

SANDRA BOEIRA GUIMARÃES

**OS METADOLOMITOS DA REGIÃO DE MORRO AZUL-PR:
CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DO MINÉRIO
EXPLOTADO**

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

Orientador: Prof. Dr. José Manoel dos Reis Neto
Co-orientadores: Prof. Dr. Luiz Alberto Fernandes
Prof. Dr. Sidnei Pires Rostirolla

**CURITIBA
2001**

TERMO DE APROVAÇÃO

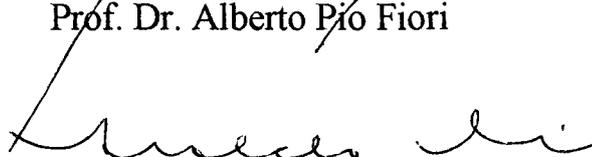
SANDRA BOEIRA GUIMARÃES

“OS METADOLOMITOS DA REGIÃO DE MORRO AZUL-PR:
CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DO MINÉRIO
EXPLOTADO”

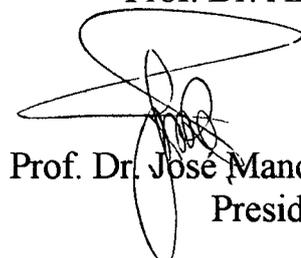
Dissertação de mestrado aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Geologia, área de concentração em Geologia Exploratória, da Universidade Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos Professores:



Prof. Dr. Alberto Pio Fiori



Prof. Dr. Aroldo Misi



Prof. Dr. José Manoel dos Reis Neto
Presidente

Curitiba, 09 de abril de 2001.

Dedico este trabalho

à minha mãe Ieda e

aos meus filhos Kleber e Juliano.

A eles devo tudo, e uma dedicatória é muito pouco

para lhes dizer o quanto eu os amo.

AGRADECIMENTOS

Expressarei aqui o meu mais intenso agradecimento a todas as pessoas que direta ou indiretamente me auxiliaram na elaboração deste trabalho.

Ao Prof. Dr. **José Manoel dos Reis Neto**, pela dedicação, carinho, amizade e orientação em todas as etapas desta dissertação. Sobretudo pelo incentivo para avançar no conhecimento e pelo espírito científico motivador que influenciou na minha formação profissional, sempre com idéias inovadoras e ousadas.

Ao Professor Dr. **Luiz Alberto Fernandes** pela participação e detalhada correção do texto final e ao Prof. Dr. **Sidnei Pires Rostirolla**, pelas valiosas discussões e opiniões.

Ao colega Geól. **Rossano Bill Lopes de Siqueira**, pelas participações nas etapas de campo, discussões teóricas altamente proveitosas e pelo carinho que sempre me dispensou.

Ao meu querido filho Eng^o Cart. **Juliano Kersting** pela ajuda na solução de problemas de informática, geoprocessamento e cartografia, pelas excelentes idéias que sempre sugeriu e pela ternura que teve comigo.

Ao meu grande amigo Geól. **Elton Richart Adam** pela paciência e carinho que sempre me proferiu e pela valiosa ajuda nos desenhos digitalizados e pela minuciosa correção ortográfica.

A bibliotecária **Eliane Maria Stroparo** pelo gentil atendimento e carinho dispensado.

A **CAPES** pela concessão de bolsa de estudos por dezessete meses e a **UFPR** pela concessão de auxílio financeiro para campo e análises químicas, através do processo FDA - n^o 124199.

Finalmente 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, pela amizade, incentivo e orientação.

Muito obrigado.

Pandra Guimarães

SUMÁRIO

LISTA DE ANEXOS	iv
LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS	v
LISTA DE FIGURAS	v
LISTA DE FOTOGRAFIAS E QUADROS	vi
LISTA DE GRÁFICOS	vii
RESUMO	viii
ABSTRACT	x

CAPÍTULO 1

<i>INTRODUÇÃO E MÉTODOS</i>	01
1.1 – INTRODUÇÃO	01
1.2 – OBJETIVOS	02
1.3 – LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO	03
1.4 – MÉTODOS E NOMENCLATURAS	05
1.4.1 – Métodos	05
1.4.2 – Nomenclaturas	12
1.4.2.1 – Classificação das rochas carbonáticas	12
1.4.2.2 – Terminologia e conceitos empregados	15
1.4.2.3 – Sedimentação carbonática	15

CAPÍTULO 2

<i>A EXPLORAÇÃO DE METACALCÁRIO</i>	17
2.1 – HISTÓRICO DA EXPLORAÇÃO NA FORMAÇÃO CAPIRU	17
2.2 – A ESTRATIGRAFIA E A EXPLORAÇÃO	20

CAPÍTULO 3

<i>A GEOLOGIA NA REGIÃO DE MORRO AZUL</i>	25
3.1 – CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA	25
3.1.1 – Litotipos	26

3.1.2 – Considerações estruturais.....	36
3.2 – CONTROLE ESTRATIGRÁFICO DA EXPLOTAÇÃO.....	40
3.3 – LITOGEOQUÍMICA DO MATERIAL EXPLOTADO.....	56
3.3.1 – Caracterização do tipo de rocha calcária.....	61
3.4 - A Petrografia dos metadolomitos como ferramenta para a exploração.....	64

CAPÍTULO 4

CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA DOS TIPOS DE METADOLOMITO UTILIZADOS NA EXPLORAÇÃO CONSIDERAÇÕES FINAIS.....

4.1 – Critérios determinantes dos metadolomitos para a exploração.....	71
4.2 – Litofácies potenciais para exploração (geoquímica e petrografia).....	73
4.3 – Classificação dos metadolomitos da RMA para a caracterização da economicidade.....	75

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	79
--	-----------

ANEXOS

01 – Lista com a localização e litologias dos afloramentos visitados e descritos.....	
02 –Planilha de cálculos para razão Ca:Mg das amostras submetidas ao ensaio de colorimetria.....	
03 – Mapa geológico da região do Morro Azul – escala 1:10.000.....	

SIGLAS E SÍMBOLOS

RMA	Região de Morro Azul –PR.....	
MDT	Modelo Digital do Terreno.....	
AQ	Análise Química.....	
%	Por cento.....	
Ca	Cálcio.....	
Mg	Magnésio.....	
Si	Silício.....	
CaO	Óxido de cálcio.....	
MgO	Óxido de magnésio.....	
SiO₂	Óxido de silício.....	
Ca:Mg	Razão cálcio magnésio.....	
HCl	Ácido Clorídrico.....	

LISTA DE FIGURAS

01 - Localização geográfica da região de Morro Azul - Capivara e vias de acesso.....	03
02 - Modelo Digital do Terreno (MDT) onde se observa o relevo da região.....	04
03 - Modelo Digital do Terreno (MDT) tridimensional com os litotipos geológicos.....	04
04 - Mapa hipsométrico da região de estudo (escala 1:24.650).....	05
05 - Mapa com a localização dos pontos descritos e vias de acesso (escala 1:25630).....	06
06 - Colunas litoestratigráficas propostas por autores que primeiramente definiram a Formação Capiru (fase intermediária).....	18
07 - Mapa estrutural com a divisão da Formação Capiru em seqüências litológicas - Fiori, 1990 (escala 1:100000).....	22
08 - Mapa geológico de parte da folha de Curitiba (CPRM, 1998; escala 1:100.000).....	23
09 - Mapa dos conjuntos litológicos que compõe a Faixa de Dobramentos Apiaí com a área em estudo, demarcada em amarelo (modificado de Campanha <i>et al.</i> 1987).....	25
10 - MDT com a geologia cartografada mostrando os diferentes litotipos da região de Morro Azul.....	27
11 - Interpretação da aerofotografia, em escala 1:70.000, onde se observa a grande estrutura – Sinforme com seus flancos mergulhantes para SSE.....	37

12 - Interpretação da aerofotografia, em escala 1:70000.....	37
13 - Sinforme do Morro Azul com 260 pólos de foliação S ₁ medidos.....	38
14 - Estereograma de fraturas (roseta) para todas as atitudes.....	38
15 - MDT da região mostrando a distribuição das nove seções colunares descritas.....	42
16 MDT mostrando a divisão da região estudada em duas litofácies carbonáticas denominadas Faixa Morro Azul e Faixa Capivara.....	42
17 – Seções colunares da RMA: correlações entre níveis com as mesmas características....	53
18 - Seção colunar representante da Formação Capiru dentro da região de Morro Azul.....	55
20 - Seção mostrando imagens micrográficas dos diversos níveis da “mina 20”.....	65

LISTA DE FOTOGRAFIAS

01 - Fotomicrografia de uma secção delgada de rocha carbonatada com demarcação da área em que o ensaio de colorimetria foi aplicado.....	08
02 - Esteiras algais nos metadolomitos.....	28
03 - Exposições presentes no afloramento da “mina 31” onde se observam bandas de diferentes colorações de cinza.....	29
04 - Estruturas “gretas de contração” são freqüentemente observadas nos metadolomitos..	30
05 - Detalhe do mármore dolomítico na mina 45.....	32
06 – Afloramento junto a Falha de Tranqueira mostrando <i>boudins</i> estirados em veio de quartzo	39

LISTA DE QUADROS

01 - Parâmetros aplicados pelo laboratório em análise química para rochas carbonatadas...	07
02 - Relação Mg/CaO proposta por Bigarella J.J. – (1953) -.....	12
03 - Escala de tamanho de grãos para rochas carbonáticas proposta por Folk (1962).....	14
04 - Unidades estratigráficas para a área em estudo, adaptado de Fiori (1990).....	21
05 - Listagem com o resultado de análises químicas realizadas para frente de lavra da “mina 20” (Mineração Terra Rica).....	57
06 - Média dos teores de SiO ₂ , MgO e CaO para cada nível da “mina 20”.....	57

LISTA DE GRÁFICOS

01 - Resultado da razão Ca:Mg realizado pelos métodos de colorimetria e análises químicas de rocha.....	09
02 - Comparativo entre os resultados de análises químicas (AQ) e os resultados do ensaio colorimétrico	10
03 - Variação dos teores de SiO ₂ nos diferentes níveis da coluna da “mina 20”.....	58
04 - Variação dos teores de MgO nos diferentes níveis da seção da “mina 20”.....	58
05 - Variação dos teores de CaO nos diferentes níveis da seção colunar da “mina 20”.....	59
06 - Variação de SiO ₂ , MgO e CaO de todas as análises químicas da “mina 20”.....	61
07 - Diagramas ternários mostrando a correlação entre os óxidos de silício, cálcio e magnésio.....	62

RESUMO

A região de Morro Azul é historicamente conhecida pela exploração de rochas metacalcárias, visando o fabrico da cal e produção de corretivo agrícola. Está localizada a noroeste da cidade de Almirante Tamandaré – PR, possuindo uma grande concentração de frentes de lavra. Mais de 30 empresas lavram hoje o metadolomito na Região, mas essas empresas que atuam na área conhecem, no máximo, as suas frentes de lavra atuais. Isto faz com que hoje tenhamos no Paraná, embora de forma mecanizada, uma *lavra de subsistência*, pois o desconhecimento geológico dos materiais extraídos impossibilita a implantação de qualquer estratégia de aproveitamento, tanto do ponto-de-vista mercadológico quanto social. O presente estudo teve como objetivo caracterizar os critérios estratigráficos e petroquímicos dessas rochas para que, posteriormente, esses critérios fossem aplicados em outras regiões. A validação empírica foi a meta presente durante todo trabalho, pois o conhecimento dos mineradores é relevante para que se faça uma geologia aplicada. O principal litotipo carbonático aflorante na região é o metadolomito, metamorfisado em baixo grau, com idade deposicional Meso a Neoproterozóica. Essas rochas são representativas de uma seqüência plataformar carbonática, atribuídas às unidades litológicas Morro Grande e Rio Branco, da Formação Capiirú, Grupo Açungui. O método de análise faciológica na interpretação de ambientes de sedimentação de unidades fanerozóicas foi aplicado em exposições dessas rochas. Para tal foram empregados critérios de observação, descrição, amostragem, levantamento de seções colunares, petrografia e análises químicas de rochas. As fácies foram individualizadas pela geometria, constituição litológica, texturas, estruturas sedimentares deposicionais e biogênicas e a interpretação integrada dessas análises. Os resultados evidenciaram um guia prospectivo de valor para a região. Níveis sotopostos às fácies resultantes de dissolução cárstica (grutas e cavernas) e ausência de estruturas estromatolíticas (esteiras algais) são os mais promissores

para a exploração do bem mineral. A região estudada apresenta-se polideformada, sendo que as diversas fases de deformação podem ser relacionadas a três principais sistemas de deformação. Há heterogeneidade nesta deformação, pois se encontram faixas incipientemente deformadas, onde podem ser observadas abundantes estruturas sedimentares. Para a classificação da rocha e identificação dos teores de CaO e MgO, foram utilizados os resultados de análises químicas e colorimetria de carbonatos em lâminas delgadas. Desta forma, a rocha explotada foi classificada como metadolomito destacando como característica fundamental sua homogeneidade composicional em níveis distintos. A qualidade do metadolomito da região de Morro Azul, e sua variação composicional não decorrem somente da faixa de metadolomito lavrada, mas também do nível estratigráfico explotado. Isto explica a seleção, por parte dos mineradores, de níveis preferenciais para exploração em detrimento de outros que acabam sendo abandonados e suas frentes de lavra desativadas. O principal resultado deste trabalho, foi a identificação de um guia prospectivo onde, através deste, é possível caracterizar os níveis próprios para exploração. Na região de Morro Azul, a exemplo de todo estado do Paraná, a exploração do metadolomito ainda se restringe aos usos mais tradicionais, tais como a produção de cal e corretivo agrícola. Além destes usos, essa rocha é fonte de matéria-prima para diversas outras aplicações. O desconhecimento das reservas, critérios de exploração e qualidades da matéria-prima são a causa contígua da deficiência de investimentos estratégicos no âmbito, cujo lance de crescimento tem sido refreado nos últimos anos.

ABSTRACT

The region of Morro Azul, northwest of Almirante Tamandare city – PR, is known by the exploitation of metacalcareous rocks, for the manufacture of the whitewash and production of agricultural corrective. It possesses a great concentration of mine fronts. More than 30 companies are exploiting the metadolomite in the region, but their current plowing fronts is all they know in terms of Geology. Therefore, lime exploitation in Parana, although automated, is carried out as a subsistence plowing. The lack of geological knowledge about the extracted material renders it impossible to establish any strategic plan, be it of social or market character. The objective of the present study is to determine stratigraphic and petrochemical criteria for those rocks so that, they can be applied to other areas. The empirical validation was a constant goal all along the research, because the miner knowledge is relevant for the geology to be applied. The main outcropping limestone lithotype in the area is the low grade metadolomite, with Meso to Neoproterozoic age. These rocks are representative of a platformal carbonatic sequence, associated with the Morro Grande and Rio Branco geological units of the Capiru Formation - Açungui Group. The faciological analysis method applied to the interpretation of Phanerozoic units sedimentation ambient was used in the outcrops. Observation, description, sampling, drawing of columnar sections, petrographical and chemical rock analyses were used. The facies were individualized by the geometry, lithologic association, texture, sedimentary structures and the integrated interpretation of all these. As a result of this analysis, a valuable prospective guide for the area was determined. Layers underlying the karst facies, characterized by dissolution grottos and caves and the absence of stromatolitic structures (algal mats) are the most promising exploration targets. The area exhibits a complex deformation and the several phases can be related to three main deformation systems. The deformation is not homogeneous, showing up strips where it is very subtle,

containing abundant sedimentary structures. For the rock classification and identification of the CaO and MgO grades, the results of chemical analyses and carbonate colorimetry on thin sections were analysed. From these analyses, the rock being exploited was classified as metadolomite and its compositional homogeneity in different levels was highlighted as fundamental characteristic. The ore quality in the region of Morro Azul and its compositional variation are not only related to the strip of metadolomite being exploited but also to the stratigraphic position. This explains the selection done by the miners, preferring certain levels for exploration, while others are abandoned or have their exploitation discontinued. The main result of this work was the determination of a prospective guide which allows for the identification of exploitable levels. In the Morro Azul area, as in the whole Paraná, the metadolomite is still exploited for the most traditional uses, such as the production of whitewash and agricultural corrective. Besides these uses, this rock can be used for several other applications. The lack of knowledge on the reserves, exploration criteria and quality of the raw material are the immediate cause of the lack of strategic investments in the section, whose growth has been repressed in the last years.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO - MÉTODOS

1.1- INTRODUÇÃO

Nos últimos vinte anos, a caracterização de ambientes de sedimentação através de análise faciológica, com o controle mineralógico e litoquímico dos diferentes fácies, teve um crescimento notável como método para prospecção de diferentes bens minerais, inclusive em unidades proterozóicas. No presente estudo, este método foi aplicado em exposições de metassedimentos carbonáticos da Formação Capirú, Grupo Açungui na região de Morro Azul (RMA), no município de Almirante Tamandaré – PR (figura 1).

A escolha desta área para estudo foi em decorrência de ali estar a maior concentração de frentes de lavra voltadas à exploração de rochas metacalcárias, com excelentes exposições destes litotipos.

Os metacalcários do Meso e Neoproterozóico paranaense são as rochas mais importantes em distribuição geográfica quanto ao aproveitamento econômico. Estas rochas distribuem-se em três grandes faixas de ocorrências no rumo NE/SW denominadas por Bigarella (1953) como Faixa Noroeste, Faixa Central e Faixa Sudeste.

A faixa Sudeste distribui-se pelos municípios de Adrianópolis, Bocaiúva do Sul, Campo Largo, Colombo, e Almirante Tamandaré, onde se localiza a região de Morro Azul. As feições próprias dessas rochas constituem, naturalmente, o resultado de condições e processos atuantes durante sua gênese e deformação, cujos pormenores e, mesmo ainda, os traços mais gerais permanecem insuficientemente esclarecidos.

É nesse contexto, portanto, que o presente estudo foi conduzido, no qual as rochas metacarbonáticas constituem elementos fundamentais para as interpretações propostas, entre elas a determinação dos critérios e a elaboração de um modelo de exploração, para aproveitamento econômico.

1.2– OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é caracterizar os critérios estratigráficos e petroquímicos das rochas metacalcárias exploradas empiricamente, para que esses critérios possam ser utilizados em outras regiões.

A validação empírica inicia com a coleta de dados e informações junto a mineradores, a partir dos quais constroem, indutivamente, os modelos baseados na experiência, na tentativa de explicar os acontecimentos. Como as teorias se baseiam em dados, cuja coleta está estruturada em modelos já existentes, tentaremos demonstrar, geologicamente, o porque da preferência na exploração de um determinado tipo de metadolomito, em detrimento a outro, aparentemente igual. Estas rochas são utilizadas como corretivo agrícola e para a industrialização da cal.

Os critérios utilizados para estudo em rochas metacalcárias foram:

- i. Tentar entender a que características geológicas estariam associadas os litotipos “preferidos para exploração” com base em critérios empíricos.
- ii. Interpretar os ambientes de sedimentação e proceder análise estratigráfica da Formação Capiuré com base na individualização e interpretação de fácies sedimentares na RMA;
- iii. Caracterizar a relação entre a variação composicional dos metacalcários e os fenômenos relacionados ao ambiente de sedimentação, ou a fenômenos tectônicos durante ou no final do Ciclo Brasileiro;

Para se atingir os objetivos propostos estabeleceram-se as seguintes metas:

- i. Reconhecimento e delimitação das faixas de ocorrência de rochas metacalcárias na região proposta;
- ii. Caracterização petrográfica dos litotipos;
- iii. Estudo litogeoquímico detalhado de algumas áreas estratégicas com ocorrência mineral;
- iv. Caracterização do condicionamento estrutural da província de rochas metacalcárias na região proposta.
- v. Descrição de seções colunares nas principais frentes de lavra dedicadas à mineração.

1.3 – LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO

A região de Capivara e Morro Azul está localizada a noroeste da cidade de Almirante Tamandaré, no município homônimo, distando aproximadamente 10 km do centro da cidade. O acesso, a partir de Curitiba, dá-se pela Rodovia dos Minérios, PR 092 (figura 1), até a estância Santa Paula. Neste local adentra-se no sentido oeste percorrendo a rodovia secundária estrada do Morro Azul por mais ou menos 2 km. A área é atravessada por boas estradas secundárias facilitando o acesso em toda sua extensão.

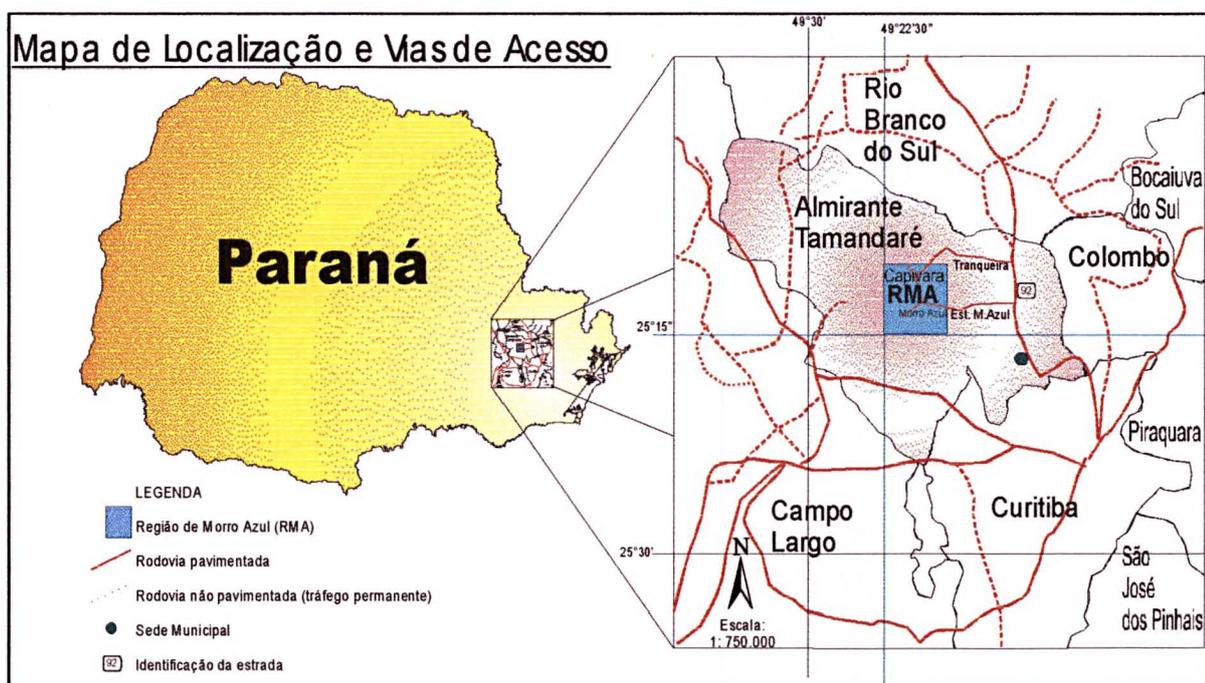


Figura 1 – Localização geográfica da Região de Morro Azul (RMA) e vias de acesso.

A região é conhecida pelo potencial mineral latente, corroborado pela existência de inúmeras jazidas de metacalcário. O relevo é parcialmente cárstico, com morros isolados e serras alongadas constituídas de rochas carbonáticas (figura 2 e 3), com cotas altimétricas variando de 900 metros na parte centro oeste, a 1200 metros na porção sudeste (figura 4).



Figura 2 – MDT onde pode se observar o relevo da RMA. As feições em cinza escuro referem-se a baixos topográficos (vales). Coordenadas e localização ver figura 1.

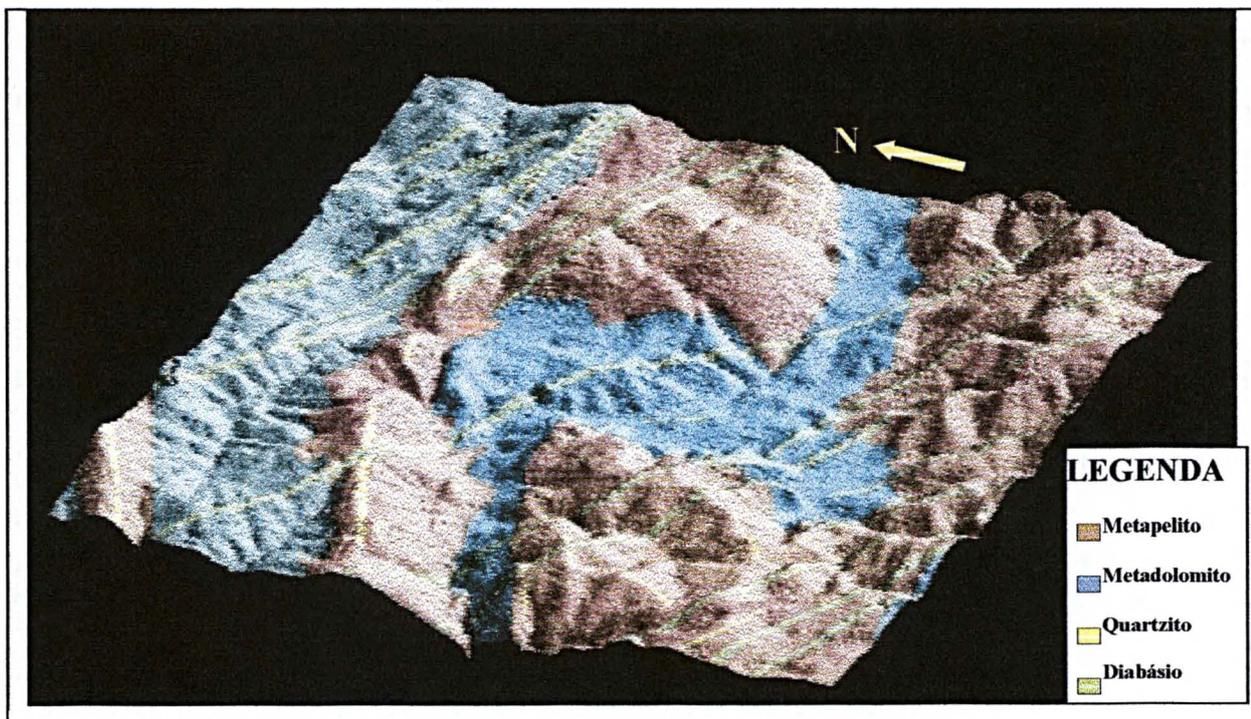


Figura 3 – MDT tridimensional da RMA mostrando os litotipos geológicos cartografados. Coordenadas e localização ver figura 1.

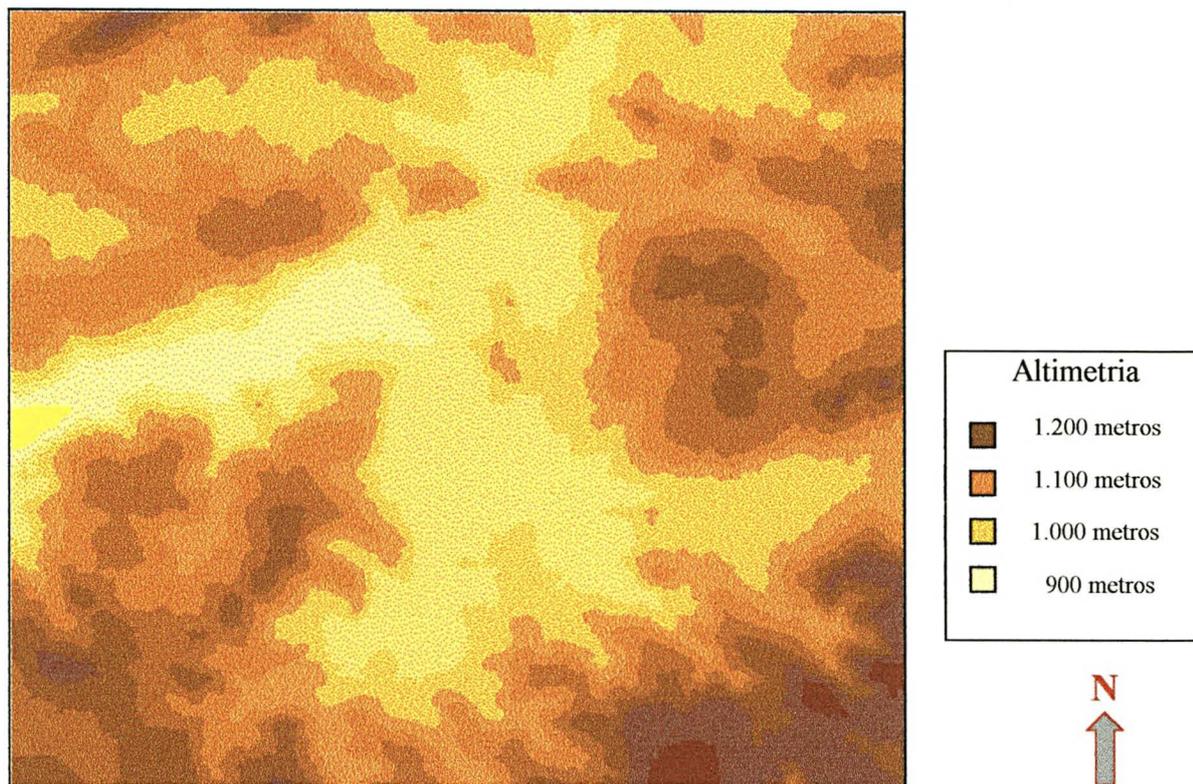


Figura 4 - Mapa hipsométrico (escala 1:24650), mostrando a variação altimétrica da RMA. Coordenadas e localização ver figura 1.

1.4 – MÉTODOS E NOMENCLATURAS

1.4.1– MÉTODOS

Levantamentos de Campo

Os trabalhos de campo foram realizados em diferentes etapas. Nas primeiras foram feitos levantamentos para reconhecimento regional dos litotipos, estruturas e delimitação das faixas de ocorrência de rochas metacalcárias e das mineralizações existentes. As demais etapas constaram principalmente de levantamentos de secções colunares nas principais frentes de lavra, objetivando o reconhecimento dos diferentes níveis observados nos litotipos. Foram realizadas 1132 medidas visando o reconhecimento do controle estrutural e deformação imposta às ocorrências de metacalcário na área em estudo, além da compreensão do ambiente de sedimentação.

Nessas etapas foram realizadas coletas sistemáticas de amostras para posterior análise petrográfica e litogeoquímica.

A figura 5 mostra a localização das minas e dos pontos descritos na região. A lista, com a localização e litotipos desses pontos, é apresentada no anexo 1.

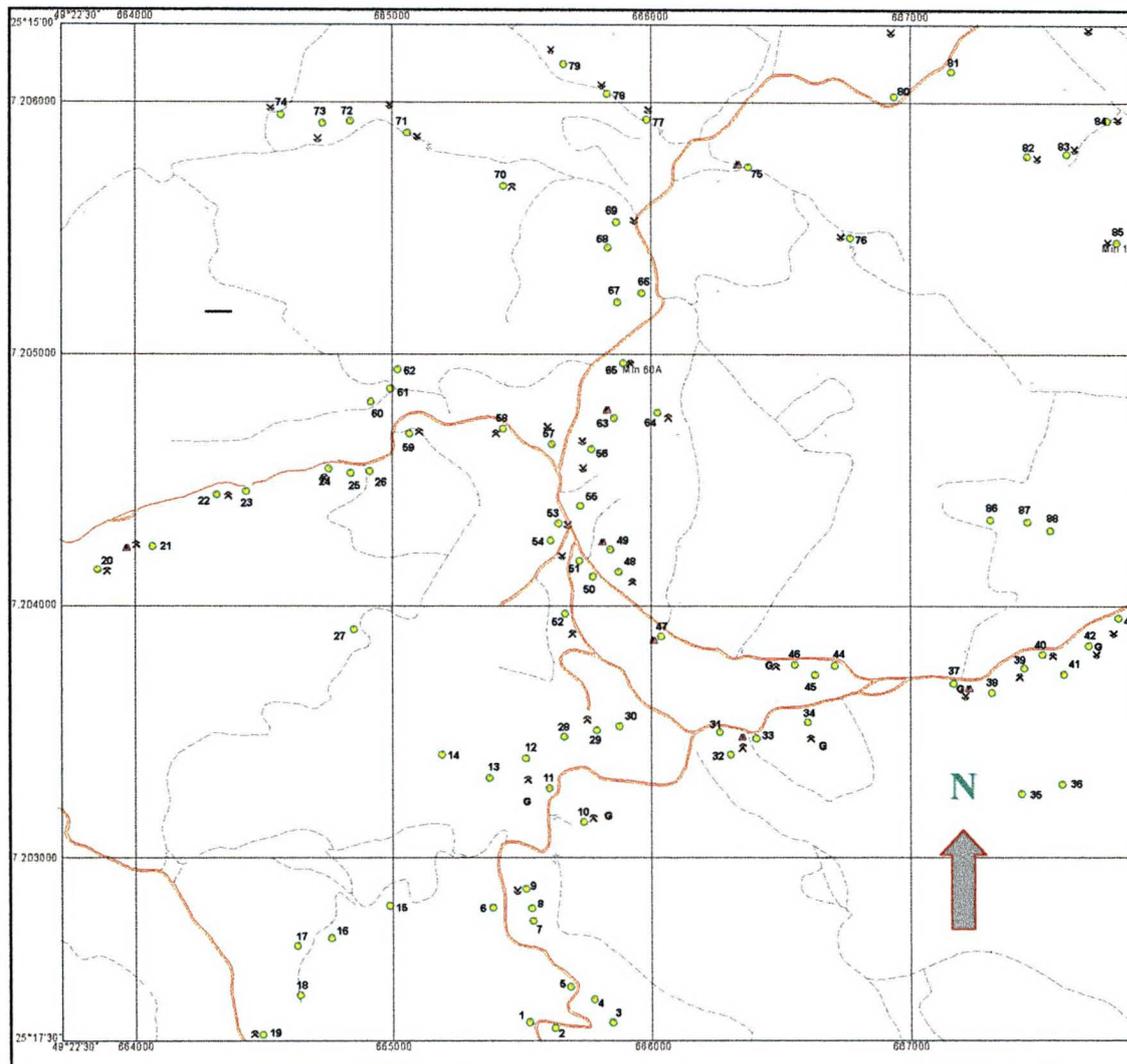


Figura 5 - Mapa da RMA com a localização dos pontos descritos e vias de acesso (escala 1:25630).

Análise Estrutural

Foram realizadas análises descritivas e cinemáticas, medidas estruturais planares e lineares, bem como reconhecidas estruturas tectônicas, em especial as mais propensas à dissolução. Para o tratamento dos dados foi utilizado o programa para computador *StereoNett* – Versão 1.1a (Dyster, 1997), o qual possibilitou a construção de diagramas de rosetas e projeção *Schmidt Lambert*.

Análises Químicas

Amostras representativas do perfil estratigráfico realizado na Mineradora Terra Rica (mina 20) e no Calcário São Francisco (mina 31) (observar localização no mapa geológico), foram selecionadas para obtenção de análises químicas de óxidos maiores através de fluorescência de RX.

A preparação, realizada no Laboratório de Mineralogia – LAMIR do Departamento de Geologia – SCT-UFPR, incluiu as etapas de corte das amostras com serra diamantada para secção de partes homogêneas, sem veios e venulações, cominuição das amostras a menos de 0,5 cm de diâmetro em prensa hidráulica, secagem, homogeneização e quarteamento das amostras, separando-se uma alíquota para moagem e outra para arquivamento. A moagem ocorreu em moinho de anéis de carbeto de tungstênio, até aproximadamente 100% passante em 150 *mesh*, e nova homogeneização e quarteamento do material.

As análises químicas de rocha foram efetuadas no laboratório Bondar Clegg, Canadá. Foram determinados através de rocha total por Fluorescência de Raio X – XR80 (sobre o valor de Fe_2O_3 e o valor de Fe total na amostra ($\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$) e não é só o valor de Fe_2O_3 (Fe^{+++}) e parâmetros abaixo descritos (quadro 1).

Al_2O_3 -0.01%	SiO_2 -0.01%	Na_2O -0.01%	MgO -0.01%	Fe_2O_3 -0.01%	Cr_2O_3 -0.01%
CaO -0.01%	TiO_2 -0.01%	P_2O_5 -0.01%	MnO -0.01%	K_2O -0.01%	LOI-0.05%

Quadro 1 – Parâmetros aplicados pelo laboratório em análise química para rochas carbonatadas.

Para o tratamento dos dados geoquímicos foram utilizados os programas para computador *Minpet* versão 2.02 e o *Microsoft Excel* - versão 1998.

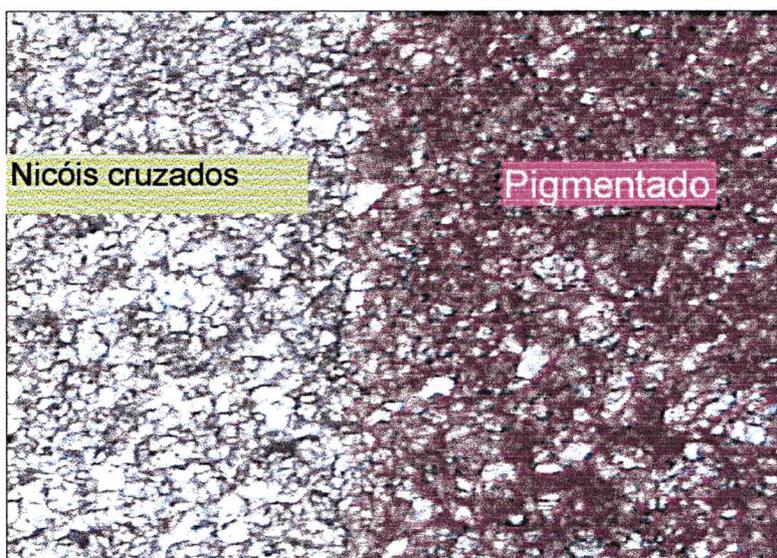
Estudos Petrográficos

Foram efetuados estudos petrográficos nas rochas carbonáticas com a finalidade de caracterizar as diferentes fácies dessas rochas. A colorimetria seletiva de carbonatos em secções delgadas sem lamínula foi utilizada como uma técnica auxiliar aos estudos petrográficos, segundo os métodos descritos por Friedman (1959), Warne (1962) e Dickson (1966). O procedimento para análise de colorimetria consistiu em três estágios:

- Pré tratamento: ataque com ácido clorídrico diluído a 1,5% por 10-15 segundos.
- Coloração com Alizarina (Alizarin Red-S) e ferrocianeto de potássio: nesta etapa as seções foram coloridas simultaneamente com a mistura das duas soluções na seguinte proporção = solução de Alizarina: solução de ferrocianeto de potássio (3:2) por 30-40 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, aplicou-se durante dez a quinze segundos. Após esta etapa lavou-se com água destilada para retirar excessos, seguido de rápida secagem.

A Alizarina e o ferrocianeto de potássio, apesar de misturados, reagem independentemente, possibilitando a distinção entre carbonatos, visto que a Alizarina em solução ácida resulta na coloração rósea para calcita e o ferrocianeto de potássio produz um precipitado azul na presença de ferro ferroso em calcita e dolomita (fotografia 1). O resultado em precipitados amarelo a marrons, caracteriza a presença de Zn, Mn, Cu, Ni e Co.

A contagem dos cristais de calcita e dolomita foi realizada automaticamente com a ajuda 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, segundo o *tutorial* do próprio *software*.



Fotografia 1 – Fotomicrografia de uma secção delgada de rocha carbonatada onde se observa em róseo, cristais de calcita definindo a área em que o método de colorimetria foi aplicado.

Depois de obtida a contagem parcial e total, os resultados dos cristais de dolomita foram corrigidos através de sua composição química. Na dolomita comum, a proporção do CaCO_3 para o MgCO_3 é 1:1. Todavia o magnésio pode substituir o cálcio até aproximadamente $\text{Ca:Mg}=1:5$, nas posições do magnésio, e o cálcio pode substituir o magnésio até aproximadamente $\text{Mg:Ca} = 1:20$, nas posições do cálcio. Assim, na dolomita, a relação do cálcio para o magnésio oscila entre 58:42 e 47,5:52,5. Desta forma, depois de realizada a razão Ca:Mg das amostras submetidas a colorimetria (anexo 2), elaborou-se um gráfico de dispersão por estatística onde se observou a variação desta razão Ca:Mg (gráfico1) . Neste mesmo gráfico colocou-se o resultado obtido da razão Ca:Mg em análises químicas, percebendo-se que estes resultados permanecem dentro de um *trend* de variação esperado. Isto vem a corroborar a eficiência do método colorimétrico.

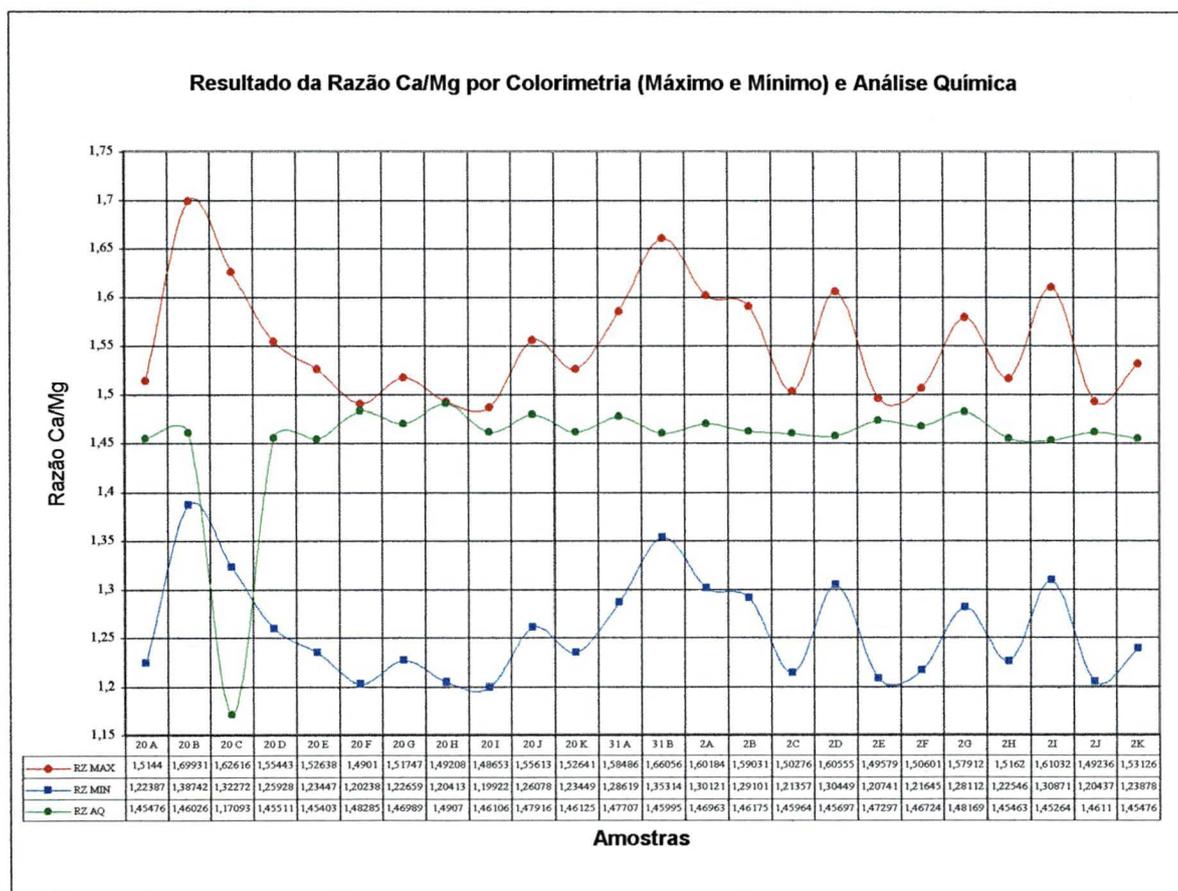


Gráfico 1 –Resultado da razão Ca:Mg realizado pelos métodos de colorimetria e análises químicas de rocha.

Para comparar-se os resultados da colorimetria com os resultados percentuais da análise química, fez-se um ajuste tomando-se por base um resultado clássico de análises de cristais de dolomita e calcita oriundos de rocha metacalcária (Deer, 1981). Neste resultado, os cristais de calcita possuem 55,2% de CaO e 44% de CO₂ e nos de dolomita 31,24% de CaO, 21,12% de MgO e 47% de CO₂. Através dos resultados da colorimetria recalculou-se a comparação química teórica das mesmas amostras analisadas quimicamente (anexo 2), os resultados são apresentados no gráfico 2.

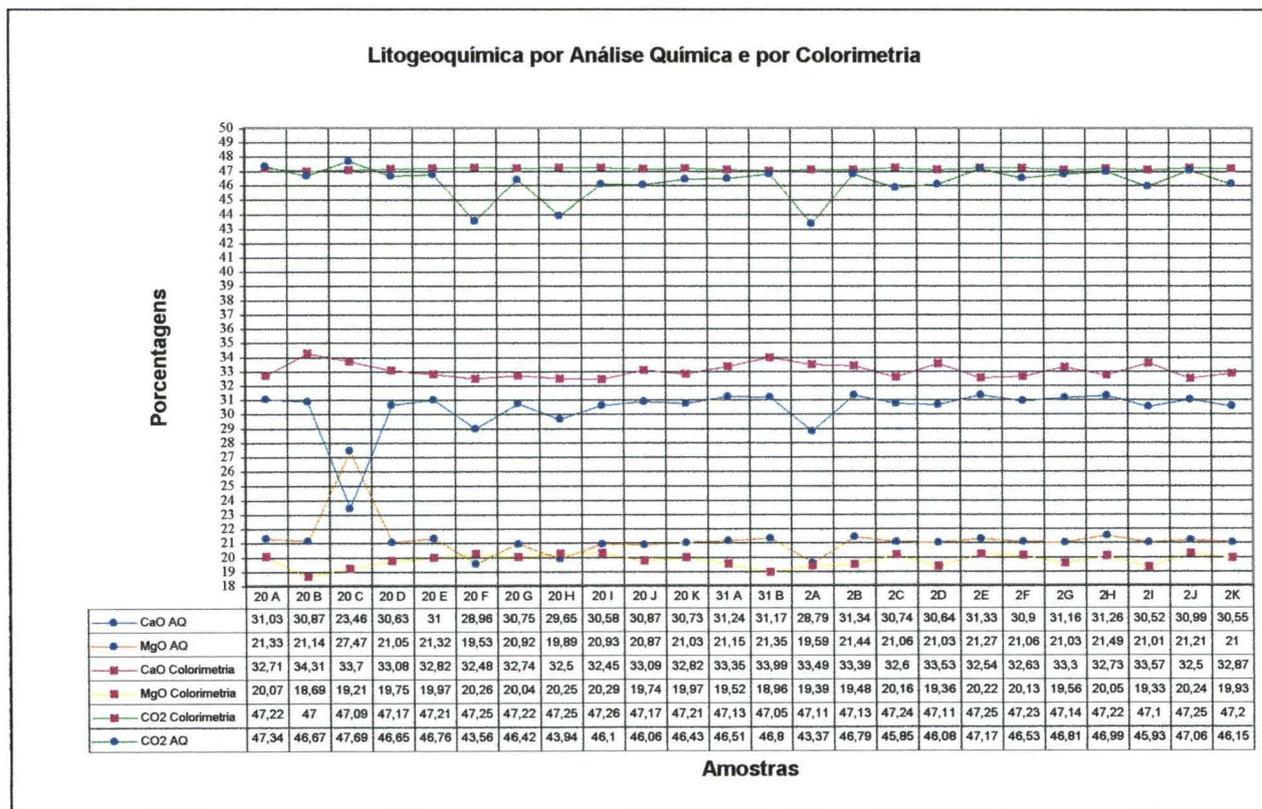


Gráfico 2 –Comparativo dos resultados de análises químicas (AQ) e os resultados ajustados da colorimetria, corroborando a eficiência do método colorimétrico para a determinação da composição química aproximada da rocha.

Analisando-se o gráfico acima, nota-se que o resultado da colorimetria acompanha o resultado da análise química, com exceção registrada na amostra 20C, nos óxidos de cálcio e magnésio. Ao tentar entender o porquê desta variação, observou-se que o resultado desta amostra é o único que apresenta uma inversão no teor destes óxidos, ou seja, o teor de magnésio sobrepõe o de cálcio na AQ, já nos resultados colorimétricos para estes óxidos os dados mantêm-se uniformes.

Análise Aerofotogeológica e Cartográfica

Para análise fotogeológica foram utilizadas fotografias aéreas nas escalas 1:70000 (Cruzeiro do Sul 1970), 1:25000 (ITC-PR, 1980). A interpretação dessas imagens consistiu em discriminar as feições lineares, as rupturas de declive, as formas superficiais e as zonas com diferentes tonalidades e refletância, para determinação das principais feições representativas de falhas, dobras, unidades litológicas, zonas com diferentes intensidades de fraturamentos, (truncamento de elementos e traços de acamamento).

Os resultados da interpretação fotografiageológica estão representados em um mapa morfoestrutural de síntese (escala 1:70.000) mostrado no capítulo 3 (figura 11) e um mapa geológico plotado na escala 1:10.000 (anexo 3). Esta carta geológica foi digitalizada utilizando como referência a base topográfica 1:20.000 (COMEC, 1987).

Para a digitalização dos dados, foram utilizados o programa *Auto Cad 14*, com posterior exportação e edição gráfica para o programa *Corel Draw 7.0*. O georeferenciamento de todas as imagens vetoriais foi realizado no programa *Spring 3.4*.

Seções Colunares – Desenhos e Descrições.

Alguns parâmetros e detalhes foram observados durante as descrições e desenhos das seções colunares:

- i. As colunas foram construídas iniciando-se pela base em direção ao topo.
- ii. Por tratar-se de terrenos proterozóicos, com uma tectônica deformadora complexa, teve-se um maior cuidado na reprodução das colunas, tais como eram na época da deposição. Desta forma, a preocupação na identificação de feições geopetais esteve sempre presente para auxiliar na reconstituição, mais fiel possível, do empilhamento original das camadas.
- iii. Em cada coluna foi colocada ao lado de seu respectivo número, uma letra para identificar a ordem dos níveis (exemplo: 20A, 20B, 20C,...);
- iv. As numerações escritas em vermelho e colocada nas seções colunares referem-se ao nível que a aquela camada representa na seção colunar para toda a região de Morro Azul (figura 18).

- v. Nas seções colunares a descrição de cada nível está colocada à direita deste e são numeradas de acordo com a seqüência da seção colunar para toda a região de Morro Azul (figura 18).
- vi. Setas laranja separam as descrições de cada nível.

1.4.2– NOMENCLATURAS

1.4.2.1 – Classificação das Rochas Carbonáticas

Durante os estudos das rochas carbonáticas e atendendo os objetivos propostos, foram utilizadas as seguintes classificações por melhor permitirem a caracterização dos litotipos descritos:

i. Segundo a relação Mg/CaO – Relação Magnesiana (RM)

Essa classificação tem a vantagem de limitar os calcários magnesianos de acordo com o teor limite de óxido de magnésio (quadro 2) fixado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas, admissível na fabricação de cimento.

Denominação	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

Quadro 2 – Relação Mg/CaO proposta por Bigarella J.J. – (1953).

ii. Segundo a relação CaO/MgO (Bissel & Chilingar, 1967).

- a) **Calcário Calcítico** (105,0)
- b) **Calcário Magnesiano** (60,0 – 105,0)
- c) **Calcário Dolomítico** (16,0 – 60,0)
- d) **Calcário muito Dolomítico** (4,7 – 16,0)
- e) **Dolomito Calcítico** (2,0 – 4,7)
- f) **Dolomito pouco Calcítico** (1,7 – 2,0)
- g) **Dolomito** (1,5 – 1,7)
- h) **Dolomito Magnesiano** (1,0 – 1,5)

iii. **Segundo a petrografia da rocha**

(Pettijohn, F.J., 1949)

- a) **Calcário** (0 – 5% de dolomita)
- b) **Calcário Magnesiano** (5 – 10% de dolomita)
- c) **Calcário Dolomítico** (10 – 50 de dolomita)
- d) **Dolomito Calcítico** (50 – 90% de dolomita)
- e) **Dolomito** (90 – 100% de dolomita)

iv. **Segundo a intensidade do metamorfismo**

- a) **Meta** – Como prefixo dos sedimentos carbonáticos (classificação de Pettijohn, F.J., 1949 e Bigarella, J.J., 1953) que apresentam mudanças decorrentes de um metamorfismo incipiente atuante na rocha, onde ficam preservadas algumas estruturas singenéticas. O metamorfismo é da Fácies Xisto Verde – Zona da Clorita, por exemplo: metadolomito.
- b) **Mármore** – Calcário metamorfoisado e recristalizado.

v. Segundo a Granulometria - (Folk, 1962).

	Constituintes transportados	Constituintes autigênicos	
64 mm 16 mm 4 mm	calcirudito muito grosso	cristalino extremamente grosso	CLASSE MÉDIA
	calcirudito grosso		
	calcirudito médio		
1 mm 4 mm	calcirudito fino	cristalino muito grosso	
1 mm 0,25 mm	calcarenito grosso	cristalino grosso	
	calcarenito médio		
0,25 mm 0,125 mm	calcarenito fino	cristalino médio	
	calcarenito muito fino		
0,062 mm 0,031 mm	calcilutito grosso	cristalino fino	
	calcilutito médio		
0,016 mm 0,004 mm	calcilutito fino	cristalino muito fino	
	calcilutito muito fino		
0,004 mm		afano- cristalino	

Quadro 3 - Escala de tamanho de grãos para rochas carbonáticas proposta por Folk (1962).

As rochas carbonáticas (quadro 3) contém partículas fisicamente transportadas (oólitos, intraclastos, fósseis e *pellets*) e minerais quimicamente precipitados (como poros preenchidos, cimento primário ou como produtos de recristalização e substituição). Então a escala de tamanho deve ter dois parâmetros (constituintes transportados e autigênicos), de forma que a pessoa pode distinguir qual componente está sendo considerado (ex. podem ser cimentados calciruditos -constituente transportado- com dolomita cristalina muito fina -constituente autigênico-).

A escala de tamanho para constituintes transportados conserva a divisão proposta por Wentworth (1922), exceto nos calciruditos; para as dolomitas de origem aloquímica, os termos dolorudito, doloarenito, e dololutito foram substituídos. O tamanho mais comum do cristal de dolomito fica entre 0,062 e 0,25 mm, e por esta razão aquele intervalo foi chamado de classe média cristalina (Folk, 1962).

1.4.2.2 – Terminologia e Conceitos Empregados

As fácies foram individualizadas pela geometria, constituições litológicas, texturas e estruturas sedimentares deposicionais e biogênicas, além da interpretação conjunta destas. No texto foram definidos como oólitos os grãos envelopados com 1 a 4 mm de diâmetro.

Burne & Moore, (1987) definem “estromatólito” referindo-se a este como uma possível estrutura interna de um depósito organossedimentar que foi acrescido como resultado de uma comunidade microbial bêntica, armadilhando e envolvendo sedimento detrítico e/ou formando o local conhecido como *microbialite*. Neste estudo será adotada a definição deste autor.

Aos processos sedimentares atuantes num sistema deposicional foi dada atenção aos agentes externos (nível do mar e tectônica), pois segundo Walker & James, (1992) a importância da influência da variação do nível do mar é ressaltada já no título - *Facies models: response to sea level change*. Estes conceitos promoveram nova dinâmica nos estudos dos ambientes deposicionais que eram, anteriormente, interpretados de forma estática.

1.4.2.3 – Sedimentação carbonática

Pelo fato de terem origem no próprio sítio deposicional, os sedimentos carbonáticos constituem importante registro de alterações ambientais.

O máximo da produção de sedimentos carbonáticos ocorre em águas rasas (< 10m) e agitadas. Estas condições estão presentes em bordas de plataformas e nos interiores de rampas (Tucker & Wright 1990 e Hunt & Tucker 1993).

No Neoproterozóico o registro carbonático é abundante, pois qualquer desequilíbrio químico causaria a precipitação inorgânica, podendo esta ainda ocorrer por bioindução, promovida por forma indireta através da atividade microbiana.

A gênese dos calcários dolomíticos constitui ainda um dos grandes enigmas geológicos em função da inexistência de ambientes marinhos modernos com processos de dolomitização ativos de forma ampla, comparável aos que teriam ocorrido no

passado geológico, como no Proterozóico (Fairbridge 1957, McKezie 1991, Purser *et al.* 1994).

Existem muitas controvérsias quanto à origem primária (mineral precipitado diretamente a partir da água do mar) ou secundária (substituição de cristais carbonáticos pré-existentes) da dolomita, pois apesar das águas dos mares modernos serem supersaturados em elementos químicos formadores de dolomita, a precipitação espontânea desse mineral não ocorre.

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 destas rochas com textura primária totalmente preservada (Tucker & Wright 1990).

CAPÍTULO 2

A EXPLORAÇÃO DE METACALCÁRIO

2.1- HISTÓRICO DA EXPLORAÇÃO NA FORMAÇÃO CAPIRU

Os trabalhos referentes à geologia das unidades do Precambriano paranaense, especialmente o Grupo Açungui, iniciaram-se na segunda metade do século passado. Os enfoques dados, de um modo geral, foram essencialmente de caráter estratigráfico e petrográfico. Estudos relativos à exploração e a exploração de metacalcários, bem como de incentivo a estas, no transcorrer do tempo, não foram significativos, excetuando-se o trabalho recente realizado pela CPRM (1998).

Para facilitar a compreensão ordenou-se a evolução dos conhecimentos geológicos em três fases distintas: histórica, intermediária e atual, evidenciando diferentes tendências científicas.

Convém aqui salientar que a ênfase será sempre dada à Formação Capiru, em especial à unidade litológica metacarbonática utilizada na exploração de bens minerais.

Na fase histórica os trabalhos de Maack (1947) voltados à área de exploração dos metacalcários foram os mais significativos. Neste trabalho o autor analisou detalhadamente litotipos como filitos, talco-xistos, clorita-xistos, sericita-xistos, extensas lentes de metacalcários e metacalcários dolomíticos, camadas esparsas de quartzitos puros e quartzitos com minério de ferro sedimentar (itabiritos) da Série Assunguy e atribuiu idade Eo-Algonquiana a estas rochas. Em 1953, este mesmo autor elaborou o “Mapa Geológico do Paraná” (escala 1:750000) marcando o final desta fase.

A fase intermediária constitui uma etapa muito importante no desenvolvimento do conhecimento geológico das unidades do Precambriano paranaense, devido principalmente a uma série de trabalhos científicos realizados por Bigarella e Salamuni no final da década de 50, seguidos pelos trabalhos da Comissão da Carta Geológica do Paraná, na metade da década de 60 (figura 6). É dessa época a proposição das primeiras colunas estratigráficas, a subdivisão do Grupo Açungui, e o primeiro mapeamento geológico sistemático, à escala inferior a 1:100000, do Precambriano Paranaense.

Bigarella & Salamuni (1956) propuseram a subdivisão da Série Açungui em duas formações: Setuva a formação basal, composta por sericita-quartzitos, quartzitos e

filitos subordinados, à qual se sobrepõe a Formação Capiru, superior, constituída por quartzitos e mármore dolomíticos, nos quais verificaram a presença de estromatólitos do gênero *Collenia*. O termo Capiru é emprestado da localidade homônima, situada à leste de Rio Branco do Sul, onde ocorrem seções típicas da formação. Camadas de metadolomitos e quartzitos intimamente interdigitadas constituem a característica marcante desta unidade, sendo os mármore dolomíticos sua litologia dominante e típica, utilizada para a exploração mineral onde é explotado material para produção da cal e de corretivo para solos.

Marini e Bigarella (1967) abordam as rochas metacalcárias do Grupo Açungui e fornecem elementos quanto à sua composição, estrutura e aplicação na exploração de bens minerais.

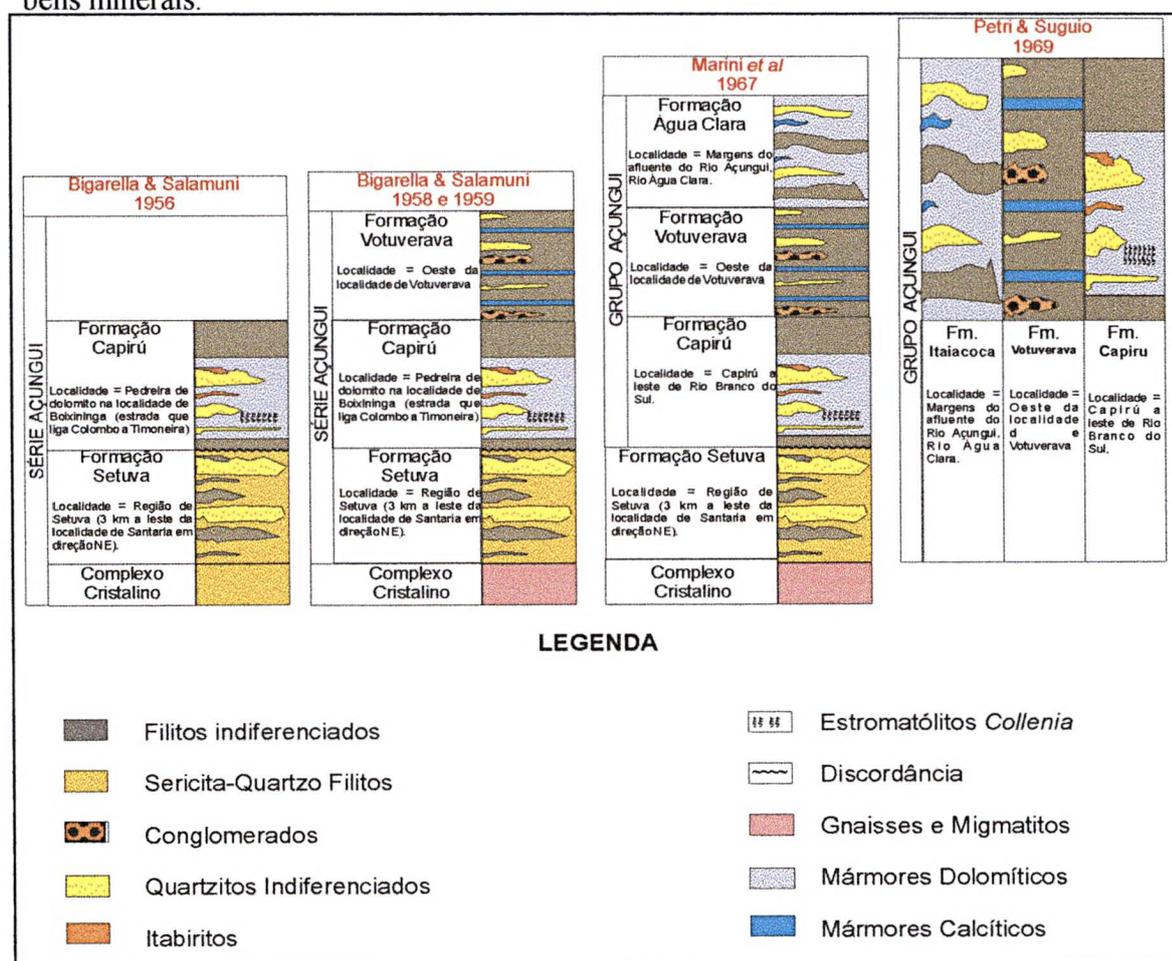


Figura 6 – Colunas litoestratigráficas propostas por autores que primeiramente definiram a Formação Capiru (fase intermediária).

Os mapas geológicos elaborados pela Comissão da Carta Geológica do Paraná, na segunda metade da década de 60, muito contribuíram para o melhor conhecimento da

geologia, tendo inclusive servido de base para a elaboração do mapa do Leste Paranaense, à escala 1:100000 (CPRM 1977). Estes são ainda utilizados, sendo de um modo geral excelentes em termos de representações litológicas e exploração de bens minerais. Ainda que apresentem os principais traços estruturais do Precambriano Paranaense são, no entanto, falhos ou incompletos quanto à geologia estrutural, omitindo estruturas importantes para o entendimento da geologia dessa região.

Na década de 70, início da fase atual, começam a surgir importantes estudos de cunho estratigráfico e estrutural, redefinindo conceitos anteriormente propostos para o Grupo Açungui. Nesta década, ainda, há um certo exagero na criação de novos nomes e proposições de colunas estratigráficas, trazendo uma certa confusão ao entendimento geológico.

Marini (1970) abre esta fase propondo a retirada da Formação Setuva do Grupo Açungui, tendo por base uma série de evidências. Entre elas, a discordância angular existente entre as rochas da Formação Setuva e da Formação Capiu, a brusca mudança do metamorfismo e os eixos das dobras, exibindo mergulhos para sudoeste no Setuva e mergulhos para noroeste no Capiu. Além disso, as rochas do Setuva apresentam um metamorfismo acompanhado de forte deformação, enquanto que as rochas sobrepostas apresentam metamorfismo acompanhado de deformações muito fracas.

Fuck *et al.* (1971) admitiram o Grupo Açungui como constituído pelas formações Capiu, Votuverava e Água Clara, com a primeira colocada na base, a segunda em posição intermediária e a última no topo. Dispõe a Formação Itaiacoca ao lado da Formação Capiu, ressaltando suas semelhanças litológicas.

Fairchild (1977) diferenciou os estromatólitos encontrados na Formação Itaiacoca das formas encontradas na Formação Capiu, concluindo que seriam conseqüências das variações nas condições de sedimentação.

Soares (1987) estabeleceu o Grupo Setuva com as formações Água Clara (base) e Perau, o Grupo Açungui formado por três complexos: Votuverava, Itaiacoca e Capiu. Sobre o Grupo Açungui, posicionou a Sequência Antinha, Formação Camarinha e Grupo Castro.

Fiori (1990, 1992) estudando o Grupo Açungui o separou em blocos estruturais, associados a formações, nos quais descreve conjuntos litológicos distintos. Diferentes conjuntos de rocha, hoje lado a lado, podem ter sido originados em ambientes provavelmente bastante distintos e distantes, estando, na realidade, justaposta por

grandes falhamentos, o que leva a concluir que sua ordenação atual não é de ordem estratigráfica e sim tectônica. A Formação Capiru, que engloba todo o conjunto litológico situado entre a Falha da Lancinha e o Embasamento Cristalino, envolve um conjunto de litologias empilhadas tectonicamente, sendo previsível a coexistência de porções ou frações de grupos ou formações originadas em ambientes distintos, atualmente justapostos por processos tectônicos.

Fassbinder (1996) utilizou o termo Supergrupo Açungui considerando os seguintes grupos ou formações: Água Clara (base), Votuverava e Capiru (topo), e o Grupo Setuva ocupando uma posição estratigráfica inferior ao Supergrupo Açungui. A Formação Capiru ocupa a margem sudeste da Bacia Açungui, com seqüências terrígenas e carbonáticas típicas de plataforma continental.

O trabalho mais recente envolvendo a Formação Capiru foi o realizado pela CPRM (1998) com a elaboração do Mapa Metalogenético na escala 1:100000, oferecendo uma contribuição sobre o potencial dos recursos minerais da folha de Curitiba (SG. 22-X-D-I). No trabalho da CPRM foi realizada a distribuição das diferentes unidades levando em conta a importância das zonas de cisalhamento. Desta forma foi possível avançar no entendimento de parte das relações estratigráficas entre unidades, complementando a proposta de Fiori (1990, 1992) que subdividiu a Formação Capiru em conjuntos litológicos.

2.2 – A ESTRATIGRAFIA E A EXPLORAÇÃO

Pela definição original de Maak (1947), o Grupo Açungui é composto pelas formações Votuverava e Capiru. A primeira abrangendo os metassedimentos a norte da Falha da Lancinha enquanto a segunda, objeto deste trabalho, abrange os metassedimentos a sul da Falha da Lancinha (Bigarella e Salamuni, 1956, 1958).

Fiori (1990) mostrou a viabilidade de subdividir as Formações Capiru, Votuverava e Antinha em diversas porções denominadas seqüências litológicas. As subdivisões feitas levam em conta tipos e associações litológicas, estruturas sedimentares, caracteres estruturais, aspectos morfológicos e, principalmente, falhas de cavalgamento. As últimas desempenham papel importante na subdivisão, pois quase todas sempre representam os limites entre as diferentes seqüências. Posicionam-se de

preferência, paralelamente às camadas, instalando-se em planos ou camadas que oferecem menor resistência mecânica ao deslocamento.

A Formação Capiçu foi subdividida por este autor em quatro seqüências litológicas principais e diferentes: Juruqui, Rio Branco, Morro Grande e Bocaina (quadro 4).

		CONJUNTOS LITOLÓGICOS	
MESOPROTEROZOÍCO A NEOPROTEROZOÍCO	GRUPO AÇUNGUI	FORMAÇÃO ANTINHA	VUTURUVU
			CAPIVARA
			TACANICA
		FORMAÇÃO VOTUVERAVA	SAIVÁ
			COLONINHA
			BROMADO
		FORMAÇÃO CAPIRU	BOCAINA
			MORRO GRANDE
			RIO BRANCO
			JURUQUI

Quadro 4 - Unidades estratigráficas para a área em estudo, adaptado de Fiori (1990).

A seqüência litológica Rio Branco e Morro Grande fazem parte da região estudada neste trabalho (figura 7). Segundo Fiori (1990), a primeira engloba os metacalcários de composição essencialmente dolomítica, destacando-se como característica fundamental sua grande homogeneidade, usualmente com aspecto maciço, sem estrutura visível. Apresenta-se invariavelmente com cores claras, geralmente acinzentadas e são utilizados como corretivo de solos e no fabrico da cal.

Intercalados a esses metadolomitos, ocorrem lentes descontínuas de quartzitos e de filitos, de espessuras variáveis, algumas com possança suficiente para serem cartografadas. Podem também ocorrer termos transicionais entre filitos e quartzitos, tais como, filitos quartzosos ou quartzitos, com abundante matriz filitosa.

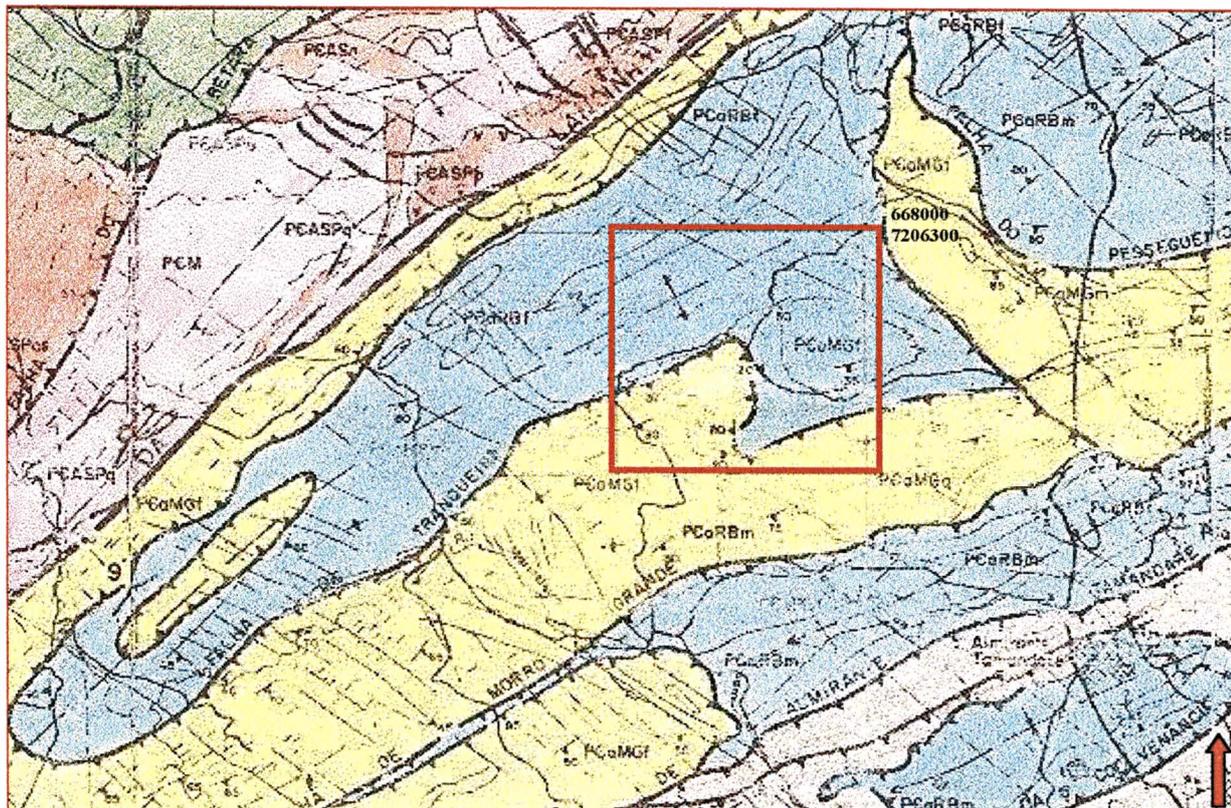


Figura 7 – Mapa Estrutural com a divisão da Formação Capiuru em seqüências litológicas. O retângulo em vermelho representa a delimitação da área em estudo (RMA). No seu interior a porção colorida em azul representa a seqüência Rio Branco e em amarelo a seqüência Morro Grande. Fiori, 1990 (escala 1:100000)

A Seqüência Morro Grande, segundo o mesmo autor, caracteriza-se pela alternância de quartzitos e filitos, que formam camadas de espessura da ordem de centenas de metros. A litologia mais característica dessa seqüência é representada por um ritmo, onde se alternam regularmente níveis brancos e escuros, de espessuras centimétricas. A camada de mármore da Seqüência Morro Grande é essencialmente dolomítica e também utilizada na exploração de material para a produção da cal e corretivo agrícola. Caracteriza-se por apresentar bandamento sedimentar bem evidenciado, dado pela alternância rítmica de níveis carbonáticos claros e escuros, estes últimos mais ricos em matéria carbonosa. Mostra níveis com abundantes estruturas estromatolíticas.

A CPRM (1998) em seu relatório relacionado à Folha de Curitiba enfatiza a importância dos minerais não metálicos na economia de mais da metade dos municípios envolvidos na área. Este aspecto econômico está relacionado à extração e

beneficiamento do metacalcário, utilizado como insumo, tanto para a agricultura, quanto para a indústria da cal e cimento. O mapeamento geológico realizado permitiu reconhecer diferentes unidades geológicas. O Grupo Açungui, que ocupa mais da metade da área da folha, é composto pelas formações Capiru, Antinha e Votuverava. Dentro do contexto da formação Capiru é que se situa a região de Morro Azul e está representada pelas unidades **Mc1**, **Mc2** e **Mc4** (figura 8) – Mesoproterozóico Capiru (**Mc**). Nesta área, historicamente, concentram-se os investimentos do setor mineral e por isso mesmo lá estão quase todas as minas em atividade da Folha de Curitiba.

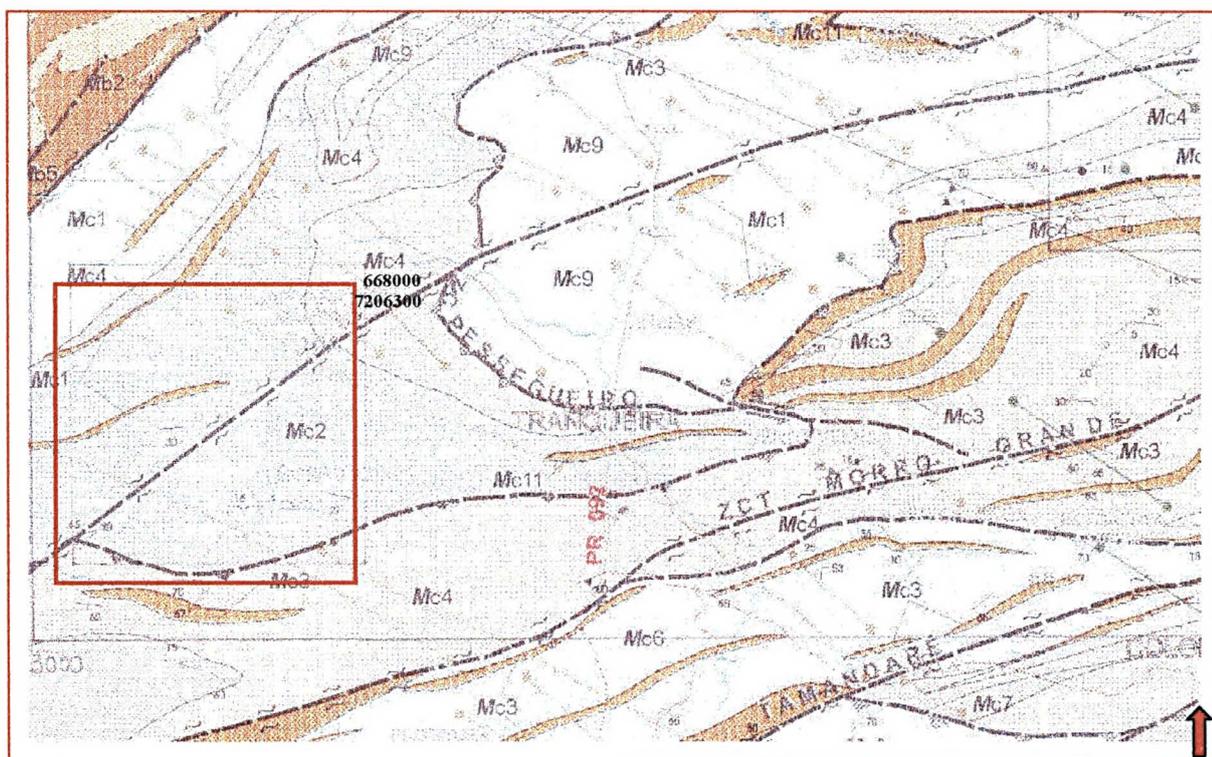


Figura 8 – Mapa geológico de parte da Folha de Curitiba (CPRM, 1998). O quadrado em vermelho delimita a área em estudo (RMA). No seu interior a porção laranja caracteriza a unidade **Mc1**, em azul a unidade **Mc2** e em bege a unidade **Mc4** (escala 1:100000).

A unidade **Mc4** é composta por metarritmitos siltico-arenosos com bandamento centimétrico a decimétrico ressaltado pela alternância de cor e granulação. A unidade **Mc2** caracteriza-se por apresentar metacalcários dolomíticos finos com estruturas sedimentares preservadas (inclusive preservando feições geopetais), sendo as mais notáveis as biossedimentares estromatolíticas. Nesta unidade destacamos a grande

quantidade de frentes de lavra que exploram o metadolomito utilizado na fabricação da cal e como corretivo agrícola. E por fim a unidade Mc1 que é constituída por lentes e faixas descontínuas de pequena espessura de metarenitos finos apresentando estratificação plano-paralela e cruzada de médio porte.

Nesta distribuição de diferentes unidades, a CPRM levou em conta a importância das zonas de cisalhamento.

Este enfoque apenas complementou a proposta de Fiori (1990, 1992) que havia dividido, em seu trabalho, a Formação Capiru em conjuntos litológicos separados por falhas de cavalgamento.

CAPÍTULO 3

A GEOLOGIA NA REGIÃO DE MORRO AZUL

3.1 – CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA

A área em estudo está situada a sudoeste da Falha da Lancinha no estado do Paraná e as litologias pertencem à Formação Capiru do Grupo Açungui. Engloba uma seqüência de rochas carbonáticas e pelíticas de idade Meso a Neoproterozóico e posiciona-se na porção sudeste da Faixa de Dobramentos Apiaí (figura 9).

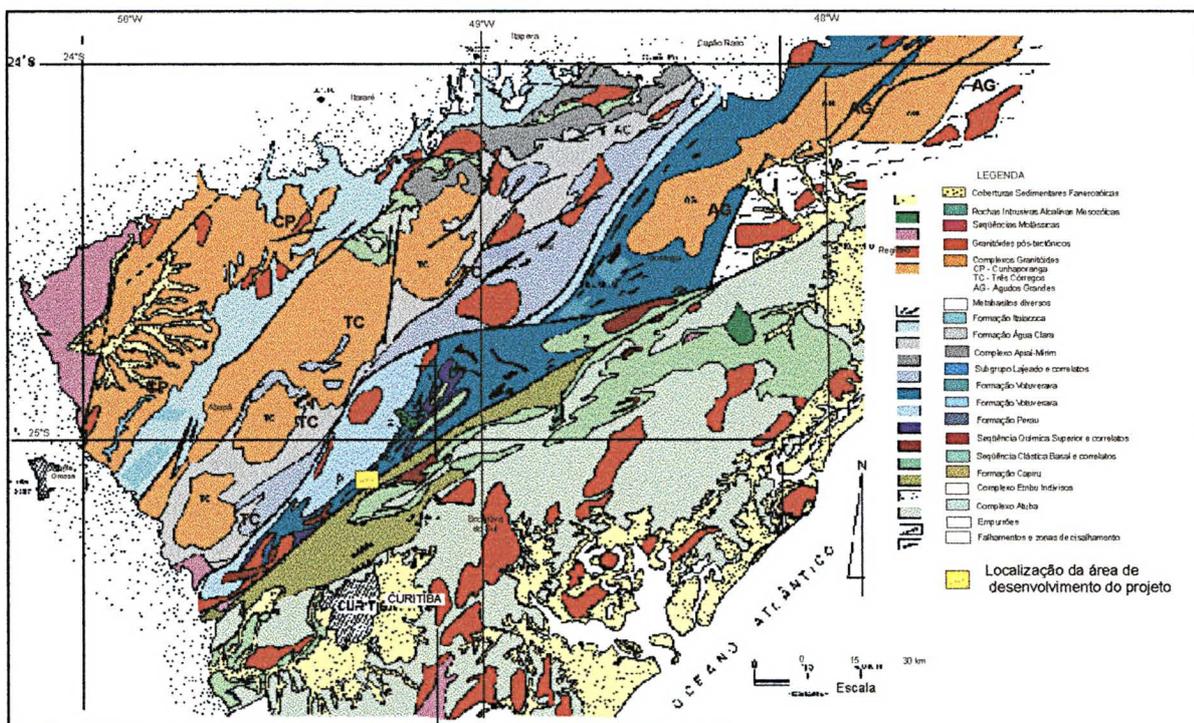


Figura 9 - Mapa dos conjuntos litológicos que compõe a Faixa de Dobramentos Apiaí com a área em estudo, demarcada em amarelo (modificado de Campanha *et al* 1987).

A Formação Capiru constitui uma importante plataforma carbonática de idade Meso a Neoproterozóica no estado do Paraná. Enquanto as rochas acumuladas em plataformas carbonáticas fanerozóicas são razoavelmente bem estudadas, com exaustiva documentação dos diferentes regimes tectônicos e de subsidência em que elas ocorrem, dos efeitos de eustasia, das flutuações climáticas e da evolução dos organismos

produtores de carbonato no desenvolvimento dessas feições, estudos sobre plataformas carbonáticas proterozóicas são relativamente raros.

Na região de Morro Azul foram cadastradas 47 ocorrências minerais atribuídas às substâncias minerais não metálicas, metadolomitos em geral. Este bem mineral constitui o principal recurso presente na Região Metropolitana de Curitiba e é extensivamente lavrado na região. Praticamente na totalidade, constituem lavras de pequeno porte, na maioria dos casos com atividade semimecanizada, sendo que muitas delas encontram-se desativadas. Em geral apresentam teores médios de CaO entre 28% a 30% e MgO entre 19% a 22%. O principal uso desta rocha, na região, destina-se a corretivo agrícola, e secundariamente cal, *petit pavet*, brita, filler, fundente, granilha e ração animal.

Os tipos litológicos carbonáticos aflorantes na região em estudo foram, até o momento, classificados de acordo com a classificação para rochas sedimentares (Bigarella 1953). Embora as litologias sejam rochas metacarbonáticas (“*sensu lato*”), esta classificação foi utilizada, pois as seqüências destas apresentam uma certa uniformidade com os depósitos de idades mais recentes, e isso tem facilitado o entendimento das condições gerais de deposição durante o Precambriano.

3.1.1 – Litotipos

Metadolomitos

Foram assim denominados por apresentarem um metamorfismo incipiente que preservou as estruturas primárias sindeposicionais e também pela sua composição química média.

Estas rochas afloram na região como uma faixa em formato da letra “Z”. A oeste, a espessura cartografada desta faixa é subquilométrica, alargando na porção mediana em direção ao sul (espessura quilométrica), e novamente se estreita, no sentido leste (figura 10). A geometria desta faixa é consequência da atuação de diferentes fases deformacionais responsáveis pela formação de uma sinforme seguida de uma antiforme.

Ao longo desta faixa são encontradas dezenas de minas em atividade e algumas inativas. As maiores das frentes de lavra localizam-se nas charneiras das duas dobras que compõe a faixa cartografada (mapa geológico - anexo 3).

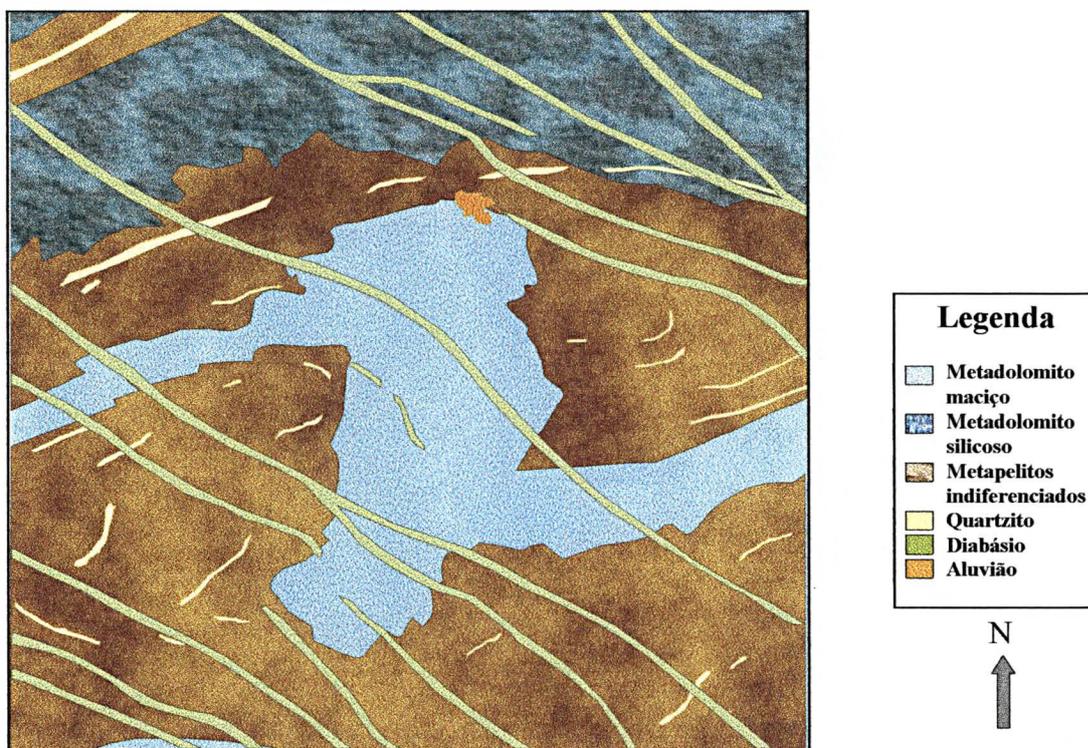


Figura 10 – MDT com a geologia cartografada mostrando os diferentes litotipos da região de Morro Azul. Coordenadas e localização na figura 1.

As rochas metadolomíticas desta faixa em geral possuem estrutura maciça, textura granoblástica, e são rochas holocristalinas, ora equigranulares, ora inequigranulares e com granulação variando de média a fina, às vezes muito friável. A coloração das rochas varia de cinza muito claro até cinza escuro, sendo que o cinza médio (azulado) é o predominante. Em razão desta predominância de cor, a região recebeu o nome de Morro Azul. Muitas vezes estas cores estão intercaladas entre si, conferindo um aspecto bandado. Essas rochas apresentam composição química dolomítica (teor de magnésio > de 19,1%) e mineralogicamente são constituídas predominantemente por calcita e dolomita, poucos cristais de quartzo e, eventualmente, pirita.

O metamorfismo atuante nestas rochas foi da fácies Xisto Verde – zona da Clorita, conseqüentemente com uma intensidade muito baixa preservando estruturas primárias.

A estratificação gradacional também é comum e pode ser verificada quando da alternância de níveis com espessuras centimétricas apresentando granulações diferentes. Em muitos casos pode ser observado que o estrato de granulação mais grossa situa-se acima do de granulação fina de forma abrupta (granocrescência), estando o acamamento em posição normal.

Os diferentes intervalos de metadolomito apresentam estruturas de origens orgânicas, produto da atividade de comunidades microbianas. Observa-se atualmente que essa atividade está representada por esteiras algais que estão presentes em quase todos afloramentos (fotografia 2), ocasionando uma laminação plano-paralela.

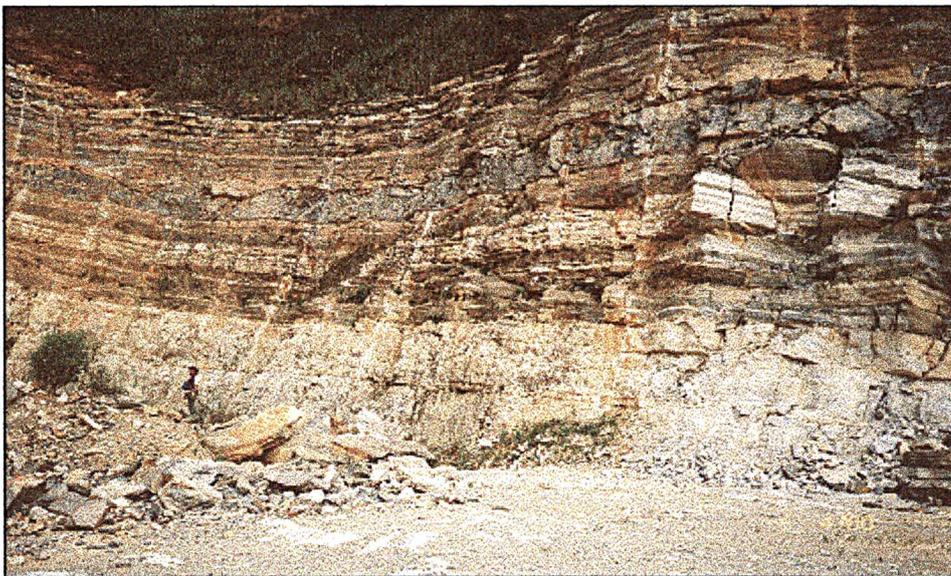


Fotografia 2 – Esteiras algais nos metadolomitos. As estruturas são ressaltadas em superfícies expostas pelo dissolução diferencial. Estrutura de sobrecarga apontada pela seta.

As estruturas biogênicas (esteiras algais) possuem continuidade lateral, espessuras milimétricas a centimétricas, com amplitude de cada laminação em torno de 0,5 – 1,5 cm (não observou-se microestruturas nestas), constituindo apenas um registro de movimentações das comunidades microbianas filiformes. Esses níveis ocorrem intercalados a camadas de metadolomitos muito finos e siltito carbonático fino, de composição também siliciclástica. A marcante presença de siliciclastos muito finos nesta localidade, inclusive delineando, na horizontal as laminações, evidencia a extrema resistência das comunidades microbianas bentônicas a estas condições adversas, como a poluição por siliciclastos. Nestas laminações é possível observar por vezes, estruturas

simétricas de sobrecarga (*load cast*) conforme pode ser visto na fotografia dois e também caracterizar outras feições, tais como *teepes*, *mud cracks*, pelotas de argila (*clay galls*) e brechas intraformacionais.

A estratificação rítmica está presente em muitos afloramentos constituindo uma alternância de camadas cinza claras e cinza escuras, ao que tudo indica consequência de ciclos regulares de sedimentação. Essas bandas são limitadas por faixas marginais contínuas constituídas por metadolomito grafitoso cinza escuro. Estão dispostas paralelamente por trechos, aproximadamente métricos, vindo a convergir mais adiante, e facilmente observadas na mina 31 (fotografia 3). Essas faixas, com espessura variando entre 3 e 6 centímetros, raramente atingem 10 centímetros. Há vezes em que são compostas por uma faixa central cinza escura ladeada por duas faixas cinza claras e vice e versa.



Fotografia 3 – Exposições presentes no afloramento da mina 31 onde se observam níveis de diferentes colorações de cinza, composição e mineralogia.

Estruturas do tipo gretas de contração (fotografia 4) foram observadas em diversos afloramentos, principalmente na mina 31. Estas estruturas são características de fases de exposição subaérea e consequentemente desidratação e ressecamento do sedimento. Possuem polígonos irregulares de tamanho centimétrico variando de 5-10 centímetros. Seus interstícios estão preenchidos com material de granulometria sílica. Os espaçamentos entre os polígonos, em geral medem cerca de 1,0 – 1,5 cm e o preenchimento é em formato de “V”, com o vértice apontado para baixo. Estas estruturas evidenciam o limite de uma seqüência com exposição aérea.



Fotografia 4 – Estruturas “gretas de contração” são freqüentemente observadas nos metadolomitos indicando que a superfície fora exposta e o limite de uma seqüência.

Metadolomitos silicosos

Ocupam uma faixa leste-oeste situada na porção norte da área, na localidade denominada Capivara e Capivara de Cima (anexo 3 – mapa geológico).

A maioria das minas existentes nesta faixa acham-se inativas, exceção feita à mina 40 onde se encontra uma frente de lavra de grande porte, que utiliza o material explotado para brita. A razão do desinteresse na exploração do bem mineral é pela grande quantidade de cristais de quartzo que compõe a rocha, desvalorizando, desta forma, o material explotado.

Essas rochas foram denominadas metadolomitos silicosos por apresentarem composição química característica de dolomito e possuírem um alto teor de quartzo. O metamorfismo regional incipiente de baixo grau (fácies xisto verde zona da clorita), que manteve as estruturas primárias sindeposicionais preservadas, justificou o emprego do prefixo “meta”. São rochas com estrutura reliquiar, textura granoblástica, inequigranular de granulação média a fina, às vezes muito friável. A coloração das rochas varia de cinza esbranquiçado até cinza médio. Muitas vezes estas cores estão intercaladas entre si, conferindo um aspecto bandado.

A composição química é dolomítica (teor de magnésio > de 19,1%) e a mineralogia é basicamente de carbonatos (dolomita e calcita) e cristais de quartzo em grandes proporções.

Seu conjunto litológico é constituído basicamente por metadolarenitos intraclastos peloidais e oncolíticos, com níveis de metadoloruditos e metacalcissiltitos laminados, intercalações de terrígenos e zonas silicificadas.

A estratificação gradacional é comum e pode ser verificada quando da alternância de níveis de granulação mais grossa assentando-se sobre níveis de granulação mais fina. Dentro de um mesmo nível também ocorre estrutura gradacional. Este nível exhibe passagem gradual de componentes com granulação grossa (metadolarenito grosso) para mais finos (metadolarenito muito fino) configurando uma granodecrescência. O inverso também ocorre caracterizando, nesse caso, uma granodecrescência. A estratificação gradacional e a gradação dentro de um mesmo nível foram muito úteis como feições geopetais e corroboraram a suspeita de que as camadas não encontravam-se invertidas.

Estratificações cruzadas são observadas principalmente em níveis que apresentam dissolução cárstica diferencial. Possuem uma amplitude centimétrica em “sets” que variam entre 15 – 30 cm. Os principais tipos são o tabular e o acanalado e ocorrem nas vizinhanças dos biohermas. São geralmente paralelas, assimétricas, passando aparentemente aos tipos chamados “ripple” de interferência, bem como a outros de aspecto anastomosado indicando um paleoambiente plataformal (águas rasas).

Esteiras algais semelhantes as já descritas, estão presentes em muitos afloramentos, mas se encontram intercaladas a estruturas plano-paralela, ou “teepes”.

O contato deste litotipo com os metadolomitos e metapelitos se faz de forma gradacional.

Mármore Dolomítico

Na parte central onde afloram os metadolomitos maciços em sua porção oeste (mina 45), estas rochas encontram-se fortemente recristalizadas, em decorrência de um fenômeno metamórfico que ocasionou a recristalização de calcita e dolomita, por esta razão denominando-se mármore (fotografia 5). A exploração deste mármore é realizada visando a comercialização como pedra ornamental. Todas as outras mineradoras da redondeza comercializam o metadolomito de forma diferente, como corretivo de solos.

Trata-se de rochas com estrutura maciça, às vezes com foliação tênue e textura granoblástica sacaroidal, são holocristalina, ora equigranular, ora inequigranular e com granulação fina a muito fina. A coloração das rochas varia de cinza muito claro até cinza médio. A composição química de acordo com as classificações apresentadas no capítulo 1, é dolomítica e a mineralogia é basicamente calcita e dolomita, alguns filossilicatos, poucos cristais de quartzo e, eventualmente, cristais milimétricos de pirita.



Fotografia 5 – Detalhe do mármore dolomítico da mina 45.

O grau de fraturamento apresentado por essas rochas é baixo com fraturas de espaçamento métrico normalmente com preenchimento por quartzo e/ou calcita.

Embora com a intensa recristalização de calcitas e dolomitas, o metamorfismo atuante foi regional de baixo grau (fácies xisto verde zona da clorita). Localmente manteve estruturas primárias sindeposicionais preservadas, tais como brechas intraformacionais que ficaram restritas a poucos afloramentos. Os fragmentos (clastos) são geralmente angulosos ou subangulosos, denotando pequeno transporte. Não apresentam orientação definida e estão desordenados em uma matriz de granulação fina e coloração escura. A natureza litológica dos fragmentos é a mesma da rocha. A espessura desses horizontes raramente ultrapassa a 0,8 metros.

Texturas oolíticas são freqüentemente observadas caracterizando um paleoambiente sebaquoso agitado. Os oólitos possuem formato subsférico, geralmente orientados segundo o plano de foliação principal (S_1), com dimensões variadas, onde o eixo maior geralmente medindo 0,5 mm podendo atingir, em casos mais raros, até 2

milímetros. São melhores observados em superfícies expostas, por estarem ressaltado pelo intemperismo e dissolução diferencial.

Metamargas

Encontra-se em diversos afloramentos na área. Geralmente estão associadas a estruturas tectônicas tais como falhas transcorrentes. No ponto 31, na parte central da área, temos excelentes exposições deste tipo litológico.

São rochas inequigranulares com foliação (S_1) marcante que apresentam granulação fina/muito fina, colorações cinza médio esverdeadas à cinza escuro, além de lepidoblásticas. Observa-se nesta rocha uma alternância rítmica de bandas milimétricas compostas quase que exclusivamente por clorita e/ou sericita e bandas exclusivamente com cristais de calcita e dolomita. A espessura dessas bandas, em intervalos distintos, apresenta-se maior nos níveis micáceos em relação aos níveis carbonáticos. Esta alternância rítmica evidencia nitidamente a preservação de estruturas primárias (foliação S_0), uma vez que o contato entre os níveis é bem diferenciado e caracterizado por transposição da foliação. Observa-se ainda uma foliação incipiente (S_1) subparalela ao acamamento (S_0).

Pode-se observar a presença de cristais milimétricos e euhédricos de pirita. Estes estão contidos nos níveis micáceos e encontram-se dispersos aleatoriamente.

O grau de fraturamento apresentado por essas rochas é mediano, normalmente sem preenchimento.

Metapelitos (filitos indiferenciados)

Constituem uma seqüência de rochas ocorrendo em quase 50% da área, predominando nas cotas altimétricas superiores a 1.000 metros, o que os caracteriza como sendo a litologia responsável pelos altos topográficos.

Esta seqüência de rochas é basicamente composta por filitos geralmente avermelhados, de granulação fina a muito fina, com textura lepidoblástica e estrutura marcada por uma marcante clivagem ardosiana que se encontra subparalela ao acamamento (S_0). São de coloração vermelha (sericita filito), passando por esverdeada (sericita-clorita filito) até quase preta (sericita-grafita filito). Há abundante ocorrência de veios de quartzo-leitoso como característica predominante em quase todos afloramentos. Apresentam-se intensamente fatiados, com a clivagem ardosiana (S_1) bem

desenvolvida, evidenciada por planos brilhantes e sedosos devido ao desenvolvimento da sericita. São geralmente homogêneos, sendo raras as evidências de S_0 mas, localmente, percebe-se um bandamento rítmico e milimétrico, dado pela alternância de níveis avermelhados e cinza, caracterizando o acamamento. Níveis arenosos são bastante raros, mas quando ocorrem, são de areia muito fina e tendem a cores mais claras, com tons róseos. O grau de fraturamento apresentado por essas rochas é mediano, normalmente sem preenchimento. O metamorfismo que atuou nestas rochas, foi de baixo grau e encontra-se na fácies Xisto Verde – zona da clorita/biotita.

O contato desta litologia com os metadolomitos é transicional.

Estes litotipos, quando próximos ao contato com as rochas carbonáticas, tornam-se grafitosos. Em geral a espessura desse grafito filito atinge 5 a 10 metros de espessura.

Quartzitos

Intercaladas com os filitos, ocorrem lentes descontínuas de quartzitos, com espessuras variáveis, algumas com dimensões suficiente para serem cartografadas. Ocupam as cotas mais altas da região norte constituindo as serras das regiões de Capivara e Capivara de Cima.

São geralmente de cores creme ou amareladas, muitas vezes com pontuações ferruginosas, apresentam granulometria fina, bem selecionados, na maioria das vezes friáveis, exibem freqüentemente estratificação plano-paralela. Às vezes ocorrem quartzitos de granulação média a grossa e mal selecionados. Podem também ocorrer termos transicionais entre filitos e quartzitos, tais como, filitos quartzosos ou quartzitos com abundante matriz argilosa.

Estas rochas sofreram um metamorfismo da zona da Clorita/Biotita, da fácies Xisto Verde, o que lhe confere a classificação como quartzitos. O grau de fraturamento apresentado por essas rochas é baixo a inexistente.

Diques básicos

Intrusivos e posteriores à toda tectônica precambriana, apresentam-se como diques de direção noroeste, com extensões quilométricas. Incluem entre seus litotipos diabásios, dioritos pórfiros e quartzo dioritos. Os primeiros correspondem a rochas

melanocráticas cinza muito escuro e granulação fina. Os dioritos pórfiros possuem as mesmas características descritivas dos diabásios, porém com a presença de cristais milimétricos de plagioclásio em meio a uma matriz afanítica. Esta mineralogia ocorre na litologia dos diques de maior espessura encontrados na região.

O grau de fraturamento é mediano, preenchido ou não por calcita e/ou clorita.

As intrusões de diabásio quase sempre provocam metamorfismo de contato em suas encaixantes carbonáticas. Desta forma há mudanças na coloração das rochas carbonáticas, uma vez que estas perdem matéria orgânica e passam a cores cinza claro.

Nas regiões de contato ocorre ainda um aumento na granulação das rochas carbonatadas, provocada pela recristalização – metamorfismo de contato.

Sedimentos aluvionares

Os sedimentos aluvionares ocupam a planície de um afluente da bacia hidrográfica do rio Capivara, situado na porção centro-norte da região estudada.

Compreende depósitos inconsolidados, constituídos por argilas, siltes, areias e argilas turfosas de idade holocênica.

Como foram descritas nos litotipos de origem sedimentares químicas da RMA umas séries de estruturas deposicionais, que claramente levaram a interpretar a evolução do ambiente deposicional, o modelo genético dos metadolomitos foi caracterizado na página 63.

3.1.2 - Considerações Estruturais

O entendimento do arcabouço estrutural e do posicionamento espacial das camadas de rochas carbonáticas, bem como suas atitudes, foram de fundamental importância para a constatação da influência tectônica na composição mineralógica destes litotipos, no entanto as análises destas estruturas foram utilizadas tão somente como ferramentas para que houvesse uma compreensão maior da preferência pelo material explotado. Não houve, desta forma, pretensão a se realizar um estudo estrutural aprofundado.

A deformação que afetou as rochas da Formação Capiçu apresenta registros de desenvolvimento sob a influência de tectônica de baixo ângulo de mergulho (cavalgamento) e de alto ângulo (transcorrências responsáveis pela geração de foliações penetrativas com secionamento dos litotipos e expressivas movimentações tanto horizontal como lateral).

Os principais modelos tectônicos existentes (Fiori 1990 e 1992) apresentam um sequenciamento da deformação, que iniciaria a partir de cavalgamentos de provável sentido NW-SE a oeste-leste, passando ao final para acomodação dos últimos pulsos de movimentação sob a forma de zonas de cisalhamento transcorrentes notadamente dextrais. Segundo o autor citado, a região em estudo apresenta-se polideformada, sendo que as diversas fases podem ser relacionadas a três principais sistemas de deformação:

- i. cavalgamento, representado pela falha da Tranqueira;
- ii. os dobramentos caracterizados por apresentar um dos flancos rompidos e a foliação principal disposta em posição plano-axial destas dobras, sendo subparalela ao acamamento primário e às falhas de cavalgamento;
- iii. falhas transcorrentes dextróginas, pertencentes ao sistema de transcorrência Lancinha.

Há heterogeneidade na deformação, pois se encontram faixas incipientemente deformadas, onde podem ser recuperadas abundantes estruturas sedimentares.

O quadro regional estrutural da região em estudo é caracterizado pela presença de amplos sinformes e antifomes. Os eixos dessas grandes estruturas ou mergulham para NNE ou para SSW. A região de Capiçu e Morro Azul situa-se na área de influência de uma dessas estruturas – o Sinforme de Colombo. Trata-se de um grande sinclinal de eixo NE-SW, mergulhante para SW (figura 11 e 12), que envolve rochas da Formação Capiçu, Sequência Morro Grande e Sequência Rio Branco (Fiori, 1990). O traço axial é suavemente curvo, com direção geral em torno de N47E. O contorno regional desta dobra é bem evidenciado em aerofotografias (figura 11), pelo contraste morfológico apresentado por um conjunto de filitos posicionado na base de um banco de metadolomitos originando uma zona homóloga de relevo rebaixado.

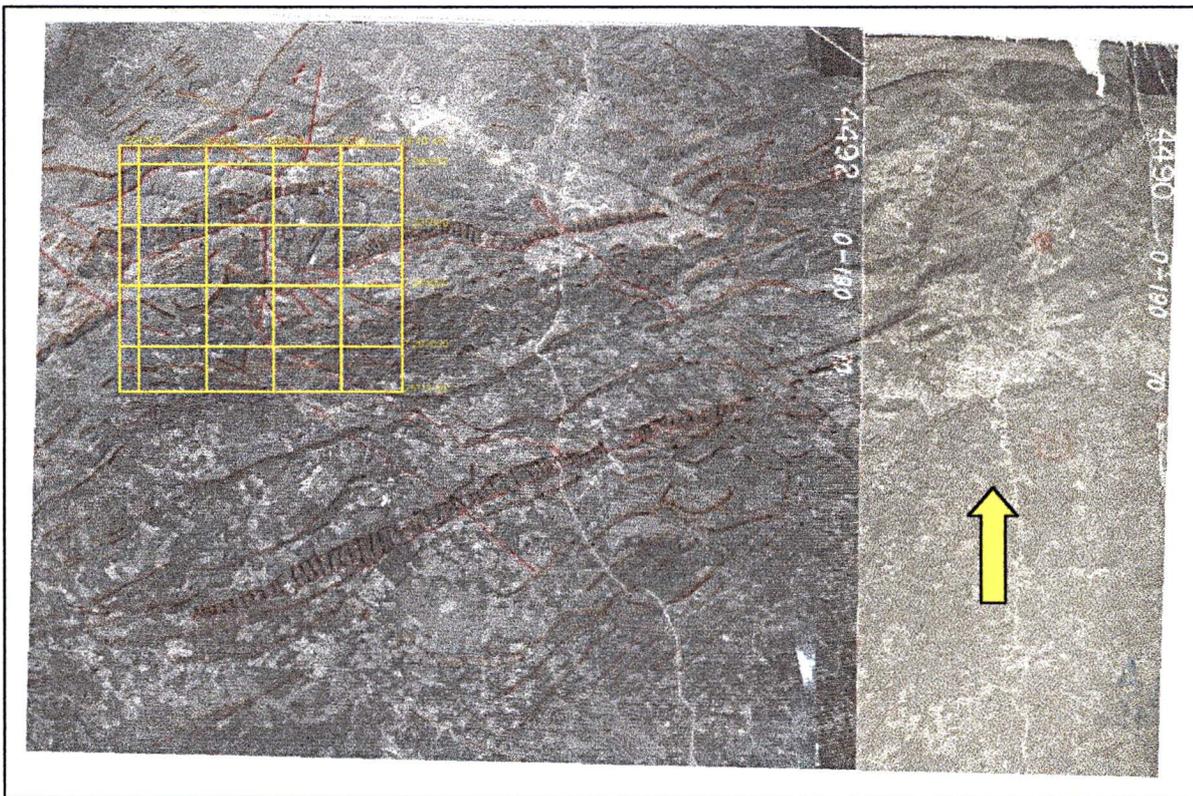


Figura 11 –Aerofotografia, em escala original 1:70000, onde se observa a grande estrutura – Sinforme de Colombo, com seus flancos mergulhantes para SSE. O flanco esquerdo da estrutura corta a área em estudo que está evidenciada pelo retângulo em amarelo.

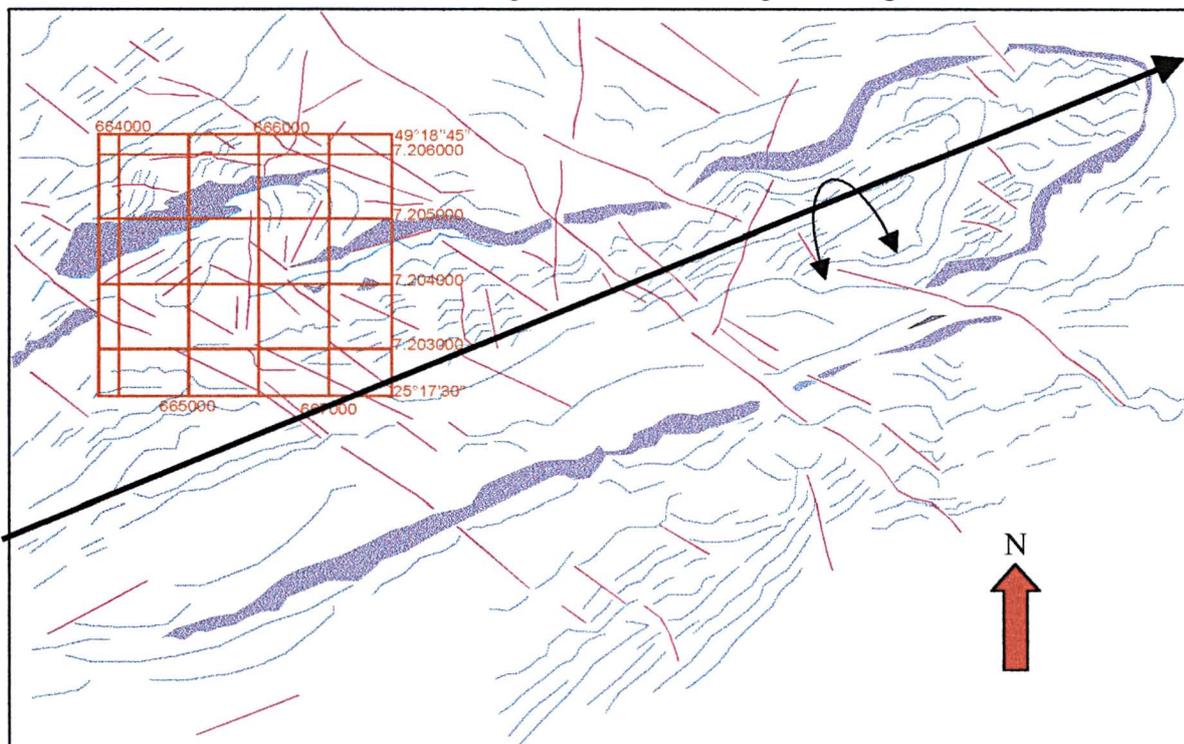


Figura 12 –Interpretação da aerofotografia (figura 11), onde se observa em roxo a grande estrutura – Sinforme de Colombo, com seus flancos mergulhantes para SSE. A RMA está evidenciada pelo retângulo em vermelho onde observa-se a Antiforme do Morro Azul.

O diagrama de pólos de S_1 dessa estrutura (figura 13) mostra uma distribuição em guirlanda parcial, relativamente bem definida, com um eixo “ β ” de atitude N44E/26. A dobra é do tipo fechada, estando relacionada ao Sinforme de Colombo.

Os dados estruturais obtidos nas rochas metadolomíticas permitiram a caracterização da importância ou não, dos esforços tectônicos para a exploração dessas rochas. Na interpretação desses dados foram construídos diagramas de contornos e rosetas (figuras 13 e 14).

As informações resultantes da somatória da clivagem ardosiana (foliação S_1) estão representados na figura 13. Esta foliação é geralmente paralela a subparalela ao acamamento sedimentar (foliação S_0). O estereograma apresenta atitudes predominantes para a direção NE com alto ângulo de mergulho evidenciando dobramento desta foliação.

No estereograma de atitudes de fraturas observa-se duas acentuadas concentrações, sendo que a principal mostra a direção preferencial N 30-60 W e a outra, secundária, a concentração está em torno de N 70-80 E (figura 14).

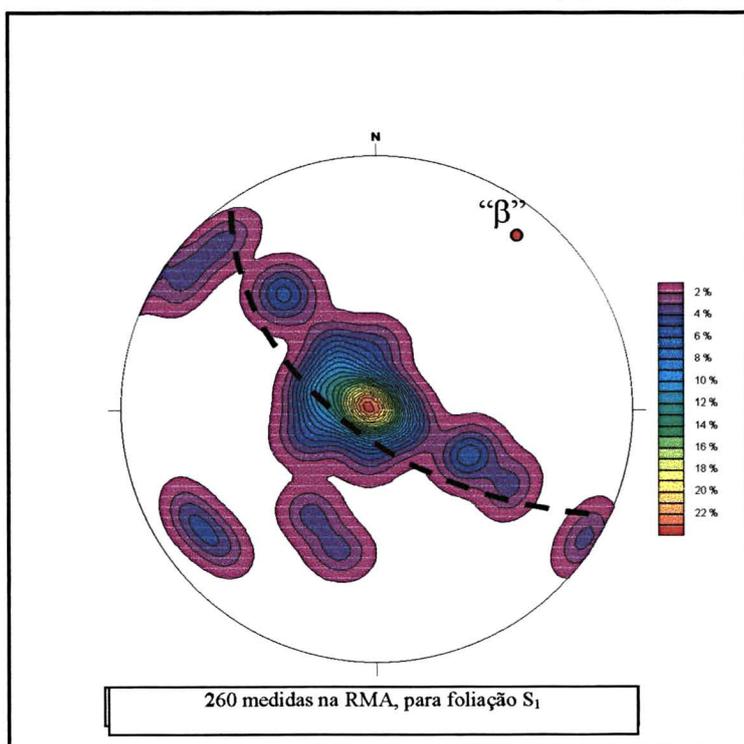


Figura 13 - Estereograma referente ao Antiforme do Morro Azul. 260 pólos de foliação S_1 . Eixo “ β ” de atitude N44E/26

É bem provável que as juntas N 30-60 W estejam sobrepostas por um episódio posterior, relacionado ao Arqueamento de Ponta Grossa, uma vez que habitualmente são preenchidas por diques de rochas intrusivas básicas, com rumo médio também de N30-60W e altos mergulhos. As fraturas, em descrição de campo, se apresentam sem preenchimento e possuem um padrão de espaçamento centimétrico regular.

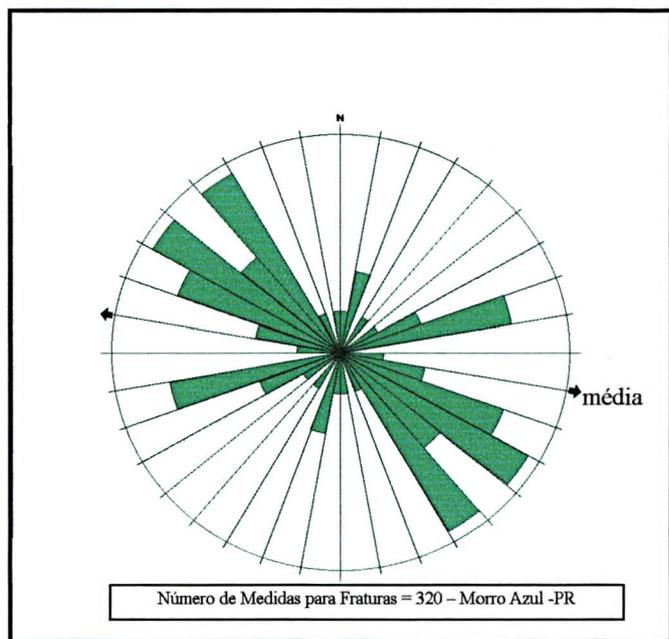


Figura 14 – Estereograma de fraturas (roseta) para todas as atitudes medidas na RMA.

Na porção central da área, posicionada no limite entre metadolomitos e metapelitos, observa-se a falha de cavalgamento Tranqueira. Esta falha encontra-se bem exposta num afloramento de metadolomito, próximo a mina 50, onde esta litologia está representando o “muro” e os metapelitos o “teto”. O metadolomito, próximo ao contato, apresenta-se intensamente fraturado e essas fraturas estão paralelas a este contato, já o metapelito se encontra marcado por uma intensa filonitização, ambas feições formam uma zona de largura decamétrica. A foliação S_1 neste local varia em torno de N82E/47°SE e a direção de transporte é sul evidenciada pelas medidas médias de eixos de *boudins* estirados (N265/11°), em veios de quartzo observados nos metapelitos



Fotografia 06 - Afloramento junto a Falha de Tranqueira. Setas amarelas mostrando *boudins* estirados em veio de quartzo

A geração de fraturas e juntas para as direções NE e NW com mergulhos para SE e SW respectivamente, pode estar relacionada a eventos que também geraram dobras regionais, ou ainda a atuação de esforços relacionados ao falhamento da Lancinha. Embora muitas vezes as juntas não estejam relacionadas às principais estruturas determinadas num sistema transcorrente, como falhas sintéticas, normais, antitéticas etc. podem estar integradas a estruturas subsidiárias.

Com o objetivo de constatar se estas estruturas controlavam a distribuição espacial dos teores litogeoquímicos (Guimarães *et al.* 1999) foi realizado uma análise, em alto grau descritivo, desses sistemas de fraturamentos, com a verificação de juntas, veios, etc.

Em alguns locais descritos, as fraturas NW preenchidas por diques de rochas básicas, estão associadas a um metamorfismo de contato nas rochas carbonáticas encaixantes.

Na RMA, as falhas transcorrentes frequentemente truncam as dobras, que apresentam flancos com alto mergulho, estirados e rompidos (figura 11 e 12). Essas falhas possuem direções preferenciais N70°-80°E, com mergulhos subverticais tanto para SE quanto para NW.

As falhas transcorrentes são caracterizadas pela presença de indicadores cinemáticos, predominantemente do tipo pares de cisalhamento S-C e dobras assimétricas. Estes indicadores, associados a lineações de estiramento observadas, apontam uma tectônica de cisalhamento, predominante com movimentação lateral direita, conforme observações em campo. Essas falhas causaram mobilidade e concentração SiO₂, afetando localmente a exploração das rochas metadolomíticas. Isto posto, não é possível afirmar que haja um controle tectônico e/ou estrutural na mineralização, embora se observe que as mineradoras (minas 20 e 36), que possuem o minério de melhor qualidade para exploração e fabrico da cal, estejam localizadas na charneira de dobras.

De um modo geral, as estruturas não chegam a ser um condicionante extraordinário na disposição dos teores, embora a segunda fase de deformação, responsável pelos dobramentos, tenha uma influência marcante no que se refere a disposição das camadas.

A estruturação mais preservada na área é reflexo da deformação relacionada ao Ciclo Brasileiro, responsável pela forte orientação nordeste das clivagens ardosianas e estruturas maiores cartografadas.

3.2 – CONTROLE ESTRATIGRÁFICO DA EXPLOTAÇÃO

O estudo de diferentes frentes de lavras mostrou a existência da heterogeneidade (química e petrográfica) de litotipos em uma mesma mina. Essa característica faz com que os mineradores priorizem e selecionem níveis preferenciais em detrimento a outros, ou que, “por experiência”, destinem para diferentes objetivos o produto deste ou daquele nível (exemplo: cal e corretivo agrícola).

Desta forma, foi verificada que a variação composicional (qualidade) dos metadolomitos da RMA, não é só consequência da faixa de metacalcário que está sendo lavrada, mas também e talvez principalmente, do nível estratigráfico em que está sendo explorada a rocha.

Na RMA as frentes de lavra são abertas aleatoriamente, só depois do minério lavrado e identificado é que o minerador prossegue na exploração ou abandona esta frente. Desta forma a atividade de exploração dessas rochas necessitaria de conhecimento geológico que, conseqüentemente, serviria para o melhor aproveitamento potencial dos minérios, como também para nortear novas explorações.

Como ferramenta inicial foi realizada detalhada análise faciológica. Esta análise constituiu na descrição minuciosa de corpos metassedimentar, seguida de interpretação dos processos e ambientes de sedimentação.

As litofácies foram individualizadas pela forma, constituição litológica, granulação, estruturas sedimentares, coloração, mineralogia e outras características de sedimentação, visando compreender quais fatores são responsáveis pelos diferentes comportamentos do material lavrado. A diagênese e o metamorfismo provavelmente tenham sido os responsáveis pela geração de diferenças ou mesmo homogeneização nos depósitos originais. Provavelmente os processos diagenéticos tenham sido responsáveis pela intensa dolomitização da rocha. Já o metamorfismo gerado na fácies Xisto Verde, zona da Clorita recristalizou os cristais de calcita e dolomita de forma branda, quase que incipiente.

Foram realizadas 9 seções colunares em lavras diferentes com ou sem atividades (figura 15). Para a escolha levou-se em consideração a distribuição espacial, a boa qualidade ou não do minério explorado e a localização estratégica em estruturas tectônicas que fossem pouco deformadas. A chave para interpretação dos níveis mais favoráveis a exploração residiu na análise comparativa de vários intervalos com características distintas. Trabalhos de campo permitiram descrever e classificar as principais características dos metadolomitos nos diferentes intervalos. Os trabalhos de laboratório foram úteis para detalhar e completar a descrição das litofácies carbonáticas. A petrografia, além de permitir

a classificação mais precisa das rochas coletadas, possibilitou a observação minuciosa dos grãos constituintes dessas rochas (granulação, forma, estágio deformacional, tamanho etc.). Também, através desta, possibilitou a classificação dos cristais de calcita e dolomita através do método de colorimetria.

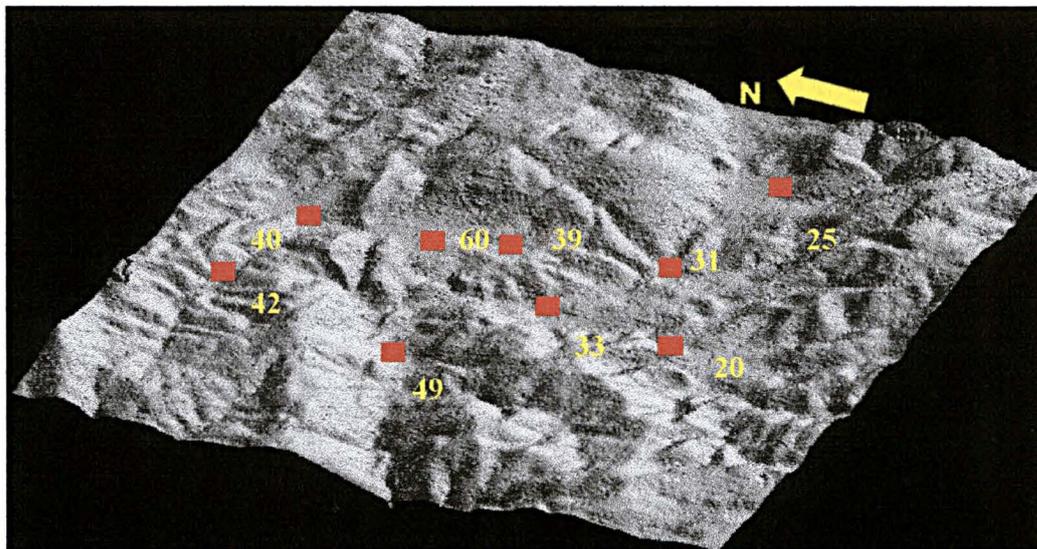


Figura 15 – MDT mostrando a distribuição das 9 seções colunares descritas na RMA.

Localização apresentada na figura 1.

Dentro destas prerrogativas, e considerando a divisão proposta por Fiori (1990), a região foi separada em duas litofácies distintas (figura 16):

- i. **Faixa Morro Azul** - dololutitos com acamamento paralelo a subparalelo;
- ii. **Faixa Capivara** - dolarenitos com estratificação cruzada.

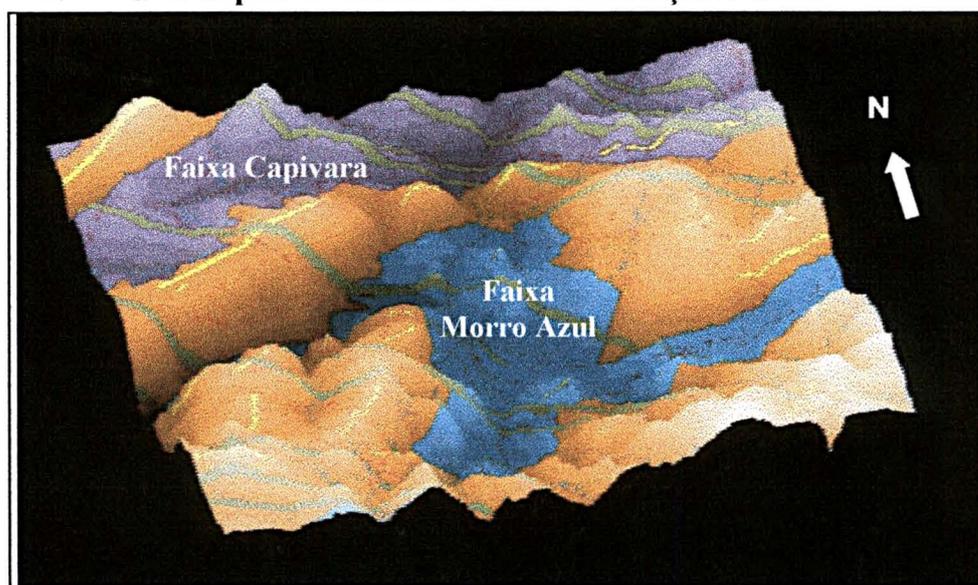


Figura 16 – MDT tridimensional mostrando a divisão da RMA em duas litofácies carbonáticas denominadas Faixa Morro Azul (em azul) e Faixa Capivara (em roxo).

Faixa Morro Azul

A Faixa Morro Azul é a mais explorada na extração do minério para fabricação da cal. As grandes mineradoras (minas 36 e 20) estão concentradas na área referente à charneira de uma sinforme e antifforme, respectivamente. As rochas carbonáticas constituintes desta litofácies trata-se, em geral, de dololutitos.

Esta faixa está localizada na Unidade Mc2 (CPRM, 1998) e Seqüência Morro Grande (Fiori, 1990).

Os dololutitos apresentam acamamento paralelo e contínuo, com camadas de espessura centimétrica, intercaladas com lâminas irregulares, ondulantes e alternadas de dolossiltitos e dolarenitos muito finos a finos. A porosidade fenestral está preenchida por dolomita, nódulos de calcita, estruturas arqueadas do tipo “*tepees*”. Camadas brechadas com intraclastos tabulares de dimensões centimétricas são comuns nesta litofácies.

As características desta faixa que foram observadas durante as descrições de campo indicam uma deposição em ambiente peritidal protegido da ação das ondas, onde as camadas de dololutitos representam deposição episódica durante tempestades, e as lâminas irregulares são o produto do crescimento de comunidades microbianas, nos períodos calmos intervenientes. Em analogia com os modelos atuais, as fenestras, os “*teppes*”, as brechas de ressecção e as gretas de contração formaram-se quando os sedimentos lamosos foram expostos, provocando o ressecamento e a expansão dos tapetes microbianos. O ressecamento das camadas lamosas, já cimentadas, produziu os intraclastos tabulares que foram erodidos e redepositados durante os episódios de tempestades. Os nódulos de calcita dão indicação da presença de minerais evaporíticos, os quais sofreram dissolução durante períodos de maior umidade e não foram preservados. Nas planícies de maré atuais a laminação paralela serve como critério diagnóstico para identificação de zona supramaré, uma vez que as camadas mais inferiores, onde também pode se formar esta laminação, é facilmente destruída pela ação dos organismos bioturbadores (Shinn *et al.*, 1969). Entretanto, no Proterozóico, a ausência desses organismos pode ter favorecido a preservação das laminações até a zona de submaré. Devido a isso é difícil estabelecer no Precambriano os limites exatos das subfácies de supra, inter e submaré. A maior ou menor extensão das evidências de exposição subaérea é, portanto, o único critério que poderá distinguir as camadas de supra e intermarés e a total ausência dessas estruturas poderá caracterizar os sedimentos depositados nas zonas de intermarés inferior e submaré.

O detalhamento das características litológicas permitiu a construção de seções colunares na Faixa Morro Azul visando estudar os níveis preferenciais lavráveis. Nesta faixa, que possui metadolomitos preferenciais para exploração, foram descritas minuciosamente sete seções colunares, para melhor caracterizar os diferentes níveis. Além da observação detalhada, foram utilizadas como ferramentas a petrografia e a geoquímica.

Esta associação de métodos de trabalho permitiu uma boa caracterização, principalmente dos níveis preferenciais de exploração para insumo agrícola e o fabrico da cal.

A seguir serão mostradas as seções colunares acompanhadas de uma descrição detalhada de cada intervalo, primeiramente da Faixa Morro Azul, posteriormente da Faixa Capivara:

- **Mina nº 20 –Terra Rica Mineração – (níveis de “A” à “K”).**
- **Mina 25 - Ouro Verde Ind. e Com. de Cal – (níveis de “A” à “E”).**
- **Mina 49 – Calcário Morro Azul (pedreira desativada - nível “A”).**
- **Mina 31 – Calcário S. Francisco (níveis de “A” à “K”) P. desativada**
- **Mina 33 – Calcário Rio Grande (níveis de “A” à “J”)**
- **Mina 60 – Calci Mineração Ltda. (níveis de “A” à “D”)**
- **Mina 39 – Frente de lavra desativada (níveis de “A” à “E”)**
- **Mina 40 – Cal Santa Clara (níveis de “A” à “E”)**
- **Mina 42 – Frente de lavra desativada (níveis de “A” à “E”)**

Mina nº 20 – Terra Rica Mineração – (níveis de “A” à “K”).



Nível 13 – Dolarenito equigranular muito fino, 3 m. de espessura e continuidade lateral. Plano de caverna. Coloração cinza claro, estrutura laminada (plano-paralela centimétrica), localmente maciça. Nível laminado com plano de foliação subcentimétrica, (pode ser esteira algálica). Formação de gruta de dimensão métrica (observa-se estalactite e estalagmite).

Nível 10 – Dololutito grosso equigranular, 4,5 m de espessura. Coloração cinza claro com estrutura sedimentar deposicional laminada (plano-paralela centimétrica), cinza médio. Localmente maciça, contato discordante entre o nível superior e inferior com dolarenito muito fino com 0,50 cm de espessura e cor cinza médio.

Nível 9 - Dololutito grosso equigranular, 6,0 m de espessura. Coloração cinza claro intercalada por níveis rítmicos (5 cm de espessura) cinza médio equidistantes. A rocha é granoblástica, com estratificação plano-paralela e contato discordante com o nível 8 e o nível 10.

Nível 8 – Dololutito médio equigranular, 3,0 m de espessura, cinza médio, granoblástica, com bandas de coloração cinza claro variando 3 a 5 cm de espessura com foliação marcante. No nível claro observa-se dobras normais, abertas de amplitude centimétrica e espessura ortogonal constante. O contato com o nível 7 é transicional, e com o nível 9 é discordante.

Nível 7 - Dololutito médio a grosso; equigranular; 4,0 m de espessura e continuidade lateral, coloração cinza médio com bandas mais claras, (até brancas) variando de 5 a 3 cm de espessura, granoblástico. Presença de estrutura plano-paralela centimétrica e esteiras algais. Observa-se localmente manchas inequidistantes, arredondadas, de cor cinza muito claro, com granocrescência incipiente.

Nível 6 - Dololutito grosso equigranular, 2,5 m. de espessura de continuidade lateral. Coloração cinza médio com cristais submilimétricos de pirita disseminados na rocha. O contato com o nível 7 é discordante.

Nível 5 - Dololutito grosso a médio equigranular 3,0 m. de espessura e continuidade lateral. Rocha de coloração cinza claro, maciça, muito fraturada, granoblástica, com cristais de sericita, quartzo e carbonatos. O contato com o nível 6 e 4 é discordante.

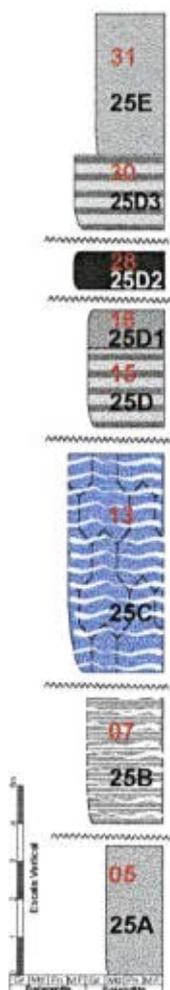
Nível 4 - Dololutito grosso a médio equigranular 5,00 m. de espessura e continuidade lateral. Coloração cinza médio (azulado), maciça, granoblástica com níveis de aproximadamente 30 cm cinza mais esbranquiçado.

Nível 3 - Dololutito grosso a médio equigranular 5,0 m de espessura e continuidade lateral. Rocha sacaroidal cinza médio, granoblástica, com bandas de coloração cinza claro variando em torno de 1 5 cm de espessura com foliação marcante. O contato com o nível 4 é transicional e com o nível 2 é discordante.

Nível 2 - Dololutito grosso a médio equigranular, 6,0 m de espessura e continuidade lateral, granoblástica. Rocha laminada (laminação mais espessa) e bandamento rítmico centimétrico de coloração cinza médio (30 cm) intercalada com cinza claro (50 cm). O contato com o nível inferior e superior é discordante.

Nível 1 - Dololutito médio, equigranular, 5,0 m. de espessura com continuidade lateral. Rocha de coloração cinza claro, granulação fina, textura granoblástica com bandamento milimétrico incipiente de rocha coloração cinza médio. Estrutura bandada.

Mina 25 - Ouro Verde Ind. e Com. de Cal – (níveis de “A” à “E”).



Nível 31 - Dololuto médio a grosso; equigranular; 4,0 m. de espessura. Rocha de coloração cinza clara, maciça, granoblástica. O contato com o nível inferior é discordante.

Nível 30 - Dolarenito muito fino, equigranular, 2,50 m de espessura. Rocha de coloração cinza claro com estrutura sedimentar deposicional laminada (plano-paralela centimétrica) cinza médio (0,60m de espessura).

Nível 28 - Dolarenito equigranular muito fino, 0,40 m variando até 1,20m de espessura. Rocha de coloração cinza escuro, quase preto. Presença de estrutura sedimentar primária “marca ondulada” de amplitude centimétrica.

Nível 16 - Dololuto médio a grosso, equigranular 1,0 m de espessura, coloração cinza claro, granoblástico, e sacaroidal.

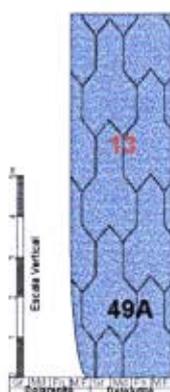
Nível 15 - Dololuto médio a grosso equigranular 2,50 m de espessura. Rocha de coloração cinza claro, com estrutura sedimentar deposicional laminada (plano-paralela centimétrica), cinza médio (0,60m de espessura).

Nível 13 - Dolarenito equigranular muito fino, 6,5 m. de espessura e continuidade lateral. Plano de caverna. Coloração cinza claro, estrutura laminada (plano-paralela centimétrica), localmente maciça. Nível laminado com plano de foliação N20E/40SE, subcentimétrica, (pode ser esteira algálica).

Nível 7 - Dololuto médio a grosso equigranular 4,0 m. de espessura e continuidade lateral, coloração cinza médio com bandas mais claras, (até brancas) variando de 5 a 3 cm de espessura, granoblástico. Presença de estrutura plano-paralela centimétrica e esteiras algais.

Nível 5 - Dololuto médio a fino equigranular, 4,0 m. de espessura e continuidade lateral. Rocha de coloração cinza médio, sacaroidal, maciça, muito fraturada, granoblástica, com cristais de sericita, quartzo e carbonatos.

Mina 49 – Calcário Morro Azul (pedreira desativada - nível “A”).



Nível 13 - Dolarenito equigranular muito fino, 6,5 m. de espessura e continuidade lateral. Plano de caverna. Coloração cinza claro, estrutura laminada (plano-paralela centimétrica), localmente maciça. Nível laminado com plano de foliação N20E/40SE, subcentimétrica, (pode ser esteira algálica).

Mina 31 – Calcário S. Francisco (níveis de “A” à “K”) P. desativada



Nível 37 - Dololuto grosso, intervalo com 3,5 m de espessura; continuidade lateral. Coloração cinza médio, granoblástica, equigranular com bandas cinza escura (3-5 cm) de espessura e foliação marcante.

Nível 34 - Dololuto médio, 1,20 m. de espessura com continuidade lateral. Coloração cinza claro, maciça, granoblástica, com laminação plano-paralela (7 cm).

Nível 28 - Dolarenito equigranular muito fino, 0,40 m variando até 1,20m de espessura. Coloração cinza escuro quase preto, estrutura primária “Marca ondulada”.

Nível 25 - Dololuto grosso, 4,90 m. de espessura. Coloração cinza claro, maciça, granoblástica. O contato com o nível inferior é discordante. Presença de níveis (20 cm) com esteiras algais. Estas, muitas vezes, apresentam um dobramento tectônico isoclinal aberto e localmente há a formação de estruturas sedimentares “teepes”.

Nível 24 - Dololuto médio, 1,20 m de espessura com continuidade lateral. Rocha com bandamento rítmico (4 cm) cinza médio intercalado com cinza claro, granoblástica, maciça, muito fraturada, estágio avançado de alteração intempérica.

Nível 23 - Dololuto médio 1,5 m. de espessura com continuidade lateral. Coloração cinza escuro com bandas mais claras variando de 5 a 3 cm de espessura, maciça granoblástica, equigranular, com xistosidade marcante. Presença de cristais de pirita submilimétricos disseminados aleatoriamente na rocha.

Nível 22 - Dololuto médio 4,0 m de espessura com continuidade lateral. Rocha laminada, bandamento rítmico (8 cm) de coloração cinza médio intercalada com cinza claro, granoblástica, estrutura maciça.

Nível 21 - Dololuto grosso 0,40 m de espessura. Cinza escuro, esverdeado, com uma clivagem ardosiana incipiente definida pela orientação de clorita (?)/sericita. O contato com o nível superior e inferior é discordante.

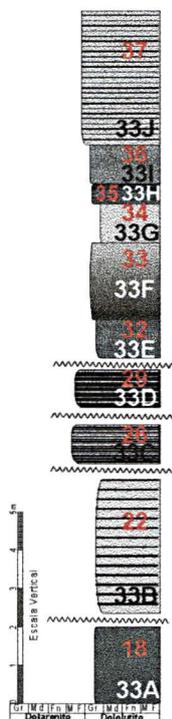
Nível 20 - Dolarenito equigranular muito fino 0,40 cm contato discordante. Rocha sacaroidal (metamarga) cinza médio, maciça, granoblástica, equigranular.

Nível 19 - Dolarenito equigranular muito fino 1,0 m de espessura. Rocha com laminação mais espessa e bandamento rítmico (6 cm), coloração cinza médio, intercalada com cinza claro. Para o topo intercala com rocha cinza claro (12 cm).

Nível 13 - Dolarenito equigranular muito fino, 6,5 m. de espessura e continuidade lateral. Plano de caverna. Coloração cinza claro, estrutura laminada (plano-paralela centimétrica), localmente maciça. Nível laminado com plano de foliação N20E-40SE, subcentimétrica, (pode ser esteira algálica).

Nível 6 - Dololuto grosso equigranular, 2,5 m. de espessura de continuidade lateral. Coloração cinza médio com cristais submilimétricos de pirita disseminados na rocha. O contato com o nível 7 é discordante.

Mina 33 – Calcário Rio Grande (níveis de “A” à “J”)



Nível 37 - Dololutito grosso, 3,5 m de espessura com continuidade lateral. Coloração cinza médio, granoblástica, equigranular com bandas cinza escura (3-5 cm) de espessura e foliação marcante.

Nível 36 - Dololutito médio 2,5 m de espessura. A rocha é granoblástica, maciça de coloração cinza médio.

Nível 35 - Dololutito médio 1,0 m de espessura. A rocha é granoblástica, maciça, de coloração cinza escuro. Presença de cristais de pirita submilimétricos disseminados na rocha.

Nível 34 - Dololutito médio a fino, 1,20 m. de espessura com continuidade lateral. Coloração cinza claro, maciça, granoblástica, com laminação plano-paralela (7 cm).

Nível 33 - Dololutito médio 2,0 m de espessura. A rocha é granoblástica, maciça, de coloração cinza escuro gradando em direção ao topo para a coloração cinza médio (0,40 m). O contato com o nível superior e inferior é transicional.

Nível 32 - Dololutito médio a fino 1,0 m de espessura. A rocha é granoblástica, maciça de coloração cinza escuro. Presença de cristais de pirita submilimétricos disseminados na rocha.

Nível 29 - Dolarenito muito fino 1,50 m. de espessura com continuidade lateral. A coloração cinza escuro define este nível com bandas mais claras variando de 0,5 a 1,0 cm de espessura. Rocha granoblástica, equigranular com xistosidade marcante e estrutura primária (plano-paralela) preservada.

Nível 26 - Dolarenito fino 1,0 m de espessura. Rocha de coloração cinza claro, granoblástica, equigranular, com bandas de coloração cinza escuro variando 3 a 5 cm de espessura com foliação marcante. O contato com o nível superior e inferior é transicional.

Nível 22 - Dololutito médio 4,0 m de espessura com continuidade lateral. Rocha laminada, bandamento rítmico (8 cm) de coloração cinza médio intercalada com cinza claro, granoblástica, estrutura maciça.

Nível 18 - Dololutito médio a grosso com 2,0 m de espessura. A rocha é granoblástica, maciça, de coloração cinza escuro quase preto. Presença de estrutura primária marca ondulada e cristais de pirita submilimétricos disseminados na rocha.

Mina 60 – Calci Mineração Ltda. (níveis de “A” à “D”)



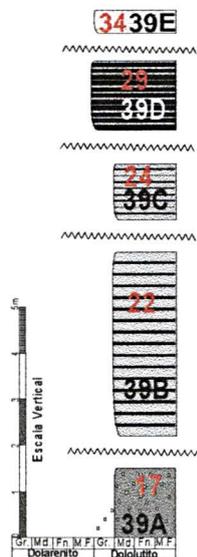
Nível 25 - Dolarenito equigranular muito fino. Nível com 4,90 m. de espessura. Rocha de coloração cinza claro, maciça, granoblástica. O contato com o nível inferior é discordante. A rocha apresenta níveis de espessura decamétrica (20 cm) com esteiras algais. Estas, muitas vezes, apresentam um dobramento tectônico isoclinal aberto e localmente há a formação de estruturas sedimentares deposicionais “teepes”.

Nível 24 - Dololutito médio, 5,0 m de espessura com continuidade lateral. Rocha com bandamento rítmico (4 cm) cinza médio intercalado com cinza claro, granoblástica, maciça, muito fraturada, em estágio avançado de alteração intempérica, apresentando dissolução diferencial de carbonatos.

Nível 14 - Dololutito grosso de coloração cinza claro (azulada), maciça, granoblástica. O nível possui aproximadamente 2,0 m de espessura. O contato entre o nível inferior e superior é discordante. Rocha muito pouco fraturada.

Nível 13 - Dolarenito equigranular muito fino, 2,5 m. de espessura e continuidade lateral. Plano de caverna. Coloração cinza claro, estrutura laminada (plano-paralela centimétrica), localmente maciça. Nível laminado com plano de foliação N20E/40SE, subcentimétrica, (pode ser esteira algálica).

Mina 39 – Frente de lavra desativada (níveis de “A” à “E”)



Nível 34 - Dololutito médio, 0,50 m. de espessura com continuidade lateral. Coloração cinza claro, maciça, granoblástica, com laminação plano-paralela (7 cm).

Nível 29 - Dolarenito muito fino 1,50 m. de espessura com continuidade lateral. A coloração cinza escuro define este nível com bandas mais claras variando de 0,5 a 1,0 cm de espessura. Rocha granoblástica, equigranular com xistosidade marcante e estrutura primária (plano-paralela) preservada.

Nível 24 - Dololutito médio, 1,20 m de espessura com continuidade lateral. Rocha com bandamento rítmico (4 cm) cinza médio intercalado com cinza claro, granoblástica, maciça, muito fraturada, em estágio avançado de alteração intempérica, apresentando dissolução diferencial de carbonatos.

Nível 22 - Dololutito médio 4,0 m de espessura com continuidade lateral. Rocha laminada, bandamento rítmico (8 cm) de coloração cinza médio intercalada com cinza claro, granoblástica, estrutura maciça.

Nível 17 - Dololutito médio 1,50 m. de espessura. Rocha de coloração cinza médio a escuro, sacaroidal, textura granoblástica, estrutura maciça. Observam-se cristais submilimétricos de pirita dispersos na rocha.

Faixa Capivara

A Faixa Capivara está situada na Unidade Mc2 (CPRM, 1998- vide figura 8) e na Sequência Rio Branco (Fiori, 1990 – vide figura 7) possuindo a maioria das frentes de lavra desativadas. No centro da faixa (minas 40 e 41), observamos duas frentes ainda ativas, mas com pequena exploração.

A área da mina 40, que está desativada, foi utilizada como depósito de lixo, mais precisamente depósito de pneus usados e peças automotivas sucata. Nesta mina foi realizado um estudo litoestratigráfico com a descrição de uma seção colunar.

A frente de lavra da Cal Rio Grande Ltda (mina 41) encontra-se ativa. Esta apresenta uma exploração de médio porte e o material lavrado é utilizado para o uso em brita e recobrimento de estradas vicinais e outras.

Desta forma a Faixa Capivara, para a maioria dos mineradores consultados, não possui aproveitamento econômico que justifique a exploração das rochas dolomíticas, uma vez que as mesmas possuem um elevado teor relativo de sílica de origem deposicional. A sílica ocorre como cristais de quartzo subhédricos, milimétricos a submilimétricos e encontram-se dispersos aleatoriamente da rocha.

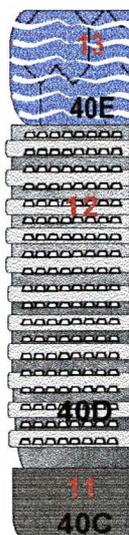
A litofácies de dolarenito é característica desta faixa e é constituído por intraclastos de dololutito tamanho areia fina à grossa, apresentando as seguintes estruturas sedimentares:

- i. laminação plano-paralela;
- ii. estratificação cruzada ;
- iii. estratificação cruzada produzida pela migração de marcas onduladas de granulação média/fina.

Essas estruturas sedimentares indicam que estes dolarenitos foram depositados em ambiente de praia e antepraia “*shoreface*” sob contínua agitação de ondas, principalmente durante tempestades. Estão associadas a esta litofácies estruturas estromatolíticas “esteiras algais” formando camadas lenticulares assentadas sobre camadas de dolarenito grosso.

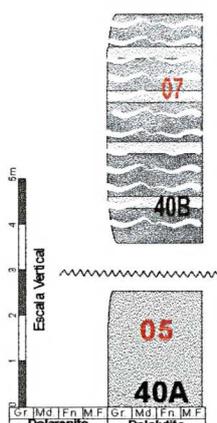
A exemplo da Faixa Morro Azul, também nesta faixa foram realizados estudos com levantamento de seções colunares e a divisão desta em níveis. Foram descritas duas colunas em pontos diferentes mina 40 e mina 42. A escolha recaiu sobre as mesmas, uma vez que possuíam boas exposições, com deformações incipientes.

Mina 40 – Cal Santa Clara (níveis de “A” à “E”)



Nível 13 – Dolarenito equigranular muito fino, 2,5 m. de espessura e continuidade lateral. Plano de caverna. Coloração cinza claro, estrutura laminada (plano-paralela centimétrica), localmente maciça. Nível laminado com plano de foliação N20E/40SE, subcentimétrica, (pode ser esteira algálica).

Nível 12 - Dolarenito equigranular muito fino 7,5 m. de espessura com continuidade lateral. Rocha de coloração cinza médio, granoblástica, equigranular com níveis cinza claro (3,0-4,0 cm) de dolarenito equigranular fino, granoblástica, equigranular e maciça. Contato com o nível 11 é transicional e com o nível 13 é discordante. A rocha cinza médio apresenta uma foliação incipiente. Presença de estrutura sedimentar “gretas de contração”.

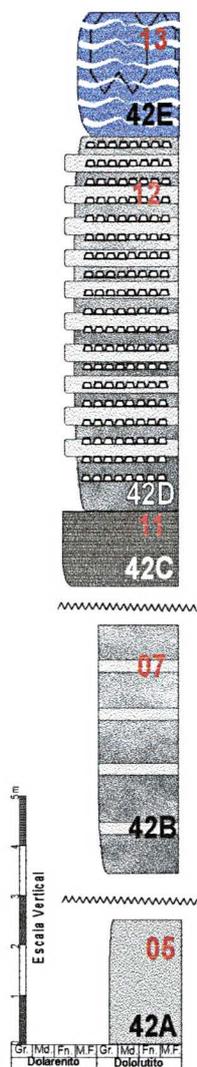


Nível 11 - Dolarenito equigranular fino 1,5m de espessura com continuidade lateral. Rocha de coloração cinza médio, granoblástica, equigranular com bandas de coloração cinza claro de espessura milimétrica e com foliação marcante. O contato com o nível superior e inferior é transicional. Metadolomito muito silicoso.

Nível 7 - Dololutito médio a grosso equigranular 5,0 m. de espessura e continuidade lateral, coloração cinza médio com bandas mais claras, (até brancas) variando de 5 a 3 cm de espessura, granoblástico. Presença de estrutura plano-paralela centimétrica e esteiras algais.

Nível 5 - Dololutito médio equigranular, 2,5 m. de espessura e continuidade lateral. Rocha de coloração cinza médio, sacaroidal, maciça, muito fraturada, granoblástica, com cristais de sericita, quartzo e carbonatos.

Mina 42 – Frente de lavra desativada (níveis de “A” à “E”)



Nível 13 – Dolarenito equigranular muito fino, 2,5 m. de espessura e continuidade lateral. Plano de caverna. Coloração cinza claro, estrutura laminada (plano-paralela centimétrica), localmente maciça. Nível laminado com plano de foliação N20E/40SE, subcentimétrica, (pode ser esteira algálica).

Nível 12 - Dolarenito equigranular muito fino 7,5 m. de espessura com continuidade lateral. Rocha de coloração cinza médio, granoblástica, equigranular com níveis cinza claro (3,0-4,0 cm) de dolarenito equigranular fino, granoblástica, equigranular e maciça. Contato com o nível 11 é transicional e com o nível 13 é discordante. A rocha cinza médio apresenta uma foliação incipiente. Presença de estrutura sedimentar “gretas de contração”.

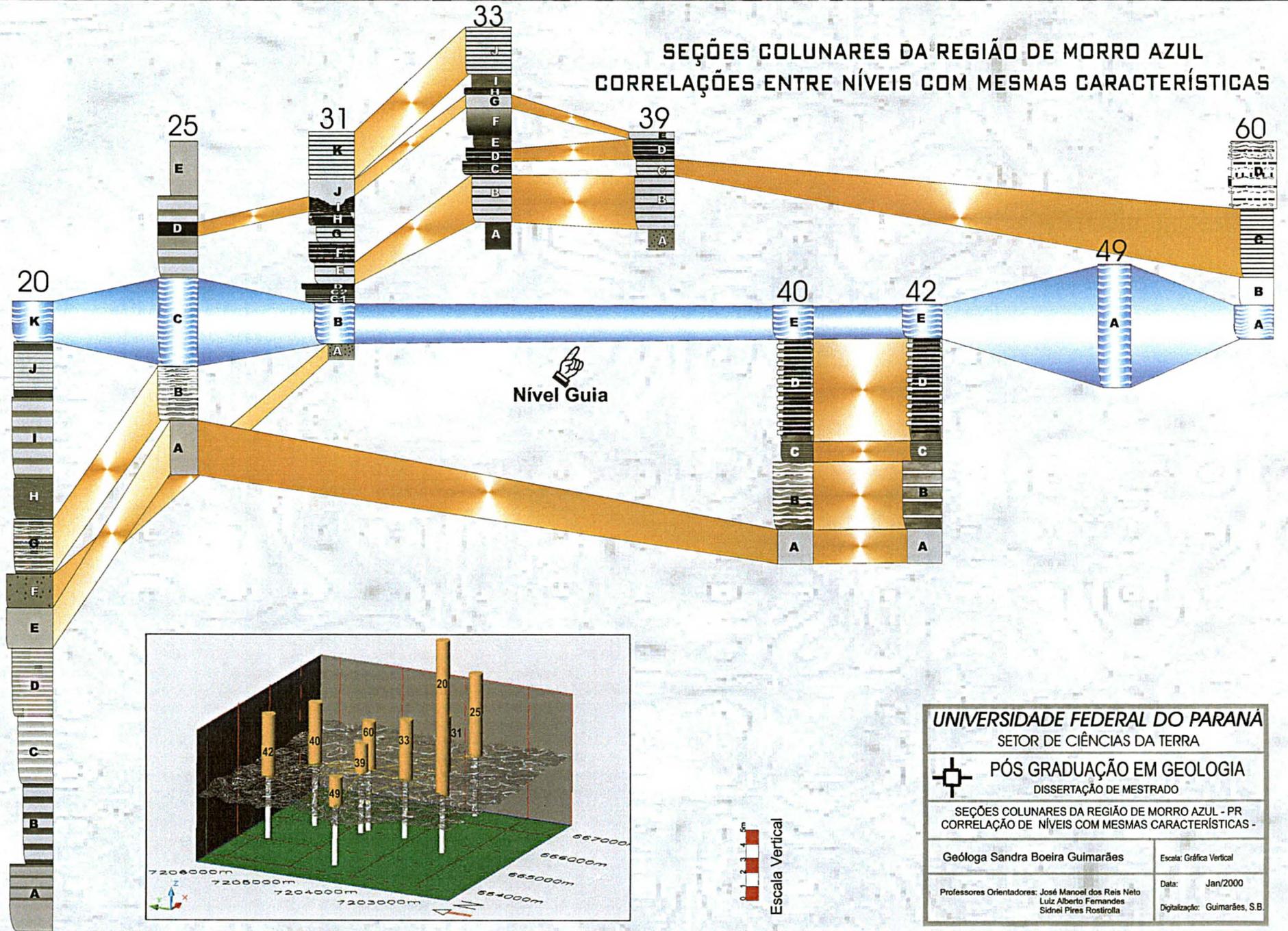
Nível 11 - Dolarenito equigranular fino 1,5m de espessura com continuidade lateral. Rocha de coloração cinza médio, granoblástica, equigranular com bandas de coloração cinza claro de espessura milimétrica e com foliação marcante. O contato com o nível superior e inferior é transicional. Metadolomito muito silicoso.

Nível 7 - Dololuto médio a grosso equigranular 5,0 m. de espessura e continuidade lateral, coloração cinza médio com bandas mais claras, (até brancas) variando de 5 a 3 cm de espessura, granoblástico. Presença de estrutura plano-paralela centimétrica e esteiras algais.

Nível 5 - Dololuto médio a fino equigranular, 2,5 m. de espessura e continuidade lateral. Rocha de coloração cinza médio, sacaroidal, maciça, muito fraturada, granoblástica, com cristais de sericita, quartzo e carbonatos.

Descritas as nove colunas, relacionou-se os níveis estratigráficos que possuíam descrições semelhantes. A correlação litoestratigráfica entre elas está representada na figura 17 a seguir.

SEÇÕES COLUNARES DA REGIÃO DE MORRO AZUL
CORRELAÇÕES ENTRE NÍVEIS COM MESMAS CARACTERÍSTICAS



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA

PÓS GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

SEÇÕES COLUNARES DA REGIÃO DE MORRO AZUL - PR
CORRELAÇÃO DE NÍVEIS COM MESMAS CARACTERÍSTICAS -

Geóloga Sandra Boeira Guimarães

Escala: Gráfica Vertical

Professores Orientadores: José Manoel dos Reis Neto
Lúiz Alberto Fernandes
Sidnei Pires Rostrolla

Data: Jan/2000
Digitalização: Guimarães, S.B.

Mediante uma correlação litoestratigráfica com as seções descritas elaborou-se uma seção colunar tentativa para a Formação Capiru, para a região de Morro Azul, de tal modo que fosse representativa da unidade Mc2 (CPRM, 1998) e das Sequências Morro Grande e Rio Branco (Fiori, 1990). Esta seção colunar foi dividida em 37 litofácies, já descritos anteriormente, sendo que 12 destes possuem continuidade lateral (tabulares), os demais possivelmente sejam lentes entre os intervalos contínuos (fig 18).

Várias interpretações de caráter geológico são possíveis com o resultado desta correlação estratigráfica. As descrições minuciosas realizadas anteriormente permitiriam o estabelecimento, com apoio de dados laboratoriais, litotipos e ou intervalos de interesse, ou não, a correspondente “assinatura geológica” para a região. Mas as duas conclusões mais importantes, e que justificaram a preferência dos mineradores por níveis específicos, em detrimento a outros, são:

- i. **MINERALÓGICA:** A Faixa Morro Azul é a preferida para exploração por possuir um baixo teor de sílica (< 5%) o que facilita a queima da cal;
- ii. **ESTRATIGRÁFICA:** As rochas sotopostas ao nível 13, determinado como nível guia, são as que oferecem melhores condições para serem exploradas e utilizadas como cal, por possuírem teores químicos adequados a tal fim (razão Mg/Ca 0,50 – 0,75), facilidade para desmonte e determinação de bancadas. Um exemplo típico que reúne estas qualidades é o material explorado pela Mineração Terra Rica (mina 20).

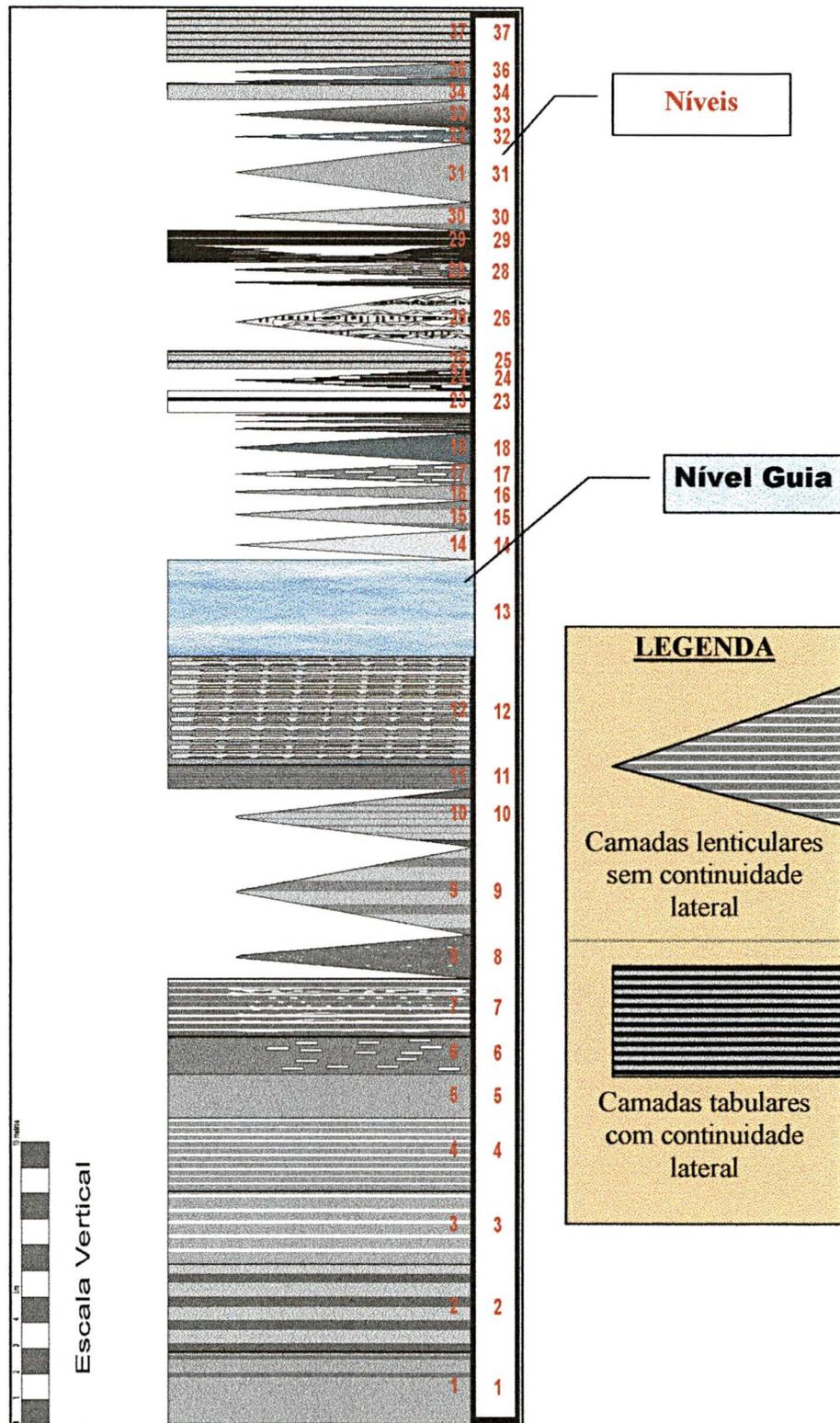


Figura 18 – Seção colunar esquemática representando a Formação Capiru dentro da Região de Morro Azul (RMA) – Almirante Tamandaré - PR

Sample ID	SiO2	MgO	CaO	TiO2	Al2O3	Fe2O3	MnO	Na2O	K2O	P2O5	LOI	Total
SG-20D	2,08	20,97	31,56									
SG-20D	0,64	20,97	31,56									
SG-20D	1,96	20,97	31,56									
SG-20D	1,62	21,75	31,56									
SG-20D	1,28	20,97	31,58									
SG-20D	1,7	21,05	30,63	-0,01	0,07	0,04	-0,01	0,09	-0,01	0,01	46,65	100,24
SG-20E	0,87	21,32	31	-0,01	0,12	0,04	-0,01	0,1	0,02	0,01	46,76	100,24
SG-20E	0,28	21,75	31,56									
SG-20E	1,8	23,3	29,39									
SG-20E	2,24	20,49	31,38									
SG-20E	0,54	20,25	31,91									
SG-20E	0,6	20,49	31,91									
SG-20E	2,24	20,49	29,78									
SG-20E	2,08	20,4	30,85									
SG-20E	2,62	20,88	30,31									
SG-20E	2	22,01	30,85									
SG-20E	2,46	20,97	30,48									
SG-20E	2,16	22,53	29,39									
SG-20E	2,72	19,73	30,85									
SG-20E	2	19,73	31,38									
SG-20F	2,6	18,98	28,72									
SG-20F	1,8	19,73	31,38									
SG-20F	4	19,3	30,65									
SG-20F	2,66	20,59	30,65									
SG-20F	3,02	22,53	29,39									
SG-20F	4,5	19,53	28,96	-0,01	0,24	0,1	-0,01	0,09	0,06	0,01	43,56	100,06
SG-20G	3,48	20,92	30,75	-0,01	0,27	0,11	-0,01	0,09	0,09	0,02	46,42	100,15
SG-20H	5,81	19,89	29,65	0,02	0,41	0,22	-0,01	0,09	0,1	0,02	43,94	100,14
SG-20I	2,03	20,93	30,58	-0,01	0,38	0,11	-0,01	0,12	0,06	0,02	46,1	100,32
SG-20J	1,81	20,87	30,87	-0,01	0,15	0,1	-0,01	0,09	0,04	0,01	46,06	100
SG-20K	1,35	21,03	30,73	-0,01	0,15	0,08	-0,01	0,11	0,06	0,02	46,43	99,95
SG-20K	5,5	20,28	30,59									
SG-20K	5,84	19,5	30,06									
SG-20K	5,16	20,28	30,59									

Quadro 5 – Lista com os resultados de análises químicas realizadas com amostras da frente de lavra da mina 20 (Mineração Terra Rica).

3.3.1 – Variação do Quimismo *versus* Estratigrafia para a Exploração.

Para cada nível com mais de uma análise, calculou-se a média aritmética dos teores (quadro 6). A finalidade foi elaborar gráficos para os óxidos maiores e observar a variação dos teores em cada seção (gráficos 3, 4 e 5).

Nível	SiO2	MgO	CaO
K/13	1,73	21,60	30,00
J/10	1,16	21,04	31,08
I/09	1,46	20,50	31,01
H/08	1,69	21,03	31,01
G/07	1,76	21,02	30,79
F/06	3,10	20,23	29,96
E/05	3,48	20,92	30,75
D/04	5,81	19,89	29,65
C/03	2,03	20,93	30,58
B/02	1,81	20,87	30,87
A/01	4,46	20,27	30,49

Quadro 6 – Média dos teores de SiO₂, MgO e CaO para cada nível da mina 20.

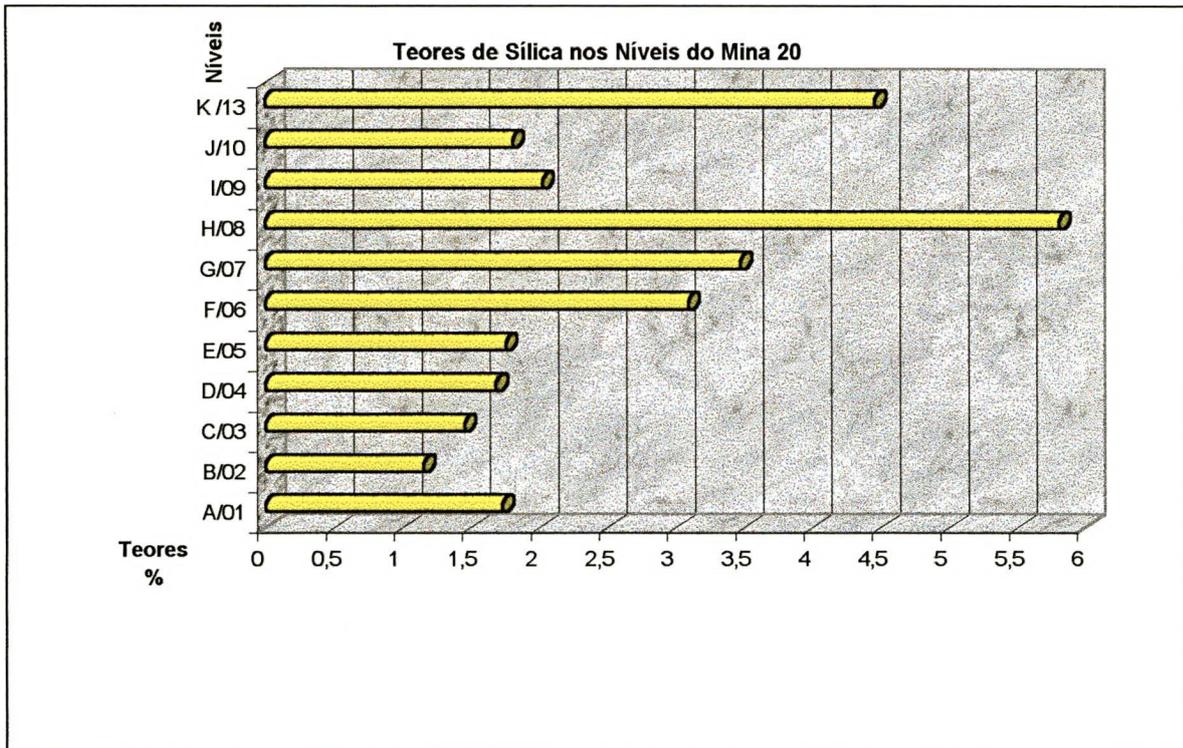


Gráfico 3 – Variação dos teores de SiO_2 nos diferentes níveis da coluna da mina 20.

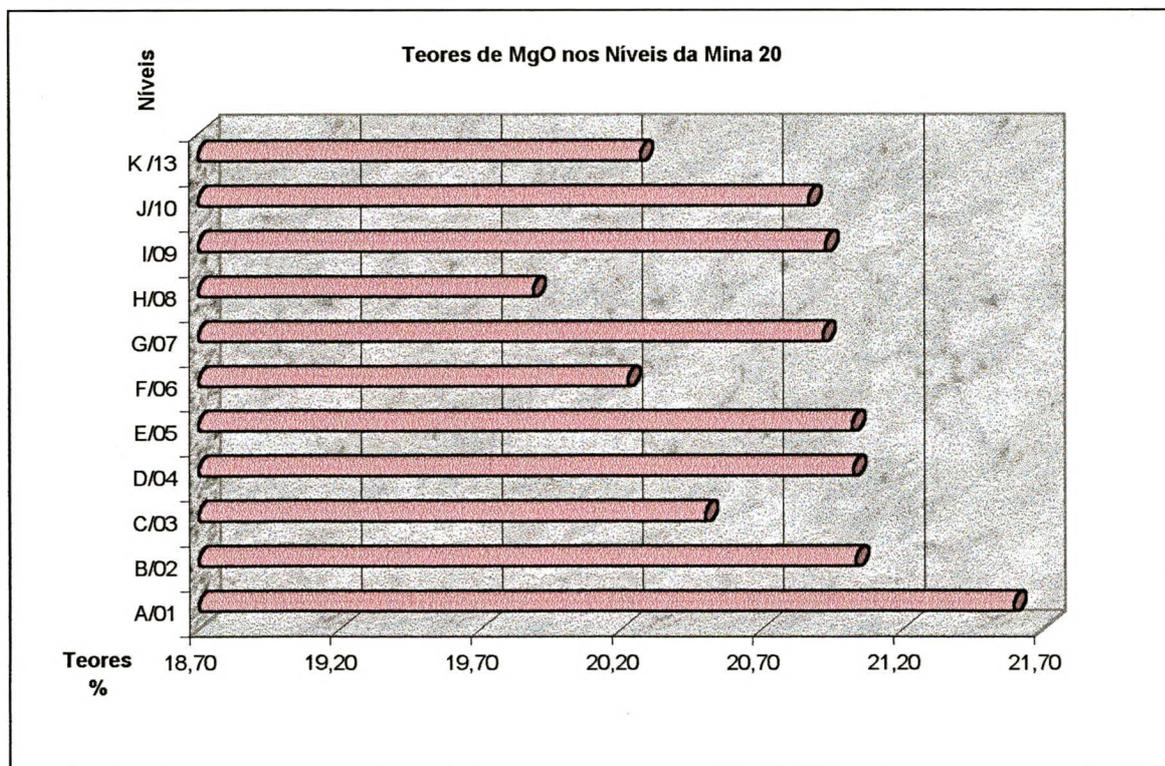


Gráfico 4 – Variação dos teores de MgO nos diferentes níveis da seção da mina 20.

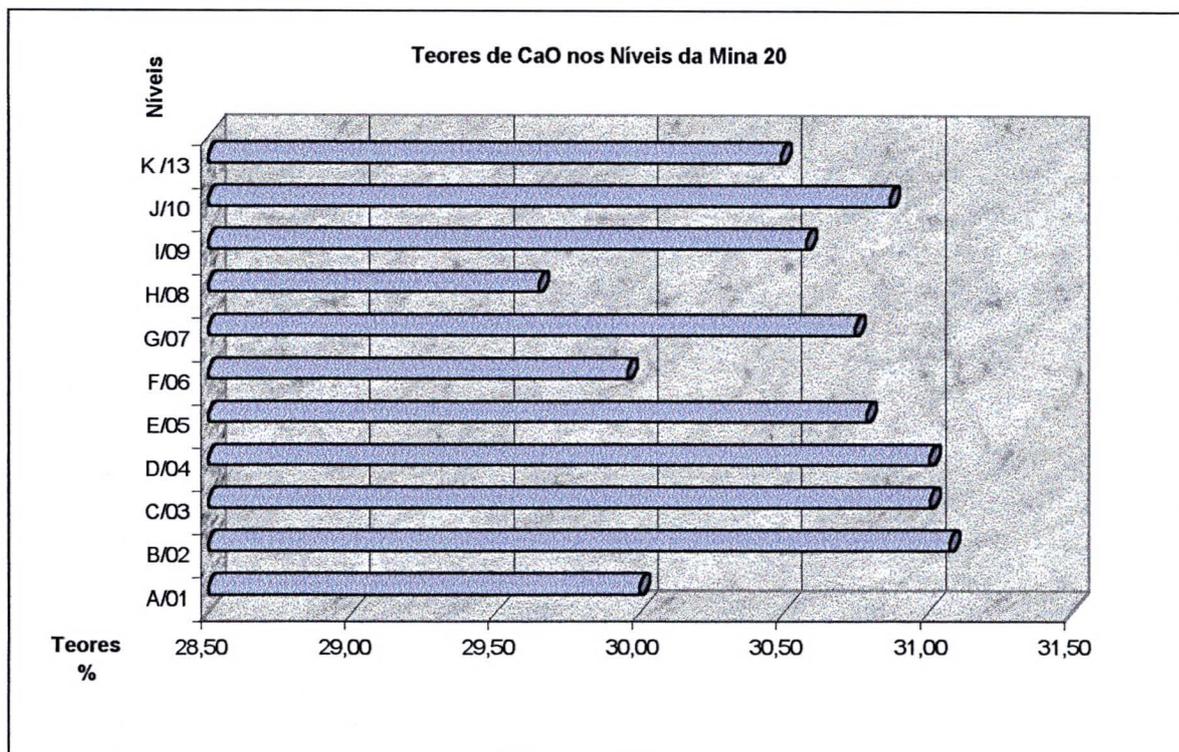


Gráfico 5 – Variação dos teores de CaO nos diferentes níveis da seção colunar da mina 20.

Nos níveis H, I e J realizou-se somente uma análise química para cada fácies, portanto os dados não refletem uma média e devem ser interpretados com cautela. Desta forma o alto teor apresentado não será levado em conta para o resultado final, uma vez que pode ter havido alguma falha na homogeneização durante a coleta da amostra.

Analisando-se os teores de SiO_2 distribuídos nos diferentes níveis da seção colunar da mina 20, podemos constatar que no nível K (correspondente ao nível 13 na coluna geral – nível guia), e o nível H, são os que possuem teores de sílica bem mais altos. O nível 13 é caracterizado por apresentar uma alteração diferencial na rocha, pela dissolução dos carbonatos, devido à infiltração das águas meteóricas. Surgem então, pela dissolução e lixiviação dos carbonatos, as dolinas, grutas, cavernas e sumidouros e, pela precipitação dos carbonatos, as estalactites, estalagmites, etc feições estas características de relevo cárstico. Provavelmente este nível seja representante de uma paleosuperfície freática.

O nível H (8) possui um teor elevado de sílica e menor teor de MgO , provavelmente porque durante a sedimentação das rochas carbonáticas foram transportados (por tração ou suspensão) partículas terrígenas (areia) para áreas da bacia oceânica, onde o ingresso de material terrígeno é limitado. Este aporte deve-se

provavelmente a mudanças climáticas de larga escala e/ou as variações relativas do nível do mar. Quanto à relação existente entre o aumento de sílica, e a formação de feições cársticas, deve-se ao fato de que na rocha carbonática, associada a materiais com média a alta condutividade hidráulica (areia), aumenta a porosidade granular e primária dos metadolomitos, facilitando a circulação da água subterrânea. Conseqüentemente, pela ação desta água, há um aumento da carstificação nos minerais de dolomita e calcita, que se dissociam nos íons Ca^{2+} , Mg^{2+} e CO_3^{-2} . As rochas metadolomíticas têm menos solubilidade do que as rochas calcárias, pois a solubilidade da dolomita é menor do que a da calcita, e o principal agente desse intemperismo químico é a água edáfica, que infiltra e percola as rochas.

Observou-se ainda que quanto maior o índice de MgO, menor a porcentagem de SiO_2 . Isto poderia ser explicado pela teoria proposta por Purser *et al.* (1994) de que a circulação de fluidos dolomitizantes através dos sedimentos também pode ser provocada pelas mudanças no nível do mar, o que promoveria a migração da zona de dolomitização através da massa carbonática, propiciando a dolomitização em grande escala. No caso, atribui-se a diminuição do magnésio (oriundo da dolomitização), por ocasião do levantamento do nível relativo do mar, onde ocorre maior aporte de terrígenos (areia).

Cabe aqui salientar, que na exploração do metadolomito da mina 20, quanto mais baixa a topografia, melhor é a qualidade do minério explorado. Este comportamento pode ser explicado pelo fato dos níveis junto à base (A, B, C, D, E, ...) são os que possuem os menores teores de sílica, estão muito pouco fraturados e a composição química é favorável a exploração para o fabrico da cal.

Com relação aos óxidos de cálcio e magnésio, estes permanecem, para todos os níveis, com teores entre 30%-31% e 20%-21%, respectivamente. Essa porcentagem de magnésio e cálcio é considerada excelente para exploração de rochas dolomíticas empregadas no fabrico da cal, como corretivo agrícola e para o uso em rações animais, segundo as normas técnicas.

Se fizermos uma análise dos resultados de teores dos óxidos de Ca, Mg e Si da mina 20 (gráfico 6), observaremos que há uma certa homogeneidade entre eles, principalmente dos óxidos de Ca e Mg, independente do intervalo representado.

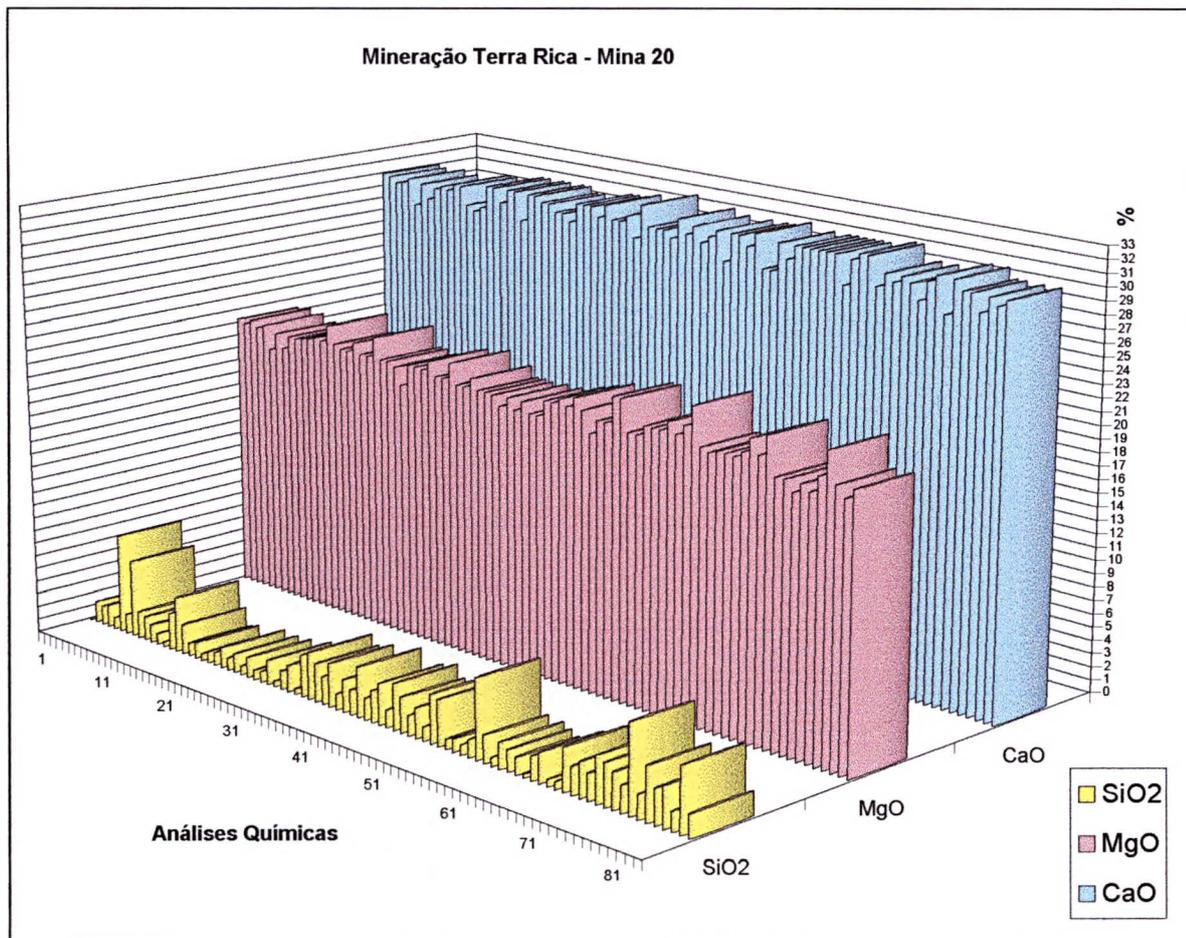


Gráfico 6 – Variação de SiO₂, MgO e CaO de todas análises químicas da mina 20.

3.3.1 – Caracterização do Tipo da Rocha Calcária.

As rochas metacarbonáticas da região de Morro Azul apresentam composições características de **dolomitos**, com razões Ca/Mg bastante uniformes entre 1,45 a 1,49, menores que o valor 1,65 referente à dolomita estequiométrica (Bissel & Chilingar, 1967).

Bigarella, 1953 propôs a classificação das rochas carbonáticas pela razão Mg/Ca, desta forma, também caberia a denominação de **dolomito**, mas deve-se acrescentar o prefixo “**meta**”, uma vez que as rochas estudadas apresentam metamorfismo incipiente, preservando suas estruturas primárias deposicionais. Desta forma, o nome para essas rochas foi caracterizado como “**metadolomito**” e aplicado neste trabalho.

Gráficos de CaO, MgO e SiO₂ permitiram determinar e caracterizar as rochas carbonáticas. Esses gráficos apresentam as correlações entre esses elementos onde a

concentração pode ser observada definindo uma baixa porcentagem de sílica (< 20%), uma maior de cálcio (> 50%) e em torno de 40% para óxidos de magnésio (gráfico 7).

Esses resultados vêm a corroborar a classificação de dolomito, para as rochas calcárias da região.

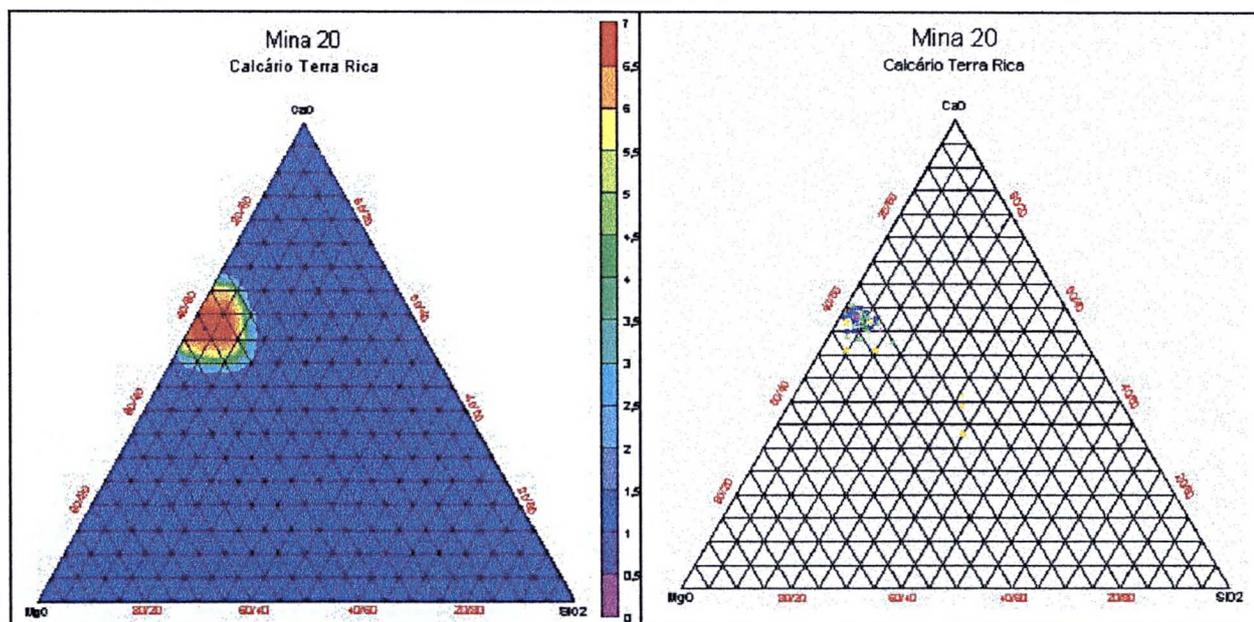


Gráfico 7 – Diagramas ternário mostrando a correlação entre os óxidos de Si, Ca e Mg (no diagrama da esquerda o resultado é mostrado por área e no da direita o resultado é pontual).

As análises químicas revelaram grande regularidade de composição química, para os metadolomitos da RMA, e em consequência, uma relação magnésiana bastante uniforme. O insolúvel em ácido clorídrico, que representa aproximadamente o teor em sílica é, via de regra, inferior a 2%, atingindo esporadicamente 6%.

O diagrama triangular do gráfico 7, preparado a partir de 80 amostras de metadolomitos, mostra claramente a grande uniformidade de composição dessas rochas.

Cabe aqui ressaltar que silicificação e dolomitização são dois processos essencialmente diagenéticos. A silicificação pode resultar de processos hidrotermais tardios, neste caso as falhas desempenham papel importante, portanto ao analisar o quadro geológico apresentado anteriormente, não é possível, sempre fazer-se correlações laterais das seções com base em análises de SiO_2 .

Modelo Genético dos Metadolomitos

Como os depósitos minerais resultam da ação de processos geológicos comuns, o processo geológico dominante na geração do depósito confere-lhe sua classificação genética. Não foi possível definir um modelo genético para os metadolomitos da Região do Morro Azul, apenas formula-se a hipótese de origem em ambientes de supramaré, onde a alta concentração de Mg^{2+} estaria associada a processos diagenéticos ocorridos pela dissolução de calcita magnésiana dos sedimentos marinhos em regiões de mistura de água freática e água do mar.

Por analogia e como exemplo, os dolomitos recentes (fanerozóicos) se formam em regiões evaporíticas e modelo tipo *sebkhas* como os existentes atualmente no Kwait, mas neste ambiente não são caracterizáveis os dolomitos pré-cambrianos. Os depósitos sedimentares químicos marinhos, costumeiramente se alojam em horizontes rochosos particulares da seqüência sedimentar hospedeira, os quais podem corresponder a algum tipo de controle sedimentar, litológico ou estratigráfico. Feições de ambiente deposicional associadas a paleogeografia e paleoclima podem igualmente influir na geração desses depósitos. Desta forma podemos avançar na classificação genética dos dolomitos da RMA, caracterizando-os como:

DEPÓSITOS SEDIMENTARES;

QUÍMICOS;

MARINHOS;

EM AMBIENTE COSTEIRO A PLATAFORMAL (PLANÍCIE DE INTERMARÉ A SUPRAMARÉ);

COM CONTROLE SEDIMENTAR E ESTRATIGRÁFICO;

EM AMBIENTE DE ÁGUAS RELATIVAMENTE CALMAS, RASAS E LÍMPIDAS;

NUM CONTEXTO DE CLIMA QUENTE.

Portanto, parte dos dolomitos, pelas suas características, deve ser de refluxo. Trata-se de dolomitização cedo-diagenética, ocasionada pelo aumento da salinidade da água por intensa evaporação e circulação dessas águas para horizontes sedimentares mais inferiores. Justamente no Precambriano é que ocorreram os processos mais importantes de formação dos dolomitos.

3.4 – A PETROGRÁFIA DOS METADOLOMITOS COMO FERRAMENTA PARA A EXPLORAÇÃO

As caracterizações estratigráficas da RMA foram estabelecidas com base na cartografia geológica, construção de perfis geológicos e a construção de seções colunares em frentes de lavra ativas e abandonadas, onde efetuou-se a coleta de amostras para análise química e petrografia.

Foram analisadas lâminas delgadas representativas de todos os níveis da seção colunar realizada na frente de lavra da Mineradora Terra Rica (mina 20). A análise petrológica permitiu a caracterização dos litotipos existentes e seus reconhecimentos, através da análise textural e mineralógica (figura 19).

A cimentação carbonática foi analisada através do método de colorimetria de rocha buscando a individualização calcita/dolomita. Este método foi testado através da comparação com a geoquímica, verificando a sua eficiência, e aprovando os seus resultados com uma margem de erro muito pequena. O método é simples, rápido e de baixo custo, facilmente aplicado em seções delgadas sem a laminula. Por esta série de vantagens, o mesmo é recomendado aos mineradores para a quantificação do número de cristais de calcita e dolomita e posterior recálculo do percentual dos óxidos de cálcio e magnésio presentes nas rochas carbonáticas (gráfico 2).

O exame microscópico revela serem os metadolomitos constituídos basicamente por cristais de dolomita, calcita e quartzo. A contagem dos cristais de carbonato foi realizada por ocasião da análise colorimétrica e a dos demais cristais por estimativa visual.

- i. Nível 01 corresponde à base da seção colunar realizada na frente de lavra do ponto 20. Os cristais de dolomita e calcita mostram-se equigranulares, com tamanhos que oscilam entre 0,1 e 0,25 mm, os cristais de tamanho menores compõem a matriz da rocha. Os cristais inequigranulares e milimétricos de quartzo aparecem em níveis lenticulares entre os cristais de carbonato. São comuns os agregados, com até 0,6 mm de diâmetro constituídos de cristais de quartzo com 0,2 mm de tamanho. A rocha apresenta uma textura granoblástica e uma estrutura maciça. Este nível é assinalado por apresentar uma rocha regular (muito quartzo) para exploração e uso na indústria da cal, por isso é misturada ao material retirado de outros níveis (com menos cristais de quartzo).

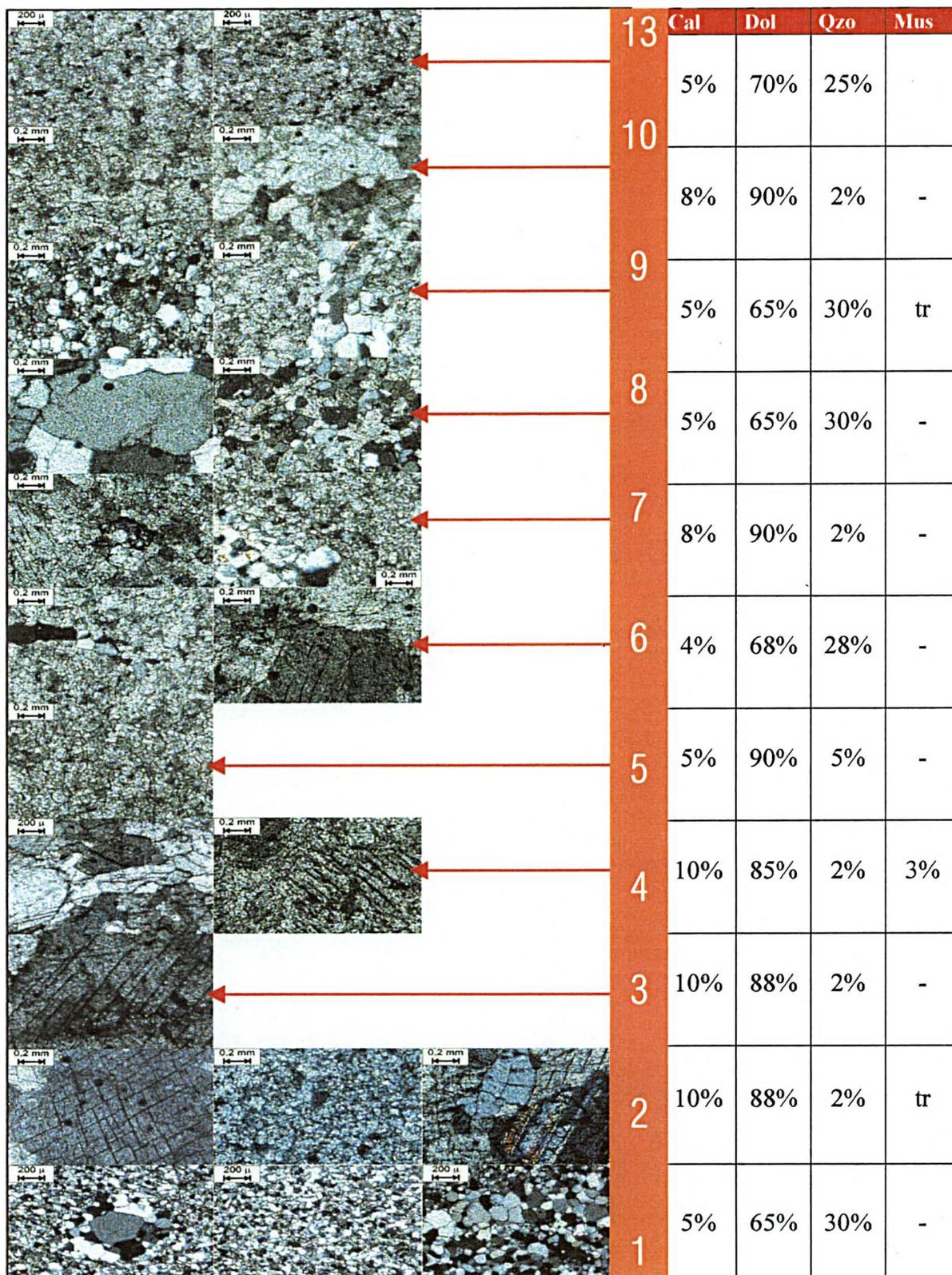


Figura 20 – Seção mostrando imagens micrográficas dos diversos níveis da mina 20.

O maior número de fotos em cada nível caracteriza a variação presente na rocha.
A numeração dos níveis corresponde a suas posições na seção colunar para a região.

- ii. Nível 02 – Este nível apresenta como característica mineralógica o grande tamanho dos cristais recristalizados de dolomita. Este tamanho varia de 0,25 mm até 1,4 mm e estão situados em níveis preferenciais na rocha. Cristais submilimétricos de calcita e dolomita compõem a matriz da rocha. Localmente observou-se cristal de muscovita submilimétrico e anédrico. Os cristais submilimétricos de quartzo foram identificados preenchendo fratura milimétrica na rocha. A estrutura da rocha é maciça e a textura é porfiroblástica. Este nível, a exemplo do anterior, também é caracterizado pela excelente indicação para exploração, uma vez que a porcentagem de dolomita e calcita resulta em uma composição química enquadrada nas normas técnicas Aliado a este parâmetro, a baixa porcentagem de quartzo credencia o uso da rocha para o fabrico da cal.
- iii. Nível 03 – A rocha, é composta quase que exclusivamente por cristais de dolomita e calcita. Estes cristais possuem dois tamanhos diferentes e característicos. No primeiro tamanho os cristais são milimétricos (1,7 mm) e encontram-se formando aglomerados de até 7,0 mm de diâmetro. No segundo tamanho, os cristais são submilimétricos e constituem a matriz da rocha. Localmente observou-se a presença de cristais submilimétricos de epidoto e muscovita como traços. Ainda ressalta-se a presença de 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, desigualmente desenvolvidas, caracterizando a sua formação pela ação de pequenas algas em águas calmas. A textura da rocha é porfiroblástica e a estrutura é maciça. É um nível considerado excelente na exploração de material para a cal, uma vez que 98% da rocha é constituído de cristais carbonáticos e traços de cristais de quartzo.
- iv. Nível 04 – Rocha composta por cristais de carbonatos muito finos compondo a matriz, onde se observam bandas com cristais de granulação média (0,6 mm) recristalizados de dolomita e calcita. Localmente traços de muscovita submilimétrica e anédrica formando aglomerados circulares com 0,7mm de diâmetro, se observam cristais de quartzo muito finos e euhédricos. Estes também estão presentes em lentes simétricas, onde se apresentam recristalizados e de tamanho maior (0,5 mm). A estrutura da rocha é maciça e a textura da rocha é porfiroblástica. Do nível 01 até este, observou-se uma granocrescência nos

cristais de carbonato, que pode ser facilmente constatada nas imagens micrográficas da figura 20. Este nível é muito pouco fraturado e também é explorado para a indústria fabricante da cal, pois muito se assemelha, na mineralogia, com o nível 2.

- v. Nível 05 – Neste nível os cristais de dolomita e calcita novamente diminuem de tamanho. 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 acompanham um pequeno aumento de sílica na composição química da rocha. Esta alteração não caracteriza um desprestígio da rocha para exploração, muito pelo contrário, o nível é utilizado como material excelente para a industrialização da cal, uma vez que na composição química, o teor de sílica é baixo e o de carbonatos atinge 95%. A rocha encontra-se fraturada e estas fraturas também estão preenchidas por cristais submilimétricos de quartzo. A textura é granoblástica e a estrutura maciça.
- vi. Nível 06 – É explotado para a fabricação da cal, pois é empregado misturado à rocha de outro nível, onde a concentração de quartzo seja menor. Cristais de dolomita e calcita muito finos, submilimétricos, subhédricos compondo a matriz, abrigam aglomerados circulares (0,7 mm) com cristais de quartzo finos. Estes cristais provavelmente preencheram cavidades, durante a diagênese ou metamorfismo, oriundos da percolação de fluídos. Os cristais de quartzo também ocorrem preenchendo pequena fratura (submilimétrica). Textura glomeroblástica e estrutura maciça.
- vii. Nível 07 – Composta por cristais de tamanho médio a finos de calcita e dolomita recristalizados. Neste nível a porcentagem de cristais de carbonatos diminui, dando lugar a cristais de quartzo, o que desfavorece a exploração para uso na cal. Os cristais de quartzo, finos e euhédricos, encontram-se formando aglomerados (milimétricos) de forma elíptica e também em níveis milimétricos com continuidade lateral encaixados nos interstícios dos cristais de carbonato. Observa-se extinção ondulante em alguns cristais de quartzo. Nos demais cristais de quartzo, interpretam-se que os mesmos tenham sido formados, provavelmente por percolação de fluídos silicosos durante a diagênese ou

metamorfismo da rocha. A estrutura da rocha é maciça e a textura é granoblástica.

- viii. Nível 08 – Observou-se neste nível um aumento no número de cristais de quartzo em relação a outros níveis. Estes cristais são submilimétricos e estão em níveis preferenciais associados a muscovitas, também submilimétricas, definindo uma foliação na rocha. Os cristais de quartzo apresentam-se, ainda, preenchendo fraturas milimétricas na rocha. A matriz da rocha é muito fina e constituída exclusivamente por cristais de dolomita e calcita. A estrutura da rocha é uma xistosidade muito fina e moderada caracterizada pela orientação paralela das muscovitas. A textura é granoblástica. Este nível não é recomendado para exploração para o uso da cal, pois possui um teor muito alto de cristais de quartzo, aumentando, desta forma, o teor de sílica na composição química da rocha.
- ix. Nível 09 – Rocha constituída exclusivamente por cristais de dolomita e calcita. Observam-se cristais médios, recristalizados em meio a uma matriz formada por cristais muito finos e subhédricos. A textura da rocha é granoblástica e a estrutura é maciça. A ausência de cristais de quartzo caracteriza este nível com uma qualidade excepcional à exploração para emprego da rocha na fabricação da cal.
- x. Nível 10 - Cristais de dolomita e calcita são os constituintes principais da rocha. Os cristais são de tamanho médio (0,5 mm), recristalizados e encontram-se em meio a uma matriz de composição carbonática muito fina. A estrutura da rocha é maciça e a textura é granoblástica. A presença de cristais de quartzo como traços caracteriza, também, este nível com uma qualidade excepcional para a exploração para emprego da rocha na fabricação da cal.
- xi. Nível 13 – Na mesoscopia o nível é caracterizado por uma dissolução diferencial da rocha, que causou lixiviação dos cristais de carbonato, seguida de, pela reprecipitação dos mesmos, sinter da calcita. Este nível foi também utilizado como guia para a correlação estratigráfica das seções colunares, pois sotoposto a ele, encontramos o melhor material rochoso para exploração e uso nobre, como a fabricação da cal. Microscopicamente observa-se a dolomita e a calcita, mostrando-se equigranulares, com tamanhos que oscilam entre 0,1 e 0,25 mm. Os demais carbonatos, de tamanho submilimétrico, compõem a matriz da rocha.

A estrutura da rocha é caracterizada por uma foliação primária marcante, representante do acamamento da rocha (S_0), em uma textura granoblástica. Os quartzos são submilimétricos e estão dispersos aleatoriamente na rocha. Localmente observam-se oólitos constituídos por calcita, são esféricos, submilimétricos (0,3m), assimétricos, com lâminas concêntricas, desigualmente desenvolvidas, caracterizando a sua formação em águas calmas, pela ação e movimentação de pequenas algas. Este nível é desprezível para a exploração pelo seu alto percentual de cristais de quartzo, além do que é protegido por legislação ambiental por abrigar cavernas, grutas e sumidouros.

Análise petrográfica de detalhe também foi realizada com amostras da frente de lavra da mina 31. Na seção colunar para a RMA esta mina ocupa os níveis 05, 06, 07 e 13 já descritos para o ponto 20. Os níveis 15, 16 e 28 possuem espessuras decimétricas e são caracterizados como metamargas. De uma maneira geral estão alterados, evidenciando um aspecto argiloso de coloração cinza esverdeada, recuperando-se localmente feições de filito. Estruturas sedimentares tais como gretas de contração, estratificação plano-paralela e marcas onduladas estão presentes nestes níveis. A rocha é composta por cristais de dolomita, calcita, quartzo, sericita, clorita, biotita, flogopita e epidoto (?), com clivagem ardósiana marcante e uma textura lepidoblástica.

É comum a alternância rítmica de:

- i. cálcio-xistos finos e acinzentados;
- ii. metadolomitos impuros cinza escuro, bem laminados e de granulação fina/média, via de regra bandados e;
- iii. metamargas

Já os níveis 30 e 31 apresentam-se constituídos por dolomita, calcita, quartzo, matéria orgânica (material carbonoso) e pirita submilimétricas. Esses níveis não possuem continuidade lateral para outras seções que foram descritas na área, desta forma foram representados como “lentes” na coluna proposta para a região.

O SiO_2 analisado nas amostras é decorrente da presença de sílica diagenética, microcristalina ou, e também devido a existência de material detrítico (silte, areia, etc.).

A frente de lavra do ponto 31 encontra-se desativada, o que é facilmente entendido após realizar a análise petrográfica. A rocha não apresenta composição mineralógica compatível para a exploração destinada à fabricação da cal, e nem como

corretivo agrícola, pois possui teores baixos de cálcio e magnésio comprovados pela pequena proporção de cristais de dolomita e calcita. Talvez o seu uso fosse indicado para pavimentação de estradas.

Após o estudo integrado dos resultados das análises químicas e da colorimetria, os melhores níveis para exploração, em termos de composição mineralógica, estão sotopostos ao nível 13. Embora nem todos os níveis sotopostos ao 13 sejam bons, em função da heterogeneidade mineralógica das rochas metadolomíticas, os mineradores fazem uma mistura de materiais de diferentes níveis, gerando um “*blend*” para que o produto explotado fique homogêneo e atenda as especificações das normas técnicas para o fim a que se destina.

CAPÍTULO 4

CONSIDERAÇÕES FINAIS:

CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA DOS TIPOS DE METADOLOMITO UTILIZADOS NA EXPLORAÇÃO

A intenção deste trabalho foi a compreensão de quais características geológicas poderiam explicar as diferenças do comportamento do material extraído, selecionado por critérios empíricos na RMA, de modo a fornecer subsídio à obtenção de um modelo para exploração. O estudo de caso foi a estratégia adotada, pois a resolução de um caso prático é um meio objetivo e científico para se validar tal proposta. Para tanto, foi desenvolvido um procedimento de contato, identificação e estimativas junto aos mineradores, com a finalidade de realizar a validação empírica em conhecimento geológico aplicável.

4.1 – CRITÉRIOS DETERMINANTES DOS METADOLOMITOS PARA A EXPLORAÇÃO

As seqüências carbonáticas marinhas rasas do Proterozóico apresentam uma certa uniformidade, das suas feições maiores (estruturas sedimentares e distribuição), com os depósitos de idades mais recentes, e isso facilitou o entendimento das condições gerais de deposição durante o Precambriano. Entretanto, uma melhor avaliação do padrão de evolução desses depósitos, se faz necessária, considerando-se que os sedimentos do Proterozóico evoluíram de maneira diversa daquelas que formaram as unidades carbonáticas fanerozóicas.

A evolução dos trabalhos de campo permitiu caracterizar uma seção-tipo para a faixa de sedimentos carbonáticos da Formação Capiru na RMA, esse é um dos avanços para a exploração dos metadolomitos da região e licitou a apresentação das seguintes conclusões:

- i. Identificou-se basicamente duas faixas carbonáticas na Região: Faixa Capivara (dolarenitos) e Faixa Morro Azul (dololutitos) sendo que, esta última é a mais promissora para a exploração dos metadolomitos, pois a granulação fina/muito fina está intimamente ligada com o baixo teor de sílica.

- ii. Litofácies metadolomíticas que apresentam estruturas de gretas de contração, “*mud cracks*”, “*tepees*” indicam exposições em decorrência de oscilações do nível do mar por ocasião de regressões e transgressões. Após estes eventos, quando novamente submergiam, estas estruturas eram preenchidas por material siltico arenoso, elevando desta forma os teores de sílica prejudicando nos dias de hoje a exploração.
- iii. As rochas constituintes do nível “13” não possuem nenhuma aplicação que justifique a exploração, mesmo porque a exploração de cavernas e grutas tem sido de interesse da humanidade desde tempos pré-históricos, conforme o registro arqueológico de habitações humanas e devem permanecer preservadas também para estudos espeleológicos. Esta camada é tabular, não tendo sido adernada, suavemente dobrada e pouco falhada, razão deste nível ter sido definido como guia estratigráfico. Ele esteve presente em quase todas seções colunares, e é caracterizado por uma dissolução diferencial que lixiviou o carbonato quase que totalmente, formando grutas, cavernas e sumidouros. Provavelmente trate-se de um paleofreático.
- iv. A aplicação não crítica dos modelos fanerozóicos para o Proterozóico pode resultar em uma série de concepções errôneas no que diz respeito à sedimentação carbonática do Pré-Cambriano. Observou-se que, quando comparadas aos seus equivalentes modernos, estas litofácies apresentam espessuras anormalmente grandes. Em ambientes modernos alcançam espessuras de alguns centímetros a poucos metros. Estas espessuras anômalas, entre outras explicações, resultam do fato de que as litofácies observadas em afloramentos, provavelmente são produto do amalgamento de diversos episódios de progradação da linha de costa. Isto acarreta numa ampla variação composicional caracterizando diversos níveis. Desta forma os mineradores deverão ter um controle geoquímico por nível, ou seja, analisando cada porção individualmente – análise vertical.
- v. Foi observado e caracterizado como um método prospectivo, fato de que antecedendo as rochas metadolomíticas (aproximadamente 5 metros) e após uma seqüência de metapelitos vermelhos, observa-se o surgimento de metapelitos grafitosos (filitos grafitosos). Apesar de não haver em alguns casos um

significado genético entre as associações verificadas, a disposição das litologias em campo constituem um guia litoestratigráfico de importância na orientação de trabalhos de prospecção regionais e de detalhe.

- vi. As estruturas tectônicas na RMA, não chegam a afetar visivelmente a disposição dos teores, pois estes estão relacionados muito mais diretamente aos eventos de deposição sedimentar e distribuição de litofácies.
- vii. Foi verificada que a variação composicional (qualidade) dos metadolomitos na RMA, não é só consequência da faixa de metacalcário que está sendo lavrado, mas também e talvez principalmente, do nível estratigráfico em que está sendo explorada a rocha – “**variação composicional vertical**”.
- viii. Observou-se que ao explorar o metadolomito na mina 20, quanto mais baixa for a posição topográfica e, portanto a estratigráfica, melhor é a qualidade do minério para a exploração, pois possuem menores teores de sílica, são pouco fraturados e a composição química é favorável a exploração para o fabrico da cal. Esta observação tornou-se repetitiva em outras minas e pode ser aplicada, com sucesso na exploração em outras frentes de lavra.

4.2 – LITOFÁCIES POTENCIAIS PARA EXPLORAÇÃO (GEOQUÍMICA E PETROGRAFIA)

O empilhamento litoestratigráfico ora apresentado baseia-se em critérios sedimentares (estruturas sedimentares preservadas com ausência de deformação) e estruturais.

- i. Esta associação de níveis (diferentes fácies) aponta, em conjunto com as características deposicionais reconhecidas, um sistema deposicional onde interagem uma plataforma carbonática estável (Faixa Morro Azul) e um sistema costeiro (Faixa Capivara). A exploração das rochas oriundas da plataforma carbonática é de grande valor econômico, por serem metadolomitos livres de matéria orgânica e baixa porcentagem de areia (quartzo). Já a litologia resultante do sistema costeiro apresenta porcentagem de insolúveis mais elevada.
- ii. A presença de estromatólitos na Faixa Morro Azul caracterizou litofácies evidenciando ambientes marinhos plataformais, planície de intermaré a submaré. Neste ambiente, as litofácies com estas características são recomendadas para a

exploração da cal, uma vez que a razão Ca/Mg destas, possui um teor normativo indicado.

- iii. Desta forma podemos avançar na classificação genética dos dolomitos da RMA, caracterizando-os como – **DEPÓSITO SEDIMENTAR - QUÍMICO - MARINHO - CARBONÁTICO - DE AMBIENTE COSTEIRO A PLATAFORMAL (PLANÍCIE DE INTERMARÉ A SUPRAMARÉ) COM CONTROLE SEDIMENTAR E ESTRATIGRÁFICO, DE ÁGUAS RELATIVAMENTE CALMAS, RASAS E LÍMPIDAS, EM CLIMA QUENTE.**
- iv. A determinação do nível “13” como um guia estratigráfico foi muito importante para se caracterizar o metadolomito apropriado para exploração. A zona onde se encontra a rocha com esta característica é aquela sotoposta ao nível guia. Ou seja, os níveis acima do mesmo não possuem quimismo, nem mineralogia propícia para a exploração, ficando o uso dessas rochas restrito a exploração para brita ou outros fins de menor economicidade.
- ix. O método de colorimetria em lâminas delgadas possibilitou com grande segurança e pequena porcentagem de erro (2,48%) na contagem por programa de computador especializado, a diferenciação dos cristais carbonáticos dolomita e calcita. O emprego deste método é recomendado para aplicação direta por mineradores por sua precisão nos resultados. Desta forma o minério explotado poderá ter um controle eficiente, constante e de baixo custo.
- v. Os depósitos metadolomíticos decorrem da recristalização de rochas dolomíticas por ação da pressão e da temperatura. Entre as transformações impostas, o aumento da granulação e cristalinidade das fases minerais iniciais comumente confere ao minério melhor qualidade para sua utilização. A presença de cristais de carbonato recristalizados (dolomita e calcita), em paragênese com quartzo e em associação com rochas metapelíticas (filitos), caracterizam um metamorfismo da fácies Xisto Verde – zona da Clorita. Assinala um metamorfismo regional, progressivo, incipiente e de baixíssimo grau, por preservar estruturas sedimentares deposicionais primárias e possui baixa recristalização.
- vi. As faixas Capivara e Morro Azul estão bem caracterizadas existindo em ambas, um grande potencial em área e volume de metadolomito (“*sensu lato*”), aguardando novos investimentos para exploração, também para outros fins.

Em uma nova área de pesquisa, a utilização criteriosa do modelo de depósito mineral pode conduzir ao reconhecimento de atributos semelhantes ou idênticos ao minério em áreas como a RMA, onde são conhecidos ou lavrados depósitos minerais metadolomíticos. Assim, as novas descobertas, mesmo de corpos não imediatamente reconhecíveis junto à superfície, decorrem da seleção de áreas onde a ocorrência mineral ou depósito mineral resultaram de levantamentos científicos e técnicos planejados.

4.3 – A CLASSIFICAÇÃO DOS METADOLOMITOS DA RMA PARA A CARACTERIZAÇÃO DA ECONOMICIDADE

As rochas carbonáticas estão entre os minerais industriais mais versáteis, com um amplo leque de aplicações (B.G.S., 1994). O metadolomito tem inúmeros usos, quer *in natura*, triturado em diversas granulometrias, quer submetido a processamento químico (Harrison, 1993):

- i. Indústria da construção: pavimentação e construção de rodovias; agregados de concreto; rocha ornamental, além do uso por demais conhecido da cal, inclusive para tratamento de água potáveis 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*).
- ii. Indústria química: fabricação de ferro e aço, como fundente para auxiliar a extração do ferro do minério; manufatura de carbonato de sódio; refinação do açúcar; como parte do processo de purificação; manufatura de vidro.
- iii. 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.

A principal aplicabilidade dos metadolomitos na região estudada é como corretivo agrícola e fabrico da cal. Esta aplicabilidade é restrita para outros usos, uma vez que para tal, são necessários testes físicos de dureza, tenacidade, resistência à abrasão, etc. Por desconhecimento, falta de incentivo econômico, ou ainda inacessibilidade a testes laboratoriais, a mineração na região de Morro Azul não evoluiu há muitas décadas, estando estagnada em um patamar muito abaixo do potencial latente.

Insumo para Corretivo de Solos

O metadolomito moído é o corretivo de solos comumente usado. Num corretivo é importante considerar seu poder de neutralização e velocidade de reação. Os metadolomitos estudados (média 23% MgO) são de reação mais lenta e maior poder de neutralização (mais 8,6%), além de fornecerem o elemento Mg como nutriente.

Em geral deseja-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 dolomitos para cal devem ser bastante puros e duros (cristalinos), não desagregando durante a calcinação (para não gerar excesso 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 do CaO reativo. Cerca de 1% de sílica no calcário resultaria em quase 2% de SiO₂ no produto calcinado, que pode reagir com a CaO para formar silicatos de Ca, reduzindo em mais de 5% o teor de CaO reativa do 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 0,2%).

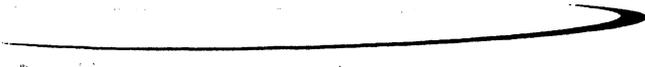
A presença de sulfato de cálcio é indesejável porque inibe a hidratação do CaO. A presença de dolomita (que pode ser desejável em alguns casos) produzirá MgO que se hidrata muito mais lentamente que CaO.

Os metadolomitos ideais para a cal, são os que afloram nos níveis "01" até "05" e níveis "10" e "09", possuindo teores médios de 23% de MgO, 30% de CaO, 0,08 % de Fe₂O₃ e 1,5 % de SiO₂. Os níveis 06, 07, e 13 não são indicados por possuírem elevados teores de sílica, e o nível H, além desta, possui Fe₂O₃ superior a 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 junto às jazidas, não muito distantes do mercado consumidor. Energia (combustão de lenha) é o fator que mais onera a produção. Este problema foi quase que sanado pelos mineradores que empregam o uso da serragem de madeira assoprada mecanicamente direto no forno, diminuindo desta forma o custo.

Rochas Ornamentais para Revestimentos

Somente em uma mina (45) de pequeno porte, observou-se a extração restrita de mármore dolomítico voltada ao uso ornamental. São rochas em placas polidas extraídas em blocos de 5 a 10 t, de maciços rochosos, cortados em chapas (3m^2 de chapas/ m^3 de rocha), que depois são polidas. Esta rocha estaria sendo extraída do nível correspondente ao 31 na seção colunar para a região, e corresponde a uma lente, pois não possui continuidade lateral.



Mais de 30 empresas lavram hoje o metadolomito na região estudada, mas essas firmas conhecem, no máximo, as suas frentes de lavra atuais. Isto faz com que hoje tenhamos no Paraná, embora de forma mecanizada, uma *lavra de subsistência*, pois o desconhecimento geológico dos materiais extraídos impossibilita a implantação de qualquer estratégia de aproveitamento, tanto do ponto-de-vista mercadológico quanto social. O desconhecimento das reservas e qualidades da matéria-prima é a causa imediata da falta de investimentos estratégicos no setor, cuja fase de crescimento tem sido reprimida nos últimos anos.

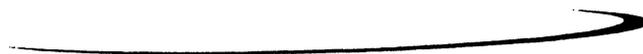
Sobre o potencial de recursos minerais as duas áreas se destacam na região de Morro Azul. A primeira, Faixa Morro Azul, é o pólo dos investimentos no setor mineral da região e a segunda, Faixa Capivara, pode ser considerada um desafio para o setor mineral, já que requer estudos mais detalhados e aproveitamento do material explotado para outros fins, que não a cal e o corretivo agrícola.

Fatores técnicos e econômicos devem ser considerados quanto ao aproveitamento do metadolomito como um recurso mineral. Esses fatores podem viabilizar a utilização da substância mineral da Faixa Capivara, até então marginalizada devido a características inadequadas de teor, composição mineral ou química, assim como condicionar a extração do minério em função do preço, mercado, demanda e oferta.

Inúmeras informações foram coletadas durante o desenvolvimento do presente estudo, porém ainda restam dúvidas que carecem de dados aqui não obtidos. Para sanar estas incertezas, seria importante a confecção de mais análises litogeoquímicas para outras frentes de lavra na região, principalmente na Faixa Capivara.

Ainda como recomendação, o adensamento vertical da malha para petrografia e conseqüentemente para colorimetria é indicado, uma vez que poderá trazer resultados mais consistentes na análise mineralógica das seções colunares.

Desta maneira, procuramos expandir o debate, relacionado ao tema, em meio à comunidade geológica através deste estudo e, no seu encerramento, almejamos que a dissensão que por ventura advenha com a cartografia, e mesmo com interpretações propostas, estimule a complementação deste trabalho.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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 Capiru (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.
- 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 nº2).
- 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. e Sec. do Planej. e Coord. Geral.

- 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)** –
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 – nº 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
- DYSTER, A.** – 1997 – *Stereonet VERSION 3.3* – Licenced to UNESP Copyrighth – 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.
- 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.
- FASSBINDER, E.**. 1996. *A Unidade Água Clara no contexto do Grupo Açungui: um modelo transpressivo de colisão oblíqua no Neoproterozóico paranaense.* São Paulo, IG/USP. 207 p. (Tese de Doutorado).
- FIORI, A.P.** – 1990 – *Tectônica e estratigrafia do Grupo Açungui a norte de Curitiba.* Tese de livre docência. IG/USP - São Paulo. 261p. Ilust.
- FIORI, A.P.** – 1992 – *Tectônica e estratigrafia do Grupo Açungui – PR.* Boletim IG-USP, Série Científica, 23:55-74.

- FOLK, R.L.** – 1959 - *Practical petrographic classification of limestones*. Bulletin of American 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 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.
- GROTIZINGER, J. P. & KNOLL, A.H.** 1995. Anomalous carbonate precipitates: Is the Precambrian the key to the Permian? *Palaios*, 10:578-596.
- GUIMARÃES, S. B., ROSTIROLA, S.P. e REIS NETO, J.M. dos** –1999- *A Variação de Insolúveis no Mármore Dolomítico da Região de Areias, Município de Almirante Tamandaré - PR. -Um Estudo de Caso – VII Simp. Sul Bras. de Geol.- II Enc. de Geol. Do Mercosul, Fóz Iguaçu-PR - Resumo*
- HARRISON, D.J., BLOODWORTH, A.J.** – 1993 – *Industrial minerals laboratory manual: limestone*. Keyworth: British Geological Survey, (Technical Report, WG/92/29).
- HUNT, P. & TUCKER, M.E.** 1993. Sequence stratigraphy of carbonates shelves with an example from the mid-Cretaceous (Urgoniam) of southeast France. Special Publication, international. Association Sedimentology, 38:307-341 .
- ITC-PR**– Instituto Técnico Cartográfico– 1980 – Foto aérea: Escala 1:25.000 – nº 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.
- 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.
- 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.

- SOARES, P.C.** – 1987 – *Seqüências tectono-sedimentares e tectônica deformadora no centro-oeste do Escudo Paranaense*. In: Simp. Sul-Bras. Geol. 3. Curitiba. 1987. Atas Curitiba. SBG. v.2, p.743-771.
- TUCKER, M. & 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

Anexo 1

PONTO	UTM E	UTM N
1	665.525	7.202.346
2	665.624	7.202.323
3	665.848	7.202.344
4	665.776	7.202.435
5	665.685	7.202.484
6	665.384	7.202.801
7	665.540	7.202.748
8	665.535	7.202.799
9	665.513	7.202.877
10	665.737	7.203.142
11	665.605	7.203.277
12	665.513	7.203.395
13	665.372	7.203.318
14	665.190	7.203.410
15	664.987	7.202.809
16	664.761	7.202.680
17	664.628	7.202.649
18	664.639	7.202.452
19	664.493	7.202.297
20	663.854	7.204.145
21	664.068	7.204.237
22	664.318	7.204.443
23	664.432	7.204.456
24	664.752	7.204.543
25	664.838	7.204.526
26	664.911	7.204.533
27	664.849	7.203.906
28	665.662	7.203.478
29	665.788	7.203.504
30	665.876	7.203.520
31	666.264	7.203.497
32	666.306	7.203.410
33	666.406	7.203.471
34	666.605	7.203.536
35	667.431	7.203.254
36	667.588	7.203.292
37	667.167	7.203.691
38	667.316	7.203.655
39	667.441	7.203.752
40	667.512	7.203.807
41	667.595	7.202.728
42	667.691	7.203.843
43	667.807	7.203.952
44	666.709	7.203.762
45	666.632	7.203.725

PONTO	UTM E	UTM N
46	666.554	7.203.766
47	666.037	7.203.879
48	665.874	7.204.136
49	665.842	7.204.225
50	665.773	7.204.118
51	665.721	7.204.180
52	665.666	7.203.969
53	665.641	7.204.328
54	665.610	7.204.261
55	665.725	7.204.398
56	665.768	7.204.622
57	665.615	7.204.642
58	665.426	7.204.703
59	665.066	7.204.684
60	664.916	7.204.811
61	664.991	7.204.863
62	665.020	7.204.940
63	665.856	7.204.745
64	666.025	7.204.766
65	665.892	7.204.964
66	665.963	7.205.244
67	665.869	7.205.207
68	665.832	7.205.424
69	665.865	7.205.526
70	665.427	7.205.668
71	665.058	7.205.879
72	664.836	7.205.926
73	664.729	7.205.917
74	664.568	7.205.950
75	666.770	7.205.464
76	666.376	7.205.743
77	665.983	7.205.932
78	665.829	7.206.033
79	665.661	7.206.152
80	666.940	7.206.025
81	667.159	7.206.125
82	667.454	7.205.788
83	667.607	7.205.796
84	667.764	7.205.930
85	667.801	7.205.445
86	667.310	7.204.343
87	667.454	7.204.334
88	667.543	7.204.301

Anexo 2

Amostra	Calcita	Dolomita	Total Dol	Ca Dol	Mg Dol	Ca calc	Mg Amos	Ca Total	Razão Max.	Total Dol	Ca Dol	Mg Dol	Ca calc	Mg Amos	Ca Total	Razão Min.
20 A	72	1275	2380	1380	1000	739,2857	535,714286	811,2857	1,5144	2105	1000	1105	669,2993	605,7007	741,2993	1,223871
20 B	269	2005	2380	1380	1000	1162,563	842,436975	1431,563	1,699312	2105	1000	1105	1052,506	952,4941	1321,506	1,387416
20 C	196	1895	2380	1380	1000	1098,782	796,218487	1294,782	1,626164	2105	1000	1105	994,7625	900,2375	1190,762	1,32272
20 D	149	2033	2380	1380	1000	1178,798	854,201681	1327,798	1,554432	2105	1000	1105	1067,204	965,7957	1216,204	1,259277
20 E	139	2260	2380	1380	1000	1310,42	949,579832	1449,42	1,526381	2105	1000	1105	1186,366	1073,634	1325,366	1,234467
20 F	94	2032	2380	1380	1000	1178,218	853,781513	1272,218	1,490098	2105	1000	1105	1066,679	965,3207	1160,679	1,202377
20 G	144	2493	2380	1380	1000	1445,521	1047,47899	1589,521	1,517473	2105	1000	1105	1308,677	1184,323	1452,677	1,226588
20 H	136	2888	2380	1380	1000	1674,555	1213,44538	1810,555	1,492078	2105	1000	1105	1516,029	1371,971	1652,029	1,204127
20 I	82	1832	2380	1380	1000	1062,252	769,747899	1144,252	1,486528	2105	1000	1105	961,6912	870,3088	1043,691	1,199219
20 J	160	2162	2380	1380	1000	1253,597	908,403361	1413,597	1,556133	2105	1000	1105	1134,922	1027,078	1294,922	1,260782
20 K	86	1398	2380	1380	1000	810,605	587,394958	896,605	1,526409	2105	1000	1105	733,867	664,133	819,867	1,234492
31 A	157	1824	2380	1380	1000	1057,613	766,386555	1214,613	1,584857	2105	1000	1105	957,4917	866,5083	1114,492	1,286187
31 B	236	2002	2380	1380	1000	1160,824	841,176471	1396,824	1,660559	2105	1000	1105	1050,931	951,0689	1286,931	1,353142
2A	243	2607	2380	1380	1000	1511,622	1095,37815	1754,622	1,601841	2105	1000	1105	1368,52	1238,48	1611,52	1,301208
2B	161	1822	2380	1380	1000	1056,454	765,546218	1217,454	1,590307	2105	1000	1105	956,4418	865,5582	1117,442	1,291007
2C	134	2598	2380	1380	1000	1506,403	1091,59664	1640,403	1,502756	2105	1000	1105	1363,796	1234,204	1497,796	1,213572
2D	212	2237	2380	1380	1000	1297,084	939,915966	1509,084	1,605552	2105	1000	1105	1174,292	1062,708	1386,292	1,30449
2E	121	2487	2380	1380	1000	1442,042	1044,95798	1563,042	1,495794	2105	1000	1105	1305,527	1181,473	1426,527	1,207415
2F	142	2682	2380	1380	1000	1555,109	1126,89076	1697,109	1,50601	2105	1000	1105	1407,891	1274,109	1549,891	1,21645
2G	147	1757	2380	1380	1000	1018,765	738,235294	1165,765	1,579124	2105	1000	1105	922,3207	834,6793	1069,321	1,281116
2H	97	1695	2380	1380	1000	982,8151	712,184874	1079,815	1,516201	2105	1000	1105	889,7743	805,2257	986,7743	1,225463
2I	114	1178	2380	1380	1000	683,042	494,957983	797,042	1,610323	2105	1000	1105	618,38	559,62	732,38	1,30871
2J	104	2203	2380	1380	1000	1277,37	925,630252	1381,37	1,492356	2105	1000	1105	1156,444	1046,556	1260,444	1,204374
2K	113	1778	2380	1380	1000	1030,941	747,058824	1143,941	1,53126	2105	1000	1105	933,3444	844,6556	1046,344	1,238782

A. Química

Amostra	CaO	MgO	Razão Ca/Mg	Amostra	Rz. Máx.	Rz. Min	An Quim
20 A	31,03	21,33	1,454759	20 A	1,5144	1,22387059	1,454759
20 B	30,87	21,14	1,460265	20 B	1,699312	1,38741646	1,460265
20 C	23,46	27,47	1,170929	20 C	1,626164	1,32272032	1,170929
20 D	30,63	21,05	1,455107	20 D	1,554432	1,25927693	1,455107
20 E	31	21,32	1,454034	20 E	1,526381	1,23446681	1,454034
20 F	28,96	19,53	1,482847	20 F	1,490098	1,20237697	1,482847
20 G	30,75	20,92	1,469885	20 G	1,517473	1,22658845	1,469885
20 H	29,65	19,89	1,490699	20 H	1,492078	1,20412742	1,490699
20 I	30,58	20,93	1,461061	20 I	1,486528	1,19921943	1,461061
20 J	30,87	20,87	1,479157	20 J	1,556133	1,26078168	1,479157
20 K	30,73	21,03	1,461246	20 K	1,526409	1,23449213	1,461246
31 A	31,24	21,15	1,477069	31 A	1,584857	1,28618695	1,477069
31 B	31,17	21,35	1,459953	31 B	1,660559	1,35314186	1,459953
2A	28,79	19,59	1,469627	2A	1,601841	1,30120829	1,469627
2B	31,34	21,44	1,461754	2B	1,590307	1,29100714	1,461754
2C	30,74	21,06	1,459639	2C	1,502756	1,21357198	1,459639
2D	30,64	21,03	1,456966	2D	1,605552	1,30449039	1,456966

Na dolomita comum, a proporção do CaCO₃ para MgCO₃ é de 1:1. Todavia, o Magnésio pode substituir o cálcio até aproximadamente Ca:Mg = 1:5, nas posições do magnésio, e o Ca pode substituir o Mg até aproximadamente Mg:Ca = 1:20, nas posições do Ca. Assim, na dolomita a relação do Ca / Mg oscila entre 58 : 42 e 47,5 : 52,5 .

Dana, J. D. , 1974 - Manual de Mineralogia, VII RJ, p.365

A. Quimica

Amostra	CaO	MgO	índice Ca/Mg	Amostra	Rz.Máx.	Rz. Min	An Quim
2E	31,33	21,27	1,472967	2E	1,495794	1,20741456	1,472967
2F	30,9	21,06	1,467236	2F	1,50601	1,21645041	1,467236
2G	31,16	21,03	1,481693	2G	1,579124	1,28111554	1,481693
2H	31,26	21,49	1,45463	2H	1,516201	1,22546313	1,45463
2I	30,52	21,01	1,452642	2I	1,610323	1,30870968	1,452642
2J	30,99	21,21	1,461103	2J	1,492356	1,20437358	1,461103
2K	30,55	21	1,454762	2K	1,53126	1,23878234	1,454762

	Ca/Mg	Mg/Ca	Carb.	N.Carb		
940	29,79	21,26	1,401223	0,713662	51,05	48,95
940	29,39	22,53	1,304483	0,766587	51,92	48,08
940	29,79	21,26	1,401223	0,713662	51,05	48,95
955	31,56	20,97	1,505007	0,664449	52,53	47,47
955	31,56	20,97	1,505007	0,664449	52,53	47,47
955	30,48	21,75	1,401379	0,713583	52,23	47,77
955	31,56	20,97	1,505007	0,664449	52,53	47,47
955	31,56	20,97	1,505007	0,664449	52,53	47,47
955	29,39	22,53	1,304483	0,766587	51,92	48,08
955	31,56	20,97	1,505007	0,664449	52,53	47,47
955	31,56	20,97	1,505007	0,664449	52,53	47,47
955	31,14	20,66	1,50726	0,663455	51,8	48,2
955	31,14	19,39	1,605982	0,622672	50,53	49,47
955	30,59	21,06	1,452517	0,68846	51,65	48,35
955	30,59	21,06	1,452517	0,68846	51,65	48,35
955	30,05	21	1,430952	0,698835	51,05	48,95
955	31,56	21,75	1,451034	0,689163	53,31	46,69
955	31,56	20,73	1,522431	0,656844	52,29	47,71
955	31,56	20,73	1,522431	0,656844	52,29	47,71
955/940	30,85	22,01	1,401636	0,713452	52,86	47,14
955/940	31,91	20,5	1,556585	0,642432	52,41	47,59
955/940	30,85	20,5	1,504878	0,664506	51,35	48,65
955/940	30,85	21,25	1,451765	0,688817	52,1	47,9
955/940	31,38	20,49	1,531479	0,652964	51,87	48,13
955/940	29,78	20,49	1,453392	0,688046	50,27	49,73
955/940	32,44	20,4	1,590196	0,628853	52,84	47,16
955/940	30,85	19,73	1,563609	0,639546	50,58	49,42
955/940	30,8	20,49	1,503172	0,66526	51,29	48,71
955/940	30,85	19,73	1,563609	0,639546	50,58	49,42
955/940	30,35	20,49	1,48121	0,675124	50,84	49,16
955/940	31,91	19,73	1,617334	0,618301	51,64	48,36
955/940	30,85	19,73	1,563609	0,639546	50,58	49,42
940/955	31,58	20,97	1,505961	0,664028	52,55	47,45
940/955	30,47	20,97	1,453028	0,688218	51,44	48,56
940/955	31,01	21,36	1,451779	0,68881	52,37	47,63
940/955	31,56	20,97	1,505007	0,664449	52,53	47,47
940/955	29,39	21,75	1,351264	0,740048	51,14	48,86

Amostra	CaO	MgO	zão	Ca/Mg	Mg/Ca	Carb.	N.Carb
940/955	31,56	20,96	1,505725	0,664132		52,52	47,48
940/955	31,56	19,42	1,625129	0,615336		50,98	49,02
940/955	30,85	20,49	1,505612	0,664182		51,34	48,66
940/955	31,91	20,49	1,557345	0,642118		52,4	47,6
940/955	29,39	22,53	1,304483	0,766587		51,92	48,08
940/955	29,39	22,53	1,304483	0,766587		51,92	48,08
940/955	31,56	20,2	1,562376	0,640051		51,76	48,24
940/955	30,48	20,2	1,508911	0,66273		50,68	49,32
940/955	31,56	20,97	1,505007	0,664449		52,53	47,47
940/955	31,56	20,97	1,505007	0,664449		52,53	47,47
940/955	31,56	20,97	1,505007	0,664449		52,53	47,47
940/955	31,56	21,75	1,451034	0,689163		53,31	46,69
940/955	31,58	20,97	1,505961	0,664028		52,55	47,45
970/955	31,56	21,75	1,451034	0,689163		53,31	46,69
970/955	29,39	23,3	1,261373	0,792787		52,69	47,31
970/955	31,38	20,49	1,531479	0,652964		51,87	48,13
970/955	31,91	20,25	1,575802	0,634597		52,16	47,84
970/955	31,91	20,49	1,557345	0,642118		52,4	47,6
970/955	29,78	20,49	1,453392	0,688046		50,27	49,73
970/955	30,85	20,4	1,512255	0,661264		51,25	48,75
970/955	30,31	20,88	1,451628	0,688882		51,19	48,81
970/955	30,85	22,01	1,401636	0,713452		52,86	47,14
970/955	30,48	20,97	1,453505	0,687992		51,45	48,55
970/955	29,39	22,53	1,304483	0,766587		51,92	48,08
970/955	30,85	19,73	1,563609	0,639546		50,58	49,42
970/955	31,38	19,73	1,590471	0,628744		51,11	48,89
970N	28,72	18,98	1,513172	0,660864		47,7	52,3
970	31,38	19,73	1,590471	0,628744		51,11	48,89
970	30,65	19,3	1,588083	0,62969		49,95	50,05
970	30,65	20,59	1,488587	0,671778		51,24	48,76
970	29,39	22,53	1,304483	0,766587		51,92	48,08
1015	30,59	20,28	1,508383	0,662962		50,87	49,13
1015	30,06	19,5	1,541538	0,648703		49,56	50,44
1015	30,59	20,28	1,508383	0,662962		50,87	49,13
20 A	31,03	21,33	1,454759	0,687399		52,36	47,64
20 B	30,87	21,14	1,460265	0,684807		52,01	47,99
20 C	31,46	21,47	1,4653	0,682454		52,93	47,07
20 D	30,63	21,05	1,455107	0,687235		51,68	48,32
20 E	31	21,32	1,454034	0,687742		52,32	47,68
20 F	28,96	19,53	1,482847	0,674378		48,49	51,51
20 G	30,75	20,92	1,469885	0,680325		51,67	48,33
20 H	29,65	19,89	1,490699	0,670826		49,54	50,46
20 I	30,58	20,93	1,461061	0,684434		51,51	48,49
20 J	30,87	20,87	1,479157	0,676061		51,74	48,26
20 K	30,73	21,03	1,461246	0,684348		51,76	48,24
31 A	31,24	21,15	1,477069	0,677017		52,39	47,61
31 B	31,17	21,35	1,459953	0,684953		52,52	47,48

Amostra	Dolomita	Calcita	Total	%dolom.	%calc.	CaO calc	ttal CaO Calc	CO2 cal	ttal CO2 Cal	CaO dol	ttal CaO Dol	MgO dol	ttal MgO Dol
20A	1275	72	1347	94,65478842	5,345211581	55,92	298,9042316	43,95	234,922049	31,27	2959,855234	21,12	1999,109131
20 B	2005	269	2274	88,17062445	11,82937555	55,92	661,4986807	43,95	519,9010554	31,27	2757,095427	21,12	1862,163588
20 C	1895	196	2091	90,6264945	9,3735055	55,92	524,1664275	43,95	411,9655667	31,27	2833,890483	21,12	1914,031564
20 D	2033	149	2182	93,17140238	6,828597617	55,92	381,8551787	43,95	300,1168653	31,27	2913,469753	21,12	1967,780018
20 E	2260	139	2399	94,20591913	5,794080867	55,92	324,0050021	43,95	254,6498541	31,27	2945,819091	21,12	1989,629012
20 F	2032	94	2126	95,57855127	4,42144873	55,92	247,247413	43,95	194,3226717	31,27	2988,741298	21,12	2018,619003
20 G	2493	144	2637	94,53924915	5,460750853	55,92	305,3651877	43,95	240	31,27	2956,242321	21,12	1996,668942
20 H	2888	136	3024	95,5026455	4,497354497	55,92	251,4920635	43,95	197,6587302	31,27	2986,367725	21,12	2017,015873
20 I	1832	82	1914	95,71577847	4,284221526	55,92	239,5736677	43,95	188,2915361	31,27	2993,032393	21,12	2021,517241
20 J	2162	160	2322	93,10938846	6,890611542	55,92	385,3229974	43,95	302,8423773	31,27	2911,530577	21,12	1966,470284
20 K	1398	86	1484	94,20485175	5,795148248	55,92	324,06469	43,95	254,6967655	31,27	2945,785714	21,12	1989,606469
31 A	1824	157	1981	92,07470974	7,925290257	55,92	443,1822312	43,95	348,3165068	31,27	2879,176174	21,12	1944,61787
31 B	2002	236	2238	89,45487042	10,54512958	55,92	589,6836461	43,95	463,458445	31,27	2797,253798	21,12	1889,286863
						55,92		43,95		31,27			
2A	2607	243	2850	91,47368421	8,526315789	55,92	476,7915789	43,95	374,7315789	31,27	2860,382105	21,12	1931,924211
2B	1822	161	1983	91,8809884	8,119011599	55,92	454,0151286	43,95	356,8305598	31,27	2873,118507	21,12	1940,526475
2C	2598	134	2732	95,09516837	4,904831625	55,92	274,2781845	43,95	215,5673499	31,27	2973,625915	21,12	2008,409956
2D	2237	212	2449	91,34340547	8,656594528	55,92	484,076766	43,95	380,4573295	31,27	2856,308289	21,12	1929,172724
2E	2487	121	2608	95,36042945	4,639570552	55,92	259,4447853	43,95	203,9091258	31,27	2981,920629	21,12	2014,01227
2F	2682	142	2824	94,97167139	5,028328612	55,92	281,184136	43,95	220,9950425	31,27	2969,764164	21,12	2005,8017
2G	1757	147	1904	92,27941176	7,720588235	55,92	431,7352941	43,95	339,3198529	31,27	2885,577206	21,12	1948,941176
2H	1695	97	1792	94,58705357	5,412946429	55,92	302,6919643	43,95	237,8989955	31,27	2957,737165	21,12	1997,678571
2I	1178	114	1292	91,17647059	8,823529412	55,92	493,4117647	43,95	387,7941176	31,27	2851,088235	21,12	1925,647059
2J	2203	104	2307	95,49198093	4,508019072	55,92	252,0884265	43,95	198,1274382	31,27	2986,034244	21,12	2016,790637
2K	1778	113	1891	94,02432575	5,975674246	55,92	334,1597039	43,95	262,6308831	31,27	2940,140666	21,12	1985,79376

Amostra	CaO	MgO	CO2	% CaO	%CO2	%MgO
20 A	31,03	21,33	47,34	32,7106201	47,22281776	20,0666
20 B	30,87	21,14	46,67	34,30919467	47,00203122	18,6888
20 C	23,46	27,47	47,69	33,70379993	47,08564509	19,2106
20 D	30,63	21,05	46,65	33,07637468	47,1723017	19,7513
20 E	31	21,32	46,76	32,8212996	47,2075313	19,9712
20 F	28,96	19,53	43,56	32,48283602	47,25427807	20,2629
20 G	30,75	20,92	46,42	32,73910933	47,21888298	20,042
20 H	29,65	19,89	43,94	32,5015535	47,25169291	20,2468
20 I	30,58	20,93	46,1	32,44899721	47,2589517	20,2921
20 J	30,87	20,87	46,06	33,09166467	47,17018993	19,7381
20 K	30,73	21,03	46,43	32,82156279	47,20749495	19,9709

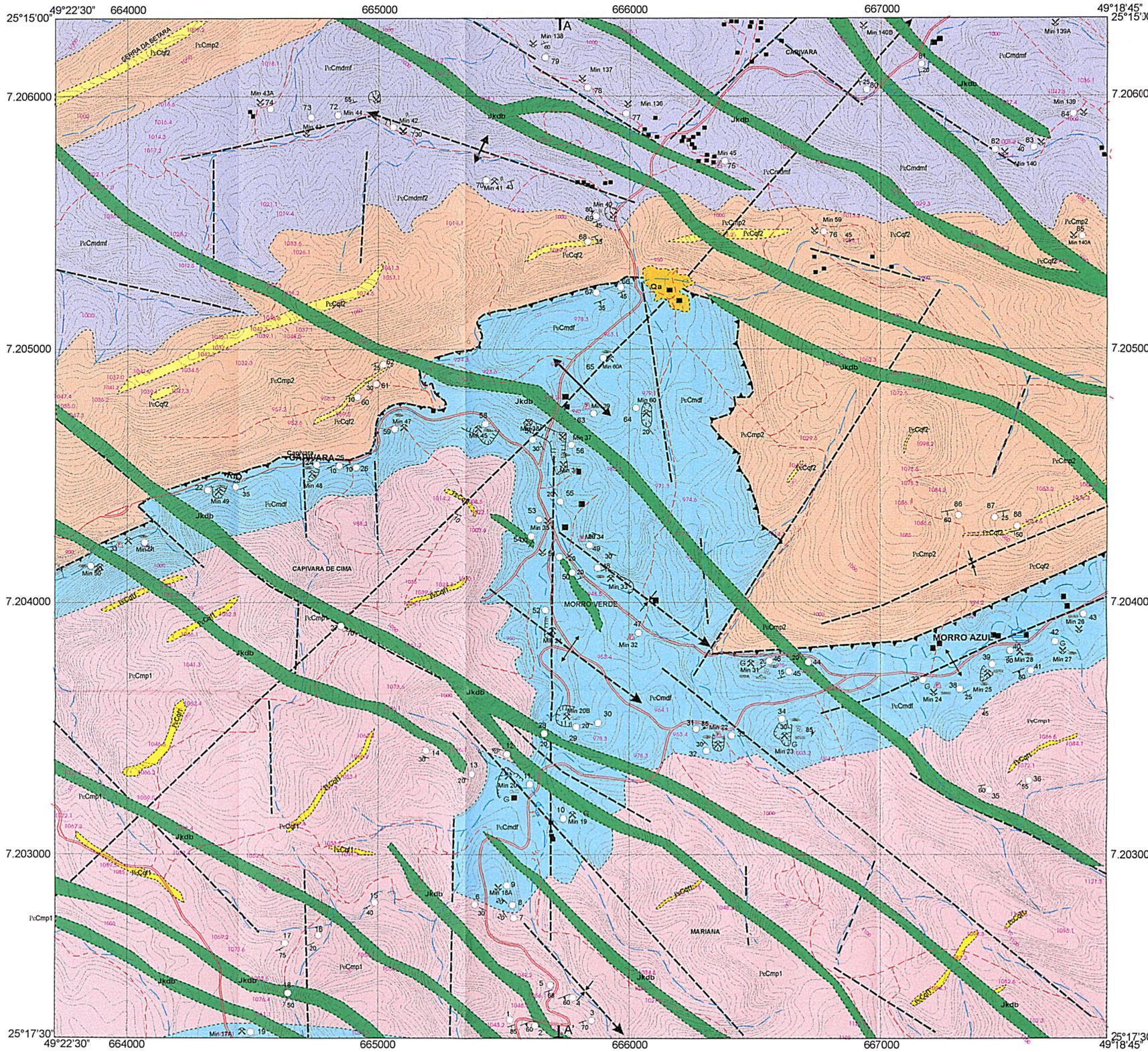
	MgO	CO2	% CaO	%CO2	%MgO
31 A	31,24	21,15	33,34676508	47,13495683	19,5183
31 B	31,17	21,35	33,99262581	47,04575401	18,9616
2A	28,79	19,59	33,49494182	47,11449145	19,3906
2B	31,34	21,44	33,39452561	47,1283604	19,4771
2C	30,74	21,06	32,60203132	47,23781545	20,1602
2D	30,64	21,03	33,5270601	47,11005545	19,3629
2E	31,33	21,27	32,53662211	47,24684942	20,2165
2F	30,9	21,06	32,63248343	47,23360957	20,1339
2G	31,16	21,03	33,29629682	47,14192723	19,5618
2H	31,26	21,49	32,72732192	47,22051099	20,0522
2I	30,52	21,01	33,5682151	47,10437134	19,3274
2J	30,99	21,21	32,50418325	47,2513297	20,2445
2K	30,55	21	32,86607507	47,20134715	19,9326

CO2 dc	total CO2 dol	total CaO	total MgO	total CO2	Soma Ca	Soma MgO	Soma CC	Soma totais	% CaO	%CO2	%MgO
47,22	4469,599109	32,58759465	19,99109131	47,04521158	3258,76	1999,109131	4704,52	9962,389755	32,7106	47,22281776	20,0666
47,22	4163,416887	34,18594107	18,62163588	46,83317942	3418,59	1862,163588	4683,32	9964,075638	34,3092	47,00203122	18,6888
47,22	4279,38307	33,58056911	19,14031564	46,91348637	3358,06	1914,031564	4691,35	9963,437111	33,7038	47,08564509	19,2106
47,22	4399,553621	32,95324931	19,67780018	46,99670486	3295,32	1967,780018	4699,67	9962,775435	33,0764	47,1723017	19,7513
47,22	4448,403501	32,69824093	19,89629012	47,03053356	3269,82	1989,629012	4703,05	9962,506461	32,8213	47,2075313	19,9712
47,22	4513,219191	32,35988711	20,18619003	47,07541863	3235,99	2018,619003	4707,54	9962,149577	32,4828	47,25427807	20,2629
47,22	4464,143345	32,61607509	19,96668942	47,04143345	3261,61	1996,668942	4704,14	9962,419795	32,7391	47,21888298	20,042
47,22	4509,634921	32,37859788	20,17015873	47,07293651	3237,86	2017,015873	4707,29	9962,169312	32,5016	47,25169291	20,2468
47,22	4519,69906	32,32606061	20,21517241	47,07990596	3232,61	2021,517241	4707,99	9962,113898	32,449	47,2589517	20,2921
47,22	4396,625323	32,96853575	19,66470284	46,994677	3296,85	1966,470284	4699,47	9962,791559	33,0917	47,17018993	19,7381
47,22	4448,3531	32,69850404	19,89606469	47,03049865	3269,85	1989,606469	4703,05	9962,506739	32,8216	47,20749495	19,9709
47,22	4347,767794	33,22358405	19,4461787	46,96084301	3322,36	1944,61787	4696,08	9963,060575	33,3468	47,13495683	19,5183
47,22	4224,058981	33,86937444	18,89286863	46,87517426	3386,94	1889,286863	4687,52	9963,741734	33,9926	47,04575401	18,9616
47,22	4319,387368	33,37173684	19,31924211	46,94118947	3337,17	1931,924211	4694,12	9963,216842	33,4949	47,11449145	19,3906
47,22	4338,620272	33,27133636	19,40526475	46,95450832	3327,13	1940,526475	4695,45	9963,110943	33,3945	47,1283604	19,4771
47,22	4490,393851	32,479041	20,08409956	47,05961201	3247,9	2008,409956	4705,96	9962,275256	32,602	47,23781545	20,1602
47,22	4313,235606	33,40385055	19,29172724	46,93692936	3340,39	1929,172724	4693,69	9963,250715	33,5271	47,11005545	19,3629
47,22	4502,919479	32,41365414	20,1401227	47,06828604	3241,37	2014,01227	4706,83	9962,206288	32,5366	47,24684942	20,2165
47,22	4484,562323	32,509483	20,058017	47,05557365	3250,95	2005,8017	4705,56	9962,307365	32,6325	47,23360957	20,1339
47,22	4357,433824	33,173125	19,48941176	46,96753676	3317,31	1948,941176	4696,75	9963,007353	33,2963	47,14192723	19,5618
47,22	4466,40067	32,60429129	19,97678571	47,04299665	3260,43	1997,678571	4704,3	9962,407366	32,7273	47,22051099	20,0522
47,22	4305,352941	33,445	19,25647059	46,93147059	3344,5	1925,647059	4693,15	9963,294118	33,5682	47,10437134	19,3274
47,22	4509,131339	32,3812267	20,16790637	47,07258778	3238,12	2016,790637	4707,26	9962,172085	32,5042	47,2513297	20,2445
47,22	4439,828662	32,7430037	19,8579376	47,02459545	3274,3	1985,79376	4702,46	9962,553675	32,8661	47,20134715	19,9326

Anexo 3

MAPA DA REGIÃO DE MORRO AZUL - ALMIRANTE TAMANDARÉ-PR

LEGENDA



UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS

QUATERNÁRIO
Holoceno
Ca Sedimentos aluvionares em geral

JURÁSSICO A CRETÁCEO
Jkdb Diques básicos em geral, predominantemente constituídos por diabásio

MESOPROTEROZOÍCO A NEOPROTEROZOÍCO
Formação Capirú
SEQÜÊNCIA MORRO GRANDE (Fiori 1990) - FAIXA MORRO AZUL
FvCm2f Metadolomitos silicosos, de granulação média/ fina, cinza, preservando estruturas sedimentares sin deposicionais.
FvCm1f Metapelitos em geral, predominantemente constituídos por filitos vermelhos e filitos com bandamento centimétrico, alternando bandas cinza-claras e cinza-escuras.
FvCq2f Quartizitos finos a médio, localmente arcoseanos, recristalizados, normalmente de coloração amarelada clara, intercalados aos metapelitos 1.
SEQÜÊNCIA RIO BRANCO (Fiori, 1990- FAIXA CAPIVARA)
FvCm2f Metadolomitos, granulação fina a muito fina, predominantemente, Maciços, cinza esbranquiçados, localmente preservando estruturas sedimentares deposicionais, deformações sin sedimentares e estruturas biogênicas (esteiras algais).
FvCm1f Metapelitos em geral, predominantemente constituídos por filitos vermelhos e filitos com bandamento centimétrico.
FvCq2f Quartizitos finos a médio, localmente arcoseanos, recristalizados, normalmente de coloração amarelada clara intercalados aos metapelitos 2.

CADASTRAMENTO DA ATIVIDADE MINERAL

PONTO	PROPRIETÁRIO/RAZÃO SOCIAL	OBSERVAÇÕES
Min 17A	Terra Rica	Frete de Lavra de pequeno porte (120 m) parada
Min 18A	Cal Paraná	Lavra de lavra abandonada
Min 19	Cal Paraná	Lavra, forno e moagem
Min 20	Terra Rica Mineração	Frete de lavra com 300 metros de frente
Min 20B	Calário Morro Azul - Severino Molin	Frete de Lavra de grande porte
Min 21	Calário Morro Verde Ltda.	Frete de lavra, bratilagem e moagem
Min 22	Calário São Branco	Bratilagem, moagem e empacotamento
Min 23	Mineração São Francisco	Frete de lavra abandonada e outra ativa
Min 24	Mineração Carla	Bratilagem, moagem empacotamento
Min 25	Ouro Verde Ind. E Com. de Cal - Alcir Pavin	Frete de lavra
Min 26	Ouro Verde Ind. E Com. de Cal - Alcir Pavin	Frete de lavra
Min 27	Mineração Ouro Verde - Alcir Pavin	Frete de lavra de pequena dimensão
Min 28	Calário São Francisco	Frete de lavra com mais de 300 metros
Min 31	Calário São Francisco	Frete de lavra de pequeno porte
Min 32	Calário São Francisco	Bratilagem, moagem, empacotamento e à granel
Min 33	Ind. de Cal Rio Grande - Arnaldo Buzzatto	Frete de lavra de grande porte
Min 34	Cal Rio Grande Ltda.	Bratilagem
Min 35	Calário Seis Irmãos	Frete de lavra abandonada
Min 37	Calário Seis Irmãos	Frete de lavra de grande porte
Min 38	Calário Seis Irmãos	Frete de lavra de grande porte
Min 39	Calário Seis Irmãos	Frete de lavra de grande porte formação de lago
Min 40	Cal Santa Clara - Dalton Cozin	Bratilador abandonado
Min 41	Cal Rio Grande Ltda	Frete de lavra abandonada (depósito de pneus)
Min 42	-	Frete de lavra abandonada com entulhos
Min 43	-	Frete de lavra abandonada
Min 43A	-	Pedreira abandonada
Min 44	-	Frete de lavra abandonada
Min 45	Dalto Tosin	Forno de Cal Lavra em atividade
Min 47	Indacalco	Frete de lavra e depósito de entulho
Min 48	Monte Cal	Frete de lavra de grande porte
Min 49	Calário Morro Azul	Frete de lavra de grande porte
Min 50	Calzato	Lavra com cerca de 4000 metros de extensão
Min 51	Calzato	Bratilagem, moagem e fornos
Min 55	Nossa Senhora da Moeda Ltda.	Bratilagem, moagem e empacotamento
Min 59	-	Parte do pó do calcário transformado em lago
Min 60	Calzato	Frete de lavra de aproximadamente 300 m
Min 136	-	Pedreira abandonada
Min 137	-	Pedreira abandonada
Min 138	-	Pedreira abandonada
Min 139	-	Pedreira abandonada
Min 140	-	Frete de lavra de grande porte abandonada
Min 140A	Cal Polica	Pedreira abandonada
Min 140B	Cal Polica	Pedreira Abandonada

CONVENÇÕES ESTRUTURAIS

- Contato aproximado
- Acamamento com mergulho medido
- Direção ou mergulho de xistossidade ou foliação S1
- Direção e mergulho de juntas, fraturas ou diaclases
- Falha normal aproximada
- Falha de cavalgamento aproximada. Dentes no bloco que sobiu.
- Dobra anticlinal aproximada com caimento do eixo (fase b2)
- Dobra sinclinal aproximada com caimento do eixo (fase b2)
- Dobra antiforme aproximada (fase b2)
- Dobra sinforme aproximada (fase b2)

OUTRAS CONVENÇÕES

- 17 Ponto Descrito
- Seção Geológica

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Estrada pavimentada de tráfego permanente.
- Estrada não pavimentada de tráfego periódico.
- Curvas de Nível (intervalo entre as curvas de nível 5 m).
- Drenagem
- Lago ou represa
- Escola
- Casa ou barracão
- Ponto Cotado
- Ponte

CONVENÇÕES GEOLÓGICAS

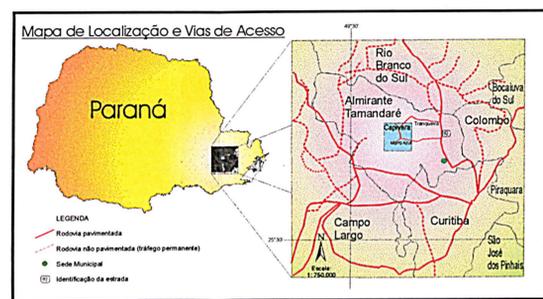
- Frete de Lavra.
- Lavra de metadolomito em atividade.
- Lavra de metadolomito desativada.
- Forno de cal em atividade.
- Gruta ou Caverna

ESTRUTURAS SEDIMENTARES

- Deposicionais
- Laminação plano-paralela.
- Marcas de onda.
- Deformação sin-sedimentar
- Marcas de carga.
- Gretas de Contração
- Estruturas Biogênicas
- Esteiras algais

ESCALA GRÁFICA

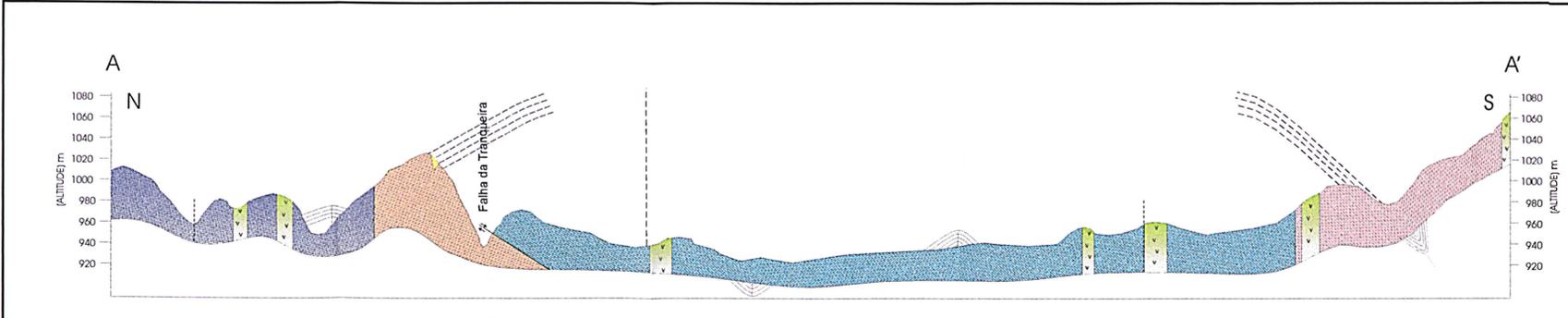
Declinação Magnética do centro da folha em 2000.: 18°5'W; variação anual 9' W.



ARTICULAÇÃO

A 087	A 090	A 093
A 097	REGIÃO DE MORRO AZUL (A 100)	A 103
A 098	A 101	A 104

BASE TOPOGRÁFICA:
COMEC - Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba - 1a. Edição - 1985
Escala 1:20.000



LEGENDA

- Diques Básicos
- Diabásio
- Metadolomitos Silicosos
- Metadolomitos Muito Finos
- Metapelitos
- Quartzito
- Contato Aproximado
- Falha de Cavalgamento
- Falha Normal

Escala Vertical - 1:1.250
Escala Horizontal - 1:10.000

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA

PÓS GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

MAPA GEOLÓGICO DA REGIÃO DE MORRO AZUL
ALMIRANTE TAMANDARÉ - PR

Geóloga Sandra Boeira Guimarães Escala: 1:10.000
Data: Fev/2001

Professores Orientadores: José Manoel dos Reis Neto
Luiz Alberto Fernandes
Sidnei Pires Rostrolla Digitalização: Guimarães, S.B.