍTULO 3

3.1 - A LITOESTRATIGRAFIA E A EXPLORAÇÃO NA REGIÃO DE MORRO GRANDE.....	23
--	----

CAPÍTULO 4

4.1 - A GEOLOGIA NA REGIÃO DE MORRO GRANDE	31
4.1.1 - Litotipos	32
4.1.2 - Considerações Estruturais	39

CAPÍTULO 5

5.1 - LITOESTRATIGRAFIA E A EXPLOTAÇÃO	46
--	----

CAPÍTULO 6

APLICAÇÃO DA PETROGRAFIA E LITOGEOQUÍMICA NA EXPLORAÇÃO DOS METADOLOMITOS	58
6.1 - ANÁLISE PETROGRÁFICA	58
6.2 - A LITOGEOQUÍMICA DOS METADOLOMITOS.....	67
6.2.1 - Economicidade dos metadolomitos e a relação litogeoquímica	73

CAPÍTULO 7

7.1 - APLICAÇÃO DA GAMAESPECTROMETRIA NA EXPLORAÇÃO DOS METADOLOMITOS	76
7.1.1 - Aerogamaespectrometria da Formação Capiru	78
7.1.1.1 - Considerações sobre o potássio	78
7.1.1.2 - Considerações sobre o tório	81
7.1.1.3 - Considerações sobre o urânio	83
7.2 - GAMAESPECTROMETRIA TERRESTRE	85

CAPÍTULO 8

8.1 - A GEOMORFOLOGIA E A EXPLORAÇÃO DOS METADOLOMITOS	99
--	----

CAPÍTULO 9

9.1 - CRITÉRIOS DE EXPLORAÇÃO DOS METADOLOMITOS	106
---	-----

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	111
---	------------

ANEXOS

01 - Gráficos mostrando a distribuição dos teores de potássio (K), urânio (U) e tório (Th) ao longo do perfil 1	
02 - Gráficos mostrando a distribuição dos teores de potássio (K), urânio (U) e tório (Th) ao longo do perfil 2	
03 - Mapa geológico da região de Morro Grande - escala 1:10.000	

SIGLAS E SÍMBOLOS

SLMG	Seqüência Litológica Morro Grande
SLRB	Seqüência Litológica Rio Branco
MDT	Modelo Digital do Terreno
%	Por cento
CaO	Óxido de cálcio
MgO	Óxido de magnésio
SiO₂	Óxido de silício
K	Potássio
U	Urânio
Th	Tório
HCl	Ácido Clorídrico

LISTA DE FIGURAS

01 - Mapa de localização da área estudada e vias de acesso	11
02 - Distribuição relativa entre calcário e dolomito através do tempo geológico, com notável abundância dos silexitos nos primórdios do Proterozóico e dos dolomitos no Neoproterozóico (modificado de Ronov, 1964 <i>apud</i> Boggiani, 1997).....	13
03 - Possível variação secular em Ca ²⁺ na água do mar, onde o incremento do teor no final do Pré-Cambriano teria provocado o desenvolvimento da biocalcificação (modificado de Kazmierczack et al., 1985 <i>apud</i> Boggiani, 1997)	14
04 - Distribuição das faixas carbonáticas proterozóicas. Adaptado de Campanha <i>et al.</i> (1986).....	16
05 - Classificação química das rochas carbonáticas das faixas NW, Central e SE, segundo o diagrama de Martinet & Sougy (1961 <i>apud</i> Karmann, 1994)	17

06 - Localização da área estudada. Adaptado de Fiori (1990), modificado por Siqueira (2001)	25
07 - Mapa de parte da Folha de Curitiba (CPRM, 1998) com a área de estudo indicada em detalhe juntamente com as unidades Mc2, Mc3, Mc4 e Mc9 na Formação Capiru	37
08 -Esboço geológico da área estudada (região de Morro Grande).....	32
09 -Contexto geológico regional, exibindo as principais unidades geológicas definidas por CPRM (1998). Na imagem de satélite Landsat 5 - (RGB 543) podem se visualizadas as megaestruturas com destaque para a área estudada.....	40
10 -Estereograma de fraturas (rosetas) para as atitudes da Seqüência Litológica Rio Branco	41
11 -Estereograma composto pela somatória dos dados para a xistosidade (S1) na Seqüência Litológica Morro Grande.....	42
12 -Estereograma regional da Sinforme Morro Grande (Fonte: Fiori, 1990).....	43
13 -Estereograma das atitudes de clivagem de fratura (S2) medidas nos metadolomitos da Seqüência Litológica Morro Grande	45
14 -Perfil esquemático da Sinforme de Morro Grande, mostrando as duas fases de dobramento, com os respectivos planos axiais B1 e B2.....	45
15 -Mapa de localização das principais pedreiras. Destaque (verde e vermelho) para as pedreiras estudadas com detalhe.....	47
16- Seções colunares das pedreiras na Seqüência Litológica Morro Grande e correlação litoestratigráfica entre os litotipos com mesmas características.....	55
17 -Seções colunares das pedreiras na Seqüência Litológica Rio Branco e correlação litoestratigráfica entre os litotipos com mesmas características.....	56
18 -Mapa de linhas de vôo com detalhe da área estudada. (Fonte: Projeto Serra do Mar Sul - Geofoto, 1978).....	77
19 -Mapa do Potássio de parte da Formação Capiru com as principais unidades e destaque para a área estudada (Fonte: Projeto Serra do Mar Sul - Geofoto, 1978 <i>apud</i> Silva, 1999)	80

20 -Mapa do Tório de parte da Formação Capiru com as principais unidades e destaque para a área estudada (Fonte: Projeto Serra do Mar Sul - Geofoto, 1978 <i>apud</i> Silva, 1999)	82
21 -Mapa do Urânio de parte da Formação Capiru com as principais unidades e destaque para a área estudada (Fonte: Projeto Serra do Mar Sul - Geofoto, 1978 <i>apud</i> Silva, 1999)	84
22- Sessão geológica esquemática e perfis mostrando a distribuição dos radioelementos K, Th, U e contagem total ao longo da estrada 1 no sentido SW-NE. As indicações em vermelho referem-se às estações de coletas de dados.....	87
23- Sessão geológica esquemática e perfis mostrando a distribuição dos radioelementos K, Th, U e contagem total ao longo da estrada 2 no sentido NW-SE. As indicações em vermelho referem-se às estações de coletas de dados.....	89
24 - Estatística de potássio nos metadolomitos das seqüências litológicas Morro Grande Rio Branco	91
25 - Estatística de tório nos metadolomitos das seqüências litológicas Morro Grande e Rio Branco	92
26 - Estatística do urânio nos metadolomitos das seqüências litológicas Morro Grande e Rio Branco	93
27- Estatística do potássio nos filitos das seqüências litológicas Morro Grande e Rio Branco.....	95
28- Estatística do tório nos filitos das seqüências litológicas Morro Grande e Rio Branco.....	96
29- Estatística do urânio nos filitos das seqüências litológicas Morro Grande e Rio Branco.....	97
30- Modelo Digital do Terreno (MDT) tridimensional da Região de Morro Grande onde é possível visualizar ao sul altos topográficos de um flanco da Sinforme de Morro Grande representado por filitos e quartzitos e a NW a Antiforme do Setuva constituído por mica xistos	100
31- Modelo Digital do Terreno (MDT) onde pode-se observar o relevo da região. As feições em cinza escuro representa os baixos topográficos	101

32- Mapa Clinográfico com localização das pedreiras estudadas em detalhe	104
--	-----

LISTA DE FOTOGRAFIAS

01 - Pedreira localizada na região de Morro Grande. Observa-se fortes mergulhos do acamamento sedimentar (S0) e planos de fraturas indicados no afloramento.....	21
02 - Pedreira na região de Morro Grande mostrando grande recobrimento estéril que ocasiona, nesse caso, estreitamento da camada inviabilizando a lavra.....	22
03 - Rocha metadolomítica com destaque para a estratificação plano-paralela onde é possível observar a intercalação de níveis cinza-claro e cinza-escuro.....	33
04 - Estromatólitos colunares não ramificados e colunas verticais com 20cm de comprimento - Seqüência Litológica Morro Grande.....	34
05 - Estromatólitos circulares e oblongos, com diâmetro variando de 8 a 10cm, presentes na pedreira 2 (Empresa Tancal) - Seqüência Litológica Morro Grande.....	34
06 - Estromatólitos ramificados com diâmetro máximo de 4cm e espaços intercolunares de 2cm presentes na pedreira 2 (Empresa Tancal) - Seqüência Litológica Morro Grande.....	35
07 - Dissolução em grande escala provavelmente provocado por fenômenos naturais em pedreira de metadolomitos da Seqüência Litológica Rio Branco. Cone de detritos (1)	102

LISTA DE TABELAS

01 - Classificação segundo a relação MgO/CaO (Bigarella, 1953)	02
02 - Classificação segundo a granulação (Folk, 1962)	04
03- Parâmetros aplicados pelo laboratório em análise química para rochas carbonatadas	05

04 - Unidades litoestratigráficas com destaque em vermelho para as seqüências litológicas na área estudada, adaptado de Fiori (1990)	23
05 - Tabela comparativa entre as unidades litológicas da CPRM e seqüências litológicas de Fiori.....	28
06 - Tabela mostrando os tipos de foliações e suas relações com as unidades litológicas da Seqüência Litológica Morro Grande.....	44
07 - Resultado de análises químicas realizadas com amostras das seqüências litológicas Morro Grande e Rio Branco.....	67

LISTA DE IMAGENS MICROGRÁFICAS

01 - Imagem micrográfica de uma seção delgada de rocha carbonática onde pode-se observar a região em que foi aplicado o método da colorimetria (área submetida ao ataque).....	06
02 - Imagem micrográfica (luz polarizada) de aglomerados de calcita e dolomita mostrando contato poligonal, típicos de rochas metamórficas.....	60
03 - Imagem micrográfica de cristais de carbonato e quartzo (luz polarizada) com material carbonoso presentes na lâmina do litotipo B - Seqüência Litológica Morro Grande	62
04 - Imagem micrográfica (luz polarizada) de oólitos de forma esférica constituídos por carbonatos presentes no litotipo A da mina 13.....	65

LISTA DE GRÁFICOS

01 - Variação dos teores de SiO ₂ nos diferentes litotipos da coluna da pedreira 2 ...	68
02 - Variação dos teores de MgO nos diferentes litotipos da seção da pedreira 2.....	68
03 - Variação dos teores de CaO nos diferentes litotipos da seção da pedreira 2.....	68
04 - Variação dos teores de SiO ₂ nos quatro litotipos da seção da pedreira 10.....	70
05 - Variação dos teores de MgO nos quatro litotipos da seção da pedreira 10.....	70
06 - Variação dos teores de CaO nos quatro litotipos da seção da pedreira 10.....	71

07 - Média dos teores de sílica nas seqüências litológicas Morro Grande e Rio Branco.....	72
08 - Média dos teores de MgO nas seqüências litológicas Morro Grande e Rio Branco.....	72
09 - Média dos teores de CaO nas seqüências litológicas Morro Grande e Rio Branco	73

RESUMO

Apesar da grande utilidade do calcário e das grandes reservas que o Estado possui deste bem mineral, ele é explorado preferencialmente para aplicações que possuem baixo valor agregado. No Paraná, as rochas calcárias de idade Mesoproterozóica existentes na região metropolitana de Curitiba são as rochas mais importantes em distribuição geográfica quanto ao aproveitamento econômico.

O presente trabalho consistiu na verificação e discussão dos principais critérios de exploração utilizados pelas empresas de mineração na Formação Capiru, seqüências litológicas Morro Grande e Rio Branco na região de Morro Grande, no limite entre os municípios de Colombo e Rio Branco do Sul, através do estudo e compreensão das formas de lavra e pesquisa adotados pelas empresas de mineração, e assim contribuir para uma melhor utilização desse calcário e com isso elevar o grau de conhecimento prospeccional, visto que o desconhecimento das reservas e qualidades da matéria-prima é a causa imediata da falta de investimentos estratégicos no setor.

Os principais litotipos na área de estudo são: metadolomitos, filitos e quartzitos representativos de uma seqüência plataformal carbonática e metamorfisados em baixo grau. A área estudada apresenta-se polideformada, sendo que as diversas fases deformacionais podem se relacionadas a três principais eventos de deformação. Neste trabalho foram analisados critérios de exploração relacionados aos sistemas deposicionais, que mostraram a preferência das grandes empresas de mineração pela Seqüência Litológica Morro Grande (SLMG), embora represente uma estreita faixa metadolomítica em relação a Seqüência Litológica Rio Branco (SLRB). De acordo com as principais características, a Seqüência Litológica Morro Grande é representativa de zona de supramaré, com metadolomitos de granulação fina, intercalações de níveis cinza-claro e cinza-escuro, presença de estruturas estromatolíticas e camadas com grandes espessuras, enquanto a Seqüência Litológica Rio Branco apresenta metadolomitos de granulação fina a média, estratificação cruzada e camadas pouco espessas, representativa de zona de inframaré.

A partir da elaboração de colunas litoestratigráficas, pôde-se determinar as características de cada litotipo e a possível relação entre eles do ponto de vista de exploração.

A utilização da análise petrográfica e colorimétrica foram igualmente eficientes, pois permitiram distinguir as sequências litológicas pela sua granulação, texturas, % de insolúveis e a distinção entre calcita e dolomita em secções delgadas.

Através da análise química, pôde-se determinar os litotipos com maiores teores de insolúveis, visto que estes prejudicam a qualidade do material explotado, e, desta forma seleccionar os níveis mais indicados do ponto de vista económico

A partir da gamaespectrometria terrestre, pôde-se separar as duas sequências litológicas e as possíveis zonas de falhas, através dos diferentes padrões de assinaturas dos radioelementos potássio (K), urânio (U), tório (Th) e contagem total (CT).

Os aspectos geológicos-geomorfológicos, através da elaboração do mapa clinográfico indicaram que as faixas com as mais elevadas cotas altimétricas (correspondentes aos litotipos da SLMG) apresentam também as encostas com maiores declividades e menores espessuras de tálus, sendo a sequência litológica com maior concentração de pedreiras em termos de volume e material explotado.

Já a análise dos dados estruturais permitiu determinar que a Sinforme de Morro Grande teve uma influência importante para a exploração, pois este grande dobramento criou maior inclinação das camadas e elevou-as tornando-as mais expostas, apesar de não existir um controle quanto as alturas das bancadas.

ABSTRACT

In spite of the great usefulness of the limestone and of the great reserves that the state possesses of this mineral, it is explored preferential for applications that it possesses low joined value. In Paraná, the existent calcareous rocks of Mesoproterozoic age in the metropolitan area of Curitiba are the most important rocks in geographical distribution as for the economical use.

The present research consisted in the verification of the main exploration criteria used by the mining companies in the Capiiru Formation, litologic sequences Morro Grande and Rio Branco in the area of Morro Grande, in the limit between the municipal districts of Colombo and Rio Branco do Sul, through the study and understanding in the plowing ways and research adopted by the mining companies, and thus to contribute for a better use of that limestone and with that to elevate the degree of prospeccional knowledge, because the lack of knowledge the reserves and qualities of the raw material are the immediate cause of the lack of strategic investments in the section.

The main lithotypes in the study area are: metadolomites, phyllites and representative quartzites of a carbonate platform sequence that suffered low degree metamorphism. The area presents complex deformation and the several phases can be related to three main deformation events.

In this paper exploration criteria related to the depositional systems were analyzed, that showed the preference of the great mining companies for the although it represents a narrow metadolomitic strip in relation to Rio Branco Litologic Sequence. According the main characteristics Morro Grande Litologic Sequence is representative of supratidal zone, with metadolomites of fine granulation, alternating levels of clear-gray and dark-gray, presence of stromatolitic structures and layers with great thickness while Rio Branco Litologic Sequence presents metadolomites of fine granulation the average, crossed bedding and thinner layers, representative of infratidal zone.

Through the elaboration of litostratigraphic columns , it could be determined that the characteristics of each lithotype could be determined and the possible relation among the lithotypes from the exploration point of view.

The use of the petrographic and colorimetric analysis were equally efficient, because they allowed to distinguish the litologic sequences for its granulation, textures, % of insoluble and the distinction between calcite and dolomite in thin sections.

Through the chemical analysis, it could be determined the lithotypes higher concentration tenors of insoluble, because these harm the quality of the exploited material, and, this way to select the most suitable levels from the economical point of view.

Starting from the terrestrial gamma spectrometry, it could separate the two litologic sequences and the possible faults zones, through the different patterns of signatures of the radionuclide potassium (K), uranium (U), thorium (Th) and total counting (TC).

The geological-geomorphologic aspects, through the elaboration of the clinographic map they indicated that the strips with the highest altimetric quotas (corresponding to the lithotypes of Morro Grande Litologic Sequence) also present the hillsides with larger steepness and smaller talus width, being the litologic sequence with larger concentration of quarries in terms of volume and exploited material.

Already the analysis of the structural data has allowed to determine that Morro Grande Synform had an important influence for the exploration, because this great folding created larger inclination of the layers and it elevated them, turning them more exposed, although there is no control in the bench heights.

Thus it is concluded that although most quarries are explored without obeying technical-scientific criteria, still their location are considered adequate according to the geological criteria established in this research.

CAPÍTULO 1

1.1 - INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

No Paraná, as rochas calcárias de idade proterozóica existentes na região metropolitana de Curitiba são as mais importantes tanto em distribuição geográfica quanto ao aproveitamento econômico. Este trabalho tem o objetivo de determinar os critérios de exploração hoje utilizados pelas empresas de mineração na Formação Capiuru, seqüências litológicas Morro Grande e Rio Branco na localidade de Morro Grande, no limite entre os municípios de Colombo e Rio Branco do Sul, através do estudo e compreensão das formas de lavra e pesquisa adotados pelas empresas mineradoras, e assim contribuir para uma melhor utilização desse calcário e com isso elevar o grau de conhecimento prospeccional.

Desta forma, o trabalho foi realizado com base na interpretação das variações composicionais das rochas calcárias verificando se esta mudança é decorrente de eventos tectônicos ou estão relacionados aos processos de sedimentação ou ainda a processos intempéricos. Adotou-se o método de análise de associações de fácies para reconhecimento de sistemas deposicionais para os calcários da região, procurando integrar à descrição e amostragem de afloramentos, elaboração de colunas litoestratigráficas nas pedreiras, análise petrográfica, análise geofísica, análise geomorfológica da área e sua relação com a exploração de calcário, análise total de óxidos em algumas amostras e a utilização do método da colorimetria a qual tem por objetivo determinar o teor de minerais de calcita e dolomita nas amostras.

Os litotipos foram individualizados pela geometria, variação da granulação, associações litológicas, texturas e estruturas primárias e biogênicas. Quanto à natureza de formação das rochas calcárias da Formação Capiuru, a grande maioria dos autores admite condições marinhas de plataforma rasa para sua deposição, representadas por extensas colônias de algas marinhas e comprovadas pela presença de estromatólitos na parte SE da área de estudo. De modo geral os calcários da faixa central são de composição dolomítica, de aspecto maciço, textura granular, com grande homogeneidade, granulação fina e coloração cinza- médio, às vezes com intercalação de níveis cinza-escuro e pouco fraturados. Em alguns

pontos próximos à gruta de Bacaetava foi possível identificar estromatólitos colunares localmente bifurcados de tamanho centimétrico. Apesar de toda a importância que é reconhecida pelos mineradores e administradores, do ponto de vista geológico, conhece-se muito pouco sobre a real potencialidade do calcário no Paraná. Tal desconhecimento resulta da falta de estudos com caráter regional e abordagem integrada dos diferentes tipos de calcários existentes. Isto ocasiona o mal aproveitamento das variedades mais nobres e o desperdício das reservas. Desta forma, o pouco conhecimento das reservas e qualidades da matéria-prima é a causa imediata da falta de investimentos estratégicos no setor.

1.2 - MÉTODOS DE TRABALHOS E DE ANÁLISES EMPREGADOS

a) Levantamentos Bibliográficos

Consistiu em pesquisa bibliográfica sobre a região estudada, a qual se desenvolveu em praticamente todas as fases do projeto, bem como as melhores técnicas a serem empregadas, discussões com orientadores procurando a melhor delimitação da área tipo para a aplicação de estudos mais detalhados. Nesta fase foi escolhida, dentre várias classificações, a que melhor se adaptasse as características das rochas da área estudada. De um modo geral, optou-se pela classificação segundo a relação MgO/CaO (tabela 1) proposta por Bigarella (1953) que baseia-se na composição química da rocha, e, de um modo mais restrito, utilizou-se a classificação para determinados litotipos, de acordo com a granulação (tabela 2), segundo Folk (1962).

Tipo de rocha	Equiv. MgO aprox. (%)	MgO/CaO aprox.
Calcário Calcítico	0,0 – 1,1	0,00 – 0,02
Calcário Magnesiano	1,1 – 4,3	0,02 – 0,08
Calcário Dolomítico	4,3 – 10,5	0,08 – 0,25
Dolomito Calcítico	10,5 – 19,1	0,25 – 0,56
Dolomito	19,1 – 22,0	0,56 – 0,72

Tabela 1 - Classificação segundo a relação MgO/CaO (Bigarella, 1953)

	Constituintes transportados	Constituintes autigênicos	
64 mm	calcirudito muito grosso	Cristalino extremamente grosso	
16 mm	calcirudito grosso		
4 mm	calcirudito médio		
4 mm	calcirudito fino	Cristalino muito grosso	4 mm
1 mm	calcarenito grosso	Cristalino grosso	1 mm
0,5 mm	calcarenito médio		
0,25 mm	calcarenito fino	Cristalino médio	0,25 mm
0,125 mm	Calcarenito muito fino		
0,062 mm	Calcilutito grosso		
0,031 mm	Calcilutito médio	Cristalino fino	0,062 mm
0,016 mm	Calcilutito fino	Cristalino muito fino	0,016 mm
0,004 mm	Calcilutito muito fino		Afano-cristalino

Tabela 2 - Classificação segundo a granulação (Folk, 1962).

As rochas carbonáticas (tabela 2) contêm partículas fisicamente transportadas (oólitos, intraclastos, fósseis e pellets) e minerais quimicamente precipitados (como poros preenchidos, cimento primário, ou como produtos de recristalização e substituição).

No presente trabalho, escala de tamanho para constituintes transportados conserva a divisão proposta por Wentworth (1922), exceto nos calciruditos. O tamanho mais comum do cristal de dolomita fica entre 0,062 e 0,25 mm, e por esta razão aquele intervalo foi chamado de classe média cristalina (Folk, 1962).

b) Levantamentos de Campo

Os trabalhos de campo foram realizados em distintas etapas. Inicialmente foram feitos levantamentos objetivando o reconhecimento das estruturas regionais, tipos litológicos e delimitação das principais ocorrências de rochas metacalcárias. Nas etapas seguintes foram realizados levantamentos de seções colunares, visando a identificação dos principais litotipos nas pedreiras mais importantes, assim como o

reconhecimento do controle estrutural e as principais deformações impostas aos tipos litológicos da área estudada.

Na etapa seguinte, foram realizadas coletas de amostras objetivando a análise litogeoquímica e petrográfica, além de estudos de gamaespectrometria terrestre e geomorfológicos na região.

De modo geral, a execução dos trabalhos se deu de acordo com a seguinte ordem:

c) Análise Cartográfica e Aerofotogeológica

- Obtenção de material cartográfico, como mapas topográficos e geológicos e elaboração de mapas-base nas escalas 1:20000 e 1:10000.
- Levantamento e interpretação de fotos aéreas nas escalas 1:70000 (Cruzeiro do Sul, 1970) e 1:25000 (ITC-PR, 1980), além de análise de imagens de satélites Landsat TM 5, composição R4G3B2 (Projeto Serra do Mar Sul - Geofoto, 1978), sempre objetivando identificar as principais feições morfoestruturais regionais representativas de falhas, dobramentos, unidades litológicas, zonas com intensidade de fraturamentos entre outros.
- Escolha das pedreiras e afloramentos mais significativos da área em termos de tamanho e atividade exploracional, visando estudos em escala de detalhe envolvendo coleta de amostras para confecção de lâminas delgadas e análise petrográfica.

d) Análise Litoestratigráfica

- Elaboração de colunas litoestratigráficas locais procurando caracterizar os litotipos individualizados pela geometria, variação da granulação, texturas, estruturas primárias e variação da coloração das rochas e posteriormente uma correlação litoestratigráfica. As ilustrações foram confeccionadas utilizando o programa **Corel Draw 9**.

e) Análises Químicas

- Foram efetuadas análises químicas em amostras de rochas, num total de 20 elementos (maiores), além de perda ao fogo, teor de umidade e resíduos insolúveis. A preparação das amostras foi realizada no LAMIR - Laboratório

de Minerais e Rochas da Universidade Federal do Paraná incluindo etapas de corte das amostras com serra diamantada, cominuição das amostras a menos de 0,5 cm de diâmetro, secagem, quarteamento e homogeneização das amostras. A moagem foi realizada em um moinho de anéis de carbeto de tungstênio, até aproximadamente 100% passante em 150 mesh, e novo quarteamento de material.

- As análises químicas de rochas foram realizados no laboratório canadense Boundar Clegg. Foram determinados através de rocha total por XRF - e parâmetros abaixo descrito (tabela 3).

Al ₂ O ₃ -0.01%	SiO ₂ -0.01%	Na ₂ O-0.01%	MgO-0.01%	Fe ₂ O ₃ -0.01%	Cr ₂ O ₃ -0.01%
CaO-0.01%	TiO ₂ -0.01%	P ₂ O ₅ -0.01%	MnO-0.01%	K ₂ O-0.01%	LOI-0.05%

Tabela 3 - Limites de detecção aplicados pelo laboratório em análise química para rochas carbonatadas.

f) Estudos Petrográficos

- Coleta de amostras para confecção de lâminas delgadas efetuando estudos petrográficos nas rochas carbonáticas, com a finalidade de caracterizar as diferentes litofácies.

- Na etapa seguinte, foi utilizada a técnica de coloração seletiva de carbonatos (colorimetria), efetuada em amostras de lâminas delgadas sem lamínulas, com o objetivo de auxiliar os estudos petrográficos. Desta forma foi possível visualizar as proporções de calcita e dolomita, segundo os métodos descritos por Friedman (1959), Warne (1962) e Dickson (1966). Para isto, foi aplicado o método de coloração com Alizarina Vermelha.

O procedimento adotado consistiu em três etapas (Guimarães, 2001):

- pré tratamento: ataque com ácido clorídrico diluído a 1,5% por 10 a 15 segundos;
- coloração com alizarina (Alizarin Red-S) e ferrocianeto de potássio: neste estágio as seções são coloridas simultaneamente com a mistura das duas soluções na seguinte proporção: solução de alizarina e solução de ferrocianeto de potássio (3:2) por 30 a 40 segundos. A solução de alizarina

foi preparada pela adição de 0,2g de alizarina em 100 ml de HCl a 1,5% e a solução de Ferrocianeto de Potássio pela adição de 0,2g desse produto em 100ml de HCl a 1,5%;

- coloração apenas preparada com solução de Alizarina: visando intensificar a cor, aplica-se durante 10 a 15 segundos. Após esta etapa lava-se com água destilada para retirar excessos.

A alizarina e o ferrocianeto de potássio, apesar de misturados reagem independentes, possibilitando a distinção entre os tipos de carbonatos, visto que a Alizarina em solução ácida resulta na coloração vermelha para aragonita, calcita, witherita e cerussita, o ferrocianeto de potássio produz um precipitado azul na presença de ferro ferroso em calcita e dolomita (imagem micrográfica 1). O resultado em precipitado amarelo a marrom, caracteriza a presença de Zn, Cd, Mn, Cu, Ni e Co.

A contagem dos cristais de calcita e dolomita foi realizada com o auxílio do programa de computador *Image Pro Plus 2.0* que realiza esta tarefa com um erro considerado desprezível (2,31 %) para a finalidade a que se destina.

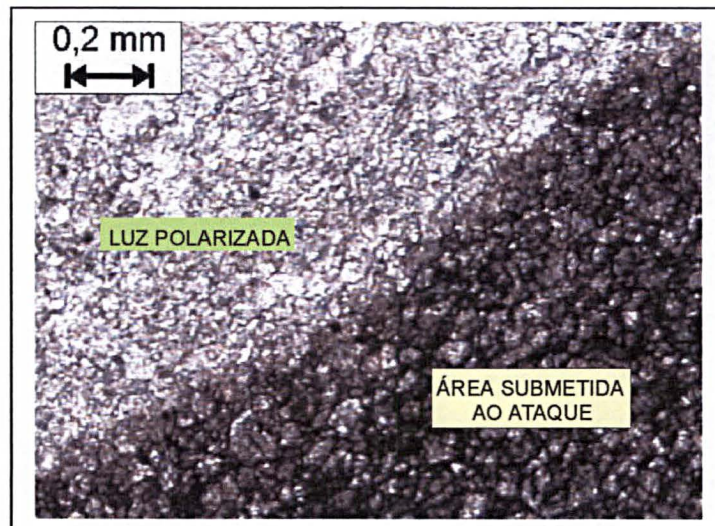


Imagem micrográfica 1 - Imagem micrográfica de uma seção delgada de rocha carbonática onde pode-se observar a região em que foi aplicado o método da colorimetria (área submetida ao ataque).

g) Análise de dados Estruturais

- Quanto a geologia estrutural, foram realizadas análises das atitudes de estruturas planares e lineares, bem como reconhecidas estruturas tectônicas

em trabalhos de campo. Para o tratamento dos dados foi utilizado o programa para computador **Stereonet** - Versão 1.1^a (Dyster, 1997), o qual possibilitou a construção de diagramas de rosetas e projeção *Schmidt Lambert*. Utilização de imagem de satélite Landsat 5 - RGB 543 que possibilitou caracterizar e comparar as feições encontradas nos afloramentos.

- Confecção de perfis geológicos nas escalas 1:10000 e 1:5000 ao longo da área estudada.

h) Análise de dados Geofísicos

- Utilização de levantamento e interpretação de perfis geofísicos com o método da aerogamaespectrometria (Projeto Serra do Mar Sul - Geofoto, 1978) e gamaespectrometria terrestre. Estes métodos permitem, através de calibrações, transformar por meio de sistemas de equações lineares, as contagens por segundo (cps) nas seguintes concentrações: contagem total (CT) em ppm, % de K, ppm de Th e ppm de U. Os dados gamaespectrométricos foram tomados a cada 50 m de caminhamento. A aquisição dos dados foi feita por um gamaespectrômetro com discriminação de energia, modelo GS - 512 de fabricação *Geofyzika / Scintrex*. Todo o processamento das informações geofísicas foi realizado pelo programa **Geosoft**.

Quanto ao comportamento geoquímico do potássio, urânio e tório em rochas e solos pode-se ressaltar :

Potássio - o ^{40}K é o único radioisótopo do potássio ocorrendo em uma proporção fixa de 0,12% do potássio total natural. Em função disto, a medida da radiação gama pode ser usada para estimar a quantidade total de K. As ocorrências mais comuns em rochas são observadas nos feldspatos potássicos (aprox. 13% de K), nas micas (biotita/muscovita com 8% de K) e nas rochas félsicas (granitos). Teores menores são encontrados em basaltos, muito baixos em dunitos e peridotitos e ausentes em minerais máficos (Dickson & Scott, 1997). Segundo estes autores, o comportamento intempérico dos minerais potássicos determina o conteúdo deste radionuclídeo em rochas intemperizadas e solos. Durante o processo de intemperismo, as matrizes de potássio são destruídas na seguinte ordem:

Biotita → feldspato potássico → muscovita.

O potássio liberado no processo intempérico pode participar da formação de minerais como a illita; ou ser absorvido em menores quantidades pelas argilas. Em rochas sedimentares, no caso as carbonáticas que foi objeto de estudo a porcentagem de potássio é muito baixa com um teor médio em torno de 0,3%.

Tório - o tório (^{232}Th) possui pequena abundância na crosta terrestre (aproximadamente 12 ppm), sendo registrado através do estado de valência Th^{4+} , tendo como característica a baixa solubilidade, executando soluções ácidas conforme Langmuir & Herman (1980 *apud* Dickon & Scott 1997). Todavia, em condições de pH neutro, compostos orgânicos (ácidos húmicos) podem aumentar a solubilidade deste radionuclídeo (Chopin 1988 *apud* Dickson & Scott, 1997), sendo altamente móvel quando combinado com complexos orgânicos em aquíferos e solos. Segundo os autores citados, o tório pode ocorrer em níveis maiores que 1000 ppm nos seguintes minerais: allanitas, monazitas, xenotímeos e zircão ou na forma de traços em outros minerais existentes nas rochas.

Urânio - o urânio apresenta baixa abundância na crosta terrestre (aproximadamente 3 ppm), e é quimicamente dominado por seus estados de valência U^{+4} e U^{+6} . O primeiro estado geralmente está contido em minerais não solúveis, enquanto o segundo associa-se com ânions como os carbonatos, os sulfatos e os fosfatos para formarem espécies solúveis. A mobilidade deste último estado é modificada pela absorção a óxidos hidratados de ferro, minerais de argila e colóides, como também pela redução para minerais insolúveis de U^{+4} , quando águas encontram ambientes redutores (zonas de material carbonoso ou pirita).

O urânio pode se apresentar em rochas como óxidos e silicatos, sendo comum em uraninita e uranotorita; os principais minerais matrizes são: monazita, xenotímeo e zircão, dentre os quais, apenas a monazita e o zircão são estáveis durante o intemperismo.

O urânio liberado pela destruição de minerais durante o intemperismo pode ser retido em óxidos de ferro e minerais de argila, ou ainda, em circunstâncias favoráveis, ser precipitado sob condições redutoras formando depósitos de urânio (Dickson & Scott, *op. cit*). Os minerais de urânio estão também presentes em pegmatitos, sienitos, carbonatitos, granitos, gnaisses e alguns folhelhos.

Segundo Dickson & Scott (*op. cit*), o metamorfismo não afeta os teores de radioelementos em rochas metamórficas (gnaisses derivados de granitos e

anfíbolitos derivados de doleritos). As rochas sedimentares tem concentrações de radionuclídeos que refletem, muitas vezes, as rochas de origem. Desta forma pode-se esperar que sedimentos mais maduros constituídos de quartzo devem revelar índices muito mais baixos.

i) Análise de dados Geomorfológicos

Foi realizado uma análise do relevo da área, visando estabelecer uma possível relação da exploração dos metadolomitos com a geomorfologia do terreno. Para isso foi confeccionado um mapa clinográfico da área além de um modelo digital do terreno (MDT) realizado no *software Spring 3.5* com base nos dados do mapa topográfico e geológico na escala 1:10000 confeccionados no *software Auto Cad 2000* utilizando como referência a base topográfica 1:20000 (COMEC, 1987).

Para a confecção do mapa clinográfico, tomou-se como base o estudo geomorfológico considerando as seguintes classes de relevo (Larach *et al.*, 1984 *apud* Bigarella *et al.*, 1996).

- a) **plano**: predominância de superfície horizontal, na qual os desnivelamentos são muito pequenos e a declividade entre 0 e 3%;
- b) **suave ondulado**: superfície de topografia pouco acidentada formada por um conjunto de colinas e outeiros com diferenças de nível inferiores a 50m e declive suave entre 3 e 8%;
- c) **ondulado**: topografia um pouco mais movimentada constituída por colinas e outeiros com diferenças de nível menores de 100m e declive moderado entre 8 e 20%;
- d) **forte ondulado**: superfície de relevo acidentado, formado por outeiros e morros com 100 a 200m de desnível e declives fortes entre 20 e 45%;
- e) **montanhoso**: topografia vigorosa, com predomínio de formas acidentadas com declives superiores a 45%.
- f) **escarpado**: relevo com predomínio de formas abruptas, compreendendo escarpamentos.

1.3 - SITUAÇÃO GEOGRÁFICA E ACESSOS

O mapa geológico da região de Morro Grande abrange uma área aproximada de 23 km² localizado na região metropolitana de Curitiba, nos limites dos municípios de Rio Branco do Sul e Colombo (fig. 1).

O acesso pode ser feito pela BR- 476 (Estrada da Ribeira) até Bocaiuva do Sul e até a área de trabalho por estradas secundárias, trafegáveis durante o ano todo.

Outras formas de acesso são pelos municípios de Colombo (10 km ao norte) utilizando a PR- 417 e Rio Branco do Sul (15 km a sudeste) utilizando a PR-092, ambos por estradas pavimentadas.

Das estradas que cortam a área, as que oferecem melhores condições de tráfego são aquelas utilizadas no escoamento do material das pedreiras e dos fornos de cal; entre elas a que sai de Colombo e passa por Bacaetava, atravessando a área no sentido E-W e posteriormente seguindo para norte até a Campina dos Pintos sendo esta pavimentada somente no trecho entre Colombo e a gruta de Bacaetava.

Outras vias, embora sem pavimentação, não são trafegáveis durante todo ano, algumas das quais já estão há muito tempo abandonadas ou intrafegáveis.

O desmatamento da região proporciona, a cada ano um aumento de caminhos secundários, utilizados para o transporte da madeira aos fornos de cal. Isto em algumas ocasiões facilita o acesso às localidades mais difíceis da região.



Figura 1 - Mapa de localização da área estudada e vias de acesso.

1.4 - SEDIMENTAÇÃO CARBONÁTICA

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 maior volume 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 atividade orgânica promove elevada produção biogênica e abiogênica de carbonato. A partir destas regiões, tanto no sentido do continente como bacia adentro, a produção carbonática diminui (Tucker, 1993 *apud* Boggiani, 1997).

Segundo Reading (1996) a deposição carbonática em plataforma está diretamente relacionada com dois fatores principais: a relativa ausência de sedimentação clástica e alta produtividade orgânica.

De acordo com Condie (1982), os carbonatos arqueanos são pouco freqüentes e incomuns. As possíveis causas para essa escassez são: a) o pH da água do mar no Arqueano esteve baixo para deposição de carbonatos; b) os carbonatos foram depositados em plataformas estáveis durante o Arqueano e mais tarde erodidos; c) os carbonatos foram depositados em bacias oceânicas profundas no Arqueano e mais tarde foram destruídas pelos processos de tectônica de placas.

Lalou (1957 *apud* Bigarella *et al.*, 1967) verificou através de experiências e concluiu 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.

A atividade orgânica provavelmente era intensa nos mares em que se depositaram as rochas da Formação Capiro (Grupo Açungui). Este fato é comprovado pela presença de filitos grafitosos e estruturas organógenas originadas por algas. Estas algas deviam cobrir extensas áreas do fundo do mar, sendo praticamente o único depósito formado, pois parece que uma das condições necessárias a sua existência era a limpidez da água. À medida que crescia a espessura desses recifes o fundo do mar (provavelmente epicontinental) sofria lenta e uniforme subsidência, permitindo a permanência das algas na zona fótica.

Acredita-se que parte dos dolomitos da Formação Capiro (Grupo Açungui), tenham se originado a partir da deposição de CaCO₃ pela ação de microorganismos (Bigarella *et al.* 1967).

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.

Dolomitos primários são raros e restritos a lagoas e lagunas, como, por exemplo as de Coorong (Austrália) e as do município de Lagoa Vermelha (Rio de

Janeiro) (Vasconcelos *et al.*, 1995) de tal forma que a maioria dos dolomitos tem sido relacionada a processos de substituição diagenética de sedimentos carbonáticos.

1.4.1 – Dolomitização no Neoproterozóico

Marcante característica do registro sedimentar neoproterozóico é a abundância relativa de dolomitos (Ronov, 1964, Given & Wilkinson, 1987), figura 2. Tal relação demonstra que no Neoproterozóico as condições para dolomitização foram mais favoráveis inclusive com possibilidade de precipitação direta (Grotzinger & Knoll, 1995), o que também seria sugerido pela ocorrência de dolomitos com textura primária totalmente preservada (Tucker & Wright, 1990 *apud* Boggiani, 1997).

Kazmierczak *et al.* (1985 *apud* Boggiani, 1997)) explicaram que a abundância de dolomitos no Neoproterozóico, em comparação à ocorrência de calcários calcíficos, seria devido à existência de oceano pobre em Ca^{2+} .

Estes autores interpretaram que o teor de Ca^{2+} nos oceanos foi crescente, atingindo seu valor máximo no limite neoproterozóico/cambriano, quando a quantidade de Ca^{2+} foi tal que a biocalcificação teria sido uma forma encontrada pelos organismos de se desintoxicarem da elevada concentração de cálcio (figura 3).

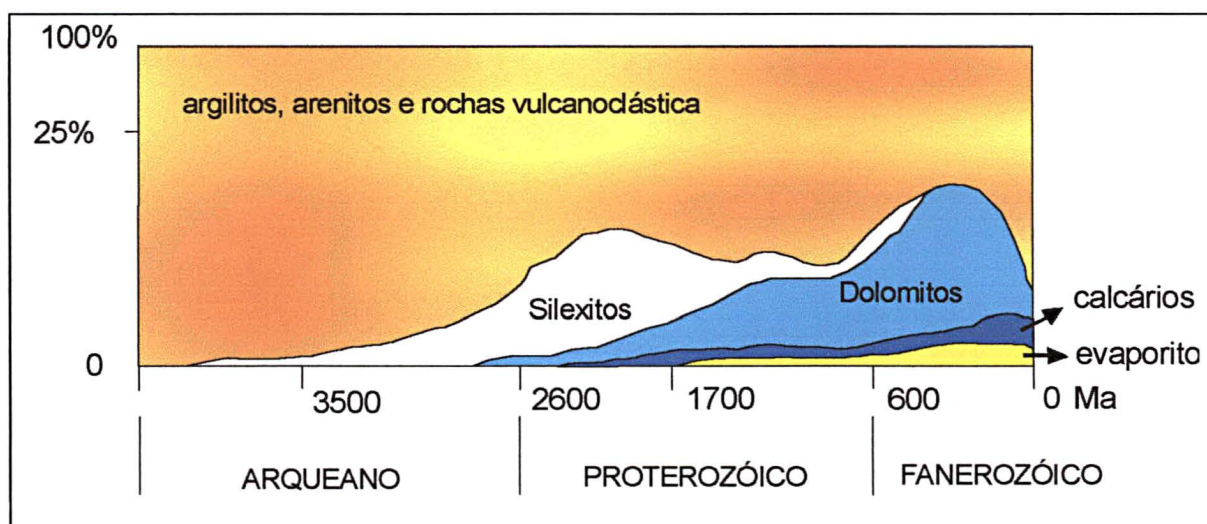


Figura 2 – Distribuição relativa entre calcário e dolomito através do tempo geológico, com notável abundância dos silexitos nos primórdios do Proterozóico e dos dolomitos no Neoproterozóico (modificado de Ronov, 1964 *apud* Boggiani, 1997).

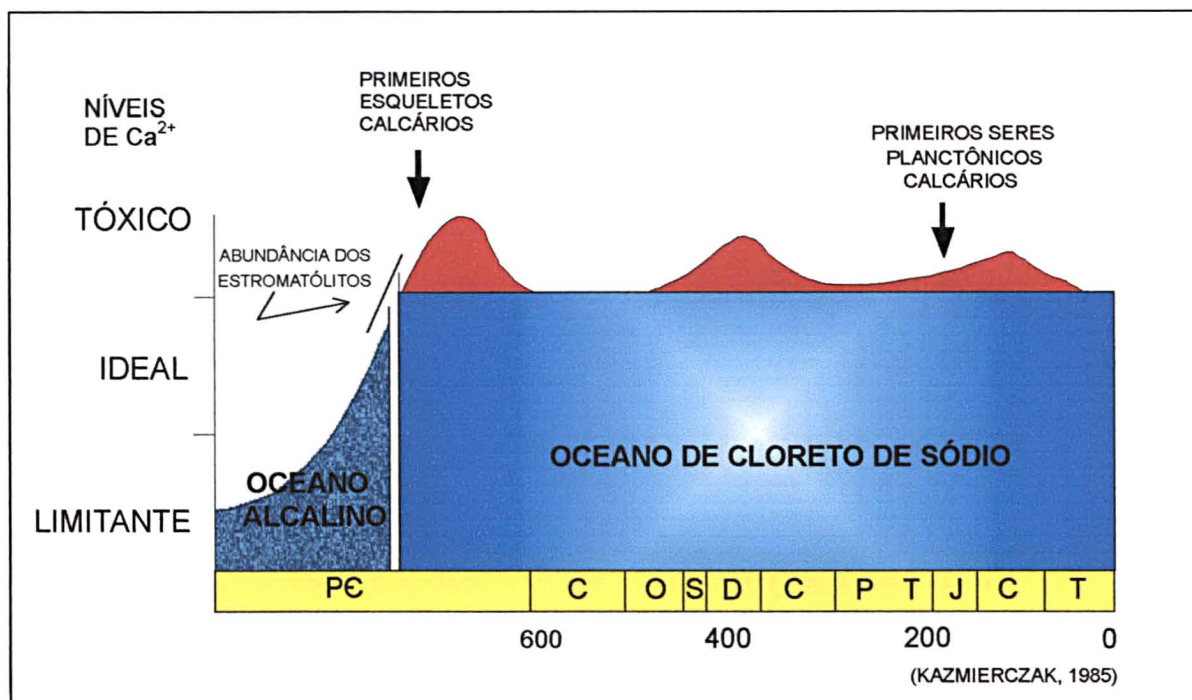


Fig. 3 – Possível variação secular em Ca^{2+} na água do mar, onde o incremento do teor no final do Pré-Cambriano teria provocado o desenvolvimento da biocalcificação (modificado de Kazmierczak et al., 1985 *apud* Boggiani, 1997).

Outra hipótese é a de que teria havido condições excepcionais de bombeamento da água do mar através dos sedimentos. Estas condições estariam relacionadas à rápida transgressão marinha pós-glaciação e ao vigoroso padrão de circulação oceânica originado pela fragmentação de supercontinente.

O registro de dolomitos no Fanerozóico também foi variado (Given & Wilkinson, 1987), com maiores abundâncias coincidindo com as elevações nas curvas de primeira ordem de mudanças do nível do mar. Esta variação também pode ser relacionada a causas geotectônicas, devido a configuração e distribuição dos continentes que afetarem e condicionarem as circulações oceânicas (Purser *et al.* 1994). A constatação de precipitação de dolomita através de atividade microbiana (bactérias redutoras de sulfatos) em lagunas costeiras de Lagoa Vermelha – Rio de Janeiro (Vasconcelos *et al.* 1995 *apud* Boggiani, 1997) demonstra a importância destes microorganismos como centros de nucleação da dolomita, constituindo, também, uma das possíveis causas da relativa abundância de dolomitos no Proterozóico (Wright, 1997 *apud* Boggiani, 1997), quando a atividade microbiana teria atingido seu apogeu, atestado pela abundância de estromatólitos.

1.5 - ASPECTOS GEOLÓGICOS DOS METACALCÁRIOS NO ESTADO DO PARANÁ

1.5.1 - Rochas Metacalcárias do Proterozóico Médio-Superior

As rochas metacalcárias do Proterozóico Médio e Superior são as mais importantes tanto em distribuição geográfica quanto ao aproveitamento econômico. Estas rochas ocorrem em três grandes faixas, orientadas na direção NE-SW e aproximadamente paralelas à costa, denominadas por J.J. Bigarella (1953) como faixa NW (noroeste), faixa central e faixa sudeste (SE) (figura 4). As características químicas dos metacalcários destas três faixas foram comparadas por Karmann (1994) (figura 5).

À faixa NW pertencem os afloramentos que se estendem desde a localidade de Itaiacoca passando por Abapã, Dr Ulisses, penetrando no estado de São Paulo. Pertencem ao Grupo Itaiacoca, do Proterozóico Superior e constituem-se de dolomitos, dolomitos-calcíticos puros e semi-puros.

A faixa central ocorre nos municípios de Campo Largo, Rio Branco do Sul, Cerro Azul, Adrianópolis e Almirante Tamandaré, estendendo-se para São Paulo.

As rochas calcárias da faixa central variam em sua classificação de acordo com a composição química, entre calcários calcíticos, magnesianos e dolomíticos até dolomitos.

As rochas carbonáticas da faixa sudeste, associados à Formação Capiru, ocorrem na sua maioria como metadolomitos e metadolomitos calcíticos e, secundariamente, como lentes de metacalcário e metacalcário magnesiano.

Os calcários magnesianos e calcíticos de uma forma geral, mostram uma maior predominância em relação aos de composição mais dolomítica. Devido à composição química, tais rochas possuem melhores características próprias para fabricação do cimento, uso industrial e cal.



Figura 4 - Distribuição das faixas carbonáticas proterozóicas. Adaptado de Campanha *et al.* (1987).

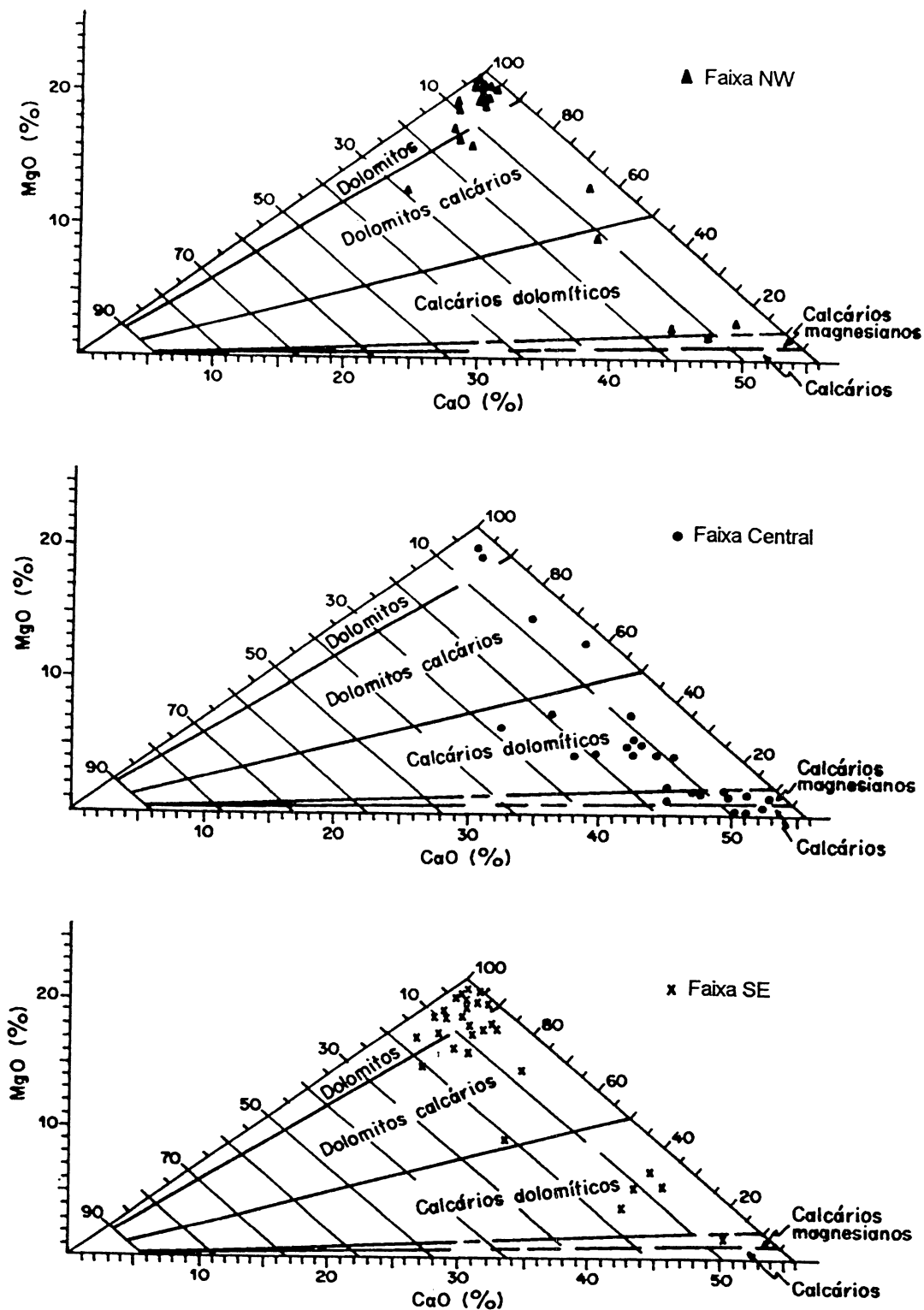


Fig. 5 - Caracterização química das rochas carbonáticas das faixas NW, Central e SE, segundo o diagrama de Martinet & Sougy (1961 *apud* Karmann, 1994). Os dados químicos foram retirados de Mineropar (1987).

CAPÍTULO 2

2.1 - A GEOLOGIA E A EXPLORAÇÃO DE METALOMITOS NA FORMAÇÃO CAPIRU

Os primeiros trabalhos referentes à geologia do Pré-Cambriano Paranaense, especialmente da Formação CapiRU (Grupo Açungui), a qual constitui a área em questão, iniciaram-se na metade do século passado e desde então têm sido objeto de estudos científicos nas mais diversas áreas tais como: estratigrafia, petrografia, geologia estrutural e econômica, motivados principalmente pelo potencial econômico para minerais metálicos e não metálicos.

Os estudos mais relevantes na região principalmente os de cunho exploratório tiveram início no final da década de 40, juntamente com a implantação de empresas mineradoras de calcário.

Coube a Oliveira (1927), a criação do termo "Série Açungui" para as rochas metassedimentares ordovicianas que ocorrem no leste paranaense e ao sul de São Paulo. Tal unidade foi considerada sobreposta às rochas Arqueanas do Complexo Cristalino.

O "Reconhecimento Geológico da Série Açungui" de Carvalho e Pinto (1937 *apud* Bigarella *et al.*, 1953) concluiu que as rochas do Grupo Açungui tinham sofrido grandes esforços tangenciais no sentido N-S, originando anticlinais e sinclinais. Ainda neste trabalho, os autores referem-se a mica xistos como sendo os tipos litológicos mais antigos da Série Açungui, reconhecendo também granitos intrusivos e filitos grafitosos.

Oliveira e Leonardos (1943) sugerem que o ambiente deposicional para a "Série Açungui" seria um mar relativamente profundo, atribuindo idade Algonquiana para a mesma.

Maack (1947) analisou detalhadamente os litotipos como filitos, talco xistos, sericita xistos, extensas lentes de metacalcário e metacalcários dolomíticos, camadas esparsas de quartzitos puros e quartzitos com minério de ferro sedimentar (itabiritos) da "Série Assunguy" e atribuiu idade Eo-Algonquiano a estas rochas.

Bigarella & Salamuni (1956) realizam os primeiros trabalhos geoquímicos nos metacalcários da região, seguidos pelos trabalhos da Comissão da Carta Geológica do Paraná (1967).

Bigarella & Salamuni em 1956 atribuíram à parte basal do Grupo Açungui a denominação de Formação Setuva e a unidade mais jovem a denominação de Formação Capiru, e que engloba metassedimentos epimetamórficos que jazem discordantemente sobre as rochas da formação mais antiga. Camadas de dolomitos quartzitos intimamente interdigitados constituem a característica marcante dessa unidade, sendo os dolomitos sua litologia dominante e típica.

As rochas metacarbonáticas desta formação ocorrem em espessos corpos lenticulares e são geralmente maciças, às vezes silicosas e com estruturas estromatolíticas originadas por algas do gênero *Collenia* (descritas por Bigarella & Salamuni, 1958; Fairchild, 1977). Estas rochas ocorrem na sua maioria como metadolomitos e metadolomitos calcíticos e, secundariamente, como lentes de metacalcário magnesiano.

Em 1967, Marini e Bigarella estudando as rochas metacalcárias do Grupo Açungui forneceram elementos a respeito de sua composição, estrutura e aplicação na exploração de bens minerais.

Fiori (1990) definiu três eventos deformacionais principais que afetaram as rochas do Grupo Açungui: Sistema de Cavalgamento Açungui, que seria o primeiro evento de deformação responsável pela geração de três foliações bem evidenciadas; o Sistema de Dobramento Apiaí que teria gerado dobramentos isoclinais e uma foliação S_3 plano axial das foliações anteriores; o Sistema de Transcorrência Lancinha, que seria o último evento deformacional e teria gerado marcante bandamento tectônico (clivagem de fratura), dobras escalanadas e falhas de empurrão.

Fiori (1992) propôs que o Sistema de Cavalgamento Açungui é responsável pela atual organização estratigráfica do Grupo Açungui, que é resultado do empilhamento aleatório de "fatias" de rochas, limitadas acima e abaixo por falhas de cavalgamento.

Fiori e Gaspar (1993) concluíram que estratigraficamente o Grupo Açungui é constituído pelas formações Capiru (conjuntos litológicos Juruqui, Rio Branco, Morro Grande e Bocaina), Votuverava (conjuntos litológicos Bromado, Coloninha e Saivá) e

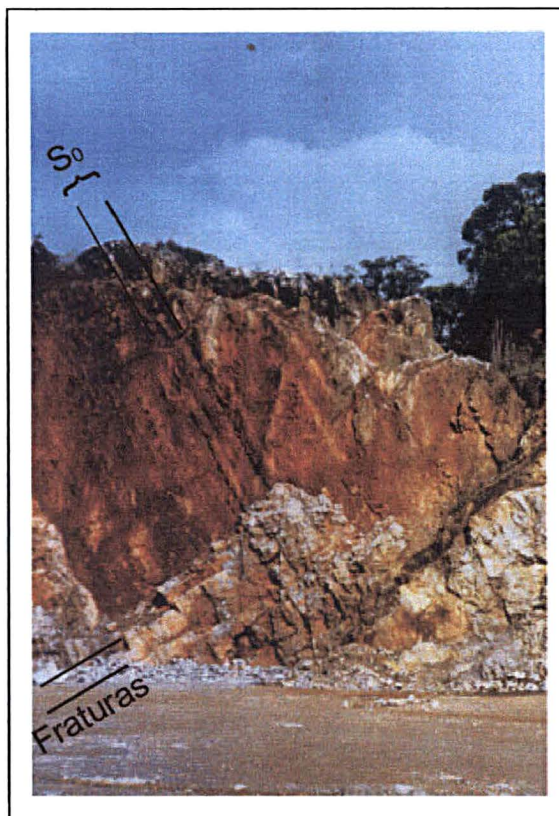
Antinha (conjuntos litológicos Tacaniça, Capivara e Voturuvu). Como os conjuntos situam-se dentro de "fatias" tectônicas, removidas de suas posições iniciais, resulta que o atual empilhamento estratigráfico do Grupo Açungui não é original, refletindo arranjos diferentes de acordo com o local.

No Estado do Paraná, a descoberta da potencialidade de rochas calcárias, de uma maneira geral, surgiu a partir da prospecção para outras substâncias minerais. Os trabalhos aerofotogramétricos, mapeamentos geológicos, estudos geoquímicos e geofísicos, relacionados ao Grupo Açungui, procurando determinar anomalias de mineralização para minerais metálicos, forneceram valiosos subsídios para o conhecimento de importantes reservas de calcário e dolomito.

A pesquisa de rochas calcárias no Paraná tem-se resumido, de maneira genérica, a mapeamentos geológicos com definição de afloramentos, amostragens de superfície através de furos de trado, abertura de poços rasos e trincheiras, sendo as reservas calculadas a partir da área aflorante e das espessuras mostradas em pedreiras e cortes.

Este método até então utilizado não tem conduzido a bons resultados quando se trata da implantação de grandes projetos industriais pelos seguintes motivos:

- a) as rochas calcárias da Formação Capiru apresentam-se invariavelmente em formas de lentes, normalmente com mergulhos muito fortes chegando a verticais, como se observa em determinados afloramentos da área estudada (fotografia 1), o que não permite a observação da espessura real do corpo mineral. Desta forma, ocorre a intercalação de rochas tais como xistos e filitos que podem não aflorar dando portanto uma falsa idéia de volume da rocha calcária.



Fotografia 1 - Pedreira localizada na região de Morro Grande. Observam-se fortes mergulhos do acamamento sedimentar (So) e planos de fraturas indicados no afloramento.

Como todo projeto industrial de porte depende, além de uma série de condições de infra-estrutura (meios de transporte, energia elétrica disponível, proximidade de centros consumidores) também de uma base sólida de matéria prima.

A maioria das empresas de mineração explora calcários dolomíticos, freqüentes na Formação Capiçu. Esse tipo de rocha não permite uma utilização tão nobre quanto os calcíticos que são utilizados na indústria de cimento. O seu uso se restringe historicamente à correção de acidez do solo e a partir da calcinação desse calcário, a obtenção da cal utilizado principalmente na construção civil, indústria química e metalúrgica dependendo da composição química dessa rocha.

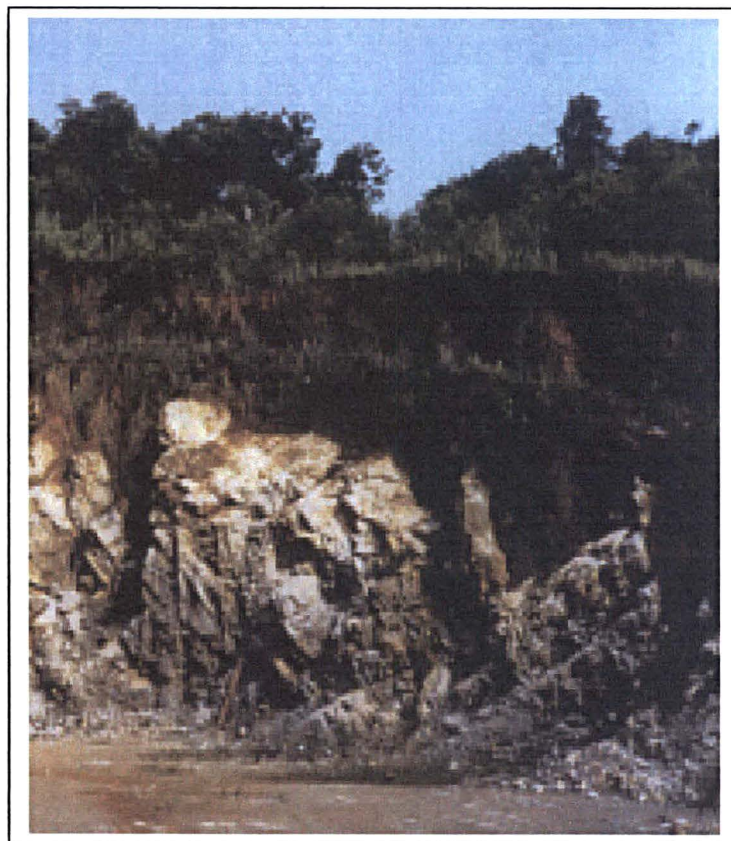
- b) embora as rochas da Formação Capiçu se apresentem de maneira mais ou menos contínua, não tem comportamento definido quanto a espessura da camada. Por esse motivo, a pesquisa conduzida através de antigas frentes de lavras, de uma maneira geral, não conduz a uma perfeita

definição do depósito, razão pela qual é muito comum encontrar-se pedreiras abandonadas por estreitamento da camada de calcário e consequentemente aumento do recobrimento estéril (fotografia 2) além da má qualidade do bem explorado, o que torna a lavra anti-econômica.

Muitas vezes o próprio desconhecimento dos mineradores em relação ao controle estrutural, o quimismo de suas frentes de lavra e a variação composicional dos metadolomitos leva a uma exploração desordenada e sem controle, buscando apenas o lucro imediato.

O trabalho mais recente abordando a Formação Capirú e envolvendo a região estudada de Morro Grande foi realizado pela CPRM (1998) com a elaboração do Mapa Metalogenético na escala 1:100.000, propiciando uma contribuição sobre o potencial dos recursos minerais da folha de Curitiba (SG. 22-X-D-I).

No trabalho da CPRM a distribuição das diferentes unidades foi realizada tendo como base as zonas de cisalhamento descritas no trabalho Fiori (1990).



Fotografia 2 - Pedreira na região de Morro Grande mostrando grande recobrimento estéril que ocasiona, nesse caso, estreitamento da camada inviabilizando a lavra.

CAPÍTULO 3

3.1 - A LITOESTRATIGRAFIA E A EXPLORAÇÃO NA REGIÃO DE MORRO GRANDE

Fiori (1990), subdividiu as Formações Capiru, Votuverava e Antinha em diversas porções denominadas "*seqüências litológicas*". Estas subdivisões foram realizadas com base nas estruturas sedimentares, associações litológicas, caracteres estruturais, aspectos morfológicos e, principalmente, falhas de cavalgamento. Estas falhas são de grande importância na subdivisão, pois grande parte delas representam os limites entre as várias seqüências diferentes. Ocorrem comumente subparalelas às camadas, posicionando-se em camadas ou planos que oferecem menor resistência mecânica ao deslocamento.

O termo "*seqüência litológica*" representa "uma associação de estratos que exibem respostas similares a ambientes tectônicas similares, com ampla distribuição pela área, separados por horizontes objetivos, sem conotação cronológica específica" (Chang, 1975 *apud* Fiori, 1990). O termo "litológica", é utilizado para enfatizar seu significado litoestratigráfico, independente de qualquer relação cronoestratigráfica e "horizontes objetivos" são entendidos como as falhas de cavalgamento que limitam as diferentes seqüências litológicas (Fiori, 1990).

Desta forma, a coluna estratigráfica adotada mais aceita para a área em estudo e proposta por Fiori (*op. cit.*) pode ser visualizada de maneira simplificada no tabela 4.

		SEQUÊNCIAS LITOLÓGICAS	
PROTEROZOÍCO MÉDIO SUPERIOR	GRUPO AÇUNGUI	FORMAÇÃO ANTINHA	VOTURUVU
			CAPIVARA
			TACANIÇA
		FORMAÇÃO VOTUVERAVA	SAIVÁ
			COLONINHA
			BROMADO
		FORMAÇÃO CAPIRÚ	BOCAINA
			MORRO GRANDE
			RIO BRANCO
		JURIQUI	

Tabela 4 - Unidades litoestratigráficas com destaque em vermelho para as seqüências litológicas na área estudada, adaptado de Fiori (1990).

As seqüências litológicas Rio Branco e Morro Grande fazem parte da área estudada neste trabalho (figura 6). De acordo com Fiori (1990), a primeira engloba os mármorees da Formação Capiuru, e suas intercalações de filitos e quartzitos. É a que apresenta maior extensão em área dentre as seqüências da Formação Capiuru.

Estes mármorees são de composição essencialmente dolomítica, destacando-se como característica fundamental sua grande homogeneidade. Usualmente com aspecto maciço, apresenta cores claras.

Dentre as possíveis estruturas encontradas nessas rochas, destacam-se a estratificação cruzada, presença de brechas intraformacionais, estruturas estromatolíticas e pisolitos.

A estratificação plano-paralela é a estrutura primária mais frequentemente encontrada. É evidenciada pela presença de estratos de colorações e composições diferentes. Os estratos mais claros e espessos são constituídos de dolomito maciço, cinza-claro, enquanto os estratos mais escuros são constituídos por mármorees impuros, metamargas ou mesmo filito, às vezes grafitosos.

Estratificações cruzadas de pequeno porte podem ser localmente reconhecidas nos dolomitos, geralmente ressaltadas por impregnação de ferro. Não são entretanto abundantes, e parecem estar associadas, ou pelo menos, situadas nas proximidades de intervalos pisolíticos ou oolíticos.

Os pisolitos ou oólitos são partículas subesféricas geralmente elípticas, devido à deformação superimposta, e podem ser encontrados de quando em quando nos dolomitos.

Geralmente são encontrados em superfícies intemperizadas onde, graças à ação circulante das águas meteóricas, a erosão diferencial põe em resalto as pequenas esferas ou elipses.

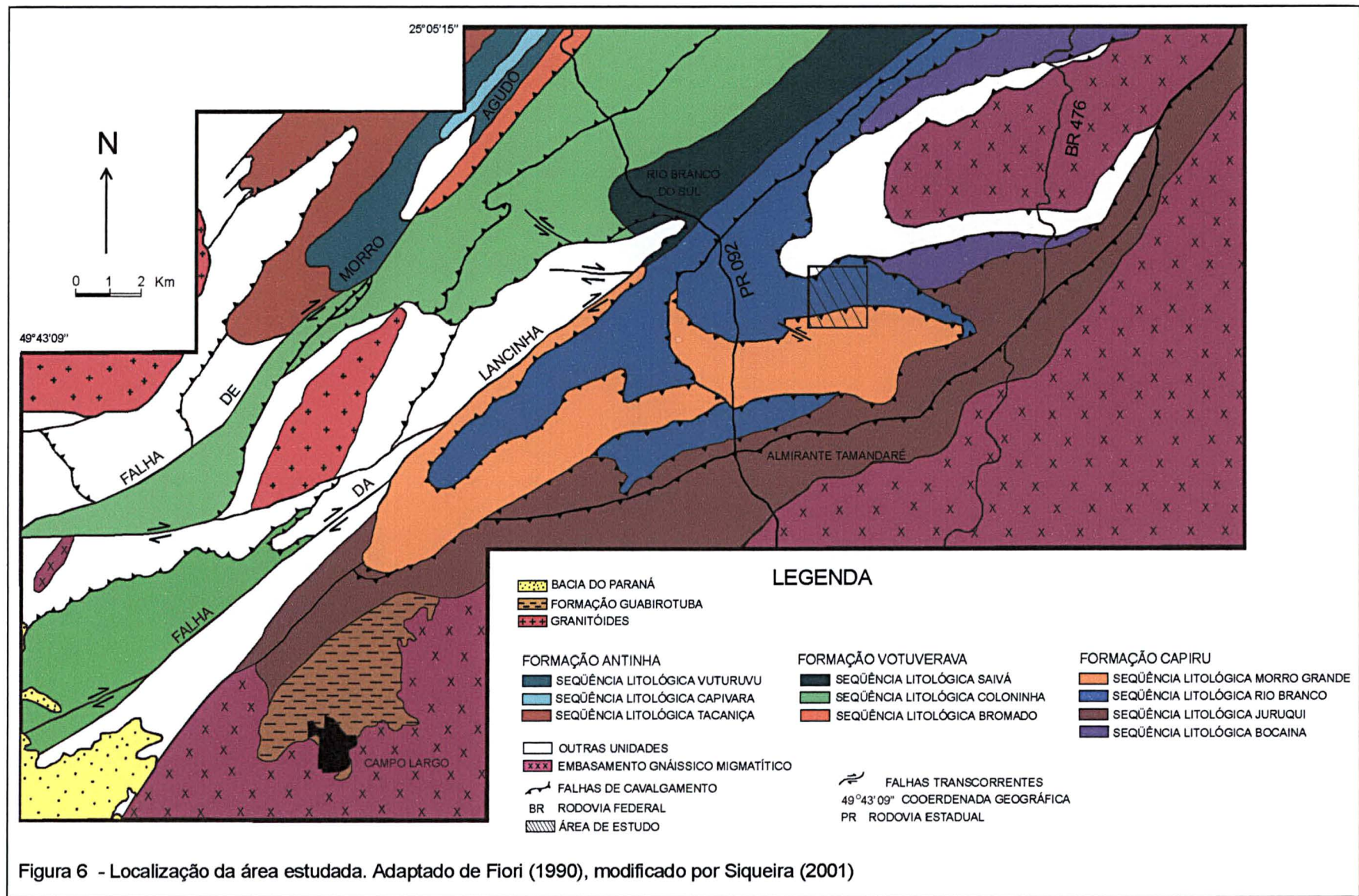


Figura 6 - Localização da área estudada. Adaptado de Fiori (1990), modificado por Siqueira (2001)

Dentre as estruturas exibidas pelos dolomitos da Seqüência Litológica Rio Branco (SLRB), os estromatólitos algáceos são as mais importantes pelas informações ambientais que podem fornecer. Foram identificados, pela primeira vez no Grupo Açungui, por Almeida (1944) na região de Itapeva (SP), que os atribuiu a algas do gênero *Collenia*.

Intercalados com os dolomitos, ocorrem lentes descontínuas de quartzitos e de filitos de espessuras variáveis, algumas com dimensões suficientes para serem cartografadas. Os primeiros são geralmente de cores claras, amareladas, de granulação fina, bem classificados, na maioria das vezes friáveis, e exibindo frequentemente estratificação plano-paralela. Às vezes ocorrem quartzitos de granulação média a grossa, mal selecionados. Podem ocorrer termos transicionais entre filitos e quartzitos, tais como, filitos quartzosos com abundante matriz filitosa.

Filitos rítmicos e metarrítmos são também relativamente comuns na Seqüência Litológica Rio Branco, na forma de lentes descontínuas. Entretanto, a maioria é relativamente homogênea, sendo difícil reconhecer o acamamento sedimentar.

A Seqüência Litológica Morro Grande, caracteriza-se pela alternância entre quartzitos e filitos, que formam camadas de espessura da ordem de centenas de metros e passíveis de representação em mapas. Os quartzitos são facilmente mapeáveis, de vez que dão origem a cristas no relevo, em nítido contraste com as faixas mais deprimidas de filitos, sendo esse aspecto melhor evidenciado na sinforme de Morro Grande. Na continuação dessa seqüência para sudoeste, as camadas de quartzito, ainda que presentes, não mais apresentam as mesmas dimensões, diminuindo bastante em espessura. Os filitos representam os tipos litológicos dominantes. Exibem colorações cinza-claro a cinza-escuro principalmente e, secundariamente, tons avermelhados, esbranquiçados e amarelados.

O litotipo mais característico dessa seqüência é representado por um ritmito, onde se alternam regularmente estratos claros e escuros de espessuras centimétricas. Os estratos escuros são grafitosos e compostos por argila, enquanto os estratos claros são mais espessos e compostos por silte e argila. Estratos mais espessos, com até 30 cm podem ser vistos especialmente aqueles de cor clara. Dentro desses estratos, especialmente dos claros, ocorrem estruturas tipo

hummocky, o que faz supor a ação de tempestades no ambiente de deposição dessa seqüência.

Intercalados nos ritmitos, aparecem algumas camadas de quartzitos esbranquiçados, de matriz caulínica e de granulação fina a média, bem selecionados.

Os quartzitos da Seqüência Litológica Morro Grande (SLMG) mostram-se, na maioria das vezes, friáveis e semi-friáveis, e mais raramente silicificados. Suas colorações são normalmente em tons claros e amarelados. Granulometricamente predominam os tipos finos a médios, mas podem ser observados localmente, termos correspondentes a areia grossa. O grau de selecionamento é moderado em geral, ocorrendo entretanto termos mal e bem selecionados.

Em muitos afloramentos de mármore da Seqüência Litológica Morro Grande é essencialmente dolomítico, e com coloração cinza-clara. Caracteriza-se por apresentar bandamento sedimentar bem evidenciado, dado pela alternância rítmica de níveis com abundantes estruturas estromatolíticas.

Dada a intercalação de quartzitos em metapelitos rítmicos, presença de estruturas tipo *hummocky*, e presença de um nível de mármore dolomítico na parte inferior dessa seqüência, parece que a mesma representa depósitos plataformais, com progressivo aprofundamento da bacia.

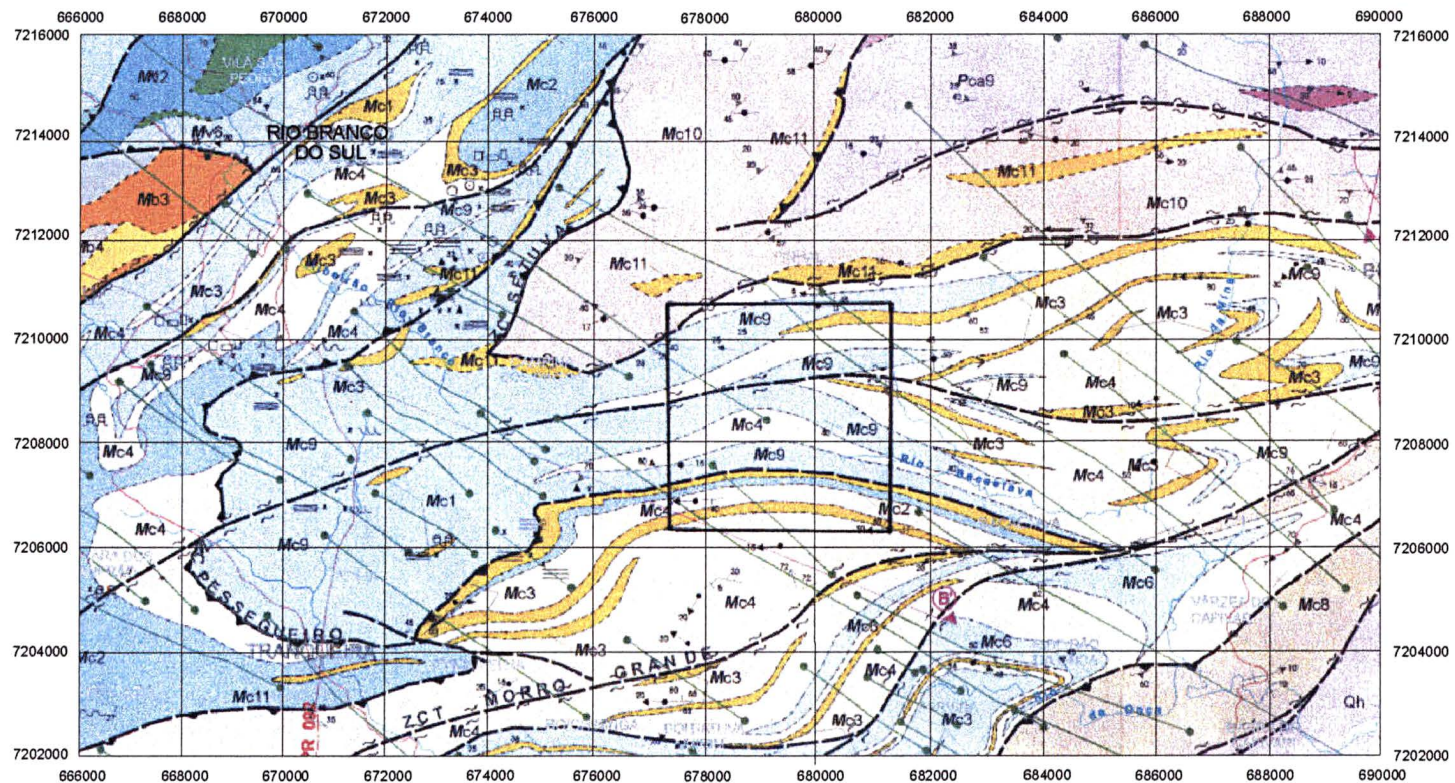
A Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais (CPRM, 1998) em seu relatório da Folha de Curitiba destaca a importância dos minerais não metálicos na economia dos municípios da região metropolitana de Curitiba. Em especial, enfatiza a extração e beneficiamento dos metadolomitos utilizados principalmente como corretivo de solo, na indústria civil como cal e indústria de cimento.

A Região de Morro Grande, objeto de estudo, situa-se dentro do contexto da Formação Capiu e está representada pelas unidades **Mc2, Mc3, Mc4 e Mc9** (figura 7) - Mesoproterozóico Capiu (Mc) segundo a CPRM (1998.).

Ainda de acordo com a CPRM (1998) não foi possível separar duas seqüências litológicas distintas como Fiori (1992). Propõe-se, entretanto, para um melhor entendimento do trabalho um quadro comparativo (tabela 5) entre as unidades litológicas (CPRM, 1998) e as seqüências litológicas Morro Grande e Rio Branco (Fiori, 1992)

Fiori (1992)	SEQUÊNCIA LITOLÓGICA MORRO GRANDE	SEQUÊNCIA LITOLÓGICA RIO BRANCO
CPRM (1998)	Mc2 Mc4 Mc3	Mc9 Mc4 Mc3

Tabela 5 - Tabela comparativa entre as unidades litológicas da CPRM e seqüências litológicas de Fiori.



PROGRAMA LEVANTAMENTOS GEOLÓGICOS DO BRASIL
 CARTA GEOLÓGICA - ESCALA 1:100.000

Fig. 7 - Mapa de parte da Folha de Curitiba (CPRM, 1998) com a área de estudo indicada em detalhe juntamente com as unidades, **Mc2, Mc3, Mc4 e Mc9** na Formação Capiru.

A unidade Mc4 é composta por metarritmitos sílticos-arenosos com bandamento centimétrico a decamétrico ressaltado pelas alternância de cor e granulação. A unidade Mc2 caracteriza-se por apresentar metacalcários dolomíticos finos com estruturas sedimentares preservadas, sendo as mais notáveis as biossedimentares estromatolíticas. Nesta unidade destaca-se pedreiras de pequeno e médio porte que explotam os metadolomitos utilizados principalmente na fabricação da cal e como corretivo de solo. A unidade Mc3 é representada por metarenitos ortoquartzíticos finos a grossos. Os termos arenosos apresentam-se com maior granulação, variando de areia média a grossa. A unidade Mc9 é composta por metadolomitos de granulação fina e maciços, marcados pela cor homoganeamente esbranquiçados, com bandas decimétricas e níveis localizados de metarenitos finos também esbranquiçados. Nestes metadolomitos as ocorrências das estruturas estromatolíticas são raras.

Neste trabalho, a CPRM considerou a importância das zonas de cisalhamento na distribuição das diferentes unidades de acordo com a proposta de Fiori (1990, 1992).

CAPÍTULO 4

4.1 - A GEOLOGIA NA REGIÃO DE MORRO GRANDE

Neste trabalho, a região de Morro Grande foi assim denominada devido a presença da sinforme de Morro Grande que constitui parte da área estudada. Engloba uma seqüência de rochas metadolomíticas e pelíticas de idade Mesoproterozóica (figura 8).

De acordo com as características da Formação Capiru, as rochas metadolomíticas foram depositadas em águas rasas constituindo um sistema deposicional plataformal carbonático. Estudos sobre plataformas carbonáticas proterozóicas são pouco freqüentes e relativamente raras, ao contrário das plataformas fanerozóicas que são razoavelmente bem estudadas com registros dos diferentes regimes tectônicos e de subsidência em que elas ocorre, efeitos de eustasia, das flutuações climáticas e da evolução dos organismos produtores de carbonato.

Na região de Morro Grande foram cadastradas cerca de 35 ocorrências minerais atribuídas as substâncias minerais não metálicas, em geral metadolomitos. Estes são lavrados extensivamente na região constituindo o principal recurso mineral presente na Região Metropolitana de Curitiba. A área como foi comentada anteriormente é subdividida em seqüências litológicas Morro Grande e Rio Branco. A grande maioria das lavras são de pequeno a médio porte, constituindo quase na totalidade dos casos atividades semi-mecanizadas, sendo que muitas delas encontram-se desativadas. As pedreiras da Seqüência Litológica Morro Grande (SLMG) são as principais da área em termos de tamanho e volume de material explotado devido às boas condições de acesso e maior proximidade com os centros consumidores.

Em geral os metadolomitos de ambas seqüências apresentam teores médios de CaO entre 32% a 34% e MgO entre 19% a 22%.

O principal uso dessa rocha, destina-se a correção da acidez do solo e fabricação da cal, sendo utilizado secundariamente como brita, *petit pavet* e granilha.

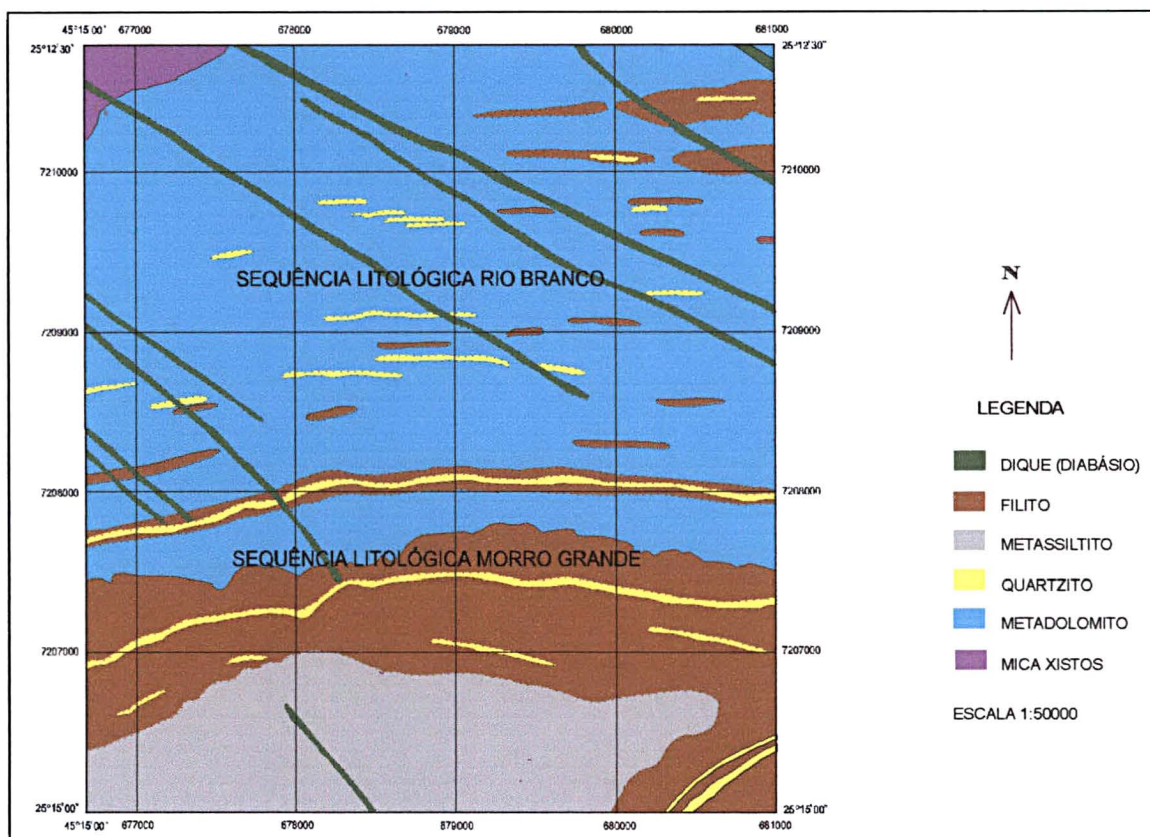


Figura 8 - Esboço geológico da área estudada (região de Morro Grande).

4.1.1 - Litotipos

Seqüência Litológica Morro Grande

Metadolomitos

Os metadolomitos da Seqüência Litológica Morro Grande ocorrem ao longo de uma estreita faixa na direção E–W. Ao longo desta faixa são encontradas inúmeras pedreiras de médio porte em atividade e algumas de pequeno porte inativas.

A coloração destas rochas variam de cinza-claro a cinza-escuro sendo que o cinza-médio é predominante ocorrendo nas unidades litológicas com estrutura maciça.

Comumente observa-se laminação plano-paralela com intercalação milimétrica e centimétrica de cores cinza-claro e cinza-escuro conferindo um aspecto bandado (fotografia 3).



Fotografia 3 - Rocha metadolomítica com destaque para a estratificação plano-paralela onde é possível observar a intercalação de níveis cinza-claro e cinza-escuro.

Apresentam composição química magnésiana (teor de magnésio menor ou igual a 19,1%) e mineralogicamente são constituídas por calcita (6%), dolomita (92%), de acordo com a utilização da técnica de colorimetria.

Apresentam textura granoblástica, ora equigranular, ora inequigranular e com granulação fina a média. É muito comum a estratificação gradacional podendo ser observada pela alternância de níveis com espessuras centimétricas com granulações diferentes.

Nesta seqüência, os metadolomitos apresentam estruturas estromatolíticas. Os estromatólitos por serem restritos à zona intertidal (Logan *et al.* 1964) não aparecem em toda a extensão na faixa. De acordo com o modelo proposto por Grey (1989), as ocorrências de estromatólitos nos metadolomitos da área são tanto do tipo colunares como não colunares, sendo que os primeiros superam os últimos em abundância. Foram identificados formas diferentes de estromatólitos: 1 - estromatólitos colunares com colunas verticais com aproximadamente 20cm de altura, uniformes, sem ramificações e diâmetro variando entre 3 e 5cm (fotografia 4).

Os espaços intercolunares apresentam laminação plano paralela às colunas, sendo que as lâminas são lisas, com forma parabólica de espessura milimétrica e espaçamento uniforme; 2 - estromatólitos colunares cilíndricos e oblongos com diâmetro variando entre 8 e 10cm (fotografia 5); 3 - estromatólitos colunares com ramificação lateral e coalescência com aproximadamente 4cm de diâmetro. Os espaços intercolunares apresentam 2cm de largura. As lâminas são milimétricas e lisas (fotografia 6).



Fotografia 4 - Estromatólitos colunares não ramificados e colunas verticais com 20cm de comprimento (pedreira 2 - Empresa tancal) - Seqüência Litológica Morro Grande.



Fotografia 5 - Estromatólitos circulares e oblongos, com diâmetro variando de 8 a 10cm, presentes na pedreira 2 (Empresa Tancal) - Seqüência Litológica Morro Grande.



Fotografia 6 - Estromatólitos ramificados com diâmetro máximo de 4cm e espaços intercolunares de 2cm presentes na pedreira 2 (Empresa Tanca) - Seqüência Litológica Morro Grande

Os litotipos sedimentares observados evidenciam ambiente marinho plataformal, planície de intermaré a submaré, neste último caso suportada pela presença dos estromatólitos colunares. Indicam ambiente de águas relativamente calmas, rasas e límpidas, num contexto de clima quente. Quanto a variação de cor que define o bandamento às vezes marcante na rocha pode ser explicado pela granulação mais fina presente nos níveis mais escuros ou pela composição com maiores percentuais de argilominerais e/ou matéria orgânica nesses níveis.

Filitos

As rochas desta seqüência litológica correspondem atualmente aos altos topográficos com altitudes em torno de 1000m.

Apresentam foliação marcante do tipo clivagem ardosiana (S0), evidenciada por planos brilhantes e sedosos devido à orientação da sericita, e uma clivagem de crenulação (S2) .

A coloração destas rochas varia de esverdeada (sericita-clorita filito) a cinza avermelhada (sericita filito) ocorrendo ainda porções cinza escuro (sericita-grafita filito).

Metassiltitos

Os metassiltitos presentes nesta seqüência apresentam coloração cinza avermelhado e são compostos por material micáceo. A granulação é muito fina enquadrando-se na fração silte-argila, daí a classificação desta como metassiltitos.

Quartzitos

Os quartzitos na Seqüência Litológica Morro Grande ocorrem sustentando as cristas que realçam no relevo a Sinforme de Morro Grande. Ocupam as cotas mais altas da região. Ocorrem intercalados aos filitos possuindo espessuras variáveis.

São normalmente de cores cinza-claro a amarelados, de granulação fina a média, bem selecionados, na maioria das vezes friáveis com quartzo orientado definindo uma foliação.

Ocasionalmente ocorrem quartzitos de granulação grossa e mal selecionados. São compostos basicamente de quartzo (95%) sendo os outros 5% representados por feldspato e sericita.

Na Seqüência Litológica Rio Branco possuem as mesmas características, no entanto, ocorrem somente como lentes intercalados aos metadolomitos e associados às lentes filíticas. Estas lentes ocorrem com orientação preferencial E-W.

Seqüência Litológica Rio Branco

Metadolomitos

Essas rochas apresentam estrutura maciça, textura granoblástica inequigranular de granulação comumente média, ora fina e raramente grossa, as vezes muito friável. A coloração é muito variada sendo normalmente cinza-esbranquiçado a cinza-médio.

A composição química, como as da Sequência Litológica Morro Grande, também é magnésiana com teor de magnésio maior ou igual 19,1%, sendo a mineralogia composta basicamente por calcita e dolomita e subordinadamente por quartzo.

Nesses metadolomitos foi observada textura oolítica, visualizada apenas com microscópio ótico. Estratificações cruzadas foram observadas principalmente em intervalos que apresentam dissolução cárstica diferencial sendo que possuem uma

amplitude centimétrica em "sets" variando de 10 a 20 cm. O principal tipo é o acanalado. Nas rochas desta seqüência litológica foram observadas esteiras algais em alguns afloramentos corroborando assim a idéia de uma sistema deposicional carbonático plataformal raso.

Mármore dolomíticos

Apenas duas ocorrências de mármore dolomíticos foram observadas na área sendo elas nas pedreiras 13 a NE da área e pedreira 10 (anexo 3 - mapa geológico da região estudada) ao norte da área. Estas rochas encontram-se metamorfas apresentando recristalização de calcita e dolomita denominando-se assim mármore dolomíticos. A empresa autorizada a explorá-lo utiliza-o principalmente para cal e corretivo agrícola.

São rochas de coloração cinza-claro a esbranquiçada com níveis de coloração rosa de espessura métrica. Apresentam estrutura maciça, com incipiente orientação, textura granoblástica sacaroidal, ora equigranular, ora inequigranular e granulação fina a média.

A composição química é magnésiana. A rocha é composta basicamente por calcita e dolomita, poucos cristais de quartzo e traços de filossilicatos.

Possuem baixo grau de fraturamento, de espaçamento métrico, normalmente com preenchimento por calcita.

Textura oolítica foi observada apenas com microscópio ótico nos litotipos rosa da pedreira 13. Os oólitos possuem formato subesférico sem orientação preferencial, diâmetro máximo em torno de 0,4mm, raramente atingindo 0,5mm. De acordo com as características dos metadolomitos e mármore dolomíticos desta seqüência, pode-se concluir que estes se formaram em ambiente plataformal raso, em região mais próxima do continente em relação às rochas da Sequência Litológica Morro Grande que apresentam normalmente granulação mais fina e intercalação de níveis cinza-claro e cinza-escuro além da presença de estromatólitos colunares e não colunares.

Filitos

Os filitos da Sequência Litológica Rio Branco geralmente ocorrem como lentes nessa seqüência. Possuem basicamente as mesmas características dos filitos

da seqüência anteriormente descrita, no entanto a coloração destes varia de marrom claro a marrom avermelhado não sendo observado grafita.

Quartzitos

Os quartzitos desta seqüência apresentam coloração cinza-claro, de granulação fina a média, bem selecionados, na maioria das vezes friáveis com quartzo em níveis orientados definindo uma foliação. Possuem as mesmas características da Seqüência Litológica Morro Grande, no entanto ocorrem somente como lentes intercalados aos metadolomitos e associados às lentes filíticas. Estas lentes ocorrem com orientação preferencial E-W.

As conceituações finas, médias e grossas são empregadas normalmente para designar o tipo de granulação de sedimentos e rochas sedimentares de acordo com a classificação de Wentworth (1922). No entanto, optou-se por utilizar estes termos em ambas as seqüências litológicas, devido ao grau incipiente de metamorfismo atuante nestas rochas.

Diabásio

Tratam-se de rochas ígneas intrusivas maciças de coloração cinza-escuro, textura afanítica apresentando-se como diques de direção noroeste, com extensões médias quilométricas e espessuras decamétricas.

Apresentam textura afanítica a, de granulação fina, sendo compostas essencialmente por plagioclásio, piroxênio e magnetita.

Em campo, observaram-se poucas fraturas, ocasionalmente preenchidas por calcita.

Mica xistos - Grupo Setuva

Por não ser objeto de estudo deste trabalho, estas rochas não foram estudados com detalhe. De acordo com Fiori (1992), os xistos exibem colorações em tons acinzentados e avermelhados. Podem ser considerados como mica xistos e mostram alternâncias de níveis micáceos e quartzosos, de espessuras submilimétricas e milimétricas. O quartzo mostra-se normalmente recristalizado, disposto em filmes e em grãos *boudinados*.

Depósitos Aluvionares

Representados por sedimentos inconsolidados de idade holocênica, constituídos por argilas, siltes e areias. Ocorrem em vários locais da área, praticamente sobre todos os tipos litológicos, indistintamente, sob a forma de aluviões, sendo difícil avaliar sua espessura.

4.1.2 - Considerações sobre os elementos estruturais

O fato da área de estudo estar concentrada nos metadolomitos, de certa forma dificultou uma análise estrutural mais detalhada, visto que estas rochas comumente não desenvolvem planos de xistosidade, impedindo assim que se tenha uma quantidade significativa de medidas.

De acordo com Fiori (1990, 1992), os principais modelos tectônicos existentes apresentam um seqüenciamento da deformação que iniciaria a partir de cavalgamentos de provável sentido SE, passando ao final para acomodação dos últimos pulsos de movimentação sob a forma de zonas de cisalhamento transcorrentes dextrais.

O contexto geológico-estrutural da região de estudo é caracterizado por estar inserido em amplas sinformes e antiformes, sendo as principais a Sinforme de Morro Grande e a Antiforma de Setuva. Essas megaestruturas, assim como a distribuição das unidades representadas em parte da Formação Capiru, podem ser visualizadas na figura 9, na qual a área estudada apresenta-se polideformada, sendo que as diversas fases deformacionais podem ser relacionadas a três principais eventos de deformação, por analogia à proposta de Fiori (1989).

- a) O mais antigo está relacionado a uma tectônica de cavalgamento, que causou generalizada aloctonia no Grupo Açungui e estruturas como falhas de cavalgamento, dobras-falhas, foliações S_1 (geralmente paralela a S_0) que no conjunto, constituem o Sistema de Cavalgamento Açungui (Fiori, 1991, 1992).
- b) O segundo evento deformacional que atingiu o Grupo Açungui, refere-se a um generalizado dobramento das estruturas anteriormente formadas. As estruturas formadas nesta oportunidade constituem o Sistema de Dobramento Apiaí (Fiori & Gaspar, 1993).

- c) O terceiro diz respeito a uma tectônica transcorrente dextrógrá, pertencentes ao Sistemas de Transcorrência Lancinha.

Foi realizada uma revisão dos dados estruturais na Região de Morro Grande, sendo esses dados associados aos próprios dados obtidos na área estudada, visando correlacionar as principais atitudes com as descrições de afloramentos.

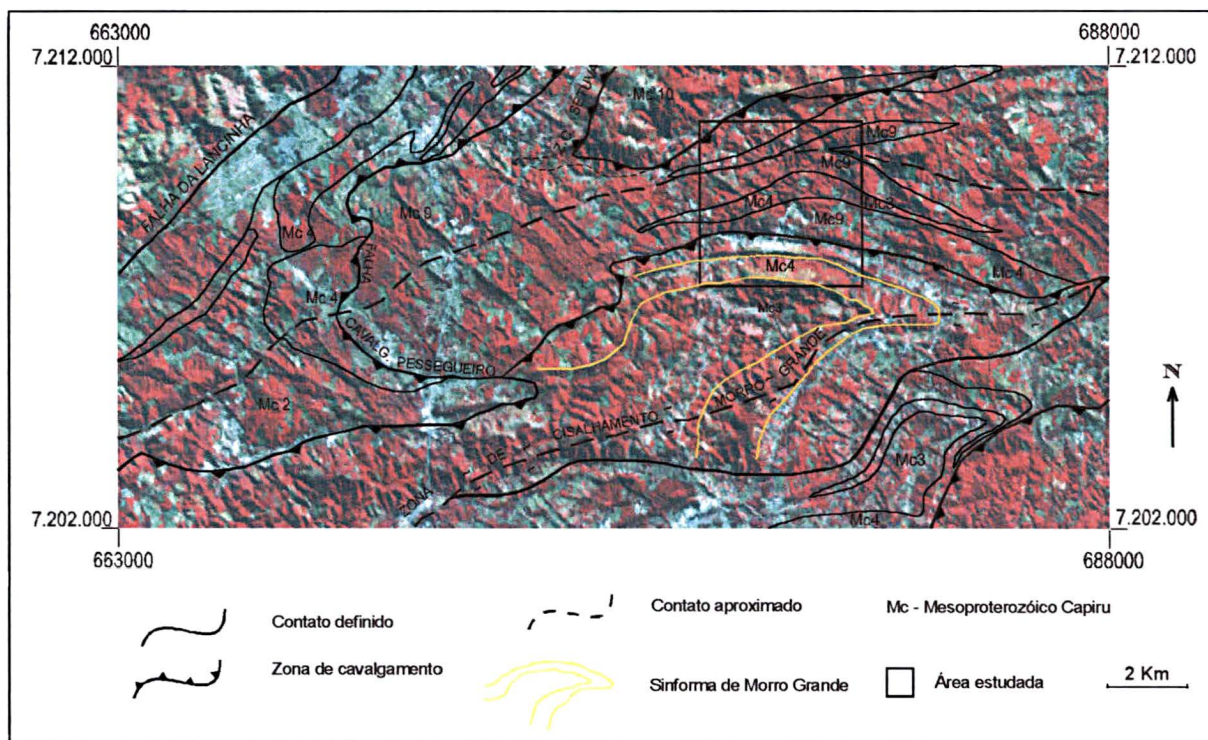


Figura 9 - Contexto geológico regional, exibindo as principais unidades geológicas definidas por CPRM (1998). Na imagem de satélite Landsat 5 - (RGB 543) podem se visualizadas as megaestruturas com destaque para a área estudada.

Assim realizou-se uma análise descritiva das principais estruturas tectônicas com sua posição espacial, sua geometria e as relações entre os elementos estruturais. Procurando compreender os tipos de movimentos e esforços envolvidos na deformação destas rochas e a caracterização das principais fraturas, dobramentos e foliações, esse trabalho permitiu a elaboração de estereogramas das seqüências litológicas Morro Grande e Rio Branco de maneira separada, visto que são unidades distintas do ponto de vista litológico e deposicional.

A seguir, pode-se verificar os estereogramas de atitudes de fraturas (diagramas de rosetas) da Sequência Litológica Rio Branco (figura 10). Procurou-se realizar uma análise destes sistemas de fraturamento, com atenção ao seu

preenchimento ou não, e de veios, com o objetivo de verificar se estas estruturas de alguma forma interferiram na distribuição espacial das substância químicas.

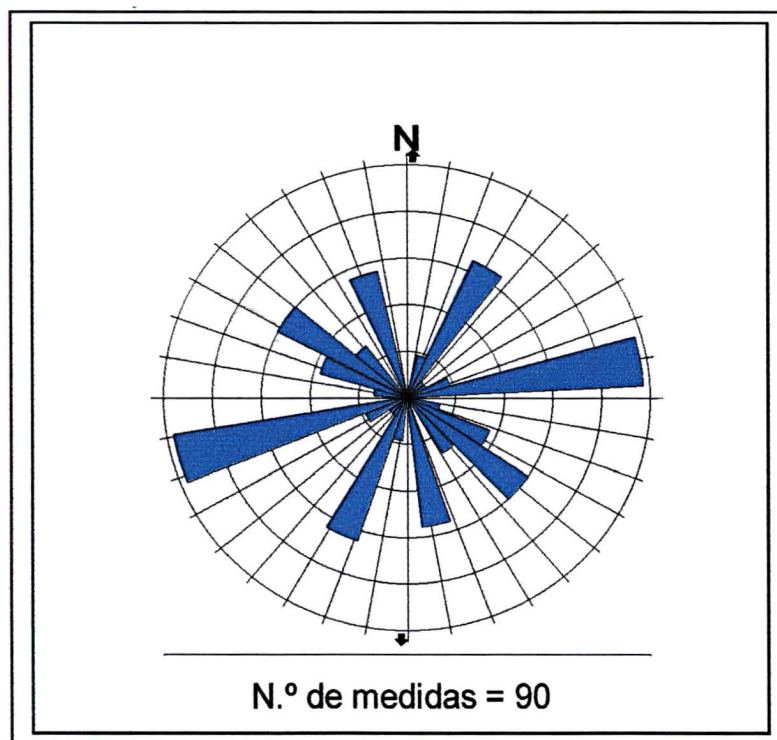


Figura 10 - Estereograma de fraturas (rosetas) para as atitudes da Seqüência Litológica Rio Branco.

De acordo com a somatória dos dados de fraturas da SLRB, pode-se observar atitudes de maior concentração de medidas de direção N80E e N70W que em campo possuem mergulhos acentuados, em torno de 80°, geralmente para SE. Estas direções poderiam estar relacionadas à juntas transversais geradas por dobramentos regionais. Foram observadas, localmente na pedreira 5, um intenso fraturamento de direção N65-70°E. Estas fraturas estão preenchidas por quartzo o que ocasiona a má qualidade do material lavrado. Estas fraturas podem estar relacionadas à zona de falhamento de escala regional que atravessa a área na direção E-W . Muito provavelmente esse fraturamento condicionou uma percolação de elementos químicos como CaO, MgO e principalmente de SiO₂ nos metadolomitos.

Ainda na SLRB, no noroeste da área há o contato dos metadolomitos com rochas do Grupo Setuva representada pela Antiforma do Setuva. Esse limite se faz

pela Falha do Antiforma do Setuva sendo essa uma falha de cavalgamento com movimento para sul (Fiori, 1992). O Antiforma do Setuva ocupa uma área de cerca de 200 km², com o fechamento voltado para sudoeste, sendo facilmente identificável em fotografias aéreas.

Seqüência Litológica Morro Grande

Esta seqüência litológica está separada da Seqüência Litológica Rio Branco pela Falha de Cavalgamento do Pessegueiro. Em campo, esta falha caracteriza-se por uma densa foliação cataclástica, que pode ser reconhecida na camada de quartzito no limite norte da sinforme de Morro Grande.

A figura seguinte (figura 11), mostra o estereograma composto pelas medidas de atitudes da xistosidade (S_1) que, nos metadolomitos, se encontra geralmente subparalela ao acamamento primário (S_0), que neste último caso é representado pelas intercalações de níveis centimétricos de coloração cinza-claro e cinza-escuro.

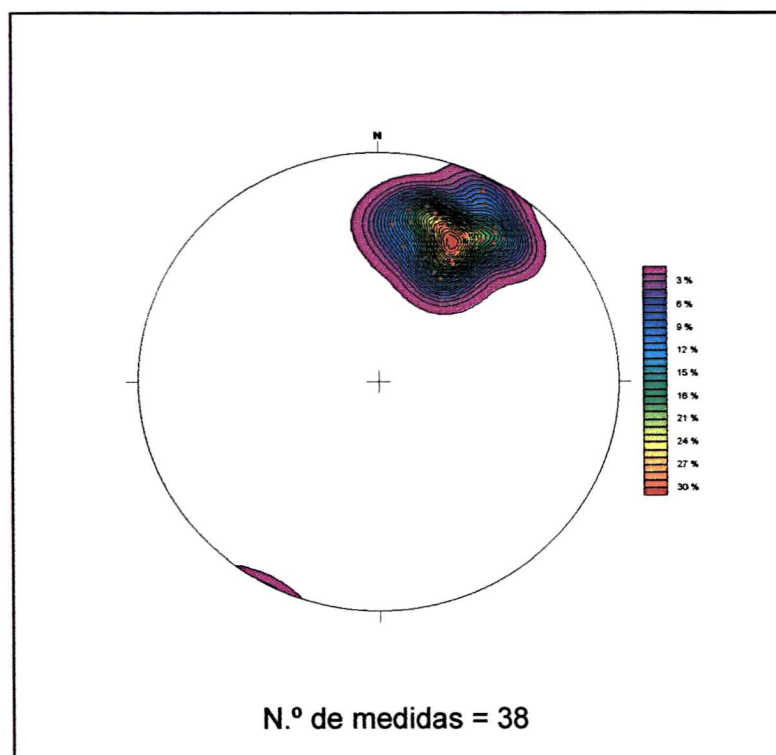


Figura 11 - Estereograma composto pela somatória dos dados para a xistosidade (S_1) na Seqüência Litológica Morro Grande.

O estereograma para a foliação S_1 , mostra atitudes predominantes de direção NE-SW, com alto ângulo de mergulho, não evidenciando dobramentos, possivelmente em função da área localizar-se no flanco da Sinforme de Morro Grande que pode ser visualizada na figura 12.

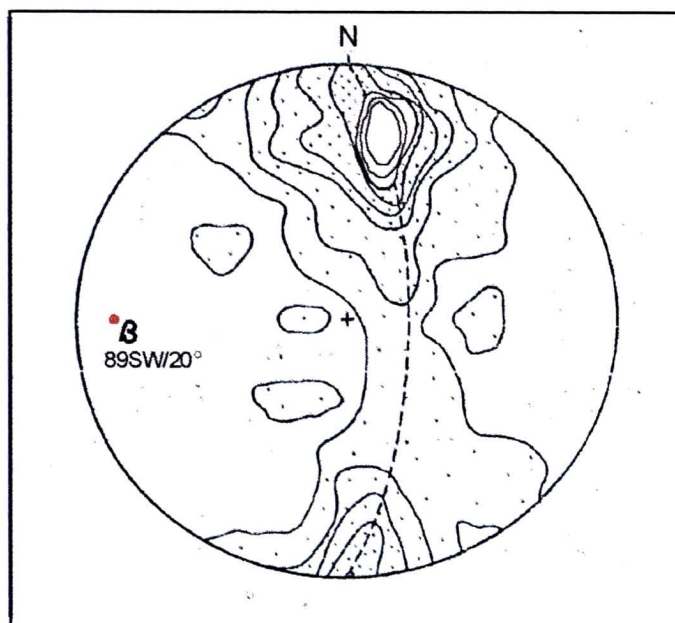


Figura 12 - Estereograma regional da Sinforme Morro Grande (Fonte: Fiori, 1990).

O diagrama de pólos de S_1 mostra uma distribuição em guirlanda, com eixo β de atitude $89SW/20^\circ$ que concorda com a forma mapeada da estrutura. Trata-se de uma dobra isoclinal ou fechada, com ângulo inter-flancos da ordem de $25-30^\circ$.

A Sinforme de Morro Grande representa a estrutura mais conspícua na região. Ocupa uma área de cerca de 60 km^2 e apresenta seu flanco sul truncado pela Falha de Morro Grande, o qual é evidenciado em imagens de satélites e fotografias aéreas.

Forma um amplo V com o fechamento voltado para leste, sendo constituída por filitos e camadas de quartzitos intercalados.

Esta falha apresenta um traço axial suavemente curvo e com direção aproximada $N60E$. O eixo mergulha para sudoeste no sentido da abertura do V, caracterizando assim uma estrutura sinformal.

No campo, as unidades litológicas associadas à sinforme apresentam duas foliações distintas. A primeira e principal é uma foliação do tipo clivagem ardosiana (S_1), que caracteriza-se por uma disposição paralela a subparalela ao acamamento

sedimentar (S₀), e a segunda uma foliação do tipo clivagem de crenulação (S₂), nos filitos, e clivagem de fratura, nos metadolomitos (tabela 6).

Seqüência Litológica Morro Grande

FOLIAÇÕES	FILITOS	METADOLOMITOS
S ₁ /S ₀	Clivagem ardosiana marcante	Clivagem ardosiana incipiente nos níveis mais argilosos
S ₂	Clivagem de crenulação	Clivagem de fratura espaçada

Tabela 6 - Tabela mostrando os tipos de foliações e suas relações com as unidades litológicas da Sequência Litológica Morro Grande.

A clivagem ardosiana (S₁), com desenvolvimento preferencial de filossilicatos está associada à fase mais antiga de cavalgamento, no caso ao Sistema de Cavalgamento Açungui. Posteriormente, esta foliação sofreu dobramento heterogêneo generalizado, associado ao segundo evento de deformação que atingiu o Grupo Açungui no caso o Sistema de Dobramento Apiaí.

Devido a constituição mineralógica, a clivagem de crenulação é melhor desenvolvida nos filitos, e, nos metadolomitos é representada por uma clivagem de fratura (S₂) (figura 13). De acordo com o estereograma, pode-se observar uma concentração de medidas de direção N20-30°W que em campo apresentam mergulhos em torno de 45°.

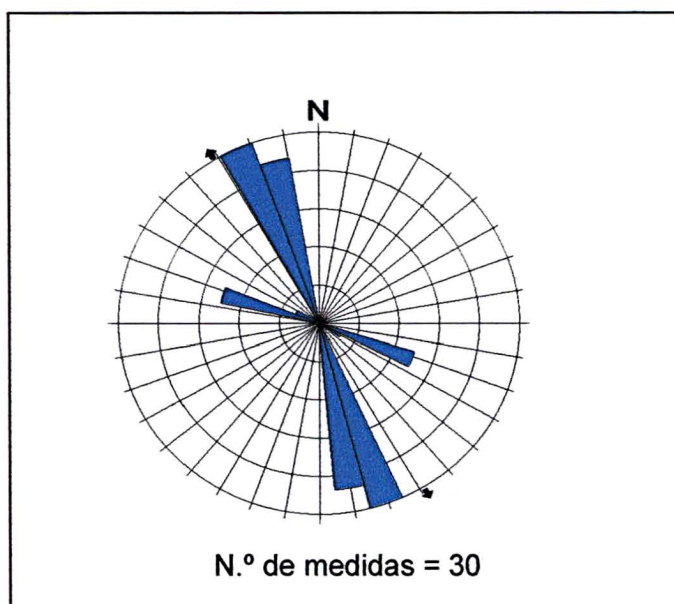


Figura 13 - Estereograma das atitudes de clivagem de fratura (S2) medidas nos metadolomitos da Seqüência Litológica Morro Grande

A Sinforme de Morro Grande é uma estrutura complexa, conforme pode-se ver no mapa geológico-estrutural (anexo 3). Trata-se de uma dobra-falha, fechada a isoclinal, cujo o plano axial inclina-se para sudeste.

Na figura 14 é mostrado o perfil esquemático da Sinforme de Morro Grande onde observa-se o plano axial B1, gerado durante a fase de cavalgamento (F1) redobrado na fase F2 (Sistema de Dobramento Apiaí) gerando o plano axial B2.

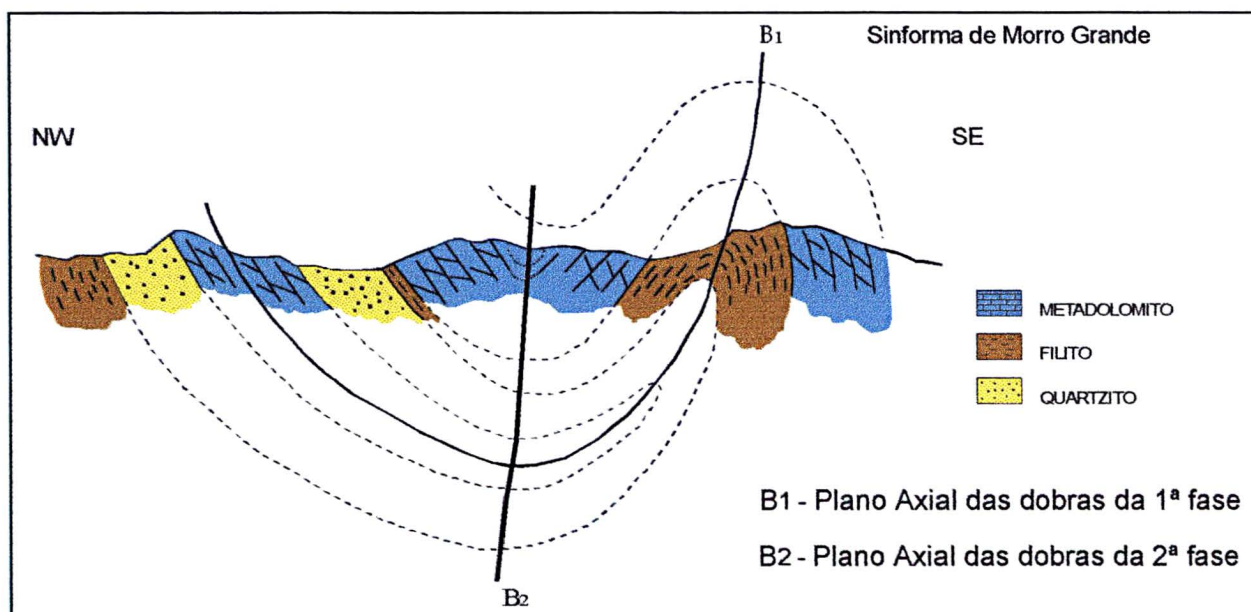


Figura 14 - Perfil esquemático da Sinforma de Morro Grande, mostrando as duas fases de dobramento, com os respectivos planos axiais B1 e B2.

CAPÍTULO 5

5.1 - LITOESTRATIGRAFIA E A EXPLOTAÇÃO

Na Região de Morro Grande existem empresas de mineração de pequeno e médio porte, as quais exploram os metadolomitos sobretudo para utilização como corretivo agrícola e cal para construção civil, além de utilizá-lo de maneira mais restrita como "*petit pavet*".

As frentes de lavra na região são abertas aleatoriamente, e, sem muita preocupação com a caracterização prévia de mineralogia, forma e dimensões dos corpos metadolomíticos, a rocha é lavrada e analisada, só então o minerador prossegue na exploração ou abandona esta frente.

De acordo com a proposta inicial de se caracterizar critérios exploratórios para os metadolomitos da área, realizou-se o estudo das lavras mais exploradas, na tentativa de compreender o controle litoestratigráfico através de características geológicas. Esta análise consistiu primeiramente na separação em litotipos e descrição detalhada dos corpos metadolomíticos, seguida de associação de fácies e discussão dos possíveis processos e sistemas deposicionais.

O levantamento das seções estratigráficas foi realizado nas seqüências litológicas Morro Grande (três seções) e Rio Branco (cinco seções) de maneira separada por tratarem-se de seqüências distintas (figura 15).

Os litotipos foram individualizados pela constituição litológica, granulação, textura, forma dos corpos rochosos, estruturas sedimentares, mineralogia e coloração de acordo com suas características distintas.

Para escolha dos locais das seções, inicialmente foi realizada uma abordagem geral da área. A seguir, as pedreiras foram escolhidas de acordo com sua localização, a qualidade do material explotado e a distribuição na área de estudo.

Na elaboração das seções, teve-se o cuidado maior, por tratar-se de terrenos proterozóicos, com uma tectônica deformadora complexa. Isso de certa forma torna-se um fator complicador para o trabalho, no entanto o detalhamento litológico

permitiu estudar de maneira coerente os níveis metadolomíticos mais explorados da área.

Os níveis preferencias são os que apresentam menores teores de quartzo, de acordo com a análise petrográfica e posteriormente uma análise química mais criteriosa revelou os níveis com maiores teores cálcio e magnésio e menores teores de resíduo insolúvel como os mais indicados para usos como corretivo agrícola e cal.

A seguir, é mostrada a relação entre as seções representativas de cada litotipo e as correlações litoestratigráficas desses litotipos para as seqüências litológicas Morro Grande (figura 16) e Rio Branco (figura 17).

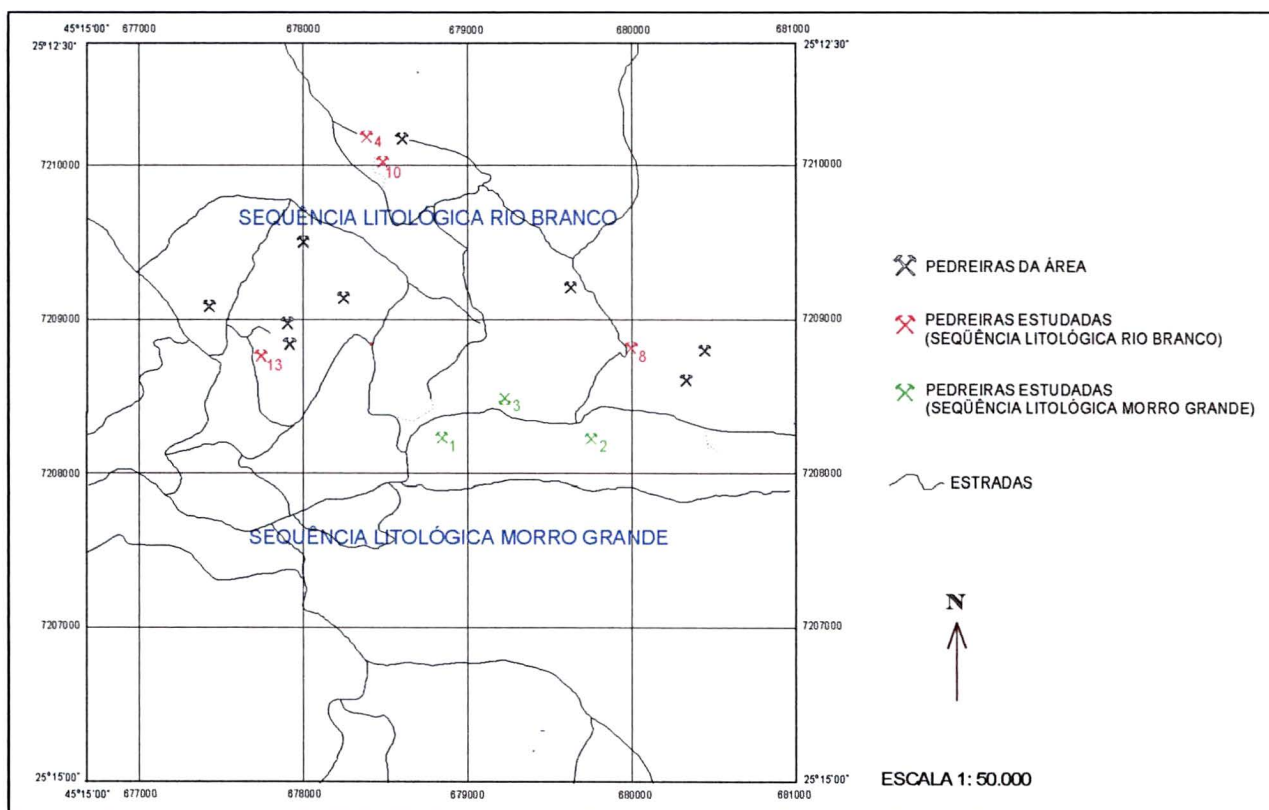


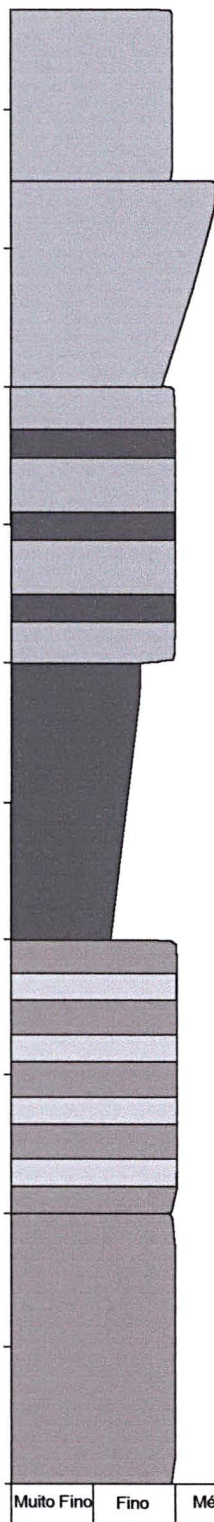
Figura 15 - Mapa de localização das principais pedreiras. Destaque (verde e vermelho) para as pedreiras estudadas com detalhe.

SEQUÊNCIA LITOLÓGICA MORRO GRANDE

PEDREIRA 1 - COTA 1000 metros

UTM - 678.880

7.208.174



Litotipo F - aproximadamente 3m de espessura. Rocha de coloração cinza claro, granulação fina pouco fraturada e homogêneo. Nível utilizado preferencialmente para cal.

Litotipo E - aproximadamente 3m de espessura. Rocha de coloração cinza-claro, granulação fina a média.

Litotipo D - aproximadamente 4m de espessura. Rocha de coloração cinza-claro, com intercalação de níveis centimétricos de coloração cinza-escuro, definindo o acamamento (S0) com atitudes de N80W / 65SW e N70W / 62SW.

Litotipo C - aproximadamente 4m de espessura. Rocha de coloração cinza-escuro, textura granoblástica e granulação muito fina a fina, estrutura maciça e aspecto homogêneo.

Litotipo B - aproximadamente 4m de espessura. Rocha de coloração cinza-médio com intercalação de níveis esbranquiçados definindo o acamamento (S0). Granulação fina, textura granoblástica, clivagem de fratura com espaçamento centimétrico, evidenciando uma provável foliação S2. Veios de quartzo acompanham o acamamento.

Litotipo A - aproximadamente 4m de espessura. Rocha de coloração cinza-médio, granulação fina, textura granoblástica e clivagem de fratura evidenciando uma provável foliação S2.

SEQUÊNCIA LITOLÓGICA MORRO GRANDE

PEDREIRA 2 - COTA 990 metros

UTM - 679.764

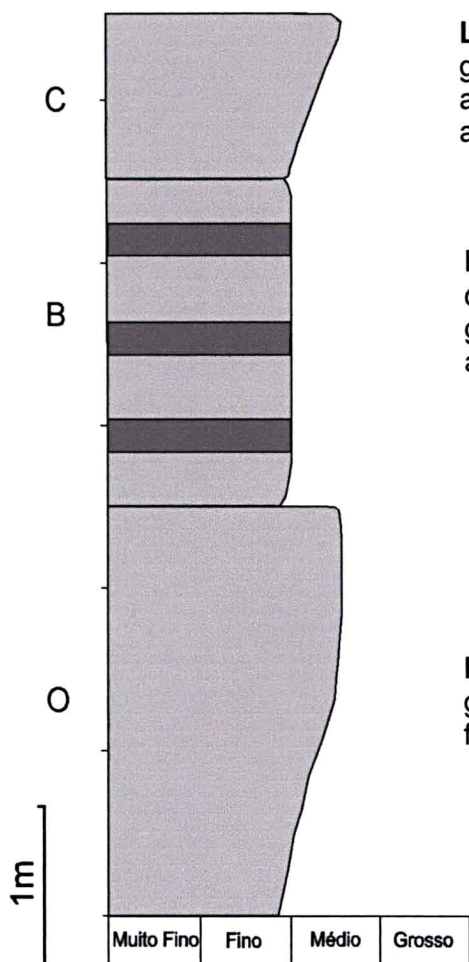
7.208.133



SEQÜÊNCIA LITOLÓGICA MORRO GRANDE

PEDREIRA 3 - COTA 980 metros

UTM: 679.400
7.208.437



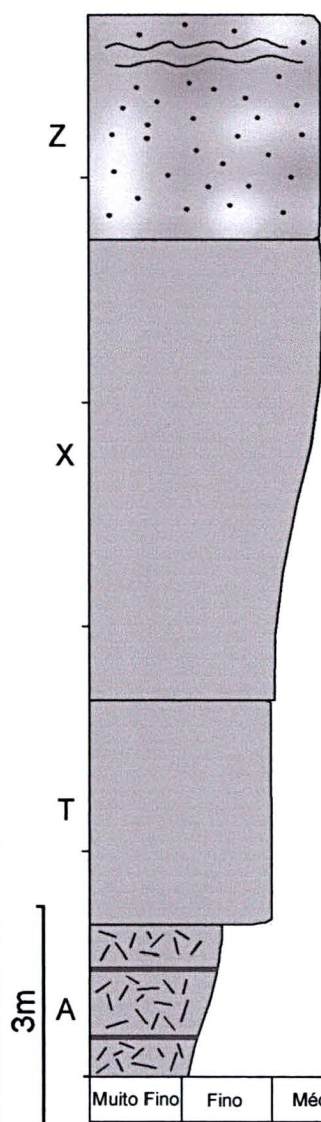
Litotipo C - rocha de coloração cinza claro, textura granobástica, granulação fina e ocorrência de esteiras algais em níveis milimétricos. Apresenta espessura aproximada de 1m.

Litotipo B - rocha de coloração cinza-claro com intercalação de níveis decimétricos de coloração cinza escuro, textura granoblástica, granulação fina e estrutura maciça. Espessura aprox da camada - 2m e granulação fina.

Litotipo O - rocha metadolomítica de coloração cinza-claro, granulação fina a média, textura granoblástica, pouco fraturada. Apresenta espessura de aproximada de 2,5m..

SEQÜÊNCIA LITOLÓGICA RIO BRANCO

PEDREIRA 4 - COTA 980 metros
 UTM : 678.370
 7.210.200



Litotipo Z - aproximadamente 3m de espessura. Rocha de coloração cinza-claro a esbranquiçado, textura granoblástica equigranular sacaroidal, granulação média. O contato com o nível inferior (nível C) é discordante, separado por um nível milimétrico de rocha de coloração esverdeada (zona de falha) com presença de carbonato, quartzo, e epidoto(?). Observa-se próximo ao topo estratificação cruzada com set centimétrica (aprox. 15cm) e estrutura em *ripple* sin-deposicional.

Litotipo X - aproximadamente 6m de espessura. Rocha de coloração cinza-claro, granulação fina a média. Observa-se níveis milimétricos de quartzo finamente cristalizados e porções de coloração rosa (carbonato de manganês). Próximo ao topo desse nível, foi observado dissolução cárstica com fina camada de recristalização de calcita.

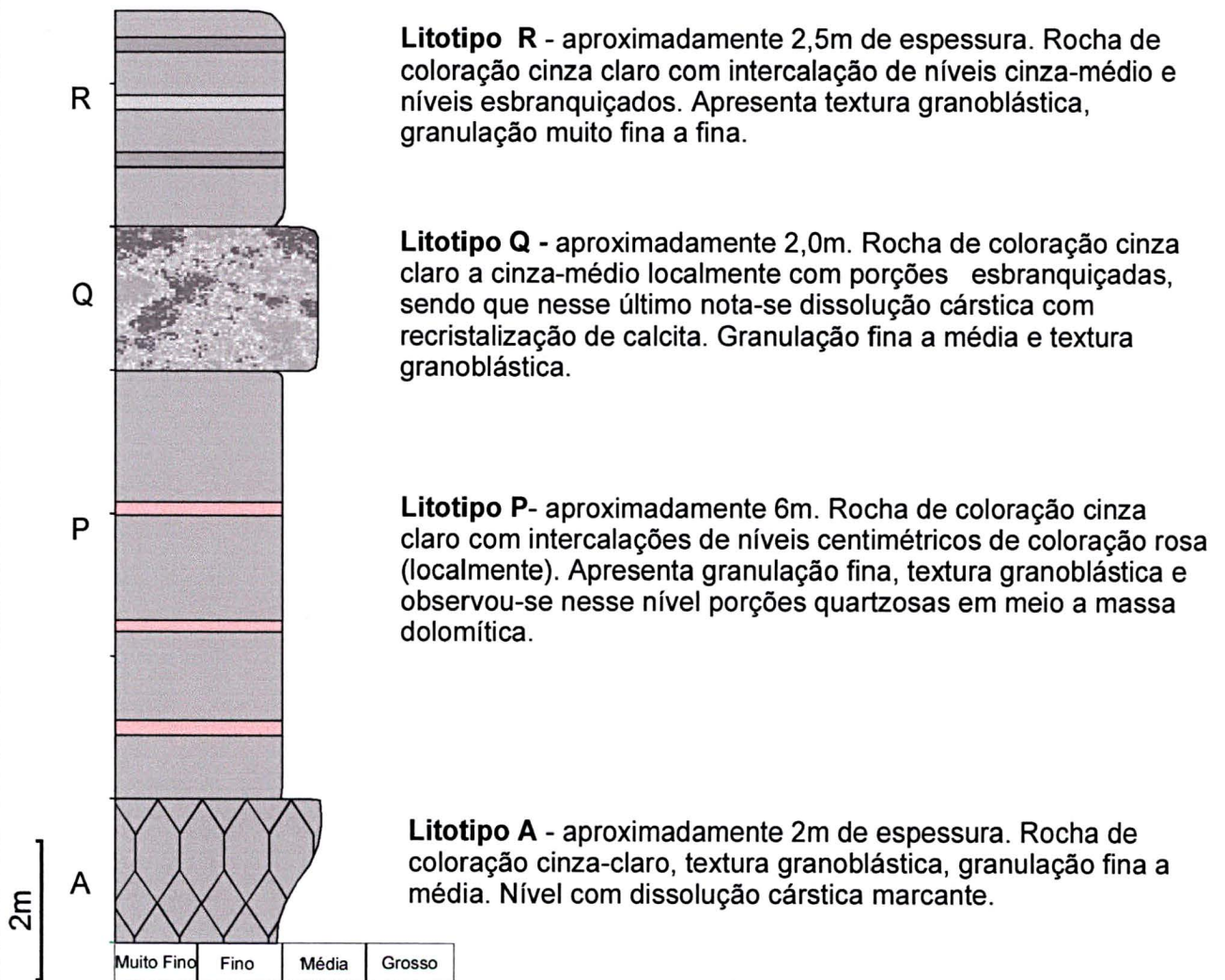
Litotipo T - aproximadamente 3m de espessura. Rocha de coloração cinza-claro, granulação fina, estrutura maciça e homogênea.

Litotipo A - aproximadamente 2,5m de espessura. Rocha de coloração de cinza-claro com intercalação de níveis cinza-escuro e níveis milimétricos de quartzo finamente cristalizados ; granulação muito fina a fina, textura granoblástica e apresenta-se intensamente fraturada.

Muito Fino	Fino	Médio	Grosso
------------	------	-------	--------

SEQÜÊNCIA LITOLÓGICA RIO BRANCO

PEDREIRA 8 - COTA 970 metros
UTM : 680.000
7.208.800

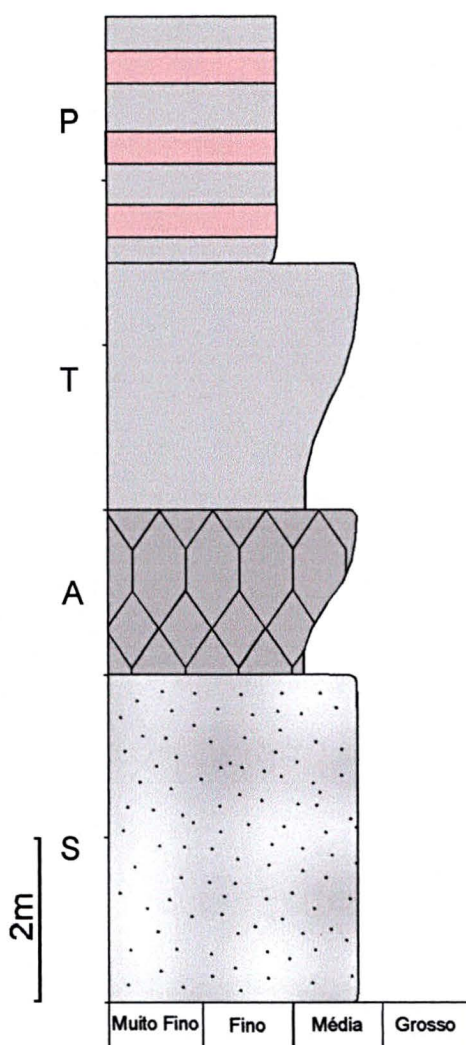


SEQÜÊNCIA LITOLÓGICA RIO BRANCO

PEDREIRA 10 COTA 970 metros

UTM: 678.657

7.210.134



Litotipo P - aproximadamente 3,5m de espessura. Rocha de coloração cinza-claro a esbranquiçado, textura granoblástica, granulação fina. Observou-se níveis centimétricos e até métricos de metadolomito de coloração rosa muito marcante. Em algumas porções, notou-se uma intercalação incipiente de níveis de coloração cinza-claro.

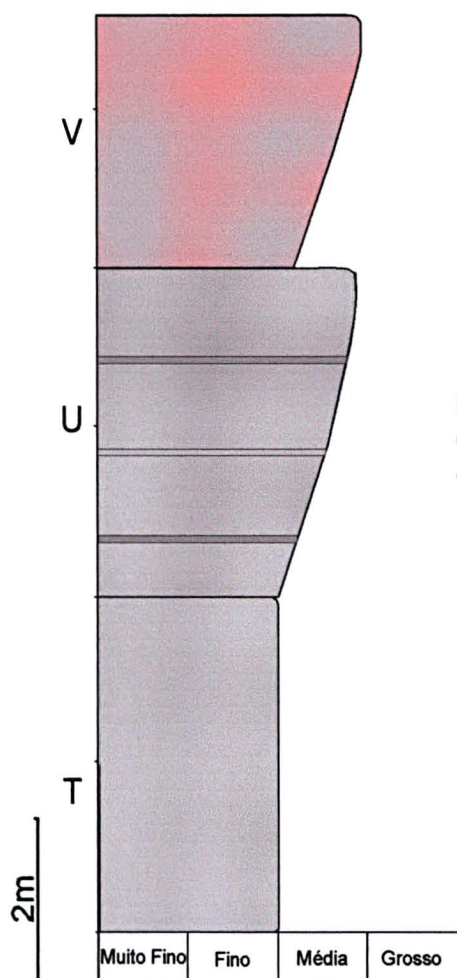
Litotipo T - aproximadamente 3m de espessura. Rocha de granulação fina a média, textura granoblástica, estrutura maciça, coloração cinza-claro, homogênea. Nenhuma estrutura primária observada.

Litotipo A - aproximadamente 2m de espessura. Rocha de coloração cinza claro, textura fina a média, sacaroidal, textura granoblástica. Apresenta dissolução cárstica e estratificação cruzada. Não apresenta continuidade lateral e o contato é discordante com os níveis A e C.

Litotipo S- aproximadamente 4m de espessura. Rocha de coloração cinza-esbranquiçado, incipiente foliação, granulação média (calcarenito) com concentrações de rodocrosita e níveis milimétricos de quartzo bem recristalizados. Nota-se intercalações muito incipientes de níveis cinza-claro de espessura milimétrica.

SEQÜÊNCIA LITOLÓGICA RIO BRANCO

PEDREIRA 13 COTA 970 metros
UTM : 677.785
7.208.690



Litotipo V - aproximadamente 3m de espessura. Rocha de coloração cinza-claro a rosa, granulação fina a média, recristalização de calcita em níveis milimétricos a centimétricos. Nível com presença de dissolução cárstica

Litotipo U- aproximadamente 4m de espessura. Rocha de coloração cinza-claro, granulação fina a média, sacaroidal. Apresenta bandamento rítmico onde observou-se intercalação de níveis de coloração cinza-médio e cinza-claro

Litotipo T - aproximadamente 4m de espessura. Rocha de coloração cinza-claro com porções de coloração marrom. Estrutura maciça, granulação fina textura granoblástica. Apresenta estrutura parecida com carga ou convoluções (?). Contato gradual com o nível superior.

CORRELAÇÃO LITOESTRATIGRÁFICA - SEQÜÊNCIA LITOLÓGICA MORRO GRANDE

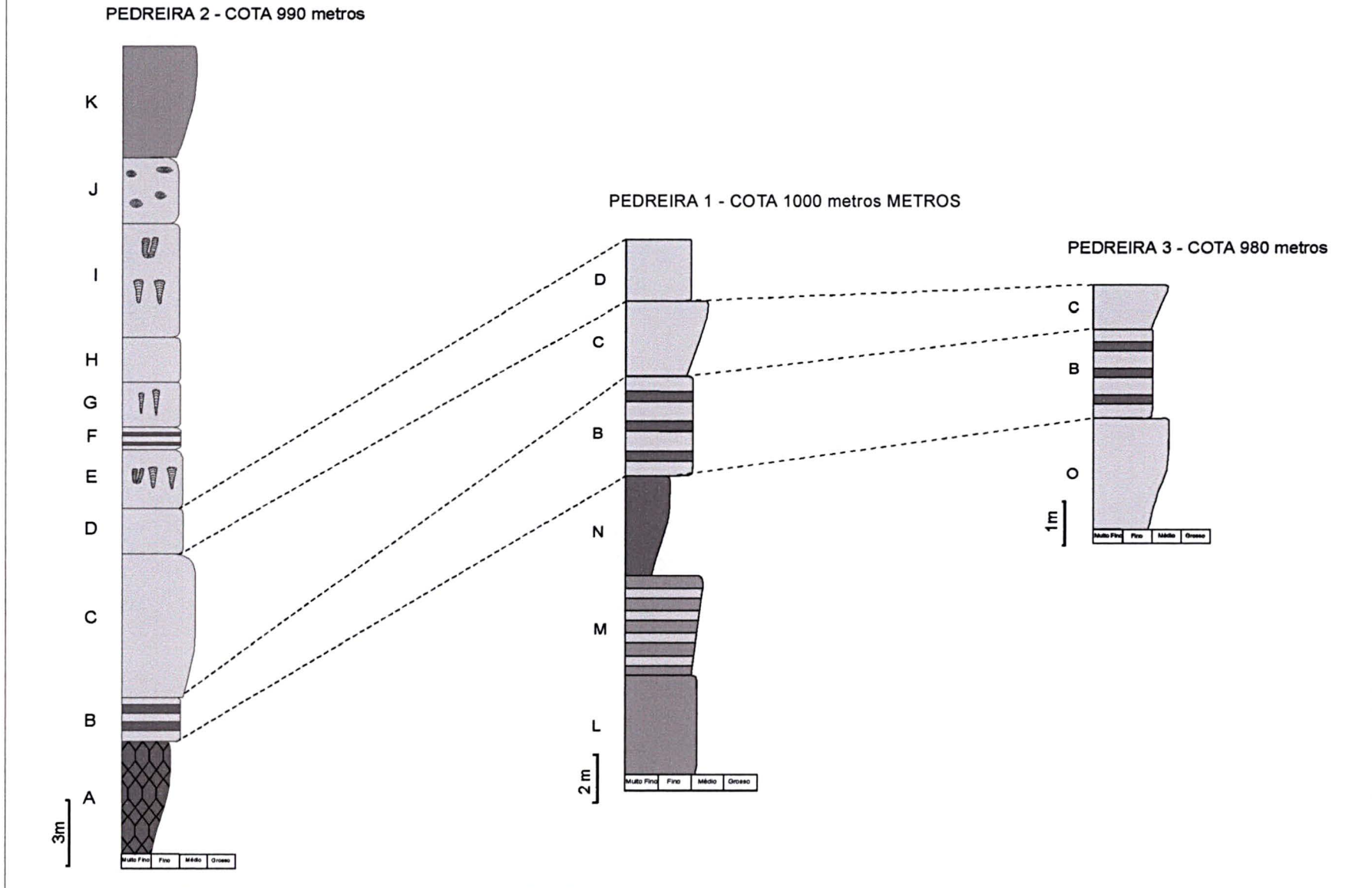


Figura 16 - Correlação litoestratigráfica entre as pedreiras da Seqüência Litológica Morro Grande.

CORRELAÇÃO LITOESTRATIGRÁFICA - SEQÜÊNCIA LITOLÓGICA RIO BRANCO

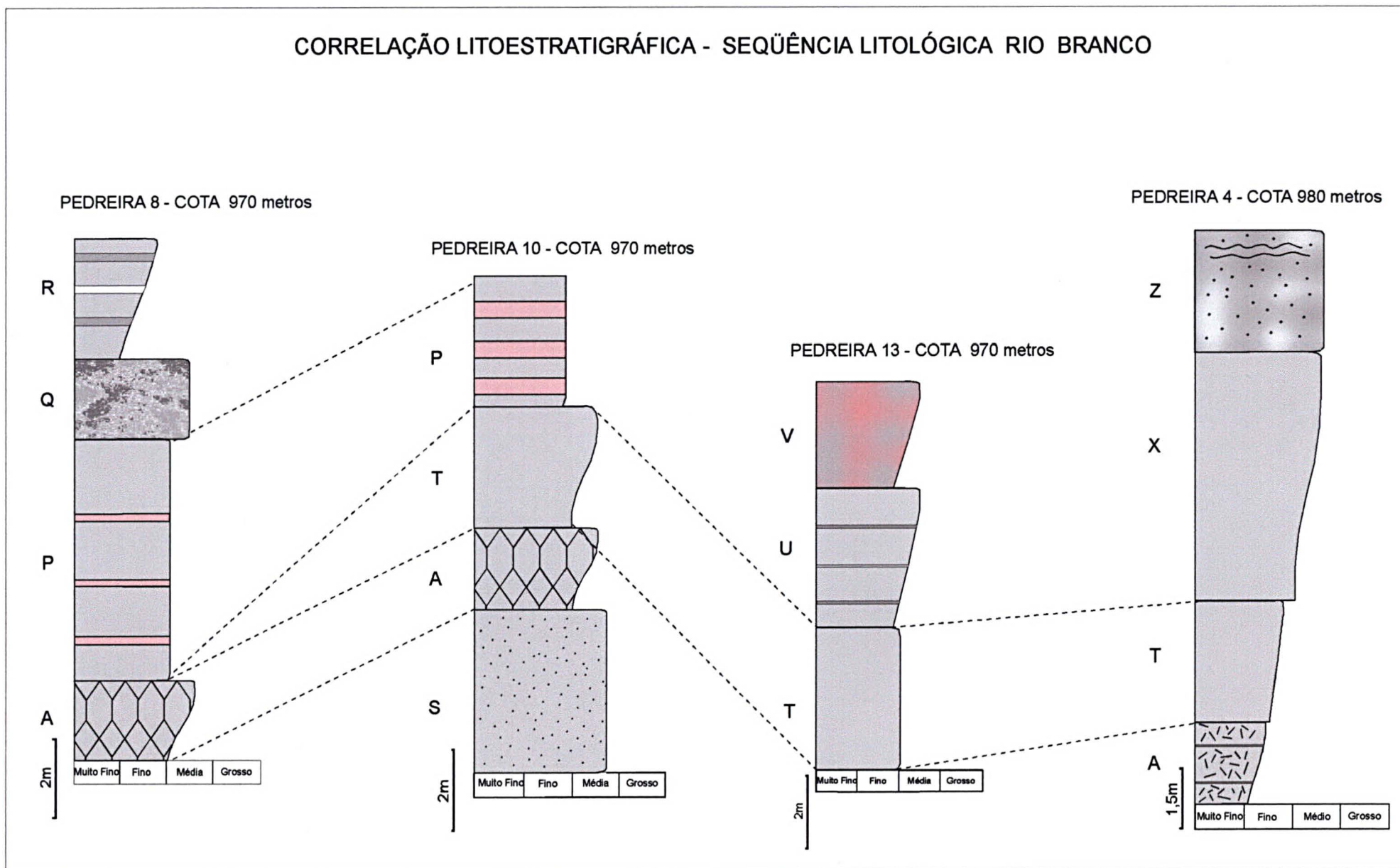


Figura 17 - Correlação litoestratigráfica entre as pedreiras da Seqüência Litológica Rio Branco.

As conceituações finas, médias e grossas são empregadas normalmente para designar o tipo de granulação de sedimentos e rochas sedimentares de acordo com a classificação de Wentworth (1922). No entanto, optou-se por utilizar estas designações em ambas as seqüências, devido a origem sedimentar das rochas estudadas e ao grau incipiente de metamorfismo que atuou nas unidades litológicas.

Analisando as seções apresentadas, pode-se concluir que existem diferenças litoestratigráficas e exploratórias entre os litotipos das seqüências litológicas Morro Grande e Rio Branco

Quanto ao número de pedreiras analisadas em detalhe, pode-se considerar um número suficiente para definir as seqüências litológicas neste trabalho.

Do ponto de vista deposicional, ambas as seqüências se originaram em ambiente plataformal raso, no entanto a Seqüência Litológica Morro Grande se depositou em um ambiente intermaré, mais distal da costa, evidenciado pela presença de estruturas estromatolíticas e ocorrência de matéria orgânica em suas litofácies. A Seqüência Litológica Rio Branco muito provavelmente se depositou em ambiente de inframaré, próximo à costa com ocorrência de oólitos e estratificação cruzada e aumento na granulação das rochas além da exclusão das estruturas estromatolíticas.

Do ponto de vista exploracional, ambas as seqüências litológicas são exploradas tanto para o fabrico de cal quanto para corretivo de solo.

No entanto, a relação entre a litoestratigrafia e a exploração demonstrou uma maior preferência das empresas mineradoras pelas pedreiras da Seqüência Litológica Morro Grande. Isto pode ser explicado pelo maior número de tipos litológicos descritas nas pedreiras e por conseqüência maior espessamento de material lavrável, além do nível com dissolução cárstica praticamente inexistir nesta seqüência litológica.

Na Seqüência Litológica Rio Branco, foram observados um número menor de litotipos em cada pedreira, estreitamento do corpo mineral explorado, maior ocorrência de intervalos com dissolução cárstica, aumento da granulação da rocha o que a torna mais friável, sendo utilizadas normalmente para uso como corretivo agrícola.

CAPÍTULO 6

APLICAÇÃO DA PETROGRAFIA E LITOGEOQUÍMICA NA EXPLORAÇÃO DOS METADOLOMITOS

6.1 - ANÁLISE PETROGRÁFICA DOS METADOLOMITOS DA REGIÃO DE MORRO GRANDE

Com base em mapeamento e na construção das seções colunares nas pedreiras em atividade, foram realizados estudos petrográficos dos litotipos nas pedreiras mais representativas, principalmente do ponto de vista de tamanho, volume de material explotado e a variação de litotipos descritos.

A determinação do tipo de carbonato nos diferentes tipos litológicos foi realizado através da colorimetria que visa a distinção da calcita e dolomita. Este método, descrito no capítulo 2, por apresentar baixo custo, pode ser facilmente aplicado em seções delgadas sem lamínula e utilizado pelas empresas de mineração, uma vez que possibilita a contagem do número de cristais de dolomita e calcita recalculando o percentual dos óxidos de cálcio e magnésio presentes na rocha. Este método mostrou-se eficiente após a comparação com os resultados geoquímicos apresentando uma margem de erro muito baixa.

A análise petrográfica revelou que os metadolomitos são constituídos basicamente de cristais de dolomita, calcita e quartzo. A contagem dos cristais de carbonato foi realizada através de análise colorimétrica e petrográfica.

Seqüência Litológica Morro Grande

Na SLMG foi realizado o levantamento estratigráfico de três pedreiras, enquanto que as análises petrográfica e colorimétrica através de seções delgadas, foram realizadas nas duas mais representativas em termos de tamanho, volume de material explotado e variação dos tipos litológicos – pedreiras 1 e 2 .

Pedreira 1

Nesta pedreira foi descrita detalhadamente seis litotipos, apresentando as seguintes características:

Litotipo L – a rocha é composta exclusivamente de calcita e dolomita. Esses cristais possuem tamanhos diferenciados. Os primeiros são submilimétricos com aproximadamente 0,1 mm de diâmetro e compõem a matriz da rocha. A dolomita apresenta tamanho em torno de 0,5 mm e formam aglomerados em meio ao material mais fino. Apresentam níveis de coloração cinza-escuro, provavelmente matéria orgânica ou argilominerais. A textura é glomeroblástica e a estrutura maciça. De acordo com a técnica de colorimetria seletiva dos carbonatos em seções delgadas para este litotipo, a contagem mostrou cerca de 96% de dolomita e 4% de calcita.

Litotipo M - rocha composta de calcita, dolomita e quartzo. Apresenta como característica mineralógica o tamanho dos cristais recristalizados de dolomita, que variam de 0,25 mm até 0,80 mm e estão situados em níveis preferenciais na rocha caracterizando uma xistosidade fina a moderada. Os cristais submilimétricos de quartzo ocorrem ora compondo a matriz, associados aos carbonatos, ora em finos níveis orientados, preenchendo fraturas na rocha. A textura é granoblástica. Corresponde a um ótimo nível para exploração, podendo ser utilizado para o fabrico da cal e corretivo agrícola. Também para este litotipo, a análise colorimétrica mostrou 92% de dolomita e 8% de calcita.

Litotipo N – a rocha é composta de dolomita e calcita inequigranulares com tamanhos que oscilam entre 0,15 mm até 0,25 mm, sendo que os cristais de tamanhos menores compõem a matriz da rocha. Basicamente compõe-se de 97% de carbonato e 3% de quartzo, sendo que esses formam aglomerados ou ocorrem preenchendo pequenas fraturas na rocha. A textura é granoblástica e a estrutura maciça. Quanto a análise colorimétrica, a contagem mostrou cerca de 94% de dolomita e 6% de calcita. Observam-se alguns níveis cinza-escuros na lâmina representando uma concentração de matéria orgânica e/ou argilominerais com traços de grafita. Essa rocha é utilizada tanto para cal quanto para corretivo de solo.

Litotipo B – macroscopicamente esse rocha apresenta granulação fina, pouco fraturada. Apresenta-se bandada, representada pela intercalação de níveis centimétricos de coloração cinza-claro e cinza-escuro, definindo o acamamento sedimentar. A rocha apresenta 95% de carbonato e 5% de quartzo. De acordo com a análise colorimétrica, esse litotipo apresenta 93% de dolomita 7% de calcita. Os carbonatos estão recristalizados com tamanho em torno de 0,10 mm, compondo a matriz da rocha e associados aos cristais de quartzo equigranulares e subédricos.

Observa-se ainda dolomita com tamanho aproximado de 0,3 mm, dispostos em aglomerados ou apenas dispersos em meio a cristais menores. Apresentam níveis escuros provavelmente de matéria orgânica e/ou argilominerais.

Litotipo C – esse litotipo é composto por carbonatos submilimétricos com tamanho aproximado de 0,1 mm, compondo a matriz da rocha. Apresentam-se normalmente recristalizados. Os carbonatos de tamanhos maiores com cerca de 0,40 a 0,50 mm apresentam-se em aglomerados com contato poligonal (120°) típico de rochas metamórficas (imagem micrográfica 2). Textura glomeroblástica e estrutura maciça.

O quartzo finamente cristalizados compõe a matriz da rocha com formas subédricas e inequigranulares. Ocorrem ainda aleatoriamente na rocha.

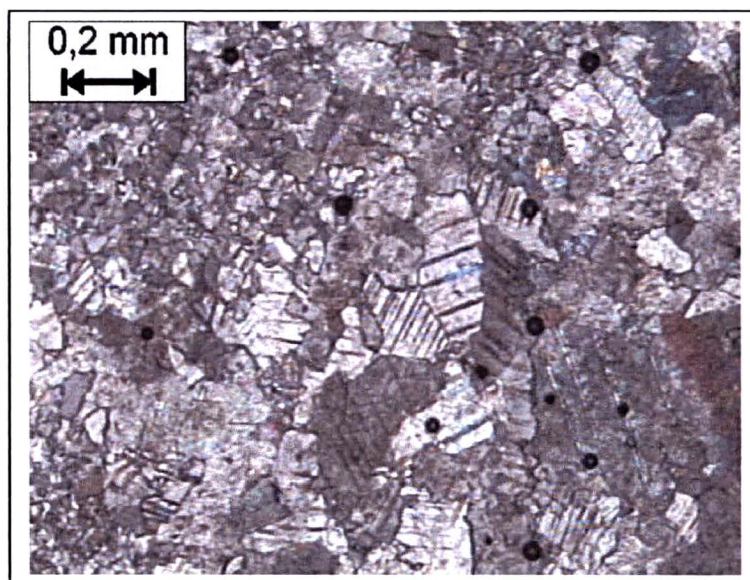


Imagem micrográfica 2 - Imagem micrográfica (luz polarizada) de aglomerados de calcita e dolomita mostrando contato poligonal, típicos de rochas metamórficas.

Litotipo D – macroscopicamente a rocha apresenta coloração cinza-claro, granulação fina, estrutura maciça e textura granoblástica. Microscopicamente apresenta cristais de dolomita e calcita finamente cristalizados, formando a matriz da rocha juntamente com cristais de quartzo. O quartzo além de compor a matriz ocorre em aglomerado, possuindo tamanho em torno de 1mm.

É utilizado preferencialmente para o fabrico do cal devido aos baixos percentuais de quartzo (< 5%). A análise colorimétrica mostrou 88% de dolomita e 12% de calcita.

Pedreira 2

Nesta pedreira foram descritos onze litotipos com as seguintes características:

Litotipo A - Macroscopicamente a rocha apresenta granulação média a fina, textura granoblástica, estrutura maciça e coloração cinza-escuro. Corresponde à base da seção colunar. Através de análise petrográfica, os cristais de dolomita e calcita mostraram-se inequigranulares, com tamanhos que oscilam entre 0,1 e 0,2 mm, sendo que os minerais de tamanhos menores compõem a matriz da rocha. Basicamente compõem-se de 92% de carbonato e 8% de quartzo, sendo que esses últimos comumente estão em aglomerados ou ainda preenchendo cavidades em níveis orientados. Provavelmente pela percolação da sílica durante a diagênese ou durante o metamorfismo da rocha. Observam-se alguns níveis cinza-escuros na lâmina provavelmente representando uma concentração de matéria orgânica ou argilominerais. A análise colorimétrica mostrou 94% de dolomita e 6% de calcita. É utilizado normalmente tanto para o fabrico da cal quanto para corretivo agrícola.

Litotipo B – Esse litotipo apresenta granulação fina, textura granoblástica e baixo grau de fraturamento, estando essas fraturas comumente preenchidas por sericita. Apresenta intercalação centimétrica de níveis cinza-claro e cinza-escuro. A rocha apresenta 94% de carbonato e 6% de quartzo. De acordo com análise colorimétrica, a dolomita representa 92% dos carbonatos na rocha e a calcita 8%. Os carbonatos estão finamente recristalizados e tamanho em torno de 0,15 mm compondo a matriz da rocha juntamente com cristais de quartzo com tamanho similar e sendo esses equigranulares. Observa-se ainda carbonatos com tamanho aproximado de 0,2 mm ora de maneira dispersa ora em aglomerados normalmente associados a quartzos equigranulares. Muito provavelmente, esses níveis cinza-escuros representem níveis com maiores concentrações de matéria orgânica e/ou argilominerais na rocha (imagem micrográfica 3). A matéria orgânica não influencia na qualidade do metadolomito, pois quando ocorre a queima do material ela desaparece normalmente não comprometendo a utilização da rocha tanto para o fabrico da cal quanto para corretivo do solo.

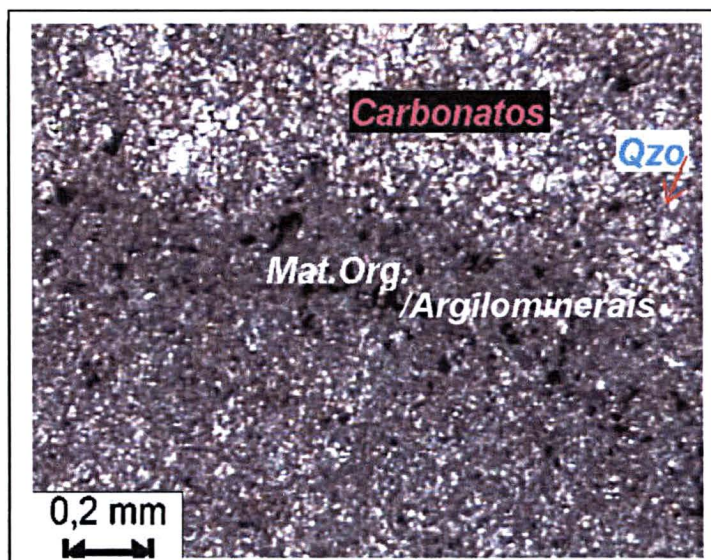


Imagem micrográfica 3 - Imagem micrográfica de cristais de carbonato e quartzo (luz polarizada) com material carbonoso/argilominerais presentes na lâmina do litotipo B - Seqüência Litológica Morro Grande.

Litotipo C – Macroscopicamente a rocha apresenta granulação média a fina, de coloração cinza médio apresentando estrutura maciça. De acordo com a análise petrográfica, a dolomita e a calcita, mostram-se equigranulares, com tamanhos que variam entre 0,1 e 0,25 mm. O quartzo é submilimétrico e está disperso aleatoriamente, representando 5% na rocha. Segundo os resultados da análise colorimétrica, a rocha apresenta 95% de dolomita e 5% de calcita.

Litotipo D – As rochas que constituem esse tipo litológico são utilizadas para fabricação da cal e corretivo de solo. Apresentam coloração cinza claro, granulação fina, estrutura maciça e textura granoblástica. Microscopicamente apresenta cristais de dolomita e calcita muito finos, submilimétricos, subédricos compondo a matriz. Os cristais de quartzo observados apresentam-se finamente cristalizados, sendo estes cristais que muito possivelmente preencheram cavidades e fraturas durante a diagênese ou oriundos da percolação de fluidos. Apresenta cerca de 96% de carbonatos e 4% de quartzo.

Litotipo E – A rocha apresenta coloração cinza-claro, granulação fina e estrutura maciça. Ocorrem estromatólitos colunares ramificados com aproximadamente 25 cm de comprimento. De acordo com a análise petrográfica, apresenta cristais inequigranulares e milimétricos de quartzo ocorrem em níveis levemente orientado entre os cristais de carbonato. Ocorrem ainda agregados de

quartzo com 0,1 a 0,2 mm de diâmetro, no entanto esse quartzo representa um percentual de cerca de 3% na rocha enquanto os carbonatos totalizam 97%. De acordo com a análise colorimétrica, a rocha apresenta 95% de dolomita e 5% de calcita. Esses litotipos, assim como as demais, também podem ser explorados tanto para o fabrico da cal como para corretivo agrícola.

Litotipo F – Rocha é igualmente composta por cristais de carbonatos de granulação muito fina compondo a matriz da rocha, observam-se ainda níveis com cristais de granulação média (0,3mm), recristalizados de dolomita e calcita. Esses cristais são subédricos e anédricos. Os cristais de quartzo comumente são anédricos, granulação fina e ocorrem compondo a matriz juntamente com os carbonatos. Apresenta textura granoblástica e granulação fina. Macroscopicamente a rocha apresenta intercalação centimétrica de níveis cinza-claro e níveis cinza-escuro. Estes níveis escuros podem estar relacionados com a presença de matéria orgânica e argilominerais ou simplesmente pela granulação muito fina da rocha.

Litotipo G – nesse litotipo volta a ocorrer estromatólitos colunares. As características petrográficas dessa rocha equivale ao litotipo E, no entanto o percentual de carbonato está em torno de 93% e de quartzo aproximadamente 7%. A análise colorimétrica indica 92% de dolomita e 8% de calcita.

Litotipo H – a rocha é composta basicamente de calcita e dolomita e, subordinadamente quartzo. De um modo geral apresenta granulação fina, os cristais são comumente equigranulares e anédricos. Apresenta coloração cinza claro, estrutura maciça e textura granoblástica. Apresenta cerca de 94% de carbonatos e 6% de quartzo.

Litotipos I, J, K – Esses litotipos apresentam as mesmas características, quanto sua composição, percentuais de carbonato e quartzo. Apresentam coloração cinza claro (I, K) e cinza-médio (J) e estrutura maciça, mas com uma homogeneidade textural entre essas rochas. No entanto os estromatólitos voltam a ocorrer apenas no litotipo "J", excluindo a ocorrência nos litotipos "I" e "K". No litotipo "K" a granulação varia de fina a média, sendo que nos demais litotipos a granulação é fina. Quanto a análise colorimétrica, a rocha apresenta para o litotipo "I" 91% de dolomita e 9% de calcita, para o litotipo "J" 96% de dolomita e 4% de calcita e para a litotipo "K" 94% de dolomita e 6% de calcita.

De um modo geral toda a pedreira é viável para a exploração dos metadolomitos apresentando baixos percentuais de quartzo (em torno de 3%) e outros minerais (1%) e altos percentuais de carbonato (96%) em sua composição permitindo assim sua utilização para cal e para corretivo de solo.

Seqüência Litológica Rio Branco

Na SLRB foi realizado a descrição de litotipos e confecção de seções colunares de quatro pedreiras e análise petrográfica de detalhe nas duas mais representativas em termos de tamanho e volume de material explotado - pedreiras 8 e 13.

Pedreira 8

Nesta pedreira foram descritas detalhadamente quatro litotipos, apresentando as seguintes características:

Litotipo A – rocha é composta basicamente de carbonatos e quartzo. Os cristais de carbonato são de tamanhos variados. Os minerais finamente recristalizados são subédricos, inequigranulares, tamanho em torno de 0,2 mm e ocorrem compondo a matriz. Os carbonatos maiores apresentam tamanho em torno de 1,0 mm. São subédricos e equigranulares com contato poligonal entre eles. Ocorrem ora dispersos, ora em aglomerados. Os quartzos são finamente recristalizados compondo a matriz em associação com os carbonatos. São anédricos a subédricos e inequigranulares. Ocorrem ainda levemente estirados e orientados definindo uma foliação. Apresenta cerca de 92% de carbonatos e 8% de quartzo. A análise colorimétrica apresentou 87% de dolomita e 13% de calcita. Macroscopicamente apresenta granulação média, coloração cinza claro e estrutura maciça.

Litotipo P – São rochas compostas de cerca de 90% de carbonato e 10% de quartzo. Os carbonatos são submilimétricos, com tamanho aproximado de 0,10 mm, subédricos e equigranulares. São finamente recristalizados e compõe a matriz da rocha. A análise colorimétrica apresentou 87% de dolomita e 13% de calcita.

Litotipo Q – neste litotipo, os carbonatos que compõe a rocha são cristais médios com 0,5 mm, recristalizados em meio a uma matriz com cristais muito finos

provavelmente sedimentares. A presença de cristais de quartzo, finos, por vezes recristalizados e dispersos aleatoriamente na rocha. A rocha apresenta fraturas sendo que estas estão preenchidas por cristais submilimétricas de quartzo. A textura é granoblástica e estrutura maciça. A análise colorimétrica apontou 85% de dolomita e 15% de calcita.

Litotipo R – rocha composta por cristais de carbonatos muito finos compondo a matriz, e carbonatos recristalizados de dolomita e calcita de granulação média (0,7 mm) ocorrendo em níveis. São anédricos a subédricos e são inequigranulares. Apresenta textura porfiroblástica. Os cristais de quartzo são finamente recristalizados e compõe a matriz juntamente com os carbonatos.

Pedreira 13

Nesta pedreira foram descritos três litotipos com as seguintes características:

Litotipo T – Na rocha foram observados dois tipos de carbonatos. Carbonatos de granulação fina compondo a matriz da rocha sendo submilimétricos, subédricos e equigranulares. Outro tipo de carbonato apresenta tamanho milimétrico, em torno de 1,2 mm e contato poligonal (120°) tipicamente metamórfico ocorrendo em aglomerados.

O quartzo ocorrem junto aos carbonatos e são finamente recristalizados. A rocha apresenta cerca de 90% de carbonatos e 10% de quartzo. A análise colorimétrica mostrou 80% de dolomita e 20% de calcita. Salienta-se nesta litofácies, estruturas sedimentares de origem química. São oólitos de forma esférica, tamanho submilimétrico (0,5mm) e constituídos por cristais de calcita, são assimétricos, com lâminas concêntricas, caracterizando sua formação pela ação de pequenas algas em águas calmas (imagem micrográfica 4).

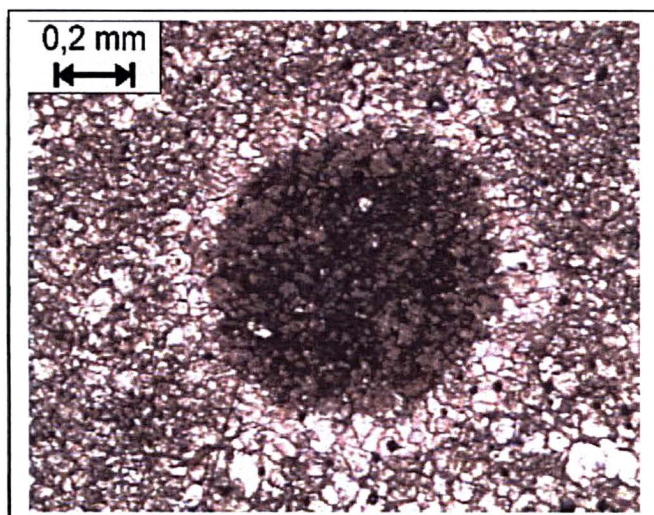


Imagem micrográfica 4 - Imagem micrográfica (luz polarizada) de oólitos de forma esférica constituídos por carbonatos presentes no litotipo A da mina 13.

Litotipo U – Assim como o litotipo A apresenta cerca 93% de carbonatos e 7% de quartzo. O quartzo são submilimétricos e apresentam-se dispersos na lâmina. Os carbonatos são finamente recristalizados, são subédricos e estão associados com o quartzo compondo a matriz da rocha. De acordo com a análise colorimétrica, a rocha apresenta 83% de dolomita e 17% de calcita.

Litotipo V – rocha composta por carbonatos e quartzo. Os carbonatos ocorrem de tamanhos variados. Os carbonatos menores são subédricos, inequigranulares e observa-se contato poligonal entre eles. São finamente recristalizados e fazem parte da matriz da rocha. Os maiores são de tamanho milimétrico, equigranulares e subédricos ocorrendo em pequenos aglomerados ou simplesmente dispersos na rocha. Os quartzos são finamente recristalizados e associam-se com os carbonatos menores, compondo a matriz ou ainda em finos níveis orientados. Representam cerca de 10% na rocha. Quanto a análise colorimétrica, esta mostrou 85% de dolomita e 15% de calcita.

Analisando as descrições petrográficas, observou-se que na Seqüência Litológica Morro Grande os litotipos apresentam comumente granulação fina e em algumas porções ocorrem níveis com matéria orgânica e/ou argilominerais. Alguns desses litotipos através de suas composições e características podem ser até classificadas como metamargas no caso as ocorrentes na Seqüência Litológica Morro Grande. Para exploração, observou-se um maior número de pedreiras na Seqüência Litológica Morro Grande, o que talvez caracterize uma maior preferência pelos metalomitos desta seqüência em decorrência da granulação mais fina do material e uma redução sutil da porcentagem de quartzo em suas litofácies.

Por outro lado na Seqüência Litológica Rio Branco observa-se uma granocrescência nos litotipos, um aumento na porcentagem de quartzo, exclue-se presença de matéria orgânica e pode-se notar um maior grau de recristalização no litotipo C da pedreira 13 podendo assim denominá-lo de mármore dolomítico.

Quanto a aplicação da técnica de colorimetria em rochas metadolomíticas, mostrou-se muito eficiente, pois permitiu determinar os teores de calcita e dolomita, mostrando que o emprego desta técnica é viável em função da facilidade de aplicação e baixo custo.

6.2 - A LITOGEOQUÍMICA DOS METADOLOMITOS

Na área estudada foram realizadas análises químicas nas seqüências litológicas Morro Grande e Rio Branco, com o propósito de caracterizar quimicamente cada litotipo descrito.

Foram realizadas um total de 15 análises (tabela 7), sendo 11 com amostras da Sequência Litológica Morro Grande (pedreira 02 - letras A-K), por apresentar o maior número de litotipos, e 4 amostras da Sequência Litológica Rio Branco (pedreira 10 - letras A-D). Nas demais pedreiras com menor importância na área foram realizadas análises petrográficas e colorimétricas.

Sample ID	SiO ₂	MgO	CaO	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	Total
RS-02A	7,48	19,59	28,79	-0,01	0,36	0,28	0,01	0,11	0,26	0,04	43,37	100,29
RS-02B	0,46	21,44	31,34	-0,01	0,16	0,15	0,01	0,11	0,06	0,01	46,79	100,53
RS-02C	2,48	21,06	30,74	-0,01	0,06	0,12	-0,01	0,11	0,03	0,02	45,85	100,47
RS-02D	2,16	21,03	30,64	-0,01	0,09	0,14	-0,01	0,11	0,05	0,02	46,08	100,31
RS-02E	0,43	21,27	31,33	-0,01	0,16	0,09	-0,01	0,13	0,03	0,02	47,17	100,64
RS-02F	1,25	21,06	30,9	-0,01	0,12	0,11	-0,01	0,11	0,06	0,02	46,53	100,16
RS-02G	0,79	21,3	31,16	-0,01	0,09	0,15	-0,01	0,09	0,05	0,01	46,81	100,44
RS-02H	0,45	21,49	31,26	-0,01	0,07	0,07	-0,01	0,09	0,01	0,02	46,99	100,44
RS-02I	2,2	21,01	30,52	-0,01	0,16	0,1	-0,01	0,09	0,1	0,02	45,93	100,13
RS-02J	0,83	21,21	30,99	-0,01	0,16	0,07	-0,01	0,14	-0,01	0,03	47,06	100,49
RS-02K	2,16	21	30,55	-0,01	0,19	0,15	-0,01	0,1	0,08	0,02	46,15	100,39
RS-10A	4,6	19,9	29,6	-0,01	0,57	0,17	0,01	0,08	0,15	0,01	44,19	99,28
RS-10B	3,2	20,4	30,3	-0,01	0,10	0,04	0,01	0,10	0,01	0,01	45,33	99,5
RS-10C	2,1	20,6	30,2	-0,01	0,13	0,09	0,02	0,10	0,03	0,01	45,10	98,38
RS-10D	1,5	20,9	30,7	-0,01	0,05	0,10	0,01	0,10	0,01	0,01	45,25	98,63

Tabela 7 - Resultado de análises químicas realizadas com amostras das seqüências litológicas Morro Grande e Rio Branco.

A variação dos teores de SiO₂, CaO e MgO dos diferentes litotipos da pedreira 2 pode ser observada nos gráficos 1, 2 e 3.

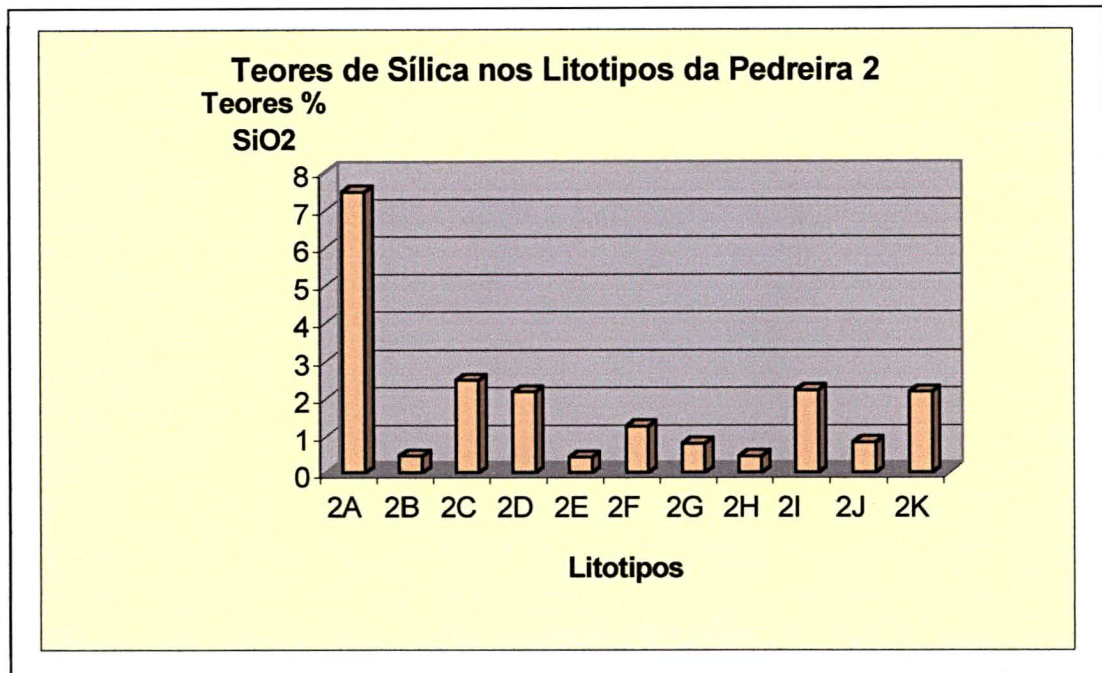


Gráfico 1 - Variação dos teores de SiO₂ nos diferentes litotipos da coluna da pedreira 2.

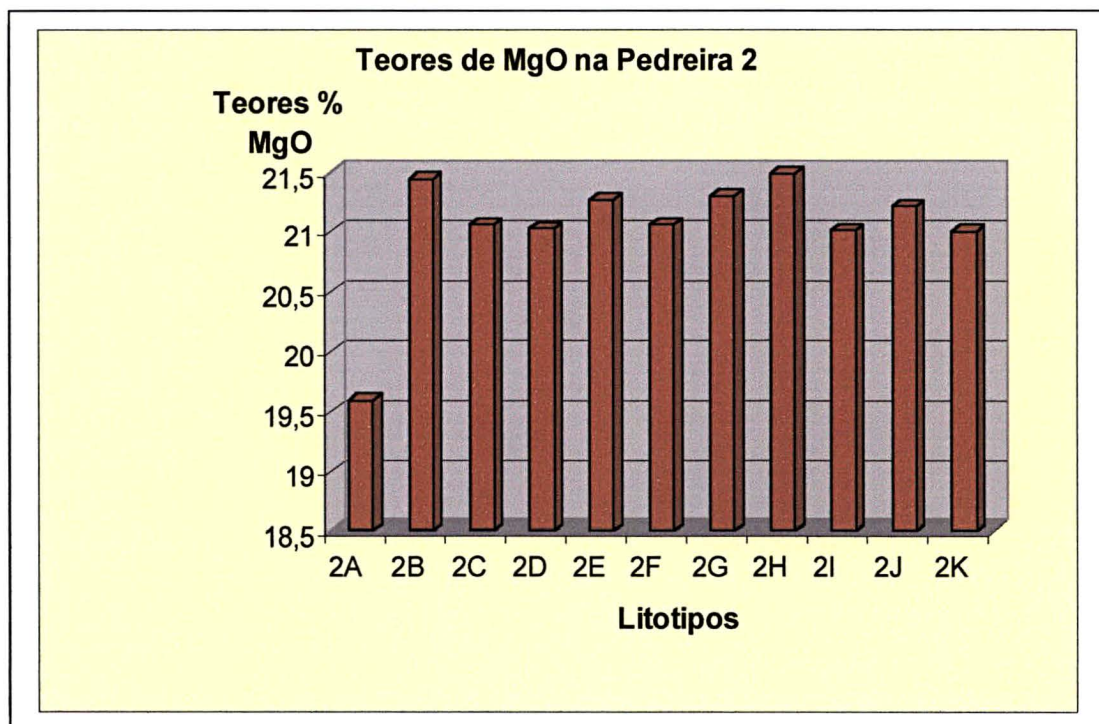


Gráfico 2 - Variação dos teores de MgO nos diferentes litotipos da seção da pedreira 2.

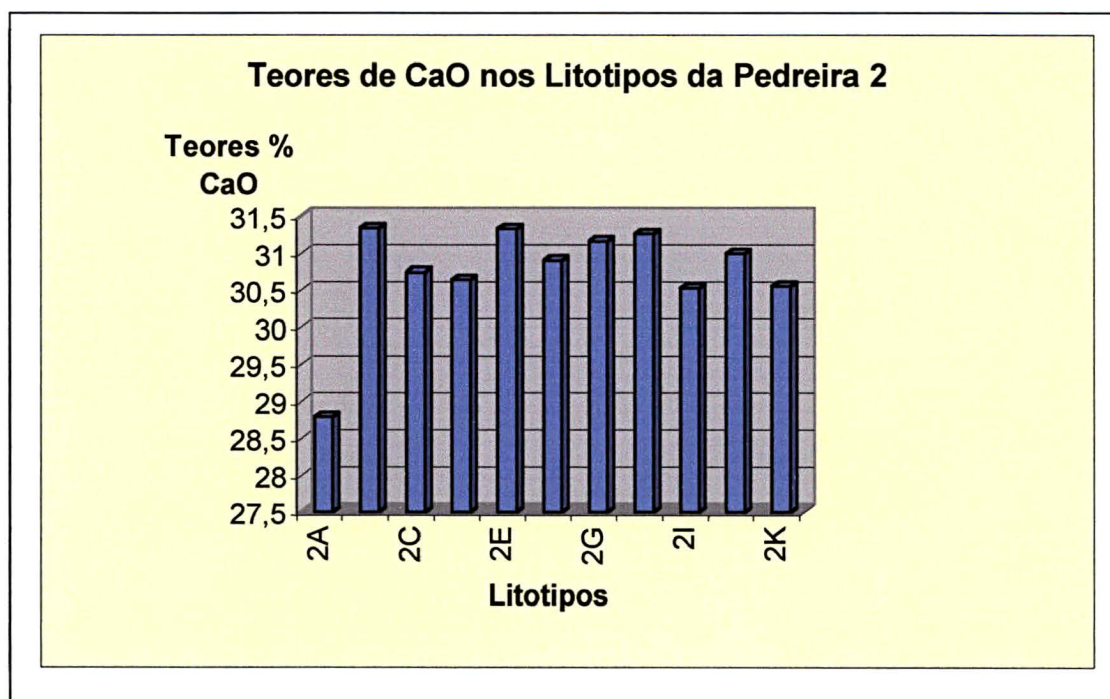


Gráfico 3 - Variação dos teores de CaO nos diferentes litotipos da seção da pedreira 2.

De acordo com os dados apresentados a respeito da seção colunar da pedreira 2, podemos constatar que no litotipo A os teores de sílica são bem mais elevados (7,48%) que nos demais litotipos.

Nos litotipos 2C, 2D e 2I os valores oscilam em torno de 2% enquanto nos demais níveis esses teores são bem menores variando de 1,25% a 0,46%.

Em relação aos óxidos de magnésio e cálcio, estes oscilam entre 19,5% a 21,5% e 28,80% e 31,33% respectivamente.

Na pedreira 10 da Seqüência Litológica Rio Branco, elaborou-se gráficos de óxidos maiores e verificou-se assim como na pedreira 2 a variação dos teores nos diferentes litotipos (gráf. 4, 5 e 6).

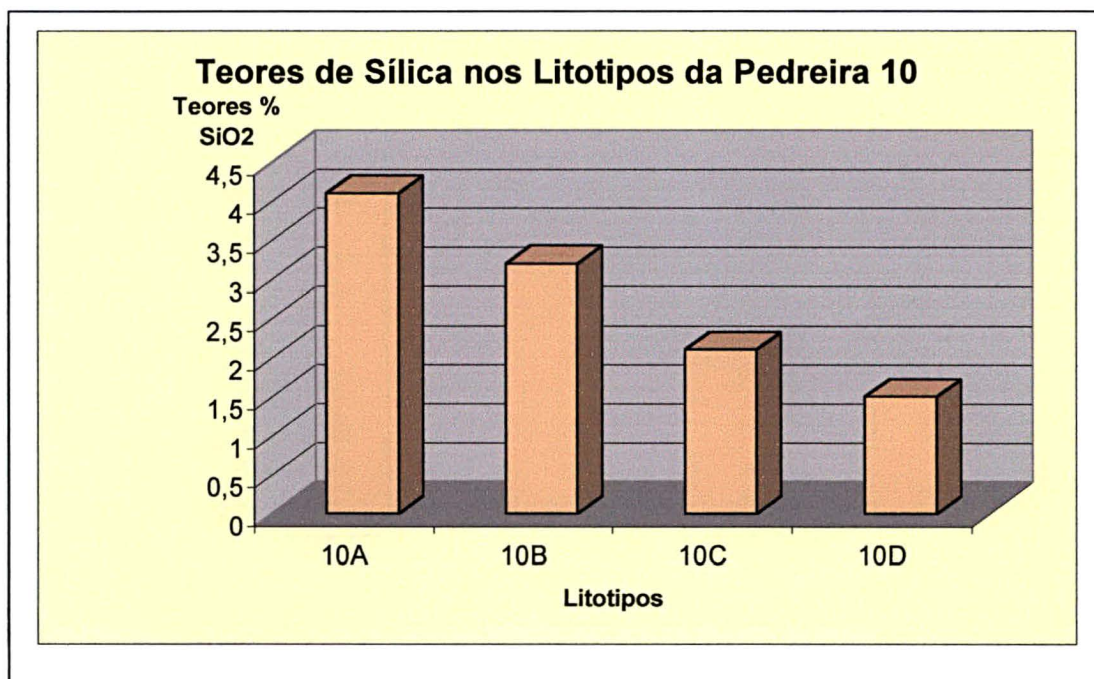


Gráfico 4 - Variação dos teores de SiO₂ nos quatro litotipos da seção da pedreira 10.

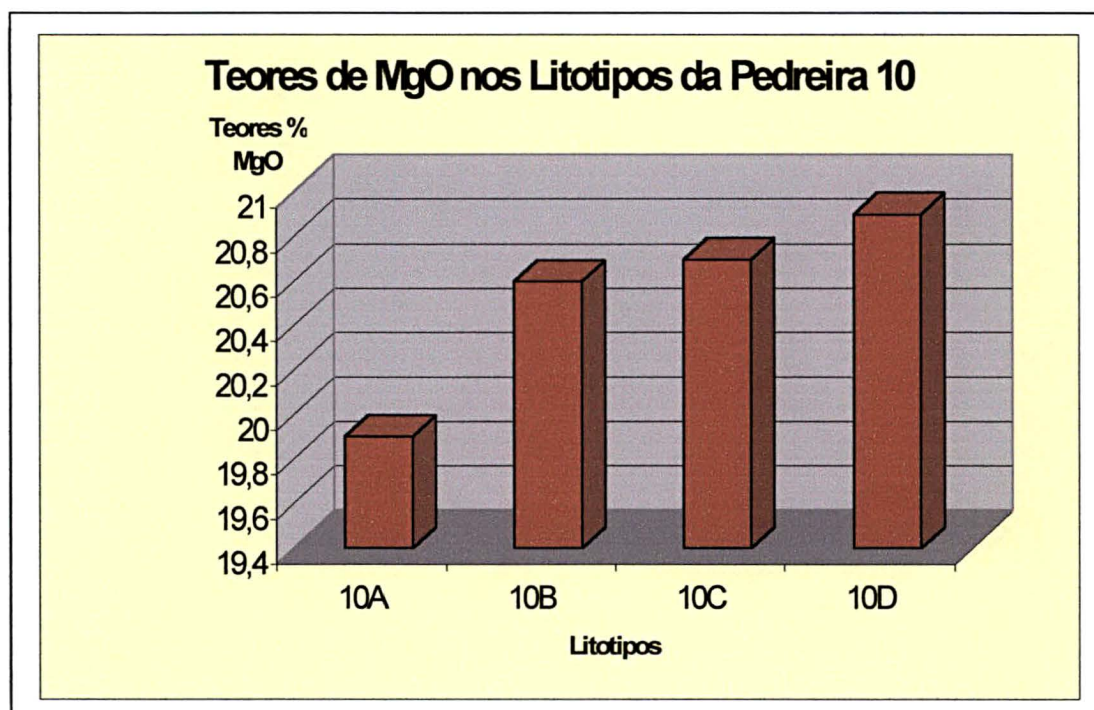


Gráfico 5 - Variação dos teores de MgO nos quatro litotipos da seção da pedreira 10.

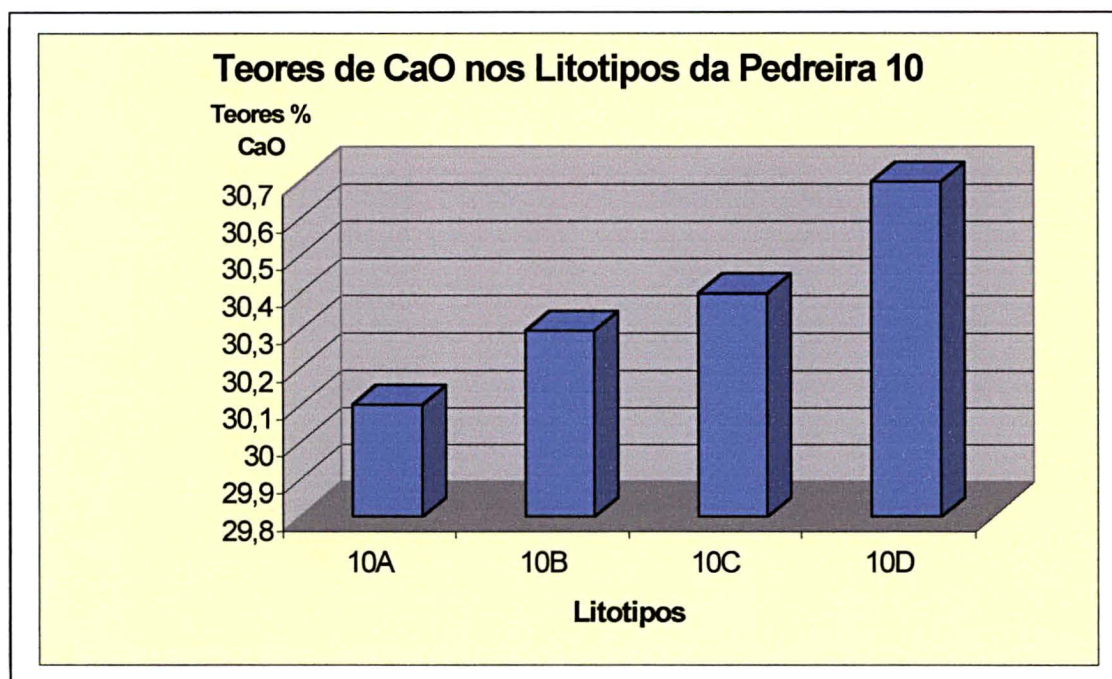


Gráfico 6 - Variação dos teores de CaO nos quatro litotipos da seção da pedreira 10.

De acordo com a distribuição dos teores de sílica nos diferentes litotipos na coluna da pedreira 10, verificou-se uma tendência de valores decrescentes nessa distribuição de A para D. Apresenta teores de sílica mais elevados no litotipo A devido às mesmas características verificadas no litotipo A da pedreira 2, muito provavelmente devido à dissolução cárstica verificada nestes litotipos, ou seja, na base da coluna.

Com relação aos óxidos de cálcio e magnésio, estes apresentaram valores inversamente proporcionais aos da sílica com teores em torno de 30% e 20% a 21% respectivamente.

A seguir foram elaborados gráficos comparativos de teores médios dos óxidos maiores (gráficos 7, 8 e 9) onde se pode observar a variação da distribuição desses elementos nas sequências litológicas Morro Grande e Rio Branco.

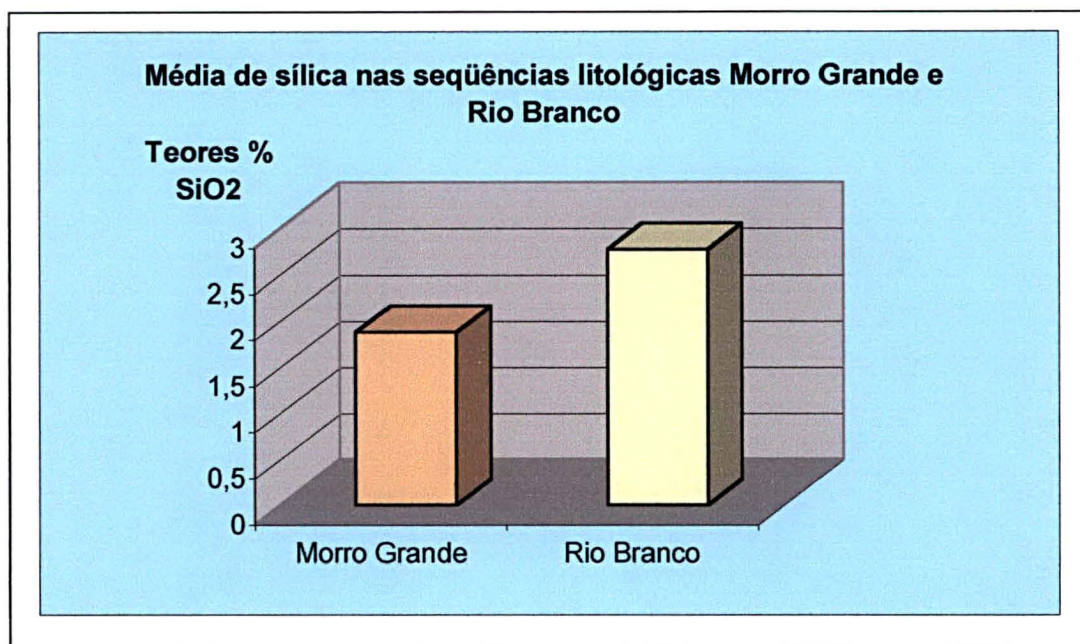


Gráfico 7 - Média dos teores de sílica nas seqüências litológicas Morro Grande e Rio Branco.

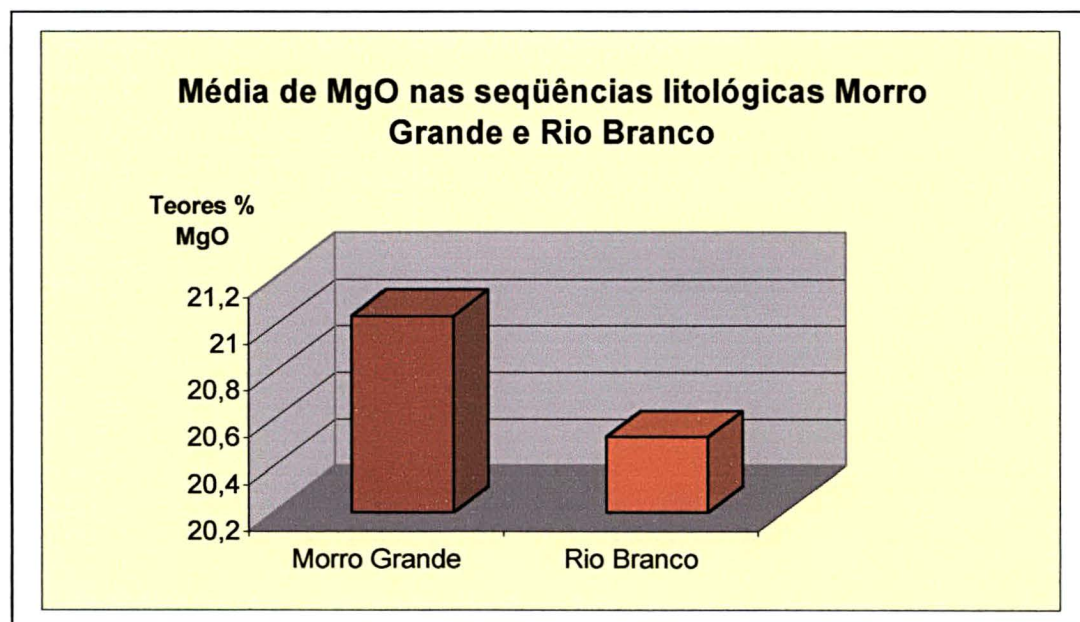


Gráfico 8 - Média dos teores de MgO nas seqüências litológicas Morro Grande e Rio Branco.

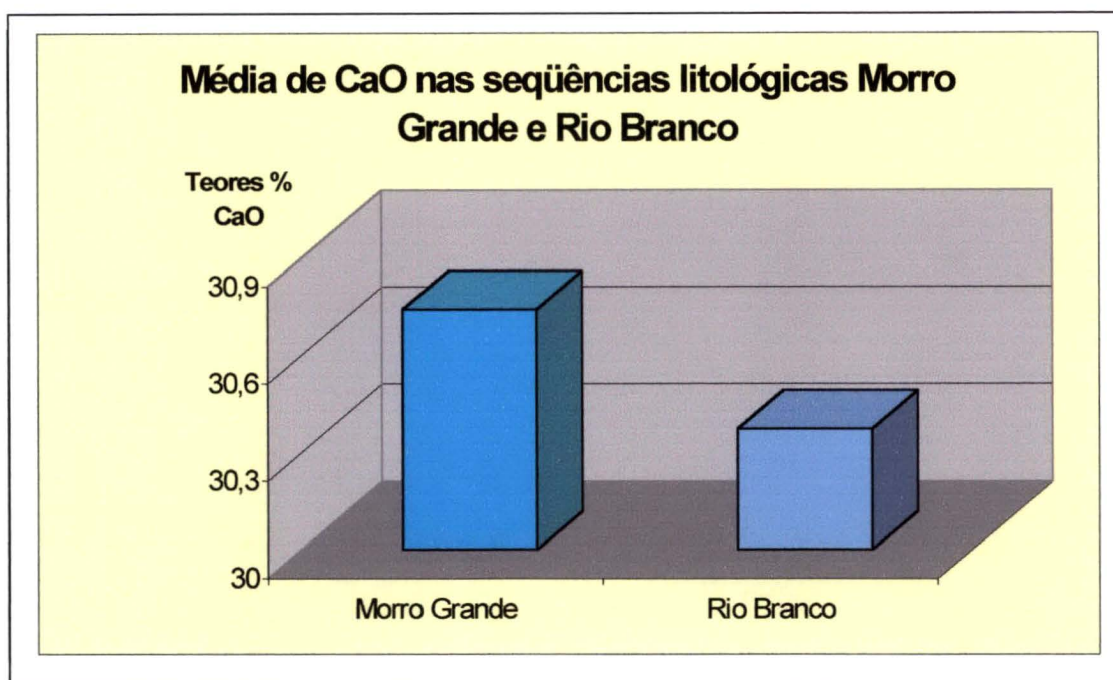


Gráfico 9 - Média dos teores de CaO nas seqüências litológicas Morro Grande e Rio Branco

A caracterização e a compreensão do teor médio de óxidos de silício, cálcio magnésio e Fe_2O_3 nas diferentes frentes de lavra, é fundamental para verificar a aplicabilidade comercial do minério.

Desta forma, o resultado da litogeoquímica em ambas seqüências litológicas, mostrou de uma forma geral a existência de homogeneidade química nas rochas metadolomíticas.

6.2.1 - Economicidade dos metadolomitos e a relação litogeoquímica

Quanto a caracterização da economicidade dos metadolomitos na região estudada pode-se considerar que estas rochas estão entre os bens minerais mais versáteis, com uma variada gama de aplicações e qualidades múltiplas.

O metadolomito possui inúmeros usos, quer *in natura*, triturado nas mais diversas granulometrias ou submetido a processamento químico (Harrison, 1993).

- Indústria química: fabricação de ferro e aço, como fundente para auxiliar a extração do ferro e minério; refinação do açúcar; manufatura do vidro; manufatura de carbonato de sódio; como parte do processo de purificação.

- Agricultura: as especificações para a agricultura não são demasiadamente rígidas; a principal função do calcário é reduzir a acidez do solo, embora ele também possa ser usado para aumentar os níveis de cálcio ou magnésio do solo.
- Indústria de construção: pavimentação e construção de rodovias; agregados de concreto; pedra ornamental, além do uso para cal, inclusive para tratamento de água potável e efluentes industriais pela remoção do bicarbonato e elevação do pH; sua adição a efluentes industriais reduz a acidez e precipita os sulfatos e os minerais pesados (B.G.S., *op.cit.*)

Na área estudada, a principal aplicabilidade dos metadolomitos é como corretivo agrícola e fabrico da cal. Esta aplicabilidade torna-se restrita para outros usos, uma vez que para tal, são necessários testes físicos de dureza, tenacidade, resistência à abrasão entre outros. Devido talvez a inacessibilidade a testes laboratoriais, incentivo econômico ou por desconhecimento, a mineração na região de Morro Grande não evoluiu nestas últimas décadas

Insumo para corretivo agrícola

O metadolomito moído é o corretivo de solos normalmente utilizado. Num corretivo é importante considerar seu poder de neutralização e velocidade de reação. Os metadolomitos estudados (média 21,04% MgO para a SLMG e 20,52% para a SLRB) são de reação mais lenta e maior poder de neutralização (mais 8,6%), além de fornecerem o elemento Mg como nutriente.

Em geral espera-se que o metadolomito para corretivo seja finamente moído (< 10 *mesh*) para aumentar a sua reatividade, que tenha no mínimo 15% de MgO e teores baixos de SiO₂ e Al₂O₃.

Uso para Cal

Os metadolomitos para cal devem ser bastante puros e duros (cristalinos, não desagregando durante a calcinação gerando excessos de finos).

Devem ter baixos teores de ferro, sílica, alumina e ferro, que na calcinação a temperaturas elevadas poderão gerar silicatos e aluminatos de cálcio e aluminato de ferro (clinkagem), em detrimento de CaO reativo. Cerca de 1% de sílica no calcário

resultaria em quase 2% de SiO₂ no produto final. O mesmo pode ser dito da alumina. O ferro além de reduzir o teor de CaO, imprime cor indesejável ao produto (Fe₂O₃ deve estar abaixo de 0,1 a 2%).

A presença de sulfato de cálcio é indesejável pois inibe a hidratação do CaO. A presença de dolomita (que pode ser desejável em alguns casos) produzirá MgO que se hidrata muito mais lentamente que CaO.

De acordo com os resultados litogeoquímicos, os metadolomitos ideais para a fabricação da cal na SLMG, são os que afloram nos litotipos 2B, 2E, 2F, 2G, 2H, 2J da pedreira 2, possuindo teores médios de 21,04% de MgO, 30,74% de CaO, 0,13% de Fe₂O₃ e teores abaixo de 1,88% de sílica que corresponde ao teor médio. Nos demais litotipos, os valores, principalmente de sílica e Fe₂O₃, estão acima dos valores recomendados.

Para a SLRB, os metadolomitos ideais para a fabricação da cal são os que afloram nos litotipos 10C e 10D da pedreira 10, pois apresentam teores médios de 20,52% de MgO, 30,37% de CaO, 0,10% de Fe₂O₃ e teores de sílica em torno de 2%.

A produção da cal é regionalizada, seja pela boa disponibilidade de calcários ou pelo alto custo de transporte a grandes distâncias. As fábricas localizam-se próximo às jazidas, não muito distantes do mercado consumidor.

Através dos resultados litogeoquímicos apresentados, conclui-se que de maneira geral os metadolomitos de ambas seqüências podem ser utilizados para corretivo agrícola, restringindo-se no entanto alguns litotipos para o uso no fabrico da cal.

CAPÍTULO 7

7.1 - APLICAÇÃO DA GAMAESPECTROMETRIA NA EXPLORAÇÃO DOS METADOLOMITOS

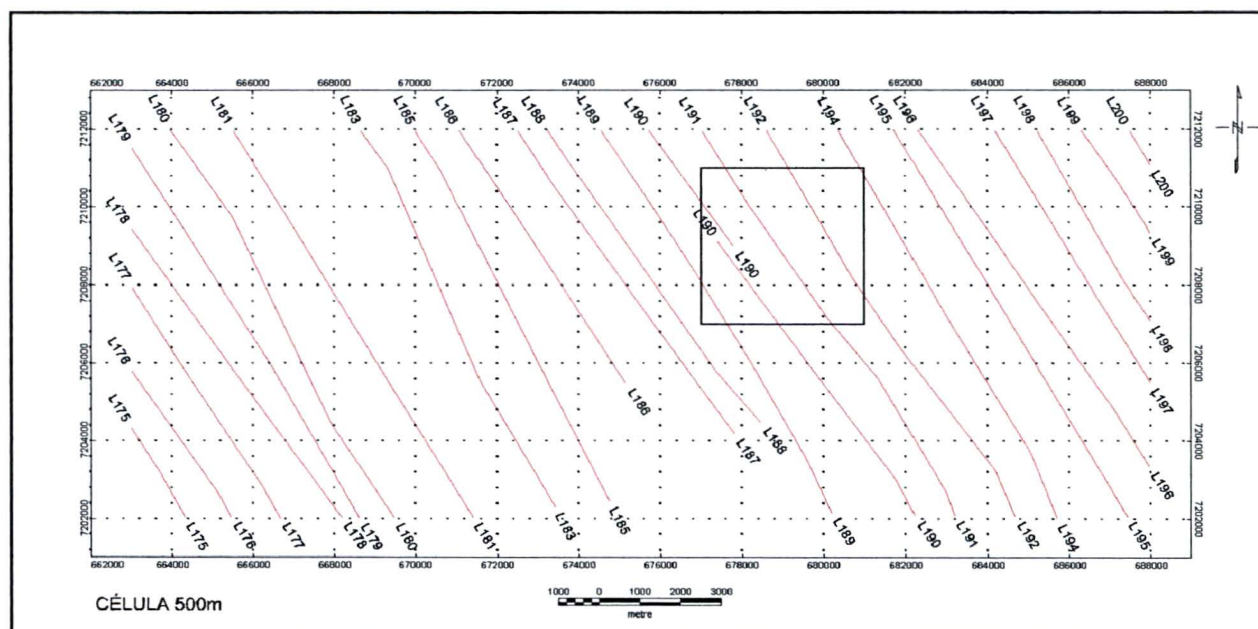
Os principais objetivos da utilização da gamaespectrometria foram determinar a existência ou não do padrão gamaespectrométrico entre as rochas metadolomíticas das seqüências litológicas Morro Grande e Rio Branco, verificar a possibilidade da utilização desse método como critério de exploração, determinar estruturas geológicas condicionadoras de percolação de fluidos e conseqüentemente do K, U e Th e identificar os limite geológicos da área e assim a corroborar com o mapeamento geológico realizado inicialmente.

Em princípio, foi utilizado o estudo de aerogamaespectrometria (Projeto Serra do Mar Sul – Geofoto, 1978), o qual não apresentou resultados significativos em nível de detalhe, visto que os espaçamentos entre as linhas de vôo estão em torno de 4km e a dimensão da área estudada é de aproximadamente 23km², portanto tornando-se impreciso a utilização desse método em estudo de detalhe. No entanto, optou-se por utilizar-se desse método numa área mais ampla, representada por parte da Formação Capiru, com intuito de obter infomações relativas aos radionuclídeos potássio, urânio e tório e assim verificar a distribuição dos elementos. As linhas de vôo podem ser visualizadas na figura 18 juntamente com a área estudada em detalhe.

A aerogamaespectrometria mede a abundância relativa ou a concentração de K, U e Th em rochas e materiais intemperizados, através da detecção da radiação gama emitida pelo decaimento radiativo natural desses elementos (Wilford *et al*, 1997). Segundo Minty (1997), é uma técnica aerogeofísica que requer considerações de muitas variáveis, como por exemplo: contrastes das propriedades físicas e geométricas das fontes radioativas, tamanho e resolução dos detetores, efeitos do meio ambiente como umidade do solo, vegetação e regime de chuvas, movimento das fontes aéreas de radiação na atmosfera baixa, dentre outras.

Optou-se pela aplicação de um estudo geofísico mais detalhado que pudesse trazer resultados mais precisos para a área e assim utilizá-lo como um meio geológico na tentativa de solucionar problemas relacionados a contatos geológicos, possível distinção entre diferentes unidades litológicas e a relação com as zonas de falhamentos. O estudo empregado foi a gamaespectrometria, método utilizado comumente como apoio no mapeamento geológico regional e à prospecção mineral.

A interpretação de dados gamaespectrométricos requer uma compreensão de princípios físicos básicos e um controle eficiente na aquisição dos dados, nos sistemas de calibração, no processamento e nos procedimentos de apresentação dos resultados.



Fonte: Projeto Serra do Mar Sul - Geofoto, 1978.

Figura 18 - Mapa de linhas de vôo com detalhe da área estudada.

7.1.1 - Aerogamaespectrometria da Formação Capiru

Abordagem geral

Nesta etapa foi realizada uma análise de caráter geral acerca do comportamento das variáveis, tório e urânio em correspondência com a geologia de parte da Formação Capiru. Convém frisar que as considerações geológicas referentes à essa formação e a área estudada, tiveram como uma das bases

principais o relatório do Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil (Silva et al. 1999).

7.1.1.1 - Considerações sobre o potássio

A Formação Capiru distribui-se segundo uma faixa com direção NE-SW e larguras variando entre 9 a 19 Km. Seus limites geológicos são representados a norte pela Zona de Transcorrência da Lancinha, balizados pelas Formações Votuverava, Betara, seqüência Perau e rochas do Complexo Meia Lua, enquanto que a sul limita-se através de descontinuidade de médio ângulo com rochas do Complexo Atuba.

Na figura 19 (mapa do potássio) mostra que o extremo NE da unidade Mc10 representam rochas xistosas cartografadas como Grupo Setuva e os xistos incluídos na Seqüência Litológica Bocaina (Fiori, 1992). Compreendem predominantemente sericita xistos e quartzo-biotita-muscovita xistos que ocorrem distribuídos em torno do núcleo de embasamento da Antiforma do Setuva. Seu limite com a unidade Mc9 se faz pela Falha do Setuva, localizada a NW da área de estudo. Caracteriza-se por cotas altimétricas mais elevadas, com baixos valores de potássio, enquanto que para sudoeste tem-se meias encostas com rede de drenagens orientadas segundo NW, expondo as rochas, o que pode explicar os valores mais altos de potássio.

No extremo SW da Antiforma do Setuva, a unidade Mc9, que corresponde à Sequência Litológica Rio Branco (SLRB), é constituída por metadolomitos de granulação fina a média, caracterizados por baixos valores de potássio, sobretudo na sua porção central, incluindo suas extensões ENE e NE.

Metarritmitos silto-arenosos caracterizam a unidade Mc4, correspondente à Sequência Litológica Morro Grande (SLMG), sendo comum metarenitos com colorações cinza-médio e cinza-claros, marcados por camadas de metassiltitos cinza-claros e metassiltitos e filitos carbonosos, marcando bem a unidade através de valores médios a altos de potássio. O segmento nas adjacências da unidade Mc9 apresenta menores teores de potássio devido a uma maior profusão de lentes de metarenitos (Mc3) e metadolomitos (Mc9).

Ocorrendo desde o extremo nordeste até a região centro-sudoeste, na localidade de Conceição dos Macacos, a unidade Mc2, correspondente à SLMG é

caracterizada por metacalcários dolomíticos, delineando bem a unidade com valores médios a altos de potássio, entretanto menores que Mc4 (SLMG).

MAPA DO POTÁSSIO

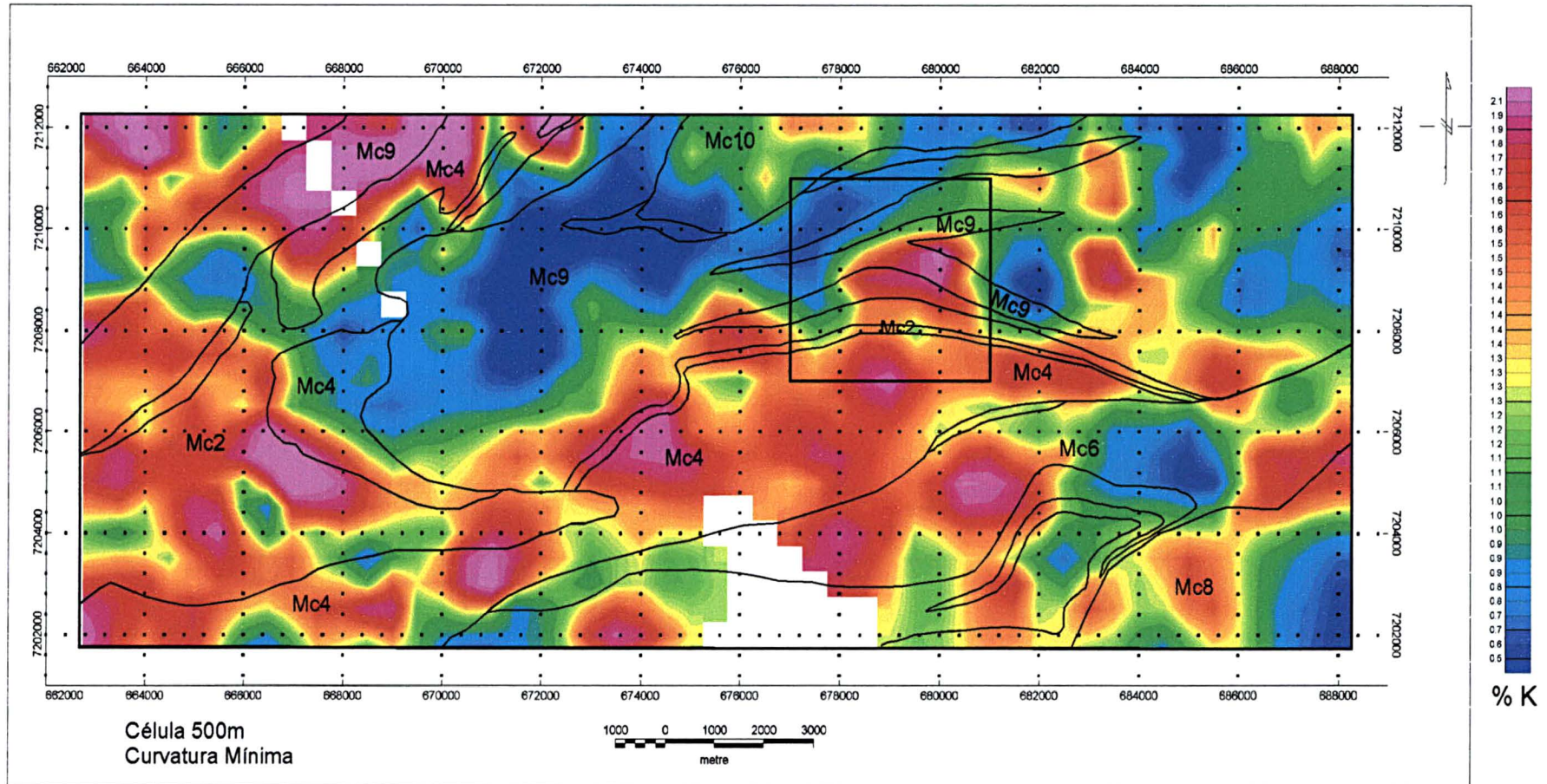


Figura 19 - Mapa do Potássio de parte da Formação Capiru com as principais unidades e destaque para a área estudada.
(Fonte: Projeto Serra do Mar Sul - Geofoto, 1978 *apud* Silva, 1999)

7.1.1.2 - Considerações sobre o tório

Tomando-se como base o mapa do tório da figura 20 são realizadas considerações gerais sobre o comportamento do tório, nas principais unidades litológicas da Formação Capiru.

O tório revela padrões de assinaturas similares ao do urânio, como aqueles de fortes anomalias da área nordeste associada ao Antiforma do Setuva. Entretanto observa-se que os elevados valores de tório são menos dispersos do que o urânio, provavelmente devido a menor mobilidade do primeiro radionuclídeo.

MAPA DO TÓRIO

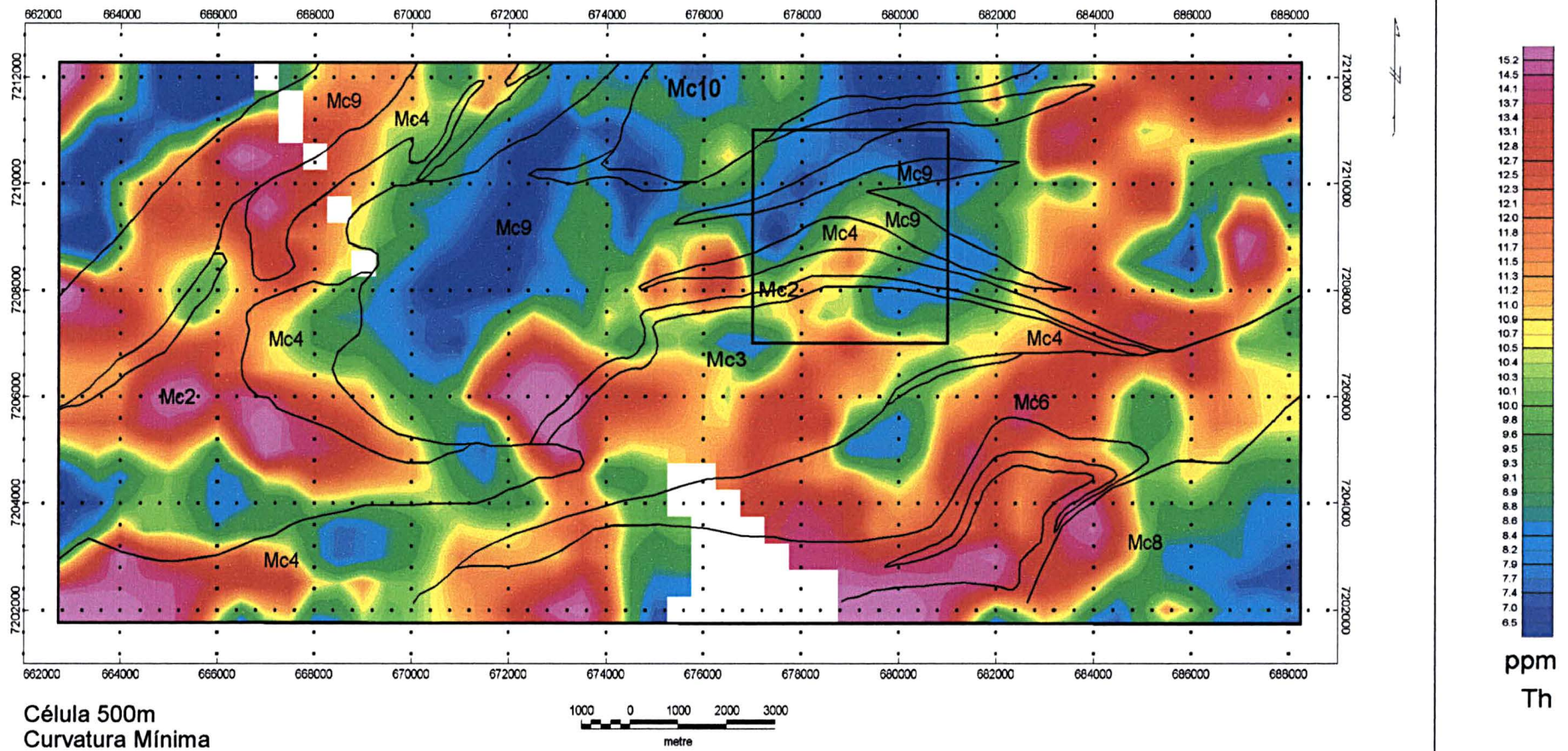


Figura 20 - Mapa do Tório de parte da Formação Capiru com as principais unidades e destaque para a área estudada.

(Fonte: Projeto Serra do Mar Sul - Geofoto, 1978 *apud* Silva, 1999)

7.1.1.3 - Considerações sobre urânio

As considerações gerais sobre a variável urânio, baseando-se no mapa do urânio na figura 21, nas principais unidades geológicas são descritas conforme se segue.

O mapa do urânio revela padrões de assinaturas geofísicas bem nítidos. A porção NE no mapa apresenta um conjunto de fortes anomalias. Na porção centro-oeste observa-se um padrão correspondente a valores médios a baixos de urânio. Em geral, teores moderados a baixos desse radionuclídeo são padrões desta formação, tanto para rochas metacalcárias quanto para os filitos. Entretanto, a NE, as unidades desta formação de metacalcários dolomíticos, sericita xistos e filitos (Mc2, Mc10, Mc4 e Mc8) apresentam teores elevados, os quais são atribuídos à influência de zonas intenso falhamento.

Na porção SW da faixa Capiru ocorrem variações de teores de urânio na unidade de filito (Mc6). Já os segmentos destas unidades localizadas a NE apresentam contagens moderadas a baixas, enquanto nas porções SW predominam altos valores, talvez em função das zonas de cavalgamento e cisalhamento presentes nesta formação. As respostas para estas variações não foram ainda definitivamente determinadas, cabendo aí uma avaliação geológica mais detalhada.

MAPA DO URÂNIO

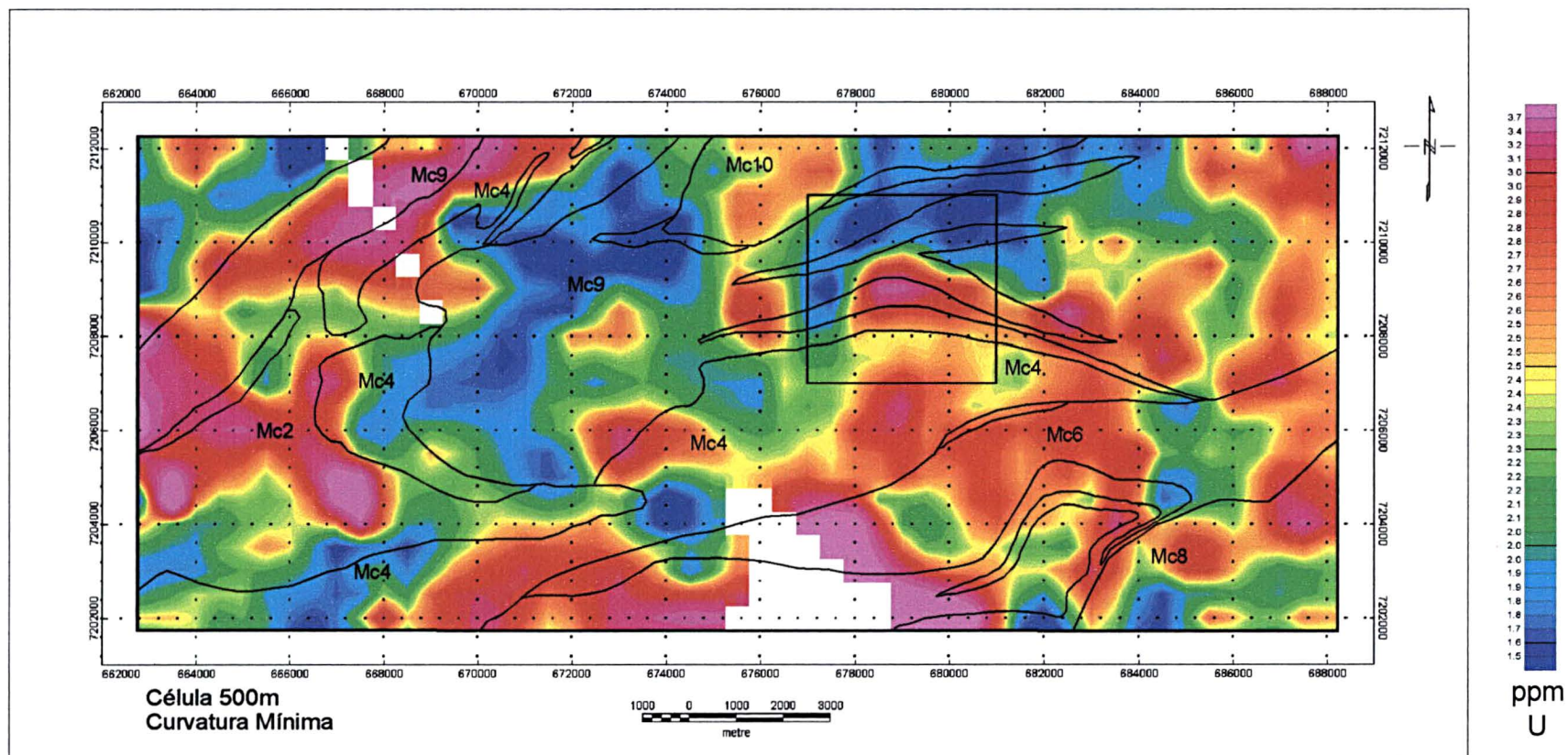


Figura 21 - Mapa do Potássio de parte da Formação Capiru com as principais unidades e destaque para a área estudada.

(Fonte: Projeto Serra do Mar Sul - Geofoto, 1978 *apud* Silva, 1999)

7.2 - GAMAESPECTROMETRIA TERRESTRE

Para se obter uma resposta geofísica mais significativa da área estudada, optou-se por um método que permita mostrar resultados mais detalhados.

Objetivando um detalhamento desses resultados, foram realizados dois perfis geofísicos dos radioelementos potássio (K), urânio (U) e tório (Th) utilizando o método da gamaespectrometria terrestre. O objetivo foi identificar possíveis anomalias e verificar a variação da distribuição dos teores dos radionuclídeos nas sequências litológicas Morro Grande e Rio Branco.

O primeiro perfil consistiu de um caminhamento ao longo de 3000 metros, no sentido SW-NE, sendo as contagens dos radioelementos tomadas a cada 50 metros, totalizando 60 estações. Foi iniciado na faixa central da área, junto a estrada da Gruta de Bacaetava (coordenadas 7208426 e 679870) e finalizado próximo ao limite da área (coordenadas 7210690 e 679975), no sentido SW-NE.

As zonas de maior contagem radiométrica devem refletir principalmente metassedimentos areno-argilosos e subordinadamente os metadolomitos e quartzitos o que pode ser verificado nos perfis 1 e 2.

Os perfis K, U, Th e contagem total, mostraram basicamente dois padrões distintos (figura 22). No início do perfil observou-se altos valores de K (os valores de K para o perfil 1 estão em % e encontram-se no anexo 1), devido a presença da Zona de Cavalgamento Pessegueiro e a ocorrência de filitos junto à falha. Após a falha de cavalgamento, as respostas radiométricas do *background* associam-se aos metadolomitos e quartzitos mantendo um padrão homogêneo até próximo ao centro do perfil onde foram registradas anomalias de K e Th (os valores de Th para o perfil 1 estão em ppm e encontram-se no anexo 1). Para explicar os altos valores desses radioelementos: a) um grande alinhamento com direção E-W que pode ter propiciado a percolação de fluidos e conseqüentemente a concentração do K e Th nesses locais, b) lentes filíticas não mapeadas no local.

No restante do perfil, os valores dos três radioelementos e da contagem total apresentaram-se baixos, de acordo com os padrões normais de teores para esse tipo litológico.

De acordo com Dickson & Scott (1997), as rochas quartzíticas constituídas principalmente de quartzo, ou as rochas carbonáticas, constituídas basicamente de

dolomita, calcita e quartzo devem revelar índices radioativos mais baixos justamente por não apresentarem elementos radioativos em sua composição.

Quanto aos valores do urânio, esse radionuclídeo apresentou contagens baixas e homogêneas, resultados considerados normais para os litotipos mapeados. Entretanto, logo no início do perfil os teores mostraram-se relativamente altos. Essa anomalia pode ser atribuída a metadolomitos carbonosos presentes na Sequência Litológica Morro Grande, visto que a matéria orgânica reflete teores mais elevados para o urânio. As condições climáticas também influenciam os teores de U (os valores de U para o perfil 1 estão em ppm e encontram-se no anexo 1), uma vez que geralmente o urânio é mais móvel em solos de regiões semi-áridas quentes, do que em solos de regiões temperadas e tropicais, provavelmente devido aos baixos teores de matéria orgânica.

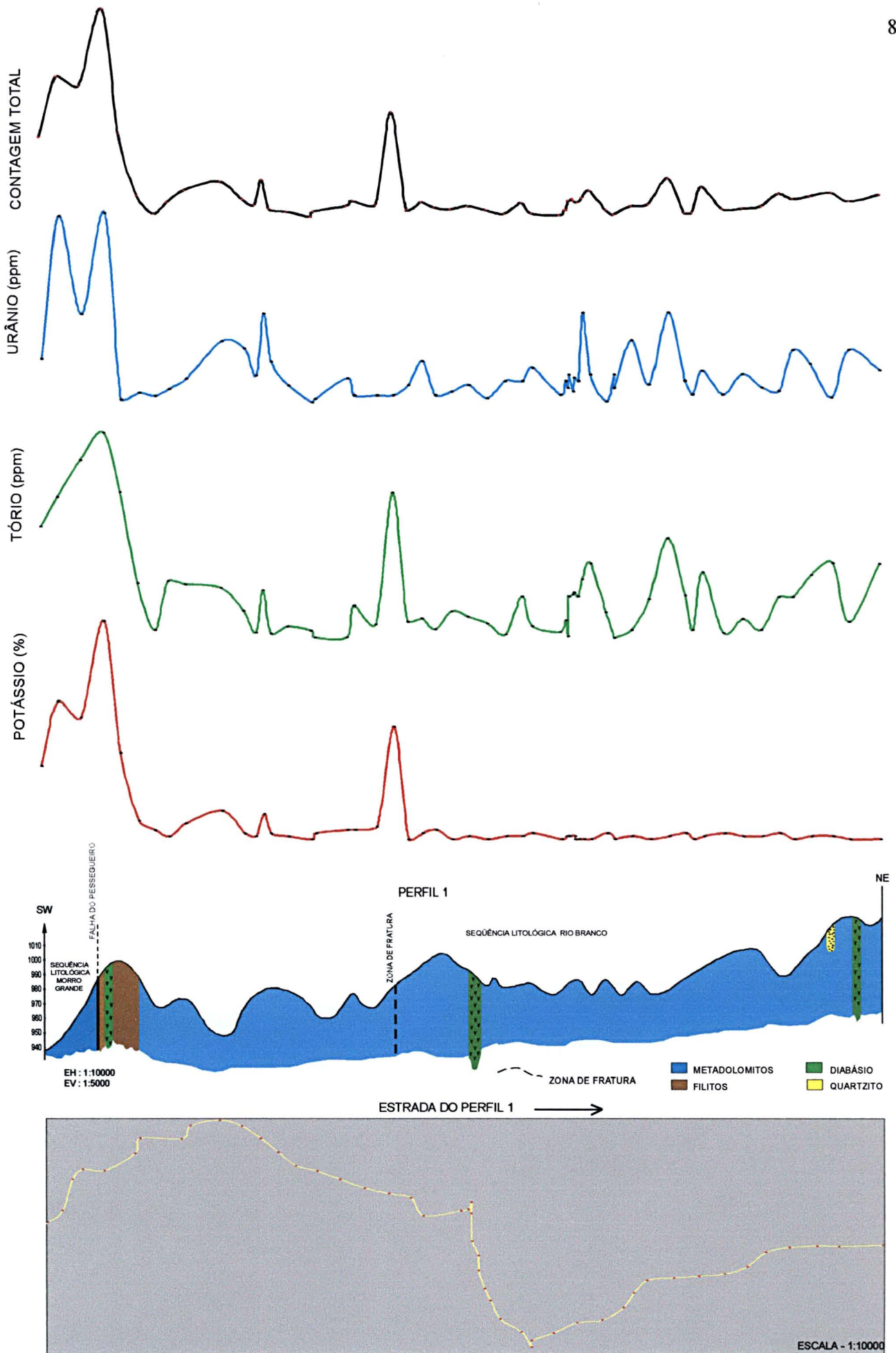


Fig. 22 - Sessão geológica esquemática e perfis mostrando a distribuição dos radioelementos K, Th, U e contagem total ao longo da estrada 1 no sentido SW-NE. As indicações em vermelho referem-se às coletas de dados.

O segundo perfil, (figura 23) foi realizado no sentido NW-SE iniciando nas coordenadas 7208714 e 677763 e finalizado em 7207421 e 678541 com extensão em torno de 2600 metros, sendo que as medições também foram tomadas a cada 50 metros totalizando 52 estações. Nesse perfil, pôde-se identificar três padrões de distribuição dos radioelementos sendo que os valores para os três radionuclídeos apresentaram-se em geral elevados.

Isso pode ser explicado pela marcante presença de lentes filíticas em meio à rocha carbonática no início do perfil, mostrando valores altos e baixos de maneira sucessiva. O padrão de distribuição dos radioelementos apresenta-se pouco espaçado devido justamente aos filitos intercalados sendo os baixos teores representativos dos metadolomitos e quartzitos.

No centro do perfil, o filito torna-se mais espesso ocorrendo baixos valores para as lentes quartzíticas. Próximos ao final do perfil, os valores do K, Th, U (os valores de K%, Th ppm e U ppm do perfil 2 encontram-se no anexo 2) e contagem total diminuem para os metadolomitos e quartzitos, voltando a aumentar para os filitos.

Deve-se ressaltar os altos valores do urânio na Seqüência Litológica Morro Grande em relação à Seqüência Litológica Rio Branco devido ao material carbonoso presente na primeira seqüência.

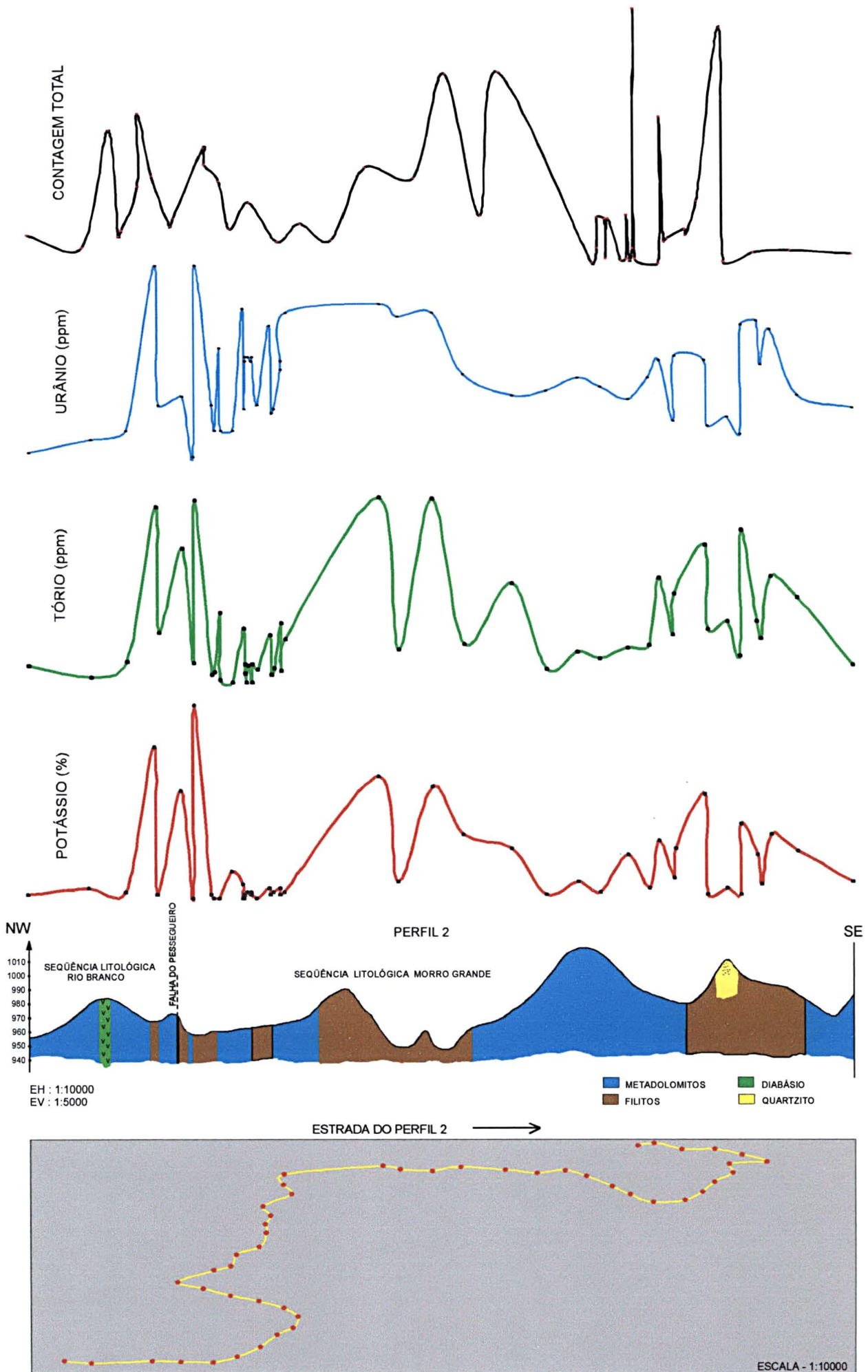


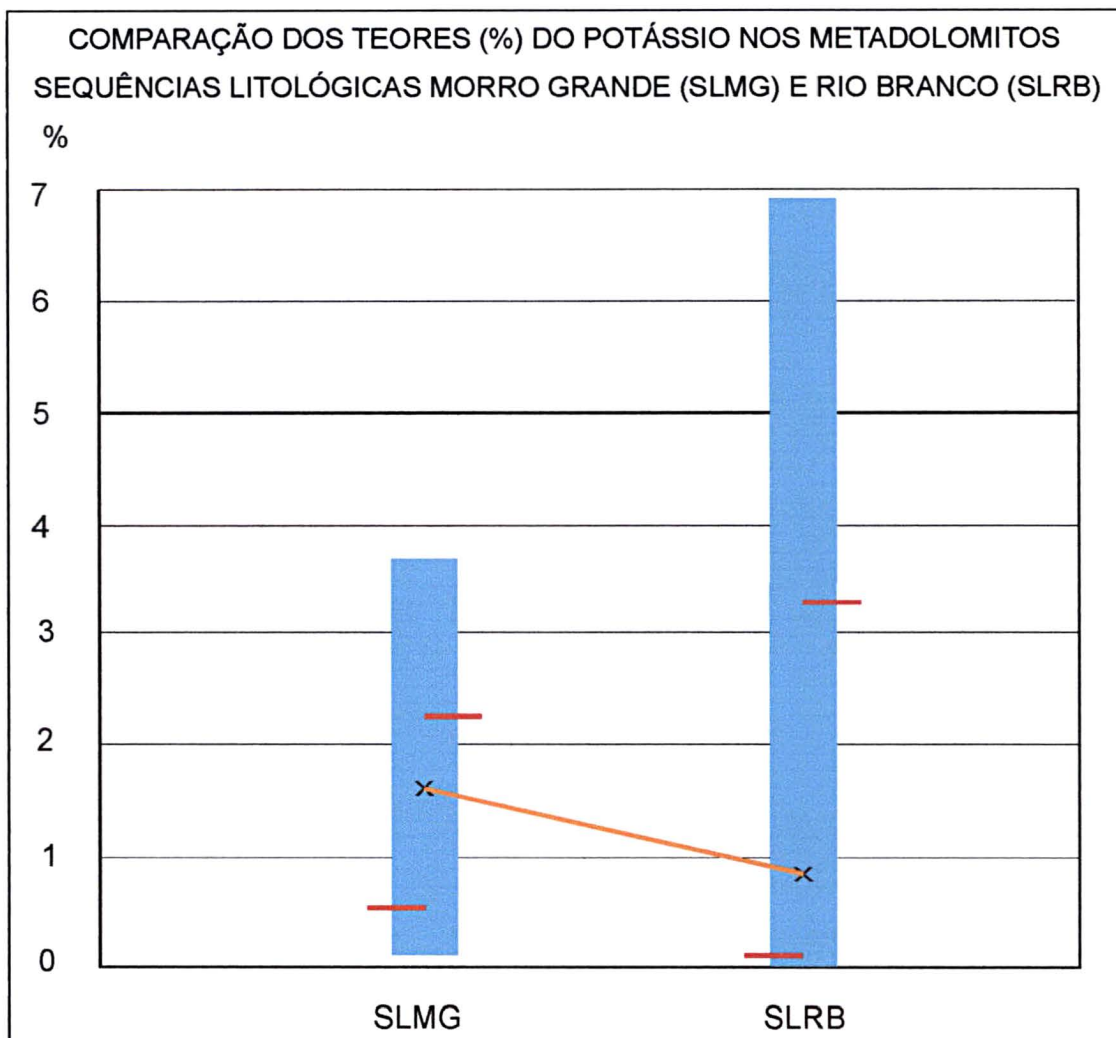
Fig. 23 - Sessão geológica esquemática e perfis mostrando a distribuição dos radioelementos K, Th, U e contagem total ao longo da estrada 2 no sentido NW-SE. As indicações em vermelho referem-se às coletas de dados.

Em termos estatísticos, as médias de potássio e tório mantiveram-se constantes nos metadolomitos das seqüências litológicas Morro Grande e Rio Branco com contagens de 0,39% e 0,15% para o potássio e 4,25 e 3,91% respectivamente, valores considerados baixos para esse tipo litológico. As contagens de potássio na Seqüência Litológica Rio Branco mostraram-se mais elevadas em relação a Seqüência Litológica Morro Grande, podendo ser verificada através dos valores do desvio padrão. Provavelmente, isto se deva a maior ocorrência de lentes filíticas na Seqüência Litológica Rio Branco. (figura 24).

Os padrões para o tório em ambas as seqüências apresentaram valores relativamente próximos. As altas contagens na Seqüência Litológica Rio Branco se deve provavelmente a um grande alinhamento estrutural na área, pois há uma tendência de maior percolação desse radionuclídeo nesses locais (figura 25).

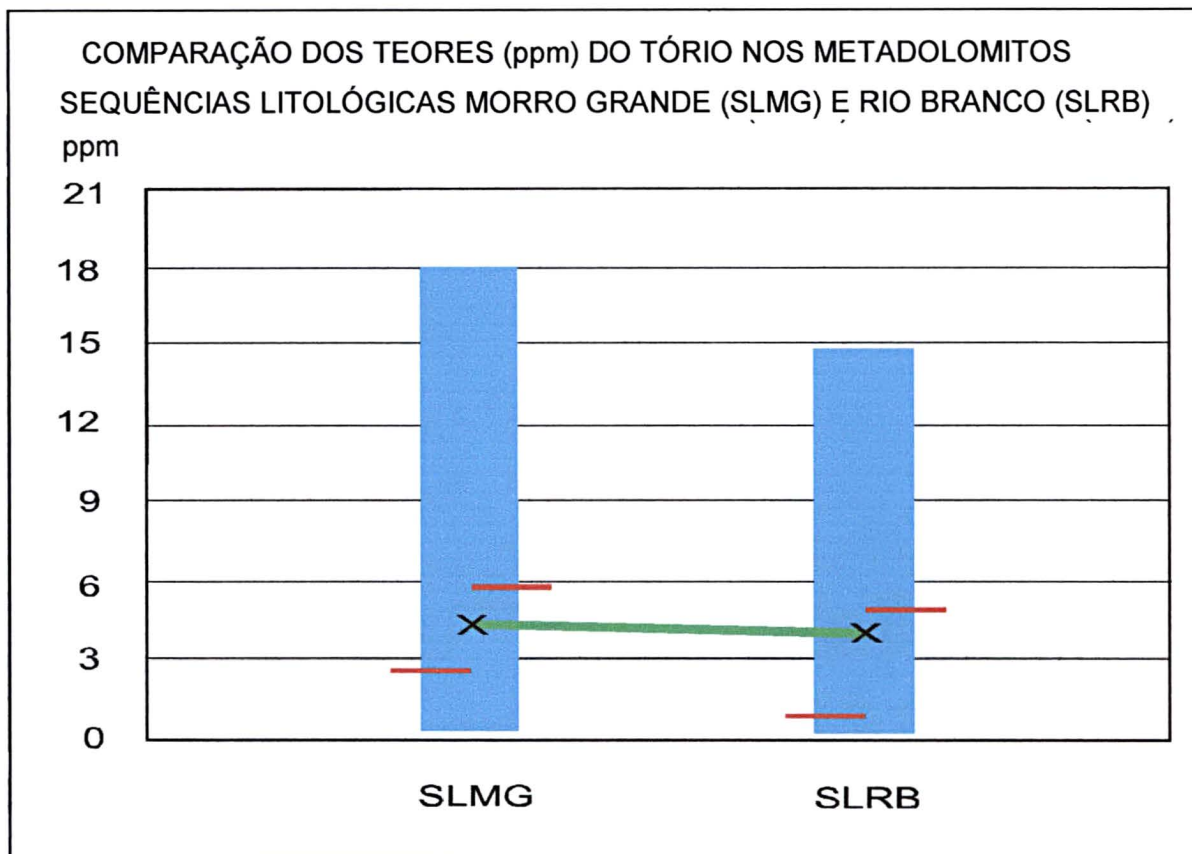
Em contraste, o urânio mostrou teores considerados elevados para os padrões geofísicos em metadolomitos (figura 26), principalmente na SLMG em comparação à SLRB, apresentando contagens máximas de 5,5ppm e 2,26ppm e médias de 1,80 e 0,88 ppm respectivamente, enquanto o valor do desvio padrão também apresentou valor mais elevado na Seqüência Litológica Morro Grande.

A explicação mais plausível para esses diferentes valores, é a presença mais significativa de material carbonoso na SLMG.



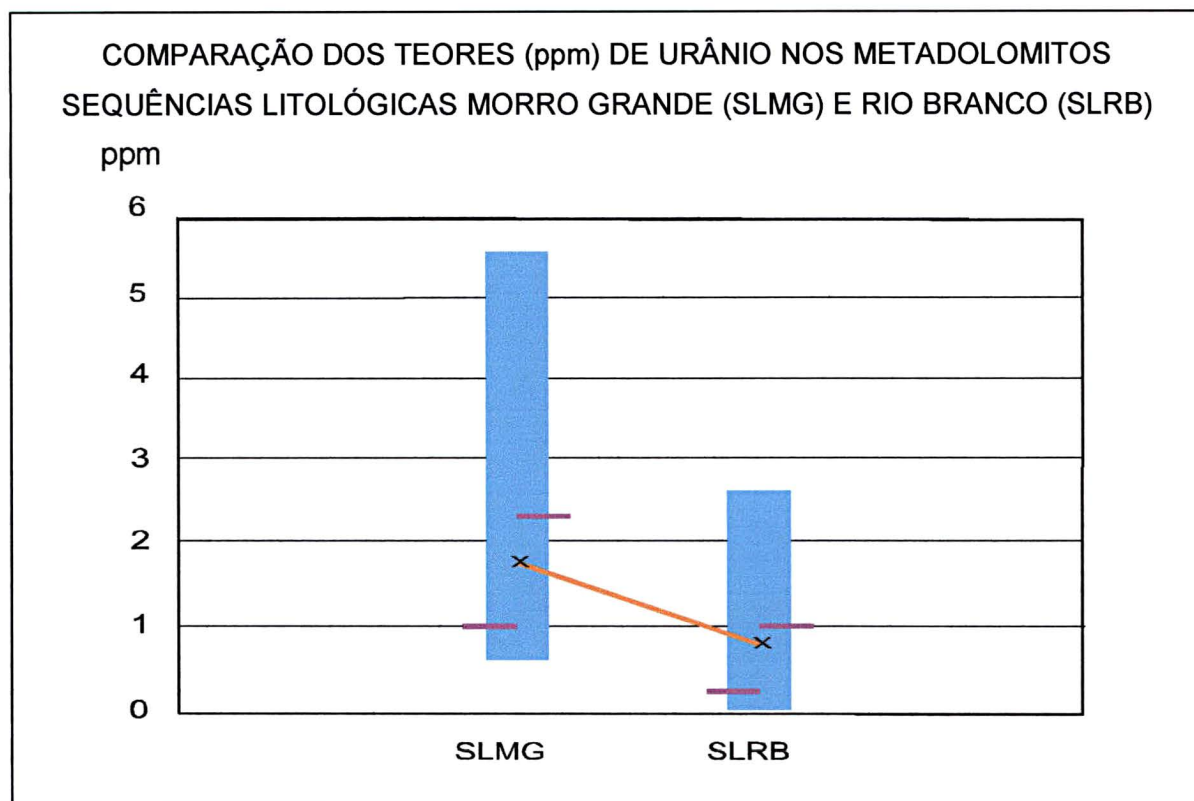
Potássio (%)	SLMG	SLRB
Mínimo	0,1	0,0
25%	0,5	0,1
Mediana	1,5	0,2
75%	2,2	3,2
Máximo	3,6	6,8
Média	1,63	0,81
Desvio Padrão	1,09	2,68

Fig. 24- Estatística de potássio nos metadolomitos das seqüências litológicas Morro Grande e Rio Branco.



Tório (ppm)	SLMG	SLRB
Mínimo	0,3	0,2
25%	1,3	1,0
Mediana	3,0	2,4
75%	5,8	4,8
Máximo	18,1	14,8
Média	4,25	3,91
Desvio Padrão	4,41	2,98

Fig. 25 - Estatística de tório nos metadolomitos das seqüências litológicas Morro Grande e Rio Branco.



Urânio (ppm)	SLMG	SLRB
Mínimo	0,6	0,0
25%	1,0	0,2
Mediana	1,7	0,6
75%	2,3	1,0
Máximo	5,5	2,6
Média	1,80	0,88
Desvio Padrão	1,12	0,62

Fig. 26 - Estatística de urânio nos metadolomitos das seqüências litológicas Morro Grande e Rio Branco.

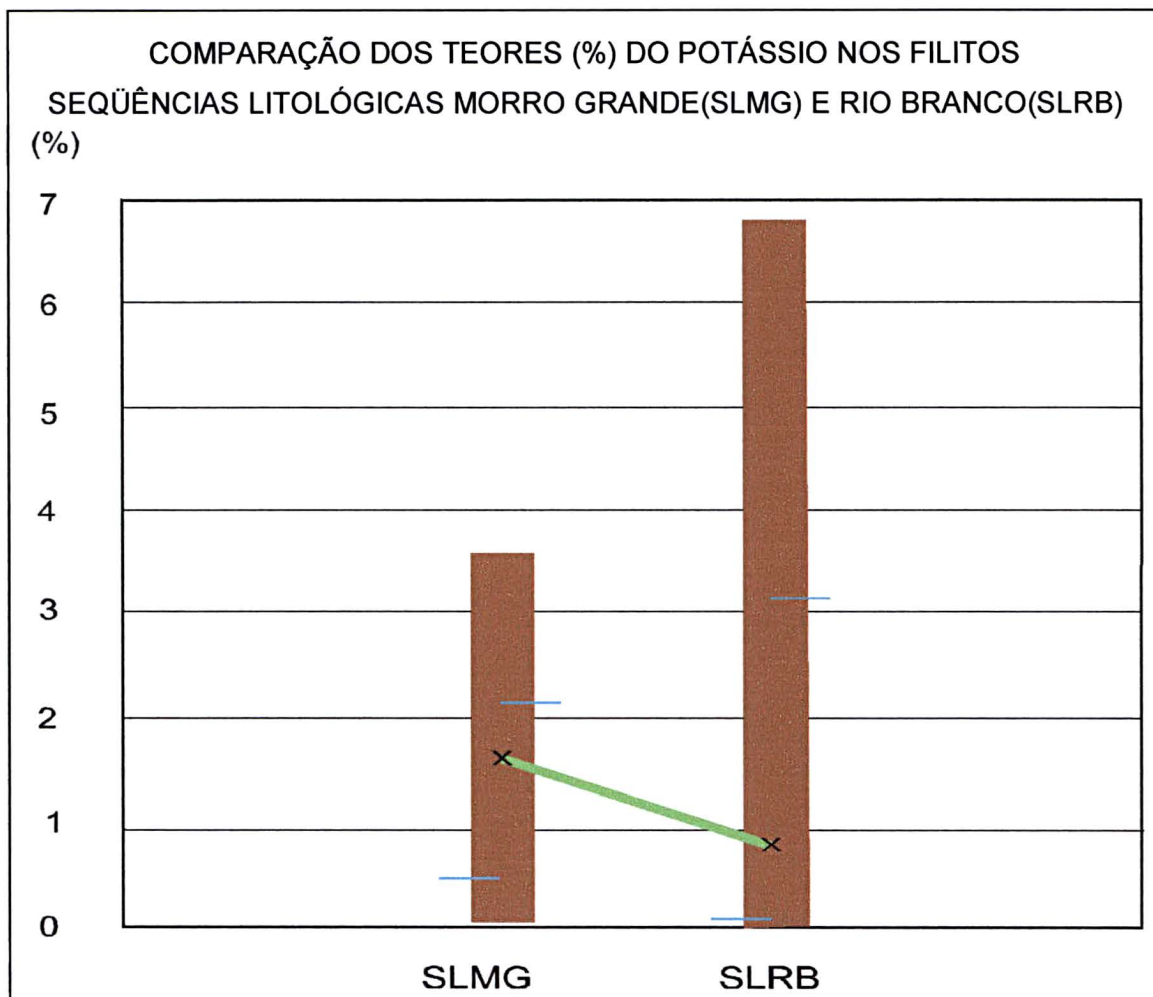
Quanto a estatística dos radionuclídeos nos filitos, como era de se esperar, mostraram valores elevados.

Comparativamente aos metadolomitos, os filitos apresentaram médias dos teores (%) de potássio mais elevados. Na Seqüência Litológica Morro Grande, a distribuição dos teores mostrou valor de desvio padrão menor, com valor máximo de 3,6% e média de 1,63%. Na Seqüência Litológica Rio Branco, os teores de potássio apresentaram valor para o desvio padrão maior, com valor máximo de 6,8% e média de 0,81%.

Essas diferenças de valores, podem ser atribuídas à maior ocorrência de lentes e da presença do alinhamento estrutural, que possivelmente condicionou uma concentração maior de K na Seqüência Litológica Rio Branco (figura 27).

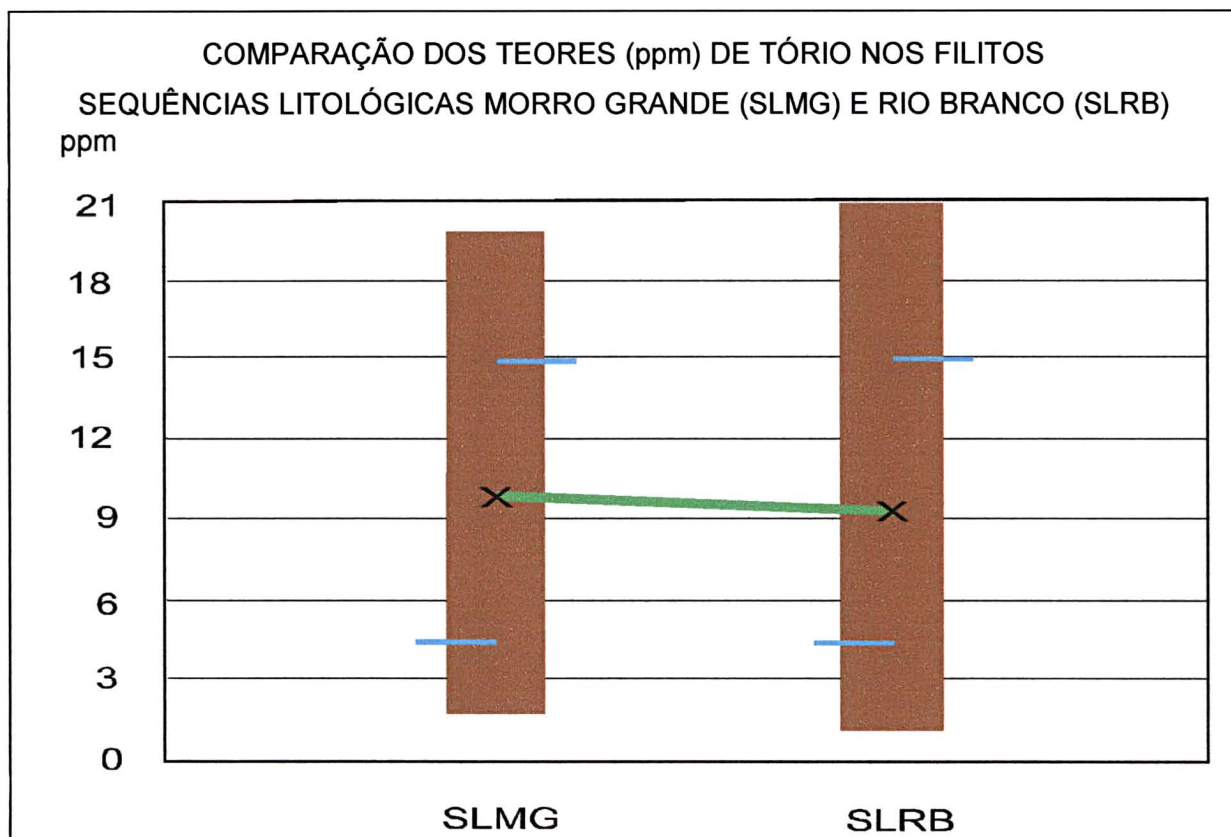
Em relação ao tório, este mostrou valores muito próximos em ambas as seqüências litológicas, com valores médios de 9,78 e 9,3 respectivamente na SLMG e SLRB mostrando valores de desvio padrão também próximos (figura 28). No entanto, na SLRB, o teor (ppm) de Th foi mais elevado em relação à outra seqüência litológica provavelmente também devido à presença do alinhamento estrutural.

Em relação ao urânio (figura 29), as médias das duas seqüências, assim como no tório, mostraram teores muito semelhantes. A média na Seqüência Litológica Morro Grande apresentou teor sutilmente mais elevado (2,3 ppm) em relação a Seqüência Litológica Rio Branco (2,0 ppm) devido à presença de material carbonoso. No entanto, de acordo com os resultados apresentados, o valor do desvio padrão na SLRB mostrou-se bem mais elevado em relação a SLMG e o valor máximo observado de ppm de urânio na SLRB foi de 5,6, enquanto na SLMG, o valor observado foi de 3,5, isto devido a maior variabilidade do U em relação ao Th.



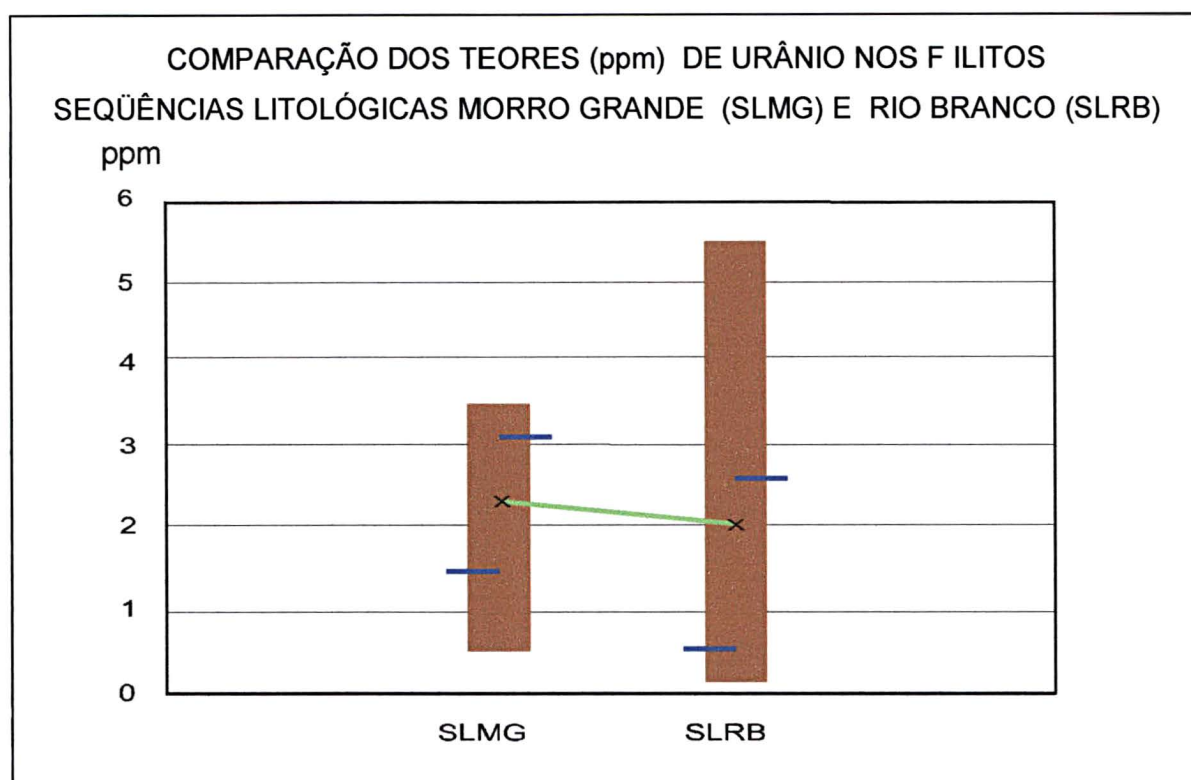
Potássio (%)	SLMG	SLRB
Mínimo	0,1	0,0
25%	0,5	0,1
Mediana	1,5	0,2
75%	2,2	3,2
Máximo	3,6	6,8
Média	1,63	0,81
Desvio Padrão	1,09	2,68

Fig. 27 - Estatística do potássio nos filitos das seqüências litológicas Morro Grande e Rio Branco.



Tório (ppm)	SLMG	SLRB
Mínimo	1,7	1,0
25%	4,3	4,3
Mediana	4,3	6,1
75%	14,7	14,9
Máximo	19,7	20,9
Média	9,78	9,3
Desvio Padrão	6,10	7,32

Fig. 28 - Estatística do tório nos filitos das seqüências litológicas Morro Grande e Rio Branco.



Urânio (ppm)	SLMG	SLRB
Mínimo	0,5	0,1
25%	1,5	0,4
Mediana	2,2	1,4
75%	3,1	2,6
Máximo	3,5	5,6
Média	2,3	2,0
Desvio Padrão	0,86	1,83

Figura 29 - Estatística do urânio nos filitos das seqüências litológicas Morro Grande e Rio Branco.

A utilização da gamaespectrometria em região de rochas metadolomíticas mostrou-se eficiente, visto que esta técnica geofísica é utilizada tradicionalmente como apoio no mapeamento geológico regional e à prospecção mineral.

Na área de estudo, seu uso permitiu separar as duas seqüências litológicas, verificando os distintos padrões de assinaturas gamaespectrométrica em cada uma das seqüências.

A SLMG é caracterizada por apresentar assinaturas gamaespectrométricas de K, U, Th e Contagem Total (CT) elevadas, principalmente nos filitos. Tal comportamento é interpretado pela provável presença de matéria orgânica e/ou argilos-minerais nesta seqüência litológica o que eleva os valores do U.

Na SLRB os padrões de assinaturas foram considerados baixos, normais para os metadolomitos e filitos, com exceção de duas anomalias constatadas. Tais anomalias foram caracterizadas por teores de K, Th e CT elevados. Este tipo de comportamento é interpretado pela ocorrência da Falha de Cavalgamento do Pessegueiro e por um fraturamento E-W na área devido a maior mobilidade do K e Th em zonas de falhas e fraturas.

De um modo geral, o emprego desta técnica pode ser considerado satisfatório, pois através dela obteve-se os padrões de assinatura geofísica de cada uma das seqüências e sua distinção do ponto de vista geofísico e como apoio ao mapeamento geológico, visto que esse tipo de trabalho em nível de detalhe nesta região ainda é restrita, necessitando ainda de estudos mais acurados no futuro.

CAPÍTULO 8

8.1 - A GEOMORFOLOGIA E A EXPLORAÇÃO DOS METADOLOMITOS

A Região de Morro Grande é composta predominantemente por metadolomitos, filitos, quartzitos, filitos e carbonosos, metassiltitos e secundariamente por mica xistos pertencente ao Grupo Setuva, o qual se localiza a NW da área estudada e seu contato com os metadolomitos se faz pela Falha do Setuva.

Os quartzitos e os xistos são rochas muito resistentes aos processos de intemperismo. Por esta razão, ressaltam fortemente na topografia. Este fenômeno é bem visível na região da Anticlinal do Setuva e na Sinforme de Morro Grande respectivamente a NW e a sul da área, os quais se refletem na paisagem ressaltando em relação aos terrenos circundantes (figura 30).

Na Região de Morro Grande e adjacências, a presença de metadolomitos intercalados a quartzitos e filitos propiciou o desenvolvimento de formas cársticas como dolinas e sumidouros, ao longo de zonas deprimidas nos terrenos correspondentes aos metadolomitos. Essas zonas com altitudes em torno de 900 e 1000 metros, apresentam direção NE-SW e estão separadas por cristas quartzíticas e filíticas, mais resistentes a erosão, situadas em cotas entre 1050 e 1100 metros.

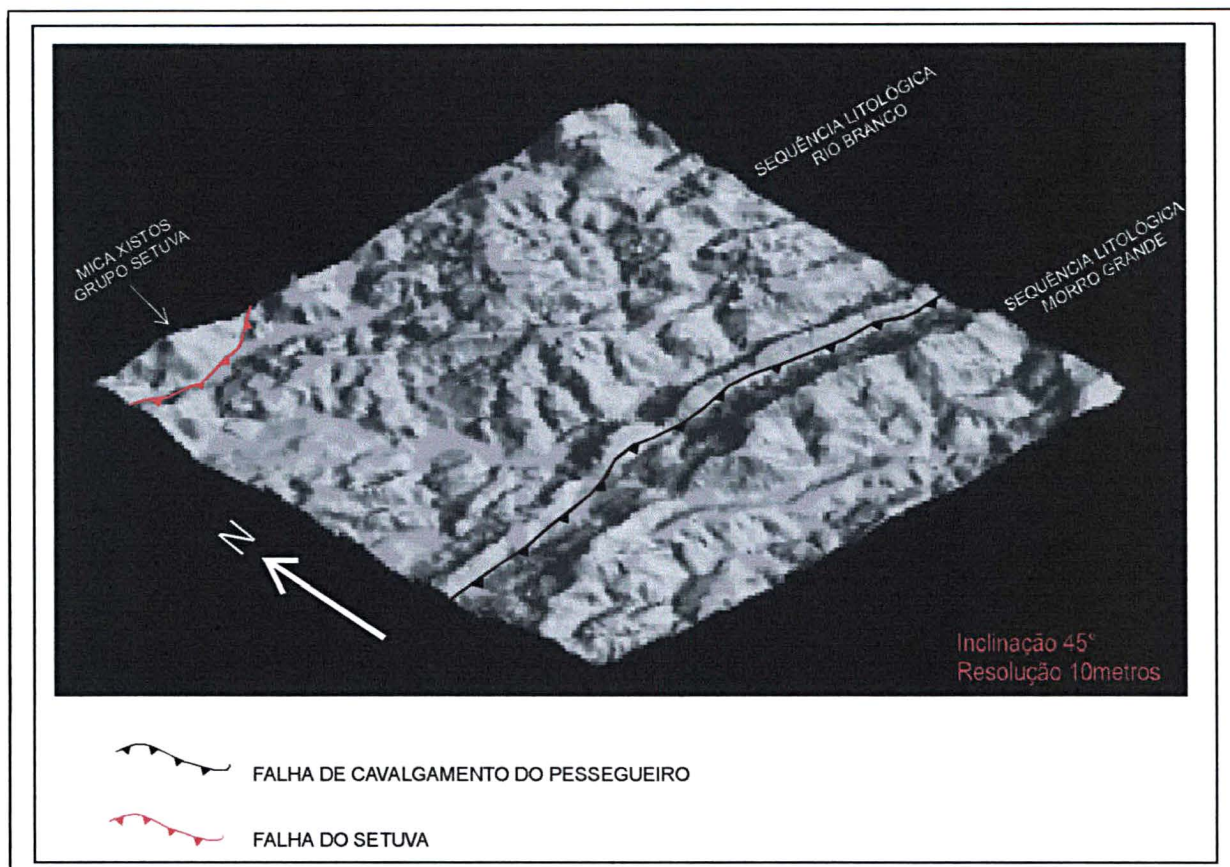


Fig. 30 - Modelo Digital do Terreno (MDT) tridimensional da Região de Morro Grande onde é possível visualizar ao sul altos topográficos de um flanco da Sinforme de Morro Grande representado por filitos e quartzitos e a NW a Antiforme do Setuva constituído por mica xistos.

Na direção NW-SE, seccionando esse conjunto metassedimentar, estão os diques básicos que ocorrem como cristas alongados quando cortam metadolomitos, ou vales quando seccionam quartzitos.

De um modo geral, na figura 31 pode-se perceber que do ponto de vista de relevo e variação de altitudes, na Seqüência Litológica Morro Grande é observada cotas altimétricas mais elevadas (feições esbranquiçadas), representadas pela Sinforme de Morro Grande, enquanto a Seqüência Litológica Rio Branco por cotas baixas (feições cinza-escuro) representada por um relevo mais arrasado.

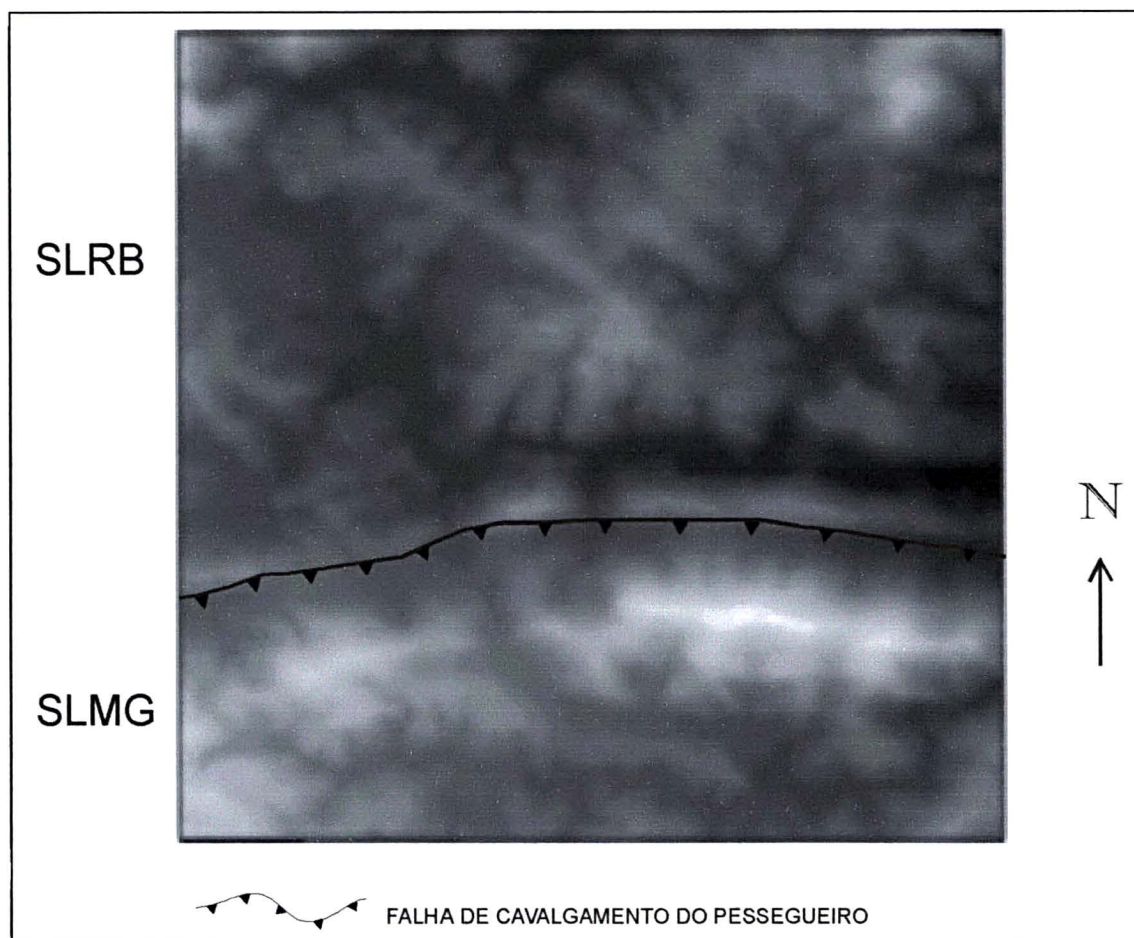


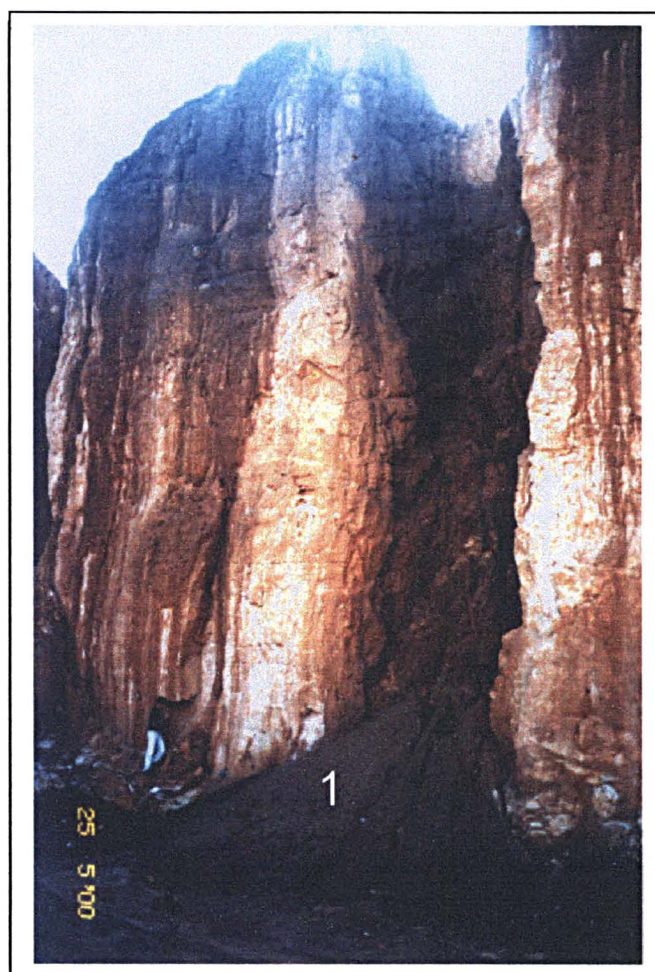
Fig. 31 - Modelo Digital do Terreno (MDT) onde pode-se observar o relevo da região. As feições em cinza escuro representa os baixos topográficos

Quanto à relação entre a geomorfologia e a exploração dos metadolomitos, observou-se, principalmente na Seqüência Litológica Rio Branco, o problema relacionado aos processos intempéricos e erosivos, associados às falhas ou juntas que atuam sobre as áreas metadolomíticas podendo causar dissolução em grande escala (fotografia 7) Estas ocorrências podem estar relacionadas a fenômenos naturais, ou serem acelerados por atividades humanas tais como: mineração em pedreiras com utilização de explosivos, retirada de vegetação em consequência exposição das rochas, exploração de recursos hídricos.

Na área foram reconhecidos fraturamentos com direção N40 - 50°E e N10 - 20°E, a partir de afloramentos e diagramas de roseta gerados por uma deformação mais rúptil. Já os fraturamentos de direção N40 - 60°W, seriam fraturas de tração,

relacionadas a outro evento, o qual seria responsável pela intrusão dos diques de diabásio.

Neste estudo, de acordo com o diagrama de roseta, as fraturas de tração (N40 - 60°W) e as de relaxamento (N30 - 50°E) apresentam as melhores condições para o desenvolvimento da dissolução.



Fotografia 7 - Dissolução em grande escala provavelmente provocado por fenômenos naturais em pedra de metadolomitos da Seqüência Litológica Rio Branco. Cone de detritos (1).

Em muitos casos, o manto de solo apresenta-se espesso, oscilando entre 10 a 15 metros e não raro atingindo dezenas de metros. Desta forma, esse material preenche as fraturas de dissolução ao longo de linhas tectônicas e formam muitas vezes cones de detritos junto às pedreiras. Esse tipo de situação pode em muitos

casos inviabilizar a exploração de metadolomitos ocorrendo o abandono das pedreiras.

Com o objetivo de estudar de maneira mais detalhada a topografia da Região de Morro Grande, elaborou-se um mapa clinográfico (figura 32) visando estabelecer uma possível relação dos locais de exploração dos metadolomitos e o relevo do terreno.

MAPA CLINOGRÁFICO - REGIÃO DE MORRO GRANDE

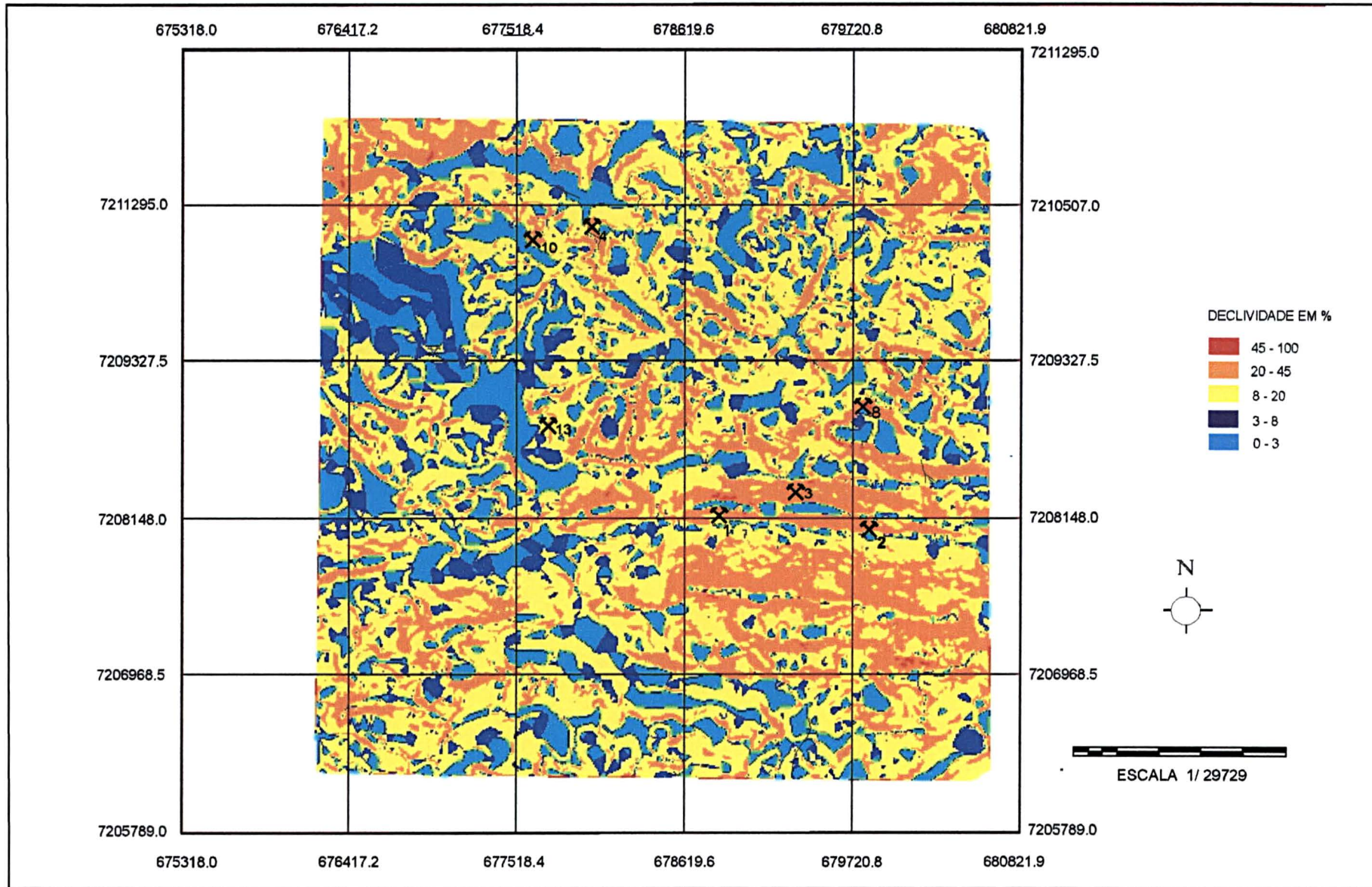


Figura 32 - Mapa clinográfico com localização das pedreiras estudadas em detalhe

De acordo com a proposta inicial de trabalho, de elevar o grau de conhecimento geológico e prospeccional nos metadolomitos da Região de Morro Grande, deve-se destacar a importância da geomorfologia da região como um importante critério de exploração dos metadolomitos

Analisando o mapa clinográfico, nota-se que em ambas sequências litológicas, a exploração dos metadolomitos nas pedreiras estudadas em detalhe se faz preferencialmente em superfície de relevo acidentado, formado por morros com 100 a 200m de desnível e declives fortes, entre 20 e 45% e em superfície de topografia suave formada por conjuntos de colinas com diferenças de nível inferiores a 50m e declive suave, entre 3 e 8% no caso a pedreira 13.

Como já foi anteriormente comentado, na Seqüência Litológica Morro Grande concentra-se o maior número de pedreiras em atividades e em volume de material explotado. Isto deve-se ao fato de que na SLMG, as cotas altimétricas variam de 900 a 1100 metros. As encostas são mais íngremes, e apesar da cobertura do solo, as rochas encontram-se mais expostas proporcionando um grande volume de material explotado. No entanto, a abertura das frentes de lavra se faz aleatoriamente, sem qualquer estudo prévio. As bancadas apresentam muitas vezes alturas superiores a 30 metros e a exploração ocorre em níveis abaixo do nível de cota, alcançando o lençol freático o que acarreta o abandono da lavra.

Na Seqüência Litológica Rio Branco, as cotas altimétricas variam de 800 a 900 metros. No caso dos xistos que fazem parte da Anticlinal do Setuva, a altitude alcança até 1100m. No geral a SLRB apresenta um relevo mais arrasado em relação à outra seqüência litológica.

Além do grande recobrimento estéril, apresenta estreitamento do leito calcário e maior incidência de dissolução cárstica em suas pedreiras, o que acarreta em um abandono da frente de lavra. Apesar disso, as bancadas desta seqüência litológica apresentam normalmente alturas entre 10 e 15 metros, o que permite uma exploração adequada e segura.

As pedreiras comumente exploradas localizam-se em superfície de relevo acidentado e declives fortes, entre 20 e 45%.

CAPÍTULO 9

9.1 - CRITÉRIOS DE EXPLORAÇÃO DOS METADOLOMITOS

Neste capítulo foram abordados os principais critérios de exploração hoje utilizados pelas empresas de mineração verificando a viabilidade destes nas seqüências litológicas Morro Grande e Rio Branco e com extensão para os metadolomitos mesoproterozóicos do Paraná e São Paulo.

Um dos critérios analisados foi a diferenciação entre os sistemas deposicionais nas seqüências litológicas e sua relação com a exploração.

A Seqüência Litológica Rio Branco, de acordo com as características dos litotipos evidenciam deposição em ambiente costeiro, de águas rasas com intercalações lenticulares de quartzitos e filitos em meio às rochas metadolomíticas. A granulação dos metadolomitos varia de fina a média, com presença de oólitos e camadas com estratificação cruzada. Os metadolomitos desta seqüência litológica apresentam-se normalmente friáveis, o que proporciona uma facilidade na retirada do material e sua utilização comumente para corretivo agrícola, não restringindo no entanto seu uso para fabricação de cal em alguns litotipos.

Por outro lado, na Seqüência Litológica Morro Grande também evidencia deposição em ambiente raso, embora em zona de supramaré. Os metadolomitos apresentam granulação muito fina a fina, com presença de estruturas estromatolíticas e ocorrência de filitos grafitosos. Os quartzitos representam os altos topográficos que sustentam o relevo na Sinforme de Morro Grande, criando maior inclinação das camadas e maior exposição das rochas aflorantes. Nestes locais se concentram as maiores frentes de lavras em termos de tamanho e volume de material explotado.

Quanto a utilização da geologia estrutural como um critério de exploração, de modo geral não evidenciou uma influência das falhas regionais de cavalgamento na qualidade do material explotado. No entanto, a presença dos dobramentos presentes na Seqüência Litológica Morro Grande, que foram gerados no 2º evento deformacional que atingiu o Grupo Açungui, criou maior inclinação das camadas nos metadolomitos, o que favoreceu a localização das principais frentes de lavra nas charneiras dos dobramentos desta seqüência litológica em relação à SLRB.

Quanto a utilização da litoestratigrafia, verificou-se através da elaboração de seções colunares que na SLMG, ocorre maior espessura das camadas e uma variedade maior de litotipos com rochas normalmente de granulação fina, além da ausência de dissolução cárstica. A distinção destes litotipos foi útil também para o emprego da litogeoquímica, visto que foi realizada em níveis detalhados das colunas estudadas.

Ao contrário, na SLRB as camadas rochosas são menos espessas, granulação normalmente média, maior homogeneidade dos litotipos e maior espessura de material estéril. Desta forma há grande preferência das empresas de mineração pela SLMG.

Quanto a análise petrográfica, esta mostrou-se muito útil, pois permitiu comprovar a diferença de granulação entre as seqüências litológicas e a sua relação com a exploração na área. Basicamente, na SLMG a análise mostrou granulação fina para os litotipos selecionados e percentual médio de 5% de quartzo (insolúveis) além da identificação de traços de possível matéria orgânica e/ou argilominerais.

Na SLRB, os minerais apresentam granulação média a grossa, com percentual médio de quartzo em torno de 10%, estando estes compondo a matriz da rocha ou preenchendo fraturas e formando vênulas. De acordo com estas características, os metadolomitos da SLRB apresentam teores de SiO₂ maiores que os da SLMG, comprometendo a qualidade do material para fabricação de cal. Juntamente com a análise petrográfica foi aplicada a técnica de colorimetria seletiva por alizarina dos carbonatos no estudo mineralógico das rochas metadolomíticas. Os resultados permitiram a determinação da porcentagem de calcita e dolomita, utilizando um "software" para tratamento de imagem e contagem automática. O emprego desta técnica em rochas metadolomíticas mostrou-se viável, em função da facilidade de aplicação e baixo custo.

Do ponto de vista da litogeoquímica como critério de exploração, esta mostrou a existência de níveis litoestratigráficos preferenciais em ambas seqüências, principalmente no que diz respeito ao fabrico da cal. Através dos resultados litogeoquímicos, pôde-se determinar os metadolomitos ideais para a fabricação da cal na SLMG, representados pelos litotipos 2B, 2E, 2F, 2G, 2H, 2J da pedreira 2, os quais apresentam teores médios de 21,04% de MgO, 30,74% de CaO, 0,13% de Fe₂O₃ e teores abaixo de 1,88% de sílica que corresponde ao teor médio. Nos

demais litotipos, os valores, principalmente de sílica e Fe_2O_3 , estão acima dos valores recomendados.

Para a SLRB, os metadolomitos ideais utilizados na fabricação da cal são os que afloram nos litotipos 10C e 10D da pedreira 10, pois apresentam teores médios de 20,52% de MgO , 30,37% de CaO , 0,10% de Fe_2O_3 e teores de sílica em torno de 2%.

A composição química apresentado por estas rochas mostraram um teor médio de 1,88% de óxido de silício (SiO_2) para a Seqüência Litológica Morro Grande e 2,85% para a Seqüência Litológica Rio Branco.

Considerando que o alto percentual de SiO_2 compromete a qualidade do metadolomito para a fabricação da cal, notou-se que na SLMG o litotipo 2A da pedreira 2 apresenta 7,48% de insolúveis e no litotipo 10A da pedreira 10 teor de 4,6% de insolúveis, portanto teores considerados acima dos teores médios das seqüências litológicas Morro Grande e Rio Branco.

Quanto a utilização da gamaespectrometria terrestre, verificaram-se dois padrões distintos de assinaturas entre as seqüências litológicas Morro Grande e Rio Branco.

A SLMG é caracterizada por apresentar assinaturas gamaespectrométricas de K, U, Th e Contagem Total (CT) elevadas, principalmente nos filitos. Tal comportamento é interpretado pela presença de matéria orgânica nesta seqüência litológica o que eleva os valores do U.

Na SLRB os padrões de assinaturas foram considerados baixos, isto é, normais para os metadolomitos e filitos, com exceção de duas anomalias constatadas. Tais anomalias foram caracterizadas por teores de K, Th e CT elevados. Este tipo de comportamento é interpretado pela ocorrência da Falha de Cavalgamento do Pessegueiro e por um fraturamento E-W na área, devido a maior mobilidade do K e Th em zonas de falhas e fraturas. A gamaespectrometria foi importante para mostrar as diferenças dos padrões de assinaturas das seqüências litológicas.

O estudo geomorfológico mostrou-se viável e importante como um critério de exploração para os metadolomitos na Região de Morro Grande. A influência deste tipo litológico na evolução do relevo é muito marcante devido a sua fácil dissolução por ação de água circulante. As rochas mais resistentes à decomposição química,

tais como quartzito e filitos que se intercalam na área ressaltam na topografia da região apresentando cotas altimétricas acima de 1000 metros.

No mapa clinográfico, notou-se a preferência das empresas mineradoras pela superfície de relevo acidentado, formado por morros com 100 a 200m de desnível e declives fortes, entre 20 a 45%.

Os metadolomitos da SLRB apresentam cotas altimétricas mais baixas. De um modo geral, o relevo caracteriza-se por apresentar-se menos acidentado e íngreme com inclinação média das camadas em torno de 50°.

Os metadolomitos da SLMG, ao contrário, apresentam cotas altimétricas elevadas, acompanhando os filitos e quartzitos da área. A inclinação média das camadas é de cerca de 70° e direção de mergulho contrário à exploração das frentes de lavra. A preferência das empresas mineradoras pela SLMG, está no fato de que nesta seqüência litológica as rochas metadolomíticas estão mais expostas e, como as camadas são mais inclinadas, ocorre um acúmulo menor de tálus, tornando o solo menos espesso, e, conseqüentemente, há maior volume de material a ser explorado.

De acordo com as seqüências litológicas da região, pode-se enumerar algumas vantagens na escolha da localização das pedreiras em declives altos e encostas íngremes tais como:

- acúmulo de pouco material alterado, não formando solo espesso;
- maior exposição aflorante de rocha metadolomítica;
- maior escoamento superficial da água, não favorecendo o aparecimento de dissolução cárstica;
- com maior declividade e direção de mergulho contrário à exploração nas frentes de lavra, ocorre maior estabilidade de taludes e conseqüentemente maior segurança;
- lençol freático mais profundo em relação à frente de lavra.

De acordo com os métodos aplicados e resultados obtidos neste trabalho pode-se chegar a seguinte conclusão: pode-se enumerar a geomorfologia como o método mais importante aplicado, mostrando-se eficiente e viável para a área estudada.

A seguir, a utilização da geoquímica juntamente com o método da colorimetria também apresentou-se eficiente, mostrando os litotipos mais indicados principalmente para o fabrico da cal.

A separação dos litotipos através da litoestratigrafia pode vir a seguir como um método importante, juntamente com o estudo petrográfico.

Quanto a utilização da gamaespectrometria, esta mostrou-se eficiente, no entanto não determinou diretamente os locais apropriados e a relação destes com a qualidade dos bens minerais economicamente explotáveis. Apesar disso, foi de grande valia na determinação de possíveis zona de falhas e fraturamentos e na distinção dos metadolomitos das diferentes seqüências litológicas através dos resultados obtidos e interpretados ao longo deste trabalho.

Diversas informações foram obtidas durante o desenvolvimento deste trabalho, porém ainda restam algumas dúvidas, carecendo portanto de estudos mais detalhados, possivelmente com a realização de diferentes análises litogeoquímicas além de estudos mais acurados relacionados à litoestratigrafia e a geomorfologia, e desta forma possibilitar a aplicação destes critérios para outras regiões.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F.F.M. de.,** 1944. *Collenia Itapevensis - Um fóssil Pré-Cambriano no Estado de São Paulo*. São Paulo, Fac. Fil. Ci. Letras, p.29 - 106 (Bol. 45).
- B.G.S., BRITISH GEOLOGICAL SURVEY,** 1994 – *Mineralogy and petrology group minerals for development*, Keyworth, (BGS Technical Report WG/94/13).
- BIGARELLA, J. J. –** 1953 – *Estudos preliminares na Série Açungui III – Rochas calcárias da Faixa Central e sua classificação – Arquivos de Biologia e Tecnologia*, v. VIII art. 21, p. 473-502 – Inst. Biol. e Pesq. Tecn. Curitiba - Pr.
- BIGARELLA, J.J.; SALAMUNI, R. –** 1956 – *Estudos preliminares na Série Açungui, V – Estruturas organógenas nos dolomitos da Formação Capiçu (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. –** 1959 – *Planta geológica de parte dos municípios de Rio Branco do Sul, Bocaiúva do Sul, Almirante Tamandaré e Colombo (PR)*. UFPR. Inst. Geol.
- 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, nºs 23 a 25, Curitiba, 347 p.
- BIGARELLA, J. J., BECKER, D. R., PASSOS, E.** 1996. *Estrutura e Origem das Paisagens Tropicais e Subtropicais*. V2, Editora da UFSC - Florianópolis - SC - 425p.

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.

BURNE, V. R. & MOORE, L. S., 1987 – Microbialites: organosedimentary deposits of benthic microbial communities., v. 2, p.241-254.

CAMPANHA, G.A . da C. 1986 – *Modelos de evolução tectônica para o Escudo Paranaense e sul do Estado de São Paulo.* São Paulo: IG/USP, Pág. 59-82 (Exame de qualificação – Tema específico nº 2).

CHILINGAR, G. V.; BISSEL, H. J.; FAIRBRIDGE, R. W. – 1967 – *Developments in sedimentology (A carbonate rocks, origin, occurrence and classification).* Elsevier Publ. Co. 471 p. New York.

COMEC – 1987 – Mapa geológico – Folha A-100 – Escala: 1:20000 – Projeto Geotecnia RMC – convênio COMEC/ MINEROPAR – Séc. Est. Ind. e Com. Sec. do Planej. e Coord. Geral.

COMEC Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba, *Mapa planimétrico da Folha Curitiba SG.22-X-D-I,* Curitiba: COMEC, 1989. Escala 1:1000.000.

CORDEIRO DA SILVA, D.; MANTOVANI, M.S.M. *Projeto Aerogeofísico Serra do Mar Sul: uma abordagem semi-quantitativa.* Revista Brasileira de Geociências. São Paulo: SBG: v.24, n.2, p.120-127,1994.

CPRM (COMPANHIA DE PESQUISAS DE RECURSOS MINERAIS) – 1977 – *Projeto Leste do Paraná.* Folha 1:100.000. relatório final. São Paulo. DNPM – CPRM – BADEP.

CPRM Companhia De Pesquisas De Recursos Minerais, *Mapa geológico da Folha Curitiba SG.22-X-D-I,* São Paulo: CPRM, 1998 Escala 1:100.000.

- 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.
- CRUZEIRO DO SUL** – 1980 – Foto aérea: Escala 1:70.000 – Faixa 0-190 – n.º 4490, 4492 – *Projeto SUREHMA-SASUB* – Curitiba – PR.
- DEER, W. A , ZUSMANN, J. & HOWIE, R. A.;** 1981 – *Minerais constituintes das rochas* – Uma introdução. Fundação Calouste Gulbenkian – 562 p. – Lisboa – Portugal.
- DICKSON J. A. D.** – 1966 – *Carbonate identification and genesis as revealed by staining*. *Journal of Sed. Petrology*; 29(2): 491-505.
- DICKSON, B. L.; SCOTT, K. M.** *Interpretation of aerial gamma-ray surveys – adding the geochemical factors*. *AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics*, Austrália, v.17, n.2, p. 187-200. 1997.
- DYSTER, A.** – 1997 – *Stereonet VERSION 3.3* – Licenced to UNESP Copyrigh – Geological Software.
- FAIRCHILD, T. R.** – 1977 – *Conophyton of other stromatolites from the upper Pre-Cambrian Açungui Group Near Itapeva, SP., Brasil*. 1º Simp. Reg. Soc. Bras. Geol. São Paulo.
- FAIRCHILD, I. J.** 1993. *Balmy shores and icy wastes: The paradox of carbonates associated with glacial deposits in Neoproterozoic times*. *Sedimentology Review*, 1:1-5

- FAIRBRIDGE, R. W.** 1957. *The dolomite question*. In: Regional aspects of carbonate deposition (LE BLANC, R.J. & BREEDING, J. G. eds. 1, Spec Publ. Soc. Econ. Paleont. Mineral, 5:1 25-1 78.
- FIORI, A. P.** – 1990 – *Tectônica e estratigrafia do Grupo Açungui a norte de Curitiba*. Tese de livre docência. IG/USP – São Paulo. 216p. Ilust.
- FIORI, A. P.** – 1992 – *Tectônica e estratigrafia do Grupo Açungui – PR*. BoletimIG/USP, Série Científica, 23:55-74.
- FIORI, A. P.**- 1994 - *Evolução geológica da Bacia Açungui* - Boletim Paranaense de Geociências, UFPR, Curitiba - Pr, n.42, p.7-27, 1994.
- FOLK, R.L.** – 1959 – *Practical petrographic classification of limestones*. Bulletin of American. T Association of Petroleum Geologists, 43: 1 –38.
- FOLK, R.L.** – 1962 – *Spectral subdivision of limestone types*, p. 62-84. In: Ham, W.E. ed., Classification of carbonate rocks. Memoir of American Association of Petroleum Geologists, 1, 279 p.
- FRIEDMAN, G. M.** – 1959 – *Depositional environments in carbonate rocks* Society of Economic Paleontologist and Mineralogist. Tulsa USA. P.209.
- FRIEDMAN, G. M.** – 1959 – *Identification of carbonate minerals by staining methods* – Journal of Sed. Petrology; 29 (I): 87-97.
- 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.
- GEOFOTO.** *Projeto Serra do Mar Sul*. Rio de Janeiro, (s.n.) Relatório Final, 120 p. (inédito).
- GEOSOFT.** Program Copyright © Geosoft Inc. 1994.

- GEOSOFT.** *Geosoft Mapping and Processing System.* Geosoft, Inc., Toronto. 1995.
- GIVEN, R. K. & WILKINSON, B. H.** 1987. *Dolomite abundance and stratigraphic age: constraints on rates and mechanisms of Phanerozoic dolostone formation.* *Journal of Sedimentary Petrology*, **57** : 1068-1078.
- GROTZINGER, J. P. & KASTING, J. F.** 1993. *New constraints on Precambrian ocean composition.* *Journal of Geology*, **101** : 235-243.
- GROTZINGER, J.P. & KNOLL, A. H.** 1995. *Anomalous carbonate precipitates: Is the Precambrian the key to the Permian?* *Palaios*, 10:578-596.
- GUIMARÃES, S.B.** 2001. *Os metadolomitos da região de Morro Azul-Pr: características geológicas do minério explotado.* Dissertação de mestrado - UFPR - Curitiba - Pr - 83p.
- HARRISON, D. J., BLOODWORTH, A. J.** – 1993 – *Industrial minerals laboratory manual: limestone.* Keyworth: British Geological Survey, (Technical report, WG/92/29).
- ITC-PR** – Instituto Técnico Cartográfico – 1980 – *Foto aérea: escala 1:25.000* – n.º 51101 – 51103; 51068 – 51070; 54720 – 54721 e 51124 – Projeto COMEC – Curitiba – PR.
- 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.** – 1953 – *Mapa geológico do Estado do Paraná.* Escala 1:750.000. Inst. Bol. Pes. Tecn. Paraná. Curitiba.
- MARINI, O. J.; BIGARELLA, J. J.** – 1967 – *O Grupo Açungui no Estado do Paraná.* In: BIGARELLA, SALAMUNI & PINTO – *Geologia do Pré-Devoniano e*

intrusivas subseqüentes da porção oriental do Estado do Paraná. Bol. Paran. Geoc. p. 23-25, 43-104, 157-181, 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.

McKENZIE, J. A. (1991) The dolomite problem: an outstanding controversy. In: *Controversies in modern geology* (MÜLLER, D. W.; McKENZIE, J. A.; WEISSERT, H. eds.), Academic Press, London, p. 37-54.

MINTY, B. R. S. Fundamental of airborne gamma-ray spectrometry. *AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics*, Austrália, v. 17, n.2, p.39-50. 1997.

PETTIJOHN, F. J. – 1949 – *Sedimentary rocks*. XV, 526 p. Harper & Brothers Publishers. New York.

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.

PURSER, B.H., TUCKER, M.E.; ZENGER, D.H. 1994. *Problems, progress and future research concerning dolomites and dolomitization*. (PURSER, B. TUCKER, M.E.; ZENGER, D. Eds.) Dolomites – a volume in honour of Dolomieu. Special Publication number 21 of the International Association of Sedimentologists. Blackwell Scientific Publications, London, p. 3-20.

READING, H. G. 1996. *Sedimentary Environments and Facies*. 2 ed. Oxford, Alden Press, 615 p.

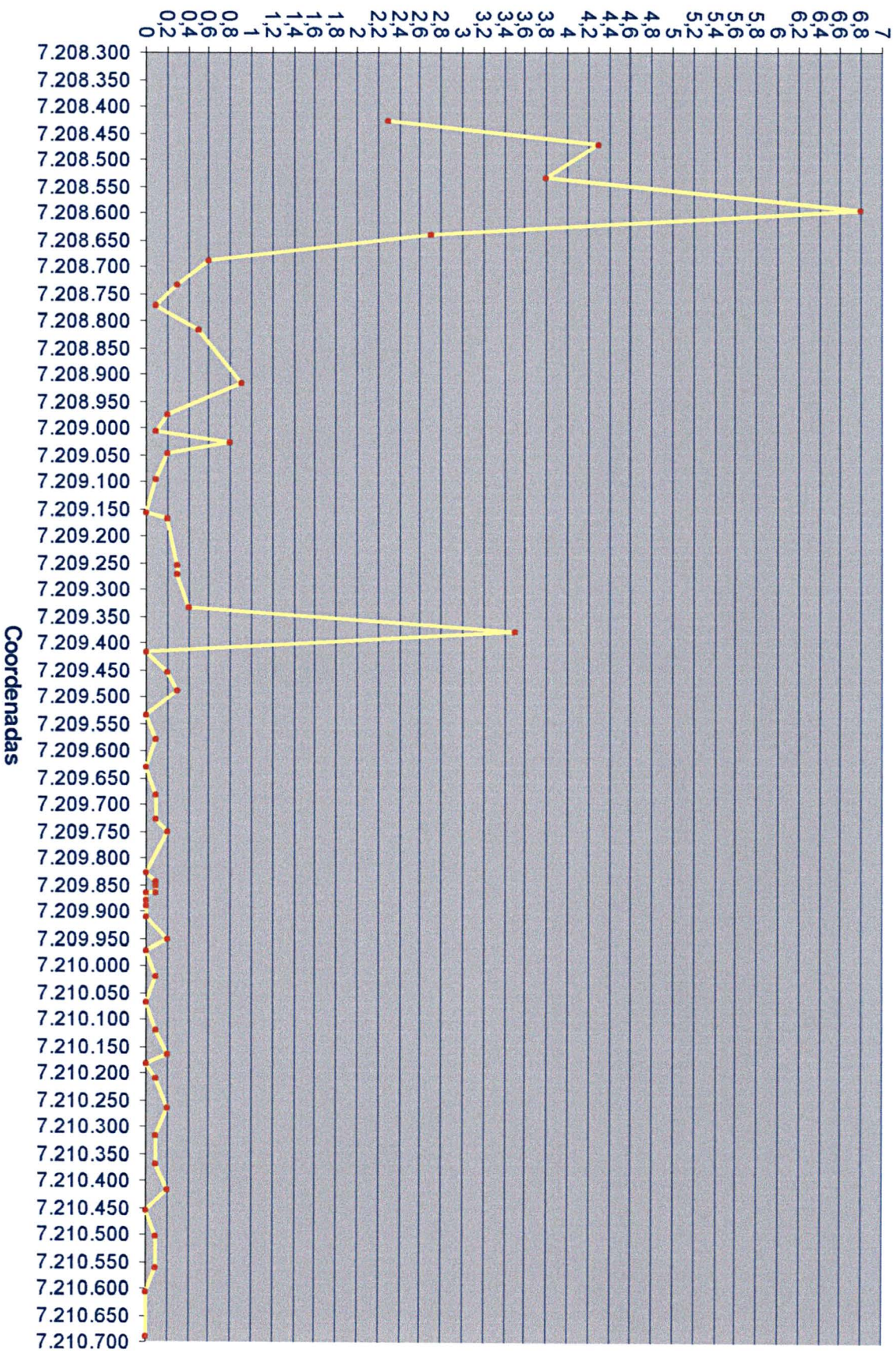
SHEFFIELD, D. C. Selecting band combinations from multispectral data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS), Falls Church, Virginia, v. 51, n. 6 p. 681-687, Jun. 1985.

- SHINN, E. A ., GINSBURG, R.N.; LLOYD, R. M.** 1969. Recent supratidal dolomite from Androws Island, Bahamas. In: Dolomitization and Limestones Diagenesis, a Symposium (Pray, L.C. & Murray, R.D., edits), Special Publication on Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Tulsa, 13, 112-123.
- SILVA, F. V. ,** 1999. *Integração gamaespectrométrica-geológica da Folha de Curitiba*. Dissertação de mestrado - UFPR - Curitiba-Pr- 216p.
- SOARES, P. C. –** 1987 – *Seqüências tectono-sedimentares e tectônica deformadora no centro-oeste do Escudo Paranaense*. In: Simp. Sul-Gras. Geol. 3. Curitiba. 1987. Atas Curitiba. SBG. v.2, p. 743-771.
- TUCKER, M. & WRIGHT V. P.** 1990. Carbonate sedimentology. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 479 p.
- WALKER, R.G. & JAMES, N. P.** 1992. *Facies models-response to sea level*. Geological Association of Canada, Ontário, 409 p.
- WARNE, S.S.J.** 1962 – *A quick field of laboratory staining carbonate minerals*. Journal of Sed. Petrology; 32(1):29-38.
- WENTWORTH, C. K. –** 1922 – *A scale of grade and class terms for clastic sediments*. Journal of Geology, 30: 377-392.
- WILFORD, J. R.; BIERWIRTH, P. N.; CRAIG, M. A.** Application of airborne gamma-ray spectrometry in soil/regolith mapping and applied geomorphology. AGSO JOURNAL OF Australian Geology & Geophysics, Austrália, v. 17, n. 2, p. 201-216. 1997.

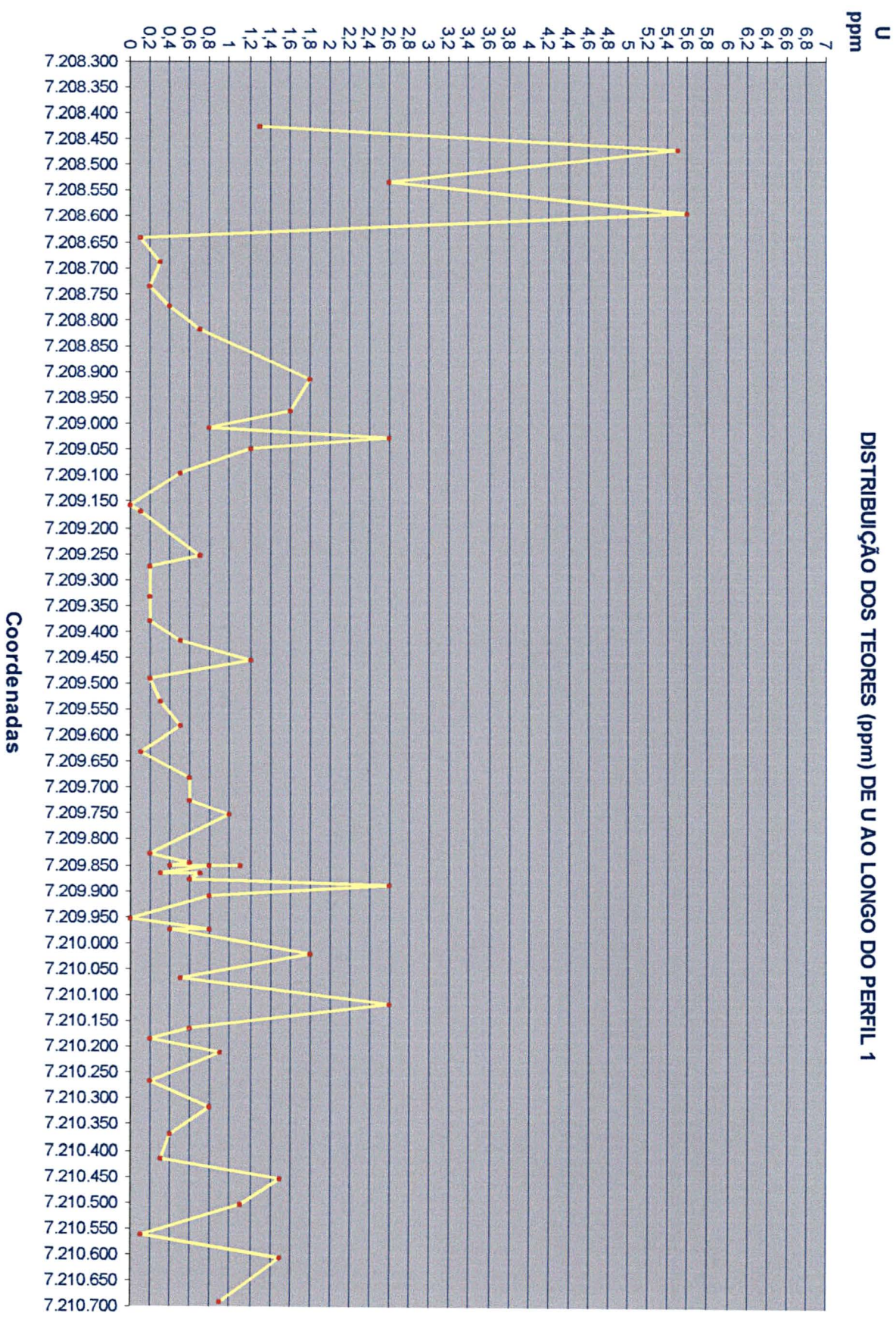
ANEXO 1

% K

DISTRIBUIÇÃO DOS TEORES
(%) DE K AO LONGO DO
PERFIL 1

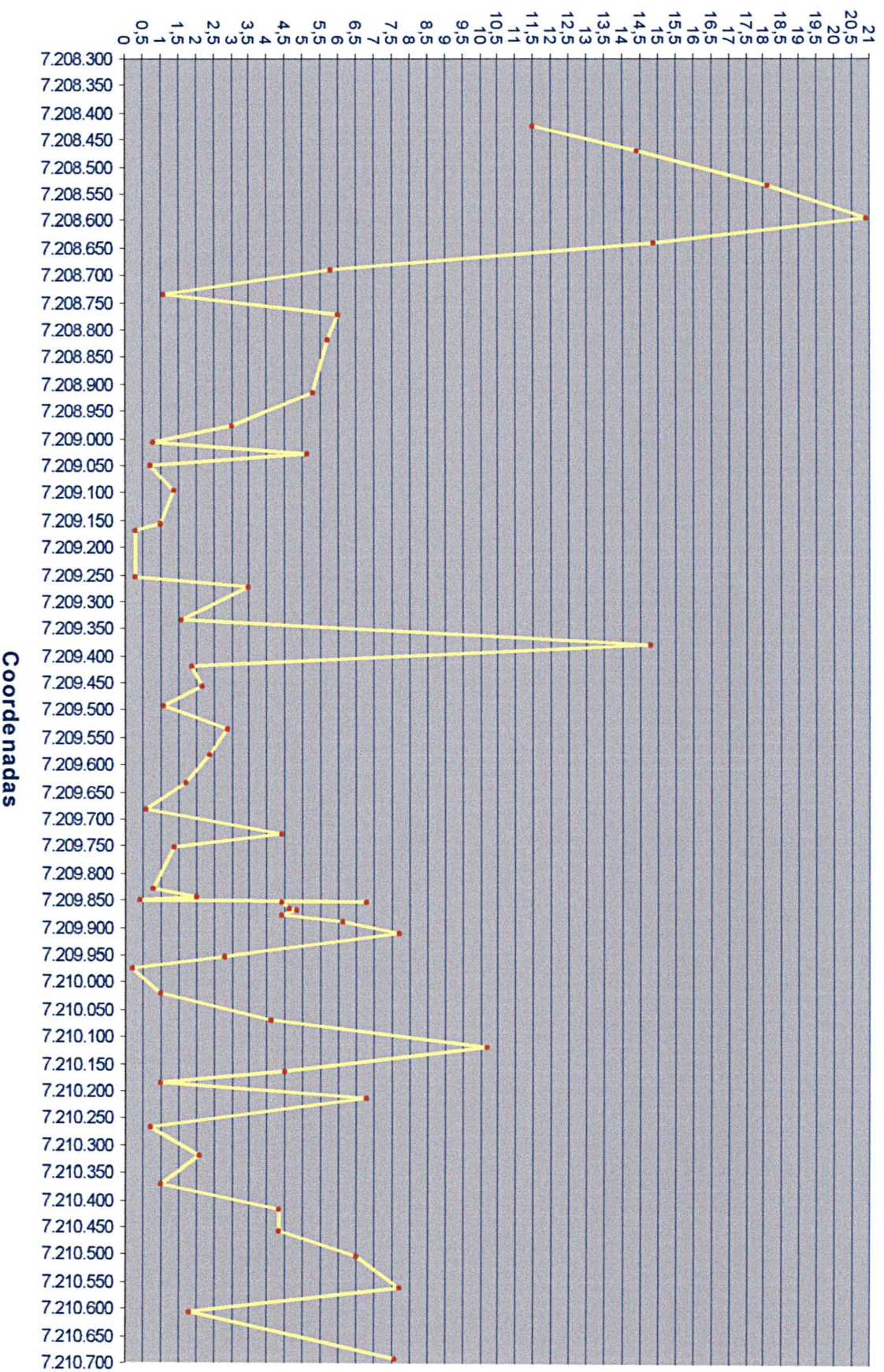


DISTRIBUIÇÃO DOS TEORES (ppm) DE U AO LONGO DO PERFIL 1



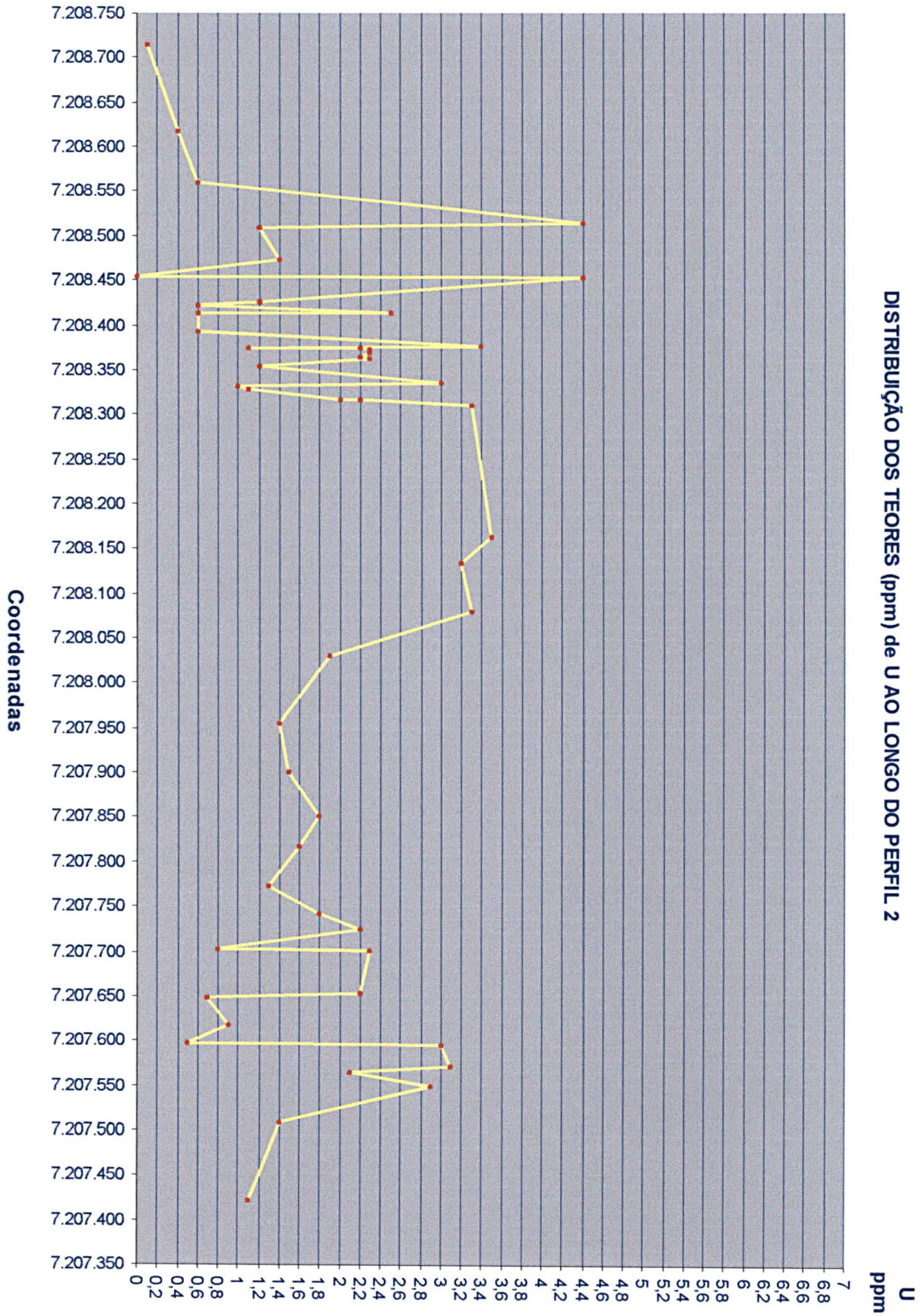
Th
ppm

DISTRIBUIÇÃO DOS TEORES (ppm) DE TÓRIO AO LONGO DO PERFIL 1

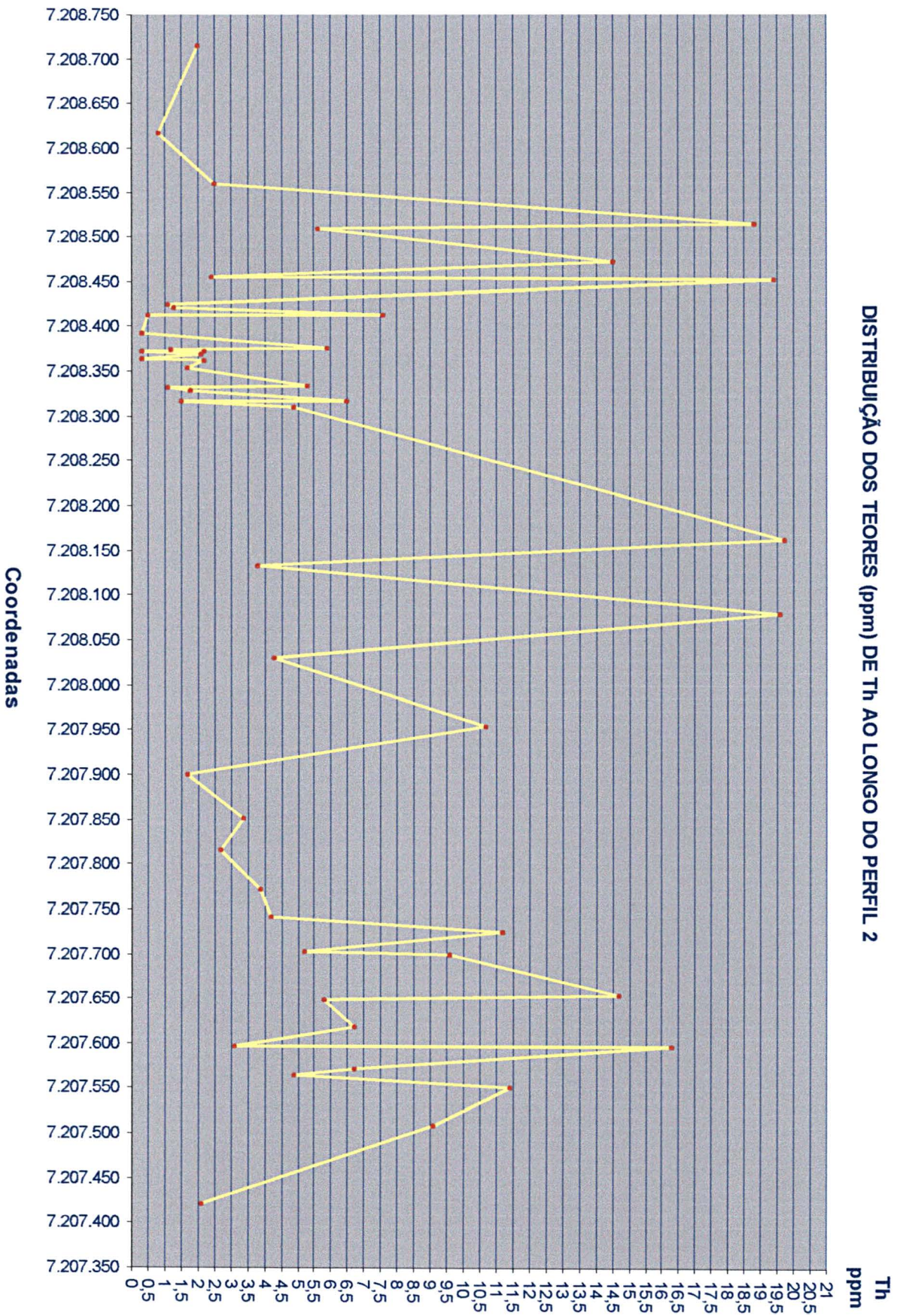


ANEXO 2

DISTRIBUIÇÃO DOS TEORES (ppm) de U AO LONGO DO PERFIL 2

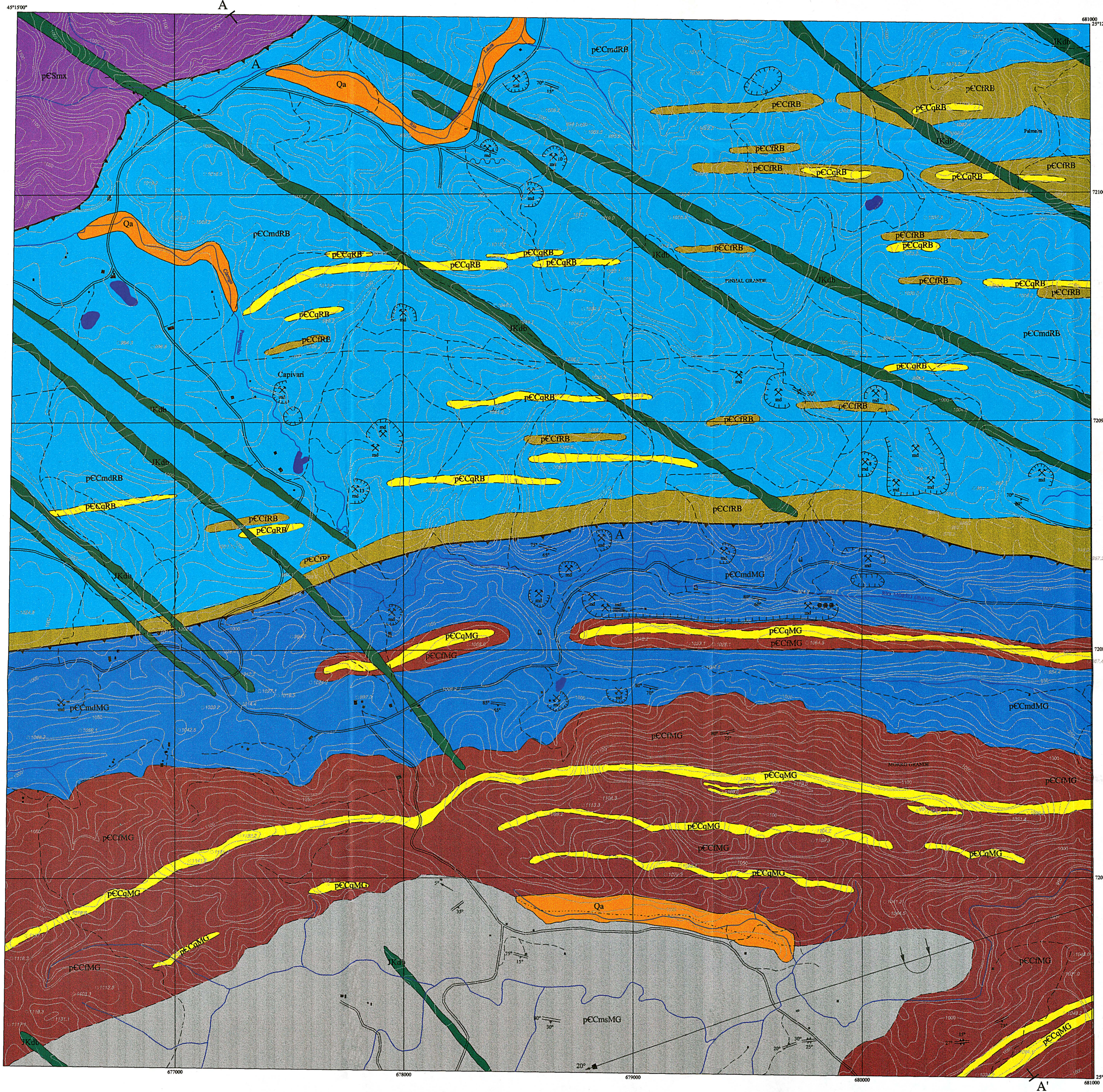


DISTRIBUIÇÃO DOS TEORES (ppm) DE Th AO LONGO DO PERFIL 2



ANEXO 3

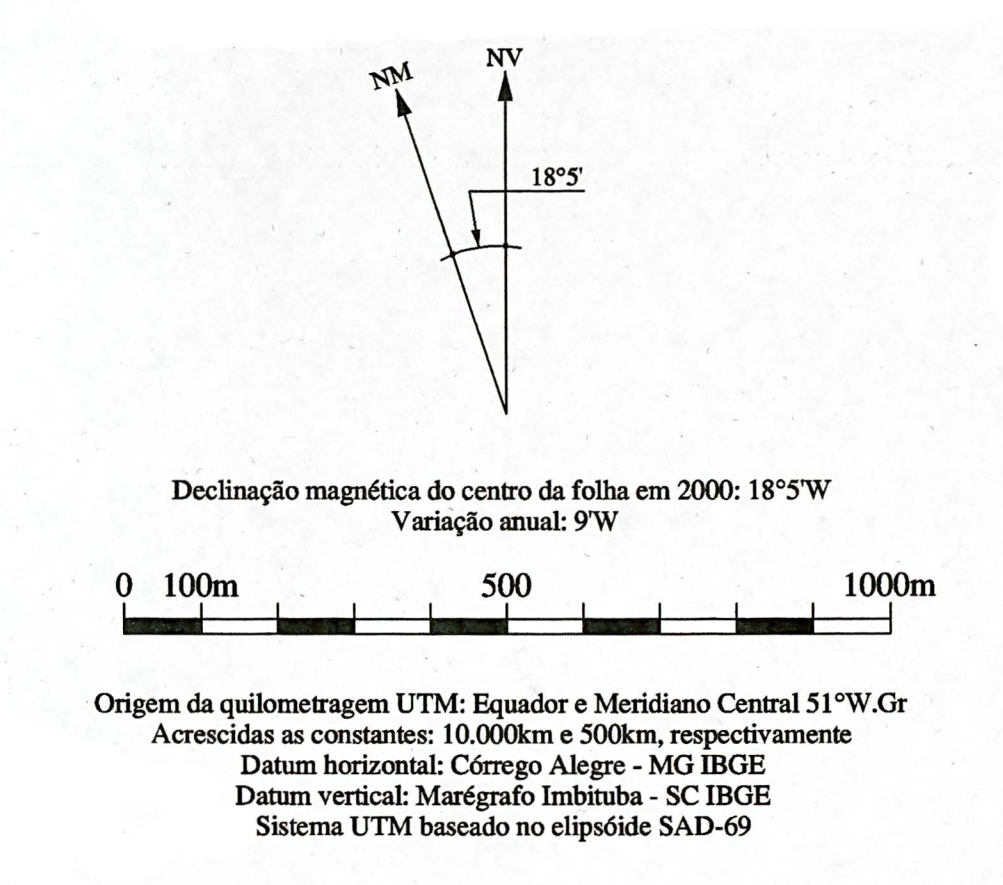
MAPA GEOLÓGICO DA REGIÃO DE MORRO GRANDE



- ### GEOLOGIA
- Contato geológico aproximado
 - Contato geológico encoberto
 - Fratura aproximada
 - Falha de cavalgamento (A = Bloco que subiu)
 - Eixo da sinforme de Morro Grande
 - Direção e mergulho da clivagem ardósiana S1 paralela a So
 - Direção de foliação S1 paralela a So vertical
 - Direção de foliação S2 vertical
 - Sentido e caimento de lineação S2 sobre S1
 - Forno de cal em atividade
 - Forno de cal desativado
 - Dolina
 - Lavra em atividade
 - Lavra desativada
 - Lavra detalhada

- ### PLANIALTIMETRIA
- Estrada principal macadamizada
 - Estrada secundária
 - Escola
 - Casas
 - Drenagem
 - Lago
 - Sumidouro
 - Curvas de nível - altimetria de 10m
 - Cotas

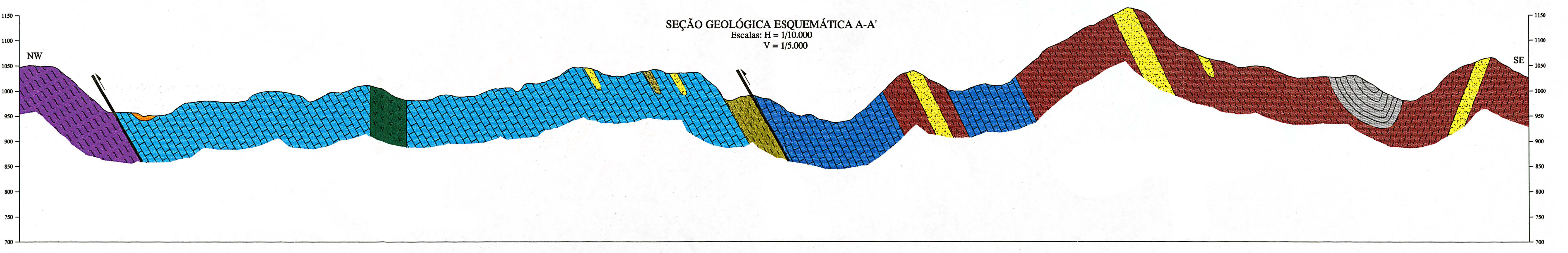
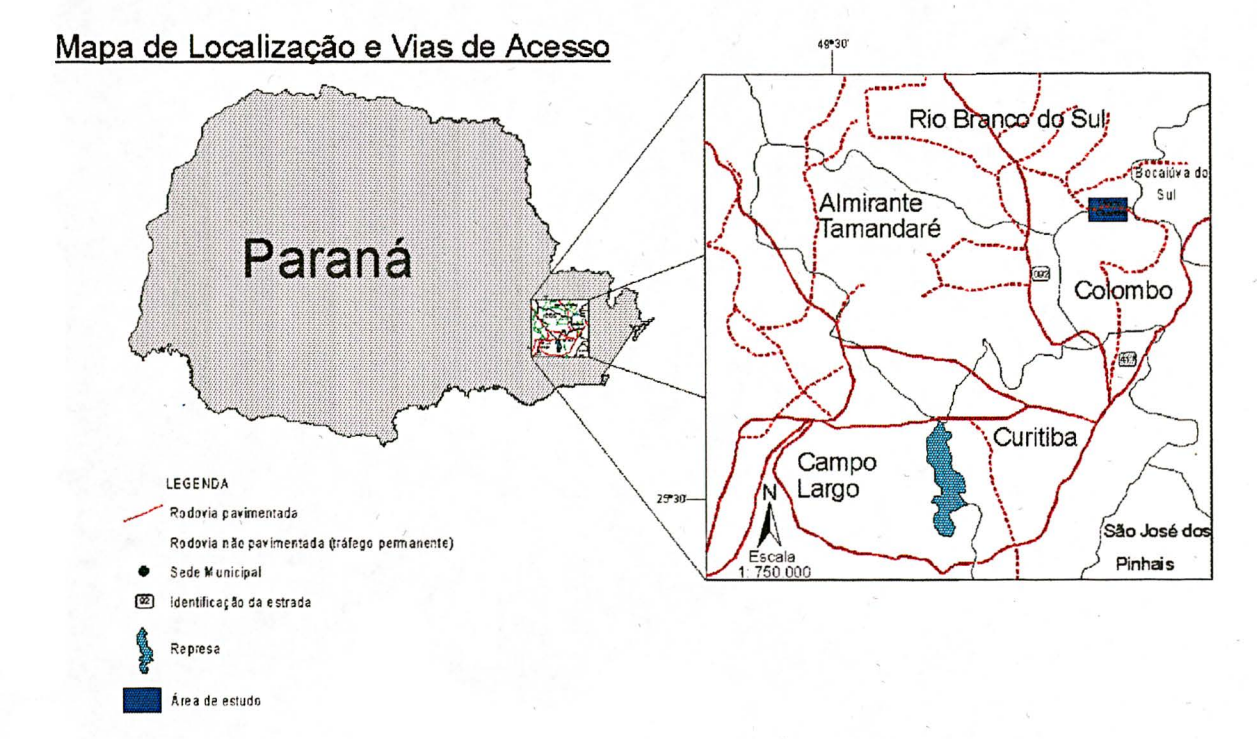
- ### ESTRUTURAS SEDIMENTARES
- Laminação plano-paralela
 - Esteiras microbianas
 - Estromatólitos



- ### LEGENDA
- #### UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS
- ##### QUATERNÁRIO
- Holoceno**
 - Qa: Sedimentos aluvionares em geral
- ##### JURÁSSICO A CRETÁCEO
- JKdb: Diques básicos em geral, predominantemente constituídos por diabásio
- ##### PROTEROZOICO
- #### Formação Capiru
- SEQUÊNCIA LITOLÓGICA RIO BRANCO: Metadolomitos, Quartzitos, Filitos, metarfilitos

SEQUÊNCIA LITOLÓGICA MORRO GRANDE: Metadolomitos, Quartzitos, Filitos, metarfilitos

Relação estratigráfica esquemática entre as Sequências Litológicas Rio Branco e Morro Grande. A linha tracejada representa o sítio da futura Falha de Tranqueira/Pessegueiro, com sentido de movimento indicado (Fiori, 1990 modificado por Siqueira, 2001).
- Sequência Litológica Morro Grande (Fiori, 1990)**
 - pECmdMG: Proterozóico da Formação Capiru constituído por metadolomitos, granulação média a fina predominantemente maciços, cinza esbranquiçados, localmente preservando estruturas sedimentares deposicionais, deformações sin sedimentares e estruturas biogênicas (esteiras algais)
 - pECmMG: Proterozóico da Formação Capiru constituído por filitos vermelhos e filitos com bandamento centimétrico. Ocorrem normalmente como lentes
 - pECmsMG: Proterozóico da Formação Capiru constituído por metassiltitos de coloração cinza claro a cinza escuro
 - pECqMG: Proterozóico da Formação Capiru constituído por quartzitos finos a médio localmente arcoseanos, recristalizados, normalmente de coloração amarelada clara intercalados aos metapelitos 2
 - Sequência Litológica Rio Branco (Fiori, 1990)**
 - pECmdRB: Proterozóico da Formação Capiru constituído por metadolomitos de granulação fina a muito fina, cinza claro a cinza escuro, preservando estruturas sedimentares sin deposicionais
 - pECrRB: Proterozóico da Formação Capiru constituído por filitos carbonosos vermelhos a cinza e filitos com bandamento centimétrico, alternando bandas cinza claras e cinza escuras
 - pECqRB: Proterozóico da Formação Capiru constituído por quartzitos finos a médio, localmente arcoseanos, recristalizados, normalmente de coloração amarelada clara, intercalados aos metapelitos 1
- #### Grupo Setuva
- pCSmx: Micaxistos de granulação média e coloração avermelhado



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

Área da parte integrante da dissertação de mestrado:
GEOLOGIA EXPLORATÓRIA

Localização: MAPA GEOLÓGICO DA REGIÃO DE MORRO GRANDE - COLOMBO (PR)

Professores Orientadores: Prof. Dr. JOSÉ MANOEL DOS REIS NETO, Prof. Dr. SIDNEI PIRES ROSTIROLA, Prof. Dr. LUIZ ALBERTO FERNANDES

Mestrando: ROSSANO B. L. DE SIQUEIRA

Data: JUL/2001
Escala: 1/10.000
Desenho: [assinatura]