

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ**

**LINCOLN OLIVER LOPES**

**CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA DAS ROCHAS CARBONÁTICAS DA MINA RIO BONITO,  
CAMPO LARGO PR - PARA PRODUÇÃO DE CIMENTO**

CURITIBA  
2009

**LINCOLN OLIVER LOPES**

**CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA DAS ROCHAS CARBONÁTICAS DA MINA RIO BONITO,  
CAMPO LARGO PR - PARA PRODUÇÃO DE CIMENTO**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Geologia, Área de concentração Geologia Exploratória, Departamento de Geologia, Setor de Ciências Terra, Universidade Federal do Paraná.

Orientador:

Prof. Dr. José Manoel dos Reis Neto

Co-orientador:

Prof. Dr. Carlos Eduardo de Mesquita Barros

CURITIBA  
2009

## RESUMO

A mina Rio Bonito da Companhia de Cimentos Itambé é um depósito de mármore calcítico explorado para a produção de cimento. Esta mina se localiza no município de Campo Largo, no Leste do Estado do Paraná. A área em estudo aflora nos domínios da Formação Água Clara de idade mesoproterozóica, constituindo a base do grupo Açungui. O avanço das frentes de lavra em um corpo de rochas dolomíticas, na face Norte da mina produz grande quantidade de material estéril. O corpo de rochas dolomíticas possui aproximadamente 60 metros de extensão, e suas rochas possuem teores de MgO que podem atingir até 21%. Associados aos mármore calcíticos ocorrem metamargas aonde os teores de SiO<sub>2</sub> chegam até 63%, prejudicando a lavra por gerar grande quantidade de material estéril. A análise da variabilidade química foi desenvolvida por meio da interpretação dos dados geoquímicos referentes à campanha de sondagens realizadas no primeiro semestre de 2008 e em campanhas realizadas no ano 2000. Os dados geoquímicos foram fornecidos pela Cia. de Cimentos Itambé. Análises químicas e mineralógicas complementares foram realizadas no LAMIR (Laboratório de Análise de Minerais e Rochas da Universidade Federal do Paraná). A descrição dos testemunhos de sondagem associada à análise petrográfica permitiu identificar os principais tipos litológicos refletidos por mármore calcíticos, mármore dolomíticos, brechas dolomíticas e metamargas. A integração dos dados geoquímicos com os perfis descritivos de cada furo permite estabelecer os principais fatores ligados à variabilidade química do minério em função da profundidade. O mapeamento estrutural de detalhe ao longo das bancadas da mina, mostra uma evolução estrutural polifásica complexa, onde foram identificadas cinco fases de deformação. As duas primeiras fases (D<sub>1</sub> e D<sub>2</sub>) estão ligadas à tectônica dúctil de natureza compressional. Na primeira fase o dobramento das camadas associadas a uma tectônica de cavalgamento, gerou uma foliação S<sub>1</sub> de caráter penetrativo em posição paralela ou sub-paralela ao acamamento sedimentar original S<sub>0</sub>. A segunda fase é caracterizada pelo redobramento das superfícies anteriormente produzidas (S<sub>0</sub> e S<sub>1</sub>). A terceira fase (D<sub>3</sub>) produziu intensa deformação das rochas gerando forte lenticularização e desenvolvendo uma foliação anastomosada associada à falha transcorrente de Morro Agudo. Essa estrutura apresenta direção média N70°E. A quarta e quinta fases (D<sub>4</sub>) e (D<sub>5</sub>) refletem a atuação de uma tectônica rúptil com geração de falhas inversas, onde a quinta fase se mostra mais recente por estar presente em diques de diabásio mesozóicos. A interpretação dos dados geoquímicos, integrada à análise estrutural, permitiu concluir que a variabilidade química do minério na relação entre mármore calcíticos e metamargas está controlada pela deformação dúctil (D<sub>1</sub> e D<sub>2</sub>), refletindo a variação da composição primária dos litotipos. A projeção dos furos de sondagem associadas à cartografia de detalhe da mina mostra que ocorrem intercalações sucessivas de camadas de mármore calcítico com camadas de metamargas.

## ABSTRACT

The Rio Bonito mine of Itambé Cement Company is a calcitic marble deposit used for cement production. This mine is located in Campo Largo city in the eastern part of the Parana state. The area under study occurs in Agua Clara Formation with age related to Mesoproterozoic, corresponding the base of Açungui Group. The advancement of mining fronts in dolomitic rocks set on the north part of the mine produces a large amount of sterile rocks. The dolomitic rocks set have approximately 60 meters of extension and on its rocks the magnesium levels reaching up to 21 %. Associated with calcitic marbles occurs meta – marls which  $\text{SiO}_2$  levels reaching up to 63%, damaging the mining to generate a large amount of sterile material. The analysis of chemical variability has been developed through the interpretation of geochemical data related to drilling operations developed in 2008 and in older operations developed in 2000. Geochemical data were supplied by Itambé Cement Company. Additional mineralogical and chemical analysis were carried out in LAMIR (Laboratório de Análise de Minerais e Rochas da Universidade Federal do Paraná). The description of drilling samples associated with petrographic analysis enabled the main lithological types reflected by calcitic marbles, dolomitic marbles, dolomitic breccias and meta - marls. The integration of geochemical data with the descriptive profiles of each hole has established the main factors related to the chemical variability of ore depending on depth. The detail structural mapping along the mine platforms, shows a complex polyphase structural evolution, which were identified five stages of deformation. The first and second stages ( $D_1$  and  $D_2$ ) reflect ductile deformation of compressional nature. The  $D_1$  stage is associated to thrust tectonic events and characterized for the development of a  $S_1$  foliation in parallel position to sedimentary bedding  $S_0$ . The  $D_2$  stage reflects a new phase of folding affecting  $S_0$  and  $S_1$  previously produced. The third stage ( $D_3$ ) is characterized by intense deformation of the rocks with expressive anastomosing of rocks and the development of a anastomosing foliation related to the Morro Agudo strike slip fault. This structure presents average direction in  $N70^\circ E$ . The fourth and fifth phases ( $D_4$  and  $D_5$ ) reflects a tectonic rúptil event, which generated reverse faults, where the fifth stage is the latest to be present in Mesozoic diabase dikes. The interpretation of geochemical data integrated to structural analysis, shows that the chemistry variability related to calcitic marbles and meta-marls is controlled by ductile deformation ( $D_1$  and  $D_2$ ), associated to the original composition of the rocks. The drill holes projection associated to the detail mapping of the mine shows successive interlayered calcitic marbles and meta-marls layers

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>7</b>
1.1 JUSTIFICATIVA PARA A PESQUISA.....	7
1.2 LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO.....	9
1.3 OBJETIVOS.....	10
1.4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	10
1.4.1 Métodos de trabalho.....	11
1.4.2 Ensaio e análises laboratoriais.....	12
1.4.3 Tratamento de dados químicos fornecidos pela Cia de Cimentos Itambé.....	15
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>16</b>
2.1 HISTÓRICO DA EXPLORAÇÃO DA MINA RIO BONITO.....	16
2.2 ROCHAS CARBONÁTICAS COMO MINÉRIO PARA A INDÚSTRIA DO CIMENTO.....	17
2.2.1 Composição potencial do clínquer.....	20
2.2.2 Módulos de saturação.....	20
2.3 CARACTERÍSTICAS DAS ROCHAS CARBONÁTICAS.....	27
2.3.1 Classificação química e mineralógica das rochas carbonáticas com base no conteúdo em MgO.....	27
2.3.2 Classificação de rochas carbonáticas com base no conteúdo de SiO <sub>2</sub> livre e material argiloso.....	29
2.4 VARIABILIDADE QUÍMICA DE ROCHAS CARBONÁTICAS.....	30
2.4.1 Variabilidade química associada à sedimentação.....	31
2.4.2 Variabilidade química associada à hidrotermalismo.....	31
2.4.3 Variabilidade química associada ao metamorfismo.....	36
<b>3 GEOLOGIA REGIONAL</b> .....	<b>46</b>
3.1 EVOLUÇÃO TECTÔNICA DO GRUPO AÇUNGUI.....	47
3.2 CONSIDERAÇÕES ESTRUTURAIS E GEOMORFOLÓGICAS PARA A GEOLOGIA REGIONAL NOS DOMÍNIOS DA MINA.....	48
3.3 DRENAGEM.....	51
3.4 UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS.....	52
3.5 AMBIENTES DE SEDIMENTAÇÃO.....	61
3.5.1 Formação Água Clara (Sequência São Silvestre).....	61
3.5.2 Grupo Açungui.....	62
3.6 Correlação do Grupo Açungui com a Formação Água Clara.....	63
3.7 ESTRATIGRAFIA.....	64
3.8 METAMORFISMO.....	66
3.8.1: Encadeamento da Formação Água Clara com o Grupo Açungui.....	66
<b>4 GEOLOGIA DA MINA RIO BONITO</b> .....	<b>69</b>
4.1 CARACTERIZAÇÃO LITOLÓGICA.....	69
4.1.1 Caracterização dos tipos litológicos.....	74
4.1.2 Metamorfismo.....	87
4.2 GEOLOGIA ESTRUTURAL.....	88
4.2.1 Tectônica Dúctil.....	88
4.2.2 Zona de cisalhamento rúptil – dúctil.....	92
4.2.3 Tectônica Rúptil.....	93
4.3 CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA.....	96

4.3.1 Litotipo x Geoquímica.....	99
4.3.2. Caracterização química e mineralógica aplicada a tipos litológicos descritos (furos 1020– 1025).....	106
4.3.3 Variabilidade química X estrutural.....	114
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>117</b>
<b>6 CONCLUSÕES.....</b>	<b>120</b>
<b>7 RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>122</b>
<b>8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>123</b>
<b>9 ANEXOS.....</b>	<b>134</b>
Anexo 1 - Descrição dos furos 1020 – 1023.....	135
Anexo 2 - Perfis com relação: Química x Profundidade 1010 – 1025.....	143
Anexo 3 - Tabelas com teores químicos em função da profundidade Furos 1010 – 1025.....	176

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 JUSTIFICATIVA PARA A PESQUISA

Essa pesquisa está inserida no projeto PETROCAL, em convênio estabelecido entre a PETROBRAS – Petróleo Brasileiro S.A., o LAMIR – Laboratório de Análises de Minerais e Rochas do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Paraná e a FUNPAR – Fundação da Universidade Federal do Paraná.

A Companhia de Cimentos Itambé é a proprietária da mina Rio Bonito e atua no ramo da indústria do cimento desde 1976. Os mármores calcínicos constituem a matéria prima principal utilizada na produção do cimento, e na mina Rio Bonito são lavrados a céu aberto por meio da abertura de uma ampla cava com bancadas sucessivas. (FIGURA 01)



FIGURA 01 - Visão geral da mina Rio Bonito. Fotografia obtida em outubro de 2008.

Pesquisas anteriores desenvolvidas na mina mostram que a lavra dos mármores da mina Rio Bonito produz grande quantidade de material estéril, inadequado para a produção de cimento. Gallina (2005) verificou que nos mármores com feições brechadas o teor em MgO chega próximo a 21%. Esse corpo de

mármore com alto teor em MgO ocorre em contato abrupto com as frentes de mármore calcítico, tendo boa exposição na face norte da mina, com uma extensão lateral de aproximadamente 60 metros. A utilização de mármore com alta concentração de MgO acarreta problemas no processo de hidratação do cimento, provocando aumento de volume (expansibilidade) e gerando sais solúveis que enfraquecem o concreto quando exposto à lixiviação. Segundo Gallina (2005), os mármore com alto teor em MgO teriam sofrido processo de dolomitização, onde o principal fator atuante foi estrutural.

Posteriormente Pinto-Coelho (2007) em análise petrográfica das rochas da mina Rio Bonito, confirmou a presença de processo hidrotermal afetando as rochas dolomíticas com a identificação de cristais de dolomita em sela. Devido à porosidade e permeabilidade das rochas carbonáticas dolomitizadas, estes litotipos podem configurar importantes fontes armazenadoras de hidrocarbonetos. O estudo dessas rochas em superfície representa um laboratório para a pesquisa de reservatórios. Com a adequada caracterização dessas seqüências carbonáticas superficiais, posteriormente espera-se que esses modelos possam ser utilizados para as bacias marginais armazenadoras de hidrocarbonetos.

O plano de ação para essa dissertação foi iniciado com levantamento bibliográfico dos trabalhos de Gallina (2005) e Pinto-Coelho (2007), desenvolvidos anteriormente na mina Rio Bonito. Assim, visando complementar as informações apresentadas nesses trabalhos, o objetivo da pesquisa foi concentrado na variabilidade química do minério (mármore calcítico) da mina Rio Bonito. Desse modo, o trabalho se desenvolveu por meio da caracterização dos tipos litológicos existentes na mina, análise estrutural de detalhe no interior da mina e interpretação de dados químicos do minério.

No presente trabalho, os estudos de variabilidade química das rochas da mina Rio Bonito não foram focalizados exclusivamente na relação CaO x MgO como nos trabalhos anteriores (Gallina, 2005 e Pinto-Coelho, 2007). A variação nos teores de SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> também afetam a qualidade do minério, mostrando a necessidade de estudos de controle geoquímico do minério mesmo fora da zona de rochas dolomíticas, para garantir o controle da qualidade do minério.



## 1.2 LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO

A área pesquisada está localizada no município de Campo Largo, na porção leste do Estado do Paraná a aproximadamente 55 km de Curitiba (FIGURA 02). A principal via de acesso a partir de Curitiba é a BR 277 no sentido Curitiba – Ponta Grossa. Após a entrada no município de Campo Largo a cerca de 30 km, encontra-se a fábrica da Cia de Cimentos Itambé no município de Balsa Nova. A partir da fábrica o acesso à mina Rio Bonito é realizado por estrada secundária com revestimento em concreto por aproximadamente 22 km.

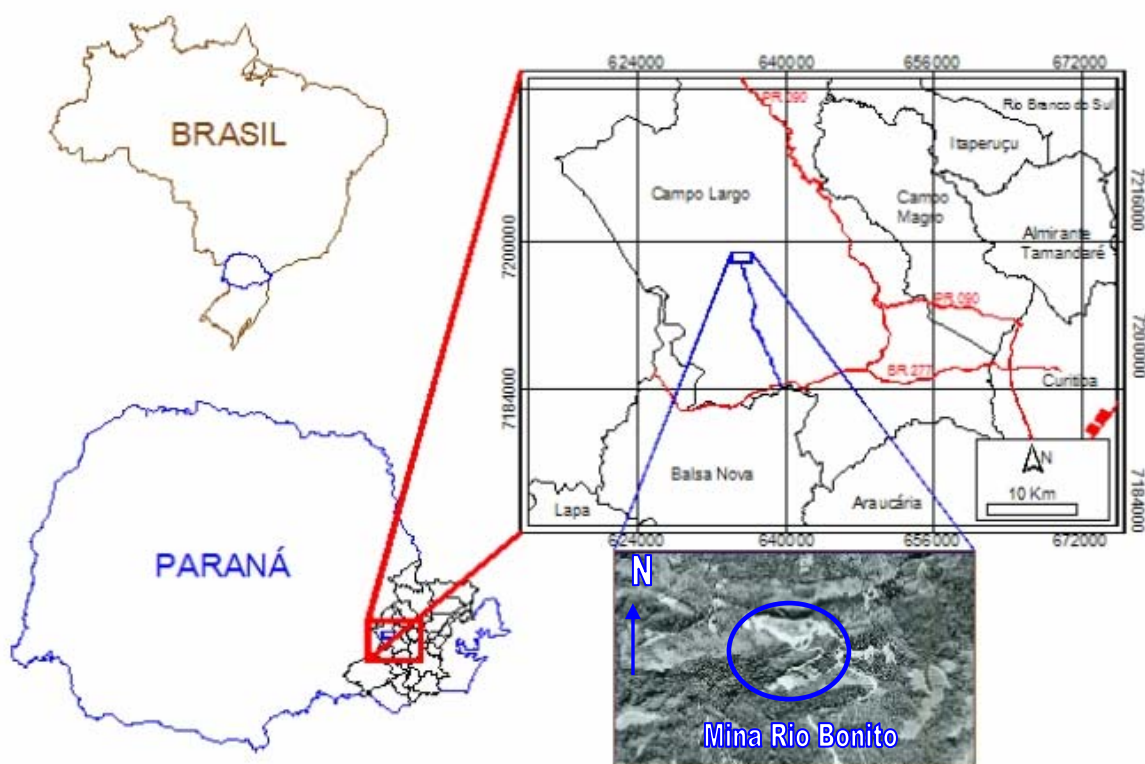


FIGURA 02 - Mapa de localização da área pesquisada.

### **1.3 OBJETIVOS**

O objetivo principal da pesquisa está focalizado na variabilidade química do minério da mina Rio Bonito.

Baseado no objetivo principal almeja-se:

- Compreender as causas da variabilidade química do minério da mina Rio Bonito por meio da integração de dados petrográficos, estruturais e geoquímicos, visando identificar os fatores geológicos que condicionam a variabilidade química.

- Fornecer conhecimento para subsidiar o planejamento estratégico e orientar na exploração do minério contribuindo pra maximizar o aproveitamento do calcário minerado durante o avanço das frentes de lavra.

### **1.4 MATERIAIS E MÉTODOS**

A pesquisa foi iniciada no primeiro semestre de 2007 e envolveu o levantamento bibliográfico de trabalhos anteriores desenvolvidos na área e também foto - interpretação utilizando fotografias aéreas na escala 1: 25000.

No segundo semestre de 2007, a Cia. de Cimentos Itambé forneceu a planta de detalhe do interior da mina em escala 1:10000. Com o uso dessa base cartográfica foram iniciados nesse mesmo semestre os trabalhos de campo. As etapas de campo foram concentradas no interior da mina entre setembro e dezembro de 2007. Durante esses trabalhos foi realizado o mapeamento estrutural da mina por meio da descrição de afloramentos e coleta de dados estruturais. Ao longo das bancadas foram determinados pontos com o uso de GPS e trena de 10 metros

No primeiro semestre de 2008 foi iniciado o estudo geoquímico das rochas da mina Rio Bonito por meio da interpretação de dados químicos de amostras de testemunhos de sondagem. A empresa forneceu os dados químicos de todos os furos da campanha realizada no primeiro semestre de 2008 e também dados anteriores de campanhas realizadas no ano 2000. O total de dados fornecidos é de aproximadamente 1000 análises químicas

No segundo semestre de 2008 foram realizadas análises químicas, mineralógicas e petrográficas de rochas coletadas durante o mapeamento estrutural e também durante a descrição dos furos de sondagem. Essas análises foram

realizadas no LAMIR e permitiram identificar as principais características dos tipos litológicos presentes na mina Rio Bonito.

A fase final do trabalho envolveu a integração dos dados químicos, estruturais e petrográficos para identificar os fatores geológicos que condicionam a variabilidade química do minério da mina Rio Bonito.

#### **1.4.1 Métodos de Trabalho**

##### **a) Levantamento bibliográfico**

A pesquisa foi iniciada com a análise de bibliografia relacionada à variabilidade química de rochas carbonáticas, buscando sempre correlação com os litotipos associados à Formação Água Clara pelo fato das rochas pesquisadas aflorarem nos domínios dessa unidade geológica. A pesquisa foi fundamentada em livros, teses, dissertações e artigos. Também foram realizadas consultas na *internet* e discussões com professores e pesquisadores do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Paraná visando complementar as informações obtidas nas análises bibliográficas.

##### **b) Foto - interpretação**

Com as fotografias aéreas em escala 1:25000 foi realizada a foto- interpretação da área pesquisada. Esta técnica permitiu identificar as principais características do relevo em escala regional, bem como identificar os principais padrões de drenagem existentes. As fotografias aéreas foram obtidas no voo de 18/06/1980 pelo ITC – PR e apresentam os números 50029, 50030, 50031 e 50032. A análise dos principais elementos do relevo, assim como da rede de drenagem da área, permitiu compartimentar a área em zonas homólogas.

##### **c) Trabalhos de campo e cartografia de detalhe**

Após o levantamento bibliográfico e a foto- interpretação foram iniciados os trabalhos de campo direcionados ao mapeamento estrutural de detalhe do interior da mina.

Os dados estruturais foram adquiridos com bússola *Brunton*, envolvendo atitudes de foliações, acamamento sedimentar, fraturas, falhas, eixos de dobras e

estrias de atrito. Os dados obtidos foram posteriormente convertidos para a notação *Clar*. O tratamento e interpretação dos dados foram realizados por meio do programa *Stereonet* (v.2.46) e *Stereonet* (v.3.03) para geração de diagramas estruturais *Schmidt – Lambert* mostrando concentração de pólos e rosetas. A interpretação desses diagramas possibilitou a identificação das principais estruturas geológicas e das principais fases de deformação que afetaram as rochas da área.

A integração entre as informações obtidas no mapeamento de detalhe da mina e os dados estruturais permitiu confeccionar um mapa geológico do interior da mina. A base cartográfica utilizada foi a planta de detalhe em escala 1:10.000 fornecida pela empresa.

#### **1.4.2 Ensaios e análises laboratoriais**

Para caracterização petrográfica, química e mineralógica dos litotipos que afloram na mina Rio Bonito foram realizados ensaios laboratoriais no LAMIR. As técnicas analíticas empregadas serão sucintamente discutidas a seguir

##### **a) Petrografia:**

As análises petrográficas permitiram identificar os minerais e a trama das rochas presentes na mina, sobretudo àquelas de natureza carbonática. Foram confeccionadas 14 lâminas de rochas coletadas ao longo das bancadas e também de testemunhos de sondagem. Na análise petrográfica também foram descritas 6 lâminas confeccionadas no trabalho de Pinto-Coelho (2007). As 6 lâminas utilizadas são denominadas PTC 05 A, PTC 13 - 10, PTC 13 – 34, DS- 2, PTC 01 – A e PTC 02. O microscópio utilizado no LAMIR é da marca *Olympus*, modelo BX 60. A câmera para captura de imagens petrográficas acoplada ao microscópio é da marca *Sony*, modelo DXC – 107 A / 107AP. A resolução máxima dessa câmera corresponde 768 x 494 (107 A) / 752 / 582 (107 AP). O software utilizado para a captura de imagens é o *Image ProPlus* versão 4.5.0.19

## **b) Fluorescência de raios X (FRX)**

Todas as análises químicas apresentadas nesse trabalho foram realizadas por meio da técnica de fluorescência de raios X. A Cia. de Cimentos Itambé forneceu dados químicos referentes à cerca de 1000 análises realizadas em testemunhos de sondagem. Foram selecionadas 21 amostras pontuais, coletadas durante as etapas de descrição de testemunhos de sondagem, para análises complementares no LAMIR.

A análise de fluorescência de raios X tem como objetivo determinar a composição química da rocha. O equipamento utilizado no LAMIR é um espectrômetro da marca Philips, modelo PW 2400 com tubo de Rh (ródio). Esta análise é realizada por dispersão de comprimentos de onda, podendo ser utilizada para identificar e quantificar as concentrações dos elementos presentes em amostras sólidas, em pó ou líquidas. O espectrômetro de fluorescência de raios X mede a intensidade de transições eletrônicas das camadas K, L e M dos elementos químicos presentes nas amostras quando irradiada com raios X (Santin Filho, 1995).

No LAMIR, a análise de rochas carbonáticas é realizada por meio de uma linha analítica específica. Essa linha permite quantificar a presença dos seguintes elementos: CaO, MgO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, SrO, TiO<sub>2</sub>, MnO e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, sendo ideal para a caracterização química de rochas carbonáticas e margas. Os limites de detecção são capazes de quantificar elementos a partir de 0,01 %.

O método analítico utilizado pelo LAMIR para as análises químicas envolve inicialmente a pulverização do material de interesse e posteriormente a confecção de pérolas ou pastilhas prensadas. As pérolas são obtidas através da pesagem de 0,9 gramas do material, mais 9 gramas do fundente tetraborato de lítio (Li<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>). Após a fase de pesagem, o material é submetido à fusão. O equipamento utilizado no LAMIR é uma fusora do fabricante *Claisse*, modelo *Fluxy*. O material é inserido dentro de cadinhos de platina e submetido a aquecimento progressivo até 1100°C. Quando é necessário quantificar a presença de elementos voláteis nas amostras o material é analisado por meio de pastilhas prensadas. A confecção de pastilhas prensadas envolve a pesagem de 7 gramas de cera orgânica do tipo *Licowax*, fabricada pela *Hoechst*, misturada a 1,4 gramas de material. Após a pesagem o material é submetido à prensagem. O equipamento utilizado no LAMIR é uma

prensa modelo *Pfaff*. O programa utilizado corresponde ao programa 3 onde o material pulverizado é submetido a uma pressão de 20 ton/cm<sup>2</sup>.

### **c) Difração de raios - X (DRX)**

A difração de raios X é uma técnica que permite a identificação das fases minerais presentes nos materiais. Nos trabalhos de descrição dos furos de sondagem foram selecionadas 5 amostras para análises mineralógicas no LAMIR.

A estrutura cristalina de um cristal consiste na distribuição tridimensional regular dos átomos no espaço. O arranjo entre os átomos gera diversos planos paralelos separados um do outro por uma distância  $d$ , que varia de acordo com a natureza do material. Em todos os cristais os planos existem com combinações diferentes onde cada combinação possui sua distância própria ( $d$ -afastamento específico). Um feixe de raios X monocromático com comprimento de onda  $\delta$  ao ser projetado em um material cristalino com um ângulo  $\theta$  somente produzirá difração quando a distância em que viajarem os raios refletidos diferir por um número completo  $n$  dos comprimentos de onda (Cullity, 1956; Drenth, 1994).

A variação do ângulo  $\theta$  em matérias policristalinos pode satisfazer a lei de *Bragg* devido à geração de  $d$ -afastamentos diferentes.

A preparação de materiais para análise por difração de raios – X envolve a técnica do pó prensado. Essa técnica consiste na prensagem do material pulverizado que é acoplada em chapas de alumínio específicas contra uma placa de vidro. O objetivo é gerar uma superfície perfeitamente lisa para a posterior incidência dos raios – X.

O aparelho utilizado no LAMIR é um difratômetro da marca PHILIPS, modelo PW 1830 com ânodo de Cu (Cu  $K\alpha_1 = 1,5406 \text{ \AA}$ ), gerador de tensão e corrente ajustados para 40 Kw e 40 mA. O banco de dados utilizado é o PDF – 2 e o software utilizado para a interpretação dos difratogramas produzidos é o *X – Pert High Score Philips*.

### **1.4.3 Tratamento de dados químicos fornecidos pela Cia de Cimentos Itambé**

As análises químicas realizadas pela Cia. de Cimentos Itambé foram concentradas nos testemunhos de sondagem recuperados. As sondagens foram realizadas na face norte da mina com inclinações variando entre 30° e 45° em relação ao norte. Os dados fornecidos são referentes a campanhas de sondagens realizadas em 2000 e em 2008. O método analítico utilizado pela empresa consiste na análise química por fluorescência de raios X (FRX) de metro em metro de rocha perfurada. Em um intervalo de um metro perfurado é separada manualmente metade dessa quantidade de rocha recuperada para análise química. A outra metade é armazenada em caixas de madeira. Essas caixas são subdivididas em cinco porções, podendo armazenar até cinco metros de rocha recuperada por caixa. Os resultados geoquímicos fornecidos pela empresa foram tratados por meio do *software Grapher*, licenciado pela PETROBRAS para uso no LAMIR em estudos quimioestratigráficos. Os gráficos gerados permitiram interpretar os principais padrões de variabilidade química das rochas da mina Rio Bonito em função da profundidade.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 HISTÓRICO DA EXPLORAÇÃO DA MINA RIO BONITO**

A seguir será realizada uma breve apresentação do histórico da exploração da mina Rio Bonito. As informações a seguir foram obtidas através do site da Cia. de Cimentos Itambé.

A Cia. de Cimentos Itambé é a proprietária da mina Rio Bonito e atua no ramo da indústria do cimento desde 1976. A empresa foi fundada no dia 1º de março de 1968, como empresa Itambé de Mineração Ltda. As atividades eram focalizadas na pesquisa dos calcários no município de Campo Largo, na localidade de Rio Bonito. Naquela época o objetivo da empresa já estava focado na futura implantação de uma fábrica de cimentos para atender as demandas do mercado do sul do Brasil.

Em 1970, o Ministério de Minas e Energia homologou a aprovação do projeto de lavra e jazida de calcário, transformando-se em sociedade anônima em 31 de dezembro, com a denominação Cia. de Cimentos Itambé. No mesmo ano, a companhia adquiriu uma área de aproximadamente 60 alqueires às margens da BR 277, no município de Balsa Nova (PR) para a implantação da fábrica.

No ano de 1971, a Itambé obteve a aprovação do Ministério da Indústria e Comércio para a construção de uma unidade industrial com capacidade de produção de 1.050 ton./dia, correspondendo a 400.000 toneladas de cimento por ano.

Em abril de 1972, a empresa assinou um contrato de fornecimento de equipamentos para a fábrica de cimento com tecnologia via seca, que constituía um processo mais moderno e econômico. No segundo semestre de 1972 foram iniciadas as obras civis visando aperfeiçoar toda infra - estrutura requerida no processo de extração e produção de cimento.

No dia 18 de dezembro de 1976 foi realizada a expedição do primeiro saco de cimento.

A partir de 1986, a expansão e modernização nas linhas de produção possibilitaram um aumento da capacidade para 1.800 toneladas de clínquer / dia, o equivalente a 700.000 toneladas de cimento / ano.

Em 1993 foi implantado o Projeto Fênix que consiste no Processamento de Derivados Industriais, desenvolvidos pela Itambé em parceria com as empresas Transforma Engenharia e OSM ambiental.



No ano de 1996, a empresa concluiu um programa de investimentos de US\$ 100 milhões para a implantação de uma segunda linha, totalmente automatizada, aumentando a capacidade de produção para 1,5 milhão de toneladas de cimento / ano.

Com recursos próprios, em 1997 a empresa investiu na pavimentação do trecho de 3,1 km que faz ligação com a BR-277 e o acesso à sua fábrica, em Balsa Nova (PR), aplicando a tecnologia de pavimentação em concreto. A Itambé lança novas embalagens para seus sacos de cimento, diferenciando cada tipo por cores.

Em 1998, A Itambé lançou o cimento Portland que consiste num produto com alta resistência inicial e resistência à ação de sulfatos. A empresa também inicia, em 1998 um programa de investimento de R\$ 40 milhões na modernização e ampliação de sua fábrica em Balsa Nova.

Em 2000, é concluída a rodovia de acesso entre a fábrica da Itambé e a jazida de calcário. A estrada torna-se um verdadeiro laboratório de testes, apresentando diversas técnicas de pavimentação ao longo de 23 km de extensão: concreto simples, concreto armado, blocos de concreto intertravado e asfalto sobre base cimentada. Os trechos têm variações nas espessuras das camadas de revestimento e de base.

Em março de 2007 foi adotada uma solução técnica que possibilitou a redução da quantidade de materiais particulados sólidos emitidos para a atmosfera durante o processo de fabricação de cimento. Com a modernização do eletrofiltro da empresa, a emissão de material particulado sólido passou a ser de  $2\text{mg}/\text{Nm}^3$ , 35 vezes menor do que a quantidade permitida por lei.

Em julho de 2008 a empresa anunciou investimentos projetando um aumento na produção de cimento, por meio da construção de mais um forno. Com essa nova estrutura é esperada a produção de 1,3 milhão de toneladas de cimento / ano, com previsão para o início de suas atividades no segundo semestre de 2011.

## 2.2 ROCHAS CARBONÁTICAS COMO MINÉRIO PARA A INDÚSTRIA DO CIMENTO

Desde a antiguidade, o homem busca por materiais com grande durabilidade e resistência as condições climáticas. Os egípcios usavam lama retirada da várzea do rio Nilo e a combinavam com uma espécie de gesso. Esses dois materiais podem

ser identificados até hoje em certos monumentos e obras. Os romanos foram os povos que apresentaram pela primeira vez um aglomerante denominando *caementum*. Esse termo se consagrou ao longo dos séculos e acabou por originar a palavra cimento. Em 1824, Joseph Aspdin patenteou um sistema utilizado até hoje. O método de Aspdin consiste na mistura de calcário + argila, finamente pulverizados em meio úmido, queimados em forno e depois pulverizados novamente. A grande diferença para os processos atuais consiste no fato de que hoje o processamento do material pulverizado pode ser desenvolvido em meio seco (Lea, 1970).

Atualmente, além de calcário e argilas, são usados também alguns óxidos como bauxita e minério de ferro. Essas substâncias são usadas em pequenas quantidades, para ajustar as quantidades de óxidos (CaO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) exigidos no processo de fabricação do clínquer. A presença dos óxidos acima mencionados corresponde a 95% da composição do clínquer (Aoki, 2007).

O clínquer é uma rocha artificial gerada pela mistura dos materiais acima mencionados. Essa rocha artificial é retirada de fornos onde a temperatura cresce progressivamente até 1450°C, sendo submetida a um brusco resfriamento (90°C). Outros tipos de rochas, como as ígneas e sedimentares, constituem fontes abundantes de sílica, ferro e alumínio. Contudo o cálcio que constitui a fonte principal do cimento é obtido apenas em tipos específicos de rochas carbonáticas (Aoki, *op. cit.*).

A composição mineralógica do clínquer envolve principalmente silicatos de cálcio e secundariamente aluminatos e ferro – aluminatos de cálcio (QUADRO 01).

<b>Componente</b>	<b>Fórmula</b>
Silicato Tricálcico	C3S alita
Silicato Bicálcico	C2S belita
Aluminato Tricálcico	C3A aluminato
Ferro-Aluminato Tetracálcico	C4AF ferrita

QUADRO 01 - Principais componentes do clínquer.  
 FONTE: Lea (1970).

A síntese destes componentes é função da composição química da farinha crua e das composições físicas de operação do forno. Como alguns componentes são instáveis é necessário um resfriamento rápido para estabilizá-los (Lea, *op. cit.*).

Os afloramentos de calcário na superfície terrestre ocorrem de várias formas de acordo com a época e tipo de formação. Nas rochas carbonáticas utilizadas para a produção de cimento, o teor de  $\text{CaCO}_3$  deve estar entre 80 e 85% (Aoki, 2007).

Entretanto, a presença de determinados minerais nas rochas carbonáticas constitui problemas para o processo de fabricação do cimento. O óxido de magnésio ( $\text{MgO}$ ) é um motivo de preocupação na prospecção e exploração das jazidas. Este óxido, ao entrar em contato com água no concreto ou argamassa, sofre hidratação passando progressivamente para hidróxido de magnésio  $\text{Mg(OH)}_2$ . Esse processo de hidratação é definido pela expansão do volume do material, gerando trincas e fissuras (Aoki, *op. cit.*).

No Brasil existem diversas normas técnicas estabelecidas pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) para a produção de cimento (QUADRO 02)

<b>Norma</b>	<b>Tipo de cimento</b>
NBR 5732	Cimento Portland Comum
NBR 11578	Cimento Portland Composto
NBR 5737	Cimento Portland de alto – forno
NBR 5736	Cimento Portland Pozolânico
NBR 5733	Cimento Portland de alta resistência
NBR 5737	Cimento Portland resistente aos sulfatos
NBR 13116	Cimento Portland de baixo calor de hidratação
NBR 12989	Cimento Portland branco
NBR 9831	Cimento para poços petrolíferos

QUADRO 02 - Principais normas técnicas brasileiras relacionadas a tipos específicos de cimento.  
 FONTE: [http://www.abcp.org.br/downloads/arquivos\\_pdf/BT106\\_2003.pdf](http://www.abcp.org.br/downloads/arquivos_pdf/BT106_2003.pdf) (acessado em 24/01/2009)

Todas essas normas estabelecem um limite máximo de 6,5% para o teor de óxido de magnésio nos cimentos brasileiros, com exceção do Cimento Portland de alto-forno, onde a presença de escória permite que não haja limite para a quantidade de  $\text{MgO}$ . A escória é um produto quimicamente parecido com o clínquer Portland, pois contém uma quantidade considerável de silicato dicálcico e por vezes silicato tricálcico (George & Sorrentino, 1980). A substituição parcial do calcário por escória de aciaria tem como vantagens uma economia de energia devido à redução do calor de formação do clínquer e a diminuição da formação de gases, especialmente o  $\text{CO}_2$ , nocivo à atmosfera (Sersale *et al*, 1986).

### 2.2.1 Composição potencial do clínquer

Com base em cálculos físico-químicos onde se admite condições ideais é possível obter a composição mineralógica do clínquer. Esta composição é dita POTENCIAL, pois a mistura crua teria a potencialidade de gerar tal clínquer, ou seja, em condições ideais de formação, o clínquer tenderia a composição calculada.

A identificação precisa da composição mineralógica do clínquer é realizada por meio de microscopia óptica. Contudo o processamento do ensaio é lento. A análise por difração de Raios-X consiste numa técnica mais rápida, onde são analisados os cristais formados, com a utilização de um difratômetro, e o posterior tratamento dos dados em computador com o uso de *software* específico.

As diferenças observadas entre a composição POTENCIAL e a obtida por microscopia ou difração de Raios-X é motivada por variações do processo industrial e pelo fato que nas deduções das equações, admitem-se estados ideais e composições puras entre cálcio, sílica, alumínio e ferro.

A partir da análise química elementar do clínquer é possível calcular sua composição potencial pelas fórmulas de Bogue que foram modificadas por Lea, (1970) (Quadro 03)

$$\begin{aligned} C4AF &= 3,04 \times (\% Fe_2O_3) \\ C3A &= 2,65 \times (\% Al_2O_3) - 1,69 \times (\% Fe_2O_3) \\ C2S &= 8,60 \times (\% SiO_2) + 2,97 \times (\% Al_2O_3) + 2,98 \times (\% Fe_2O_3) - 3,07 \times (\% CaO-Cal\ livre) \\ C3S &= 4,07 \times (\% CaO-Cal\ livre) - 7,6 \times (\% SiO_2) - 4,92 \times (\% Al_2O_3) - 4,23 \times (\% Fe_2O_3) \end{aligned}$$

QUADRO 03 - Composição potencial dos componentes do clínquer baseados nas fórmulas de Bogue e modificados por Lea (1970).

Apesar dos desvios observados, o cálculo da composição Potencial é utilizado normalmente nas fábricas e estabelece-se uma correlação entre esta e as propriedades do cimento. Também se utiliza a composição Potencial para o proporcionamento da mistura crua (Lea, 1970; Duda, 1977).

### 2.2.2 Módulos de saturação

A seguir serão discutidos os módulos de saturação para CaO, SiO<sub>2</sub> e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. As informações foram sintetizadas com base no trabalho de (Lea, *op. cit.*).

a) Módulo de Saturação em Cal (CaO)

O “Fator de Saturação de Cal” (FSC) consiste na relação ideal entre a quantidade de cal presente e a quantidade máxima possível de Sílica e fundentes no equilíbrio químico de máxima formação de C3S.

No processo de clinquerização, devem ser satisfeitas as seguintes premissas (QUADRO 04):

- Todo o Ferro presente deve ser combinado com Cálcio e Alumínio formando C4A
- O Alumínio restante da formação de C4AF deve ser combinado com mais Cálcio para formar C3A
- Todo o Silício presente combinará com o Cálcio para formar C3S

QUADRO 04 - Premissas de comportamento das substâncias para o desenvolvimento do processo de clinquerização.

Dessa forma é possível calcular estequiometricamente a cal máxima possível:

$$\text{Cal Máxima Teórica} = 2,8 \text{ SiO}_2 + 1,18 \text{ Al}_2\text{O}_3 + 0,65 \text{ Fe}_2\text{O}_3$$

O fator de saturação de Cal (FSC) é determinado por meio da relação entre o teor real de cal na mistura e o valor máximo teórico calculado através da fórmula acima.

Dessa forma é possível estabelecer a seguinte equação (QUADRO 05):

$$\text{Fator de saturação} = \frac{\text{Teor real de cal na mistura}}{\text{Valor máximo teórico de cal na mistura}} \times 100$$
$$\text{SAT} = \frac{\text{CaO}}{2,8 \text{ SiO}_2 + 1,18 \text{ Al}_2\text{O}_3 + 0,65 \text{ Fe}_2\text{O}_3} \times 100$$

QUADRO 05 - Equação representando o fator de saturação em Cal (CaO).

A faixa normal de valores para o módulo de saturação em Cal é a seguinte:

90 a 95%      —————> CLÍNQUER PORTLAND COMUM

95 a 102 %    —————> SUPER CLÍNQUER

A Saturação é o Módulo mais importante na composição da mistura crua. Ela determina a quantidade de C3S formado no clinquer. No estado de saturação 100% todo o C2S se transforma em C3S segundo a reação:



Quando há falta de CaO, a saturação é baixa e parte do C2S permanece sem se transformar em C3S. No caso de excesso de CaO, a saturação torna-se elevada e admite-se que todo o C2S é transformado em C3S, sobrando ainda cal livre

Um aumento de 1% na concentração de CaCO<sub>3</sub> na mistura crua gera:

- Aumento de 14,2% na porcentagem potencial de C3S
- Decréscimo de 11,6% na porcentagem potencial de C2S
- Aumento na temperatura de clinquerização
- Aumento na quantidade de cal livre
- Aumento do tempo de retenção na zona de queima

Quando se trabalha com combustíveis de alto teor de cinza, deve-se elevar a saturação da mistura crua, de tal forma que quando o clínquer receber essa mistura atinja a composição ideal de máximo C3S.

A seguir serão sintetizados os principais efeitos ligados a saturação elevada e a saturação baixa de Cal (QUADRO 06)

SATURAÇÃO ELEVADA EM CaO	SATURAÇÃO BAIXA EM CaO
Exige maior grau de finura do cru para permitir a completa reação durante a clinquerização, de tal forma que evite a formação de cal livre.	Não exige que a mistura crua tenha elevada finura.
Exige maior consumo de combustível na descarbonatação e clinquerização. Para melhor rendimento do processo é necessário mais calor na clinquerização.	Exige menor consumo de combustível para clinquerização adequada de mistura.
Produz super clínquer, com elevada concentração de C3S. Cimento de maior resistência mecânica.	Origina clínquer com maior teor de C2S e portanto evolução das resistências mais lentas e menores.
Resulta um cimento com calor de hidratação mais elevado.	Resulta em cimento com calor de hidratação mais baixo.
Resulta em clínquer mais fácil de moer, reduzindo o consumo energético em KW hora/t de cimento.	Resulta em clínquer mais difícil de moer.
Resulta em clínquer mais fácil de moer, reduzindo o consumo energético em KW hora/t de cimento.	Facilita a formação de colagens da zona de clinquerização.
Dificulta a formação de colagens na zona de clinquerização do forno.	

QUADRO 06 - Principais efeitos ligados à saturação elevada e a saturação baixa de CaO  
 FONTE: Lea (1970)

#### b) Módulo de saturação em Sílica (SiO<sub>2</sub>)

O módulo de saturação em Sílica consiste na relação numérica entre a porcentagem de SiO<sub>2</sub> e a soma das porcentagens de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> existente na mistura crua ou clínquer, conforme a fórmula a seguir (QUADRO 07).

$$\text{Módulo de saturação.} = \frac{\text{Porcentagem de SiO}_2 \text{ na mistura crua}}{\text{Soma das porcentagens Al}_2\text{O}_3 \text{ e Fe}_2\text{O}_3 \text{ na mistura crua}}$$

↓

$$\text{M.S.} = \frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3}$$

QUADRO 07 - Equação representando o módulo de saturação de Sílica (SiO<sub>2</sub>)

A faixa normal de valores para o fator de saturação em SiO<sub>2</sub> ocorre entre 1,8 e 3,4, sendo mais comuns os valores entre 2,4 a 2,7 .

A importância do módulo de saturação em SiO<sub>2</sub> está no fato de exprimir uma correlação entre os componentes com elevada atividade hidráulica (C3S e C2S) e a “fase líquida” (C3A e C4AF).

Quanto maior o módulo de saturação em SiO<sub>2</sub>, maior a quantidade de silicatos e menor a fase líquida.

Para ajustar o módulo de saturação em sílica, é comum a utilização de areia, pois as argilas nem sempre possuem o teor de SiO<sub>2</sub> necessário para a obtenção do módulo de saturação em sílica estabelecido para a mistura crua.

Ao utilizar areia deve-se levar em conta que as partículas de SiO<sub>2</sub> (Quartzo), obtidas após a moagem, são relativamente grandes e de baixa reatividade se comparadas com a sílica proveniente das argilas. Isto implica na necessidade de controlar a adição de areias.

A seguir serão sintetizados os principais efeitos ligados à saturação elevada e a saturação baixa de Cal (QUADRO 08).

SATURAÇÃO ELEVADA EM SiO <sub>2</sub>	SATURAÇÃO BAIXA EM SiO <sub>2</sub>
Origina clínqueres com alto teor de Silicatos ( C3S e C2S ) , portanto cimentos com elevada resistência mecânica.	Origina clínqueres com baixo teor de Silicatos e portanto cimentos com baixa resistência mecânica.
Quando um M.S. elevado está conjugado com uma saturação também elevada, origina cimentos com elevado calor de hidratação.	Origina clínqueres com alta percentagem de fase líquida, facilitando a reação de clínquerização e granulação do clínquer.
Origina clínqueres com baixa percentagem de fase líquida, dificultando desta forma a reação de clínquerização e a granulação do clínquer.	Exige menor consumo de combustível para clínquerização adequada da mistura crua.
Exige maior consumo de combustíveis para clínquerização da mistura crua.	Facilita a formação de colagem na zona de clínquerização, reduzindo o consumo de refratários nessa zona.
Dificulta a formação de colagens na zona de clínquerização, aumentando o consumo de refratários nessa zona.	

QUADRO 08 - Principais efeitos ligados a saturação elevada e a saturação baixa de SiO<sub>2</sub>  
 FONTE: Lea (1970)

Gouda (1977) estudou o efeito do Módulo de sílica na temperatura de clínquerização de uma mistura crua típica (FIGURA 03).

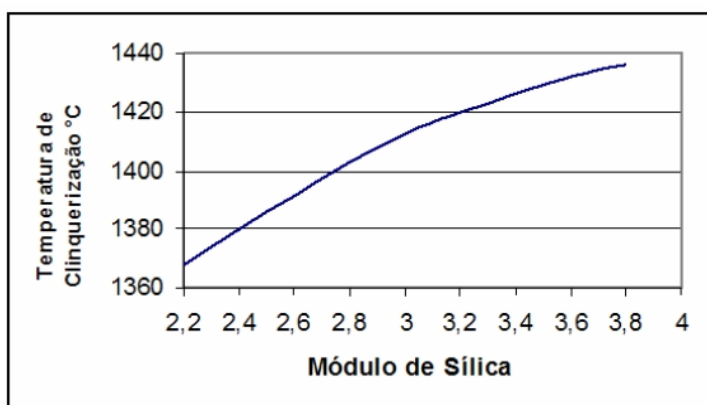


FIGURA 03 - Efeito do módulo de sílica na temperatura de clínquerização de uma mistura crua típica  
 FONTE: Gouda (1977)

### c) Módulo de saturação em Alumínio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)

Esse módulo de saturação também é conhecido como módulo de ferro e consiste na relação entre as porcentagens de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> presentes na mistura crua (QUADRO 09)

$$\text{Módulo de saturação} = \frac{\text{Porcentagem de Al}_2\text{O}_3 \text{ na mistura crua}}{\text{Porcentagem de Fe}_2\text{O}_3 \text{ na mistura crua}}$$

$$\downarrow$$

$$M. A. = \frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{Fe}_2\text{O}_3}$$

QUADRO 09 - Equação representativa do módulo de saturação em Alumínio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)



A faixa de valores considerados normais para o módulo de saturação em  $\text{Al}_2\text{O}_3$  varia de 0,5 a 2,5 com valores médios entre 1,5 e 2,0.

Esta relação define a composição da fase líquida, pois durante a clínquerização, forma-se inicialmente o C4AF enquanto o  $\text{Al}_2\text{O}_3$  remanescente corresponde à substância que irá formar o C4A. Quanto mais baixo o módulo de saturação em  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , maior o percentual de C4AF e menor o percentual de C3A.

O C4AF é o componente mais resistente aos ataques químicos, tornando por esse aspecto os cimentos especialmente resistentes às águas sulfatadas.

O C3A produz compostos durante a hidratação do tipo sulfo-aluminato de cálcio (Etringita) que é muito solúvel em águas ácidas ou salinas (mar). Assim quando se deseja utilizar um concreto em meio agressivo utiliza-se um cimento de clínquer de baixo módulo de saturação em  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , alto C4AF e baixo C3A.

O ponto de equilíbrio para o módulo de saturação em  $\text{Al}_2\text{O}_3$  onde não se formará mais o C3A é 0,65. Raras são as matérias primas que permitem a confecção de cimento nesta faixa de valor. Este cimento é conhecido com o nome de Ferrari.

Uma vantagem marcante no clínquer com alta concentração de C3A é que a reação deste, na hidratação do cimento com o gesso, é rápida produzindo um cimento com as resistências iniciais mais altas.

O C3A é o componente que apresenta o mais elevado calor de hidratação, daí a necessidade do controle do teor de C3A de cimentos empregados em obras que exijam grandes volumes de concreto. O calor gerado na hidratação do cimento tem dificuldades de dissipar-se, elevando a temperatura do concreto, de tal forma que a dilatação térmica dos corpos provoca o aparecimento de trincas na estrutura.

O C3A também é um dos responsáveis pelas reações de endurecimento inicial do cimento, conhecido pelo nome de pega.

A viscosidade da fase líquida é maior quanto maior for o módulo de saturação em  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Assim maior quantidade de C4AF torna a fase líquida menos viscosa, facilitando a formação dos compostos do clínquer e a nodulação do mesmo.

O módulo de saturação em  $\text{Al}_2\text{O}_3$  determina muitos fatores na produção do clínquer, onde os mais importantes são:

- Necessidade de cumprir com requisitos químicos na fabricação de cimentos resistentes a sulfatos ou de baixo calor de hidratação.

- Necessidade de fomentar a nodulização do clínquer, facilitando o trabalho do resfriador de grelha e reduzindo o retorno de pó para o forno,
- Disponibilidades nas matérias primas para atingir tais módulos.
- Fomentar a formação de colagens na zona de clínquerização.
- Reduzir o consumo de combustível

Gouda (1977) analisou o efeito do módulo de saturação em  $\text{Al}_2\text{O}_3$  na temperatura de clínquerização de uma mistura crua típica (FIGURA 04)

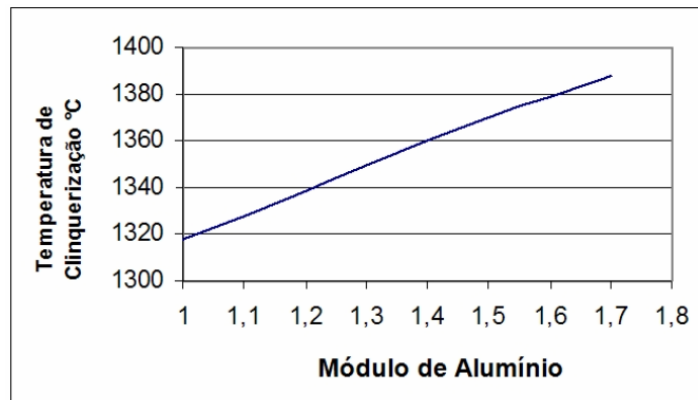


FIGURA 04 - Efeito do módulo de alumínio na temperatura de clínquerização de uma mistura crua típica  
FONTE: Gouda (1977)

## 2.3 CARACTERÍSTICAS DAS ROCHAS CARBONÁTICAS

### 2.3.1 Classificação química e mineralógica das rochas carbonáticas com base no conteúdo em MgO

Os calcários são rochas sedimentares de origem bioquímica, constituídas essencialmente por minerais carbonáticos (calcita, dolomita, etc). As cores dessas rochas frequentemente refletem os minerais presentes nesses litotipos. A cor cinza escura normalmente é indicativa da presença de materiais argilosos associado com matéria orgânica. Nas rochas com tonalidades claras que variam desde branco puro até marrom claro, cinza ou rosa, possivelmente apresentam essas cores em função do tipo de carbonato presente nessas rochas (Flugel, 2004).

Dolomitos correspondem a rochas compostas principalmente por dolomita  $[\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2]$ . O mineral dolomita é um sal duplo constituído por 45,7% de  $\text{MgCO}_3$  e 54,3% de  $\text{CaCO}_3$  ou na representação por óxidos: 21,8% de MgO, 30,4% de CaO e 47,8% de  $\text{CO}_2$  (Adam, 2004).

A seguir são apresentados critérios de classificação e nomenclatura com base na relação magnésiana (MgO / CaO) (QUADRO 10). Essa classificação tem como objetivo principal restringir a presença de calcários magnesianos, indicando valores admissíveis de MgO nessas rochas para a produção de cimento de acordo com valores fixados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (Guimarães, 2005).

Denominação	Equivalência de MgO aproximada	% MgO / CaO aproximada
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 10 - Relação MgO / CaO proposta por Bigarella (1953)

No estudo de rochas carbonáticas metamorfisadas ocorre muita polêmica com relação aos critérios necessários para a denominação dessas rochas. Não existe uma padronização definida junto aos autores quanto à utilização dos termos metacalcário e mármore. Os trabalhos de Pettijohn (1949) e Bigarella (1953),

embora antigos, possibilitam uma investigação eficiente das diferenças existentes entre esses dois termos (QUADRO 11).

<b>Termo</b>	<b>Descrição</b>
Meta	O termo “meta” empregado como sufixo nas rochas carbonáticas é aplicado a rochas que sofreram um metamorfismo incipiente, onde é possível observar estruturas singenéticas preservadas. Nessas circunstâncias o metamorfismo foi desenvolvido na Fácies Xisto Verde – Zona da clorita (Bigarella, 1953)
Mármore	O termo “mármore” deve ser empregado quando houver indícios de recristalização em função da atuação do metamorfismo. Nessa situação, o termo deve ser antecedido pela maior incidência de minerais constituintes de calcários como por exemplo: dolomita mármore

QUADRO 11 - Classificação de rochas carbonáticas segundo a intensidade de metamorfismo  
 FONTE: Pettijohn (1949) e Bigarella (1953)

Na classificação petrográfica das rochas carbonáticas recristalizadas, devem ser enfatizados os estudos essencialmente mineralógicos e texturais, evitando investigações de cunho genético (Guimarães, 2005). Dessa forma, segundo os trabalhos de Leighton e Pendexter (1962) e Pettijohn (1975), podem ser estabelecidos critérios de classificação de rochas carbonáticas de acordo com as informações sintetizadas abaixo (QUADRO 12).

<b>Relação Calcita :</b>	<b>Arranjo Textural</b>	
<b>Dolomita</b>	<b>Granular Cripto / Microcristalino</b>	<b>Granoblástico</b>
90 : 10	Metacalcário	Calcita - mármore
55 : 45	Metacalcário dolomítico	Dolomita – calcita - mármore
45 : 55	Metadolomito calcítico	Calcita – dolomita - mármore
10 : 90	Metadolomito	Dolomita - mármore

QUADRO 12 - Classificação petrográfica para rochas carbonáticas  
 FONTE: Leighton e Pendexter (1962) e Pettijohn (1975)

No quadro 12, as denominações metacalcário na coluna central e calcita e dolomita na coluna da direita, foram estabelecidas por meio de um arranjo textural (grau de recristalização) verificado ao microscópio, não refletindo indicações diretas de diferentes graus metamórficos (Guimarães, *op. cit.*)

As denominações referentes à textura estão baseadas no trabalho de Williams *et. al.* (1970), e são definidas da seguinte forma:

- Textura granular macrocristalina (granoblástica), aquela com agregados de grãos com diâmetros superiores a 0,2 mm.
- Textura granular microcristalina aquela com agregados de grãos com diâmetro variando entre 0,01 e 0,2 mm e:

- Textura granular criptocristalina aquela com agregados de grãos menores que 0,01 mm.

De acordo com Frazão e Paraguassu (1998), tomando como base o teor em MgO, os calcários podem ser classificados em:

a) Calcário calcítico ( $\text{CaCO}_3$ ): Rochas onde o teor em MgO varia de 0 a 4%. Por apresentar maior quantidade de cálcio, a rocha pode ser quebrada com maior facilidade, gerando superfícies uniformes e planas. Por apresentar uma baixa quantidade de carbonato de magnésio, esse tipo de calcário exige maior temperatura para o processo de descarbonatação;

b) Calcário magnesiano ( $\text{MgCO}_3$ ): Rochas onde o teor de MgO varia de 4 a 18%. A presença maior de carbonato de magnésio permite temperaturas menores para o processo de descarbonatação;

c) Calcário dolomítico [ $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ]: Rochas com teor de MgO acima de 18 %, possuindo dessa forma temperaturas ainda menores que os calcários magnesianos para o processo de descarbonatação.

### 2.3.2 Classificação de rochas carbonáticas com base no conteúdo de $\text{SiO}_2$ livre e material argiloso

A grande variabilidade no conteúdo químico das rochas carbonáticas possibilita enquadrar estas litologias no diagrama triangular de Alling (1945). Esse é um instrumento clássico de classificação de rochas sedimentares com granulação fina proposto pelo autor.

O diagrama permite estabelecer classificações para rochas lutáceas por meio da proporção relativa de três componentes principais (argilominerais, sílica e carbonatos) localizados nos vértices do triângulo (FIGURA 05). O uso do diagrama triangular de Alling não é restrito a rochas terrígenas, pois diversas rochas lutáceas carbonáticas e silicosas possuem origem química e/ou biogênica. A utilização também não é limitada a rochas alóctones, pois rochas calcárias e silicosas podem ser geradas por precipitação direta *in situ*. A utilização da classificação de Alling mostra grande funcionalidade, pois evidencia de forma fiel os diferentes processos

de mistura de componente terrígenos e não terrígenos verificados na natureza e particularmente nas granulações mais finas (Giannini, 2000).



FIGURA 05 - Diagrama triangular mostrando a classificação composicional de rochas sedimentares lutáceas. Nos vértices do triângulo ocorrem os extremos composicionais. As subdivisões internas mostram as estruturas sedimentares predominantes.

FONTE: Alling (1945)

## 2.4 VARIABILIDADE QUÍMICA DE ROCHAS CARBONÁTICAS

Os processos geológicos atuantes na natureza podem produzir diversas transformações que afetam a composição química das rochas carbonáticas.

A variabilidade química observada em rochas carbonáticas é decorrente de dois processos principais: os processos primários, relacionados à sedimentação, e os processos secundários relacionados a eventos posteriores como diagênese, metamorfismo e hidrotermalismo.

Nesse trabalho, o estudo foi focalizado nas rochas carbonáticas da Formação Água Clara, unidade que constitui a base do Grupo Açungui (Fassbinder, 1996). A área alvo da pesquisa consiste nos mármore calcícticos da mina Rio Bonito da Cia. de Cimentos Itambé.

#### 2.4.1. Variabilidade química associada à sedimentação

A sequência São Silvestre pertencente à Formação Água Clara é caracterizada pela alternância de estratos essencialmente carbonáticos, com estratos granatíferos, quartzosos, intercalados com estratos de metamargas (Fassbinder, 1996).

A frequente intercalação de camadas de mármore calcíticos e metamargas existente na Formação Água Clara é decorrente dos processos iniciais de sedimentação. As evidências alóctones e autóctones dos sedimentos da Sequência São Silvestre mostram que a sedimentação ocorreu em um ambiente de águas profundas do tipo turbidítico (sedimentação alóctone), havendo períodos em que o aporte turbidítico foi substituído por uma sedimentação química com características alóctones. (Fassbinder, *op. cit.*)

#### 2.4.2 Variabilidade química associada à hidrotermalismo

Em rochas carbonáticas constituídas originalmente por calcita, processos posteriores ligados à percolação de fluidos aquecidos podem promover transformações minerais importantes.

Segundo Warren (2000), o processo de dolomitização é caracterizado pela transformação completa ou parcial dos carbonatos de cálcio originais (calcita) em carbonatos de cálcio e magnésio (dolomita). A única fonte portadora de quantidade suficiente de íons  $Mg^{2+}$  capaz de produzir volumes extensos e significativos de dolomita sedimentar é a água do mar (Land, 1980, citado por Warren 2000). As águas marinhas possuem razão Mg / Ca de 3,14 com 1290 ppm de Mg e 411 ppm de Ca, ao passo que nas águas doces, a razão molar Mg / Ca é de 0,44 com 4 ppm de Mg e 15 ppm de Ca (Warren, *op. cit.*)

No trabalho de Hsu (1967), *In Warren (2000)*, a reação ligada à geração de dolomita é:



A dolomitização compreende diversas variáveis, onde as principais são:

- termodinâmicas
- cinéticas
- transferência de massa
- natureza da rocha encaixante

As variáveis termodinâmicas envolvem temperatura, química mineral, grau de ordenamento e pressão. As variáveis cinéticas englobam tempo, temperatura, presença ou ausência de catalisadores e inibidores das reações de precipitação direta ou substituição. Os processos de transferência de massa envolvem sistemas de circulação responsáveis pela remoção de Mg, Ca e CO<sub>3</sub> envolvidos no processo de dolomitização, isto é concentração iônica e composição do fluido. A última variável importante no processo de dolomitização é a natureza da rocha encaixante. O exame da rocha encaixante fornece informações referentes à porosidade, permeabilidade, recristalização/neomorfismo, granulometria e composição mineralógica (Vahrenkamp *et al.* 1991; Davies 1979; Hardie 1987; Nader *et al.* 2004).

Os principais modelos de dolomitização aceitos atualmente serão abordados a seguir com base no trabalho de Gasparrini (2003) e Tucker (1990).

#### a) Dolomitização evaporítica (*sabkha*)

Nesse modelo, ocorre a geração de dolomita maciça a partir de fluidos hipersalinos. Dolomita penecontemporânea é formada pela precipitação direta em lagos costeiros e ambientes evaporíticos (FIGURA 06). Atualmente as maiores concentrações de dolomita são formadas em ambientes costeiros. Crostas dolomíticas são encontradas em planícies de maré como, por exemplo, a de Bahamas e *Andros Island*. Vários exemplos de dolomita gerada em ambientes evaporíticos antigos são associados a planícies de maré. Exemplos de depósitos antigos ocorrem na Formação Lower Carboniferous Aghahranian, Irlanda.



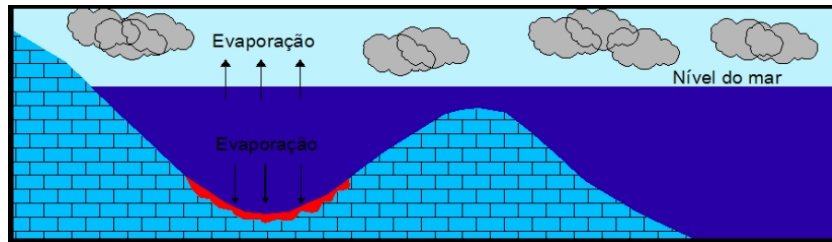


FIGURA 06 - Representação esquemática para o modelo de dolomitização evaporítica (sabkha). Modificado de Gasparrini (2003).

b) Dolomitização por refluxo de escoamento (*Seepage Reflux*)

Modelo definido pela percolação e circulação de fluidos de dolomitização (água do mar) a partir de lagunas costeiras, onde ocorre a migração desses fluidos em direção aos carbonatos sotopostos (FIGURA 07). O processo de circulação envolve uma dinâmica definida pela diferença de densidade entre a água do mar saturada e a água subterrânea.

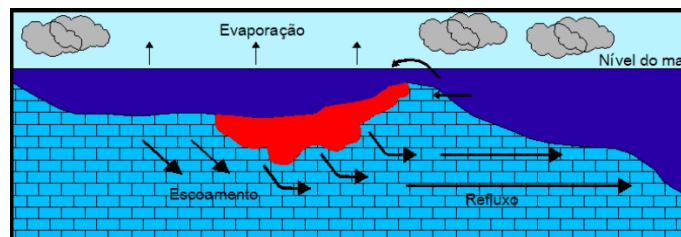


FIGURA 07 - Representação esquemática para o modelo de dolomitização por refluxo de escoamento (Modificado de Gasparrini 2003).

c) Dolomitização por mistura de águas meteóricas e marinha (*Mixing zone*) e por convecção térmica da água do mar

Modelo baseado na proposta de que a dolomitização não ocorre necessariamente na presença de fluidos altamente saturados. Segundo essa teoria, o processo de dolomitização pode ocorrer ainda na presença de água do mar, normal ou diluída. Nesse modelo, a mistura de águas do mar com águas meteóricas produz soluções hipossalinas (FIGURA 08 a). Com a mistura, a razão Mg / Ca diminui, mas ainda se mantém elevada o suficiente para produzir dolomitização.

Existem diversas possibilidades para a circulação desses fluidos, onde existem dois sistemas hidrológicos propostos de maior relevância. O modelo conhecido como convecção de Kohout (FIGURA 08 b) é caracterizado pela convecção térmica da água do mar combinada com refluxo ou evaporação, ou ainda circulação de água do mar em zona mista devido a exposição parcial da plataforma continental.

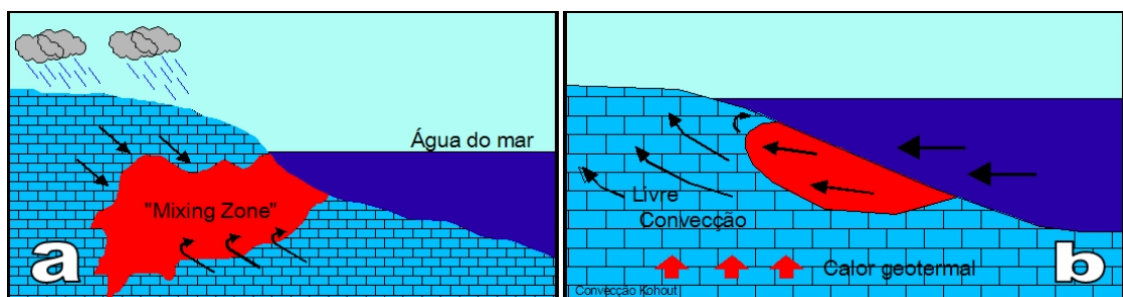


FIGURA 08 - a: Representação esquemática do modelo de dolomitização por mistura de água marinha e meteórica (Modificado de Gasparrini 2003) b) Dolomitização por convecção térmica da água do mar (Modificado de Tucker 1990).

#### d) Dolomitização por soterramento (*burial*)

Esse modelo é fundamentado em evidências de que em condições de soterramento moderado a profundo as propriedades cinéticas necessárias para a geração de dolomita são atingidas mais facilmente em relação às condições superficiais. Com o aumento da temperatura em função da profundidade ocorre uma redução na proporção de  $Mg^{2+}$  hidratado, favorecendo o aumento na taxa de dolomitização. Em função do regime hidrológico e do fluxo do fluido, podem ser individualizados quatro tipos de modelo de dolomitização por soterramento.

##### d.1 - Fluxo por compactação

Modelo definido através da compactação de sedimentos com conseqüente liberação e circulação de fluidos (FIGURA 09).

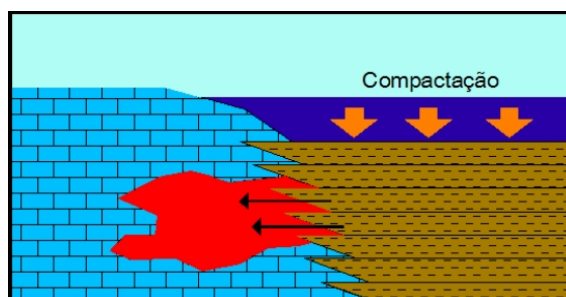


FIGURA 09 - Representação esquemática para o modelo de dolomitização por soterramento através de fluxo por compactação (Modificado de Gasparrini 2003).

##### d.2 - Fluxo com controle topográfico

Processo de dolomitização desenvolvido em cinturões de empurrão expostos à recarga meteórica. Nessa situação, a água circula pela bacia tornando-se enriquecida em Mg em quantidade suficiente para produzir dolomitização (FIGURA 10).

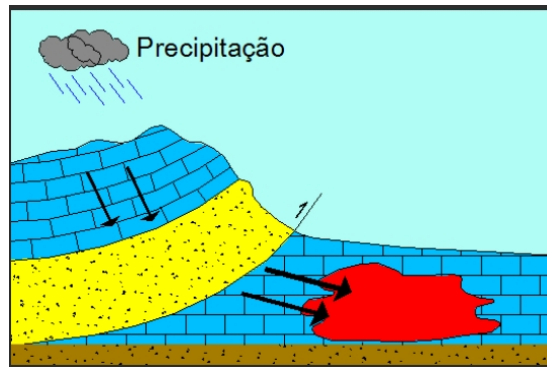


FIGURA 10 - Representação esquemática para o modelo de dolomitização por soterramento em função de fluxo com controle topográfico (Modificado de Gasparrini 2003).

### d.3 - Fluxo com controle tectônico

Nesse processo, a dolomitização se desenvolve em cinturões orogênicos. Em função de movimentos tectônicos de natureza compressional, ocorre a expulsão de fluidos metamórficos ou baciais ao longo de bacias marginais (FIGURA 11). A dinâmica de convecção dos fluidos é estabelecida em consequência do gradiente térmico na crosta. Em muitas situações, a presença de uma intrusão magmática configurando uma fonte define o desenvolvimento de células de convecção (Coniglio *et al.* 1994; Qing e Mountjoy 1994).

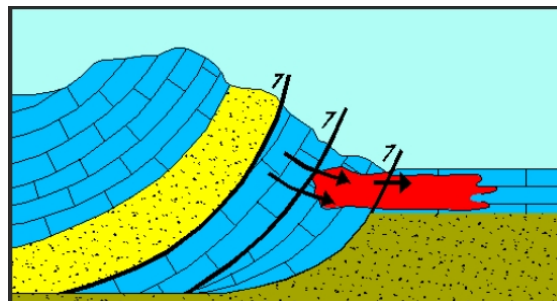


FIGURA 11 - Representação esquemática do modelo de dolomitização por soterramento Por meio de fluxo com controle tectônico (Modificado de Gasparrini 2003).

### e) Dolomitização por convecção térmica

Nesse processo, a dolomita seria formada devido à dinâmica de um processo de convecção térmica (FIGURA 12). A dolomita gerada nesse processo é denominada “dolomita de alta temperatura” ou ainda “dolomita hidrotermal”. A origem hidrotermal proposta para esse processo de dolomitização gera controvérsias, já que as terminologias adotadas possuem definições contraditórias. Segundo Machel e Lonee (2002), o termo *hidrotermal* deve ser aplicado somente quando existem evidências de que a temperatura de fluido é superior a temperatura da rocha encaixante.

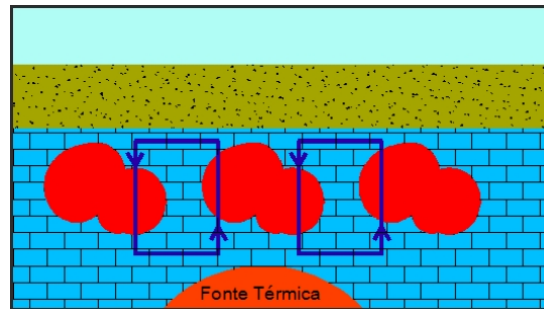


FIGURA 12 - Representação esquemática para o modelo de dolomitização por convecção térmica (Modificado de Gasparrini 2003).

### 2.4.3 Variabilidade química associada ao metamorfismo

A análise do registro sedimentar mostra comumente a presença de calcários calcífticos muito puros, tendo em vista a grande estabilidade da calcita nas condições do campo crustal. O metamorfismo dessas rochas pode não desenvolver novos minerais. Entretanto, muitos calcários podem apresentar outros constituintes, tais como grãos detríticos ou dolomita diagenética, que pode reagir com a calcita durante o metamorfismo. Os sedimentos margosos contendo uma mistura de componentes carbonáticos e silicáticos também são comuns, sendo que nesses sedimentos há um amplo espectro composicional variando de sedimentos puramente carbonáticos até sedimentos puramente silicáticos (Yardley, 1994).

As rochas metamórficas refletem a grande variabilidade do registro sedimentar, e por essa razão, no caso das rochas carbonáticas, incluem desde mármore puros até metassedimentos com proporções variáveis de carbonatos. Contudo, é comum, especialmente em paragêneses de grau médio a alto, a presença de metassedimentos ricos em silicatos de Ca ou Ca – Mg que contém pouco ou nenhum carbonato. Essas rochas são denominadas rochas calciossilicáticas e frequentemente constituem o produto de metamorfismo de sedimentos que originalmente continham carbonatos. Calcita e dolomita são os minerais portadores de Ca e Mg mais importantes dos sedimentos. Durante o metamorfismo, as reações envolvem principalmente a destruição de carbonatos, com perda de  $\text{CO}_2$  e conseqüente geração de silicatos. Outra variedade de rochas calciossilicáticas são os eskarnitos que constituem o produto da interação metassomática de mármore com materiais silicáticos, como por exemplo a intrusão de granitos em mármore (Yardley, *op.cit.*).

### a) Metamorfismo de mármore calcícticos

Mármore constitui o termo genérico usado para denominação de rochas carbonáticas metamorfisadas onde os carbonatos constituem os minerais dominantes. Os mármore onde os carbonatos são compostos apenas por calcita constituem os mármore calcícticos. Além da calcita, os mármore podem conter proporções menores de quartzo e filossilicatos de origem detrítica. Grafita e pirita constituem acessórios comuns. Em mármore com esse tipo de associação mineral não é possível determinar as condições de sua formação, pois a calcita é estável em todas as pressões com exceção das pressões mais elevadas. Os dados de Johannes e Puhan (1971), Greenwood (1962, 1967) e Harker e Tuttle (1956) ilustram graficamente essa situação (FIGURA 13). A aragonita formada durante o soterramento na maioria dos casos é totalmente convertida em calcita quando ocorre o soerguimento, com exceção possivelmente em condições de temperaturas muito baixas (Yardley, 1994).

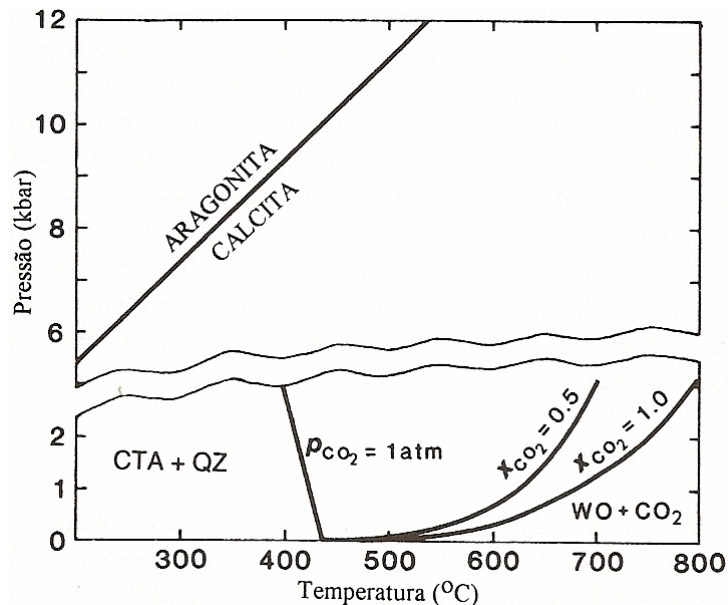


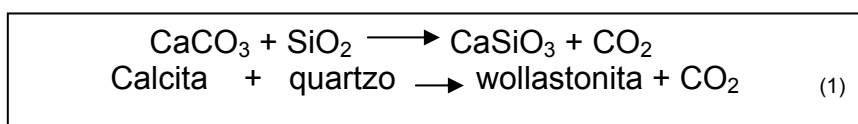
FIGURA 13 - Diagrama P – T mostrando os limites de estabilidade da calcita e da calcita + quartzo. As curvas para a destruição de calcita + quartzo são dadas para vários valores de  $X_{CO_2}$  e para  $p_{CO_2} = 1$  bar. Dados de Johannes e Puhan (1971), Greenwood (1962, 1967) e Harker e Tuttle (1956).

FONTE: Yardley (1994).

Sob condições de temperaturas muito elevadas e pressões baixas, a calcita pode eventualmente reagir com o quartzo para produzir um silicato de cálcio denominado wollastonita. Mesmo com a ausência de reações mineralógicas, os

mármore calcínicos são suscetíveis a extensas modificações texturais devido à recristalização da calcita geralmente acompanhada pelo aumento da granulometria.

A reação química que caracteriza a formação de wollastonita é um exemplo de um dos tipos mais comuns de reações que ocorrem no metamorfismo de rochas carbonáticas, isto é uma reação de descarbonatação, onde há liberação de CO<sub>2</sub>



Assim como a H<sub>2</sub>O, em determinadas condições metamórficas, o CO<sub>2</sub> torna-se um fluido supercrítico, com densidade similar a da água em estado supercrítico, embora um pouco mais elevada na maior parte das condições metamórficas (Touret, 1977).

Harker e Tuttle (1956), estudando a reação (1), mostraram que para pressões superiores a 2 kb, a temperatura necessária para gerar wollastonita encontra-se acima dos valores usuais do metamorfismo regional (FIGURA 13). A maior parte das ocorrências de wollastonita é restrita a auréolas termais provenientes do metamorfismo de contato, sob condições de pressão relativamente baixas. Apesar disso a wollastonita algumas vezes foi encontrada sob pressões significativamente mais elevadas, entretanto sem temperaturas excessivas (Misch, 1964). A presença de fluidos metamórficos de composição intermediária entre H<sub>2</sub>O e CO<sub>2</sub> puros pode ser uma possibilidade de explicação para essas ocorrências de wollastonita (Yardley, 1994).

#### b) Metamorfismo de mármore dolomíticos

A análise da figura 13 mostra que as fases minerais possíveis de serem produzidas através de calcários constituídos apenas por quartzo e calcita são muito limitadas (Yardley, *op. cit.*). Somente sob condições de temperaturas excepcionalmente elevadas e baixas pressões, podem ser geradas outras fases como espurrita e larnita. Essa situação possui ocorrência restrita a uma porção da Irlanda no Norte, não possuindo significativa importância geológica (Tilley, 1925).

Nos calcários contendo dolomita é possível identificar indicadores de grau metamórfico com uma utilidade muito maior, pois existe uma ampla gama de silicatos de Ca e Mg que podem ser formados nas condições P-T usuais do

metamorfismo, como exemplo o talco, tremolita e diopsídio (Yardley, 1994). O zoneamento mineral típico em mármore dolomíticos foi estudado inicialmente por Eskola (1922). Posteriormente essa pesquisa foi refinada por Bowen (1940) e Tilley (1951). Esses autores identificaram pela primeira vez a importância do talco nos graus mais baixos do metamorfismo. No metamorfismo regional de calcários dolomíticos, a seqüência de isógradas de aparecimento mineral parece ser:

- Talco (nem sempre presente)
- Tremolita
- Diopsídio ou forsterita
- Diopsídio + forsterita

A maior parte dos trabalhos antigos Eskola (*op. cit.*), Bowen (*op. cit.*) e Tilley (*op. cit.*) relatam o aparecimento da forsterita antes do diopsídio, contudo, as condições para a cristalização de um mineral ou outro dependem da composição da rocha. Esses dois minerais são gerados em temperaturas muito próximas, a variação litológica pode controlar a ordem relativa do aparecimento de um ou outro. Devido a isso, esses minerais foram agrupados, mas é evidente que há a necessidade de temperaturas mais elevadas para que ambos possam coexistir, dependendo é claro da composição da rocha (Yardley, *op. cit.*).

Para o estudo de mármore dolomíticos impuros, as associações podem ser representadas num diagrama triangular, com CaO, SiO<sub>2</sub> e MgO em seus vértices. A fase fluida representada por CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O é considerada como estando presente em excesso para a geração de fases carbonáticas e hidratadas (Yardley, *op. cit.*).

A mineralogia de mármore impuros envolve além do quartzo e dos silicatos e carbonatos de Ca – Mg, outros minerais como, por exemplo, micas, feldspatos e granadas. Esses minerais envolvem em sua composição, componentes adicionais que não afetam de modo significativo o sistema CaO – MgO – SiO<sub>2</sub> – CO<sub>2</sub> – H<sub>2</sub>O (Yardley, *op. cit.*).

O estudo em detalhe do metamorfismo regional que afeta mármore pode ser baseado no trabalho de Trommsdorff nas rochas dos Alpes Centrais (Trommsdorff, 1966, 1972). O zoneamento mineral produzido pela atuação do metamorfismo é apresentado a seguir (FIGURA 14).

O grau metamórfico tende a crescer em direção ao sul com paragêneses de baixo grau contendo talco passando gradativamente para paragêneses contendo tremolita, e finalmente rochas carbonáticas contendo diopsídio e forsterita.

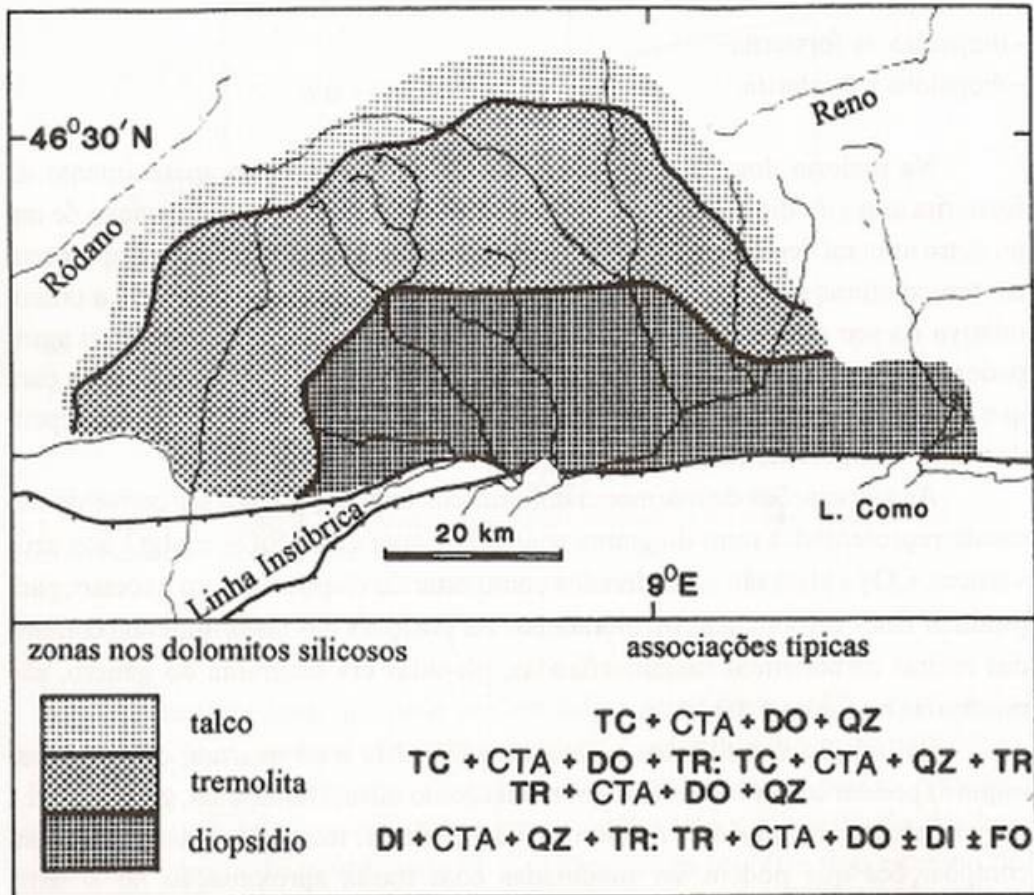
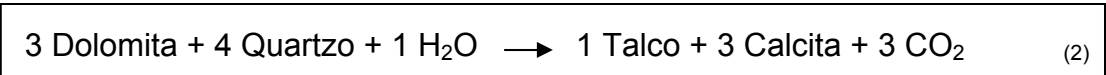


FIGURA 14 - Zoneamento metamórfico de mármore dolomítico silicosos nos Alpes leponinos (Baseado em Trommsdorff, 1966). TC: talco, CTA: calcita, DO: dolomita, QZ: quartzo, TR: tremolita, DI: diopsídio, FO: forsterita. FONTE: Yardley (1994).

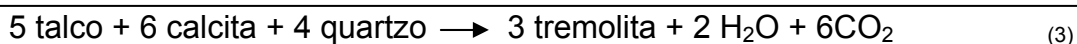
As fases minerais produzidas no metamorfismo de rochas carbonáticas, bem como suas posições, são apresentadas a seguir por meio das reações ternárias identificadas por Trommsdorff (1966, 1972) (FIGURA 15)

As associações sedimentares definidas pelos minerais que constituíram a rocha original (dolomita + calcita + quartzo) são apresentadas a seguir (FIGURA 15 A). Associações minerais de rochas carbonáticas metamorfisadas em baixo grau são mostradas na porção norte do mapa da região dos Alpes (FIGURA 14 E 15 B). Nessa situação ocorre a substituição da conexão quartzo – dolomita pela conexão talco – calcita. Essa alteração pode ser representada na reação:

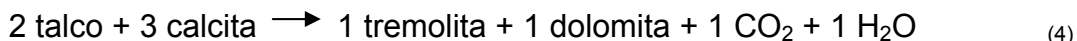




A paragênese principal formada quando em consequência do primeiro aparecimento da tremolita é ilustrada a seguir (FIGURA 15 C). Em algumas situações o talco persiste, ora associado a dolomita, ora associado a calcita e ao quartzo, mas em outras situações observa-se tremolita sem a presença de quartzo. A análise do gráfico mostra a presença da tremolita dentro do triângulo Calcita – quartzo – talco. A reação para formação de tremolita é:

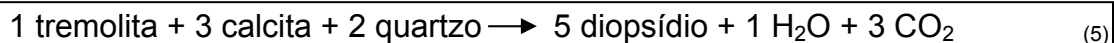


Nas rochas carbonáticas com pouca quantidade de quartzo, este mineral pode ser completamente consumido durante a reação produzindo a associação talco + calcita + tremolita. Nas rochas mais silicosas, o talco pode ser consumido e a associação resultante é constituída por tremolita + calcita + quartzo. A reação que mostra o consumo completo do talco nessas rochas é:



O produto da reação (4) é ilustrado a seguir (FIGURA 15 d). Com o aumento progressivo do grau metamórfico, a paragênese talco + calcita é substituída por diopsídio + calcita ou forsterita + calcita, embora seja comum a persistência da tremolita em graus metamórficos mais elevados.

O primeiro aparecimento do diopsídio dentro do campo definido por tremolita – calcita – quartzo é definido pela seguinte reação (FIGURA 15 E)



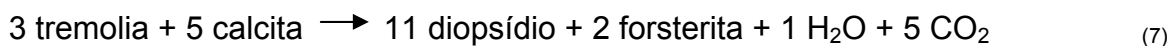
Em contrapartida, a associação forsterita + calcita sugere a substituição da conexão tremolita – dolomita (FIGURA 15 f), por meio da reação:



Os gráficos apresentados a seguir (FIGURA 15) indicam o aparecimento da forsterita em rochas pobres em sílica, localizadas na base do triângulo. O diopsídio surge em rochas relativamente ricas em sílica ou pobres em dolomita. Esse fato

pode explicar as discrepâncias na ordem do surgimento desses minerais em diferentes áreas de estudo.

A forsterita e o diopsídio somente coexistem se a conexão tremolita – actinolita for removida através da reação:



As relações de fases provenientes dessa reação configuram as associações minerais encontradas na porção sul dos Alpes centrais (FIGURAS 14 E 15 G)

A sucessão natural das associações minerais é muito mais complexa do que a seqüência de reações ilustrada e esboçada anteriormente (FIGURA 14), embora de modo geral seja concordante com a seqüência idealizada. As associações minerais, incluindo tanto os reagentes como os produtos, ocorrem em amplas áreas e associações minerais de baixo grau, podendo persistir ao lado de outras associações de grau mais elevado. Essa complexidade no comportamento das associações minerais é explicada pela regra de fases. O sistema aqui apresentado possui cinco componentes: CaO, MgO, SiO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O e CO<sub>2</sub>. Nenhuma associação contém mais de cinco fases, ou seja, quatro fases sólidas mais uma fase fluida (H<sub>2</sub>O – CO<sub>2</sub>). Devido a isso, essas associações possuem 2 graus de liberdade, podendo ocorrer em um amplo intervalo de temperatura e pressões, em função da composição da fase fluida. Grande parte das associações minerais existentes dentro das zonas delineadas no mapa da região dos Alpes podem ser explicadas pela variação na composição do fluido entre as amostras (FIGURA 14).

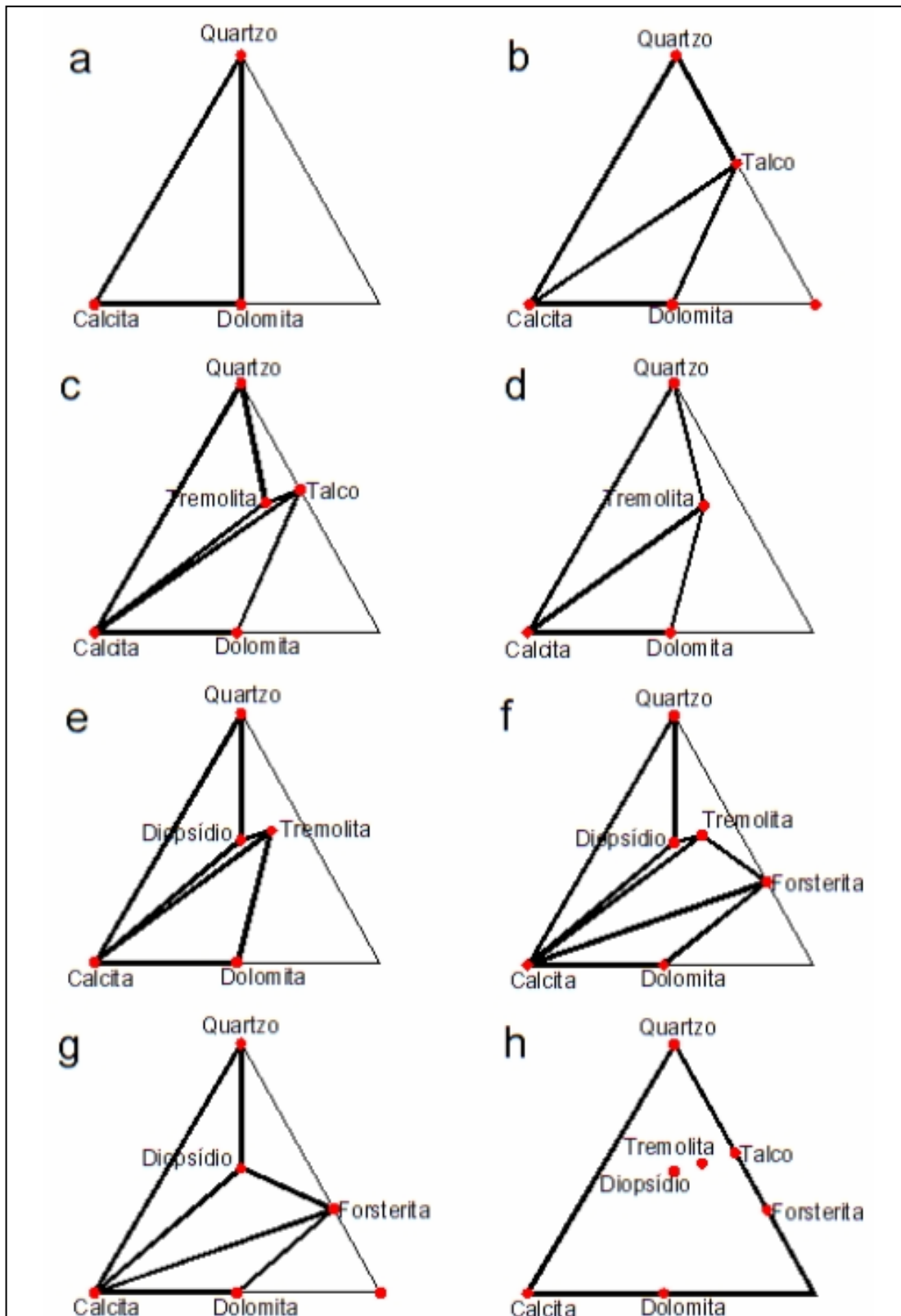


FIGURA 15 - Compatibilidades de fases no sistema  $\text{CaO} - \text{SiO}_2 - \text{MgO} + \text{fluido } \text{CO}_2\text{-H}_2\text{O}$  para dolomitos silicosos dos Alpes leptoninos: **a a g** ilustram as mudanças progressivas com grau metamórfico crescente ; **h** é uma chave para as composições minerais no sistema  $\text{CaO} - \text{SiO}_2 - \text{MgO} (+ \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O})$ . A área ornamentada em **a** representa as composições comuns dos mármore silicosos.

FONTE: Yardley (1994).

### c) Metamorfismo de margas

As rochas calciossilicáticas são ricas em silicatos de Ca e Mg, possuindo pequena quantidade de carbonatos.

Por apresentarem quantidades significativas de outros componentes químicos, especialmente Al, K e Fe, a mineralogia das rochas calciossilicáticas é muito mais complexa do que a dos mármore dolomíticos. As fases minerais mais comuns incluem zoisita, granada, hornblenda, plagioclásio cálcico, margarita, feldspato K, flogopita e vesuvianita. As relações de fases também são muito mais complexas, onde um resumo útil é fornecido por Kerrick (1974). De modo geral, zoisita, margarita e grossulária só são estáveis se a fase fluida for rica em água. A presença de plagioclásio é indicativa de um fluido enriquecido em CO<sub>2</sub>. A flogopita é o único dos minerais hidratados que pode permanecer estável na presença de um fluido rico em CO<sub>2</sub>, porém todas essas relações também apresentem dependência direta da temperatura (Yardley, 1994)

As margas configuram um amplo grupo de rochas sedimentares com grande variedade em sua composição química. A composição química pode ser estudada por meio de um sistema muito complexo constituído por K<sub>2</sub>O – CaO – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – MgO – FeO – SiO<sub>2</sub> – CO<sub>2</sub> – H<sub>2</sub>O e geralmente Na<sub>2</sub>O. Com o objetivo de facilitar o estudo, esse sistema complexo pode ser desmembrado em subsistemas mais simples como, por exemplo, o sistema CaO – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – SiO<sub>2</sub> – CO<sub>2</sub> – H<sub>2</sub>O. Do ponto de vista mineralógico, constituintes argilosos, clorita e quartzo ocorrem misturados a calcita e dolomita em proporções variáveis (Winkler, 1977).

Boettcher (1970) estudou o sistema CaO – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – SiO<sub>2</sub> – H<sub>2</sub>O sem CO<sub>2</sub> sob altas temperaturas e pressões. Esse mesmo sistema incluindo o CO<sub>2</sub> como componente adicional foi pesquisado por Kerrick (1970), Gordon e Greenwood (1971) e Storre e Nitsch (1972). Os principais minerais gerados pelo metamorfismo de margas são apresentados a seguir (FIGURA 16).

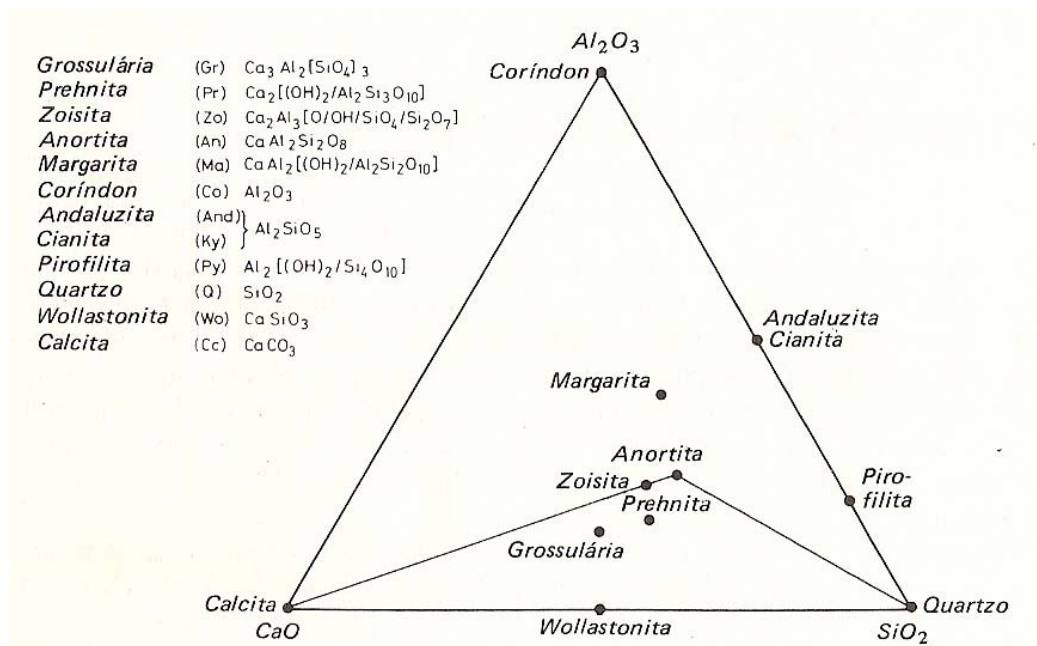


FIGURA 16 - Composição dos minerais do sistema  $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2 - \text{CO}_2 - \text{H}_2\text{O}$ .  
 FONTE: Winkler (1977).

### 3 GEOLOGIA REGIONAL

A área pesquisada está inserida no segmento central da Província Mantiqueira de acordo com Almeida *et al.* (1977). Este segmento é composto pelos terrenos Apiaí, São Roque e Embu. Dentro dessa porção central a área em estudo corresponde a Faixa de Dobramento Apiaí, definida originalmente por Hasui *et al.* (1975)

Segundo Fiori *et al.* (1987) e Fiori (1992 e 1994), o Grupo Açungui teve sua evolução estrutural condicionada por meio de três eventos deformacionais, denominados: Sistema de Cavalgamento Açungui (SCA), Sistema de Dobramento Apiaí (SDA) e Sistema de Transcorrência Lancinha (STL).

As principais dobras, falhas de cavalgamento e falhas transcorrentes cartografadas por Fiori (1993) são apresentadas abaixo (FIGURA 17).

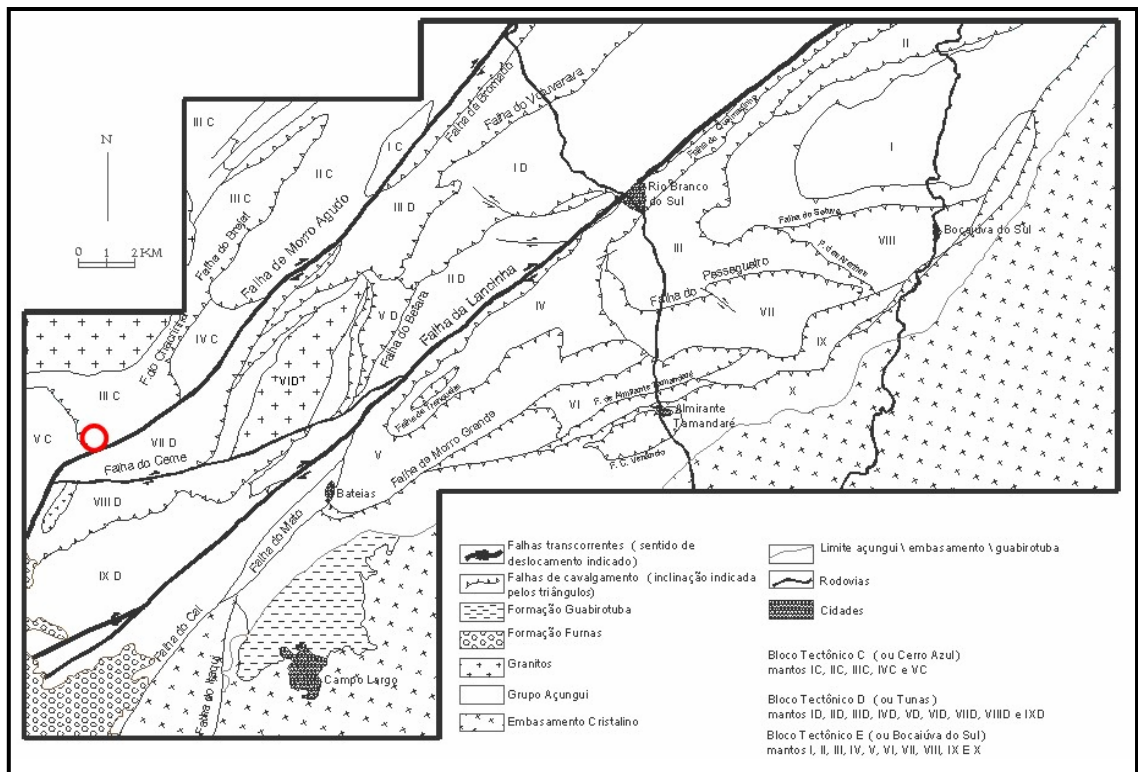


FIGURA 17 - Mapa estrutural do Grupo Açungui com detalhe para as principais dobras e falhas cartografadas. (Modificado de Fiori, 1993) O círculo em vermelho corresponde à localização aproximada da mina Rio Bonito.

### 3.1 EVOLUÇÃO TECTÔNICA DO GRUPO AÇUNGUI

A primeira fase de deformação que afetou o Grupo Açungui constitui o Sistema de Cavalgamento Açungui (SCA). Essa fase é caracterizada pela presença de zonas de cavalgamento que produziram estruturas planares e lineares, tais como planos de foliação  $S_1$  e  $S_2$  (par  $S_C$  e  $S_S$ ), dobras-falhas, falhas de cavalgamento, estiramento mineral e lineações do tipo A e B. Nessa fase foram gerados sistemas de cavalgamento associados às falhas de Morro Grande, Almirante Tamandaré, Tranqueira, Boa Vista, Antiforme do Setuva e Betara. Esses sistemas causaram aloctonia no Grupo Açungui, recortando as rochas na forma *duplex*, movimentando fatias tectônicas em sentido contrário ao movimento principal das falhas de cavalgamento, que configuram zonas de intensa deformação. As rochas mais comuns associadas a essas estruturas são os filonitos, milonitos e cataclasitos. Na proximidade com as falhas de cavalgamento as rochas têm suas estruturas primárias intensamente mascaradas, a foliação  $S_1$  desenvolve-se com maior intensidade, produzindo uma xistosidade (Fiori, 1992). Grandes estruturas como a sinforme do Morro Grande, Colombo e Cachoeirinha são dobras-falhas também produzidas nesse evento.

A segunda fase de deformação é caracterizada pelo Sistema de Dobramento Apiaí (SDA). Nessa fase ocorreu o redobramento das estruturas anteriormente formadas como o acamamento sedimentar original ( $S_0$ ) e a foliação  $S_1$  gerada no Sistema de Cavalgamento Açungui. Essas dobras possuem eixos subhorizontais e planos axiais subverticais com predomínio de caimento do eixo para sudeste na Formação Capiçu e nordeste nas Formações Votuverava e Antinha (Fiori, *op. cit.*).

A terceira fase de deformação corresponde ao Sistema de Transcorrência Lancinha (STL). Essa fase produziu uma nova compartimentação tectônica na área, que passou a ser dividida em blocos tectônicos. Esses blocos sofreram deslocamento dextrógiro de centenas de quilômetros. As principais estruturas tectônicas associadas a este sistema são definidas por dobras escalonadas, falhas sintéticas e antitéticas, deformação cataclástica e falhas de empurrão menores. Ainda associada a esta fase encontram-se os corpos graníticos sin e tardi-tectônicos e as falhas da Lancinha e Morro Agudo (Fiori, *op. cit.*).

### 3.2 CONSIDERAÇÕES ESTRUTURAIS E GEOMORFOLÓGICAS PARA A GEOLOGIA REGIONAL NOS DOMÍNIOS DA MINA

A mina Rio Bonito está inserida nos domínios da unidade morfoestrutural denominada Cinturão Orogênico do Atlântico e na unidade morfoescultural denominada Primeiro Planalto Paranense (Mineropar, 2006).

A análise da carta geomorfológica de Campo Largo na escala 1: 250.000 presente no Atlas Geomorfológico do Estado do Paraná mostra que os domínios da mina estão enquadrados em uma sub-unidade denominada Planalto Dissecado do Alto Ribeira. Nessa região, o relevo apresenta um gradiente de 800 metros, com altitudes variando de 400 metros (mínima) a 1200 metros (máxima). As formas de relevo predominantes consistem em topos alongados e em cristas, vertentes retilíneas e côncavas e vales em “V” encaixados, modeladas em rochas da Formação Água Clara, Votuverava e da suíte Monzogranitos (Mineropar, *op. cit.*)

A foto - interpretação possibilitou a identificação de dados morfoestruturais e estruturais em escala regional.

A análise de fotos aéreas permite identificar a falha transcorrente de Morro Agudo que constitui a principal estrutura geológica presente na área. Essa falha corta a mina Rio Bonito e possui um traçado linear que apresenta direção aproximada N 50° – 70° E (FIGURA 18).

Segundo Fiori (1990), a falha de Morro Agudo corresponde a uma componente sintética da Falha da Lancinha. A partir do Rio Capivari em direção a sudoeste essa falha adquire um traçado irregular que tende aparentemente a concordar com a forma arredondada da borda sul do batólito granítico Três Córregos. As rochas cortadas por essa falha apresentam-se intensamente deformadas, exibindo forte lenticularização.



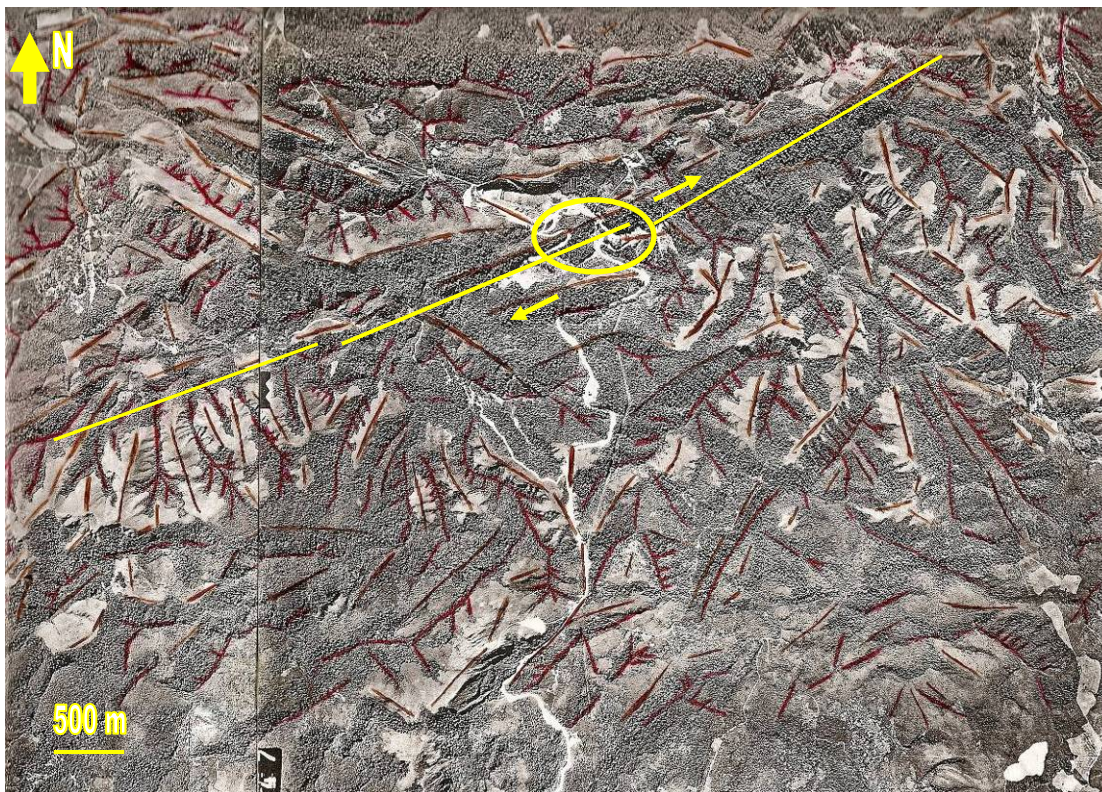


FIGURA 18 - Traçado da Falha de Morro Agudo foto - interpretada em escala 1:25000. No círculo amarelo esta situada a mina Rio Bonito Fotos aéreas 50030 e 50031.

Outra estrutura importante em caráter regional é a falha transcorrente do Cerne. Essa falha, segundo Fiori (1990), também configura uma componente sintética da Falha da Lancinha. Apresenta direção aproximada E-W com extensão aflorante de cerca de 30 quilômetros (FIGURA 19). Esta falha surge a Sudeste da localidade de Conceição dos Correias e desaparece no encontro com a Falha de Morro Agudo na altura da confluência do Rio Açungui com o Arroio Santana.

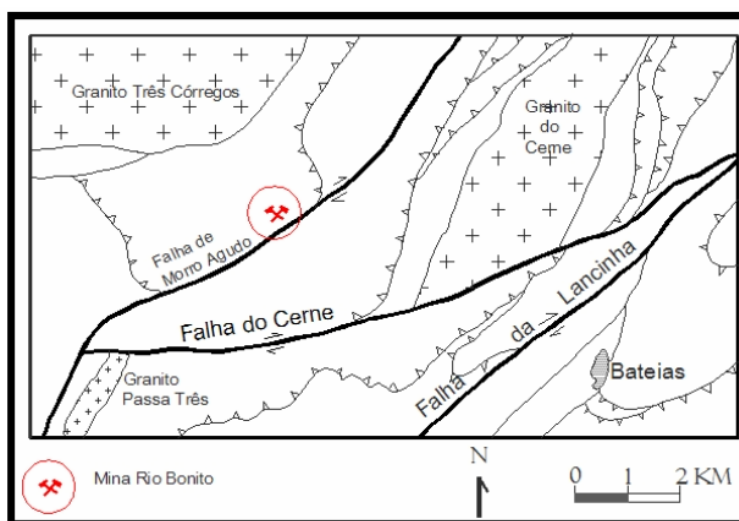


FIGURA 19 - Mapa estrutural evidenciando a falha transcorrente do Cerne. (Modificado de Fiori 1990). O círculo em vermelho indica a localização aproximada da mina Rio Bonito.

A foto - interpretação permitiu realizar o traçado da rede de drenagem e dos alinhamentos positivos e negativos da área. A análise desses elementos do relevo permitiu compartimentar a área em quatro zonas homólogas (FIGURA 20). Não serão apresentados detalhes referentes às quatro zonas homólogas compartimentadas, pois o objetivo da pesquisa está concentrado nos domínios da mina, situada no limite entre as zonas homólogas b e c.

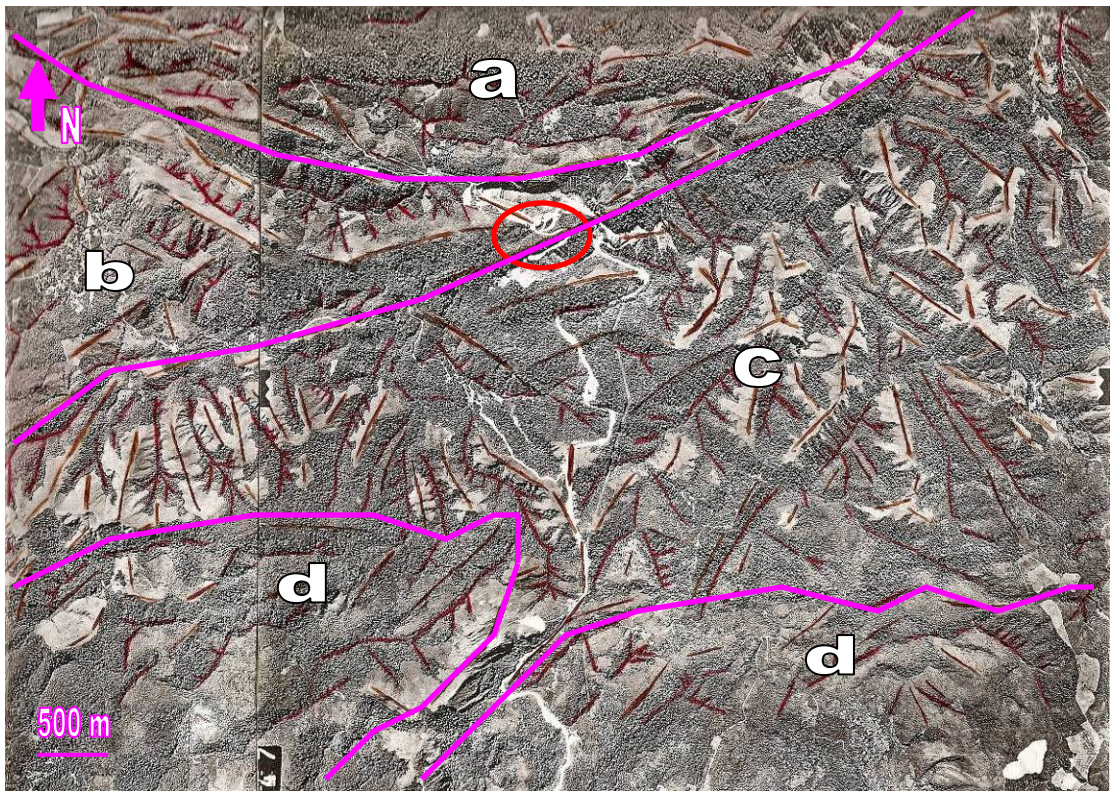


FIGURA 20 - Subdivisão da área em quatro zonas homólogas, baseada em fotointerpretação. O círculo vermelho representa a área onde se encontra a mina Rio Bonito. Fotos aéreas 50030 e 50031 em escala 1:25000.

Foram identificados 213 alinhamentos negativos. A direção destes alinhamentos é apresentada no diagrama de rosetas a seguir (FIGURA 21). O predomínio das medidas ocorre na direção  $N30^\circ - 40^\circ W$  e secundariamente na direção  $N40^\circ - 50^\circ E$ .

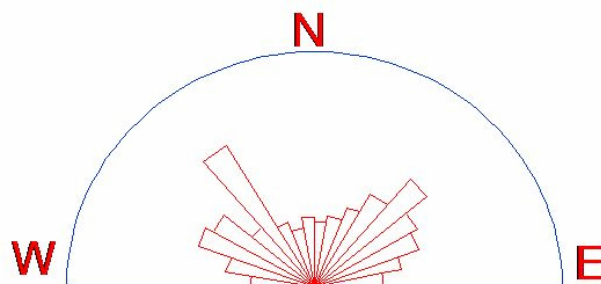


FIGURA 21 - Diagrama de rosetas para a direção dos alinhamentos negativos.

Para os alinhamentos positivos foram identificadas 223 feições. A análise do diagrama de rosetas mostra que o predomínio das medidas ocorre na direção N50° - 60°E, e secundariamente na direção N50° - 60°W (FIGURA 22)

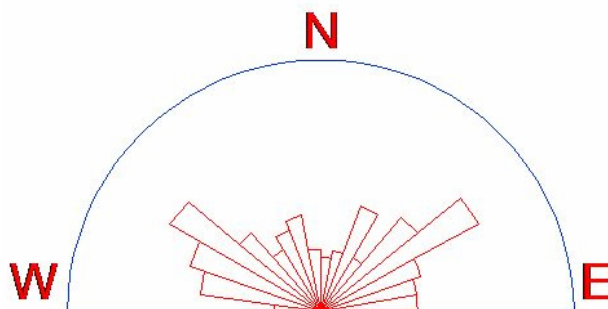


FIGURA 22 - Diagrama de rosetas para a direção dos alinhamentos positivos.

### 3.3 DRENAGEM

A análise da drenagem permite por meio de foto-interpretação dividir a área em 4 zonas homólogas (FIGURA 23). O padrão de drenagem predominante é o dendrítico, presente em todas as zonas homólogas. A única exceção ocorre na zona homóloga a, onde predomina um padrão de drenagem retangular. Em relação à tropia, todas as áreas podem ser classificadas como bidirecionais. A análise da sinuosidade mostra o predomínio do padrão misto, com exceção apenas da zona homóloga c que possui um padrão curvo. A densidade de drenagem é classificada como média a baixa em todas as zonas homólogas, com exceção da zona homóloga c, onde é classificada como média a alta (Nadalin, 1993).

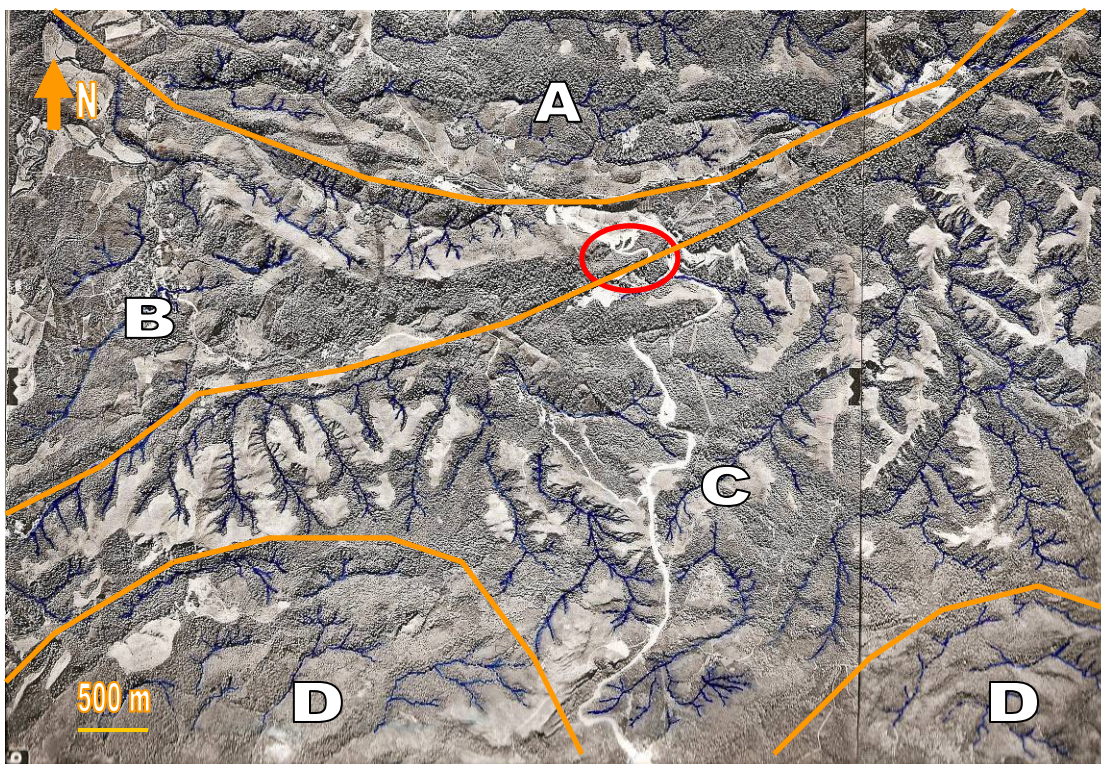


FIGURA 23 - Subdivisão da área em zonas homólogas baseadas em fotointerpretação da drenagem. O círculo vermelho representa a área onde se encontra a mina Rio Bonito. Fotos aéreas 50031 e 50032.

### 3.4 UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS REGIONAIS:

A seguir serão discutidas sucintamente as unidades estratigráficas presentes na área entorno da mina Rio Bonito. O mapeamento geológico do entorno da mina foi realizado por Gallina (2005) (FIGURA 24).

#### a) Formação Água Clara

Marini *et al.* (1967) redenominaaram a Série Açungui para Grupo Açungui. Segundo os autores (*op. cit.*), as litologias desta unidade repousam em aparente discordância sobre a formação Votuverava, com base em relações estruturais. Desta forma os autores posicionaram essa unidade no topo do Grupo Açungui.

Fuck *et al.* (1971) intensificaram as correlações entre as Formações Capiru e Itaiacoca, posicionando-as lado a lado. Os autores (*op. cit.*) mantiveram a Formação Água Clara no topo do Grupo Açungui e consideraram o embasamento como pertencente a Formação Setuva.

Segundo Pontes (1980), a referida formação ocorre bordejando ou formando estreitas faixas acima do batólito granítico Três Córregos. Através da análise dos litotipos a Formação Água Clara foi definida em fácies vulcano-sedimentar e fácies carbonática.

Os trabalhos de Pontes (1981, 1982) mostram que a Formação Água Clara pode ser subdividida em duas fácies com características distintas. Dessa forma foram denominadas as seqüências São Silvestre e Serrinha. A seqüência São Silvestre ocorre na porção basal, sendo facilmente verificada na região homônima, Pontes (*op. cit.*).

Fritzons Jr. *et al.* (1982) e Piekarz (1981 e 1984) definem essa formação como sendo composta por metassedimentos carbonáticos impuros, rochas vulcânicas e formações ferríferas. A presença de litotipos associados à atividade vulcânica confirma a contribuição exalativa associada à sedimentação. Rochas gnáissico-migmatíticas do Complexo Pré-Setuva constituem o embasamento desta formação. A bacia teria sido afetada por movimentações que promoveram a geração de uma discordância angular entre as rochas das Formações Perau e Água Clara. As rochas associadas à Formação Água Clara são atribuídas ao Grupo Setuva (Fritzson Jr. *et al.*, 1982), onde essa idéia foi seguida por outros autores como Biondi (1983), Chiodi Filho (1984), Reis Neto e Soares (1987) e Soares (1987).

Segundo Reis Neto e Soares (*op. cit.*), a Formação Água Clara exhibe em suas rochas, evidências de um ciclo de deposição anterior à deposição das rochas do Grupo Açungui ( $S_{n-1}$ ). A foliação ( $S_n$ ) gerada posteriormente nos metassedimentos teria sido produzida em um evento associado ao retrometamorfismo paralelamente a superfície  $S_{n-1}$ .

Na área pesquisada por Fiori (1990), foram encontradas porções muito pequenas que podem ser atribuídas à seqüência São Silvestre nas proximidades da Falha de Morro Agudo. A seqüência Serrinha possui ampla distribuição ao longo do Bloco C, sendo facilmente verificada na região de Serrinha e ao longo da Estrada Cerne, nas proximidades do Rio Açungui. A Formação Água Clara compreende as rochas metassedimentares situadas ao norte da Falha de Morro Agudo, ocorrendo principalmente no Bloco C. Rochas que também são atribuídas a essa formação ocorrem no Bloco D, entre as Falhas do Cerne e da Boa Vista (Fiori, *op. cit.*).

Kops (1994) questiona a existência de um ciclo de deposição da Formação Água Clara distinto em relação à sedimentação das rochas do Grupo Açungui. A Formação Água Clara estaria inserida numa sub-bacia com características próprias, entretanto, coexistindo temporalmente com as demais formações.

Fassbinder *et al.* (1999) afirmaram que a Formação Água Clara é constituída por três seqüências com características distintas. A seqüência basal configura uma unidade clástica seguida por uma unidade carbonática (metamargas) muitas vezes mineralizada em elementos como Cu, Pb, Zn e Au, e uma nova unidade clástica composta por metargilitos e metassiltitos intercalados por anfibolitos. A Formação Água Clara foi posicionada na base do Grupo Açungui e a comparação com as outras formações sugere uma sedimentação em uma sub-bacia distinta.

A Formação Água Clara corresponde à unidade estratigráfica onde esta a área de estudo, e será discutida com maior detalhe quanto as suas associações litológicas a seguir.

#### a.1) Associações litológicas da Formação Água Clara

##### a.1.1) Sequência Serrinha

Essa seqüência apresenta metacalcários cinza escuros, maciços, com aparente ausência de estruturas internas (foliações metamórficas ou estruturas sedimentares), podendo conter pirita disseminada (Fassbinder, 1996).

Pontes (1981) verificou a presença de gretas de contração e outras estruturas típicas de águas rasas.

A característica típica das rochas da Sequência Serrinha é de uma sedimentação em águas rasas. Dessa forma, devido à similaridade litológica com pacotes carbonáticos adjacentes (Sequências Saivá e Vuturuvú), é possível estabelecer correlações litológicas entre essas seqüências (Fassbinder, *op. cit.*).

As características litológicas da Sequência Serrinha sugerem que ela possa ser desmembrada da Formação Água Clara. Dessa forma, essa seqüência poderia ser correlacionada às formações Votuverava, Capiru e Itaiacoca, estando sobreposta a seqüência São Silvestre, típica de ambiente marinho de águas profundas (Fassbinder, 1996).

### a.1.2) Sequência São Silvestre

A Sequência São Silvestre é composta por metacalcários, caracterizados pela alternância de níveis de espessura decimétrica a centimétrica e marcados pela variação de cores. Estes níveis podem ser cinza escuros e cinza claros e por vezes podendo apresentar tons marrons ou esverdeados. Nessas rochas predominam níveis bandados impuros, com alternância de níveis cinza escuros e cinza claros, decimétricos a centimétricos, por vezes possuindo tons marrons ou esverdeados. A estrutura bandada marcante nessas rochas reflete a estrutura sedimentar plano-paralela. A observação do topo dos leitos bandados mostra delgadas intercalações milimétricas a centimétricas de calcários impuros, cinza escuros nos quais é possível verificar a presença de lineações de intersecção e desenvolvimento de minerais micáceos (Fassbinder, 1996).

Calcários puros ocorrem entre os níveis bandados, possuindo cor cinza escura com espessuras decimétricas a métricas. Os dois tipos de metacalcários são geralmente calcíticos e possuem sulfetos dispostos ao longo da foliação ou disseminados (Fassbinder, *op. cit.*) A característica marcante presente nas rochas da Formação Água Clara é a alternância de níveis centimétricos variando de cinza claro a cinza escuro, marrom e esverdeado, seja nos níveis carbonáticos puros, seja nos impuros.

Pontes (1981) observou a presença de rochas metabásicas e as interpretou como sendo tufos almofadados.

Ao longo das drenagens foram identificados rochas meta-básicas na forma de blocos ou matacões, constituindo possíveis *sills*. Concreções ferruginosas supergênicas derivadas da alteração de pirita e de granada rica em cristais de espessartita também ocorrem (Fassbinder, *op. cit.*).

### b) Formação Votuverava

Segundo Petri e Suguio (1969), a Formação Votuverava foi depositada em ambiente marinho típico de plataforma.

Daitx *et al.* (1983) afirmaram que a sedimentação desta unidade foi desenvolvida em um ambiente com variações do nível de energia. Essa variação teria resultado de transgressões e regressões marinhas.

Fiori (1990) e (1993) compartimentaram a Formação Votuverava em três conjuntos litológicos. O conjunto Bromado é constituído por filitos, quartzitos e meta-conglomerados. O conjunto Coloninha é composto por meta-arenitos, meta-siltitos e meta-conglomerados. O conjunto Saivá é caracterizado pela presença de filitos, mármore e metamargas. Os contatos entre os conjuntos litológicos são representados por falhas de cavalgamento.

A referida formação caracteriza-se por apresentar depósitos sulfetados de Cu, contendo Ag e Zn em rochas metacarbonáticas, tipo “Mississippi Valey” (Silva e Venusso, 2001 *In* Venusso, 2001).

### c) Granito Passa Três

Este corpo granítico corresponde a uma intrusão ígnea alongada na direção NE-SW, condicionada a uma zona de cisalhamento transcorrente dextral (ZCT). A área desse corpo granítico é de aproximada 5 km<sup>2</sup>. Esse corpo é intrusivo em rochas do Grupo Setuva e apresenta contatos tectônicos com as rochas do Grupo Açungui (Piekarz, 1981).

Segundo Piekarz, (1981 e 1992) e Picanço, (2000), esse maciço consiste em um sieno-granito distribuído em dois domínios:

1. sienogranito-melagranito róseo, equigranular, médio a grosso;
2. sienogranito-leucogranito róseo, equigranular e médio.

De acordo com Cury, 2003 esse corpo apresenta veios de aplitos, pegmatóides e microgranitos e de quartzos ricos em sulfetos, representativos de fases tardias da formação do Granito Passa Três.

Os veios se apresentam mineralizados, constituindo o principal depósito aurífero da região (Soares e Góis, 1987; Piekarz, *op. cit.*; Picanço, *op. cit.*)

Picanço (2000) obteve uma isócrona mineral Sm-Nd com idade de 616 ± 36 Ma, considerada com ressalvas devido à intensa alteração hidrotermal do maciço e por não se tratar de isócrona de boa qualidade, conforme considerado pelo próprio autor. O autor admite que a mineralização aurífera tenha idade entre 510 e 527 Ma, como sugerem os dados isotópicos K-Ar em sericita (zonas de falha, 528 ± 10 Ma), Rb-Sr da encaixante mineralizada (526 ± 23 Ma) e de lixiviados de pirita (510 ± 13 Ma)



Estudos geoquímicos de Cury (2003) mostram que os litotipos deste corpo apresentam semelhanças no conteúdo de ETR e elementos traço com os granitos Cerne e Rio Abaixo. Os dados isotópicos de Sr e Nd também são semelhantes ( $\epsilon_{Sr} = 70$  a  $120$ ;  $\epsilon_{Nd} = -11$  a  $-15$ ), com idades Sm-Nd muito próximas (2 Ga a 2,2 Ga), sugerindo mesma fonte. O autor associa esses maciços a um único magmatismo e considera as características petrológicas e geoquímicas como semelhantes aos granitos tipo-A.

Soares e Góis (1987) e Picanço (2000) sugerem que essas rochas se formaram a partir da mistura de fontes mantélicas e crustais.

Dados geoquímicos e petrográficos permitem classificá-lo como um quartzosienito, de filiação shoshonítica, cujas prováveis rochas fonte são ígneas máficas contendo granada (Piekarz, 1992).

As alterações hidrotermais tardi e pós-magmáticas relacionadas à evolução do granito e das mineralizações incluem potassificação, filitização, argilização, propilitização e silicificação (Piekarz, *op. cit.*).

#### d) Formação Camarinha

A Formação Camarinha é caracterizada por uma sequência dobrada de rochas sedimentares clásticas de natureza “molássica”, com cores variando de castanho escuro a castanho-avermelhado (Fuck *et al.* 1965 e Muratori *et al.* 1965). Os sedimentos se apresentam imaturos e mal selecionados indicando área-fonte próxima com pouco transporte e pouco retrabalhamento. Com base no contato por discordância angular e na ausência de metamorfismo essa formação foi depositada antes da Formação Furnas.

Muratori *et al.* (1967) dataram esta formação no Eo-Paleozóico e apresentam uma seqüência molássica relacionada à orogênese do Grupo Açungui.

Popp (1972) dividiu a Formação Camarinha em duas fácies com características distintas. A fácies superior caracteriza uma seqüência conglomerática. A fácies inferior representa uma seqüência siltica. Essas duas fácies foram depositadas por “correntes mais fracas (menos turbulentas) e menos profundas do que as correntes de turbidez formadoras de Sequências de Bouma”. A

análise de estruturas primárias permitiu posicionar a área fonte na direção NE, sendo constituída por rochas do Grupo Açungui.

Segundo Fiori *et al.* (1984), a referida formação não apresenta metamorfismo nem recristalização. As rochas apresentam dobras anticlinais e sinclinais relacionadas a falhamentos e estabilização das rochas do Grupo Açungui durante o Cambro-Ordoviciano.

Soares (1987) afirma que a sedimentação desta unidade ocorreu em ambiente de leques aluviais e costeiros. A foliação ardosiana presente na fração pelítica da referida unidade seria indicativa da ocorrência de anquimetamorfismo.

Ciguel *et al.* (1992) afirmaram que a Formação Camarinha foi depositada em ambiente marinho, devido à presença de icnofósseis na porção Noroeste da formação (Rio da Prata). Foram descritos exemplares de *Gordia arcuata* Ksiazkiewicz, *Planolites montanus* Richter, *Skolithos Haldemann* e *Cubichnia* (traços de repouso de organismos medusóides). Com base nestes icnofósseis, posicionaram a formação entre o Neoproterozóico e o Cambriano Inferior.

Para Moro (2000), a Formação Camarinha esteve associada a uma bacia de transição Neoproterozóico-Eocambriano de caráter tardi a pós-orogênico em relação à orogênese Brasileira. A referida unidade também é caracterizada pela presença de leques progradantes em ambiente costeiro (*fandeltas*). Essa unidade é composta por duas sequências de natureza conglomerática intercaladas por duas sequências areno-argilosas possuindo contatos gradacionais entre si.

#### e) Intrusivas Básicas

Essas rochas correm na área sob a forma de diques básicos constituídos por diabásios, pertencentes ao Grupo São Bento e associados a Formação Serra Geral. A origem dessas rochas está relacionada com a evolução estrutural da Bacia do Paraná durante a fase de intenso magmatismo basáltico. Essas rochas configuram corpos intrusivos preenchendo fraturas distensivas com direção nordeste. Estas manifestações básicas são formadas por diques de diabásio e diorito, com direção geral noroeste-sudeste, associados à estrutura denominada Arco de Ponta Grossa. (Minerpar, 2009).

#### f) Sedimentos cenozóicos

Esses sedimentos se apresentam em geral inconsolidados, com composição argilosa, e consistem o produto da erosão das rochas mais antigas (Formações Água Clara e Votuverava) possuindo origem aluvionar ou coluvionar (Gallina, 2005).

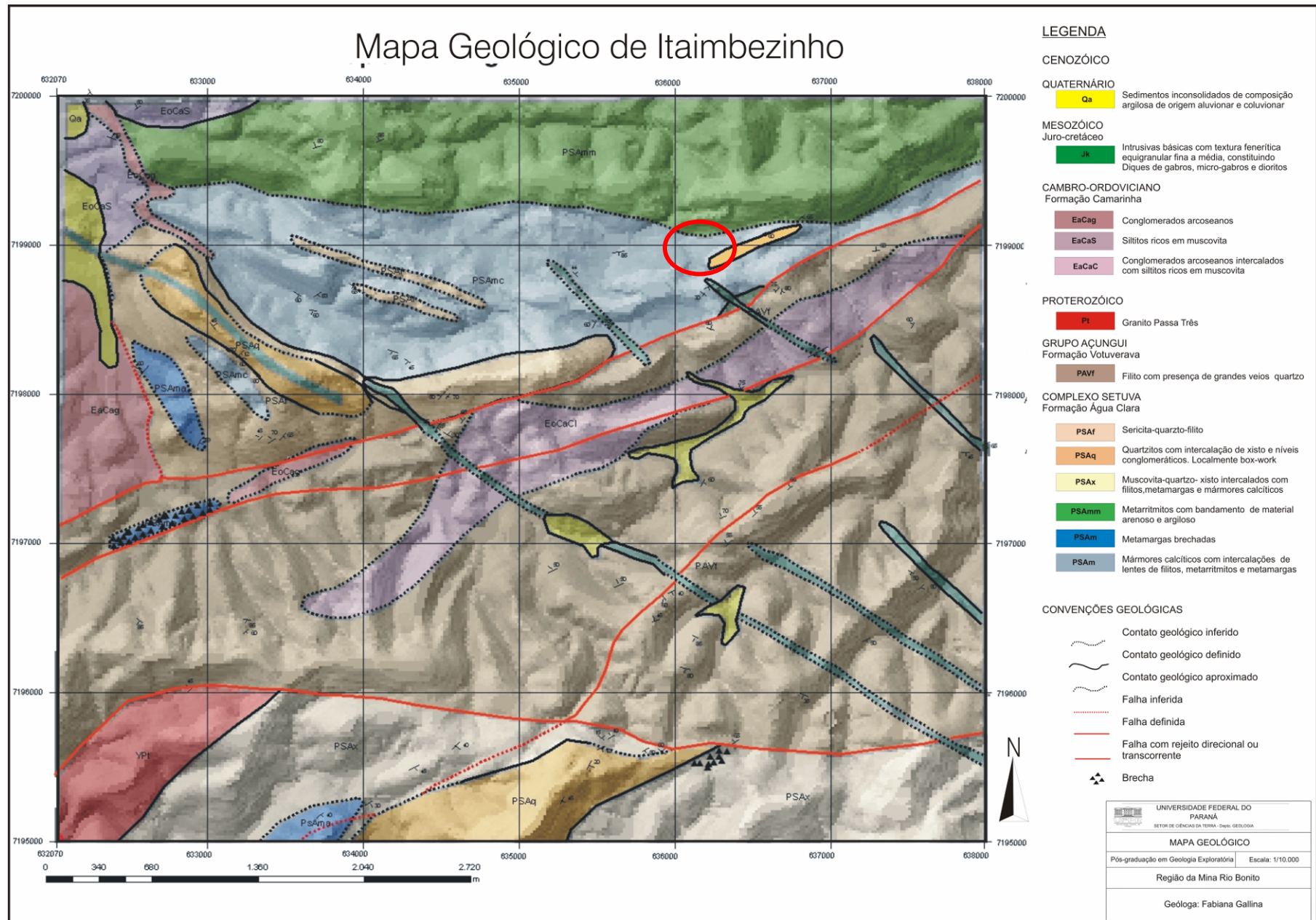


FIGURA 24 - Mapa geológico da região de Itaimbézinho. No círculo em vermelho está localizada a mina Rio Bonito. Fonte: Gallina (2005).

### 3.5 AMBIENTES DE SEDIMENTAÇÃO

#### 3.5.1. Formação Água Clara (Sequência São Silvestre)

As rochas da Formação Água Clara na região em estudo exibem uma estrutura laminar plano-paralela marcante definida pela alternância de estratos centimétricos a métricos. Esses estratos são essencialmente carbonáticos, com presença pontual de estratos granatíferos, quartzosos, intercalados com estratos de metamargas contendo diopsídio, muitas vezes retrometamorfizado para tremolita/actinolita. Essas alternâncias composicionais assinalam bem o acamamento sedimentar original ( $S_0$ ), facilmente visualizado em estratos relativamente preservados da deformação e das transformações mineralógicas (Fassbinder, 1996).

As rochas exibem indícios de escavação e/ou erosão do topo de níveis turbidíticos, que posteriormente foram preenchidas por um fluxo sedimentar subsequente. De modo análogo, foram identificadas estratificações gradacionais (Fassbinder, *op. cit*)

A interpretação dessas estruturas sugere origem clástica para os sedimentos da seqüência São Silvestre. A alternância composicional definida pela intercalação de níveis carbonáticos, areno-carbonáticos, passando ao topo para níveis pelíticos milimétricos que, após metamorfizados possuem mineralogia constituída por minerais como biotita e muscovita é indicativa de uma estrutura do tipo turbidito distal caracterizados pelos níveis D e E de Bouma (1962) (FIGURA 25).

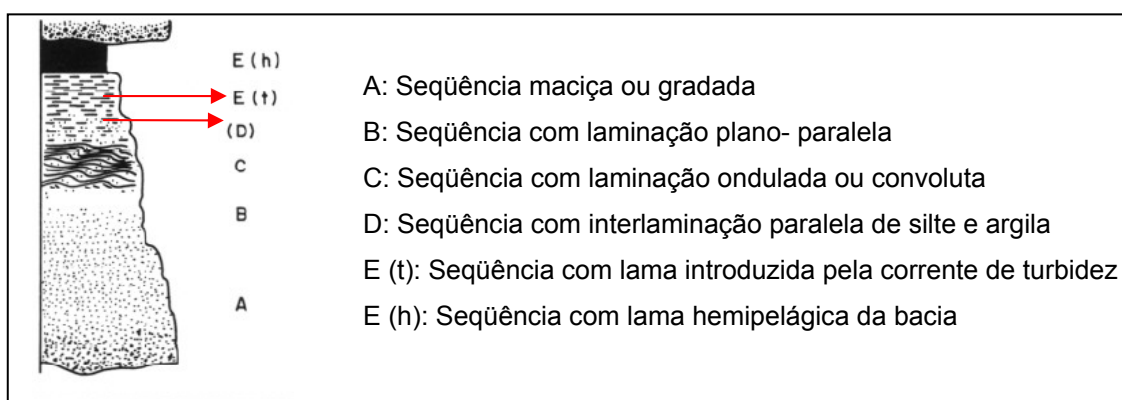


FIGURA 25 - Seqüência ideal de Bouma (1962). As setas vermelhas indicam característica presentes nas rochas da Formação Água Clara.

FONTE: Pires (1993).

As evidências alóctones e autóctones dos sedimentos presentes na seqüência São Silvestre da Formação Água Clara caracterizam uma sedimentação em águas profundas do tipo turbidítico (sedimentação alóctone), com períodos em que o aporte turbidítico deu lugar a sedimentação química, com características alóctones (Fassbinder, 1996).

### 3.5.2 Grupo Açungui

O trabalho de Petri e Suguio (1969) considera as Formações Votuverava e Capiru contemporâneas. A sedimentação se desenvolveu próxima à linha de costa em águas rasas de uma bacia marinha, com exceção da Formação Itaiacoca que teria sua sedimentação desenvolvida em ambiente continental.

As seqüências Betari e Furnas-Lageado do Grupo Açungui, situadas na região entre Apiaí e Iporanga, constituem uma seqüência típica da Formação Votuverava no Estado do Paraná. A análise da seqüência Betari mostra a ocorrência de um episódio de transgressão marinha definida por uma deposição gradacional inversa, característica de uma seqüência retrogradacional em leques submarinos profundos. A sedimentação de canais e lobos na base da seqüência é caracterizada por depósitos rudáceos psamíticos. No topo da seqüência, a sedimentação foi desenvolvida por meio de um fluxo turbidítico de baixa densidade, assinalado pela presença de metarritimitos. O auge da elevação do nível do mar é coincidente com o fim da deposição desta seqüência, havendo um período de estabilidade da bacia marcado pela não deposição. Após esse período ocorreu a deposição da Formação Furnas-Lageado. As litologias presentes nessa formação envolvem metacalcários calcíticos impuros, metassiltitos e filitos sericíticos. Essa seqüência possui características progradacionais, em consequência de um episódio de regressão marinha (Pires, 1990).

Fiori (1993) admite que a sedimentação na Bacia Açungui foi estabelecida em um mar epicontinental e parcialmente penecontemporâneo, com base nas estruturas sedimentares preservadas, bem como sua distribuição e variação lateral. Este autor sugere os seguintes ambientes deposicionais: na Formação Capiru, o Conjunto Juruqui configura a fase inicial de sedimentação, marcada por um sistema de leque deltaico com fácies de frente deltaica (quartzitos) e pródelta (filitos e quartzitos). Em seguida, ocorreu a deposição do conjunto Rio Branco típico de ambiente marinho

raso, possuindo mármores com estruturas estromatolíticas, assinalando uma costa carbonática com contribuição de biohermas. Essa costa sofreu ação constante de ondas e marés, nas quais as flutuações do nível do mar possibilitaram a intercalação de metapelitos e quartzitos. O conjunto Morro Grande teria sido depositado na porção interior da bacia sob condições plataformais. A fase inicial da sedimentação na Formação Capiru se desenvolveu em ambiente marinho raso com predomínio de carbonatos, seguido por uma passagem progressiva para ambiente de águas mais profundas e calmas onde ocorreu a deposição de metarritmitos e barras plataformais (quartzitos), por vezes afetado por tempestades e registrando o testemunho de uma transgressão marinha.

A Formação Votuverava tem o início de sua sedimentação marcada pela deposição do Conjunto Bromado, representado por um diamictito depositado em corpo aquoso próximo as geleiras. Os diamictitos são caracterizados por metaconglomerados polimíticos mal selecionados, podendo estar relacionados a extensas glaciações ocorridas no Proterozóico Superior. Em seguida ocorreu a sedimentação do Conjunto Coloninha em um sistema de turbiditos de águas profundas, apresentando unidades da sequência de Bouma, com diversos truncamento de camadas. Na porção interior da bacia em um ambiente de maior estabilidade caracterizado pela presença de águas calmas e profundas foi depositado o Conjunto Saivá (Fiori, 1993).

A Formação Antinha mostra turbiditos marcando o início de sua sedimentação, sendo representados pelo Conjunto Tacaniça. Em direção ao interior da bacia ocorre o Conjunto Capivara, onde a sedimentação se desenvolveu em ambiente de águas profundas com pouca movimentação e sob condições redutoras. Em seguida ocorreu a sedimentação do Conjunto Vuturuvú, próximo ao arco magmático em condições de grande instabilidade da bacia. Essa instabilidade foi refletida por aporte periódico de grande quantidade de detritos por correntes de turbidez em águas profundas e redutoras associadas ao início dos processos tectônicos que culminaram com o fechamento da bacia (Fiori, *op.cit.*).

### 3.6 Correlação do Grupo Açungui com a Formação Água Clara

Segundo Fassbinder (1996), os ciclos sedimentares existentes na Formação Água Clara se repetem no Grupo Açungui (Formações Capiru, Votuverava e

Itaiacoca). Esses ciclos são caracterizados na base da sequência por sedimentos clásticos grosseiros passando gradativamente para sedimentos finos. Na porção intermediária ocorrem sedimentos carbonáticos calcíticos que passam gradualmente para dolomíticos em direção às posições mais elevadas dos estratos sedimentares. O topo da sequência é caracterizado pelo retorno dos sedimentos clásticos com granulação predominantemente média a fina (psamitos e pelitos).

A comparação dos ciclos sedimentares existentes na Formação Água Clara com os do Grupo Açungui permite verificar que na Formação Água Clara, a sedimentação é essencialmente carbonática, com os sedimentos clásticos ocorrendo de forma subordinada. Já o Grupo Açungui caracteriza-se pela presença de sedimentos detríticos, compondo a parcela principal da sedimentação, onde os carbonatos ocorrem intercalados como finas camadas ou lentes (Fassbinder, 1996).

### 3.7 ESTRATIGRAFIA

A Formação Água Clara é caracterizada pela presença de três conjuntos litológicos. A base da sequência é composta essencialmente por quartzitos. Na porção intermediária ocorrem rochas carbonáticas puras a impuras em associação com uma unidade de composição terrígena (hoje metamorfisadas e compondo filitos). O topo da formação é representado por anfibolitos, que podem ser observados claramente no anticlinal do Perau. Entretanto essas três unidades nem sempre ocorrem em todas as partes da área que abrange a Formação Água Clara (Fassbinder, *op.cit.*).

Mesmo estando em blocos tectônicos diferentes é possível estabelecer uma coluna estratigráfica única, comum para todos os blocos (QUADRO 13). Dessa forma, a Formação Água Clara constituiria a base da Bacia Açungui, seguida pelas Formações Votuverava e no topo as Formações Capirú e Itaiacoca.



<b>BLOCOS ALÇADOS POR TRANSPRESSÃO</b>				
	BLOCO B	BLOCO C	BLOCO D	BLOCO E
<p>SEDIMENTAÇÃO GERANDO A <b>Formação ITAIACOCA</b> NA BORDA NW DA BACIA AÇUNGUI E A <b>Formação CAPIRÚ</b> NA BORDA SE.</p> <p>(TOPO DO Grupo AÇUNGUI)</p>	<p><b>Formação ITAIACOCA</b> <b>Formação SERRA DOS MACACOS</b> (QUARTZITOS + FILITOS)</p> <p><b>Formação BAIRRO DOS CAMPOS</b> (DOLOMITOS + FILITOS + ARENITOS FINOS, INTERCALADOS POR METABÁSICAS → PLATAFORMA CARBONÁTICA</p>	<p><b>Formação ANTINHA (???)</b> <b>Conj. Lit. VUTURUVÚ</b> (RÍTMICOS ARENOSOS, COM NÍVEIS CONGLOMERÁTICOS, METASSILTITOS E METARGILITOS)</p> <p>↑ <b>Conj. Lit. CAPIVARA</b> ↑ (INTERCALAÇÕES DOLOMÍTICAS) ↑ ↑ ↑</p>	<p><b>CONJUNTO LITOLÓGICO ERODIDO</b> (ARENITOS + QUARTZITOS QUE FORAM ERODIDOS NOS BLOCOS SOERGUIDOS POR TRANSPRESSÃO).</p> <p><b>CONJUNTO LITOLÓGICO ERODIDO</b> (MÁRMORES DOLOMÍTICOS FORAM ERODIDOS)</p>	<p><b>Formação CAPIRÚ</b> <b>Conj. Lit. MORRO GRANDE</b> (QUARTZITOS + PELITOS)</p> <p>↓ <b>Conj. Lit. RIO BRANCO</b> ↓ (METADOLOMITOS INTERCALADOS POR NÍVEIS CALCÍTIOS). ↓ ↓ ↓ ↓</p>
<p>SEDIMENTAÇÃO DAS <b>Formações ABAPÃ E VOTUVERAVA.</b></p> <p>(PORÇÃO INTERMEDIÁRIA DO GRUPO AÇUNGUI)</p>	<p><i>AUSÊNCIA DE MÁRMORES CALCÍTIOS</i></p> <p><b>Formação ABAPÃ</b> (METARENITOS E METARENITOS FELDSPÁTICOS, COM INTERCALAÇÕES DE METAVULCÂNICAS E VULCANOCLÁSTICAS. → ARENITO FELDSPÁTICO - FORMADOS NO INTERIOR OU PRÓXIMO DA BORDA DE UM BLOCO CONTINENTAL, AMBIENTE DE MAR RASO E CALMO. → VULCÂNICAS - PRÓXIMO A UM BLOCO CONTINENTAL.</p>	<p>↑ <b>Conj. Lit. CAPIVARA</b> ↑ (METACALCÁRIOS RÍTMICOS ↑ CALCÍTIOS + INTERCALAÇÕES DE DOLOMITOS). → PLATAFORMA CARBONÁTICA, MARINHO RASO.</p> <p><b>Conj. Lit. TACANIÇA</b> METARRITMITOS SÍLICOS, METARENITOS FINOS, METACONGLOMERADOS.</p> <p>→ PLATAFORMA CLÁSTICA, COM FÁCIES DE FUNDO LAMÍTICO DE BARRAS, DE CANAIS SUBAQUOSOS E LEQUES DE TURBIDEZ.</p>	<p><b>Formação VOTUVERAVA</b> <b>Conj. Lit. SAIVÁ</b> (PELITOS AVERMELHADOS CALCÍTIOS + MÁRMORE CINZA ESCURO + FILITO MARRON ESCURO) → DEPOSIÇÃO ABAIXO DAS ONDAS.</p> <p><b>Conj. Lit. COLONINHA</b> (METARENITOS, METASSILTITOS, METACONGLOMERADOS → TURBIDITOS).</p> <p><b>Conj. Lit. BROMADO</b> (METACONGLOMERADOS, QUARTZITOS E FILITOS).</p>	<p>↓ <b>Conj. Lit. RIO BRANCO</b> ↓ (INTERCALAÇÕES DE NÍVEIS CALCÍTIOS) ↓</p> <p><b>Conj. Lit. JURUQUI</b> PRESENÇA DE FILITOS.</p> <p>??? ??? ??? ??? ??? ??? ??? ???</p> <p>??? ??? ??? ??? ??? ??? ??? ???</p>
<p>SEDIMENTAÇÃO DA <b>Formação ÁGUA CLARA.</b></p> <p>(BASE DO GRUPO AÇUNGUI)</p>	<p><b>Formação ÁGUA CLARA</b> (ALÇADO POR TRANSPRESSÃO)</p> <p>BORDA NW DO COMPLEXO 3 CÓRREGOS</p>	<p><b>Formação ÁGUA CLARA</b> (EXPOSTO EM ANTICLINAL E POR TRANSPRESSÃO). - UNIDADE TERRÍGENA - UNIDADE CARBONÁTICA - ?????</p>	<p><b>Formação ÁGUA CLARA</b> (EXPOSTO NO ANTICLINAL DO PERAU) - UNIDADE TERRÍGENA (FILITOS + ANFIBOLITOS); - UNIDADE CARBONÁTICA (METAMARGAS MINERALIZADAS). - UNIDADE QUARTZÍTICA</p>	<p><b>Grupo SETUVA</b> (ANTICLINAL DO SETUVA)</p> <p><b>RELAÇÕES COM A FORMAÇÃO ÁGUA CLARA DESCONHECIDAS.</b></p>

QUADRO 13 - Compilação das colunas estratigráficas existentes no Grupo Açungui com base nos trabalhos de Fiori, (1990), Lima et al (1993) e Reis Neto (1994).  
FONTE: Fassbinder 1996.

### 3.8 METAMORFISMO

O Grupo Açungui compreende rochas metassedimentares de baixo grau metamórfico. Esse grupo abrange as Formações Capiru e Votuverava (Bigarella e Salamuni, 1956, 1958) e Antinha (Dias e Salazar Jr., 1987).

A característica mais importante observada em quase todos os litotipos associados ao Grupo Açungui consiste na intensa lenticularização dos litotipos, visualizados tanto em escala de afloramento como em mapa. As rochas também exibem uma foliação principal bem desenvolvida, normalmente paralela ou subparalela ao acamamento sedimentar original  $S_0$ . Contudo a deformação atuou de forma heterogênea, existindo pontos onde as rochas se mostram pouco deformadas. Pontualmente são encontradas estruturas sedimentares preservadas, tais como estratificações cruzadas, acamamento gradacional, dobras convolutas e estruturas estromatolíticas, estas últimas típicas da Formação Capiru (Fiori, 1990).

O grau de metamorfismo é baixo, associado à fácies xisto verde (Marini, 1970).

#### 3.8.1: Encadeamento da Formação Água Clara com o Grupo Açungui

O metamorfismo que afetou os metassedimentos da Formação Água Clara atingiu a fácies xisto verde alto, podendo chegar ao grau médio em rochas metabásicas, conforme verificado por Pontes (1981, 1982).

As principais associações minerais observadas nas rochas das Formações, Água Clara, Votuverava e Capirú foram reconhecidas por Pontes (1981, 1982), Pontes e Salazar (1982), Reis Neto e Soares (1987) e Fassbinder (1996) (QUADRO 14).

<b>Formação Água Clara</b>	<b>Formações Votuverava e Capirú</b>
<p>Associações minerais:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Quartzo – Mica – Xistos (clorita, biotita, muscovita)</li> <li>- Clorita – Biotita – Flogopita – Tremolita/Actinolita</li> </ul> <p>Xistos</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Anfibolitos com hornblenda (actinolita) – plagioclásio (andesina) – clorita magnésiana – ortoclásio – quartzo</li> <li>- Clorita – albita – quartzo – xistos</li> <li>- Cálcio Xistos (quartzo – biotita – clorita)</li> <li>- Hornfels – Minerais produzidos por metamorfismo termal por meio da intrusão de corpos graníticos no Complexo Granítico Três Córregos</li> </ul>	<p>Minerais diagnósticos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Clorita</li> <li>- Epídoto</li> <li>- Actinolita</li> <li>- Cianita</li> </ul>

QUADRO 14 - Principais associações minerais existentes nas Formações Água Clara, Votuverava e Capirú.

FONTE: Fassbinder (1996).

As associações minerais presentes nas Formações Água Clara e nas Formações Votuverava e Capirú mostram proximidade quanto às fácies metamórficas. Na Formação Água Clara há um grau metamórfico ligeiramente mais alto em relação as rochas do Grupo Açungui. Essa característica reflete uma transição de natureza metamórfica entre as unidades. Em razão das poucas exposições da Formação Água Clara, normalmente inserida em blocos tectônicos compartimentados por falhas de empurrão (cavalgamento), não é possível caracterizar com maior detalhe essa transição. Devido a essa situação não é possível efetuar o rastreamento lateral das isothermas (Fassbinder, 1996).

Nas rochas da Formação Água Clara, observa-se em larga escala a atuação de retrometamorfismo. Esse fenômeno ocorreu devido a um período de transpressão, onde extensos pacotes litológicos foram elevados por meio da coluna transpressional (estrutura em flor positiva). A consequência desse fenômeno foi à desestabilização das paragêneses minerais produzidas na fácies xisto verde alto e início da fácies anfibolito geradas em níveis estruturais mais profundos. Ao atingir um nível estrutural idêntico ao que as rochas do Grupo Açungui foram metamorfisadas, as paragêneses da Formação Água Clara e do Grupo Açungui, tornaram-se parcialmente equivalentes (Fassbinder, 1996).

Segundo Fassbinder (1996), o retrometamorfismo desenvolvido nas rochas da Formação Água Clara é caracterizado pelas seguintes transformações:

- Saussuritização de plagioclásios
- Transformação de biotita em clorita
- Coexistência de biotita e clorita
- Cloritização de granadas
- Transformação de hornblenda em tremolita/actinolita
- Transformação de plagioclásio em epidoto

## 4 GEOLOGIA DA MINA RIO BONITO

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO LITOLÓGICA

A mina Rio Bonito é lavrada a céu aberto, sendo caracterizada por uma ampla cava com bancadas sucessivas. As rochas da mina estão expostas ao longo de bancadas com altura variando de 8 a 12 metros, onde as maiores exposições de rochas ocorrem ao longo das bancadas voltadas para a face norte e face sul da mina (FIGURA 26).



FIGURA 26 - Visão panorâmica da mina rio bonito mostrando suas bancadas. Fotografia obtida em 2007.

Além dos mármore calcíticos, na mina ocorrem rochas dolomíticas, caracterizadas por mármore dolomíticas e brechas dolomíticas, além de metamargas, metabásicas e diabásio.

As rochas identificadas na mina Rio Bonito são apresentadas no mapa a seguir (FIGURA 27).

# Mapa Geológico da Mina Rio Bonito

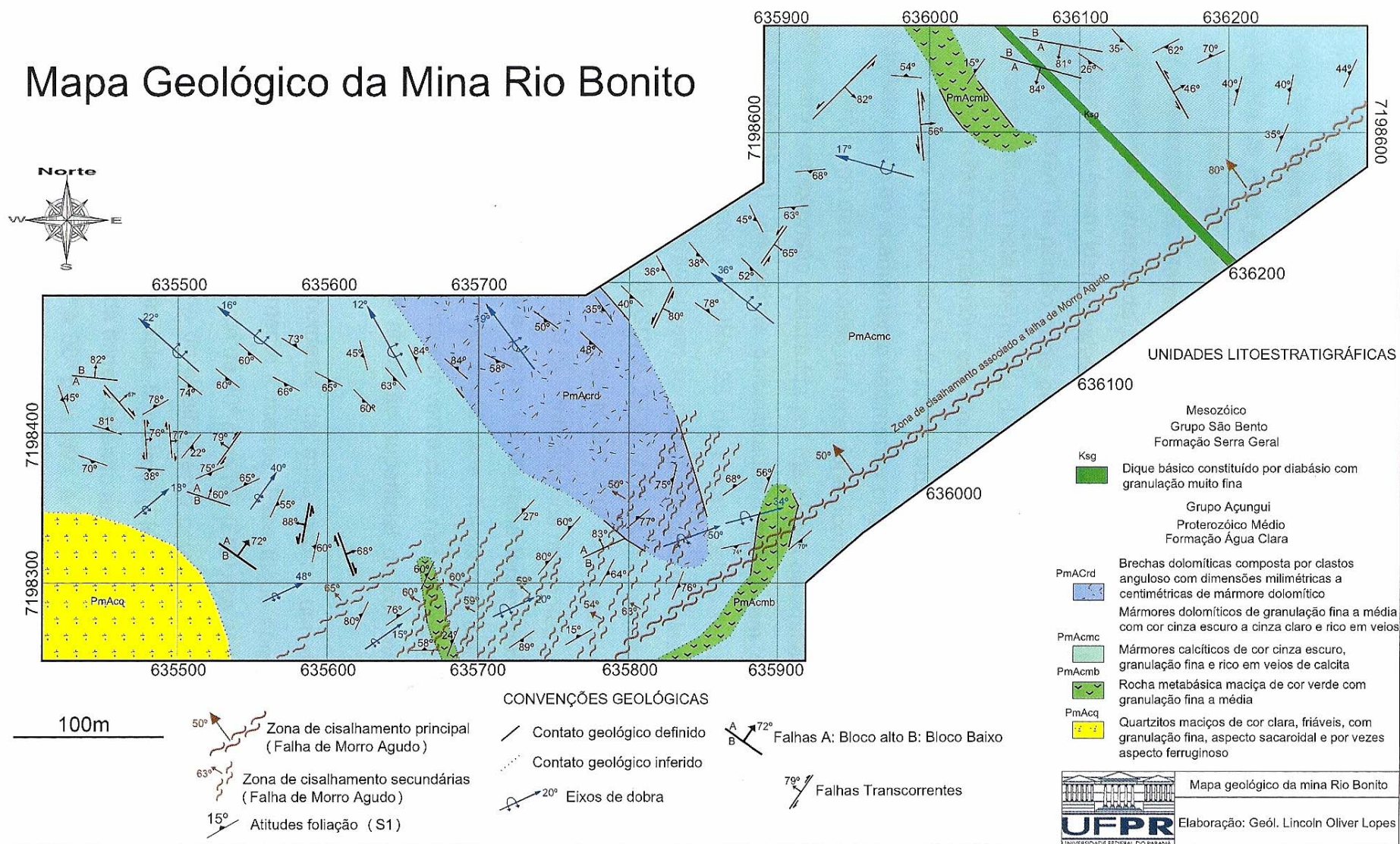


FIGURA 27 - Mapa geológico do interior da mina Rio Bonito.

Os mármore possuem cor variando de cinza escuro a cinza claro, sendo ricos em veios de carbonato com cor variando de branco a róseo (FIGURA 28 a). Em algumas porções da mina é possível identificar o acamamento sedimentar original ( $S_0$ ) em posição paralela ou sub-paralela à foliação do tipo clivagem ardosiana ( $S_1$ ) gerada no metamorfismo. Metamargas ocorrem intercaladas aos mármore calcíticos e possuem cor variando de cinza a cinza esverdeado. Nos domínios da cava as metamargas foram identificadas por meio da descrição de furos de sondagem. Estas rochas afloram na porção norte da mina e exibem freqüentemente um bandamento de cores definido pela alternância de níveis cinza escuro e cinza claro (FIGURA 28 b). Assim como nos mármore calcíticos, nas metamargas, o metamorfismo produziu uma foliação ( $S_1$ ) do tipo clivagem ardosiana disposta paralelamente ou sub-paralelamente ao acamamento sedimentar original ( $S_0$ ).

Ao longo das bancadas da face norte ocorre um corpo com aproximadamente 60 metros de extensão constituído por mármore dolomíticos e brechas dolomíticas (FIGURA 28 c). As rochas dolomíticas ocorrem em contato abrupto com os mármore calcíticos (FIGURA 28 d). Essas rochas foram estudadas por Pinto-Coelho (2007) e caracterizam-se pela presença de clastos angulosos sem uma orientação preferencial (FIGURA 28 e). A faixa de rochas dolomíticas apresenta direção preferencial variando entre  $N 30^\circ - 70^\circ W$  e está disposta de forma oblíqua em relação à foliação principal  $S_1$  verificada nos mármore calcíticos.

Na porção nordeste e centro sul da mina foram identificados afloramentos de uma rocha metabásica intercalada aos mármore calcíticos. Essa rocha se apresenta maciça e com uma cor verde clara nas porções inalteradas (FIGURA 29 a), exibindo uma capa de alteração superficial de cor avermelhada nas porções alteradas.

Ainda na porção nordeste da mina ocorre um dique de diabásio com espessura de aproximadamente 4 metros. Esse dique apresenta direção média  $N 50^\circ W$  com mergulhos de cerca de  $80^\circ$  para NE (FIGURA 29 b).

Uma expressiva zona de cisalhamento ocorre no interior da mina com uma espessura de aproximadamente 5 metros (FIGURA 29 c). Essa estrutura está localizada na porção leste da mina, cortando as rochas na direção média  $N70^\circ E$  com mergulhos variando de  $50^\circ$  a  $80^\circ$  para NW. A foto - interpretação da área mostra que essa estrutura está associada à falha transcorrente de Morro Agudo. A zona de cisalhamento produziu intensa deformação e lenticularização das rochas afetando os

mármore calcítico na porção nordeste (FIGURA 29 d) e rochas metabásicas na porção sul (FIGURA 29 e).

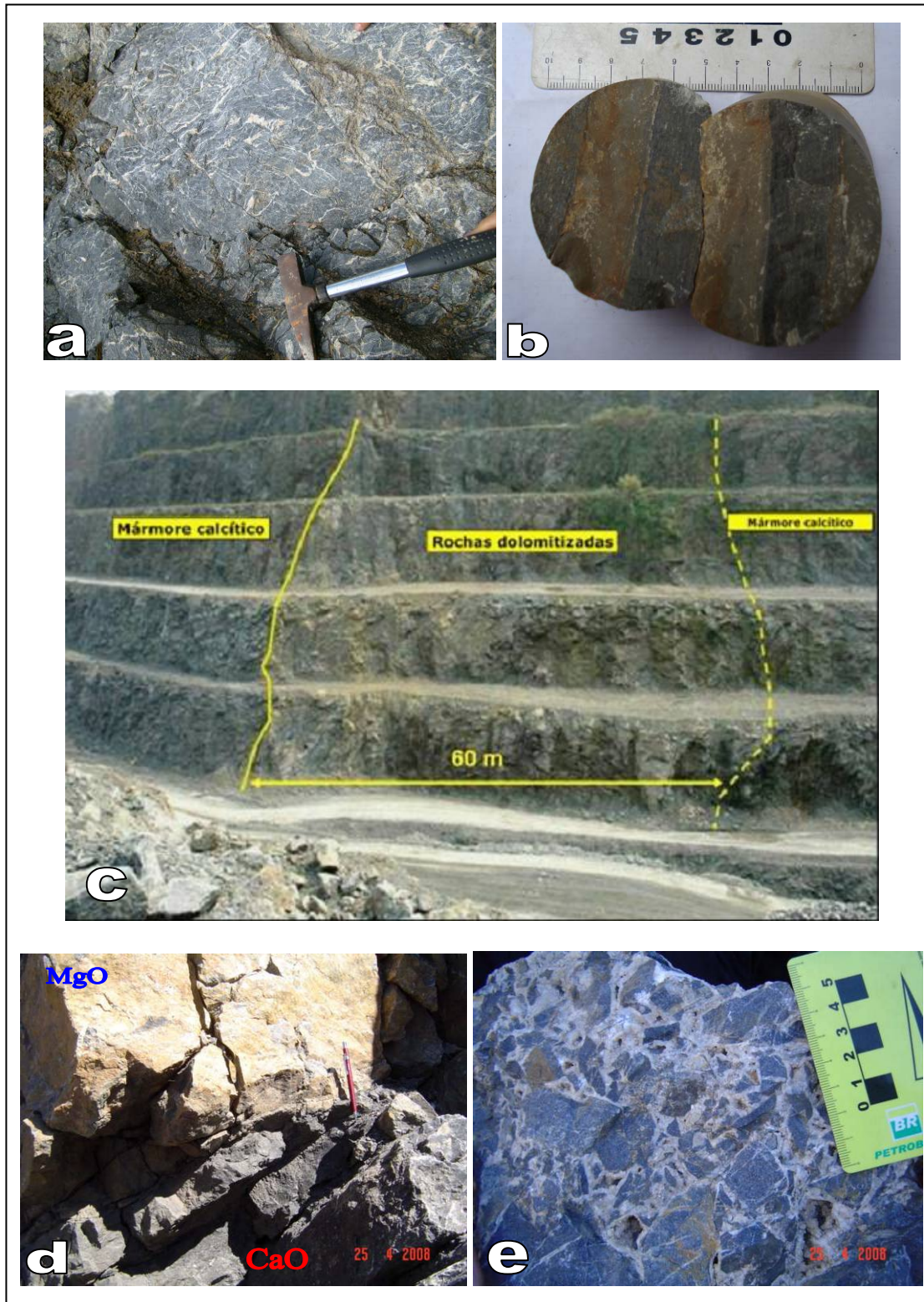


FIGURA 28 - a: Mármore calcítico rico em veios de calcita da mina Rio Bonito; b: Metamargas com bandamento de cores; c: Corpo de rochas dolomíticas ao longo da face norte da mina Fonte: Pinto-Coelho (2007); d: Contato abrupto entre mármore calcítico e rochas dolomíticas; e: Clastos angulosos de rochas dolomíticas sem orientação preferencial (brecha dolomítica).





FIGURA 29 - a: Rocha metabásica inalterada; b: Dique de diabásio na porção nordeste da mina; c: Zona de cisalhamento associada à falha de Morro Agudo; d: Mármore calcíticos afetados pela zona de cisalhamento exibindo foliação milonítica; e: Rocha metabásica afetada pela zona de cisalhamento com foliação milonítica.

#### 4.1.1 Caracterização dos tipos litológicos

Nesse item será abordada a descrição das rochas aflorantes na mina Rio Bonito. Os detalhes das principais estruturas das rochas foram identificados por meio de análise petrográfica.

##### a) Mármore calcícticos

Essas rochas constituem o minério explotado pela Cia. de Cimentos Itambé e apresentam cor variando de cinza escuro à cinza claro, com matriz homogênea e maciça. Os mármore calcícticos de cor cinza escuro são predominantes, exibindo matriz com granulação fina, sendo comum a presença de veios de cor branca com espessuras variando de milimétricas a centimétricas. Esses veios são preenchidos por calcita com granulação variando de fina à média (FIGURA 30 a). Alguns mármore calcícticos apresentam-se maciços e homogêneos, sem veios associados (FIGURA 30 b).

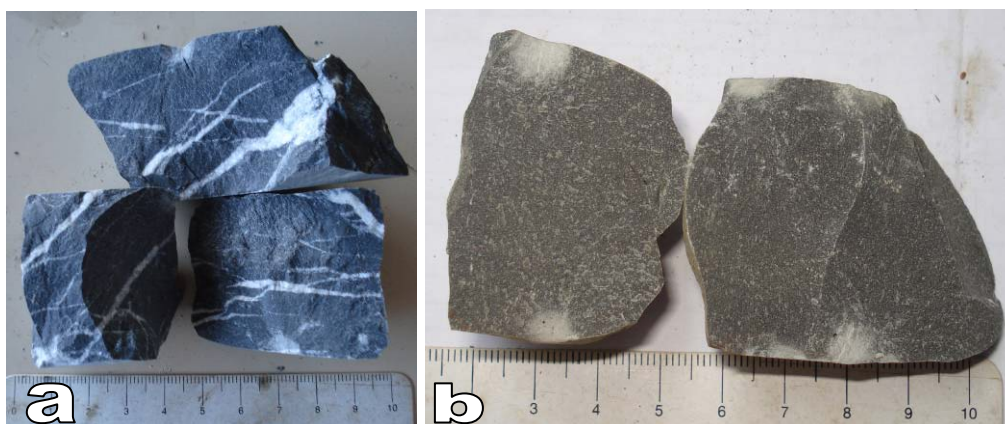


FIGURA 30 - a: Mármore calcíctico com veios preenchidos por calcita com granulação fina média. b: Mármore calcíctico sem veios associados.

Nos mármore calcícticos de cor cinza escuro, a matriz é constituída por cristais finos de carbonato (FIGURA 31 a) e veios preenchidos por carbonatos com granulação média à grossa (FIGURA 31 b).

A calcita constitui aproximadamente 95% dos minerais da rocha. O restante inclui mica branca (0 – 5%) e minerais opacos (traços). A sericita se apresenta na forma de cristais lamelares com granulação fina dispersos pela matriz da rocha. Conforme verificado por Pinto-Coelho (2007), no contato dos veios com a matriz verifica-se a presença de estilólitos (FIGURA 31 b). Os minerais opacos constituem

cristais subédricos com granulação fina em quantidade muito reduzida também ocorrendo dispersos pela matriz da rocha.

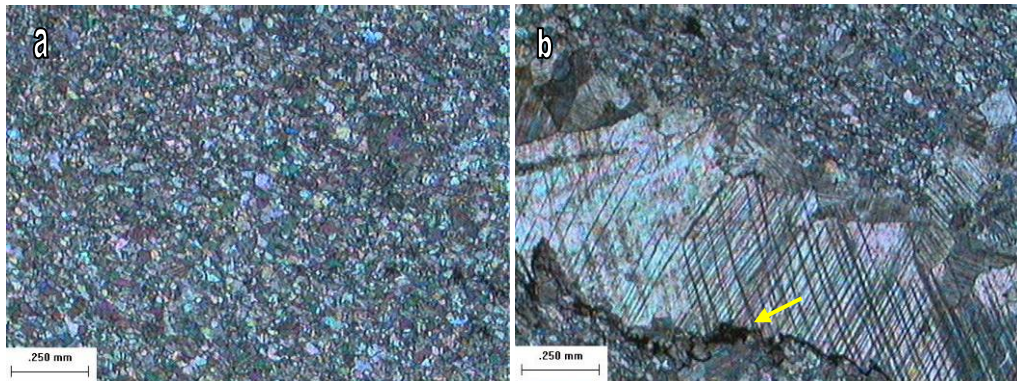


FIGURA 31 - Fotomicrografia de mármore calcítico. a: Matriz carbonática com granulação fina (Luz polarizada). b: Veio preenchido por cristais de carbonato com granulação grossa. Notar a presença de estilólito no contato do veio com a matriz (Luz polarizada) - (Amostra PTC 05 A).

Os mármore calcíticos de cor cinza claro apresentam matriz maciça e homogênea. Os cristais de calcita apresentam granulação média a grossa, e não há veios (FIGURA 32 a e b).



FIGURA 32 a e b - Mármore calcítico de cor cinza clara. Notar aspecto maciço e homogêneo e ausência de veios.

Nos mármore calcíticos de cor cinza claro os carbonatos correspondem a 100% dos minerais, com quantidade traço de mica branca e minerais opacos.

A rocha apresenta matriz constituída por cristais de calcita com granulação média, exibindo textura granoblástica, onde os cristais mostram contatos poligonais em suas faces configurando aspecto de “mosaico” (FIGURA 33). Nessas rochas os veios são muito raros ou mesmo ausentes.

Segundo a classificação de Sibley e Gregg (1987) a análise petrográfica dos mármore calcíticos mostra que os carbonatos associados à matriz da rocha possuem distribuição unimodal com cristais planares-e a planares-s.

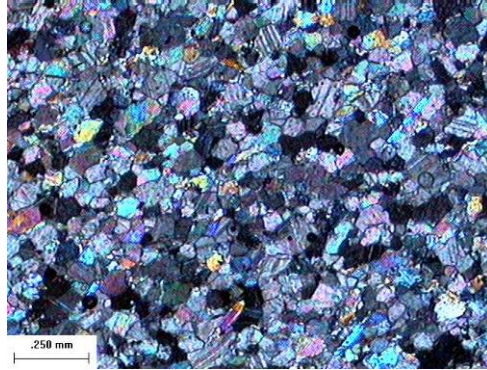


FIGURA 33 - Fotomicrografia de mármore calcítico. Matriz carbonática constituída por cristais de calcita com granulação média em mármore calcíticos de cor cinza clara. Notar ausência de veios (Luz polarizada). (Amostra 103 /08 A).

#### b) Mármore dolomíticos e brecha dolomítica

Os mármore dolomíticos apresentam cor cinza escuro, granulação média, e intenso sistema de veios associado. Esses veios possuem espessuras variando de milimétricas a centimétricas, sendo preenchidos por cristais de calcita e dolomita de cor branca (FIGURA 34 a). Nos veios, os carbonatos possuem granulação variando de fina a média. É comum a presença de cavidades preenchidas por calcita (FIGURA 34 b)



FIGURA 34 - a: Mármore dolomítico com granulação média e veios preenchidos por calcita de granulação fina a média. b: Mármore dolomítico com intenso sistema de veios associado e cavidade preenchida por calcita com granulação média.

A análise petrográfica dos mármore dolomíticos mostra essencialmente cristais de carbonato (dolomita), com quantidade traço de minerais opacos. Os

cristais de carbonato ocorrem associados à matriz da rocha e ao preenchimento de venulações e cavidades.

Segundo Pinto-Coelho (2007), os carbonatos associados à matriz da rocha são dolomita do tipo substituição (Ds) e os carbonatos presentes no preenchimento de veios são dolomita do tipo preenchimento (Dp).

A dolomita do tipo substituição constitui o primeiro mineral formado através da transformação do mármore calcítico original (Pinto-Coelho, 2007).

De acordo com Sibley e Gregg (1987), a dolomita do tipo substituição associada à matriz da rocha é caracterizada por cristais não-planares com distribuição predominantemente unimodal e secundariamente polimodal. Esses cristais possuem granulação média e extinção ondulante (FIGURA 35 a). A análise sob luz natural mostra freqüentemente turbidez nos cristais (FIGURA 35 b)

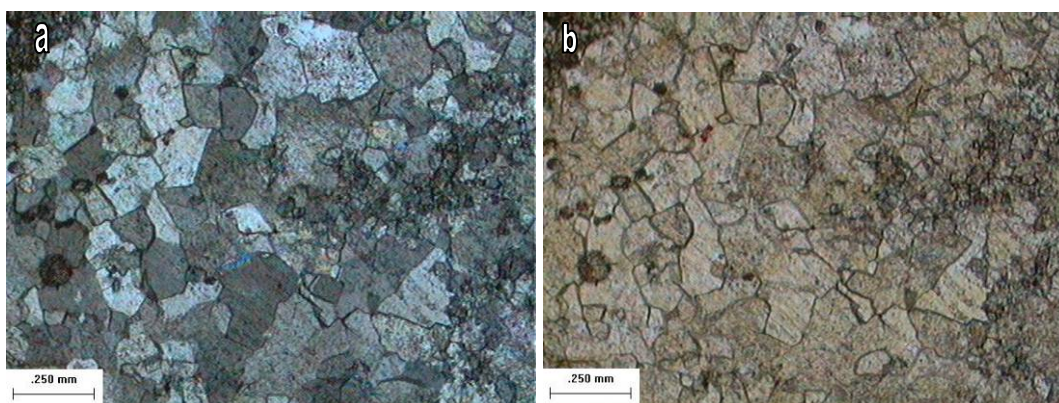


FIGURA 35 - Fotomicrografia de mármore dolomítico. a: Cristais de dolomita do tipo substituição na matriz da rocha (Luz polarizada). b: Aspecto turvo de cristais de dolomita devido à presença de material ferruginoso (Luz natural) Amostra PTC 13 -10.

Os cristais de dolomita do tipo preenchimento foram gerados em um processo posterior à geração da dolomita do tipo substituição (Pinto-Coelho, 2007). Esses cristais são médios a grossos (FIGURA 36 a), apresentam extinção ondulante e menor turbidez em relação aos cristais de dolomita do tipo substituição (FIGURA 36 b). Ocorrem freqüentemente associados ao preenchimento de fraturas que seccionam a matriz da rocha.

Nesses cristais a distribuição predominante é polimodal, secundariamente unimodal, e os contatos entre os cristais variam de planares a não-planares.

Segundo Radke e Mathis (1980) e Searl (1989), os aspectos texturais e

ópticos desse tipo de dolomita permitem caracterizá-la como dolomita do tipo em sela.

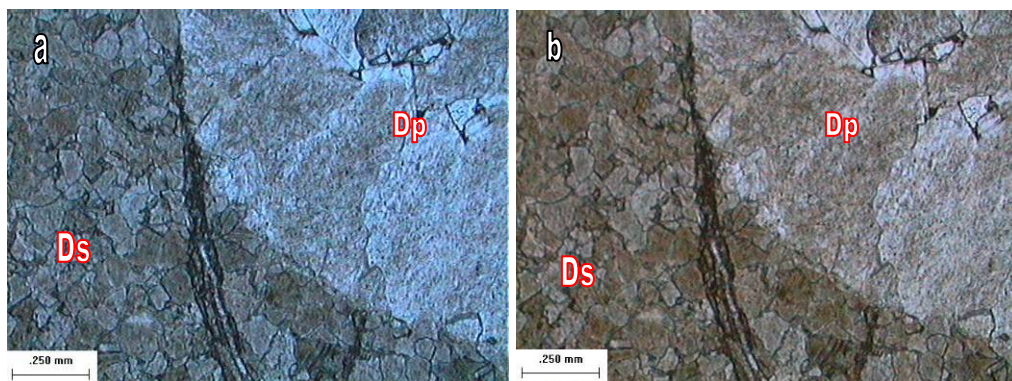


FIGURA 36 - Fotomicrografia de mármore dolomítico. a: Cristais de dolomita do tipo substituição com granulação grossa seccionando a matriz de mármore dolomítico (Luz polarizada). b: Aspecto turvo mais acentuado nos cristais da matriz (Ds) em relação aos cristais de dolomita do tipo preenchimento (Dp) (Luz natural). Amostra PTC 13-34.

As rochas dolomíticas exibem localmente feições brechadas. Segundo Pinto-Coelho (2007), a brecha dolomítica é caracterizada pela presença de clastos de mármore dolomítico de cor cinza escuro cortados por diversas fraturas preenchidas por óxidos de ferro e veios carbonáticos. Esses clastos possuem granulação média e formas angulosas a subangulosas (FIGURA 37). Os clastos não apresentam evidências de deslocamento nem de deformação, possuindo feições indicativas de fraturamento hidráulico. Os fragmentos possuem dimensões variando de sub-centimétricas a até 10 cm.

O preenchimento de cavidades nas brechas dolomíticas obedece a um padrão rítmico de repetição configurando um aspecto geódico (FIGURA 38). Do núcleo da cavidade em direção ao topo ocorrem fragmentos de mármore dolomítico associados à dolomita do tipo preenchimento (Dp1), seguido por um nível de cor branca caracterizado por cristais de dolomita associada a uma segunda fase de preenchimento (Dp2). No topo da cavidade ocorrem exsoluções de goethita a partir do nível composto por dolomita (Dp2) e na última fase de precipitação de material carbonático ocorrem cristais de calcita com aspecto geódico que segundo Evamy (1967) estariam associados a processo de dedolomitização.



FIGURA 37 - Brecha dolomítica com clastos de mármore dolomítico com dimensões subcentimétricas a centimétricas.

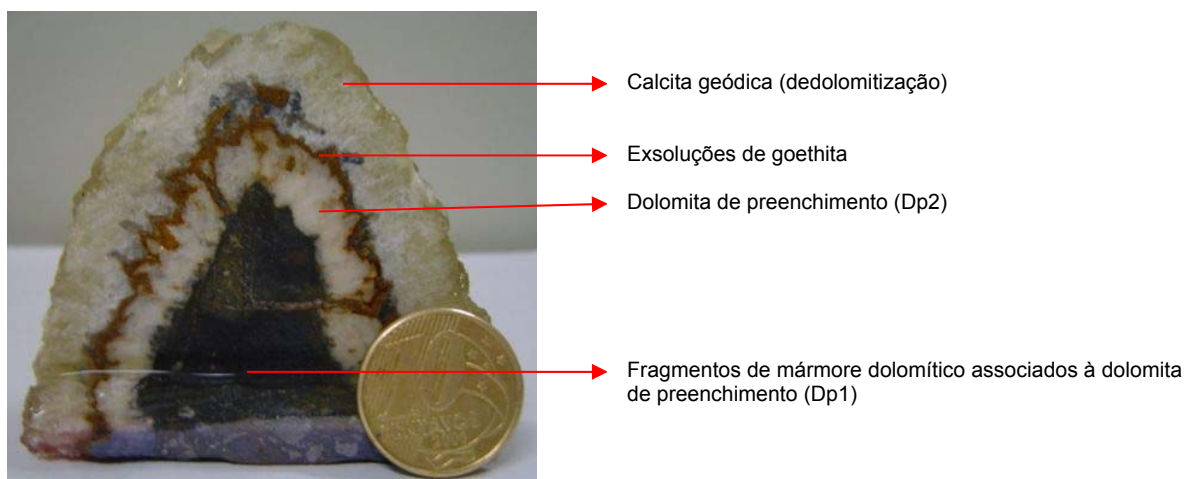


FIGURA 38 – Amostra com aspecto geódico associada a brechas dolomíticas.

Na brecha dolomítica, há uma grande variedade textural na rocha que será abordada a seguir.

Conforme verificado por Pinto-Coelho (2007), nos clastos de mármore dolomítico, verificou-se apenas cristais de dolomita do tipo substituição (Ds). Alguns clastos apresentam feições típicas de corrosão devido à percolação dos fluidos que formaram o cimento da rocha.

Nos cristais de dolomita associados ao preenchimento de cavidades ou fraturas foram individualizadas 2 fases. A primeira fase de dolomita de preenchimento (Dp1) é caracterizada por um material micrítico de cor castanho escuro e granulação muito fina. Análises de difração de raios X realizadas após separação desse material com broca elétrica revelaram a presença de dolomita, calcita, quartzo, goethita e muscovita. A segunda fase de dolomita do tipo

preenchimento (Dp2) ocorre na forma de cristais com granulação média à grossa, classificados como planares-s a não planares e com distribuição polimodal. Frequentemente esses cristais apresentam hábito em forma de ponta de lança com núcleo turvo e bordas límpidas. Esses cristais desenvolvem-se no contato com os cristais de dolomita do tipo Dp1, onde germes de cristais da geração Dp2 ocorrem como preenchimento de material intersticial (FIGURA 39 a). Outra característica comum é a presença de exsoluções de goethita ao longo das linhas de crescimento dos cristais de calcita e seus planos de clivagem. Essa característica segundo Radke e Mathis (1980), é indicativa de processo de dedolomitização (FIGURA 39 b).

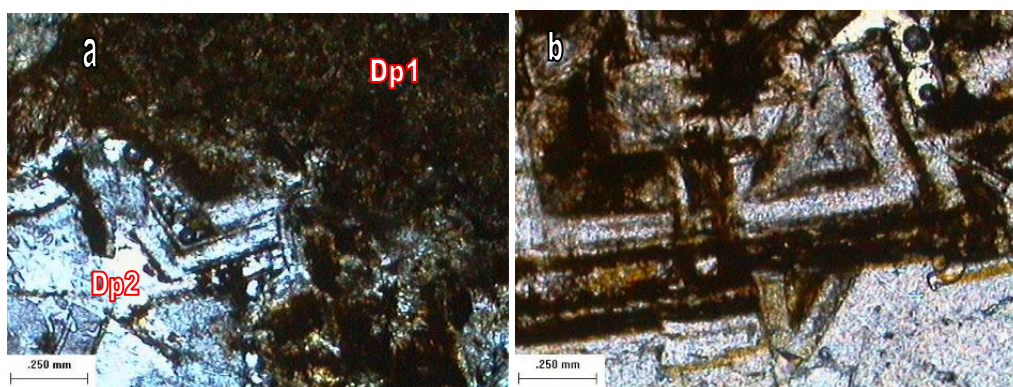


FIGURA 39 - Fotomicrografia de brecha dolomítica. a: Dolomita do tipo preenchimento (Dp1) com aspecto micrítico e dolomita do tipo preenchimento (Dp2) com cristais com granulação média a grossa e hábito em forma de ponta de lança (Luz polarizada). b: Cristais de dolomita com hábito em forma de ponta de lança e exsoluções de goethita ao longo das linhas de crescimento do cristal (Luz polarizada). Amostra DS-2.

### c) Metamargas

As metamargas apresentam cor cinza escuro a cinza claro, com granulação variando de fina à grossa. Essas rochas acompanham a deformação que afetou os mármore calcíticos, ocorrendo intercaladas aos mármore. As metamargas são constituídas por carbonatos, quartzo e filossilicatos. Apresenta uma foliação incipiente do tipo clivagem ardosiana definida pela orientação de filossilicatos (FIGURA 40 a).

Nessas rochas, é comum a presença de um bandamento de cores definido pela intercalação de níveis de cor cinza claro com níveis de cor cinza escuro (FIGURA 40 b). Os níveis de cor cinza escuro apresentam uma foliação incipiente definida pela orientação de filossilicatos. Os níveis de cor cinza claro são maciços e homogêneos e os cristais finos de carbonato não apresentam veios associados.





FIGURA 40 - a: Metamarga com foliação incipiente definida pela orientação de filossilicatos. b: Metamarga com bandamento de cores definido pela intercalação de níveis cinza claros com níveis cinza escuros.

Além das rochas bandadas, ocorrem também metamargas de matriz maciça e homogênea com granulação variando de fina à média (FIGURA 41 a) e de média à grossa (FIGURA 41 b). Os veios são muito raros nessas rochas.



FIGURA 41 - a: Metamarga maciça com granulação fina a média. b: Metamarga maciça com granulação variando de média a grossa.

As metamargas são constituídas por cristais de carbonato, quartzo, muscovita e minerais opacos em quantidade traço. Nas rochas bandadas, ocorre intercalação de níveis de cor cinza escuro com níveis de cor cinza claro. Nos níveis de cor cinza claro a granulação é ligeiramente mais fina em relação aos níveis de cor cinza escura. A análise petrográfica das metamargas bandadas mostra matriz constituída por cristais de carbonato e muscovita com granulação fina a muito fina. Esses cristais possuem orientação incipiente segundo direção principal, definindo uma foliação  $S_1$  (FIGURA 42 a).

Nas metamargas maciças, a matriz possui granulação fina à média, sendo constituída por carbonato e lamelas de muscovita. Foram observados poucos veios, onde o preenchimento é dado por cristais de quartzo e carbonato com granulação média. Esses veios cortam as estruturas da matriz. Foram observadas diversas estruturas nodulares em associação com estilólitos. (FIGURA 42 b)

Conforme verificado por Pinto Coelho (2007) as estruturas nodulares possuem formas variando de arredondadas a estiradas, exibindo cor castanha em luz natural. No interior dessas estruturas observa-se reação com os minerais da matriz e com geração anterior aos episódios da venulação. Essas estruturas podem atingir até 15% em porcentagens modais, e ocorrem tanto nos níveis carbonáticos quanto nos níveis silicosos.

Os estilólitos são superfícies irregulares que se formam por dissolução por pressão em calcários, e possuem formas irregulares de um lado para outro, ora agudas, em pontas ou mais arredondadas, como um sismograma, e devido a dissolução diferencial ao longo da superfície tensionada (Flugel, 2004)

Os estilólitos foram produzidos em episódios distintos, pois a relação temporal com as vênulas de carbonato mostra gerações anteriores e posteriores às vênulas. A orientação dos picos de estilólitos mostra amplitudes que variam desde inclinadas, paralelas a sub-paralelas ao acamamento primário ( $S_0$ ) até suaves, paralelas a  $S_0$ . Estilólitos em episódios de geração perpendiculares entre si também são comuns. A largura dos picos e a altura dos eixos também são variáveis ao longo de um mesmo estilólito.

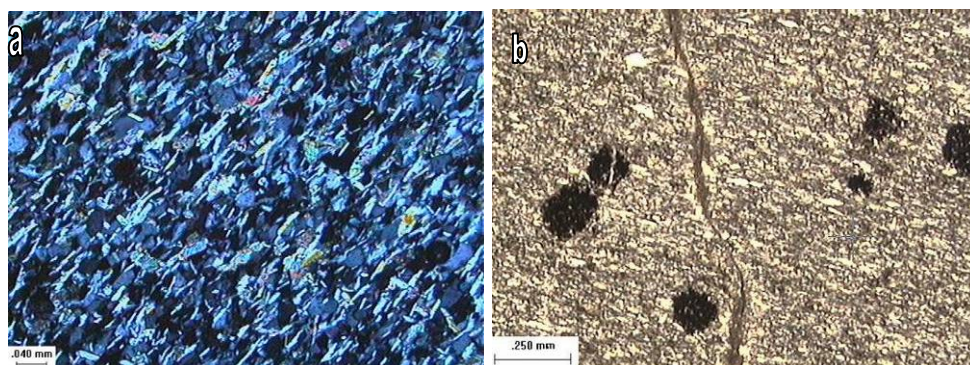


FIGURA 42 - Fotomicrografia de metamarg. a: Foliação definida pela orientação de cristais de carbonato e cristais lamelares de muscovita em metamargas bandadas (Luz polarizada) Amostra 103/08 d – escala gráfica (.040 mm). b: Estruturas nodulares associadas a estilólitos em metamargas maciças (Luz natural). Amostra PTC 01 A.

#### d) Metabásica

A rocha metabásica possui cor verde nas porções inalteradas, sendo constituída essencialmente por clorita e quartzo (FIGURA 29 a). A rocha é maciça com granulação fina, possuindo cor avermelhada nas porções alteradas

Essas rochas são constituídas por clorita (50 – 60%), minerais opacos em processo de alteração (20%), quartzo (15%), e carbonatos (0 – 5%).

A clorita ocorre na forma de cristais lamelares com granulação variando de fina a média (FIGURA 43 a). Esses cristais configuram a matriz da rocha e ocorrem envolvendo os cristais de minerais opacos.

Os minerais opacos ocorrem na forma de cristais com hábito subédrico a euédrico, com granulação variando de média a grossa e alguns deles já se encontram em processo de alteração avançado. O produto da alteração dos minerais opacos é um material ferruginoso amorfo de cor castanho avermelhado (FIGURA 43 b).

O quartzo ocorre associado à matriz e ao preenchimento de veios. A granulação dos cristais de quartzo tanto na matriz quanto nos veios varia de fina à média.

Os carbonatos ocorrem apenas no preenchimento de veios que cortam a matriz da rocha. Esses cristais apresentam granulação variando de fina a grossa. Alguns cristais possuem extinção ondulante e exibem maclas intensamente deformadas.

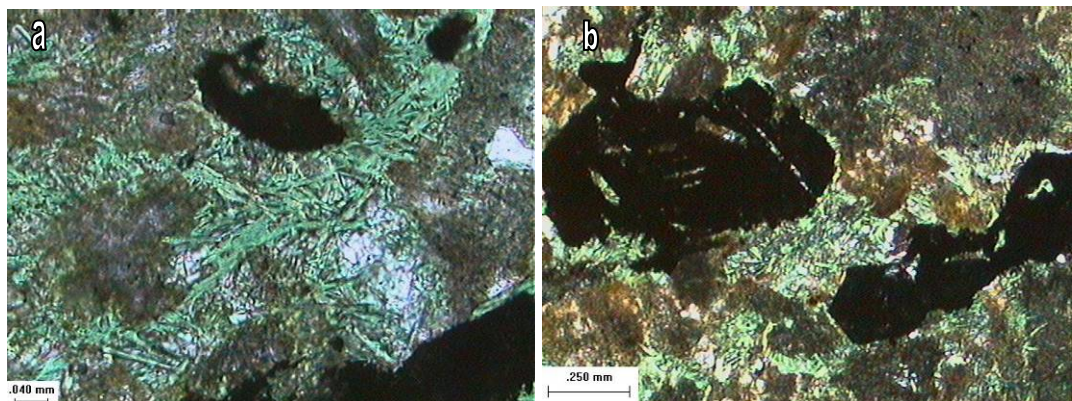


FIGURA 43 - Fotomicrografia de rochas metabásicas. a: Cristais lamelares de clorita associados à matriz da rocha (Luz polarizada) – escala gráfica (.040 mm). b: Cristais subédricos de minerais opacos em processo de alteração para óxidos de ferro (Luz polarizada). (Amostra 103/08 o).

#### e) Rochas milonitizadas

Uma expressiva zona de cisalhamento com cerca de 5 metros de espessura ocorre na área da mina. Essa estrutura afetou mármores calcíticos, rochas metabásicas e brechas dolomíticas (FIGURA 44). A direção dessa zona de cisalhamento varia de N 30° - 60° E, com mergulhos elevados (de 50° a 80° para

NW). Em todos os litotipos afetados observa-se forte deformação caracterizada por lenticularização e anastomosamento das rochas.

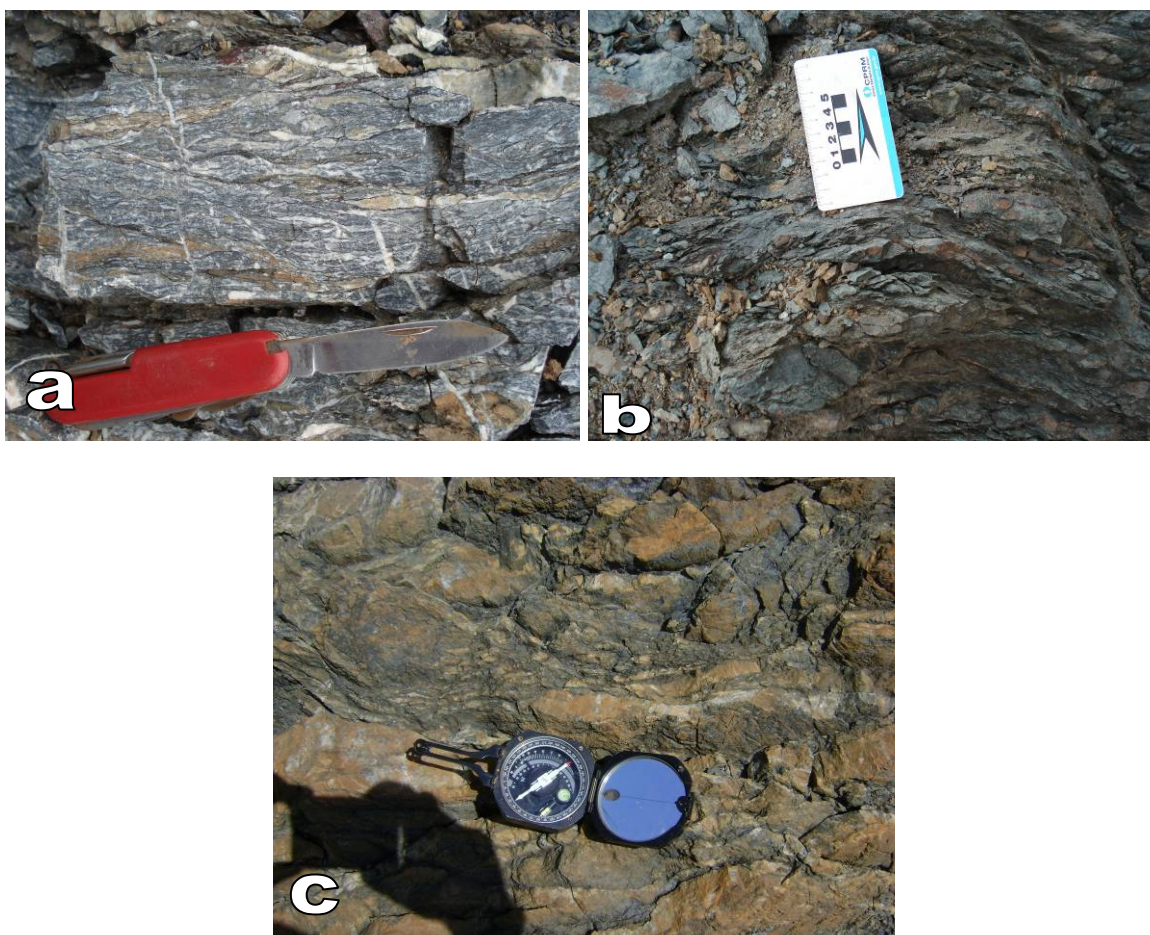


FIGURA 44 - a: Mármore calcítico milonitizado. (Bancada N747 – Face sul da mina Rio Bonito);  
b: Rocha metabásica milonitizada (Bancada N747 – Face sul da mina Rio Bonito);  
c: Brecha dolomítica milonitizada (Bancada N 747 – Face sul da mina Rio Bonito).

Uma foliação milonítica significativa é observada facilmente em mármore calcíticos e nas rochas metabásicas (FIGURA 45 E 46).

Os mármore calcíticos milonitizados são observados na face sul da mina e são caracterizados por intensa deformação associada à zona de cisalhamento com forte lenticularização e anastomosamento (FIGURA 45).

A análise microscópica mostra a presença de carbonatos (60 – 70%), quartzo (10 - 15%), muscovita (0 - 15%), grafita (0 - 15%) e minerais opacos (0 – 5%). A rocha exibe uma foliação milonítica definida pela orientação de cristais lamelares de grafita e cristais de quartzo e carbonatos estirados. Os cristais de carbonato e de quartzo por possuírem maior competência, configuram agregados com formas circulares que são envolvidos por cristais lamelares de grafita.

Os carbonatos ocorrem associados à matriz da rocha e também preenchendo veios. Na matriz, os cristais apresentam granulação fina e possuem formas estiradas definindo uma direção preferencial. Nesses cristais, aglomerados com formas de “olhos” são envolvidos pela foliação definida pelos cristais lamelares de grafita (FIGURA 45). Nos veios, os cristais possuem granulação variando de média à grossa com contatos poligonais entre as faces dos cristais. É comum a presença de cristais com maclas muito deformadas e extinção ondulante marcante.

O quartzo possui granulação variando de fina à grossa. Os cristais com granulação fina ocorrem associados à matriz, apresentando orientação segundo uma direção preferencial e formas estiradas. Assim como nos carbonatos, esses cristais pontualmente ocorrem como agregados envolvidos pelas lamelas de grafita.

Os cristais de grafita e muscovita definem a foliação marcante da rocha devido à orientação de seus cristais. Esses cristais apresentam granulação fina e configuram níveis delgados que devido a sua maior plasticidade, ocorrem envolvendo agregados de cristais de carbonato e quartzo.

Os minerais opacos ocorrem em pequena quantidade, sendo subédricos a euédricos, associados à matriz da rocha.

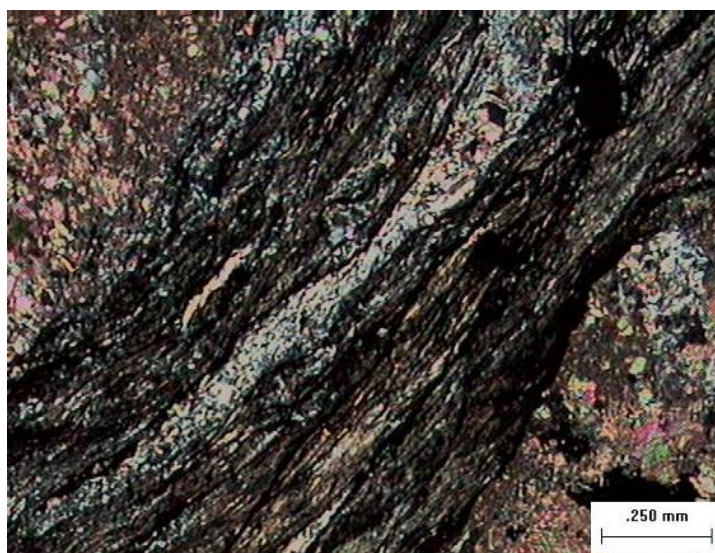


FIGURA 45 - Fotomicrografia mostrando foliação milonítica em mármore calcítico. (Luz polarizada).

Nas rochas metabásicas, a análise macroscópica mostra forte deformação com intensa lenticularização e anastomosamento. Veios de cor branca, preenchidos por calcita são abundantes. (FIGURA 44 b).

A análise microscópica mostra a presença de cristais de quartzo (35%), clorita (30%), carbonatos (25%) e minerais opacos (10%). Os cristais lamelares de clorita ocorrem orientados e mostram associação com minerais opacos (FIGURA 46). Cristais de quartzo com granulação fina à média são envolvidos pelas lamelas de clorita. Carbonatos ocorrem preenchendo veios que cortam essa foliação.

Os cristais de quartzo, carbonatos e clorita possuem granulação variando de fina à média, enquanto os minerais opacos possuem granulação fina.

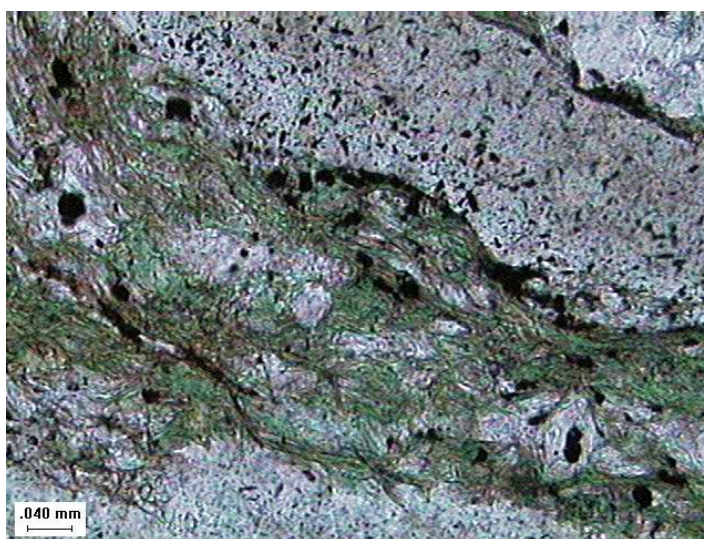


FIGURA 46 - Fotomicrografia mostrando foliação milonítica em rochas metabásicas (Luz polarizada).

#### f) Diabásio

O dique de diabásio presente na mina Rio Bonito possui espessura variando de 2 a 5 metros (FIGURA 47 a). Essas rochas possuem granulação fina e estrutura maciça. O plagioclásio (labradorita) possui granulação fina à média e frequentemente exhibe zoneamento. O piroxênio (augita) ocorre sob a forma de cristais anédricos com granulação variando de fina a média. A disposição desses cristais na rocha configura uma textura sub-ofítica e pontualmente ofítica (FIGURA 47 b).

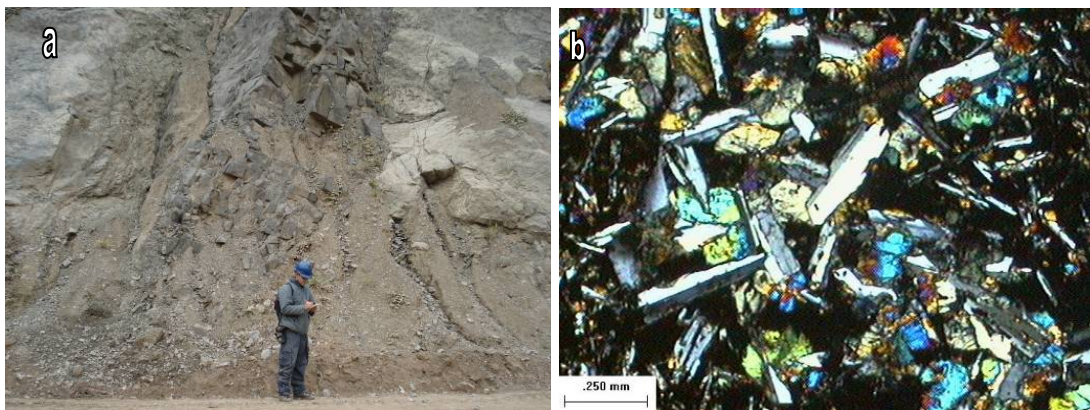


FIGURA 47 - a: Dique de diabásio aflorante na bancada N 761. b: Trama mineralógica composta por cristais de piroxênio (augita) e plagioclásio (labradorita), configurando textura sub-óptica (Luz polarizada). Amostra PTC-02.

#### 4.1.2 Metamorfismo

O método adotado para identificar a fácies metamórfica em que se enquadram as litologias estudadas é baseada na classificação proposta por Turner (1981). Esta classificação está fundamentada somente nas paragêneses minerais existentes e sua divisão é feita através da instabilidade e estabilidade de determinados minerais.

As análises petrográficas das metamargas e das rochas metabásicas mostram que o metamorfismo que afetou as rochas da mina Rio Bonito foi desenvolvido em condições de fácies xisto verde, zona da clorita. Não foram encontradas evidências de retrometamorfismo nas rochas analisadas.

## 4.2 GEOLOGIA ESTRUTURAL

O mapeamento estrutural de detalhe realizado na mina Rio Bonito mostra uma evolução estrutural polifásica complexa, onde foram identificadas cinco fases de deformação. As primeiras duas fases de deformação ( $D_1$  e  $D_2$ ) estão relacionadas a uma tectônica dúctil. A terceira fase  $D_3$  se desenvolveu em regime rúptil – dúctil, enquanto a quarta e quinta ( $D_4$  e  $D_5$ ) fase de deformação foram geradas em regime rúptil.

### 4.2.1 Tectônica Dúctil

A tectônica dúctil evidencia a atuação de duas fases distintas de dobramento.

A primeira fase de deformação ( $D_1$ ) é caracterizada pela presença de dobras com eixos sub-horizontaliados com direção NE – SW, facilmente identificadas na face sul da mina (FIGURA 48). Nessa fase foi gerada uma foliação  $S_1$  de caráter penetrativo (FIGURA 49). A evolução do processo tectônico de cavalgamento produziu ruptura em um dos flancos possibilitando o cavalgamento de massas rochosas por cima de outras de acordo com o modelo duplex (FIGURA 50). (Fiori, 1990).



FIGURA 48 - Dobra associada à fase  $D_1$  observada na bancada N 747, face Sul da mina Rio Bonito.



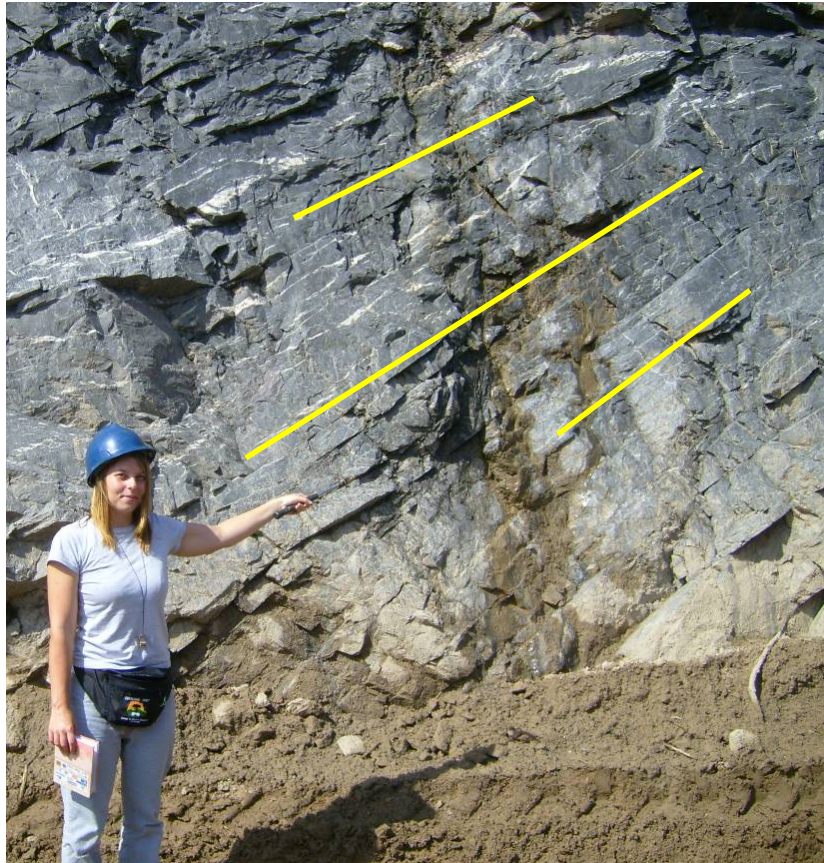


FIGURA 49 - Foliação S<sub>1</sub> em mármore calcícticos com veios de calcita paralelos a S<sub>1</sub>. Bancada N 737 – Face sul da mina Rio Bonito.

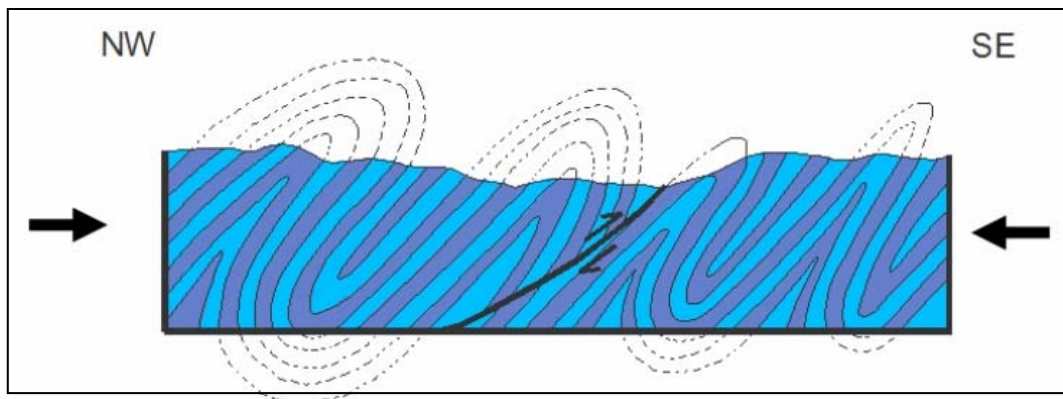


FIGURA 50 - Tectônica de cavalgamento mostrando transporte de massas rochosas para SE.

A foliação S<sub>1</sub> gerada ocorre disposta de forma paralela ou sub-paralela ao acamamento sedimentar original S<sub>0</sub>. O acamamento é caracterizado pela intercalação sucessiva de níveis milimétricos de cor cinza escuro e cinza claro, identificado nos mármore calcícticos e nas metamargas (FIGURA 51).

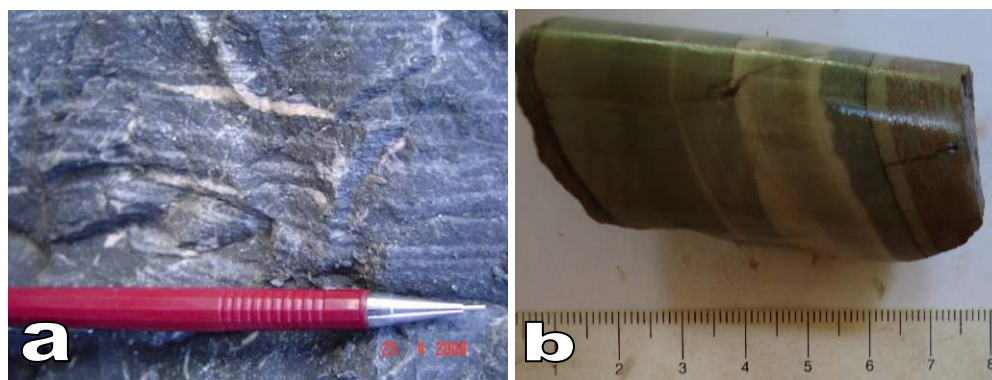


FIGURA 51 - a: Acamamento sedimentar original  $S_0$  em mármore calcícticos. b: Acamamento sedimentar original  $S_0$  em metamargos.

As dobras associadas à fase ( $D_1$ ) são facilmente observadas na face Sul da mina, com amplos flancos expostos em mármore calcícticos (FIGURA 52 a). Os eixos dessas dobras apresentam direções médias variando de  $N70^\circ$  à  $80^\circ$  E, com predomínio de caimentos para NE (FIGURA 52 b).

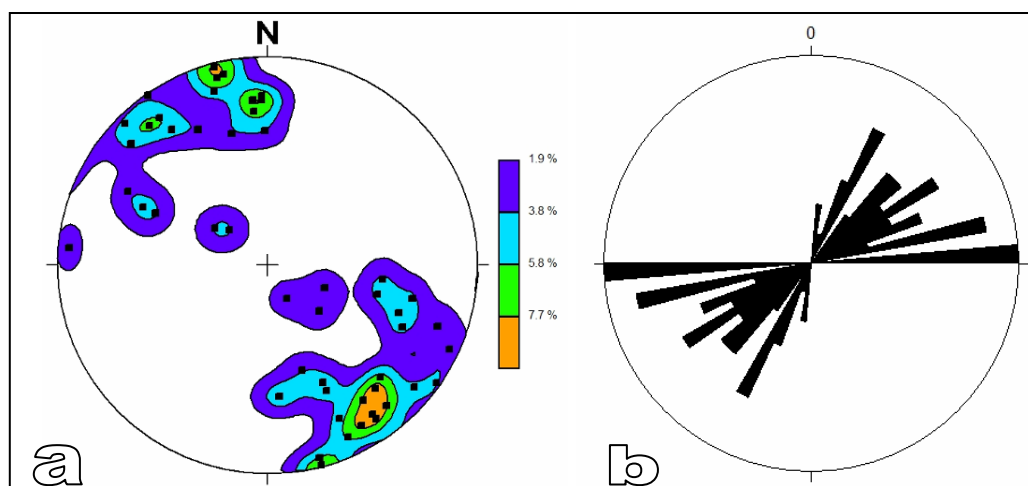


FIGURA 52 - a: Estereograma do contorno máximo de pólos da foliação  $S_1$ . b: Estereograma de rosetas mostrando a direção do eixo da dobras associadas à fase  $D_1$ . (52 atitudes).

A segunda fase de deformação ( $D_2$ ) também foi desenvolvida em um regime de deformação de caráter dúctil e natureza compressiva. Essa fase é caracterizada pelo redobramento das superfícies  $S_0$  e  $S_1$  (FIGURA 53 e 54).



FIGURA 53 - Dobras recumbentes associadas à fase de deformação  $D_2$  (Bancada da face Norte da mina Rio Bonito).

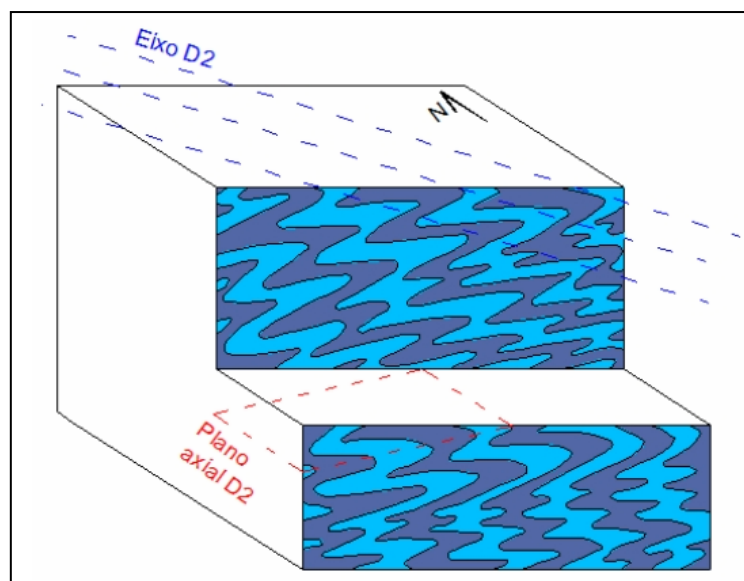


FIGURA 54 - Bloco diagrama mostrando a fase de deformação  $D_2$ .

Na mina, essa fase ( $D_2$ ) é facilmente observada no setor nordeste da mina sendo representada por dobras recumbentes fechadas com eixos na direção média N 40°W (FIGURA 55 a e b).

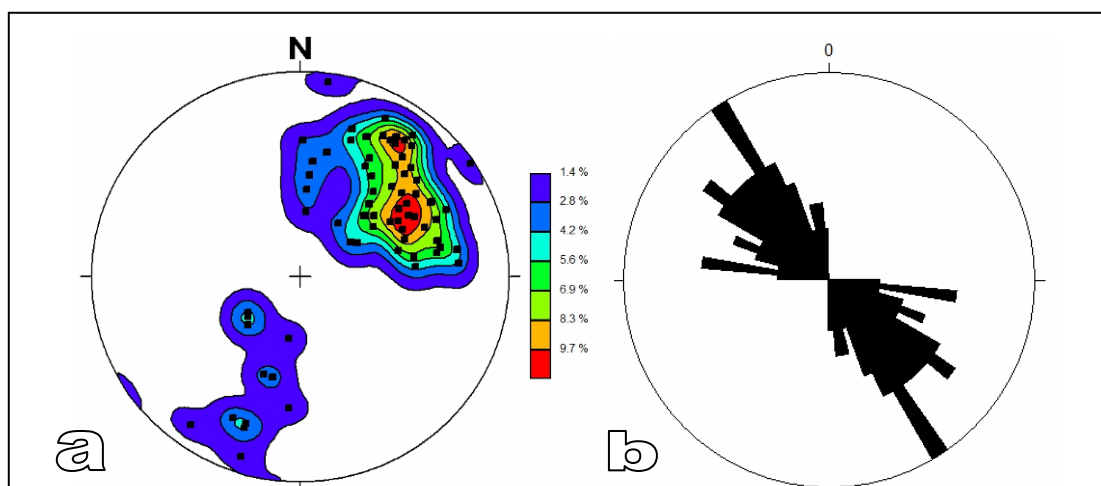


FIGURA 55 - a: Estereograma do contorno máximo de pólos da foliação  $S_1$ . b: Estereograma de rosetas mostrando a direção do eixo das dobras associadas à fase  $D_2$ . (72 atitudes).

#### 4.2.2 Zona de cisalhamento rúptil - dúctil

No interior da mina ocorre uma expressiva zona de cisalhamento que por meio de foto - interpretação e análise estrutural permite enquadrá-la à falha transcorrente de Morro Agudo. Essa falha constitui uma componente sintética da falha da Lancinha, e também possui movimentação dextral (Fiori, 1990). Na mina foram identificados indicadores cinemáticos ao longo de planos de falha que refletem movimentação dextral. Essa estrutura apresenta direção média  $N60^\circ E$  com mergulhos de 70 a  $80^\circ$  para NW (FIGURAS 56 e 57)

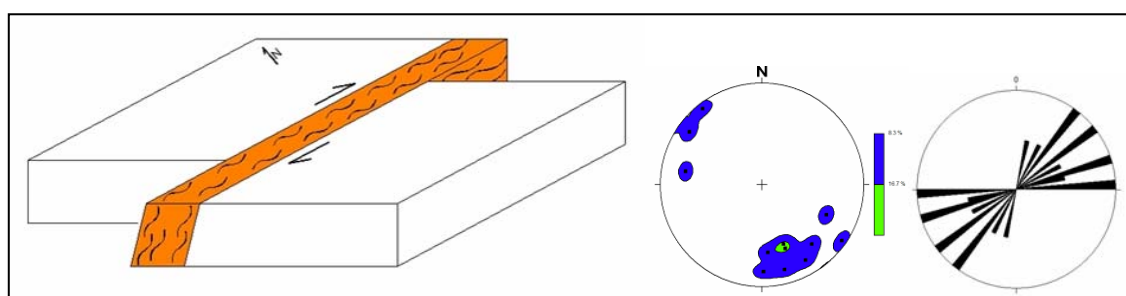


FIGURA 56 - Bloco diagrama ilustrando movimentação da falha transcorrente de Morro Agudo e estereogramas de pólos e de rosetas mostrando sua direção.

Na mina a presença dessa falha é caracterizada por uma zona de cisalhamento onde as rochas apresentam-se intensamente deformadas, evidenciadas pela presença de litotipos milonitizados (FIGURA 57). As zonas de cisalhamento são subverticalizadas e se dispõem de forma oblíqua em relação à foliação  $S_1$  verificada nos mármore calcícticos e nas metamargas.



FIGURA 57 - Zona de cisalhamento associada à falha transcorrente de Morro Agudo. Bancada da face Norte da mina Rio Bonito.

#### 4.2.3 Tectônica Rúptil

Ao longo da face norte e sul da mina foram identificados indicadores cinemáticos característicos de falhas inversas. Na face Sul foram identificados planos de falha e planos com fraturas sucessivas que caracterizam uma fase de deformação associada à falhas inversas (FIGURA 58). A direção média verificada em planos de fraturas escalonadas na face Sul da mina é  $N55^{\circ}W/72^{\circ}NE$ . Os *steps* presentes nesses planos indicam que o bloco Norte da mina subiu em relação ao bloco Sul (FIGURA 59).

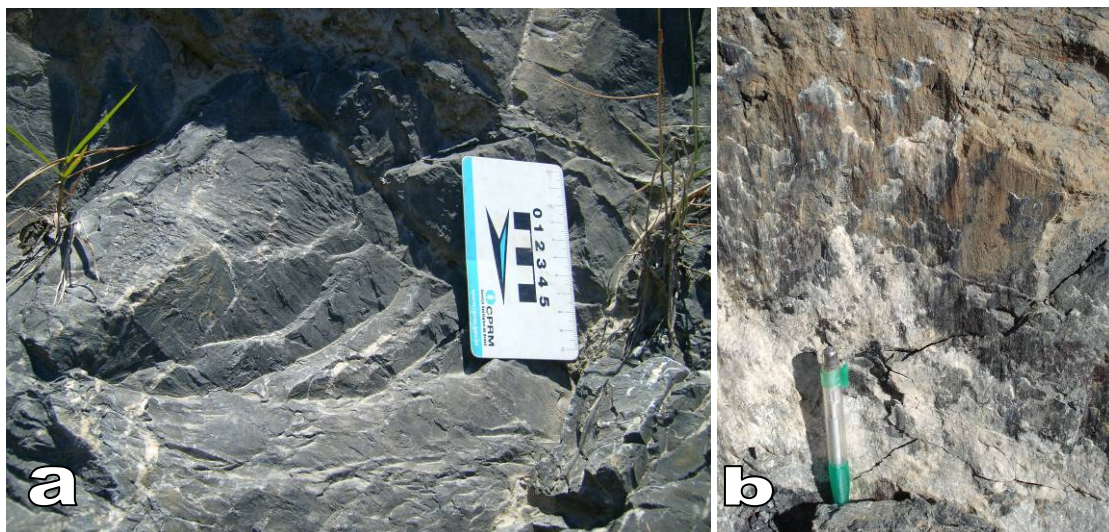


FIGURA 58 - a: Fraturas escalonadas com direção N55°W/72°NE, associadas à falha inversa. Bancada N 737 – Face sul da mina Rio Bonito. b: Plano de falha com direção N65°W/83°NE. Os *steps* e estrias indicam falha inversa com o bloco norte subindo em relação ao bloco sul.

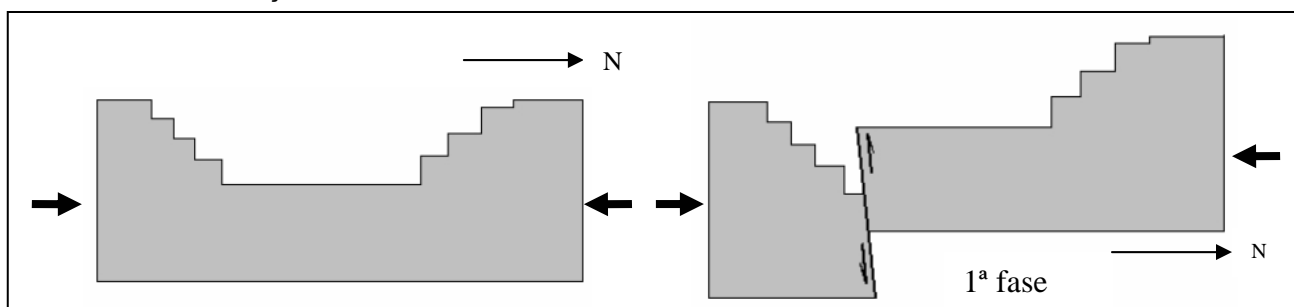


FIGURA 59 - Representação esquemática da atuação de falha inversa mostrando que o bloco norte da mina subiu em relação ao bloco sul.

Na face Norte da mina foram identificados planos de falha que caracterizam uma nova fase de geração de falhas inversas. Os *steps* e estrias ocorrem tanto nos mármore calcíticos quando no dique de diabásio e caracterizam uma fase de geração de falhas inversas posterior (FIGURA 60 a e b). A interpretação dessas feições sugere que o bloco Sul da mina teria subido em relação ao bloco Norte (FIGURA 61). A direção desse plano de falha nos mármore calcíticos é N80°W/81°SW. No dique de diabásio esse plano apresenta direção N75°W/84°SW.

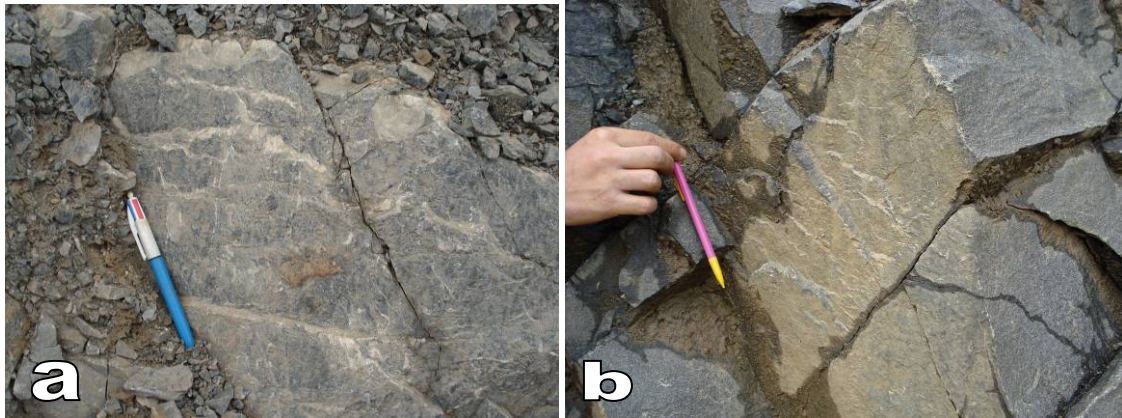


FIGURA 60 - Fraturas escalonadas e *steps* indicando falha inversa. a: Fraturas escalonadas e *steps* em mármore calcítico, onde o plano de falha tem direção N80°W / 81°SW. b: *Steps* em dique de diabásio, onde o plano de falha tem direção N75°W / 84°SW. (Bancada N761 – Face Norte da mina Rio Bonito).

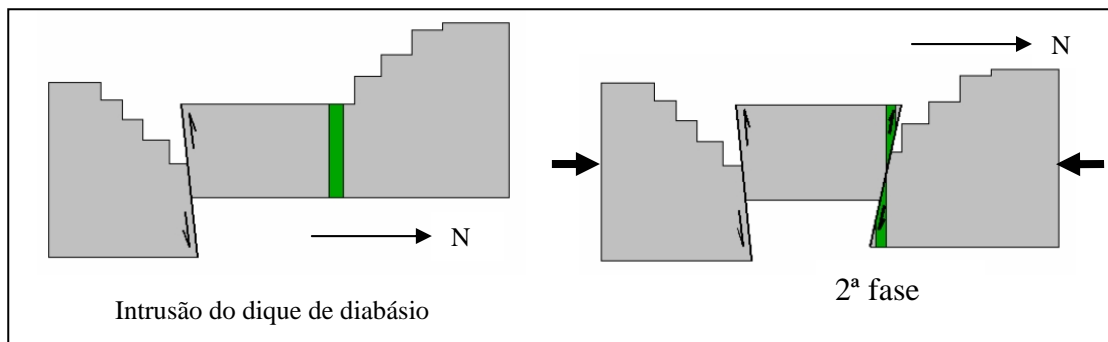


FIGURA 61 - Representação esquemática da atuação das falhas inversas mostrando no último bloco diagrama a quinta fase que também afetou diques de diabásio.

### 4.3 CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA

O estudo geoquímico das rochas da mina Rio Bonito foi focalizado nas sondagens executadas pela Cia. de Cimentos Itambé. Inicialmente foram estudados 7 furos provenientes da campanha de sondagem realizadas no primeiro semestre de 2008. Esses furos são denominados 1020, 1021 A, 1021 B, 1022, 1023, 1024 e 1025. As sondagens foram realizadas com inclinações variando de 30 a 45° em relação ao norte, apenas um furo teve inclinação para oeste (QUADRO 1). Os gráficos geoquímicos gerados permitem identificar padrões de variabilidade química das rochas em função da profundidade (ANEXO 2). As principais características referentes aos tipos litológicos foram obtidas por meio da descrição dos testemunhos de sondagem recuperados nas operações de perfuração. A descrições das rochas recuperads nos furos de sondagem se encontram nas fichas de descrição (ANEXO 1).

A Cia. de Cimentos Itambé forneceu dados de análises químicas de furos de sondagem pertencentes a campanhas anteriores, realizadas no ano 2000. Os dados geoquímicos referentes a esses furos receberam o mesmo tratamento utilizado nos furos de sondagem da campanha de 2008. Dessa forma nesses furos de sondagem associados a campanhas anteriores também é possível identificar os padrões de variabilidade química em função da profundidade da amostragem (ANEXO 2). Nesses furos de sondagem não foi possível realizar a descrição nem a coleta de amostras de testemunhos para análises complementares devido à falta de identificação precisa nas caixas de testemunhos. A seguir será abordada a caracterização geoquímica das rochas presentes nesses furos da mesma forma como foi apresentada para as rochas amostradas dos furos de 2008.

Os dados geoquímicos referentes à campanha de sondagem realizada em 2000 são provenientes de 9 furos, denominados 1010, 1011, 1012, 1014, 1015, 1016, 1017, 1018 e 1019.

Os dados referentes às coordenadas, cotas e inclinação de cada furo são apresentados a seguir (QUADRO 15). A planta de detalhe da mina mostrando a localização dos furos de sondagem também é apresentada na sequencia (FIGURA 62).



Campanha de sondagem do ano 2000				
Identificação do Furo	Coordenadas		Cotas	Inclinação do furo
	E	N		
1010	635478,901	7198479,000	724,650	30° para Norte
1011	635803,807	7198522,470	725,378	30° para Norte
1012	636002,600	7198578,430	725,233	30° para Norte
1014	635962,589	7198575,732	723,332	45° para Norte
1015	636196,216	7198617,056	762,090	30° para Norte
1016	635211,169	7198487,384	811,220	45° para Oeste
1017	635211,169	7198485,982	811,220	30° para Sul
1018	635205,931	7198531,300	811,388	45° para Norte
1019	636242,707	7198634,380	796,762	45° para Norte
Campanha de sondagens do primeiro semestre de 2008				
Identificação do Furo	Coordenadas		Cotas	Inclinação do furo
	E	N		
1020	635477,687	7198541,511	781,620	45° para Norte
1021 A	635598,379	7198531,145	797,002	45° para Norte
1021 B	635613,379	7198557,126	797,002	45° para Norte
1022	635672,922	7198532,136	797,495	45° para Norte
1023	635754,000	7198496,456	719,767	30° para Norte
1024	635882,650	7198617,000	719, 002	30° para Norte
1025	636002,650	7198678,000	719, 005	30° para Norte

QUADRO 15 - Especificações técnicas fornecida pela Cia de Cimentos Itambé referentes aos furos de sondagem analisados.

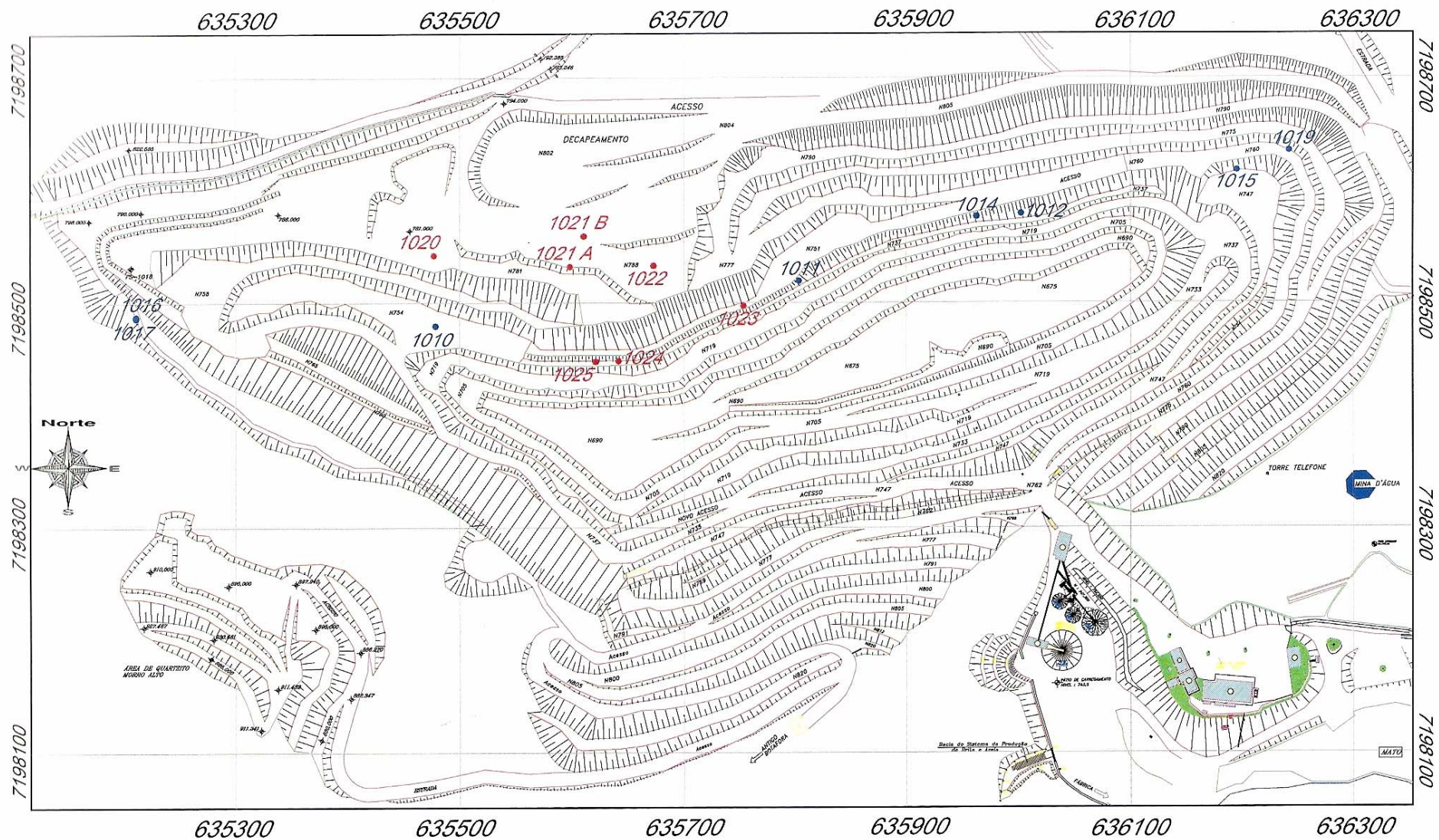


FIGURA 62 - Planta de detalhe da mina Rio Bonito mostrando a localização de todos os furos de sondagem analisados. Os furos em vermelho foram realizados na campanha do primeiro semestre de 2008. Os furos em azul correspondem à campanha de sondagens realizadas em 2000.

#### 4.3.1 Litotipo x Geoquímica

O estudo geoquímico das rochas da mina Rio Bonito foi concentrado nos dados químicos fornecidos pela Cia. de Cimentos Itambé, referentes a campanhas de sondagens (ANEXO 3). Dessa forma, foi possível realizar um estudo dos principais litotipos presentes na mina com um volume de dados muito significativo (988 análises). Com base nas classificações de rochas carbonáticas propostas por Frazão e Paraguassu (1998) e Alling (1945) foi possível separar os principais grupos de rochas existentes na mina Rio Bonito (QUADRO 16). O critério para identificação dos principais tipos litológicos está baseado principalmente nas concentrações de CaO, MgO e material argiloso constituído essencialmente por SiO<sub>2</sub>. As rochas foram agrupadas em gráficos de dispersão produzidos por meio dos dados químicos fornecidos pela empresa.

Em função do teor de CaO ser o principal fator de interesse econômico, utilizou-se esse elemento como fator para verificação dos diferentes tipos litológicos presentes.

*Calcários calcíticos	CaO superior ou igual a 40% MgO inferior a 4%
*Calcários magnesianos	MgO entre 4% e 18%
*Calcário dolomítico	MgO superior a 18%
**Calcário argiloso	Calcários com até 25 % de argila
**Margas	Rochas com 25% a 65% de argila e 35% a 65% de CaCO <sub>3</sub>

QUADRO 16 - Critérios para classificação de rochas carbonáticas. \* Critérios estabelecidos com base na classificação proposta por Frazão e Paraguassu (1998). \*\* Critérios estabelecidos com base na classificação proposta por Alling (1945).

Inicialmente serão analisados os dados referentes a campanhas de sondagem anteriores realizadas no ano 2000. A confecção de gráficos de dispersão mostra os principais tipos litológicos presentes na mina (FIGURAS 63 e 64).

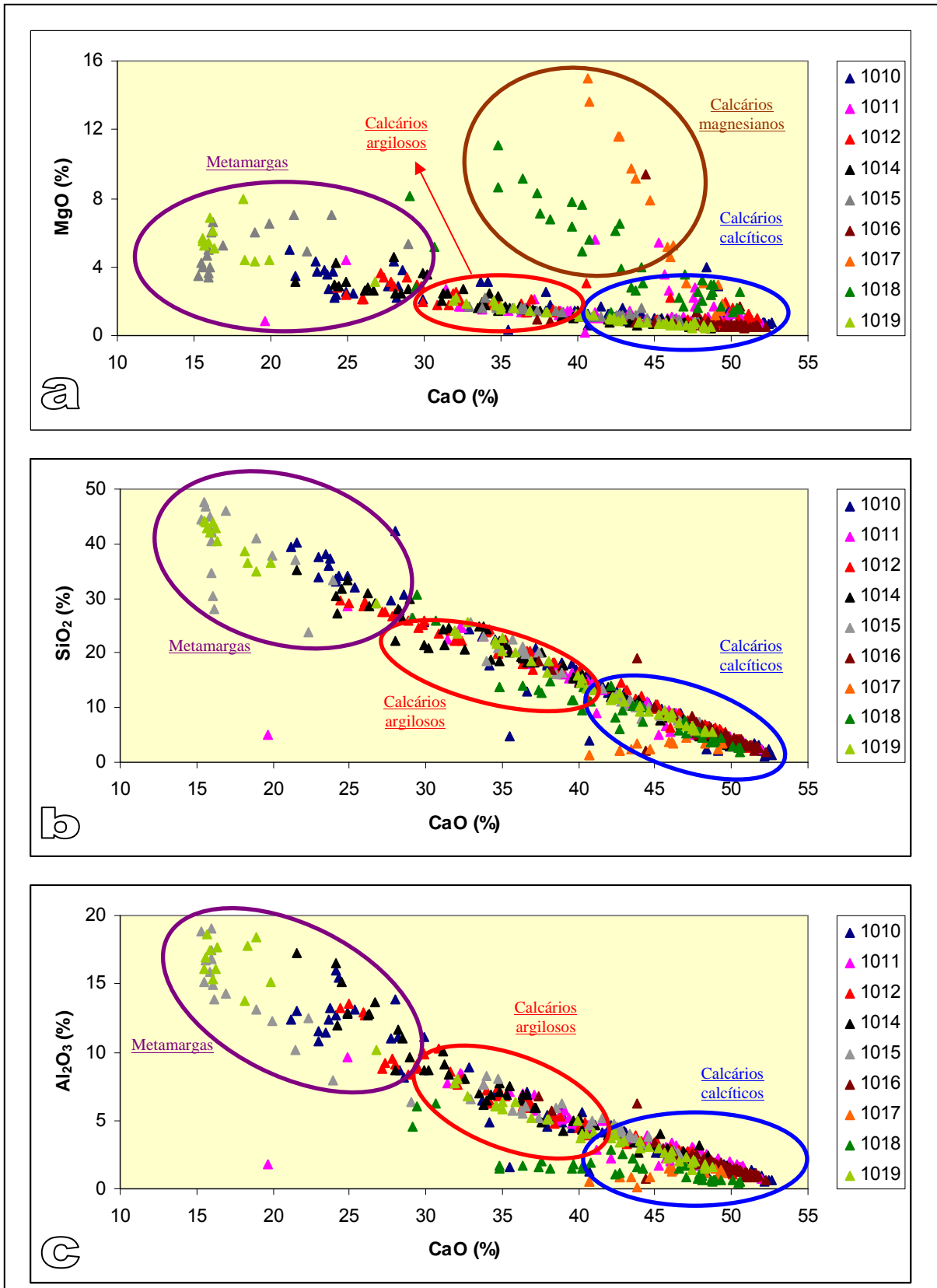


FIGURA 63 - Gráficos de dispersão gerados com base nos dados químicos referentes a campanha de sondagem do ano 2000. a: MgO x CaO; b: SiO<sub>2</sub> x CaO, e c: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> x CaO. 1010 (79 análises), 1011 (84 análises), 1012 (75 análises), 1014 (60 análises), 1015 (50 análises), 1016 (51 análises), 1017 (16 análises), 1018 (39 análises), 1019 (51 análises).

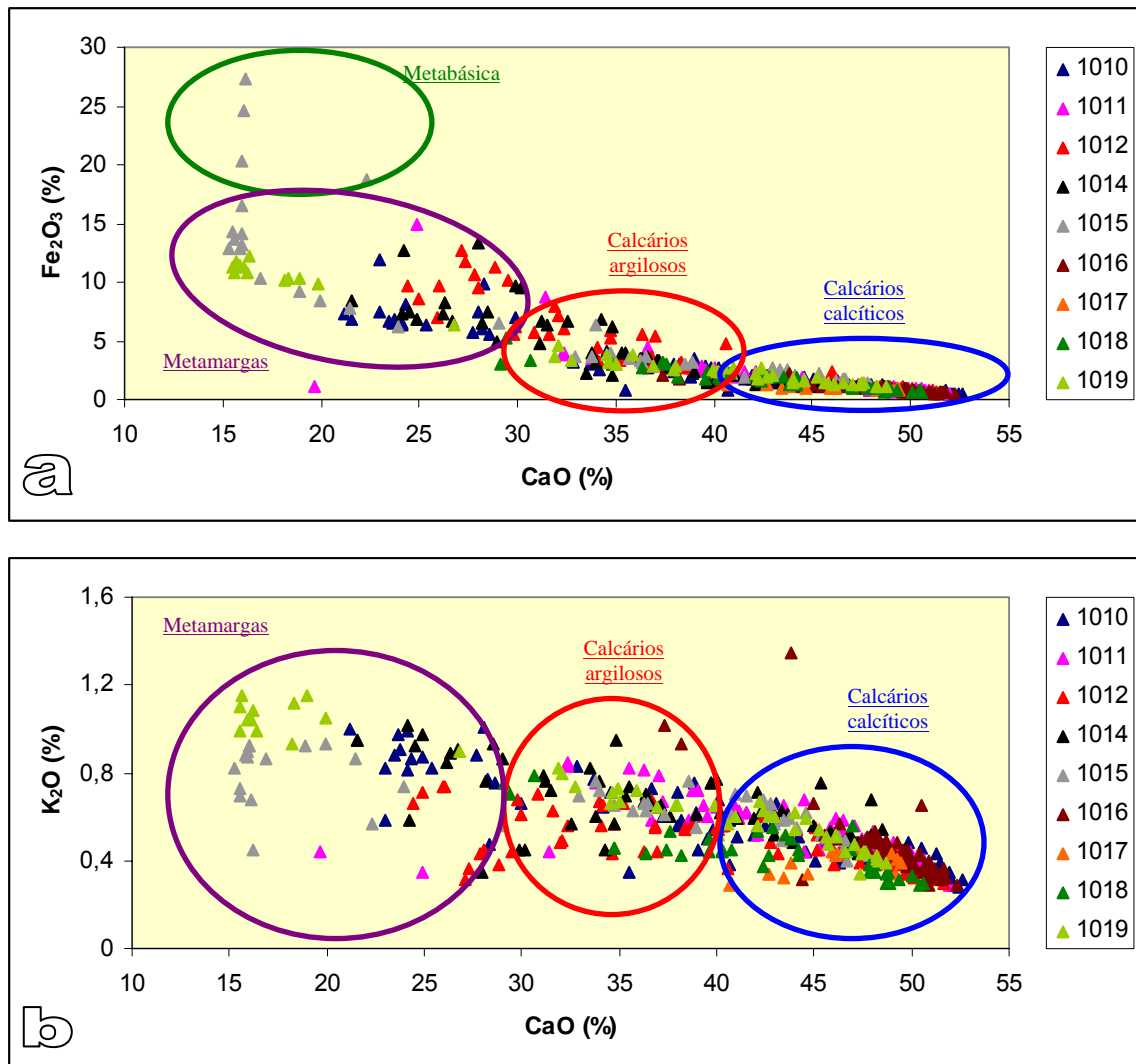


FIGURA 64 - Gráficos de dispersão gerados com base nos dados químicos referentes a campanha de sondagem do ano 2000. a: Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> x CaO; b: K<sub>2</sub>O x CaO. 1010 (79 análises), 1011 (84 análises), 1012 (75 análises), 1014 (60 análises), 1015 (50 análises), 1016 (51 análises), 1017 (16 análises), 1018 (39 análises), 1019 (51 análises).

Os resultados mostram que o aumento nos teores de CaO é refletido na redução dos teores de SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e K<sub>2</sub>O (FIGURA 65). O metamorfismo que afetou essas rochas foi desenvolvido em grau muito baixo, sendo incapaz de promover alterações químicas significativas.

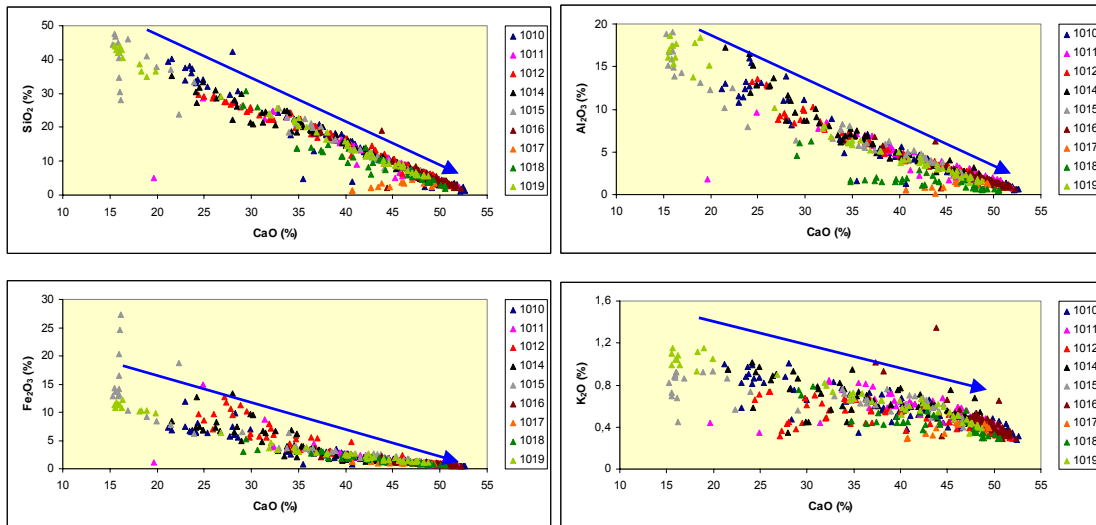


FIGURA 65 - Gráficos de dispersão mostrando que o aumento nos teores de CaO é refletido na redução dos teores de SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e K<sub>2</sub>O.

A interpretação do gráfico de dispersão CaO x MgO mostra diferentes tendências de variabilidade química. Um processo posterior a sedimentação teria promovido um enriquecimento em MgO nas rochas carbonáticas (FIGURA 66). Esse processo pode estar relacionado à gênese da faixa de rochas dolomitizadas presentes na face norte da mina Rio Bonito.

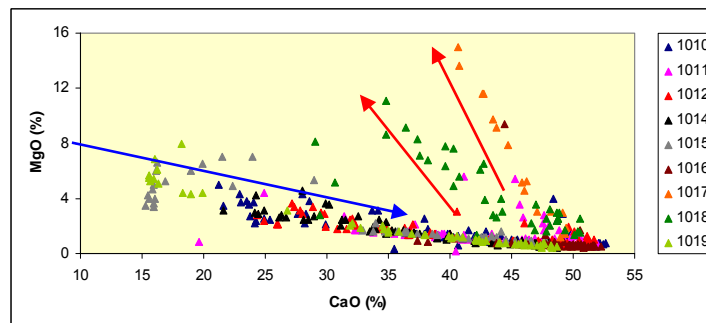


FIGURA 66 - Gráfico de dispersão mostrando a relação MgO x CaO. A seta azul indica tendência de variabilidade química associada a processos primários (sedimentares). As setas vermelhas indicam um processo posterior caracterizado por enriquecimento em MgO nas rochas carbonáticas.

Os dados químicos referentes à campanha de sondagem de 2008 receberam o mesmo tratamento adotado para os dados anteriores (ano 2000), com a geração de gráficos de dispersão e utilização dos mesmos critérios químicos e mineralógicos na identificação dos principais tipos litológicos. Entretanto para esses 7 furos foi possível realizar a descrição dos testemunhos de sondagem permitindo determinar com mais detalhe as características dos tipos litológicos. Durante a descrição desses furos foram selecionadas amostras adicionais para análises complementares

realizadas no LAMIR – UFPR. Os principais tipos litológicos identificados na campanha de 2008 são mostrados a seguir (FIGURAS 67 e 68)

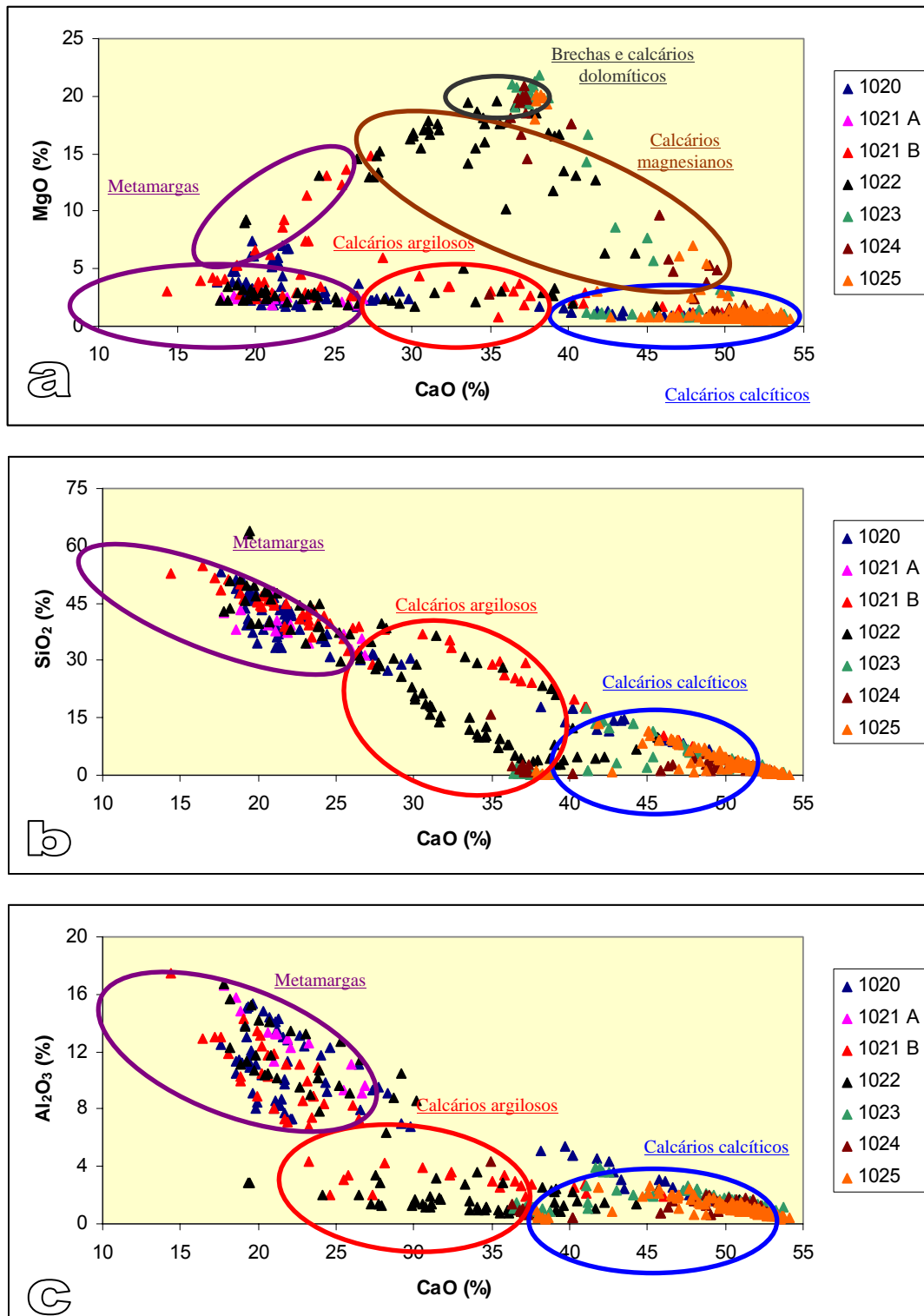


FIGURA 67 - Gráficos de dispersão gerados com base nos dados químicos referentes a campanha de sondagem de 2008. a: MgO x CaO; b: SiO<sub>2</sub> x CaO, e c: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> x CaO. 1020 (67 análises), 1021 A (14 análises), 1021 B (54 análises), 1022 (84 análises), 1023 (70 análises), 1024 (58 análises), 1025 (136 análises).

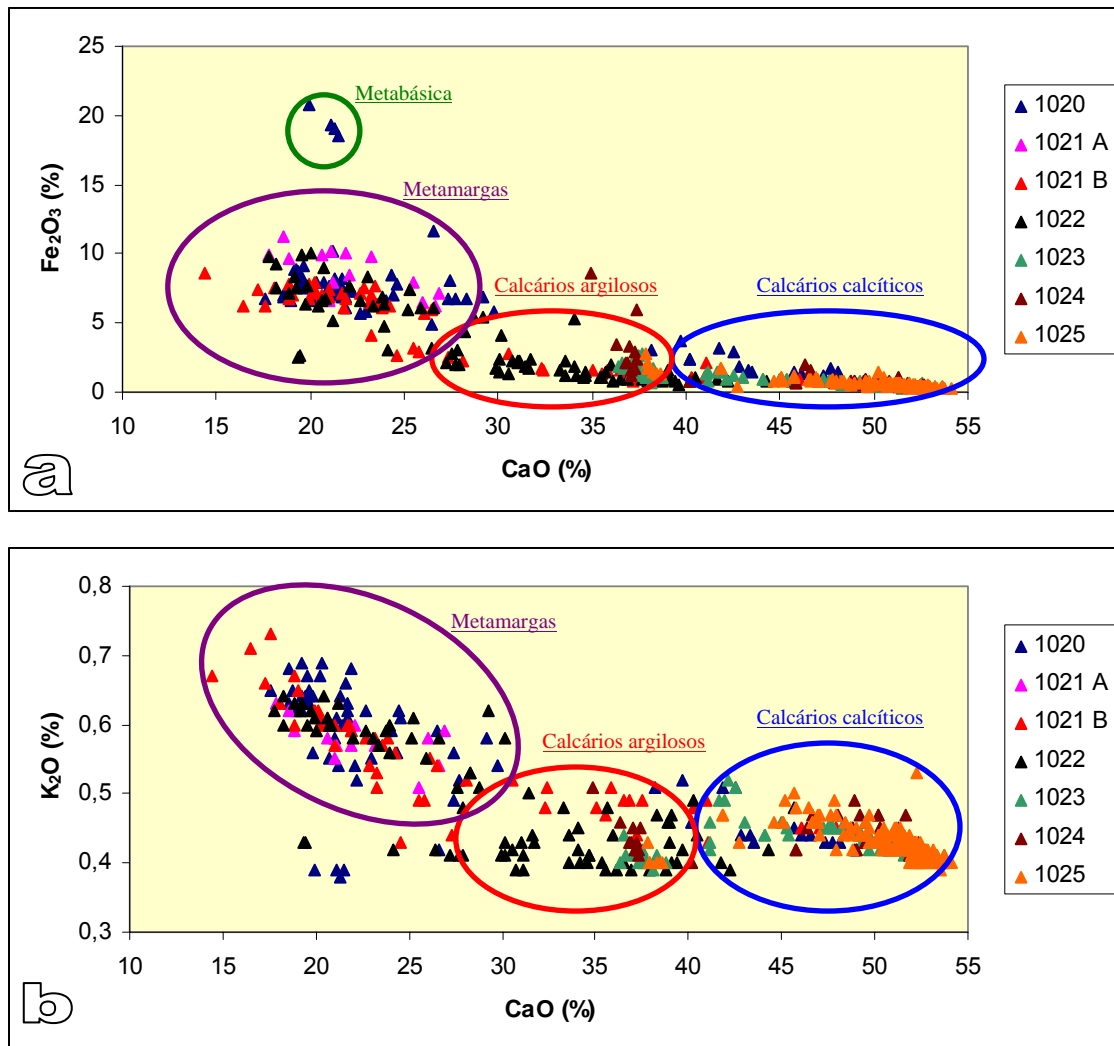


FIGURA 68 - Gráficos de dispersão gerados com base nos dados químicos referentes a campanha de sondagem de 2008. a:  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  x  $\text{CaO}$ ; b:  $\text{K}_2\text{O}$  x  $\text{CaO}$ . 1020 (67 análises), 1021 A (14 análises), 1021 B (54 análises), 1022 (84 análises), 1023 (70 análises), 1024 (58 análises), 1025 (136 análises).

Os resultados mostram tendências de variabilidade química semelhantes aos dados químicos das campanhas de sondagem realizada no ano 2000. Entretanto a análise dos gráficos mostra claramente uma redução na qualidade do minério com aumento expressivo nas concentrações de  $\text{SiO}_2$  e  $\text{MgO}$ . Novamente a variação nos teores de  $\text{SiO}_2$  é acompanhada por variação nos teores de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{K}_2\text{O}$ . Essa combinação química sugere a presença de argilominerais nas rochas originais (margas e calcários). As tendências geoquímicas ligadas a processos primários associados à sedimentação mostram que o aumento nos teores de  $\text{CaO}$  é refletido na queda dos teores de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{K}_2\text{O}$  (FIGURA 69).



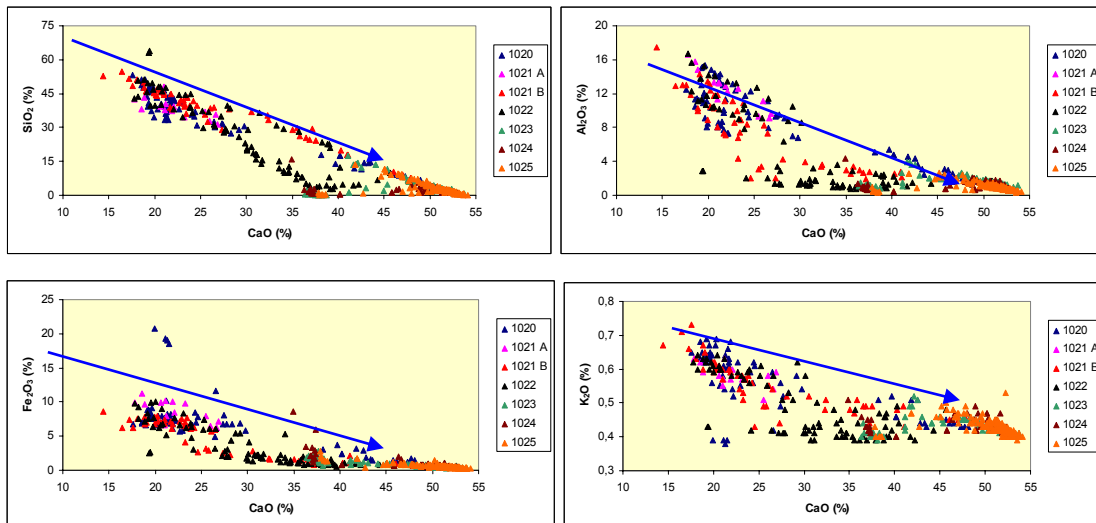


FIGURA 69 - Gráficos de dispersão mostrando que o aumento nos teores de CaO é refletido na redução dos teores de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e K<sub>2</sub>O.

O enriquecimento em MgO poderia ser explicado pela presença do furo 1023 que foi executado na faixa dolomitizada presente na face norte. Entretanto, mesmo em furos que não foram realizados no corpo de rochas dolomíticas, como os furos 1024 e 1025 ocorrem intervalos significativos com enriquecimento expressivo na concentração de MgO (anexos I e II). Isso mostra que o comportamento das rochas dolomitizadas é totalmente irregular em profundidade, podendo apresentar ramificações que se infiltram dentro dos mármores calcínicos.

Uma possível explicação para a gênese das rochas dolomíticas pode ser sugerida analisando o gráfico a seguir (FIGURA 70). A presença de pontos deslocados dos mármores calcínicos e das metamargas sugere que a geração das rochas dolomíticas seria posterior à sedimentação das rochas originais (calcários e margas) caracterizando o processo de dolomitização, contudo, essa hipótese ainda necessita de mais pesquisas para consolidar sua comprovação ou não.

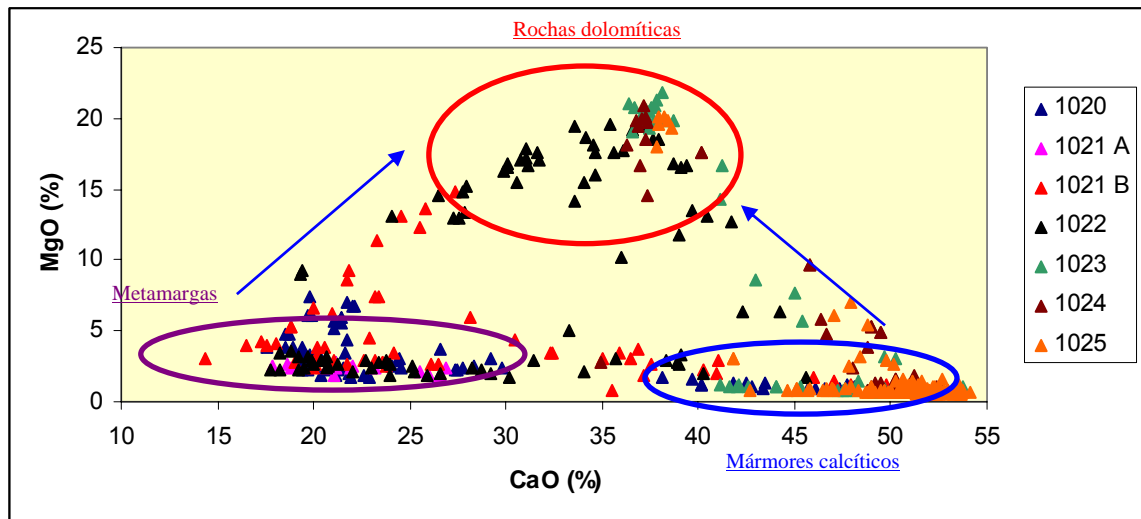


FIGURA 70 - Gráfico de dispersão mostrando relação MgO x CaO, sugerindo possível origem posterior para as rochas dolomitizadas em relação às rochas originais (calcários e margas).

#### 4.3.2. Caracterização química e mineralógica aplicada a tipos litológicos descritos (furos 1020 – 1025)

Durante os trabalhos de descrição de testemunhos de sondagem foram selecionadas amostras pontuais dos diversos litotipos presentes na mina. Essas amostras foram analisadas no LAMIR. As especificações técnicas referentes aos resultados geoquímicos, furos e a profundidade de coleta de cada amostra são sintetizadas nas tabelas a seguir.

##### a) Mármore calcítico

Foram coletadas quatro amostras de mármore calcítico dos furos 1020, 1024 e 1025 (TABELA 01). Os resultados mostram rochas com teor de CaO superior a 45% e teores de MgO inferiores a 4%, constituindo a matéria prima ideal para a indústria do cimento (TABELA 02).

TABELA 01 - Especificações quanto aos furos e profundidades de coleta das amostras de mármore calcítico.

AMOSTRA	FURO	PROFUNDIDADE (m)
493/08 A	1020	4,30
493/08 B	1020	15,50
493/08 S	1024	44,50
493/08 U	1025	2,50

TABELA 02 - Resultados geoquímicos de amostras de mármore calcítico analisadas no LAMIR.  
\* Concentração abaixo do limite de detecção.

Amostra	CaO	MgO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SrO	TiO <sub>2</sub>	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	P.F.	SOMA
493/08A	49,58	1,06	4,78	0,98	2,14	0,02	0,14	0,20	0,04	0,02	0,03	40,59	99,57
493/08B	52,24	0,40	6,37	0,61	0,97	0,02	0,10	0,24	0,04	0,02	0,02	38,71	99,74
493/08S	53,68	0,31	1,94	0,41	0,55	0,00	0,07	0,33	0,03	0,01	0,02	42,27	99,63
493/08U	53,46	0,47	1,68	0,41	0,58	*	0,10	0,24	0,02	0,01	0,03	42,52	99,51

Para a análise mineralógica, foi selecionada a amostra 493/08 A. Essa análise também foi realizada no LAMIR. O resultado mostra a presença de calcita e quartzo (FIGURA 71 e TABELA 03).

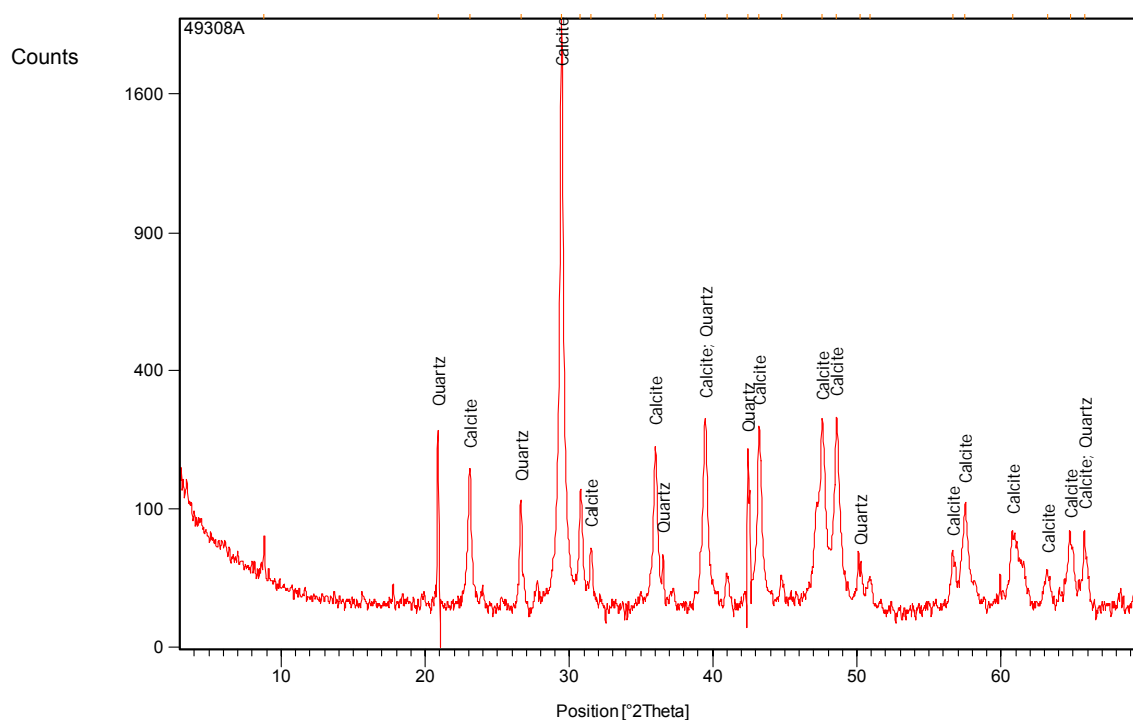


FIGURA 71- Difratograma da amostra 493/08 A.

TABELA 03 - Dados referentes aos resultados da difração de raios x da amostra 493/08 A. (Software X Pert High Score Philips – Banco de dados PDF – 2).

CÓDIGO DE REFERÊNCIA	NOME DO MINERAL	FÓRMULA QUÍMICA
01-086-2334	Calcita	CaCO <sub>3</sub>
01-079-1906	Quartzo	SiO <sub>2</sub>

## b) Metamargas

As metamargas presentes na mina Rio Bonito consistem em rochas com concentrações muito elevadas de SiO<sub>2</sub>. As 3 amostras analisadas no LAMIR, mostram teores de SiO<sub>2</sub> superiores a 50%. As especificações quanto aos dados químicos, furos de sondagem e profundidade de coleta são apresentados a seguir (TABELAS 04 E 05).

TABELA 04 - Especificações quanto aos furos e profundidades de coleta das amostras de metamargas.

AMOSTRA	FURO	PROFUNDIDADE (m)
493/08 E	1020	35,00
493/08 H	1021 B	8,80
493/08 I	1021 B	44,80

TABELA 05 - Resultados geoquímicos de amostras de metamargas analisadas no LAMIR.

Amostra	CaO	MgO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SrO	TiO <sub>2</sub>	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	P.F.	SOMA
493/08E	5,61	1,58	56,68	19,03	5,22	0,97	1,79	0,10	0,90	0,02	0,20	7,41	99,51
493/08H	10,14	2,91	52,34	14,56	6,20	0,31	2,03	0,04	0,59	0,04	0,33	10,75	100,26
493/08I	5,77	3,44	60,25	14,00	5,23	0,13	2,42	0,03	0,65	0,03	0,37	7,54	99,86

Para a análise mineralógica das metamargas, foi selecionada a amostra 493/08 H. O resultado da análise mostra a presença de calcita, quartzo, clorita e muscovita (FIGURA 72 e TABELA 06).

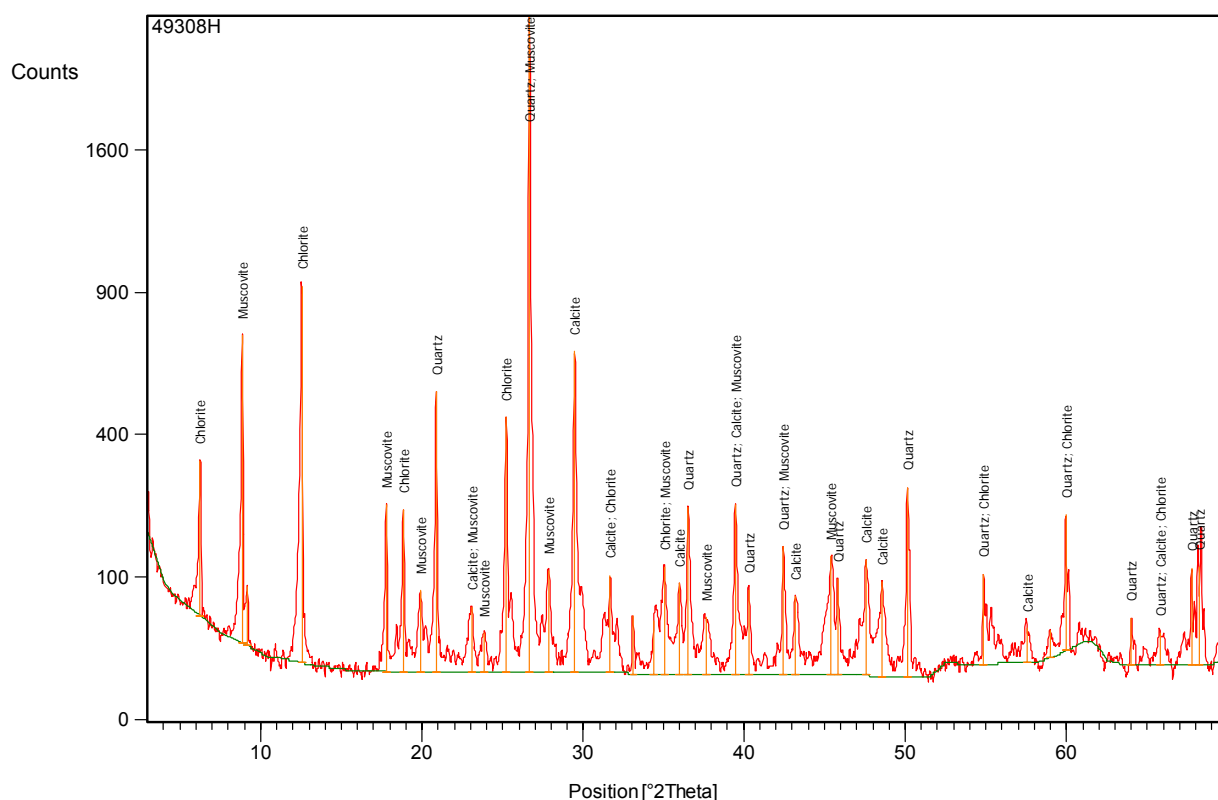


FIGURA 72 - Difratoograma da amostra 493/08 H.

TABELA 06 - Dados referentes aos resultados da difração de raios x da amostra 493/08 H. (Software X Pert High Score Philips – Banco de dados PDF – 2).

CÓDIGO DE REFERÊNCIA	NOME DO MINERAL	FÓRMULA QUÍMICA
01-079-1910	Quartzo	SiO <sub>2</sub>
01-072-1652	Calcita	CaCO <sub>3</sub>
00-002-0028	Clorita	(Mg,Fe) <sub>5</sub> (Al,Si) <sub>5</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>8</sub>
00-001-1098	Muscovita	H <sub>2</sub> KAl <sub>3</sub> (SiO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>

### c) Rochas dolomitizadas

Como já discutido anteriormente, as rochas dolomitizadas correspondem aos mármores dolomíticos e às brechas dolomíticas. Nessas rochas há um aumento significativo nos teores de MgO que ultrapassam 4%. As especificações quanto aos furos de sondagem e profundidade de coleta são apresentadas a seguir (TABELAS 07 E 08).

As amostras de rochas dolomitizadas analisadas no LAMIR mostram teores de MgO superiores a 10% tanto em mármores dolomíticos quanto em brechas dolomíticas (TABELAS 09 E 10).

TABELA 07 - Especificações quanto aos furos e profundidades de coleta das amostras de mármore dolomítico.

AMOSTRA	FURO	PROFUNDIDADE (m)
493/08 J	1021 B	65,30
493/08 L	1022	59,50
493/08 M	1022	64,45
493/08 O	1024	26,50
493/08 R	1024	34,50

TABELA 08 - Especificações quanto as amostras, furos e profundidades de coleta das amostras de brechas dolomíticas.

AMOSTRA	FURO	PROFUNDIDADE (m)
493/08 K	1022	53,70
493/08 N	1022	72,20
493/08 P	1024	29,20
493/08 Q	1024	33,50
493/08 V	1025	29,50

TABELA 09 - Resultados geoquímicos de amostras de mármore dolomíticos analisadas no LAMIR.

Amostra	CaO	MgO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SrO	TiO <sub>2</sub>	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	P.F.	SOMA
493/08J	17,01	11,43	44,45	0,20	1,17	*	0,06	0,02	0,01	0,06	0,01	25,61	100,01
493/08L	19,05	11,68	39,49	0,08	1,14	*	0,04	0,04	0,00	0,18	0,01	27,85	99,55
493/08M	23,31	15,15	24,41	0,61	1,90	0,00	0,06	0,05	0,04	0,32	0,07	33,72	99,64
493/08O	27,72	18,70	9,41	0,57	1,14	0,00	0,13	0,03	0,03	0,15	0,06	41,61	99,56
493/08R	37,04	11,38	5,20	1,59	2,20	0,02	0,42	0,06	0,09	0,25	0,10	41,23	99,59

TABELA 10 - Resultados geoquímicos de amostras de brechas dolomíticas analisadas no LAMIR.

Amostra	CaO	MgO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SrO	TiO <sub>2</sub>	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	P.F.	SOMA
493/08K	34,18	13,75	6,58	1,11	1,58	0,00	0,28	0,05	0,11	0,10	0,15	41,76	99,60
493/08N	40,67	11,17	2,91	0,19	0,72	*	0,07	0,06	0,03	0,09	0,04	43,69	99,63
493/08P	33,19	18,63	0,45	0,04	1,10	*	0,04	0,03	0,01	0,10	0,02	46,16	99,75
493/08Q	32,15	18,95	0,42	0,14	1,54	0,01	0,06	0,02	0,01	0,14	0,02	46,14	99,61
493/08V	32,23	18,61	0,44	0,27	1,90	0,01	0,08	0,02	0,02	0,15	0,02	45,81	99,55

Para caracterizar a mineralogia dos mármore dolomíticos foi selecionada a amostra 493/08 J. O resultado da análise por difração de raios – x mostra a presença de dolomita e quartzo (FIGURA 73 e TABELA 11).

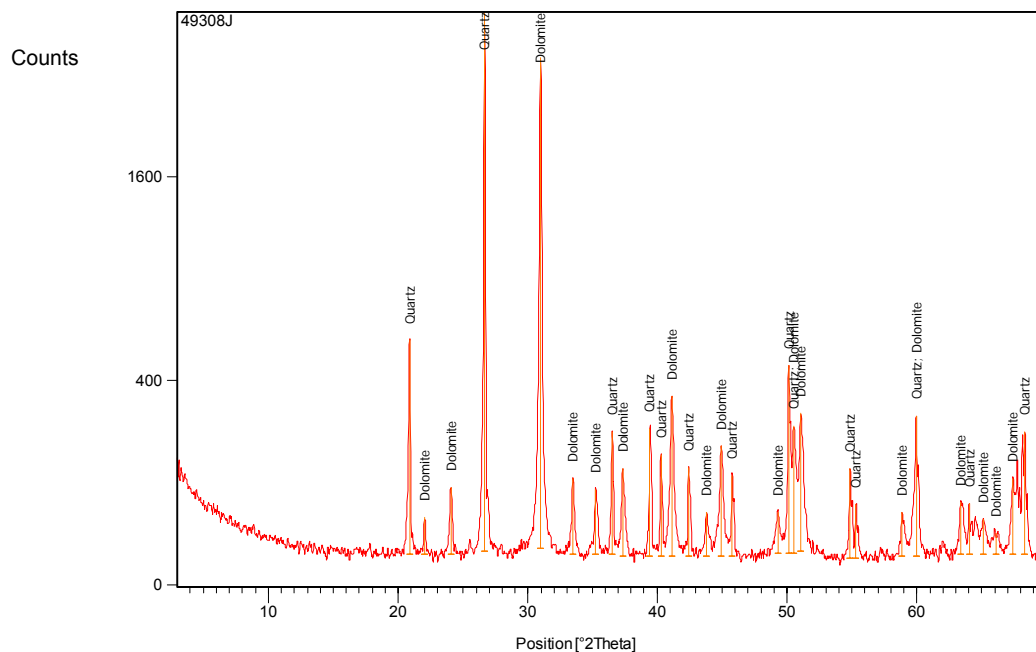


FIGURA 73 - Difratoograma da amostra 493/08 J.

TABELA 11 - Dados referentes aos resultados da difração de raios x da amostra 493/08 J. (Software X Pert High Score Philips – Banco de dados PDF – 2).

CÓDIGO DE REFERÊNCIA	NOME DO MINERAL	FÓRMULA QUÍMICA
01-079-1910	Quartzo	SiO <sub>2</sub>
00-036-0426	Dolomita	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>

Para identificar os minerais das brechas dolomíticas foi selecionada a amostra 493/08 K. O resultado da análise por difração de raios - x mostra a presença de dolomita, quartzo e calcita (FIGURA 74 e Tabela 12).

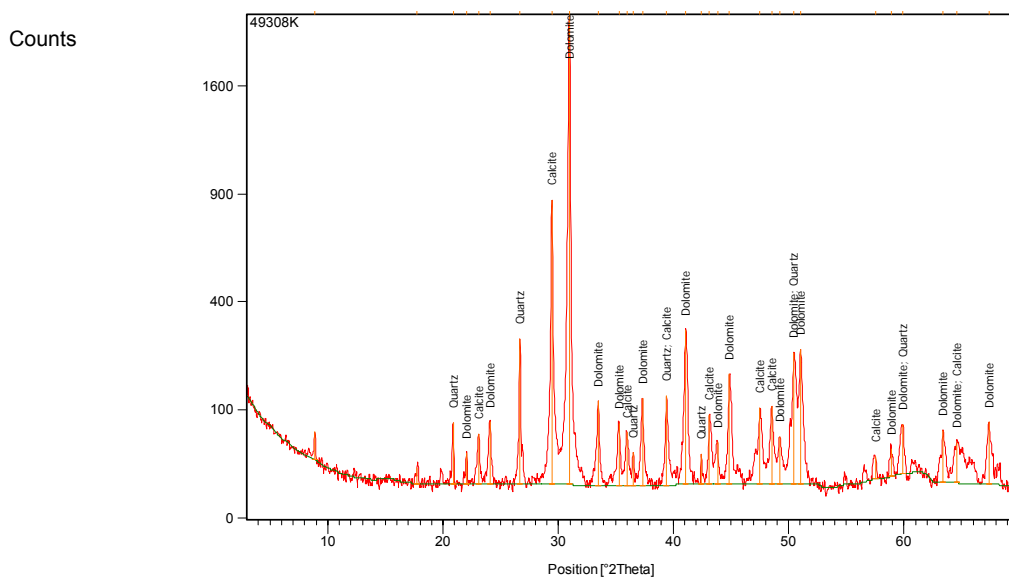


FIGURA 74 - Difratoograma da amostra 493/08 K.

TABELA 12 - Dados referentes aos resultados da difração de raios x da amostra 493/08 K. (*Software X Pert High Score Philips* – Banco de dados PDF – 2).

CÓDIGO DE REFERÊNCIA	NOME DO MINERAL	FÓRMULA QUÍMICA
00-036-0426	Dolomita	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
01-079-1910	Quartzo	SiO <sub>2</sub>
01-086-2334	Calcita	CaCO <sub>3</sub>

#### d) Metabásicas

As rochas metabásicas são constituídas por clorita, quartzo, carbonatos e minerais opacos em processo de alteração para óxidos de ferro. A presença desses minerais é evidenciada pelas altas concentrações de SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO e MgO. As especificações quanto às amostras, furos de sondagem e profundidade de coleta são apresentados a seguir (TABELA 13). Foram selecionadas quatro amostras para análises químicas no LAMIR (TABELA 14).

TABELA 14 – Especificações quanto as amostras, furos e profundidade de coleta das amostras de rochas metabásicas.

AMOSTRA	FURO	PROFUNDIDADE (m)
493/08 C	1020	23,60
493/08 C1	1020	23,70
493/08 D	1020	23,80
493/08 D1	1020	23,85

TABELA 14 - Resultados geoquímicos de amostras de rochas metabásicas analisadas no LAMIR.

Amostra	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	CaO	MgO	TiO <sub>2</sub>	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	P.F.	SOMA
493/08C	44,67	12,95	18,01	0,02	1,37	5,52	6,77	2,55	0,20	0,24	8,05	100,33
493/08C1	40,92	14,01	22,69	0,11	0,26	4,10	6,77	2,71	0,21	0,26	9,91	100,21
493/08D	46,73	12,93	15,76	0,04	2,28	9,08	5,83	2,13	0,20	0,19	4,70	99,88
493/08D1	39,80	13,23	22,30	0,04	0,05	5,39	6,84	2,69	0,21	0,26	9,90	100,42

Para identificar as principais fases minerais presentes nas rochas metabásicas, foi selecionada a amostra 493/08 C para análise por difração de raios x. Os resultados mostram a presença de diopsídio, quartzo, clorita e calcita (FIGURA 75 e TABELA 15).



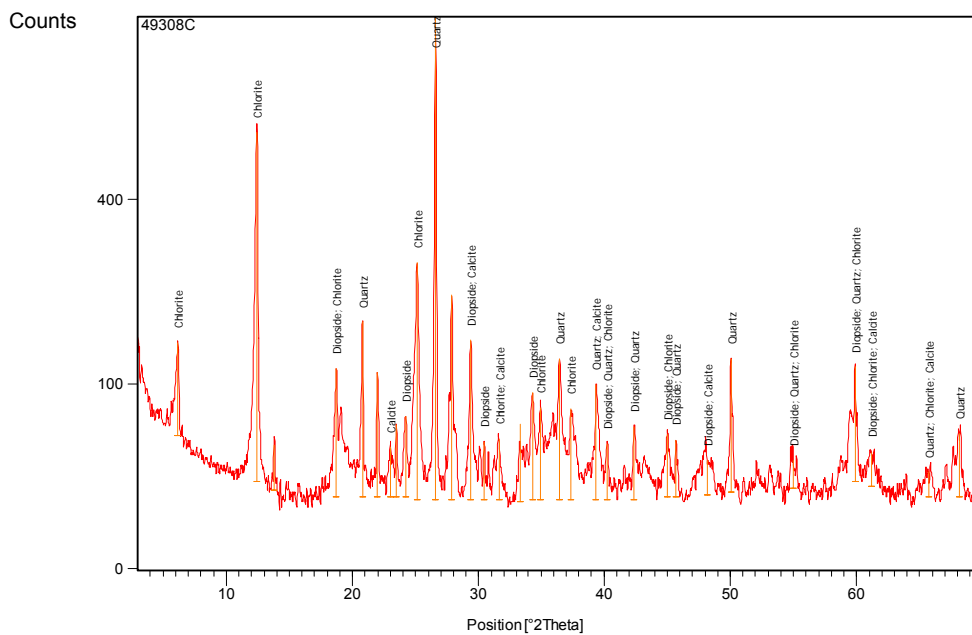


FIGURA 75 - Difratoograma da amostra 493/08 C.

TABELA 15 - Dados referentes aos resultados da difração de raios x da amostra 493/08 C. (Software X Pert High Score Philips – Banco de dados PDF – 2).

CÓDIGO DE REFERÊNCIA	NOME DO MINERAL	FÓRMULA QUÍMICA
01-071-1497	Diopsídio	$\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$
01-083-0539	Quartzo	$\text{SiO}_2$
00-002-0028	Clorita	$(\text{Mg,Fe})_5(\text{Al,Si})_5\text{O}_{10}(\text{OH})_8$
01-072-1937	Calcita	$\text{CaCO}_3$

### 4.3.3 Variabilidade química X estrutural

#### a) Relação dos contatos entre mármore calcítico e rochas dolomíticas

O contato entre os mármore calcítico e as rochas dolomíticas ocorre de forma abrupta (FIGURA 76). Um sistema expressivo de fraturas ocorre mascarando a foliação  $S_1$  observada nos mármore calcítico e define o contato entre as frentes calcíticas e dolomíticas (FIGURA 77).

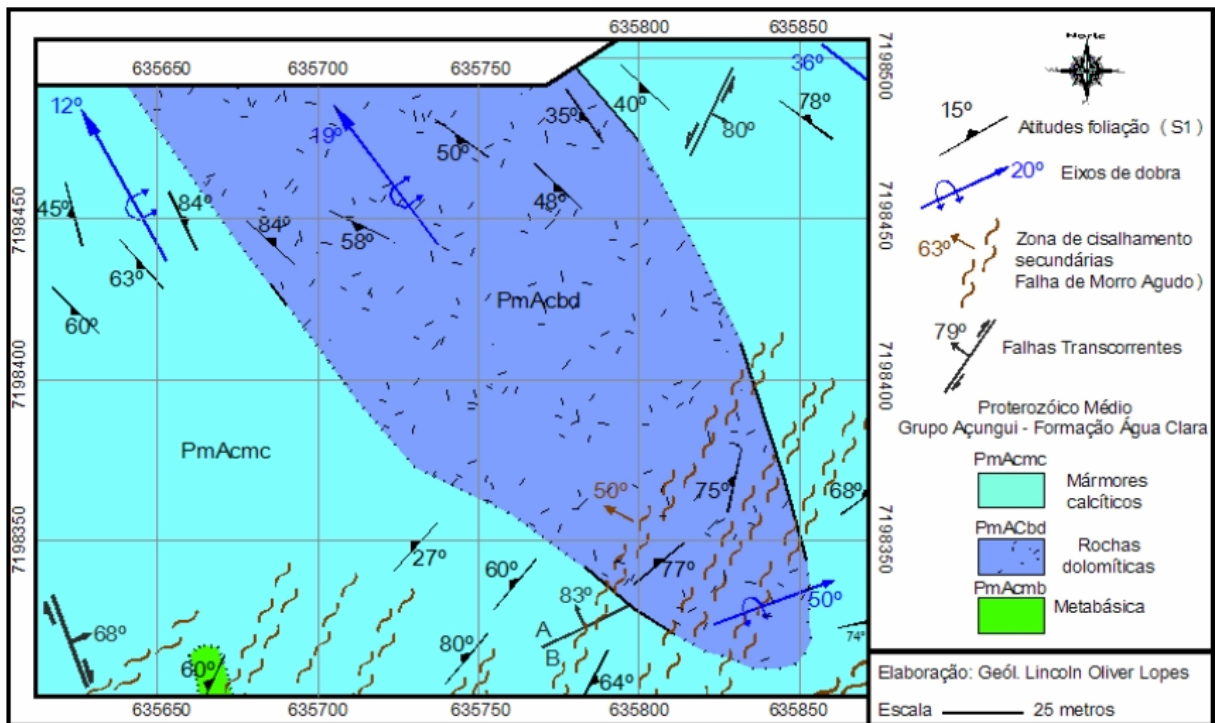


FIGURA 76 - Planta de detalhe mostrando o contato entre os mármore calcítico e as rochas dolomíticas.

A direção média do contato entre os mármore calcítico e as rochas dolomíticas é N50°W com mergulhos da ordem de 30° para SW. A zona de cisalhamento associada a falha transcorrente de Morro Agudo configura o sistema de cisalhamento principal da área. Segundo Fiori (1990) essa falha exibe movimentação dextral possuindo direção média N 50° - 60° E com mergulhos de 70° a 80° para NW. Segundo Gallina (2005), a aplicação do modelo de Riedel sugere que o corpo de rochas dolomíticas teria se desenvolvido em condutos abertos pelas fraturas de partição  $T$  associada ao modelo de Riedel. O tratamento dos dados estruturais obtidos possibilitou a geração de um modelo gráfico semelhante ao

proposto por Gallina (2005). No modelo proposto nesse trabalho o cisalhamento principal está associado à falha de Morro Agudo (FIGURA 78).

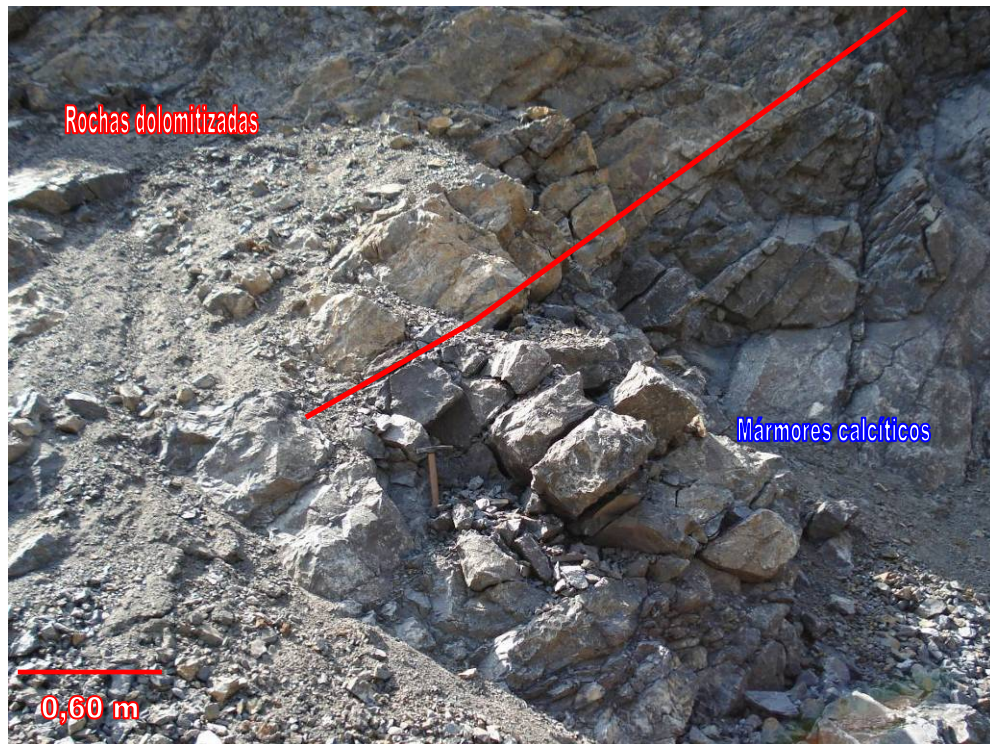


FIGURA 77- Contato abrupto entre rochas dolomitizadas e mármore calcítico.

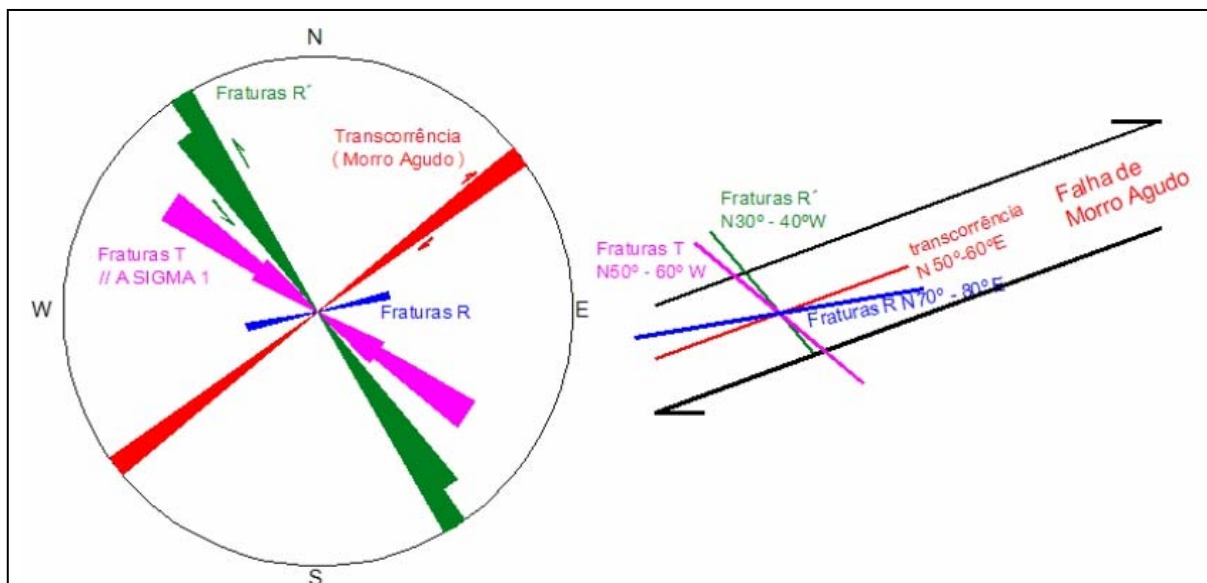


FIGURA 78 - Aplicação do modelo de Riedel para o cisalhamento principal definido pela falha transcorrente de Morro Agudo.

## b) Relação dos contatos entre mármore calcítico e metamargas

A integração de todas as informações até aqui obtidas mostra que a relação de contato entre os mármore calcítico e as metamargas é condicionada pelo processo de sedimentação desenvolvido na sequência São Silvestre da Formação Água Clara. A variação composicional definida pela alternância de níveis carbonáticos com níveis margosos foi gerada em um ambiente de águas profundas do tipo turbidítico (sedimentação alóctone), com períodos em que o aporte turbidítico deu lugar a sedimentação química, com características alóctones (Fassbinder, 1996). A seguir é apresentada uma representação esquemática para a intercalação de níveis carbonáticos e margosos depositados na sequência São Silvestre da Formação Água Clara (FIGURA 79).

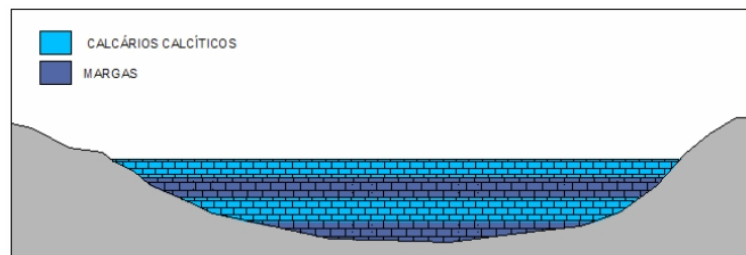


FIGURA 79 - Representação esquemática para a sedimentação na sequência São Silvestre da Formação Água Clara.

O metamorfismo que afetou posteriormente essas rochas foi desenvolvido em grau fraco e dessa forma não gerou nenhum tipo de alteração química significativa na composição dos litotipos. Contudo a deformação dúctil ( $D_1$  e  $D_2$ ) que afetou os estratos sedimentares originais produziu o dobramento das camadas, condicionando a intercalação de mármore calcítico e metamargas (FIGURA 80).

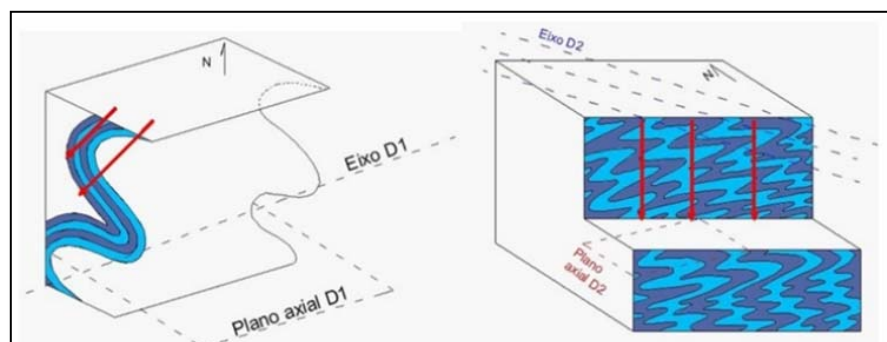


FIGURA 80 - Representação esquemática da atuação da tectônica dúctil ( $D_1$  e  $D_2$ ) promovendo a intercalação de camadas de mármore calcítico e metamargas.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A integração dos dados geoquímicos, estruturais e petrográficos obtidos até aqui mostram que há uma grande variabilidade química no minério da mina Rio Bonito. Essa variabilidade é expressa por expressivas variações na concentração de CaO, MgO e SiO<sub>2</sub> do minério.

Com base nos dados obtidos, a gênese da variabilidade química está relacionada a dois processos: Sedimentação e Hidrotermalismo.

A variabilidade química associada à sedimentação reflete a composição primária dos litotipos associados a sequência São Silvestre da Formação Água Clara (Fassbinder, 1996).

Do ponto de vista litológico, essa variabilidade é caracterizada pela alternância de camadas margosas e carbonáticas (FIGURA 79). A sedimentação teria se desenvolvido em um ambiente de águas profundas do tipo turbidítico, com períodos onde o aporte turbidítico foi substituído por uma sedimentação química (Fassbinder, *op. cit.*).

Após a sedimentação, os estratos sedimentares originais (calcários calcíticos e margas) foram submetidos a um metamorfismo em fácies Xisto Verde – zona da clorita. A atuação do metamorfismo não produziu alterações químicas significativas na composição primária dos litotipos. A ação metamórfica é refletida apenas por recristalização e mudança na estrutura cristalina da paragênese mineral original (QUADRO 15).



QUADRO 15 – Relação entre composição química e mineralógica relacionando rochas sedimentares originais e rochas metamorfisadas da Mina Rio Bonito.

Os primeiros eventos tectônicos de natureza compressiva refletidos pelas deformações em regime dúctil D1 e D2, afetaram os estratos sedimentares metamorfisados, condicionando intercalações sucessivas de camadas de mármore calcítico e metamargas (FIGURA 80). A alternância de camadas foi verificada pela descrição dos testemunhos de sondagem dos furos 1020 e 1021 B (ANEXO 1).

O tratamento dos dados geoquímicos fornecidos pela Cia. de Cimentos Itambé nas campanhas de sondagem de 2000 e 2008 mostra que a variação nos teores de  $\text{SiO}_2$  é acompanhada pelos mesmos padrões de variação nas concentrações de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{K}_2\text{O}$ . (FIGURAS 65 e 69)

O segundo processo ligado à variabilidade química das rochas da mina Rio Bonito está ligado à ação hidrotermal. Esse processo foi desenvolvido posteriormente à sedimentação, sendo caracterizado pelo aumento na concentração de  $\text{MgO}$  no minério.

A percolação de fluidos aquecidos nas rochas originais produziu transformações químicas e mineralógicas refletidas pela conversão de  $\text{CaCO}_3$  (calcita) em  $[(\text{CaMgCO}_3)_2]$  (dolomita).

A pesquisa de modelos de dolomitização baseada nos trabalhos de Tucker, 1990 e Gasparrini, 2003, mostra que o modelo que melhor se enquadra nas condições de variabilidade química do minério da mina Rio Bonito é o modelo da convecção térmica. Esse modelo é caracterizado pela circulação de fluidos ricos em  $\text{MgO}$  em ambiente sub-superficial (Gasparrini, *op. cit.*). Nessas circunstâncias, a dolomitização se desenvolveu quando as temperaturas se tornaram elevadas o suficiente a ponto de romperem as limitações cinéticas (tempo, temperatura e presença ou ausência de catalisadores e inibidores das reações de precipitação direta ou substituição).

Os fluidos dolomitizantes podem ser reciclados inúmeras vezes por meio dos carbonatos precursores. A circulação convectiva é garantida pelo aumento do fluxo térmico do embasamento, onde o aumento do fluxo térmico pode ter se dado tanto em função do metamorfismo desenvolvido em fácies Xisto Verde, como em função de intrusões de rochas graníticas próximas, quanto de diques de diabásio mesozóicos. (Pinto-Coelho, 2007).

O mapeamento estrutural realizado na mina Rio Bonito mostrou que a direção média do corpo de rochas dolomíticas é  $\text{N } 50^\circ\text{W}$ , com mergulhos da ordem de  $30^\circ$  para SW.

A zona de cisalhamento associada à falha transcorrente de Morro Agudo configura o sistema de cisalhamento principal da área. Essa falha possui direção média  $\text{N } 50^\circ - 60^\circ \text{ E}$  com mergulhos da ordem de  $70$  a  $80^\circ$  para NW, e segundo Fiori, 1990, exibe evidências de movimentação dextral.

A aplicação do modelo de Riedel sugere que o corpo de rochas dolomíticas se desenvolveu em condutos abertos pelas fraturas de partição T associada ao modelo de Riedel (FIGURA 78). O tratamento dos dados estruturais obtidos possibilitou a geração de um modelo gráfico semelhante ao proposto por Gallina (2005), contudo, nesse trabalho, admite-se como estrutura principal de cisalhamento, a falha transcorrente de Morro Agudo.

A análise dos dados geoquímicos das campanhas de sondagem realizadas pela Cia. de Cimentos Itambé por meio de gráficos de dispersão mostra que a dolomitização teria se desenvolvido após a sedimentação. A representação gráfica dos dados geoquímicos mostra que o conjunto de rochas dolomíticas é formado pelo deslocamento de pontos das rochas originais (mármore calcítico e metamargas) (FIGURA 70). Essa hipótese é corroborada pelas relações de contato entre as frentes de rochas calcíticas e dolomíticas, onde o corpo de rochas dolomíticas ocorre em contato abrupto com os mármore calcítico e a direção do corpo dolomítico se apresenta de forma discordante em relação à foliação S1 observada nos mármore calcítico (FIGURAS 77 e 28 C e D).

## 6 CONCLUSÕES

As rochas da mina Rio Bonito apresentam grande variabilidade química, onde os principais fatores que afetam a qualidade do minério estão ligados presença excessiva de MgO e SiO<sub>2</sub> no minério.

A alta concentração de SiO<sub>2</sub> é representada pela presença de metamargas que ocorrem intercaladas às camadas de mármore calcíticos. Nos domínios da cava, as metamargas afloram na porção norte. Essas rochas possuem teores de SiO<sub>2</sub> que atingem até 63%, prejudicando a lavra por gerar grande quantidade de material quimicamente inadequado para a produção de cimento. A presença excessiva de silicatos acarreta redução na fase líquida durante a geração do clínquer, prejudicando o processo.

A alta concentração de MgO esta associada a um corpo de rochas dolomíticas facilmente visualizado na face norte da mina. Esse corpo possui uma extensão lateral de aproximadamente 60 metros, sendo representado por mármore dolomíticos e brechas dolomíticas. Nessas rochas os teores em MgO atingem até 21% também prejudicando a lavra por gerar material estéril. A presença elevada de MgO acarreta problemas, pois esse óxido ao sofrer hidratação é convertido para Mg(OH)<sub>2</sub>, sofrendo aumento de volume, onde essa expansão gera trincas e fissuras no concreto, contribuindo para o enfraquecimento do concreto quando exposto a lixiviação.

As rochas dolomíticas possuem evidências de ação hidrotermal devido à presença de cristais de dolomita em sela. A presença de fragmentos angulosos de mármore dolomítico sem evidência de deslocamento nem deformação evidenciam a ocorrência de fraturamento hidráulico afetando essas rochas.

A integração entre os dados petrográficos, químicos e estruturais permite concluir que a variabilidade química do minério da mina Rio Bonito é condicionada por processos primários ligados a sedimentação e por processos secundários associados a hidrotermalismo.

Após a sedimentação, as rochas foram submetidas a um metamorfismo que atingiu a fácies Xisto Verde – zona da clorita. O metamorfismo foi desenvolvido em grau fraco e não produziu nenhum tipo de alteração química significativa nas rochas, apenas recristalização ou mudança nas estruturas cristalinas dos minerais.



A análise estrutural integrada a descrição de testemunhos de sondagem mostra que as deformações em regime dúctil D1 e D2 que afetaram os estratos primários condicionaram a intercalação de camadas sucessivas de mármore calcícticos e metamargas.

Estabelecendo a falha transcorrente de Morro Agudo como componente principal de cisalhamento, as fraturas de partição T configuram possíveis condutos de percolação de fluidos aquecidos onde se foram geradas as rochas dolomíticas. A falha de Morro Agudo possui direção média N 50° - 60° E com movimentação dextral. O corpo de rochas dolomíticas possui direção média N 50° W coincidindo com a direção das fraturas T de partição identificadas com a aplicação do modelo de Riedel.

## 7. RECOMENDAÇÕES

Os dados apresentados nesse trabalho mostram que as rochas quimicamente inadequadas para a produção de cimento não se restringem apenas às rochas dolomíticas.

Na mina Rio Bonito, os avanços das frentes de lavra em direção ao norte mostram a presença de metamargas com altas concentrações de  $\text{SiO}_2$ .

Para maximizar o aproveitamento do minério lavrado, sugere-se em curto prazo uma pesquisa detalhada na porção oeste da mina (FIGURA 81), envolvendo sondagens, mapeamento estrutural e análises químicas de controle.

A sugestão de pesquisa na porção oeste da mina é fundamentada nos dados geoquímicos dos furos 1016, 1017 e 1018 realizadas em campanha de sondagem do ano 2000. As análises químicas realizadas nos testemunhos de sondagem dos referidos furos mostram a presença de minério de boa qualidade com teores de  $\text{CaO}$  acima de 45%, teores de  $\text{MgO}$  inferiores a 4% e teores de  $\text{SiO}_2$  inferiores a 10% (Anexos 2 e 3)

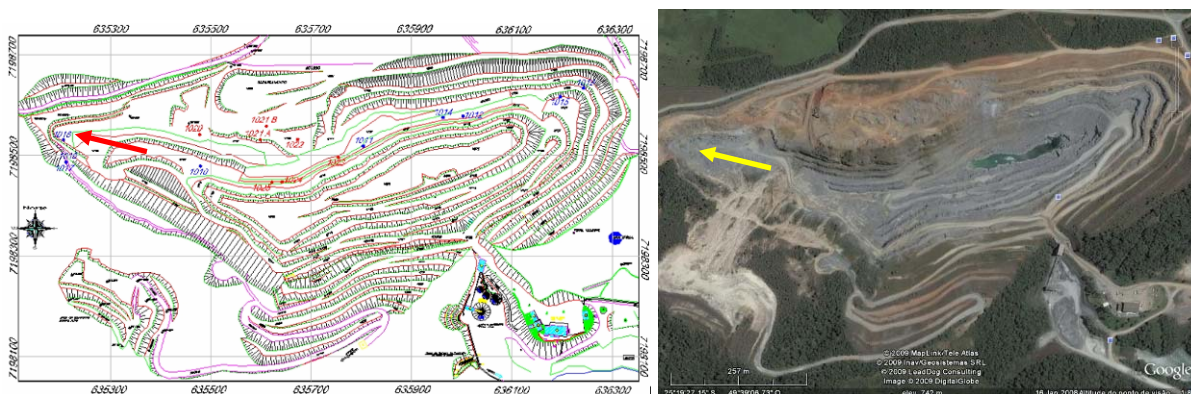


FIGURA 81 – a: Planta de detalhe da mina Rio Bonito. A seta vermelha indica área sugerida para pesquisa direcionada aos furos 1016, 1017 e 1018. b: Sugestão de área a ser pesquisada em vista aérea da mina Rio Bonito.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAM, E. R. – **Os mármores da região do Tigre – PR: Características Geológicas e Tecnológicas**. 177p. Dissertação de Mestrado em Geologia Exploratória. SCT – UFPR, Curitiba, 2004.

ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y; NEVES, B.B.; FUCK, R.A. Províncias Estruturais Brasileiras. In SIMPÓSIO GEOLOGIA DO NORDESTE, 1977, Campina Grande,. **Atas...** Campina Grande: SBG/NNE, 1977 p.363-391.

ALLING, H. L. **Use of microlithologies as illustrated by some New York sedimentary rocks**. Bull. Geol. Soc. Amer. **56**: 737 – 756. 1945.

AOKI, J. **Calcário para cimento**. Disponível em <http://www.cimentoitambe.com.br/massa-cinzenta/calcario-para-cimento/>. Acesso em 20/ 01/2008.

BANKS, N. G. Nature and origin of early and late cherts in the Leadville Limestone, Colorado. **Geol. Soc. Am. Bull**, 81, 3033 – 3048, 1970.

BIGARELLA, J.J. **Estudos Preliminares na Série Açungui III: Rochas Calcárias da Faixa Central e sua Classificação**. **Inst. Biol. e Pesq. Tecn.** Curitiba, 1953. Arquivos de Biologia e Tecnologia, v. VIII, art. 21, p. 473 – 502.

BIGARELLA, J.J. & R. SALAMUNI (1956):. Estudos **preliminares da Série Açungui. V.** Estruturas organógenas nos dolomitos da Formação Capiru (PR). *Dusenía*, 7 (6): 317-323. Curitiba 1956.

BIGARELLA, J.J. & R. SALAMUNI (1958): Estudos **preliminares da Série Açungui. VII.** A Formação Votuverava. *Bol. Inst. Hist. Nat. Geol.*, 1: 1-10. Curitiba 1958.

BIONDI , J.C. **Mapa Geológico da área do embasamento do Estado do Paraná**, Curitiba – PR, Mineropar, 1983. Escala 1:250.000.

BOETTCHER, A. L. The System CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O at High Pressures and Temperatures, **J. Petrol.** 11: 337-379, 1970.

BOUMA, A.H. **Sedimentology of some flysch deposits**. Amsterdam, Elsevier, 1962.

BOWEN, N. L. Progressive metamorphism of siliceous limestones and dolomite. **Journal of Geology**, 48, 225 – 74, 1940.

CHIODI FILHO, C. Contribuição à geologia das regiões sul paulista e leste paranaense – Grupo Açungui e Setuva. In: CONGRESSO BRASILEIRO de GEOLOGIA, 33, 1984, Rio de Janeiro. **Anais...** Salvador, SBG, 1984 v.3, p. 1037-1049.

CIGUEL J.H.G.; GÓIS J.R. & ACEÑOLAZA F.G. Ocorrência de Icnofósseis em depósitos molássicos da Formação Camarinha (Neoproterozóico III-Cambriano Inferior), no Estado do Paraná, Brasil. Universidad Nacional de Tucuman. **Série Correlación Geológica**, 9:157-158. 1992.

COMPANHIA DE CIMENTOS ITAMBÉ. Disponível em <http://www.cimentoitambe.com.br/itambe/historia>, acessado em 07/01/2009.

CONIGLIO, M.; SHERLOCK, R.; WILLIAMS-JONES, A.E.; DIDDLETOWN, K.; FRAPE, S.K. Burial and hydrothermal diagenesis of Ordovician carbonates from the Michigan Basin, Ontario, Canada. **Special Publication of International Association of Sedimentologists**, v.21, p.231-254. 1994.

CULLITY, B. D. *Elements of X-ray crystallography*. Addison-Wesley Publishing Company, Inc. USA. (1956).

CURY, L. F. **Geocronologia e Litogeoquímica dos Stocks Graníticos da Porção Sudeste da Faixa Apiaí, Estado do Paraná**. 2003. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

DAITX, E. C. *et al.* **Mapeamento geológico da área norte**. São Paulo: DNPM, 1983 **Projeto Anta Gorda, fase III**.

DAVIES, G.R. Dolomite reservoir rocks: processes, controls, porosity development. **American Association of Petroleum Geologists Short course on carbonate porosity**. Serie 11, p. C2-C17. 1979.

DIAS, M.V.F. e SALAZAR JR, O. Geologia da Sequência Antinha – Grupo Açungui, PR, In. SIMPÓSIO SUL BRASILEIRO DE GEOLOGIA. 3, 1987, Curitiba. **Atas... Curitiba\_vol.1**. 1987 p. 263-279.

DRENTH, J. *Principles of Proteins X-Ray Crystallography*. Springer-Verlag. New York. USA, (1994).

DUDA, W. H. **Cement - Data – Book**. 2<sup>nd</sup> Ed. – London, 1977.

ESKOLA, P. On contact phenomena between gneiss and limestones in western Massachussets. **Journal of Geology**, **30**, 265-94, 1922.

EVAMY, B.D. Dedolomitization and the development of rhomboedral pores in limestones. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 37, p. 1204-1215. 1967.

FASSBINDER, E. **A unidade Água Clara co contexto do Grupo Açungui: Um modelo transpressivo de colisão oblíqua no Neoproterozóico paranaense**. 207 p. Tese de Doutorado – USP, Departamento de Geologia, São Paulo, 1996.

FASSBINDER, E.; MACHADO, R. & FIORI, A. P. Contribuição à Estratigrafia do Grupo Açungui com base em isótopos de oxigênio e carbono. **Boletim Paranaense de Geociências**, Curitiba, (47): 143-154. 1999.

FIORI, A. P.; *et al.* Lineamentos Tectônicos e Possíveis Mineralizações Associadas ao Pré-Cambriano Paranaense. **Boletim Paranaense de Geologia**, 36:15-39. 1984.

FIORI, A.P.; *et al.* In: SIMPÓSIO SUL BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 3, 1987. Curitiba. **Compartimentação tectônica do Grupo Açungui a Norte de Curitiba (Atas)**. Curitiba, SBG, 1987 p. 183-196.

FIORI, A. P. **Tectônica e estratigrafia do grupo Açungui a norte de Curitiba**. 261 p. Tese de Livre Docência, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1990.

FIORI, A.P. O Grupo Açungui a norte de Curitiba. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37,. 1992, São Paulo. (**Boletim de Resumos Expandidos**). São Paulo: SBG, p.279-280.V1.

FIORI, A.P. Considerações sobre a estratigrafia do Grupo Açungui (proterozóico superior), Paraná, Sul do Brasil. **Boletim do IG-Série Científica**. São Paulo, v.24, p. 1-19, 1993.

FIORI, A.P. Evolução Geológica da Bacia Açungui. **Boletim Paranaense de Geociências**, Curitiba, n.42, p.7-27, 1994.

FLÜGEL, E. **Microfacies of Carbonate Rocks: Analysis, Interpretation and Application**. Berlin, Springer, 2004.

FRAZÃO, E.B.; PARAGUASSU, A.B. **Materiais rochosos para construção**. In OLIVEIRA, A.M.S.; BRITO, S.N.A., eds. Geologia de Engenharia. São Paulo, ABGE, 1998.

FRITZONS JUNIOR, O. *et al.* Geologia e potencial econômico do Grupo Setuva (PR). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 32, 1982, Salvador. **Anais...** Salvador: SBG, 1982. 987-1001p.

FUCK R.A.; *et. al.* Folha Geológica de Quero-Quero. **Com. da Carta Geológica do Paraná**. 1965. Escala 1:50.000.

FUCK, R.A.; TREIN, E.; MARINI, O.J. Geologia do Leste Paranaense In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25, 1971, São Paulo. **Anais...** São Paulo, SBG, 1971. v.1, p.121-130.

GALLINA, F. **Fatores Controladores da variação de MgO nos mármores da Mina Rio Bonito, PR**. 93 p. Dissertação de Mestrado em Geologia Exploratória. SCT – UFPR, Curitiba, 2005.

GASPARRINI, M. **Large Scale hydrothermal dolomitization in the southwestern Cantabrian Zone (NW Spain): causes and controls of the process and origin of the dolomitizing fluids**. Heidelberg. 193 p. Tese (Doutorado), Universidade Ruprecht-Karls. Heidelberg. 2003.

GEORGE, C. M.; SORRENTINO, F. P.; "**Valorization of basic oxygen steel slags**". In: INTERNATIONAL CONGRESS ON THE CHEMISTRY OF CEMENT, 7. Paris, 1980. Anais. v. II, theme III, p. 46-50.

GIANNINI, P. C. F. Depósitos e Rochas Sedimentares. In: Teixeira W.; Toledo, M. C. M.; Fairchild, T. R.; Taiolli, F. (Coordenadores), **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2000. p. 286 – 304.

GORDON, T. M., GREENWOOD, H. J. The stability of grossularite in H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> mixtures. **Am. Mineralogist** 56, 1674–1688, 1971.

GOUDA, G. **Cement raw materials**: their effect in fuel consumption In: Rock Products, p. 10,60-64 80, ( 1977).

GREENWOOD, H. J., Metamorphic reactions involving two volatile components. **Annual Report Director Geophysical Laboratory**, Carnegie Institution Washington Year Book, vol. 61, pp. 82 – 5. 1962.

GREENWOOD, H. J. Wollastonite: stability in H<sub>2</sub>O – CO<sub>2</sub> mixtures and occurrences in a contact-metamorphic near Almo, British Columbia, Canada. **American Mineralogist**, 52, 1669-80, 1967.

GUIMARÃES, S.B. **O “calcário” como Mineiro na Formação Capiuru do grupo Açungui**: modelo analítico para a região Metropolitana de Curitiba, PR. 135 p. Tese de Doutorado em Geologia Exploratória. SCT – UFPR, Curitiba, 2005.

HARDIE, L.A. Perspectives dolomitization: a critical view of some current views. **Journal of Sedimentary Petrology**, v.57, p.166-183. 1987.

HARKER, R. I. & TUTTLE, O. F. Experimental data on the P<sub>CO<sub>2</sub></sub>-T curve for the reaction: calcite + quartz = wollastonite + carbon dioxide. **American Journal of Science** 254, 239 – 256, 1956.

HASUI, Y.; CARNEIRO, C.D.R. e COIMBRA, A.M. The Ribeira Folded Belt. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, 5 (4), p. 257 – 266, 1975.

HESSE, R. Selective and reversible carbonate-silica replacement in Lower Cretaceous carbonate: Bearing turbidites of the Eastern Alps. **Sedimentology**, 34, 1055 – 1077, 1987.

HESSE, R. Sílica diagenesis: Origin of inorganic and replacement cherts, **Earth Sci. Rev**, 26, 253 – 284, 1989.

JOHANNES, W. & PUHAN, D., 1971. The calcite-aragonite transition re investigates. **Contributions to Mineralogy and Petrology**, 31, 28-38.

KERRICK, D. M.: Contact metamorphism in some areas of the Sierra Nevada, California. **Geol. Soc. Am. Bull.** 81, 2913–2938, 1970.

KERRICK, D. M. Review of metamorphic mixed volatile (H<sub>2</sub>O – CO<sub>2</sub>) equilibria. **American Mineralogist**, 59, 729-62, 1974.

KOPS, P.I. **Geologia das formações Antinha, Votuverava e Água Clara a sudoeste do Complexo Granítico Três Córregos, Estado do Paraná**. 132 p. Dissertação de mestrado - UNESP, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, São Paulo, 1994.

LEA, F.M. **The Chemistry of Cement and Concrete**. 3<sup>rd</sup> Ed. New York. Chemical Publishing Co., 1970.

LEIGHTON, M.V.; PENDEXTER, C. *Carbonates Rock types*. In: Classification of carbonate rocks: a symposium. 1962, American Association of Petroleum Geologists. P. 62 – 84.

LIMA, R.E. de; REIS NETO, J.M.; MONASTIER, M.S. (1993) Geologia e depósitos de Talco da Faixa Itaiacoca. In: SIMP. SUL. BRAS. GEOL., 5, Curitiba 1993. **Roteiro de Excursões...** Curitiba, SBG.

MACHEL, H.G.; LONEE, J. Hydrothermal dolomite: A product of poor definition and imagination. **Sedimentary Geology**, v. 152, p. 163-171. 2002.

MARINI, O. J.; TREIN, E. & FUCK, R.A. O Grupo Açungui no Estado do Paraná. **Boletim Paranaense de Geociências**, Curitiba, (23/25): 43-104, 1967 a

MARINI, O. J. **Geologia da Folha de Rio Branco do Sul**. 190 p. Tese de doutoramento. Faculdade de Filosofia Ciências e Letras, Rio Claro, São Paulo, 1970.

MINEROPAR – Minerais do Paraná S/A. **Atlas Geomorfológico do Estado do Paraná**. Curitiba. Escala 1:250.000.: Mineropar/UFPR, 2003. 63 p.

MINEROPAR – Minerais do Paraná S/A **Folha de Ponta Grossa**, Curitiba – PR, Mineropar, 2006. Escala 1:250.000.

MINEROPAR – Cobertura Sedimentar Cenozóica, 2009. Disponível em <http://www.mineropar.pr.gov.br/mineropar/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=27>. Acesso em 22/02/2009.



MISCH, P. M. Stable association wollastonite – anorthite and other calc – silicates assemblages in amphibolite-facies crystalline schist of Nanga parbat, northwest Himalayas. **Beitrag zur Mineralogy und Petrographie (later Contributions to Mineralogy and Petrology)** 10, 315-56, 1964.

MURATORI A.; *et. al.*. Folha Geológica de Campo Largo. **Com. da Carta Geológica do Paraná**. 1965. Escala 1:50.000.

MURATORI, A.; FUCK, R.A. & BIGARELLA, J.J. Contribuição ao estudo da Formação Camarinha. **Boletim Paranaense de Geociências**, (23/25): 221-255. 1967.

MORO, R. P. X. **Proposta da Origem, Evolução e Contexto da Bacia da Formação Camarinha – Transição Neoproterozóico- EoCambriano do Estado do Paraná**. 145 p. Tese de doutoramento, USP, Universidade de São Paulo, São Paulo,. 2000.

NADALIN, R.J. – 1993 – **Introdução à fotointerpretação geológica**. Manual didático, 21 p.

NADER, F.H.; SWENNEN, R.; ELLAM, R. Reflux stratabound dolostone and hydrothermal volcanism-associated dolostone: a two-stage dolomitization model (Jurassic, Lebanon). **Sedimentology**, v. 51, p. 339-360. 2004.

PENELA, M.; BARRAGAN, A.J. Silicification of carbonate clasts ina marine environment (Upper Miocene, Vera Basin, SE Spain), **Sedimentary Geology**, 97: 21-32, 1995.

PETTIJOHN, F. J. **Sedimentary rocks**. New York: Harper & Brothers Publishers, 1949.

PETTIJOHN, F. J. **Rocas sedimentarias**. 4ª Edição . Buenos Aires: Eudeba Manuales, 1975.

PETRI, S. & SUGUIO. K. **Sobre os metassedimentos do Grupo Açungui no extremo sul do Estado de São Paulo**. São Paulo, 1969 Convênio USP – DAEE, 98 p.

PICANÇO, J. L. **Composição isotópica e processos hidrotermais associados aos veios auríferos do maciço granítico Passa Três, Campo Largo, PR.** 2000, 175 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

PIEKARZ, G. F. Reconhecimento das Unidades correlacionáveis à seqüência mineralizada do Perau - Estado do Paraná. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 3., São Paulo. **Atas...** São Paulo: SBG, 1981, v. 1, p. 148-154.

PIEKARZ, G. F. Geologia e resultados preliminares da pesquisa mineral no núcleo Betara da Formação Perau (PR). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33, 1984, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBG, 1984 1: 3682-3689.

PIEKARZ, G.F. **O Granito Passa Três - Pr e as mineralizações auríferas associadas.** 221 p. Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1992.

PINTO-COELHO, C. V. **Dolomitização multifásica em brecha hidráulica da Mina Rio Bonito Campo Largo PR:** implicações para o desenvolvimento de porosidade e geração de reservatórios. Curitiba, 2007. 114 p.

PIRES, F.A. **Análise Paleoambiental e Estratigrafia das Sequências metassedimentares (Grupo Açungui) na região de Iporanga-Apiá-São Paulo.** 151p. Dissertação de Mestrado. USP. São Paulo, 1990.

PIRES, F.A. O “estado de arte” dos depósitos turbidíticos. Rev. IG, São Paulo, 14(1), 55-64 jan./jun./1993.

PONTES, J.B. **Pesquisa preliminar da Folha Ribeira-Adrianópolis.** Curitiba: MINEROPAR Setor de Rochas Metamórficas, 1980. 19 p. Relatório Interno.

PONTES, J.B. **Geologia e potencialidades econômicas da Formação Água Clara (PR).** Curitiba, Relatório interno da MINEROPAR (1981).

PONTES, J.B. Geologia e Potencialidades Econômicas da Formação Água Clara-PR. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 32, 1982, Salvador. **Anais...** Salvador, SBG, 1982. v.3, p. 1002-1016.

PONTES, J.B. & SALAZAR JR., O. **Geologia e Potencialidades Econômicas da Região de São Silvestre (PR).** Curitiba, Relatório da Mineropar, 1982.

POPP, J. H. Contribuição à estratigrafia e sedimentologia da Formação Camarinha (pré-devoniano do Estado do Paraná). **Boletim Paranaense de Geociências**, (30): 7-97. 1972.

QING, H.; MOUNTJOY, E.W. Formation of coarsely crystalline, hydrothermal dolomite reservoirs in the Presquile Barrier, Western Canada Sedimentary Basin. **American Association of Petroleum Geologists Bulletin**, v. 78, n.1, p. 55-77. 1994b.

RADKE, B.M.; MATHIS, R.L. On the formation and occurrence of saddle dolomites. **Journal of Sedimentary Petrology**, v.50, n.4, p.1149-1168. 1980.

REIS NETO, J.M. **Faixa itaiacoca: registro de uma coliseo entre dois blocos continentais no neoproterozóico**. 253 p. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

REIS NETO, J.M & SOARES, P.C. Um estudo de caracterização termodinâmica de micro-estruturas dos Grupos Açungui e Setuva (PR). In: SIMPOSIO SUL BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 3, 1987, Curitiba. **Atas...** Curitiba: SBG, 1987, 1: 147-165.

SANTIN FILHO, O. Breve histórico dos cem anos da descoberta dos raios X: 1895 – 1995. **Química Nova**, v.18, p. 574-583, 1995.

SEARL, A. Saddle dolomite: A new view of this nature and origin. **Mineralogical Magazine**, v.53, p. 547-555. 1989.

SERSALE, R. *et. al.* A study on the utilization of an Italian Steel Slag. In CONGRESSO INTERNACIONAL DE QUIMICA DO CIMENTO, 8, 1986, Rio de Janeiro. Communications Them 1v. II p. 194 – 198.

SIBLEY, D.F.; GREGG, J.M. Classification of dolomite texturas. **Journal of Sedimentary Petrology**, v.57, n. 6, p. 967-975. 1987.

SOARES, P.C. Sequências tecto-sedimentares e tectônica deformadora no centro-oeste do escudo paranaense. In: SIMPOSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 3, 1987, Curitiba. **Atas...** Curitiba: SGB, 1987. 2: 743-771.

SOARES, P. C.; GÓIS, J. R. Geologia do Granito Passa Três (Paraná) e suas mineralizações auríferas. In: SIMPÓSIO SULBRASILEIRO DE GEOLOGIA, 3., 1987. Curitiba-PR. **Anais...**Curitiba: SBG, 1987, v. 2, p. 497.

STORRE, B., NITSCH, K. H. Die Reaction  $2 \text{Zoisite} + 1 \text{CO}_2 = 3 \text{Anorthite} + 1 \text{Calcite} + 1 \text{H}_2\text{O}$ . **Contr. Mineral. and Petrol.** **35**, 1–10, 1972.

TOURET, J. The significance of fluid inclusion in metamorphic Rocks. In D.G. Fraser (ed) **Thermodynamics in Geology**, Reidel, Dordrecht, pp. 203-27, 1977.

TILLEY, C. E. Metamorphic zones in the southern Highlands of Scotland. **Quarterly Journal of the Geological Society**, **81**, 100- 12, 1925.

TILLEY, C. E. A note on the progressive metamorphism of siliceous limestones and dolomites. **Geologica Magazine**, **88**, 175-8, 1951.

TROMMSDORFF, V. Progressive metamorphose kieseliger karbonatgesteine in den Zentralalpen zwischen Bernina und Simplon. **Schweizerische Mineralogisches und Petrographisches Mitteilungen**, **46**, 431-60, 1966.

TROMMSDORFF, V. Change in T- X during metamorphism of siliceous dolomitic rocks on the central Alps. **Schweizerische Mineralogisches und Petrographisches Mitteilungen**, **52**, 567-71, 1972.

TURNER, F. J.– **Metamorphic Petrology Mineralogical and Field Aspects**. New York Mc Grow Hill Book Company 1981.

TUCKER, M.E. 1990. Dolomites and dolomitization models. In TUCKER, M.E. & JAMES, N. (ed) **Carbonate Sedimentology**. Ontario Blackwell Science Geological Association of Canada, 365-400.

VAHRENKAMP, V.C.; SWART, P.K.; RUIZ J. Episodic dolomitization of late cenozoic carbonates in the Bahamas: evidence from strontium isotopes. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 61, p.1002-1014. 1991.

VENUSSO, G. C. **Aspectos Geológicos, Geoquímicos e Genéticos das Mineralizações de Calcita e rochas encaixantes da Serra do Carumbé, Vale do Ribeira, Estado do Paraná**. 104 p. Dissertação de mestrado em Geologia Exploratória UFPR, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, - PR, 2001.

WARREN, J. Dolomite: occurrence, evolution and economically important associations. **Earth-Science Reviews**, v.52, p.1-81. 2000.

WILLIAMS, H.; TURNER, F.J.; GILBERT, C.M. **Petrografia**. São Paulo: Polígono, 1970.

WINKLER, J.G.F. Petrogênese das rochas metamórficas. Ed. Edgard Blücher 1977.

YARDLEY, B.W.D. Introdução à Petrologia Metamórfica. Ed. UnB. 1994.

# ***9. Anexos***

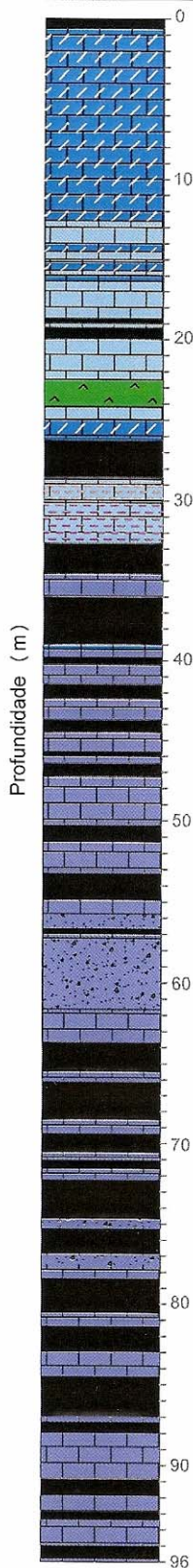
*Anexo 1*  
*Descrição dos furos*  
*1020 – 1025*

# Descrição do Furo 1020

Descrição: Lincoln Oliver Lopes

Coordenadas: 636.477,687 / 7.198.541,511

Furo: 1021 A



Mármore calcítico de cor cinza escura. A rocha possui uma granulação fina, maciça e homogênea. Apresenta venulações de cor branca preenchidas por calcita com granulação fina a média



Mármore calcítico de cor cinza clara. A rocha exibe uma matriz com granulação variando de fina a média. Não apresentam venulações associadas



Rocha de cor cinza esverdeada. Apresenta granulação variando de fina a média. A rocha exibe aspecto maciço sem venulações associadas. Exibe estado de alteração devido a presença de óxidos de ferro associados a matriz. A mineralogia é constituída por clorita e quartzo.



Intercalação de níveis maciços de mármore calcítico de cor bege e rosa. Nos níveis de cor bege, a granulação é média. Nos níveis de cor rosa a granulação é fina.



Metamarga com granulação variando de média a grossa. A cor predominante da rocha é cinza clara. Possui aspecto maciço e homogêneo. Não apresenta venulações associadas.



Metamarga com feições brechadas. Apresenta material ferruginoso de cor avermelhada associado ao preenchimento de fraturas. Observa-se também venulações preenchidas por calcita com granulação fina.



Cavidades / Rocha não recuperada



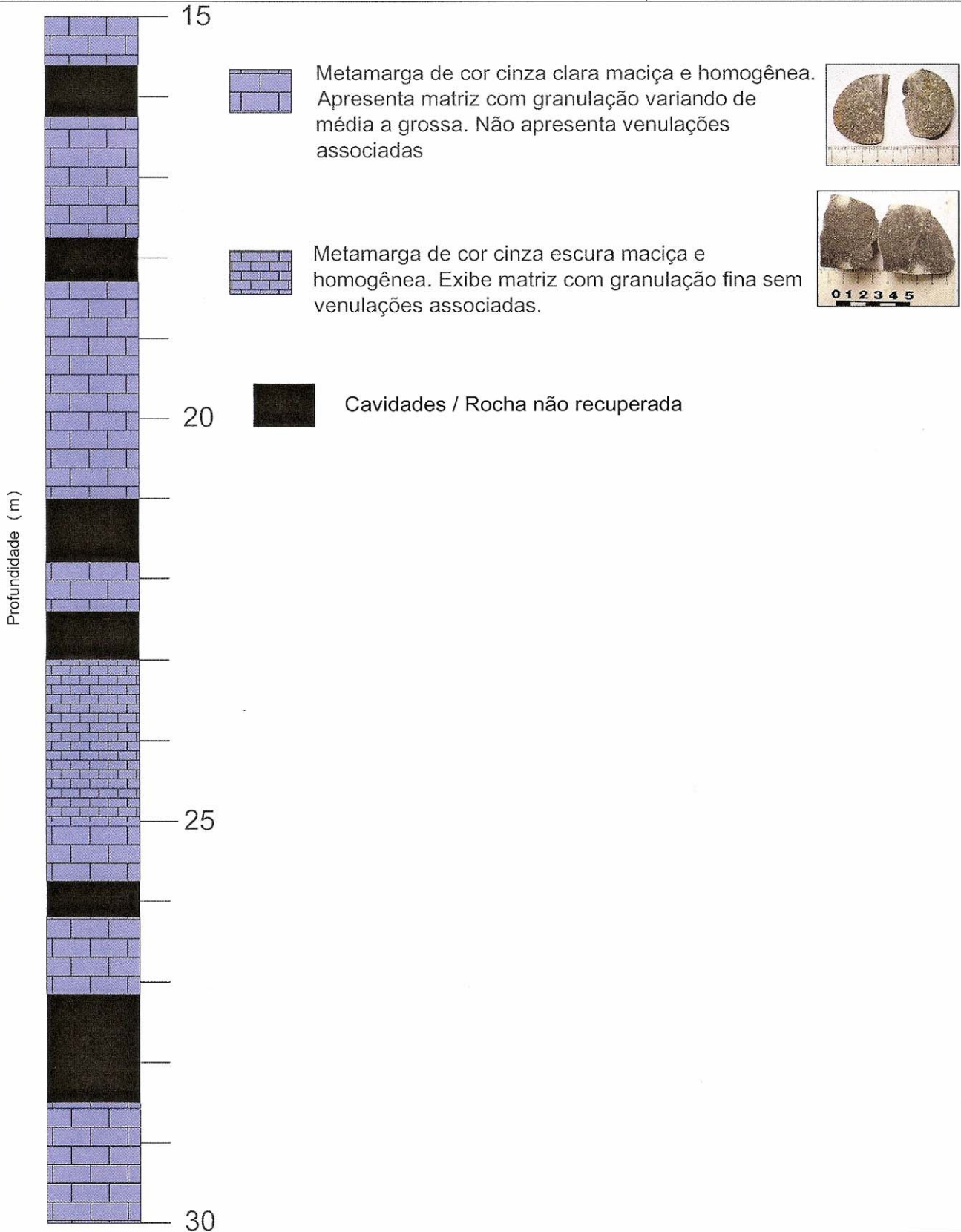


# Descrição do Furo 1021 A

Descrição: Lincoln Oliver Lopes

Coordenadas: 635.598,379 / 7.198.531,145

Furo: 1021 A



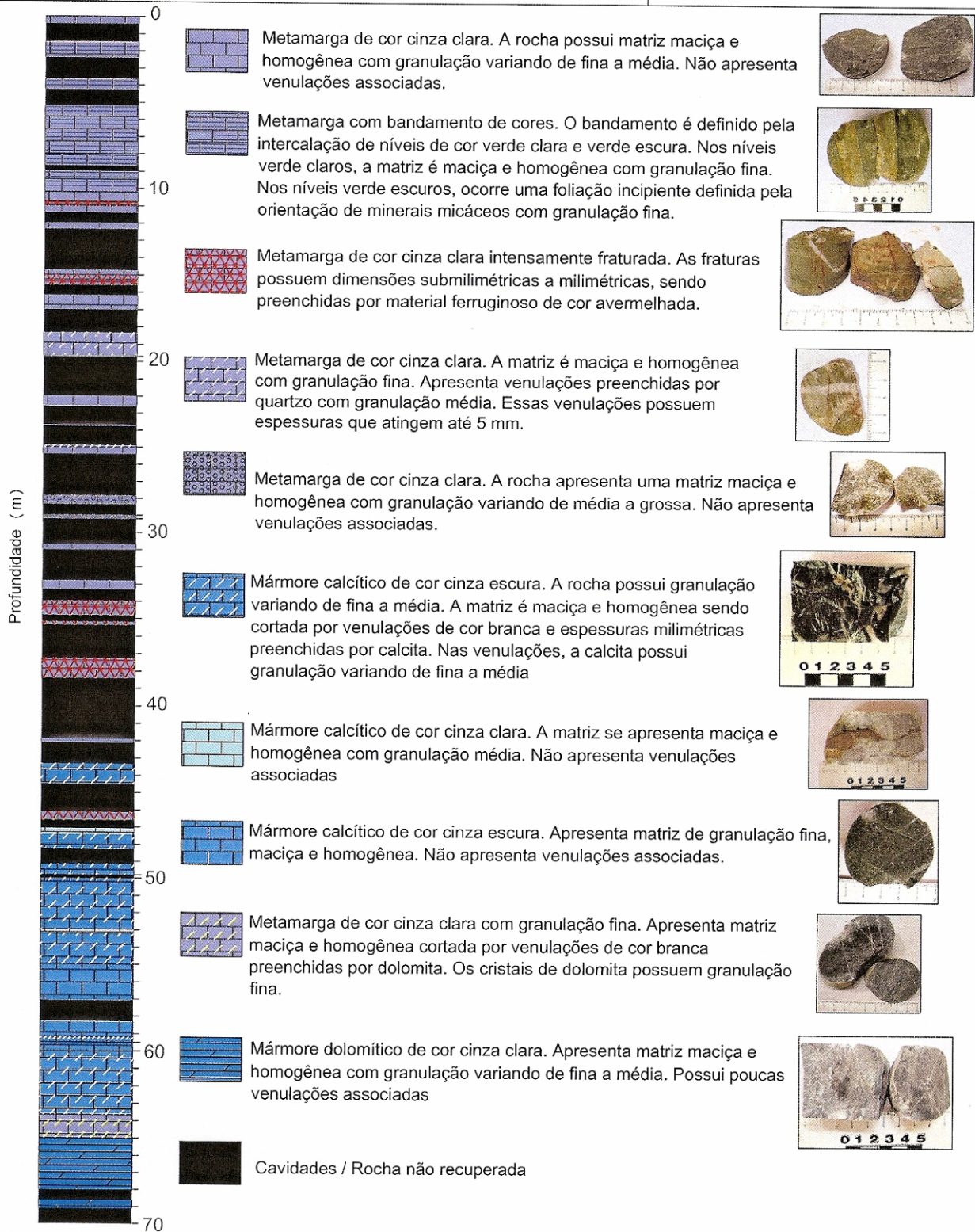


# Descrição do Furo 1021 B

Descrição: Lincoln Oliver Lopes

Coordenadas: 635.613,379 / 7.198.557,126

Furo: 1021 B

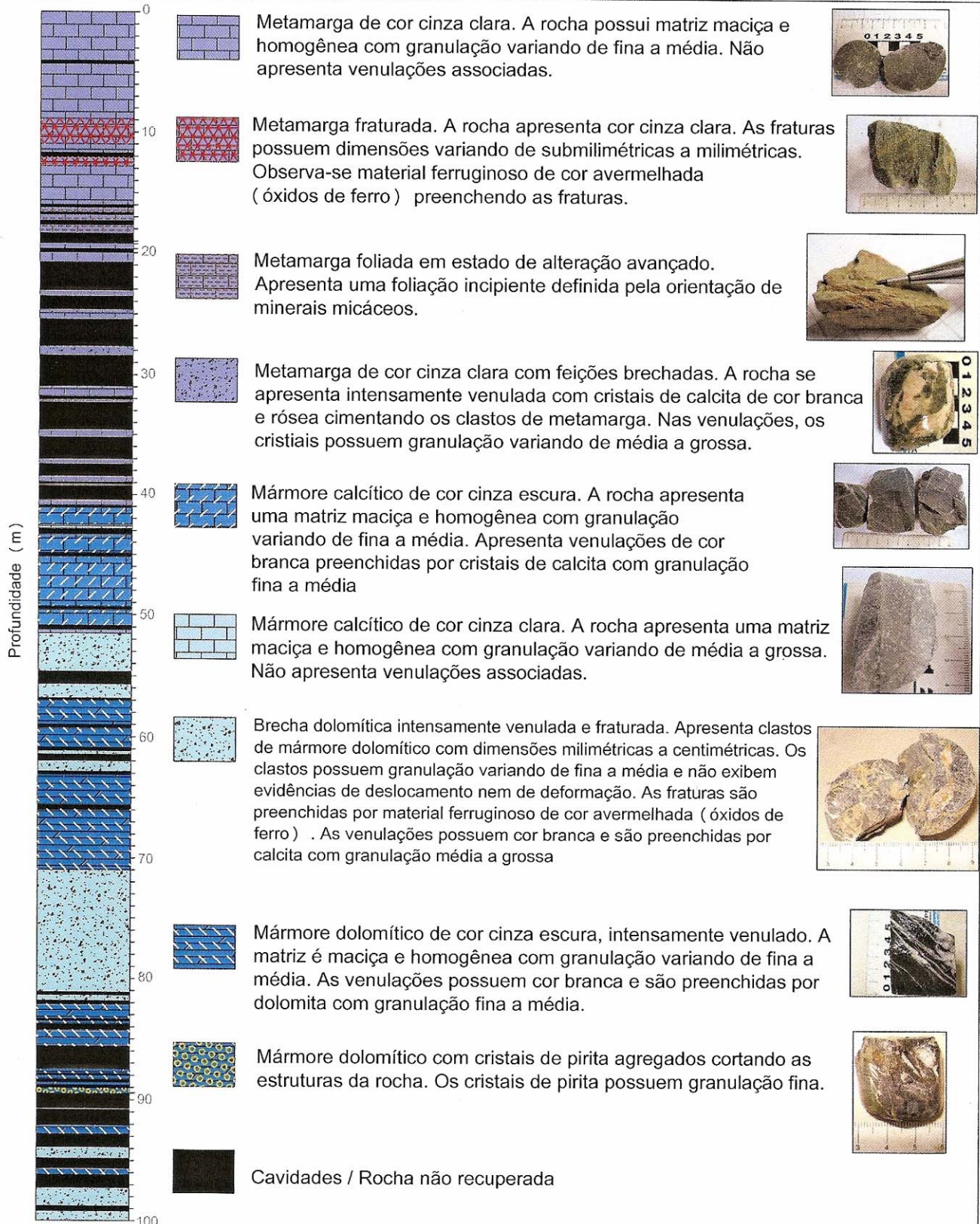


# Descrição do Furo 1022

Descrição: Lincoln Oliver Lopes

Coordenadas: 635.672,922 / 7.198.532,136

Furo: 1022



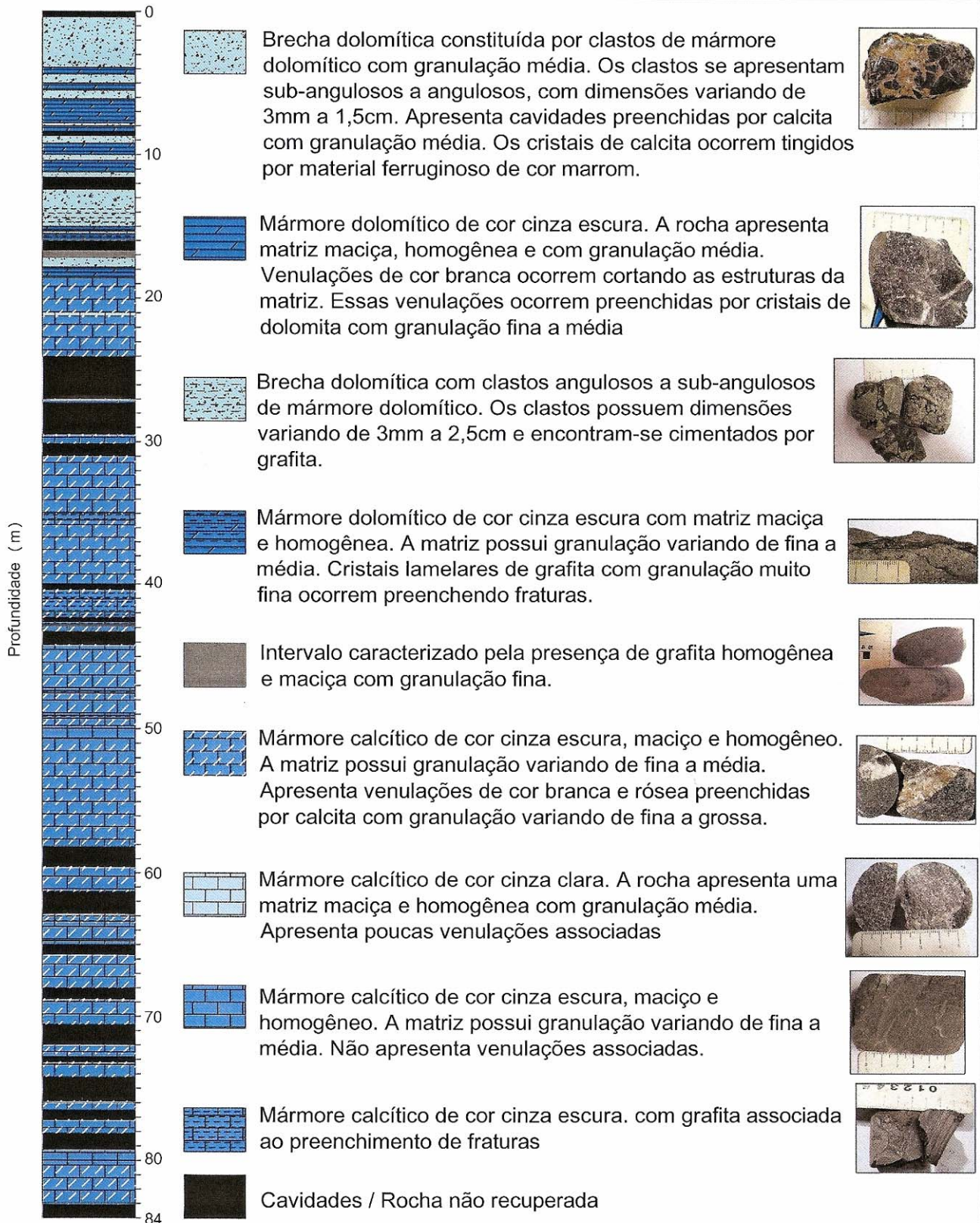


# Descrição do Furo 1023

Descrição: Lincoln Oliver Lopes

Coordenadas: 635.754,000 / 7.198.496,456

Furo: 1023

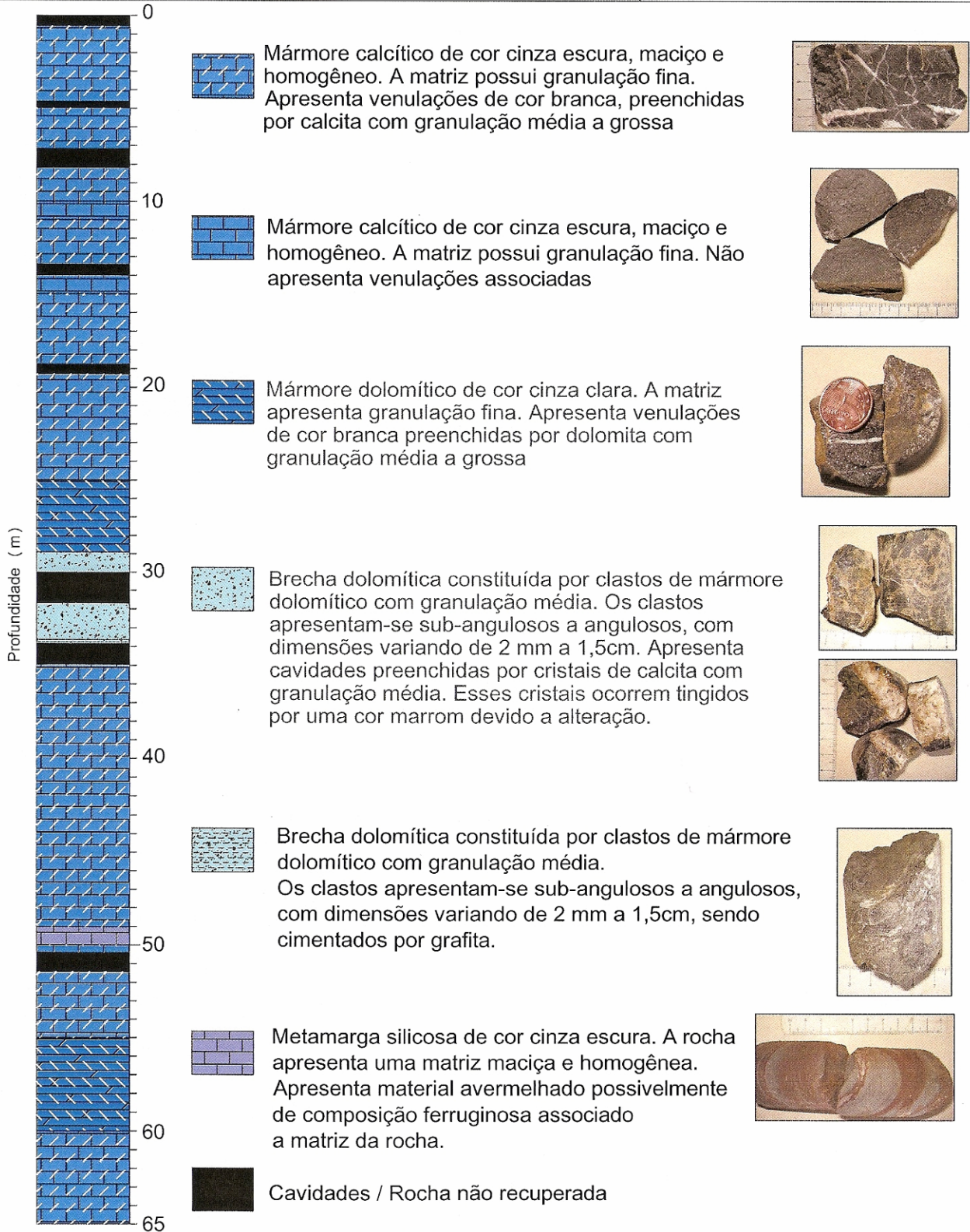


# Descrição do Furo 1024

Descrição: Lincoln Oliver Lopes

Coordenadas: 635.883,650 / 7.198.617,000

Furo: 1024

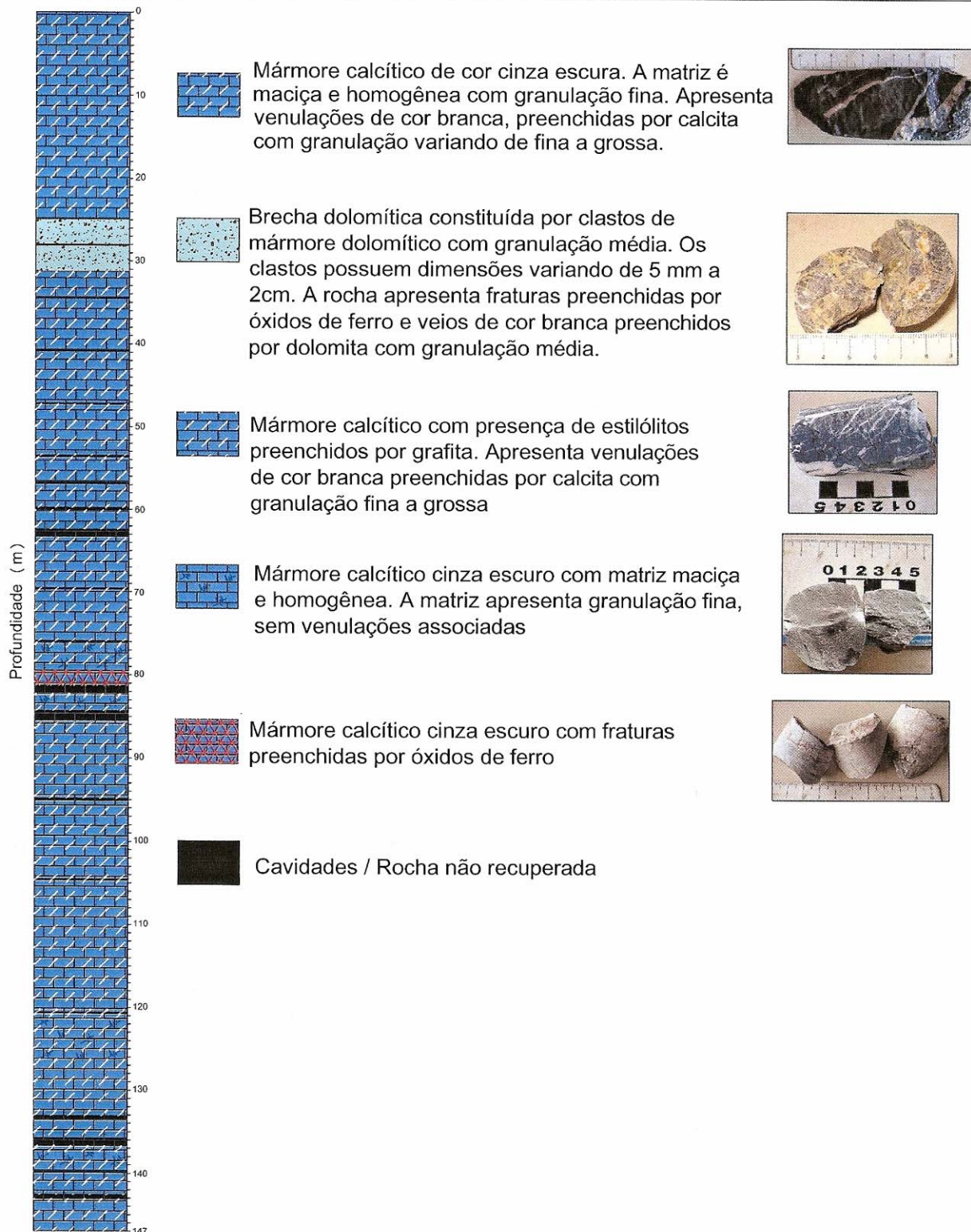


# Descrição do Furo 1025

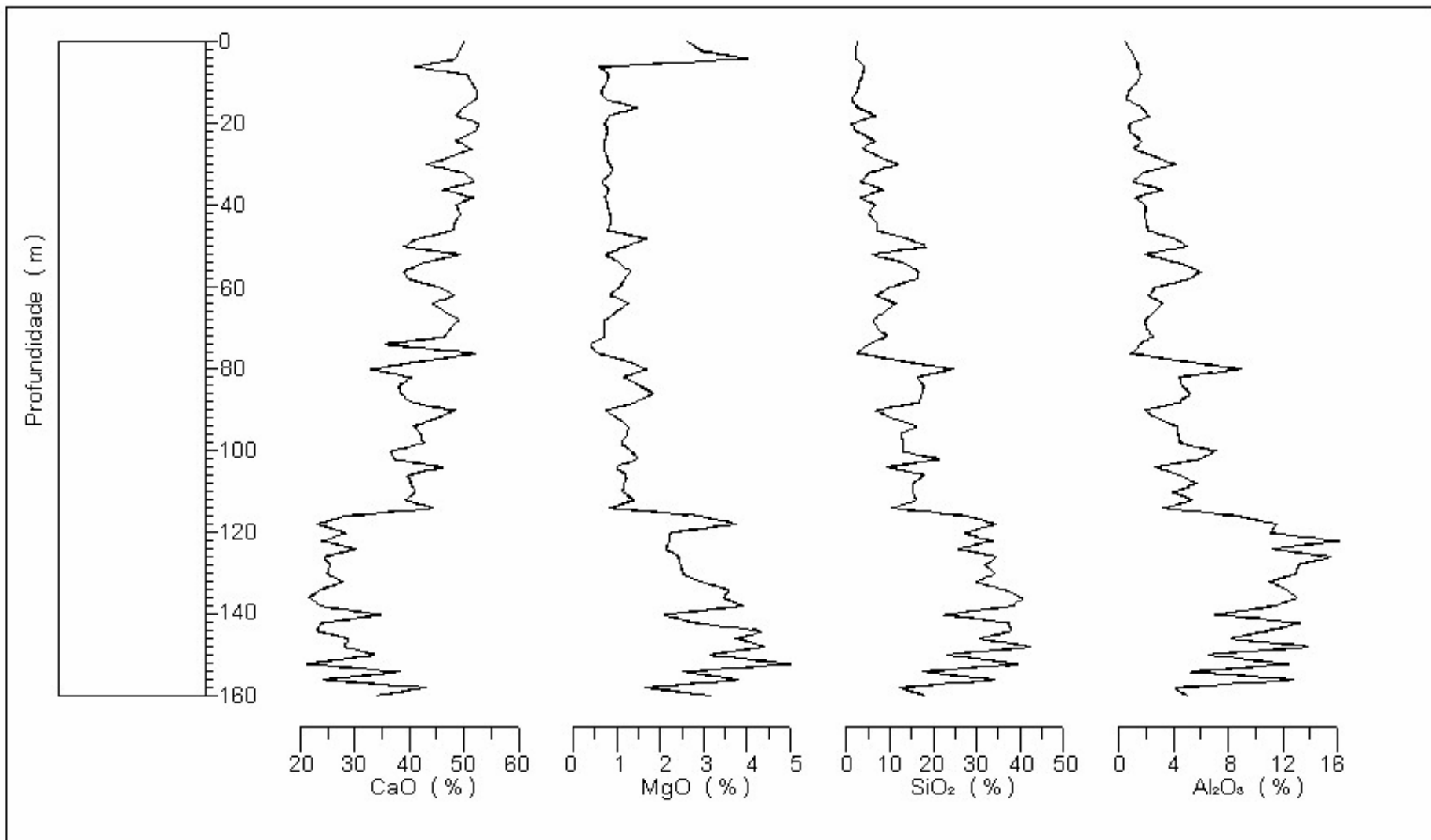
Descrição: Lincoln Oliver Lopes

Coordenadas: 636.002,650 / 7.198.678,000

Furo: 1025



***Anexo 2***  
***Perfis com relação:***  
***Química x profundidade***



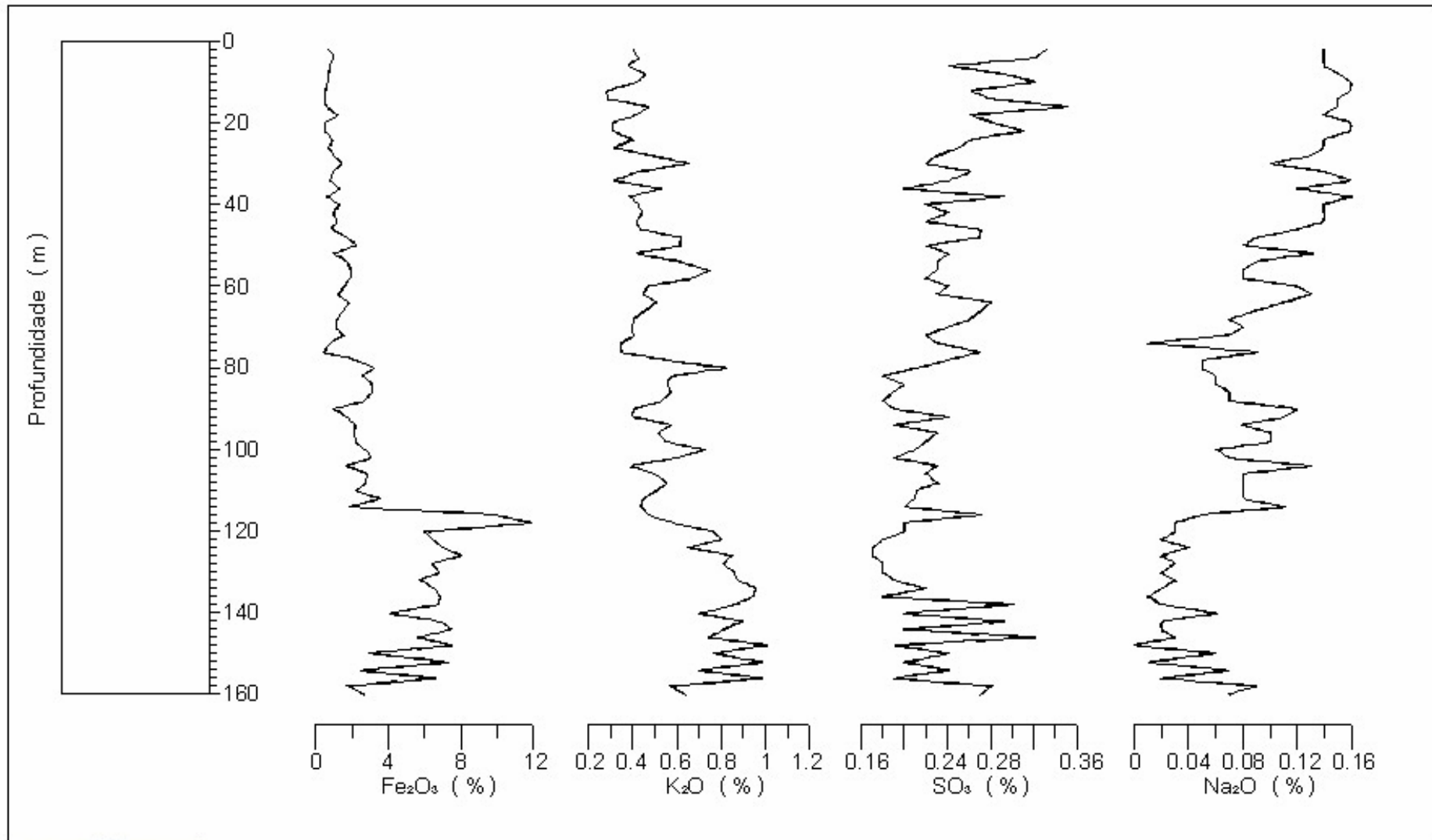
FURO 1010

Coordenadas ( UTM ) : 635.478,901 / 7.198.479,000

Cota: 724.650 m Inclinação: 30° para Norte

Elaboração: Geól. Lincoln Oliver Lopes

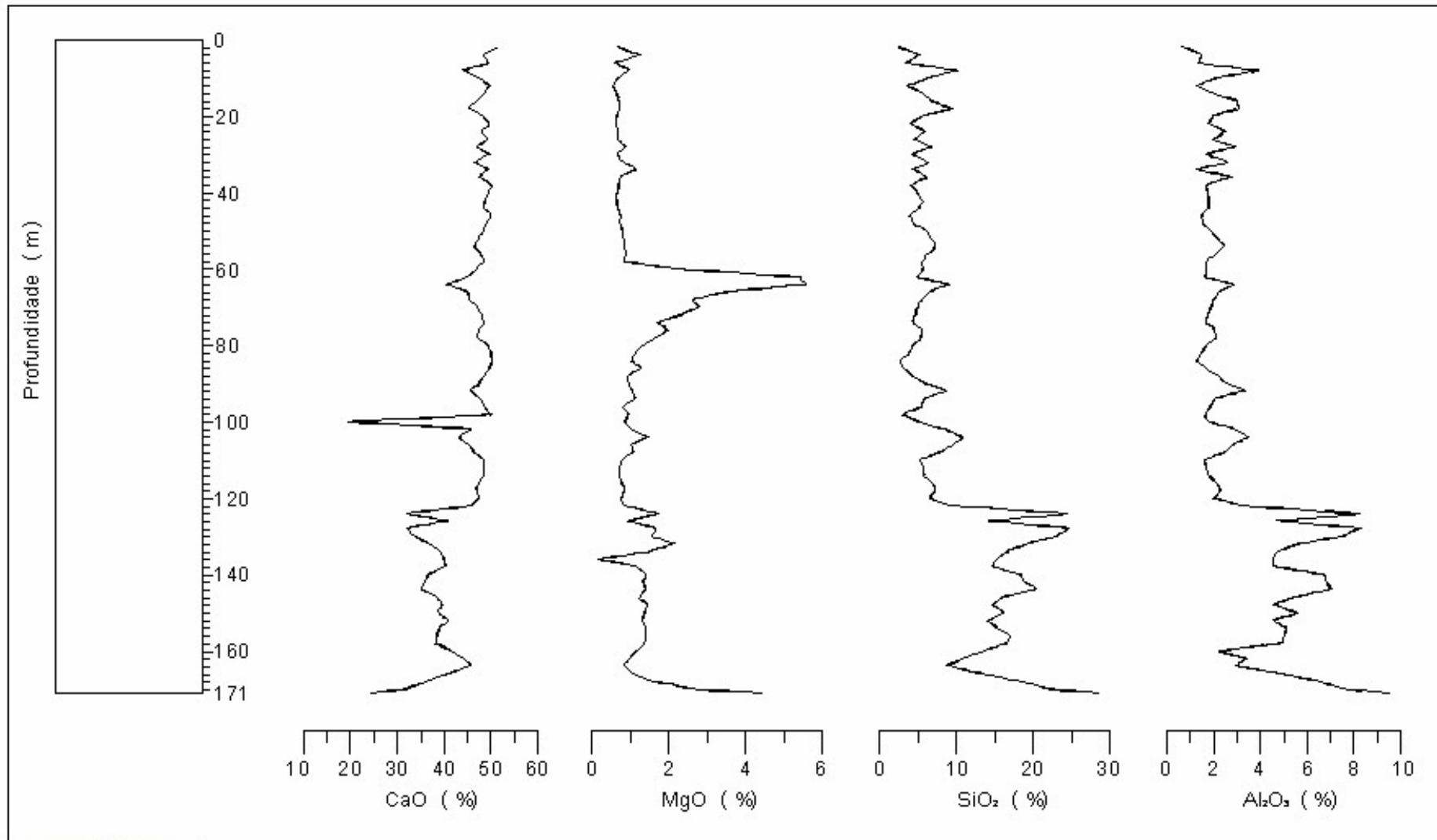




### FURO 1010

Coordenadas ( UTM ) : 635.478,901 / 7.198.479,000  
 Cota: 724.650 m Inclinação: 30° para Norte

Elaboração: Geól. Lincoln Oliver Lopes

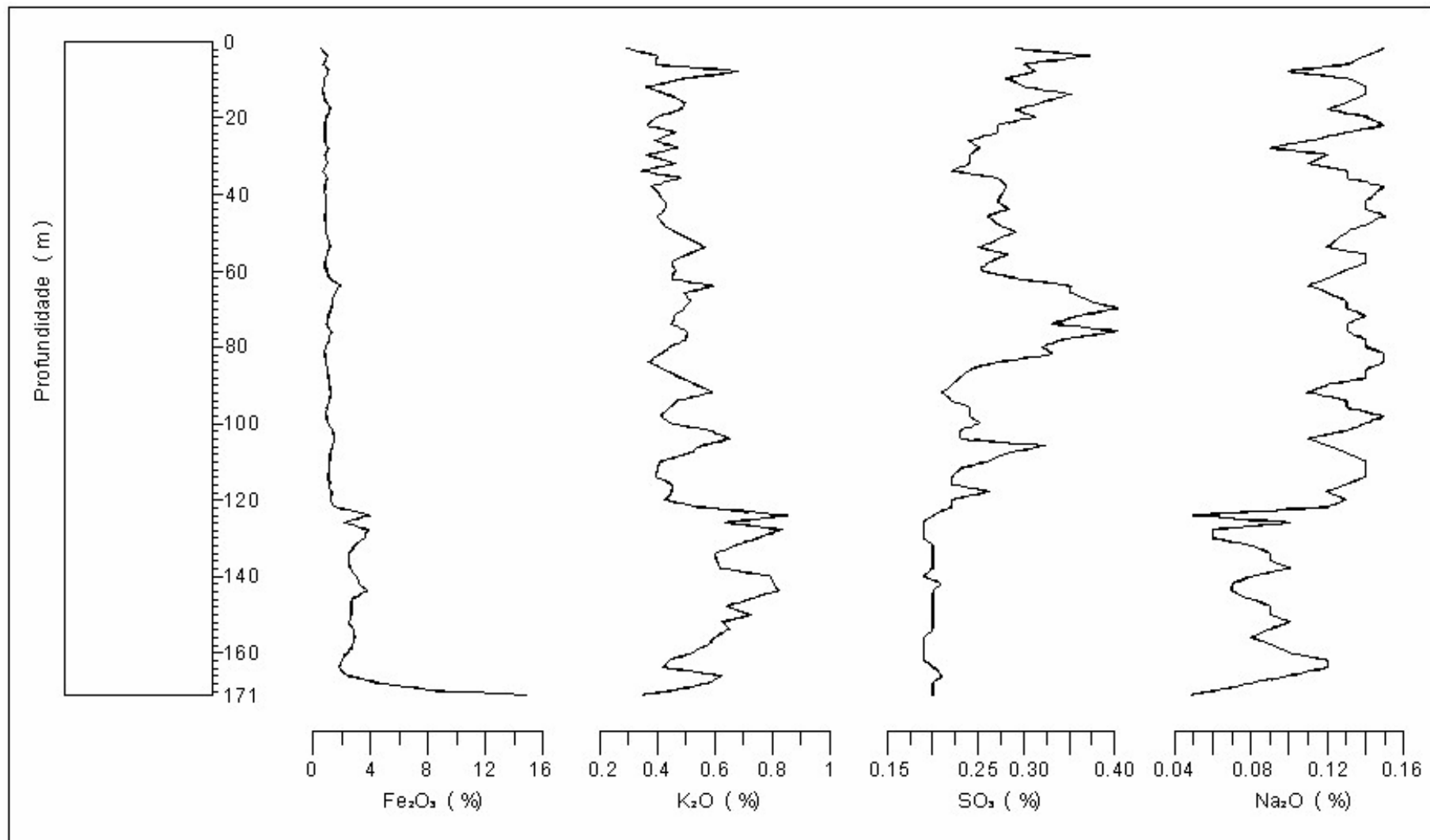


FURO 1011

Coordenadas ( UTM ) : 635.803,807 / 7.198.522,470

Cota: 725.378 m Inclinação: 30° para Norte

Elaboração: Geól. Lincoln Oliver Lopes

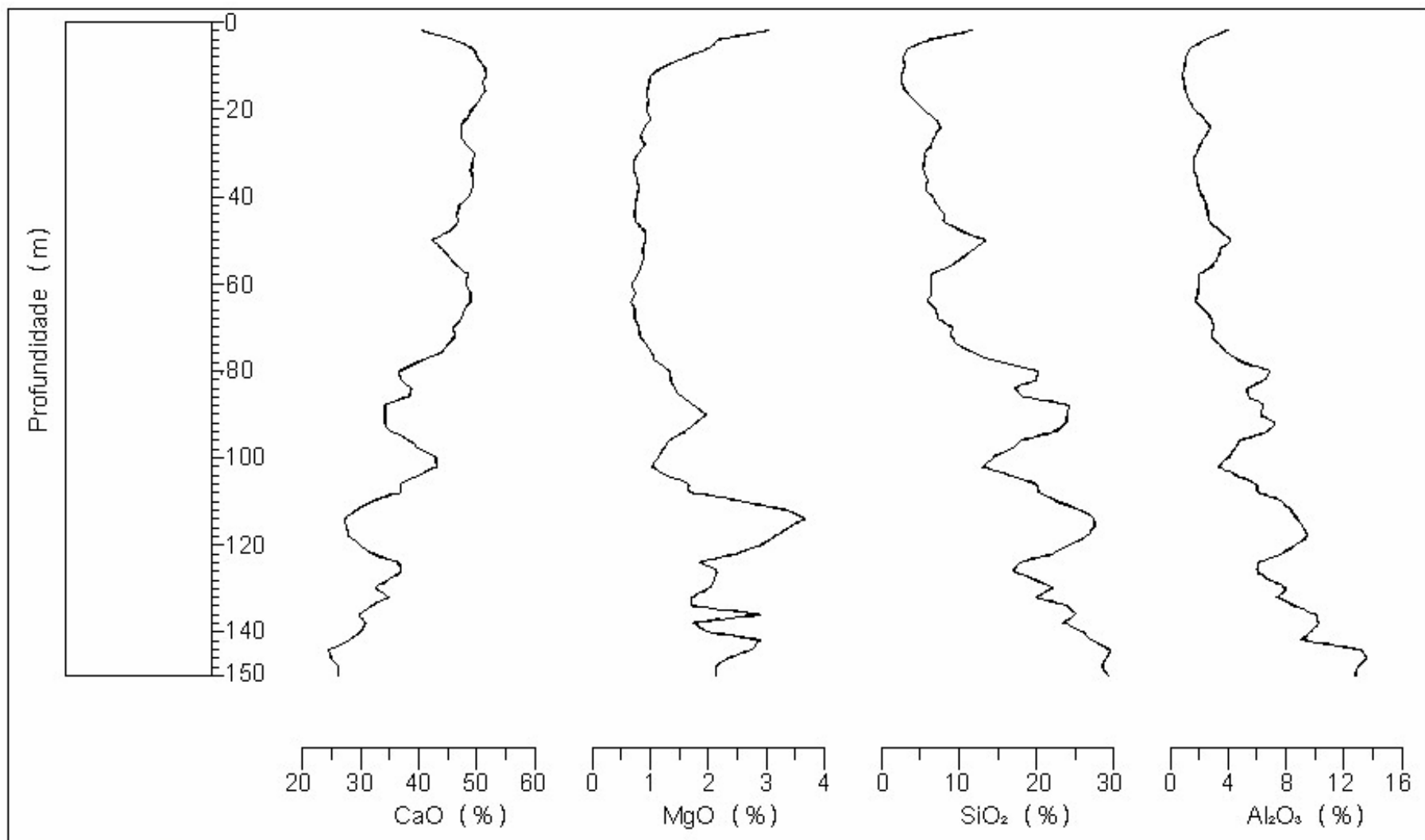


FURO 1011

Coordenadas (UTM) : 635.803,807 / 7.198.522,470

Cota: 725.378 m Inclinação: 30° para Norte

Elaboração: Geól. Lincoln Oliver Lopes

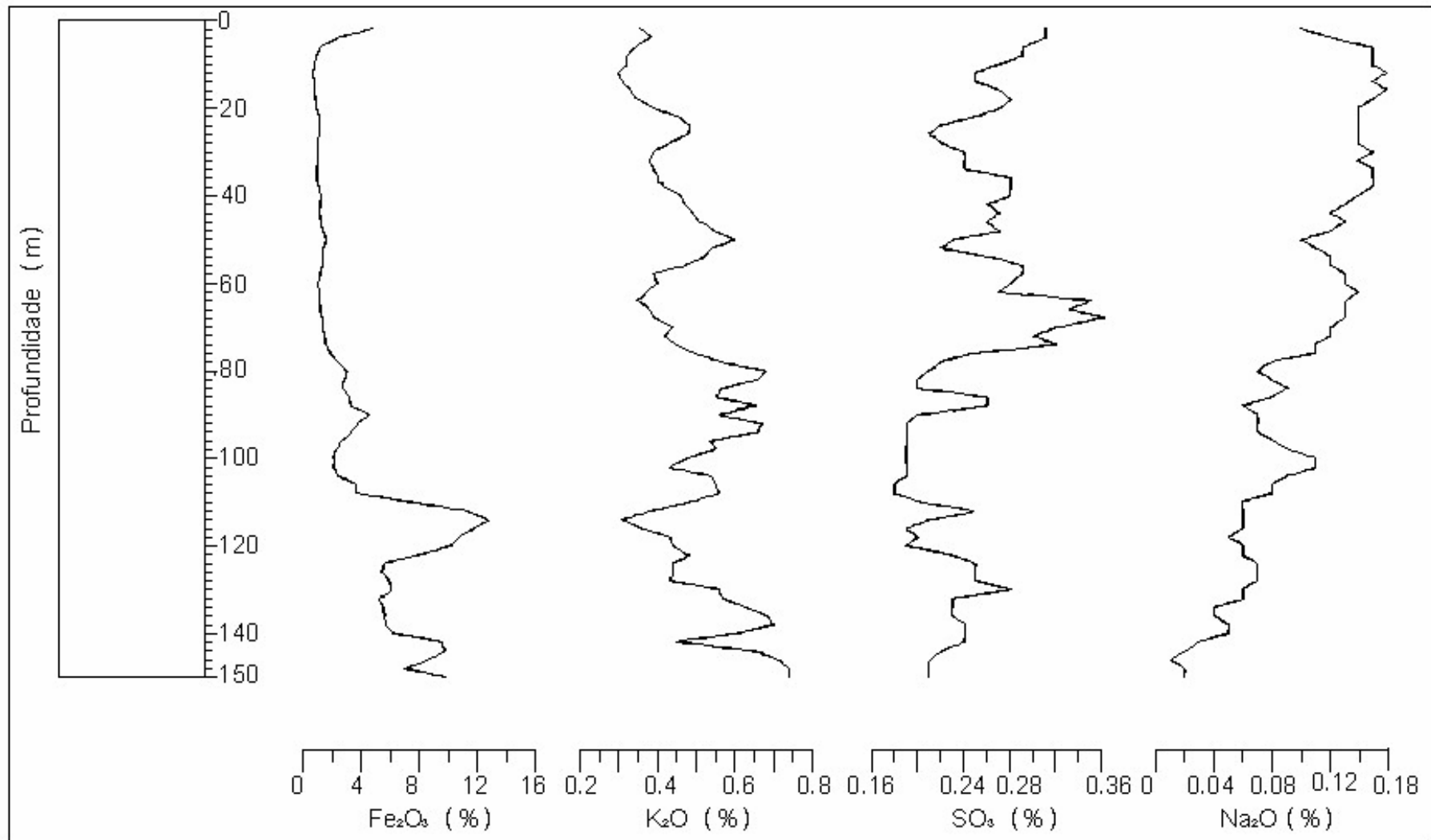


FURO 1012



Coordenadas ( UTM ) : 636.002,600 / 7.198.578,430  
 Cota: 725.233 m Inclinação: 30° para Norte

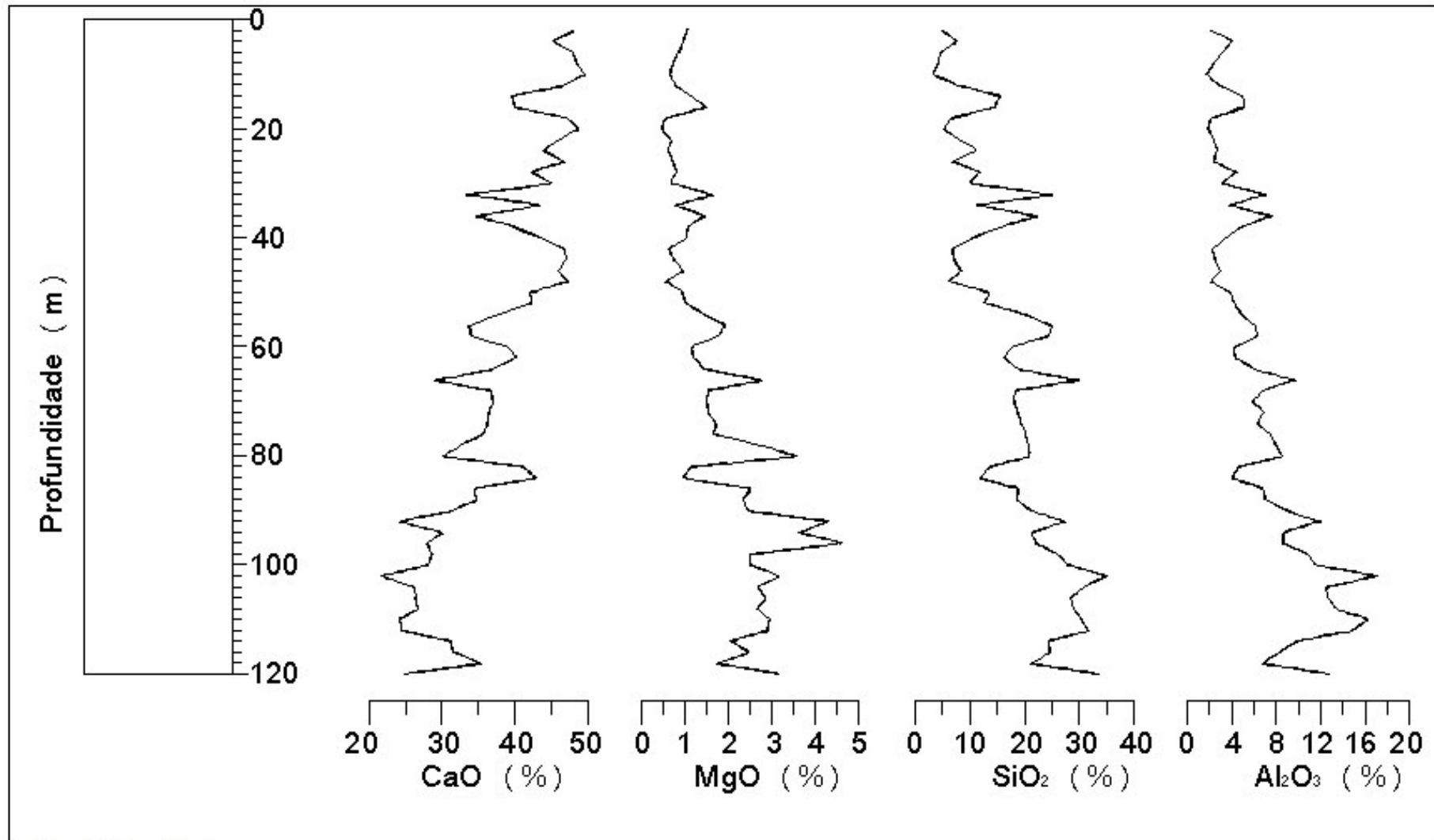
Elaboração: Geól. Lincoln Oliver Lopes



FURO 1012

Coordenadas ( UTM ) : 636.002,600 / 7.198.578,430  
 Cota: 725.233 m Inclinação: 30° para Norte

Elaboração: Geól. Lincoln Oliver Lopes

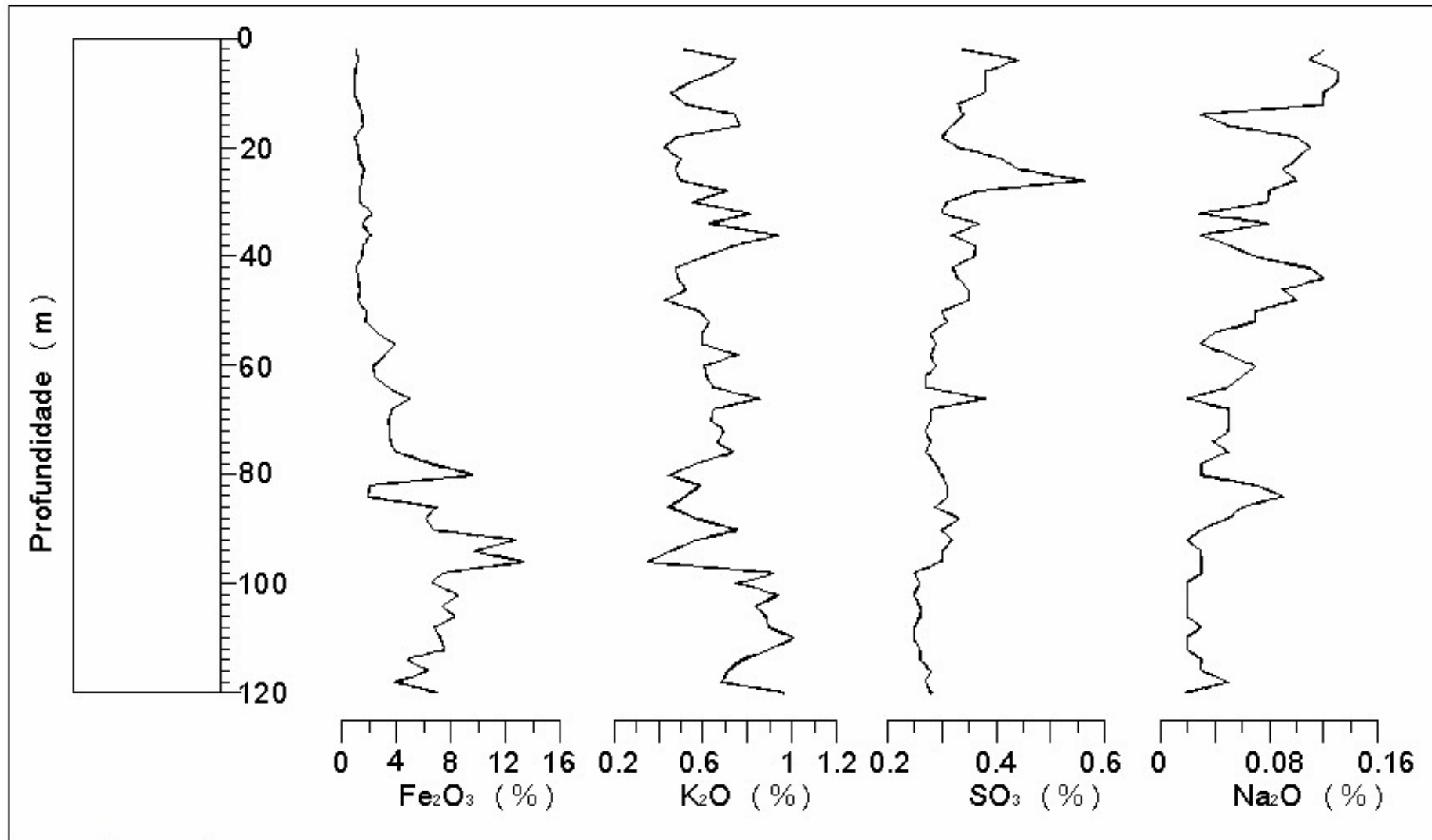


FURO 1014

Coordenadas ( UTM ) : 635.962,589 / 7.198.575,732

Cota: 723.332 m Inclinação: 45° para Norte

Elaboração: Geól. Lincoln Oliver Lopes

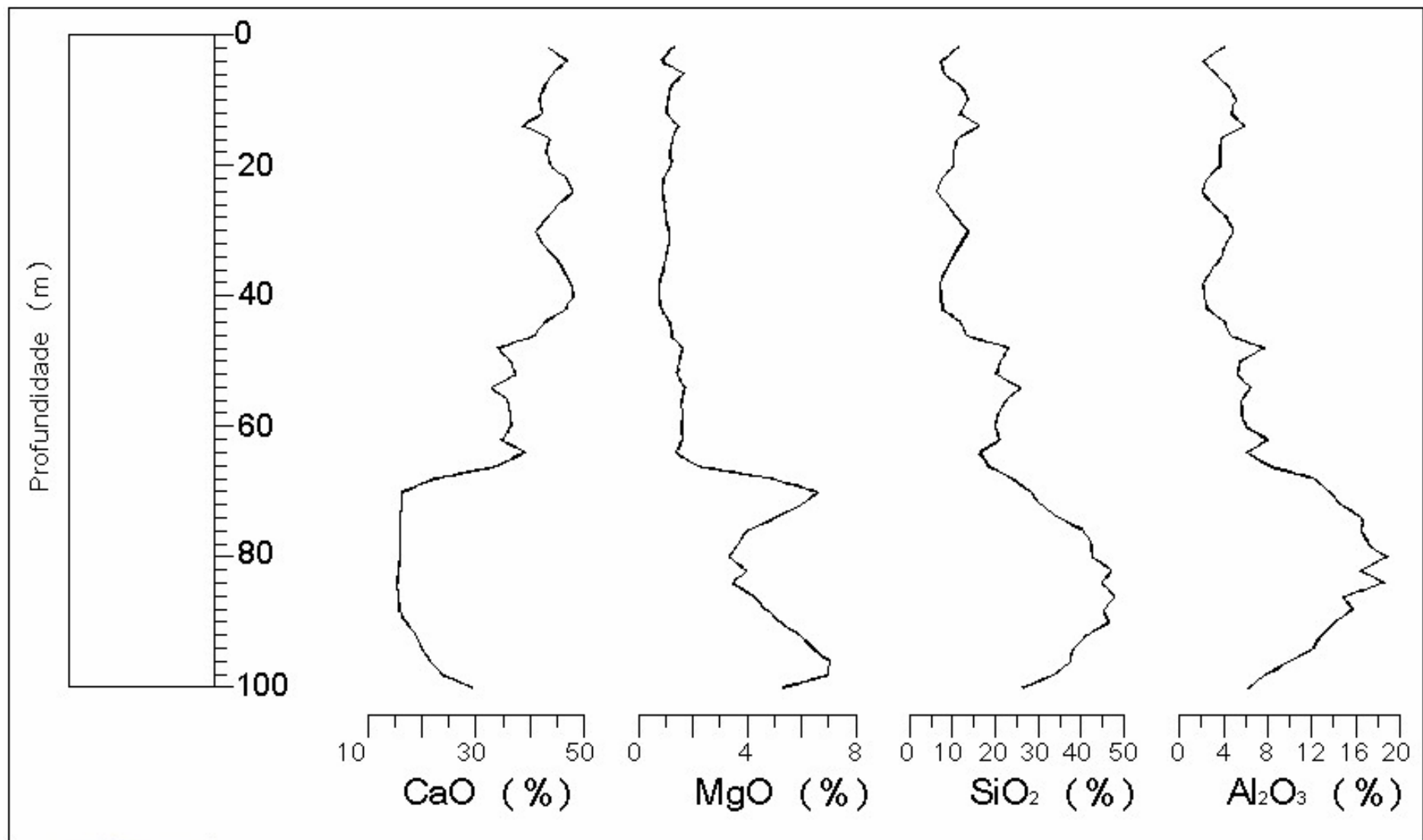


FURO 1014

Coordenadas ( UTM ) : 635.962,589 / 7.198.575,732

Cota: 723.332 m Inclinação: 45° para Norte

Elaboração: Geól. Lincoln Oliver Lopes

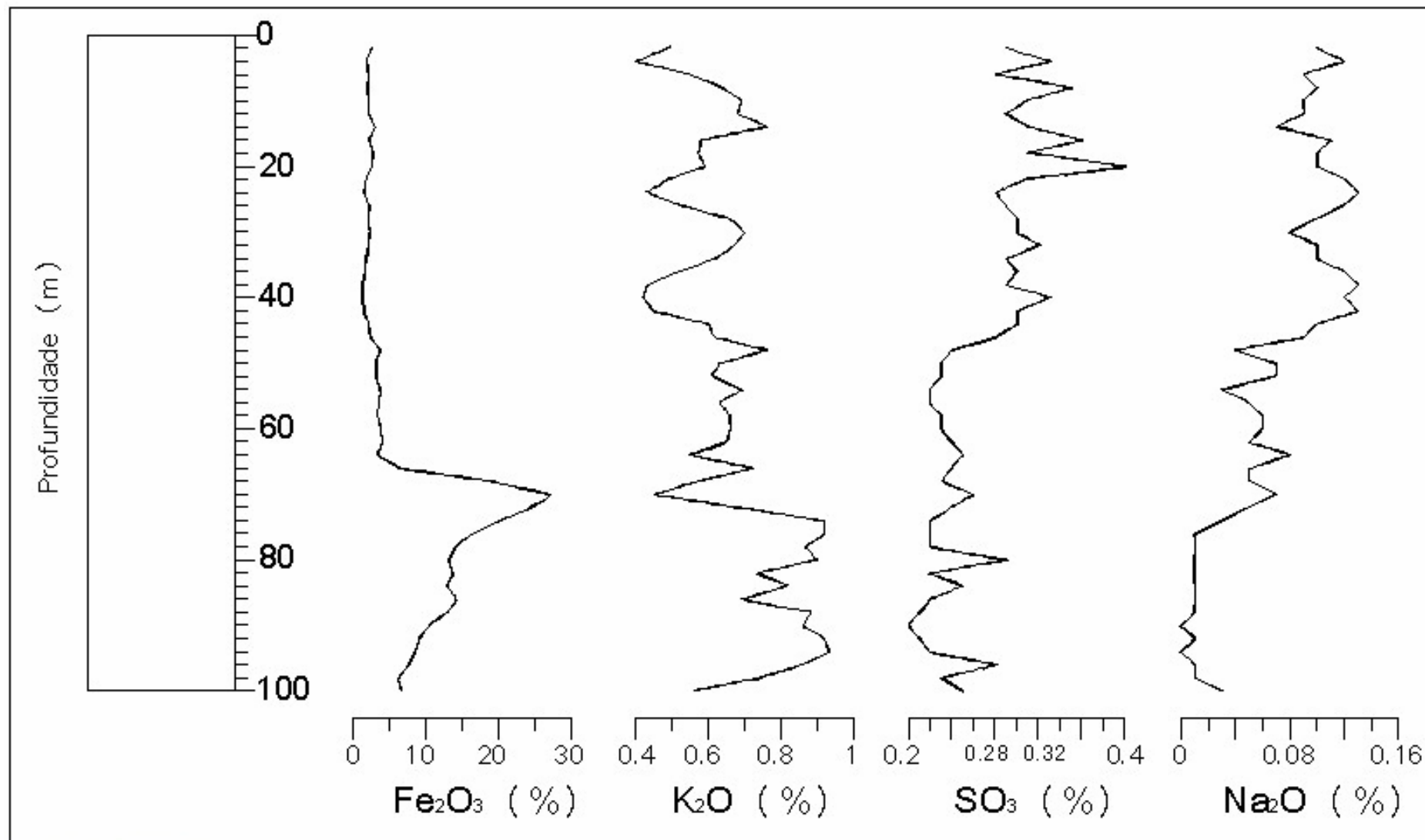


FURO 1015

Coordenadas ( UTM ) : 635.196,216 / 7.198.617,056  
 Cota: 762.090 m Inclinação: 30° para Norte

Elaboração: Geól. Lincoln Oliver Lopes

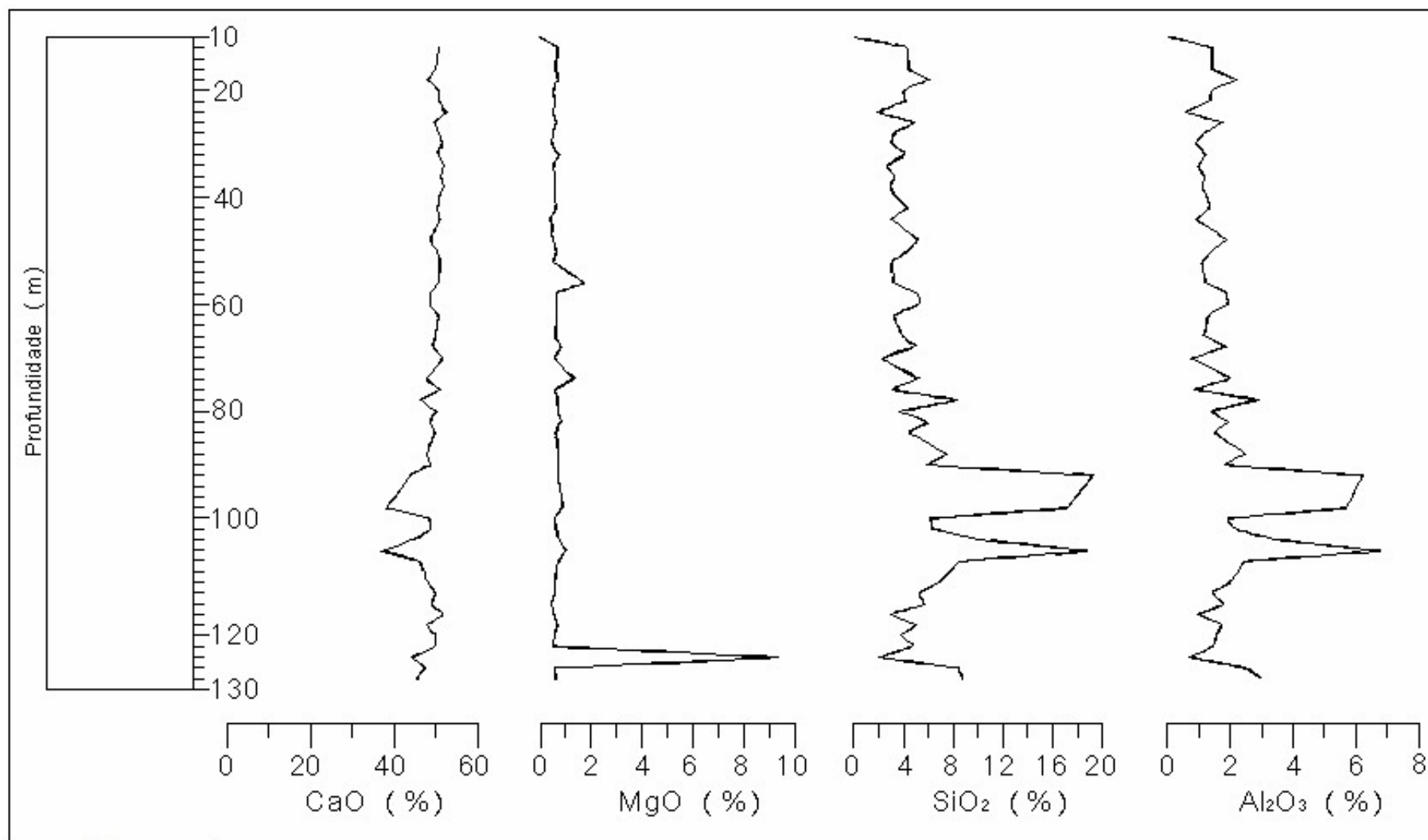




FURO 1015

Coordenadas ( UTM ) : 635.196,216 / 7.198.617,056  
 Cota: 762.090 m Inclinação: 30° para Norte

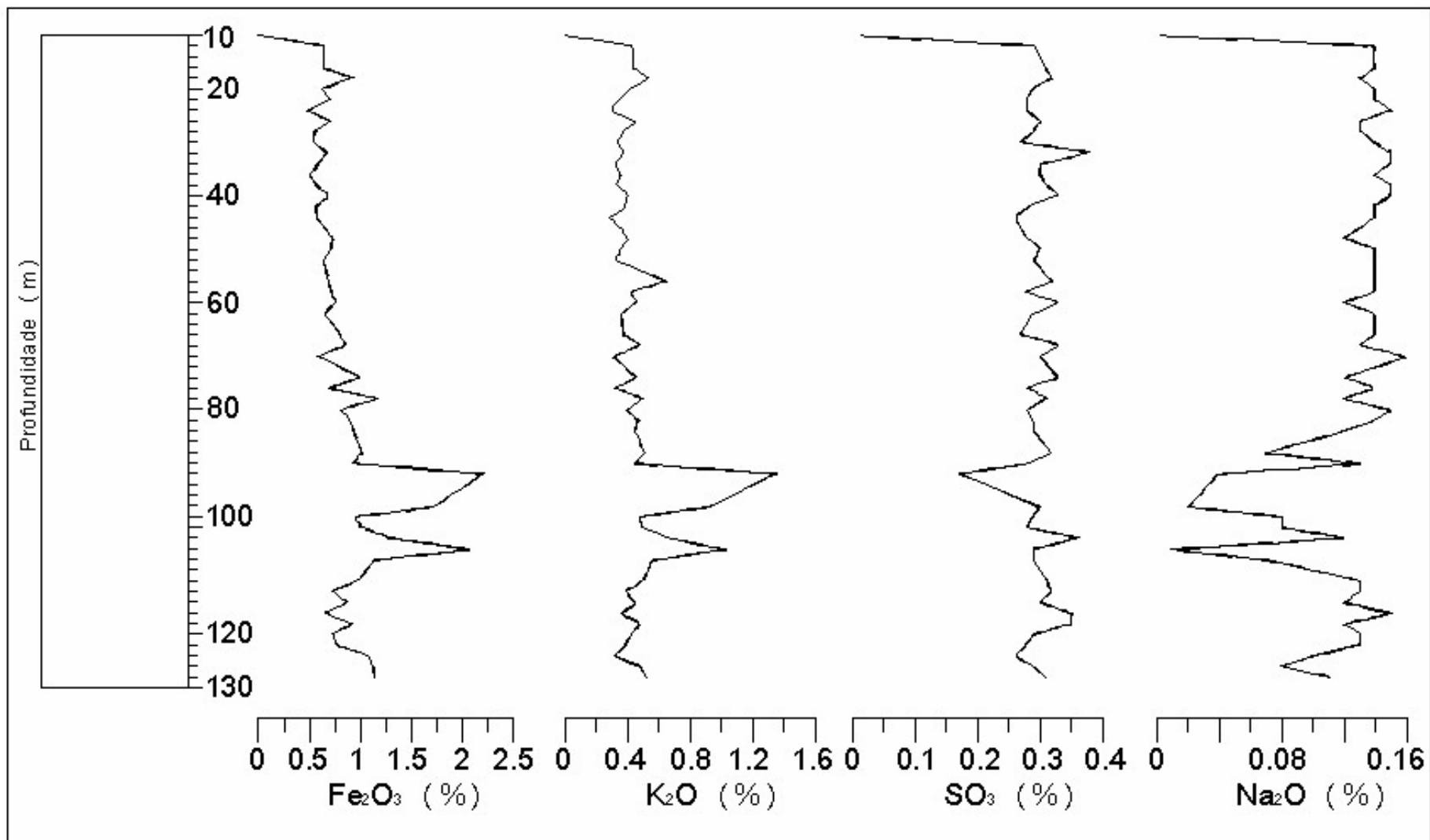
Elaboração: Geól. Lincoln Oliver Lopes



FURO 1016

Coordenadas ( UTM ) : 635.211,169 / 7.198.487,384  
 Cota: 811.220 m Inclinação: 30° para Oeste

Elaboração: Geól. Lincoln Oliver Lopes

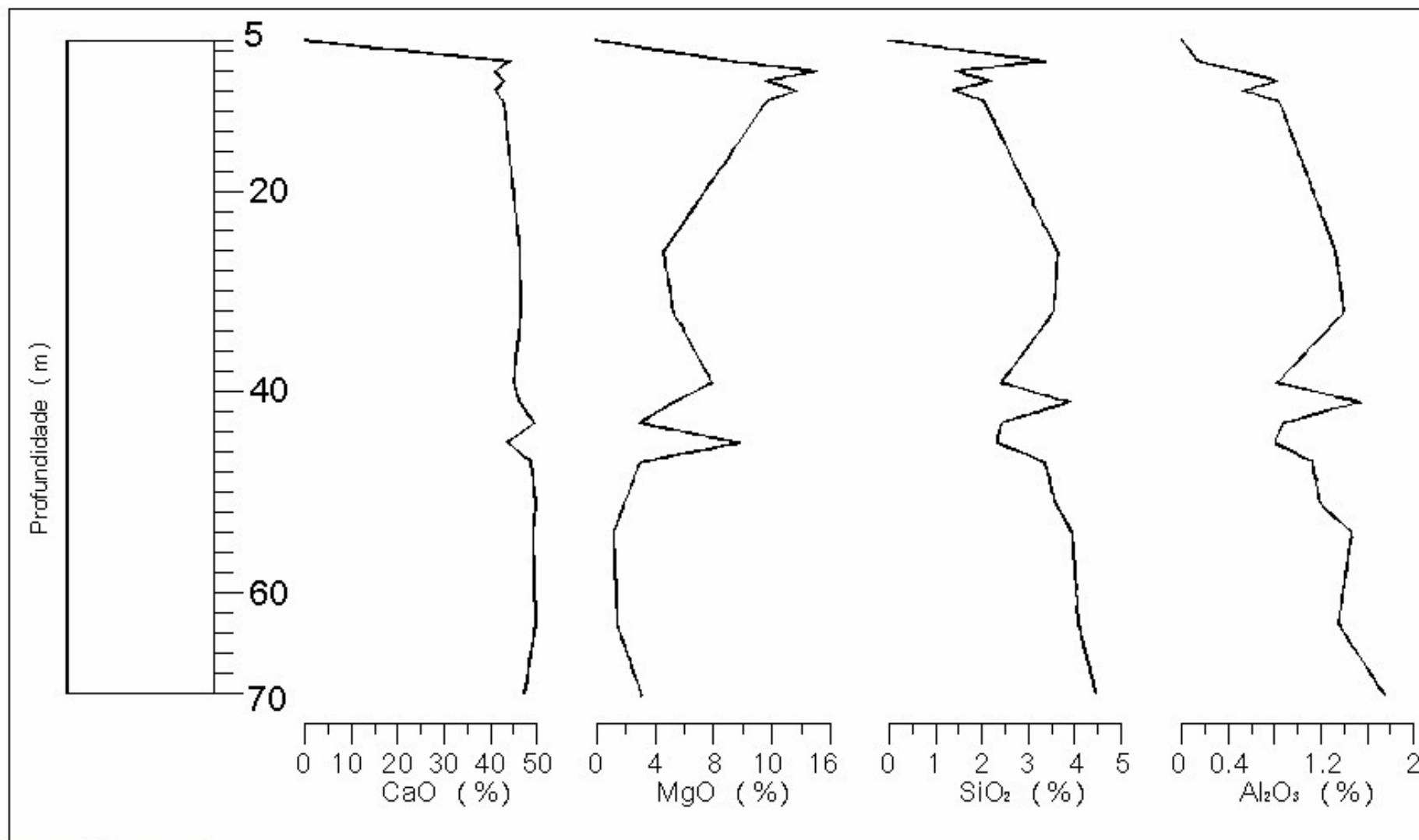


FURO 1016

Coordenadas ( UTM ) : 635.211,169 / 7.198.487,384

Cota: 811.220 m Inclinação: 30° para Oeste

Elaboração: Geól. Lincoln Oliver Lopes

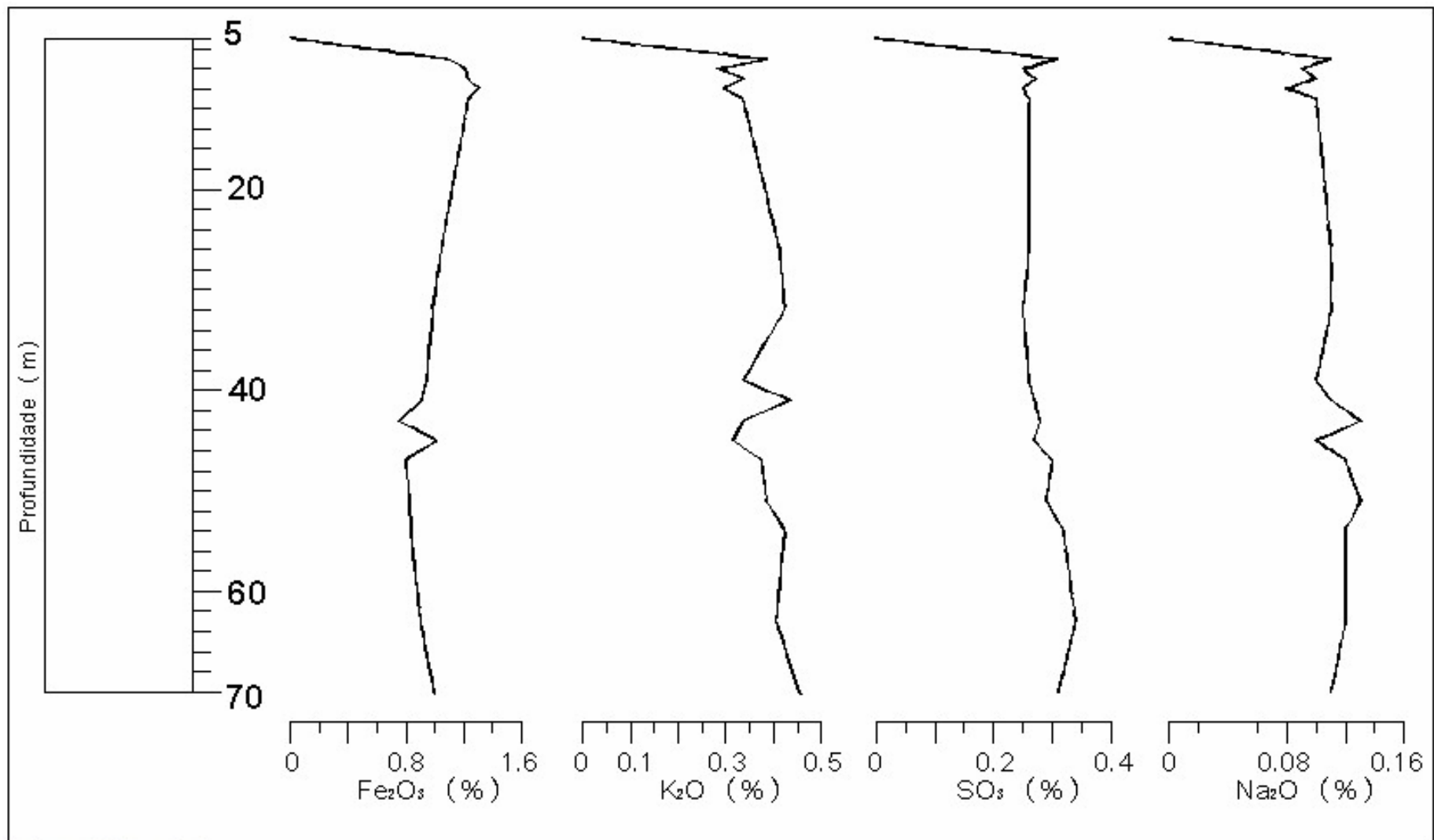


FURO 1017

Coordenadas (UTM) : 635.211,169 / 7.198.485,982

Cota: 811.220 m Inclinação: 30° para Sul

Elaboração: Geól. Lincoln Oliver Lopes

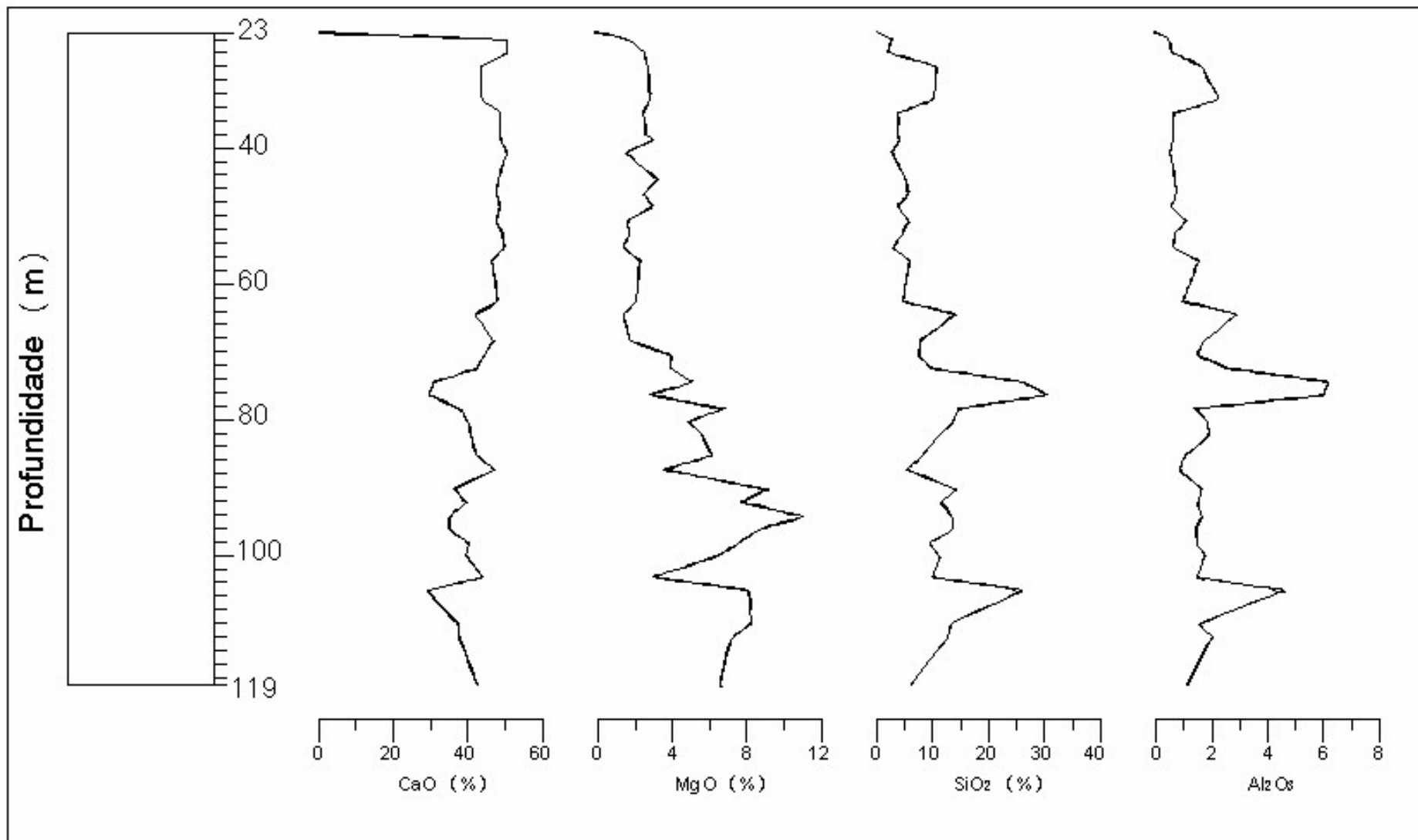


FURO 1017

Coordenadas ( UTM ) : 635.211,169 / 7.198.485,982

Cota: 811.220 m Inclinação: 30° para Sul

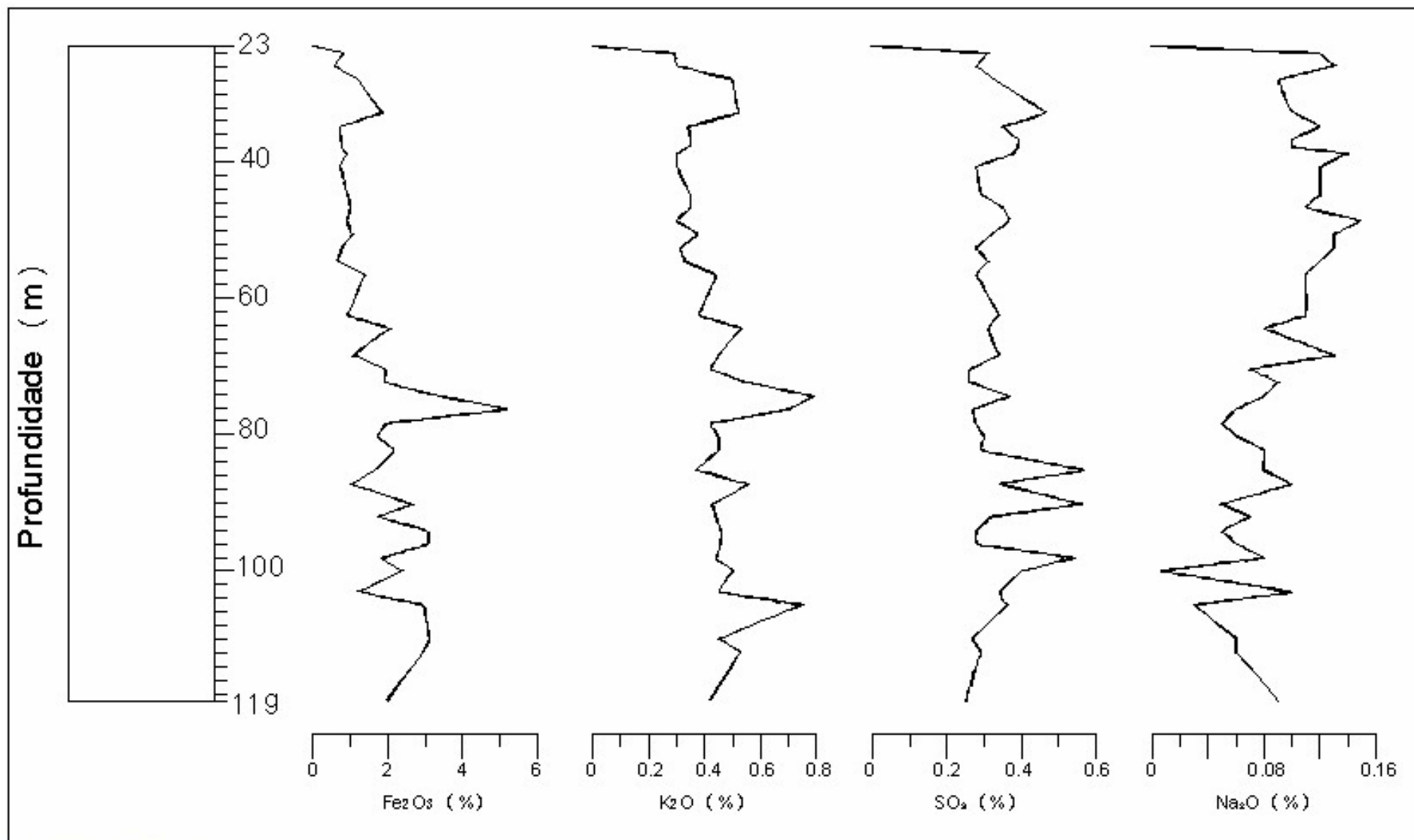
Elaboração: Geól. Lincoln Oliver Lopes



FURO 1018

Coordenadas ( UTM ) : 636.206,931 / 7.198.631,300  
 Cota: 811.388 m Inclinação: 45° para Norte

Elaboração: Geól. Lincoln Oliver Lopes

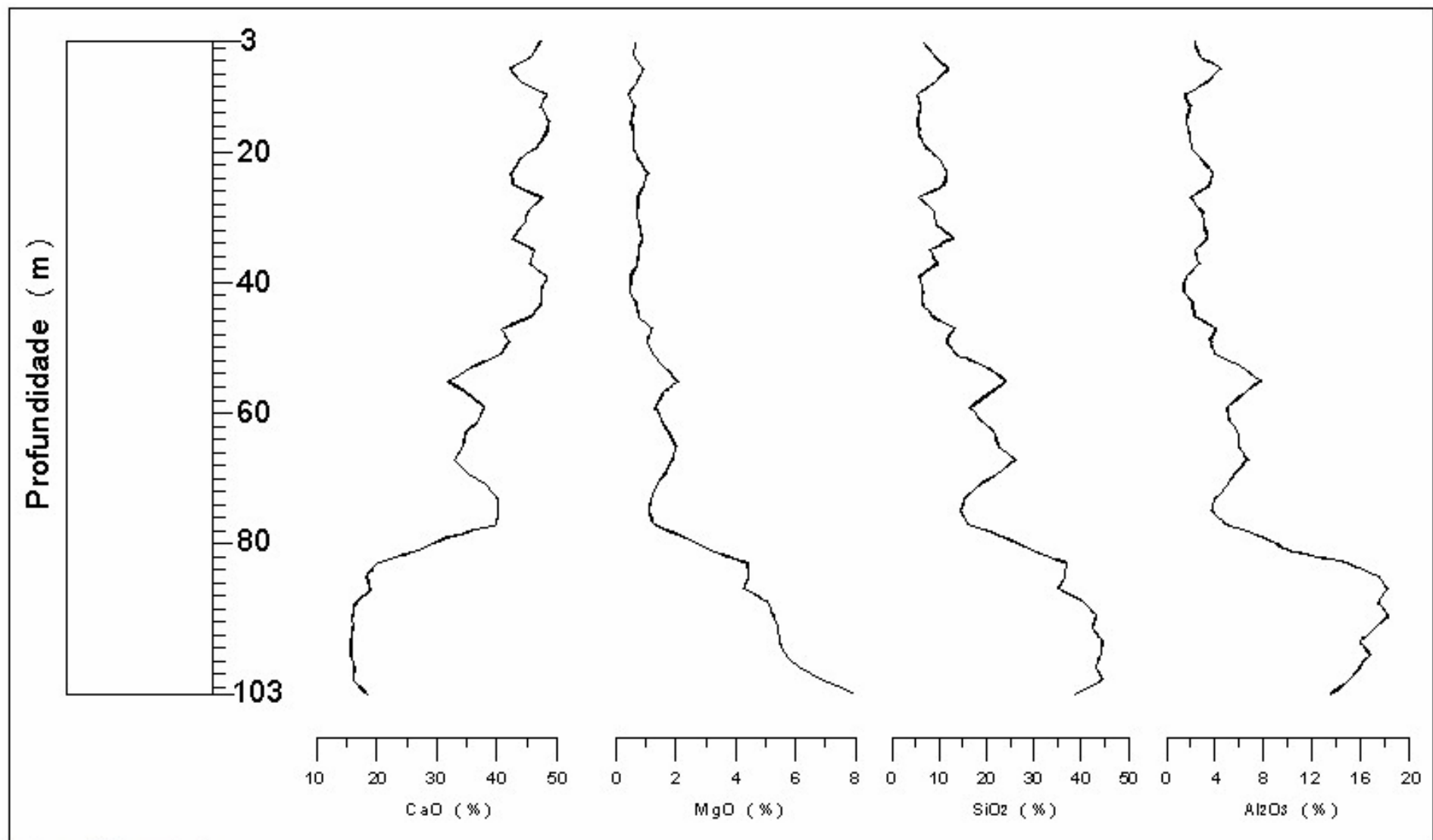


FURO 1018

Coordenadas ( UTM ) : 635.205,931 / 7.198.531,300

Cota: 811.388 m Inclinação: 45° para Norte

Elaboração: Geól. Lincoln Oliver Lopes



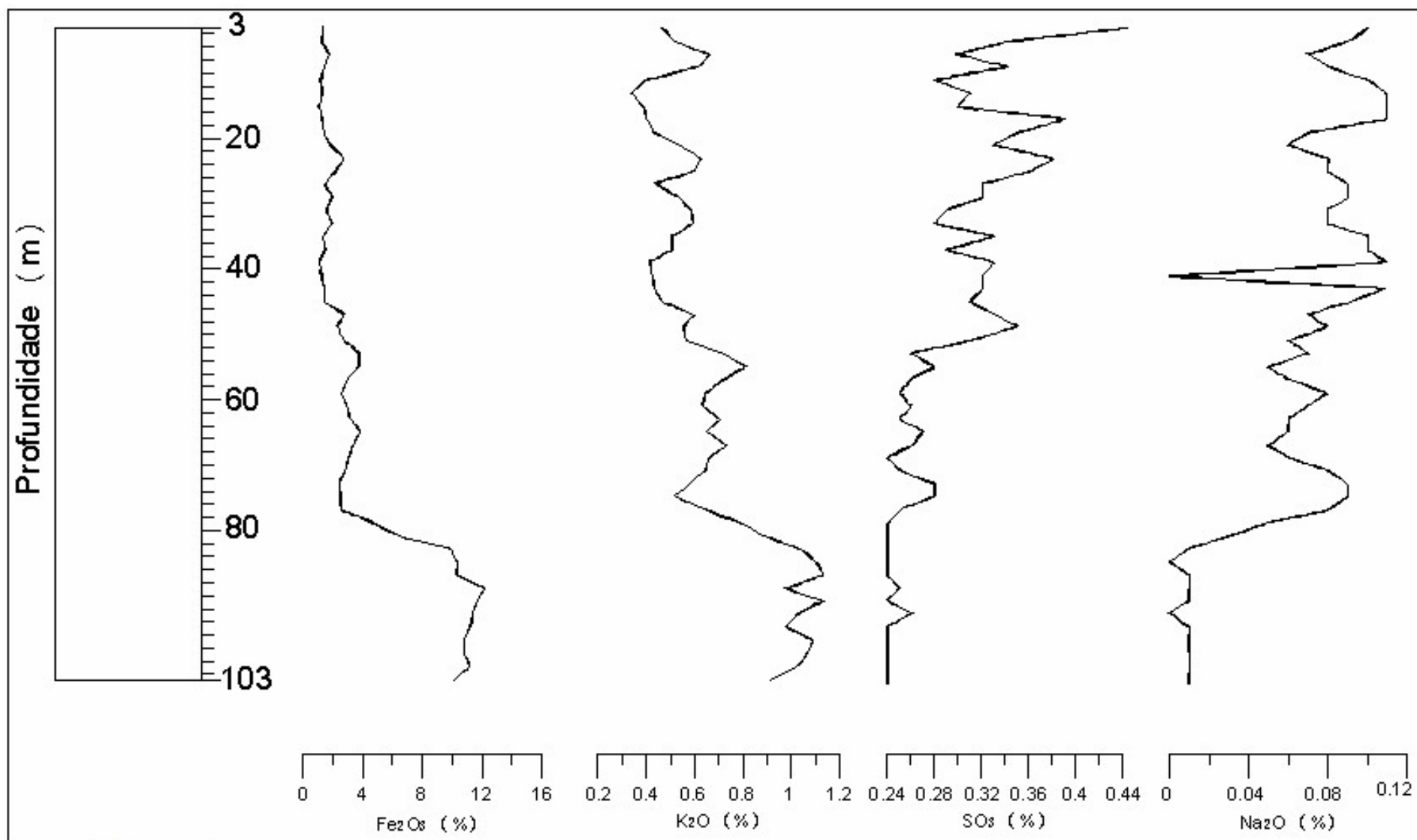
FURO 1019

Coordenadas ( UTM ) : 636.242,707 / 7.198.634,380

Cota: 724.650 m Inclinação: 45° para Norte

Elaboração: Geól. Lincoln Oliver Lopes

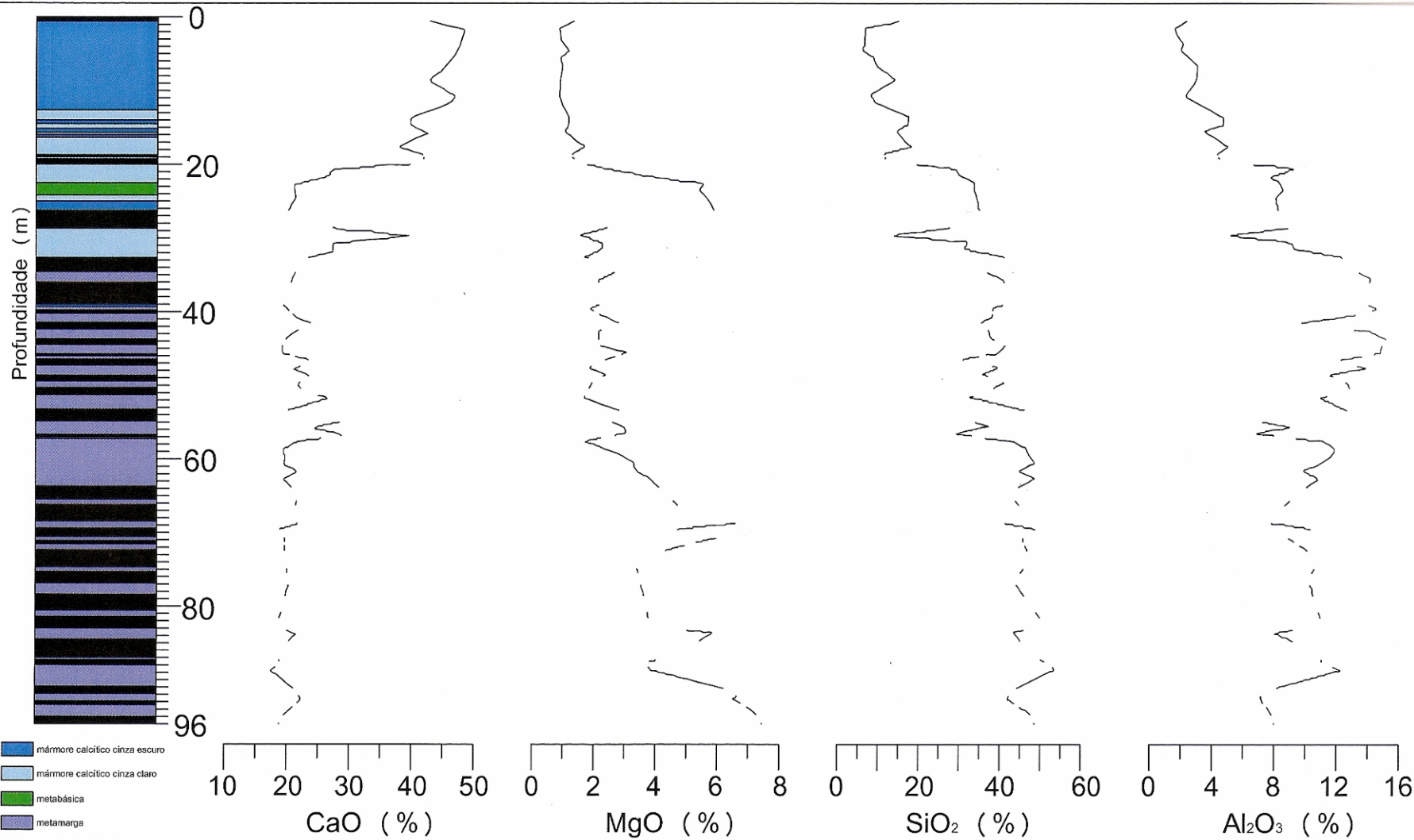




FURO 1019

Coordenadas (UTM) : 636.242,707 / 7.198.634,380  
 Cota: 724.650 m Inclinação: 45° para Norte

Elaboração: Geól. Lincoln Oliver Lopes

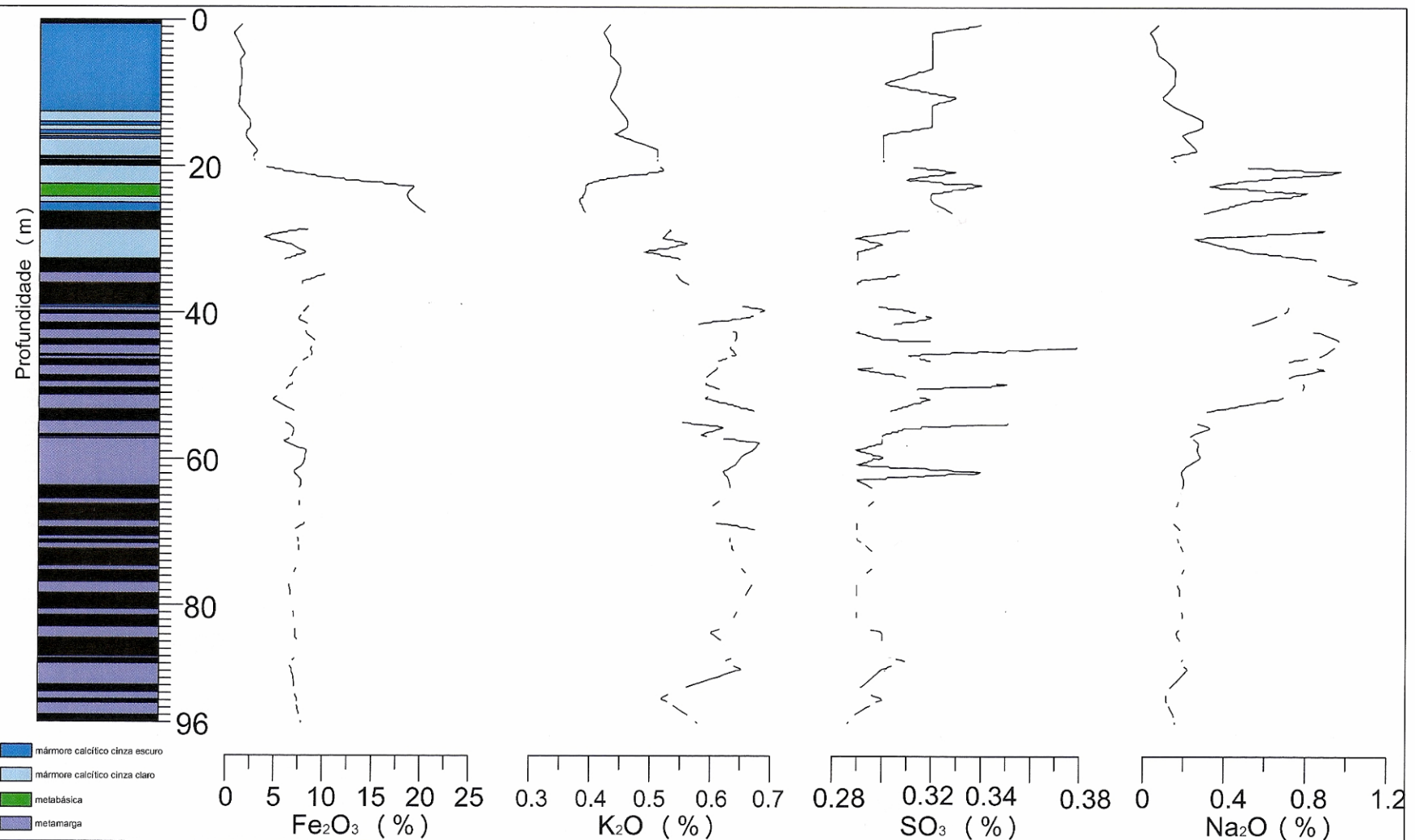


FURO 1020

Coordenadas ( UTM ) : 636.477,687 / 7.198.541,511

Cota: 781.620 m Inclinação: 45° para Norte

Elaboração: Geól. Lincoln Oliver Lopes

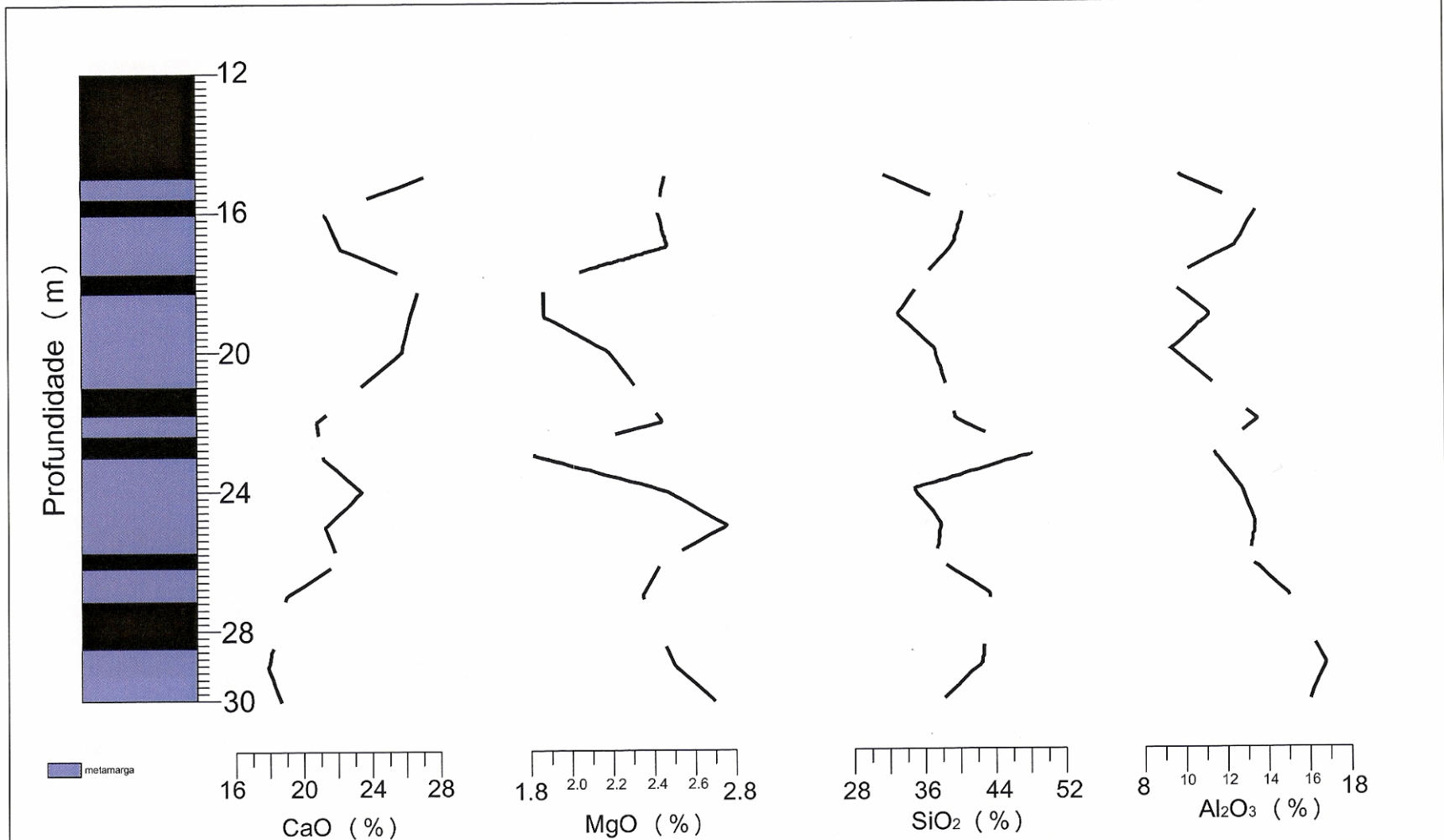


FURO 1020

Coordenadas ( UTM ) : 636.477,687 / 7.198.541,511

Cota: 781.620 m Inclinação: 45° para Norte

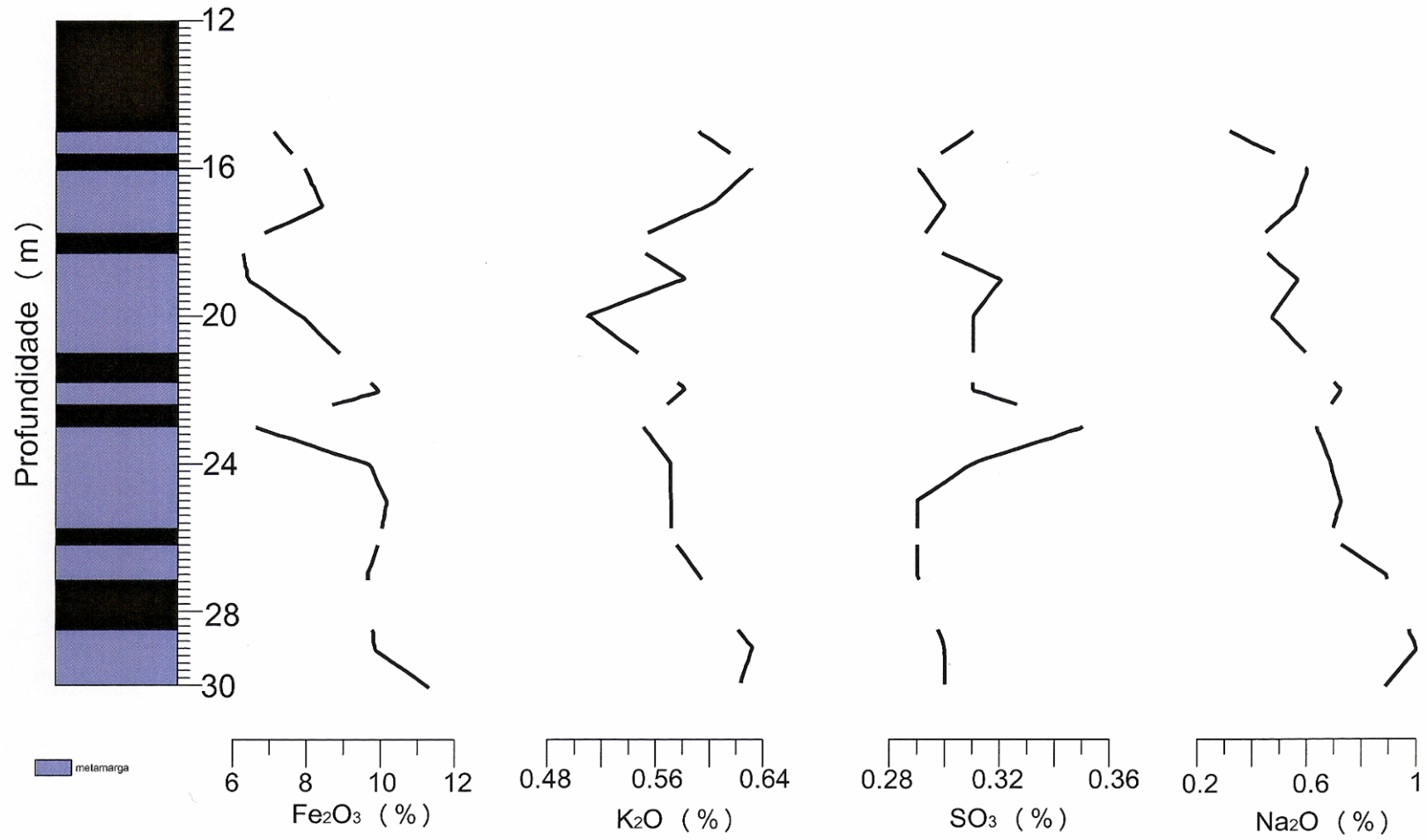




**FURO 1021 A**

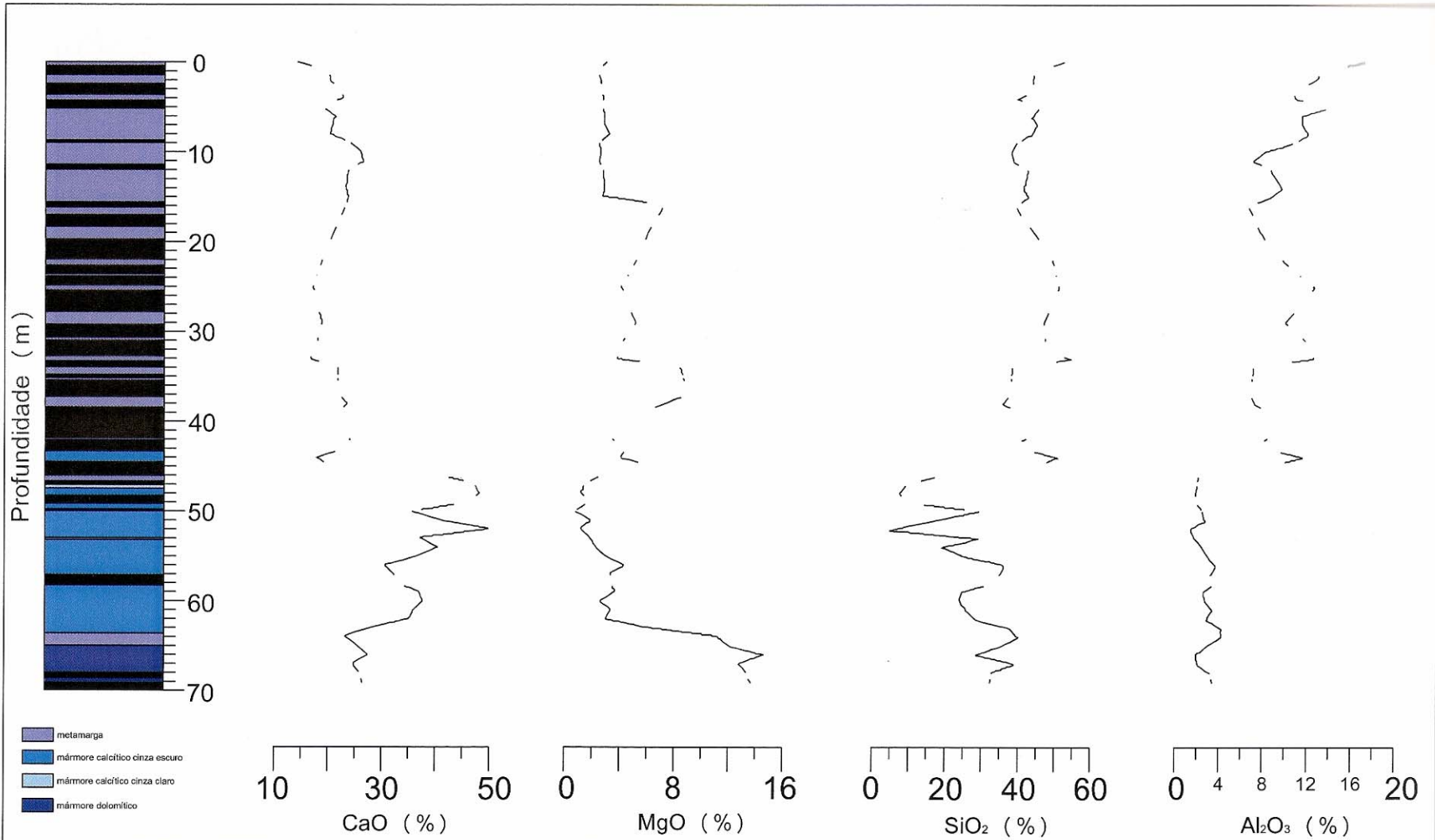


Coordenadas ( UTM ) : 635.613,379 / 7.198.557,145  
 Cota: 797.002 m Inclinação: 45° para Norte



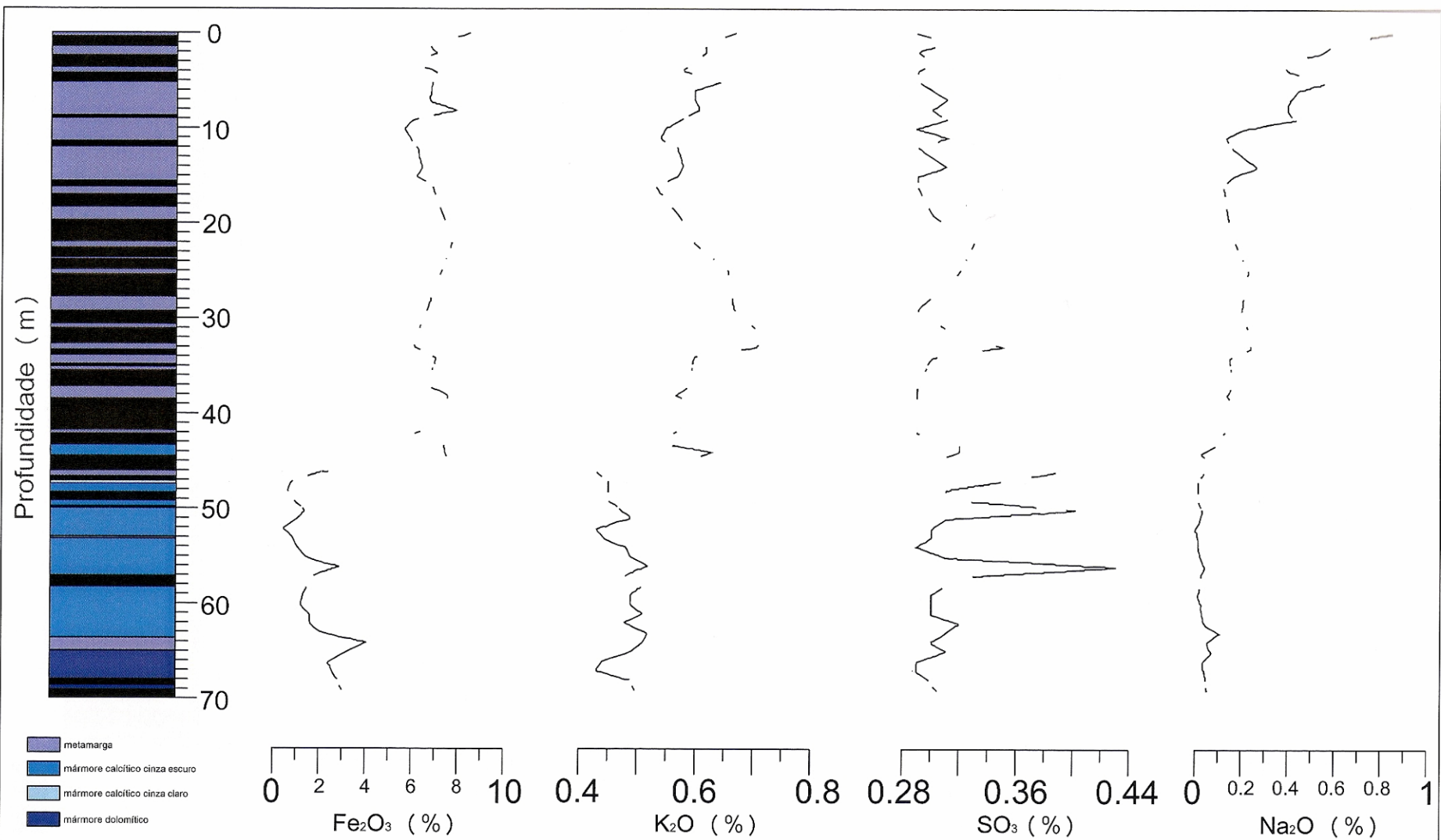
FURO 1021 A

Coordenadas ( UTM ) : 635.613,379 / 7.198.557,145  
 Cota: 797.002 m Inclinação: 45° para Norte



FURO 1021 B

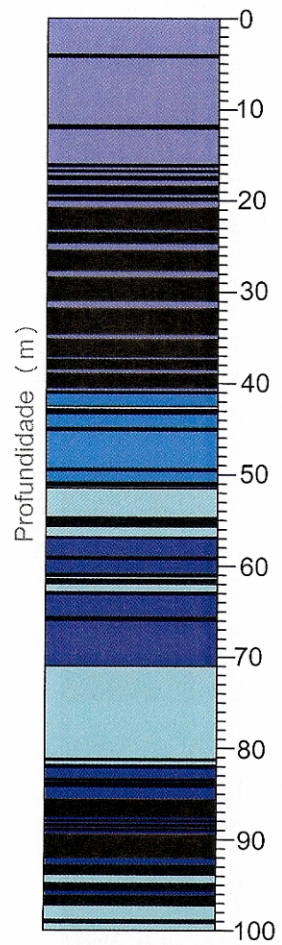
Coordenadas ( UTM ) : 635.613,379 / 7.198.557,126  
Cota: 797.002 m Inclinação: 45° para Norte



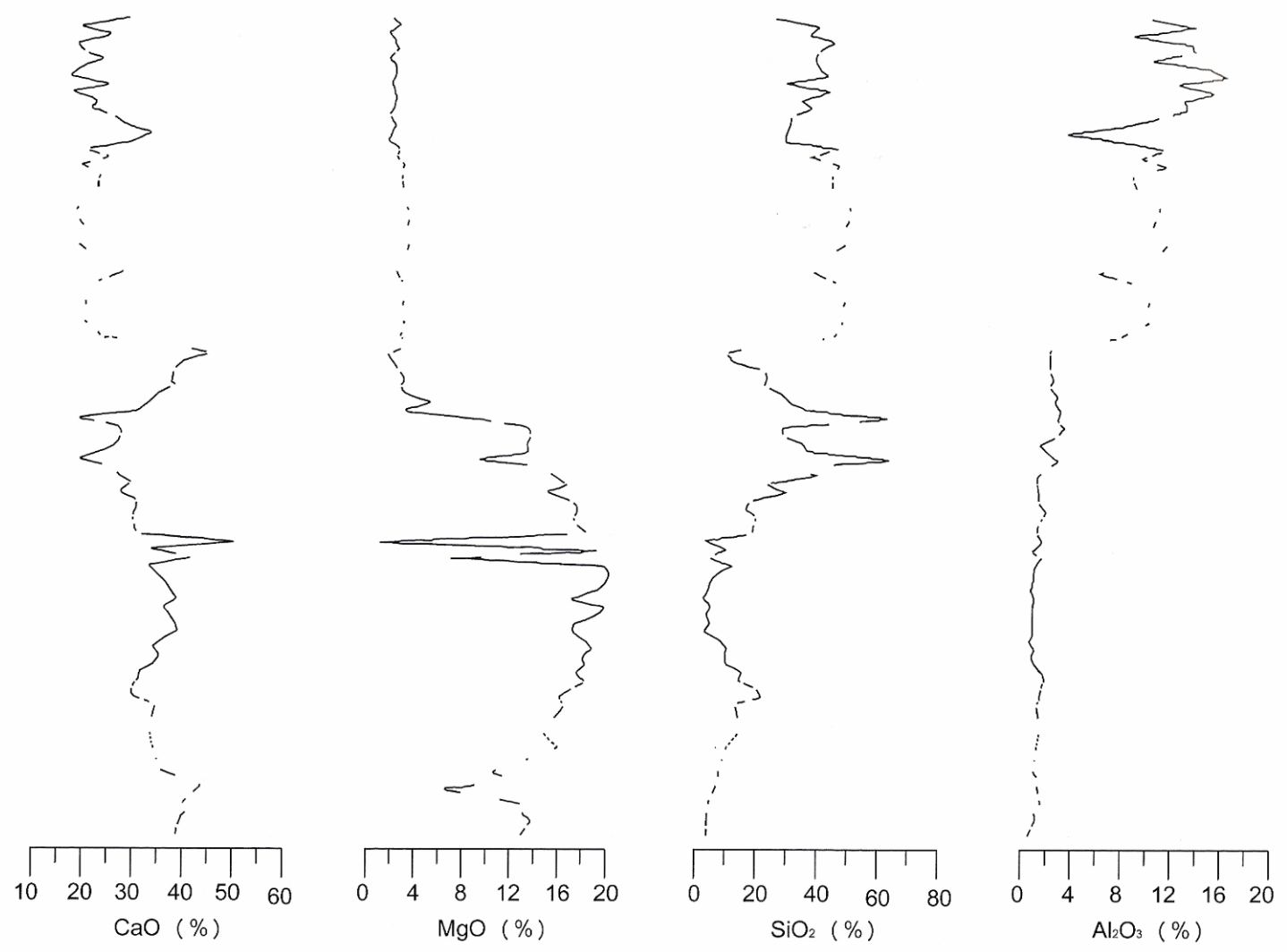
**FURO 1021 B**

Coordenadas ( UTM ) : 635.613,379 / 7.198.557,126

Cota: 797.002 m Inclinação: 45° para Norte



- metarmaga
- mármore calcítico cinza escuro
- brecha dolomítica
- mármore dolomítico

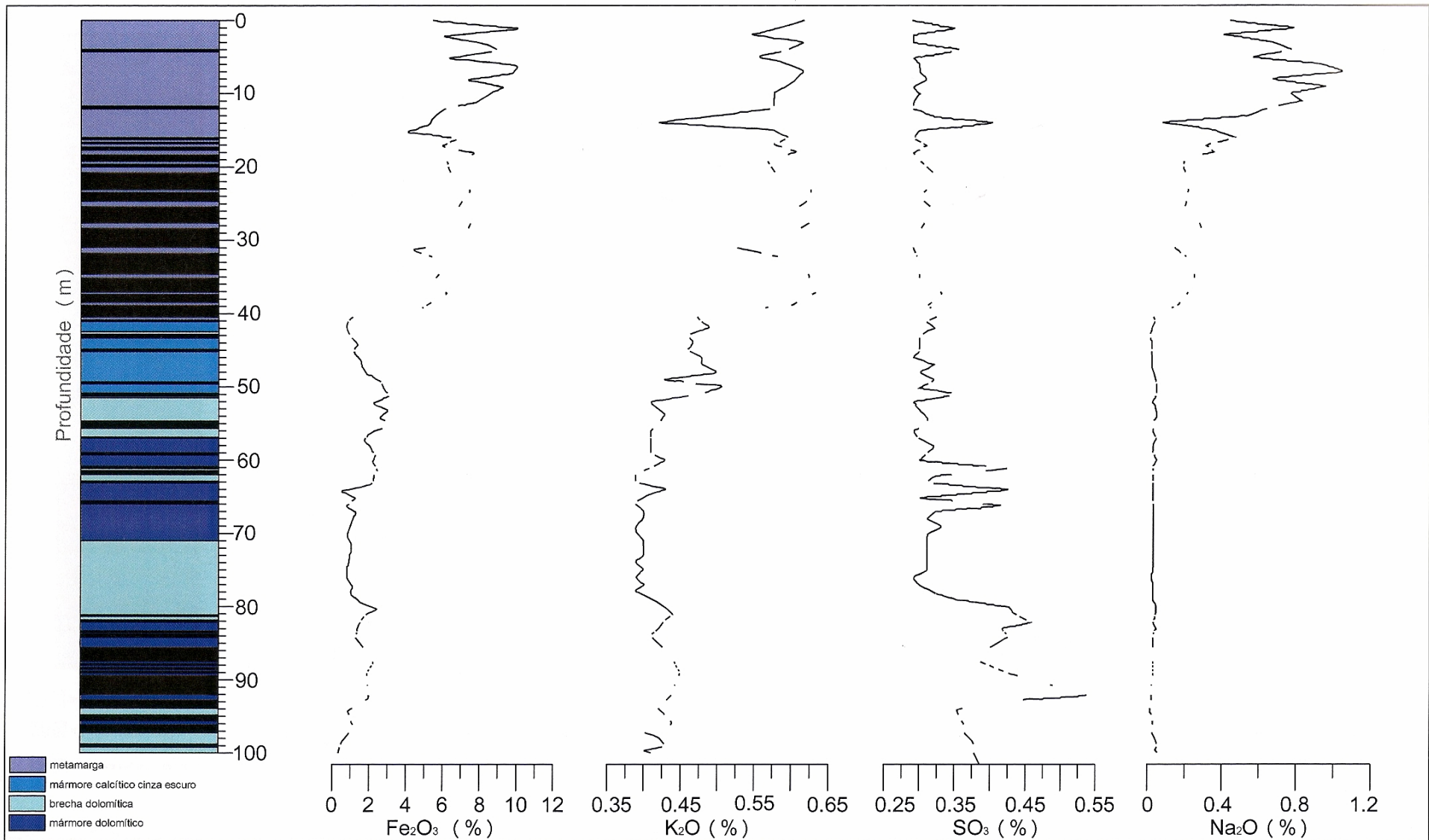


### FURO 1022

Coordenadas ( UTM ) : 635.672,922 / 7.198.532,136  
 Cota: 797.002 m Inclinação: 45° para Norte





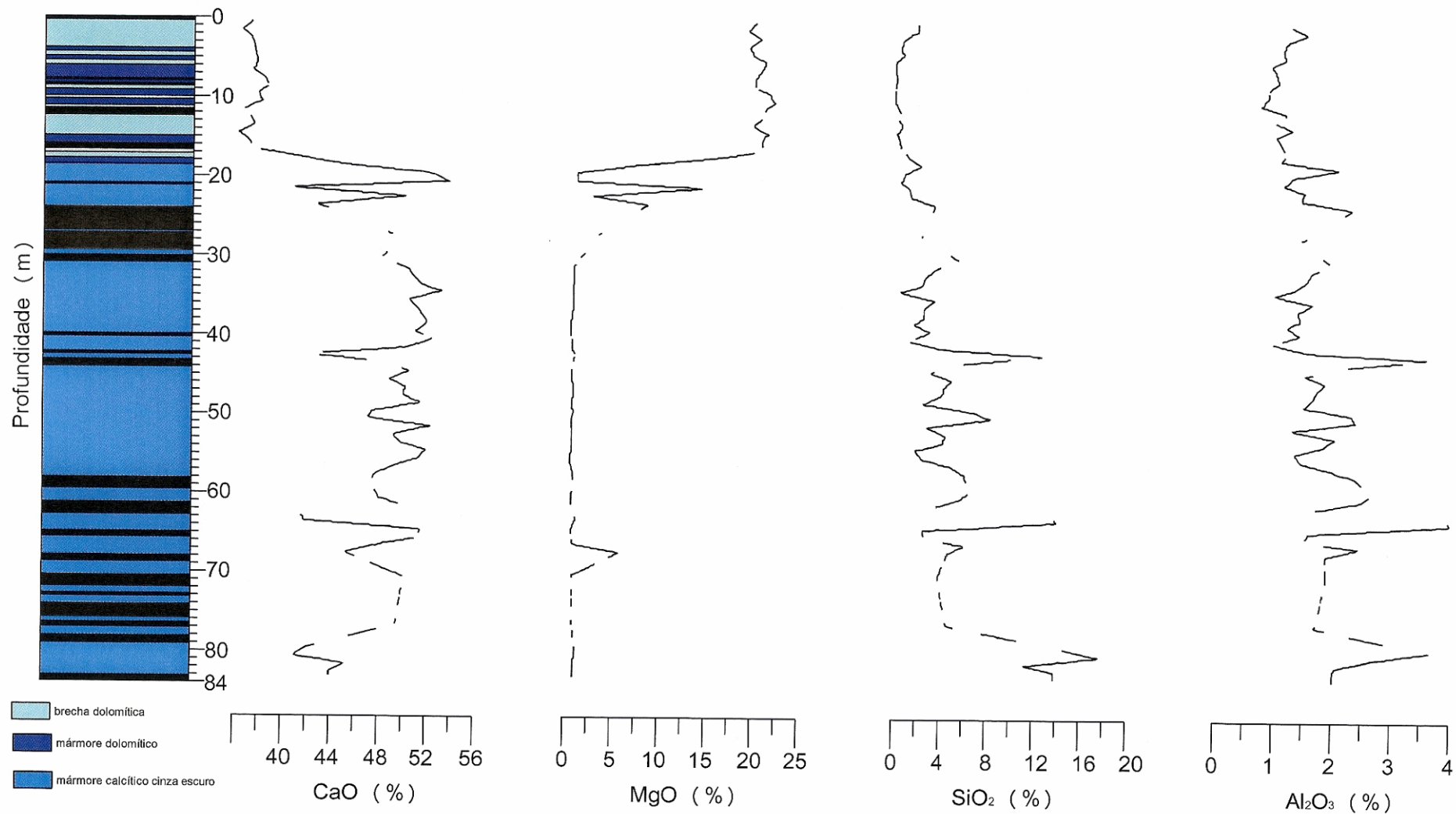


## FURO 1022

Coordenadas ( UTM ) : 635.672,922 / 7.198.532,136

Cota: 797.002 m Inclinação: 45° para Norte

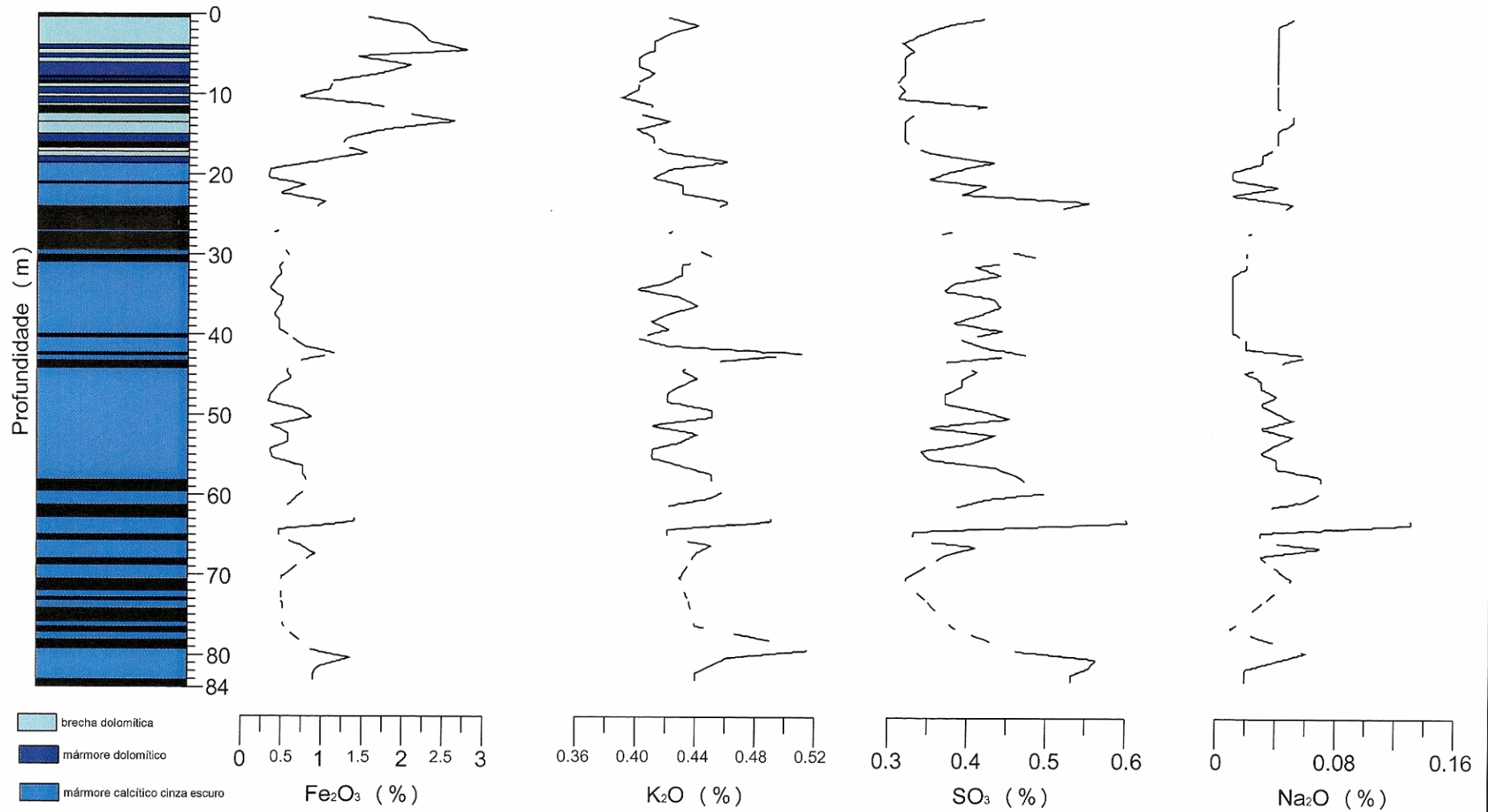




## FURO 1023

Coordenadas (UTM) : 635.574,000 / 7.198.496,456

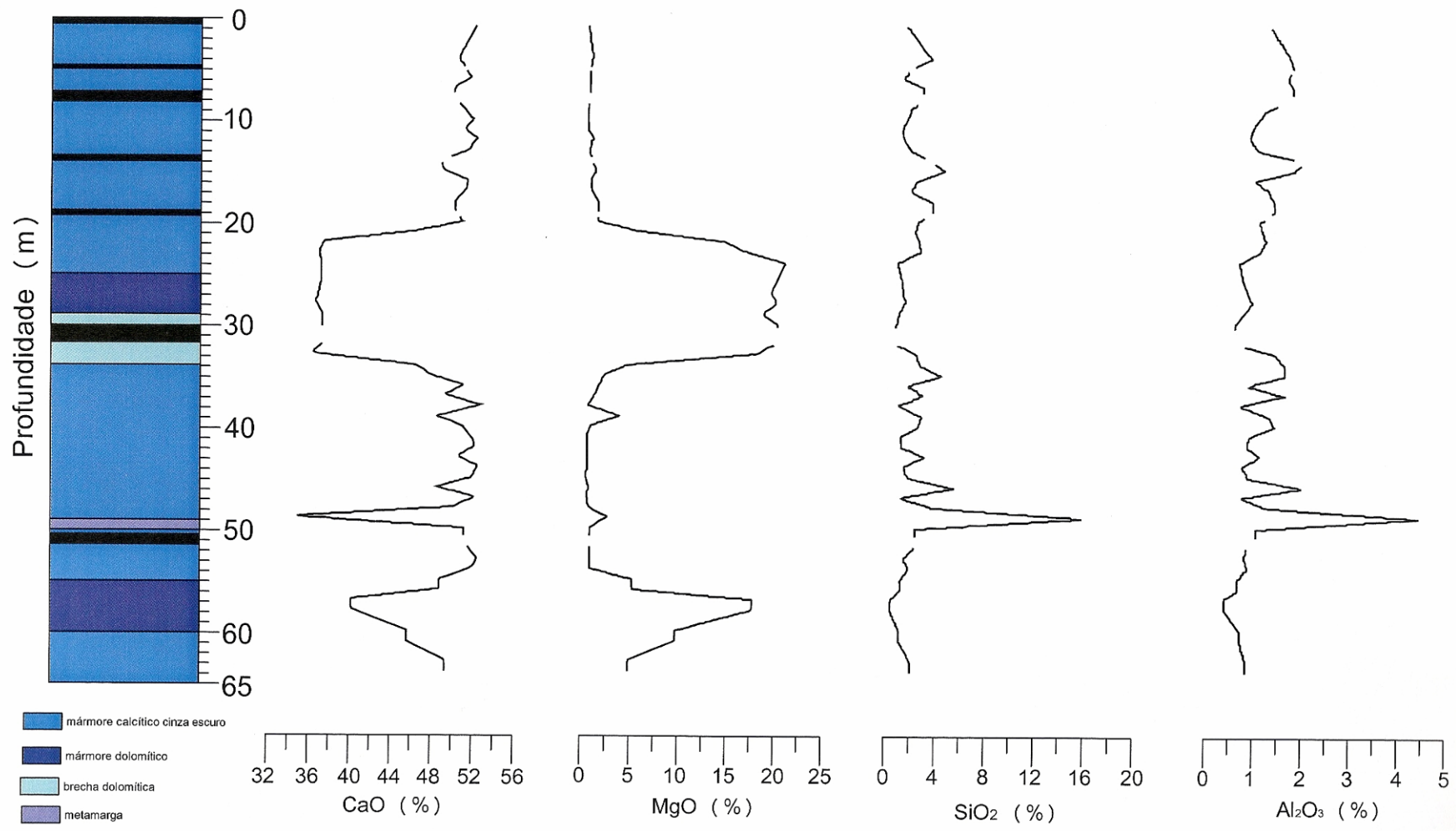
Cota: 797.002 m Inclinação: 30° para Norte



## FURO 1023

Coordenadas ( UTM ) : 635.574,000 / 7.198.496,456

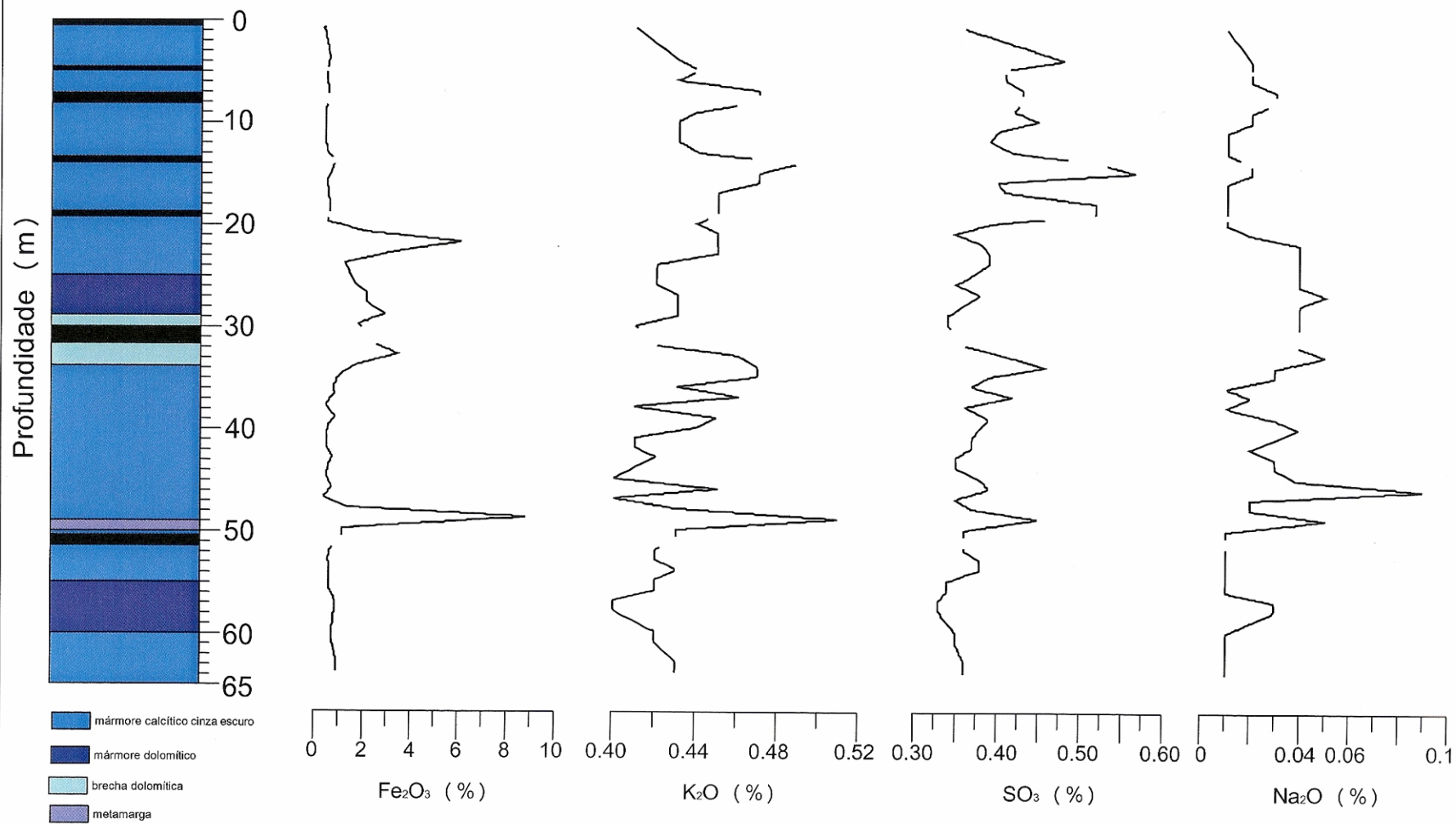
Cota: 797.002 m Inclinação: 30° para Norte



## FURO 1024

Coordenadas ( UTM ) : 635.883,650 / 7.198.617,000

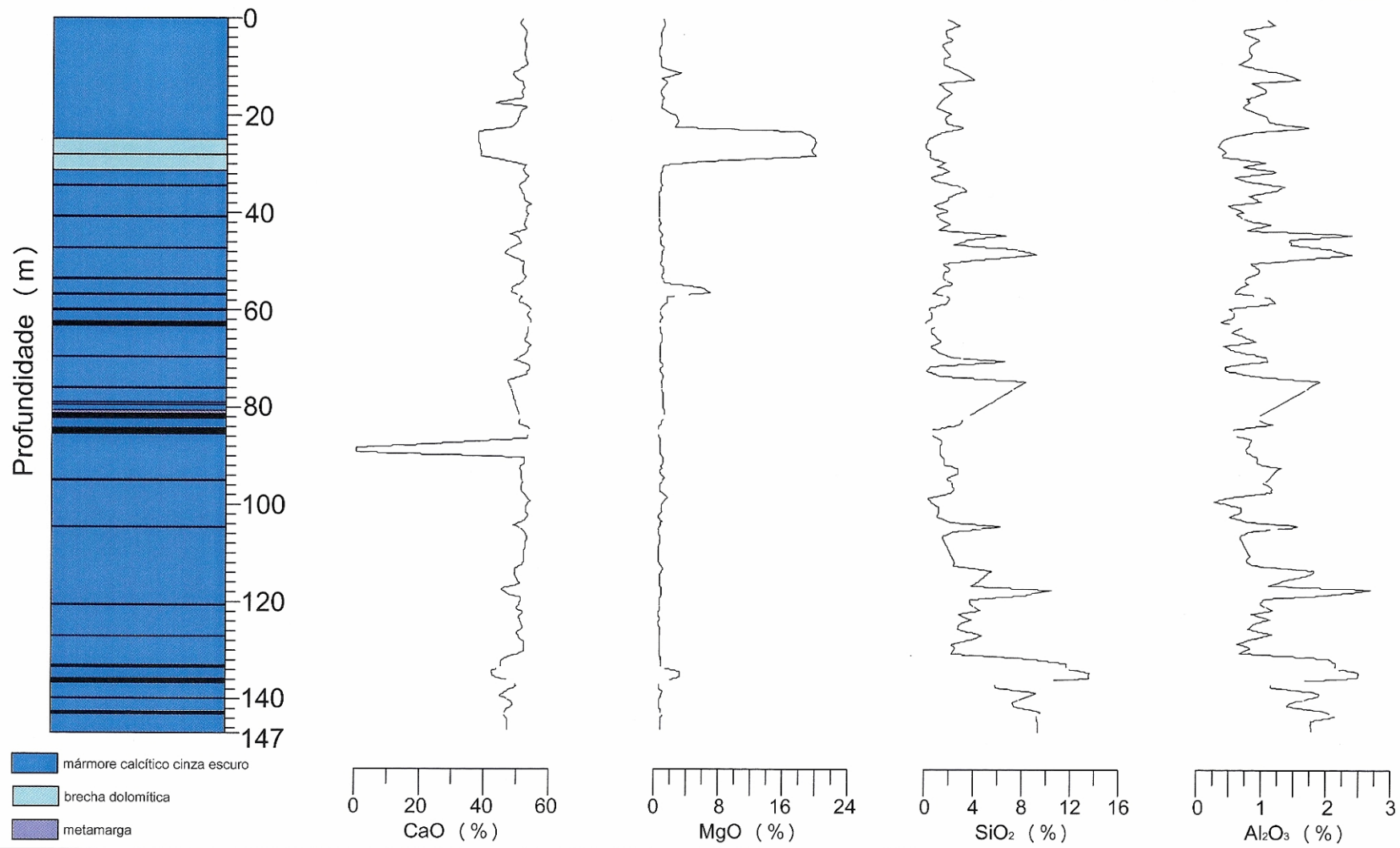
Inclinação: 30° para Norte



### FURO 1024

Coordenadas ( UTM ) : 635.883,650 / 7.198.617,000

Inclinação: 30° para Norte

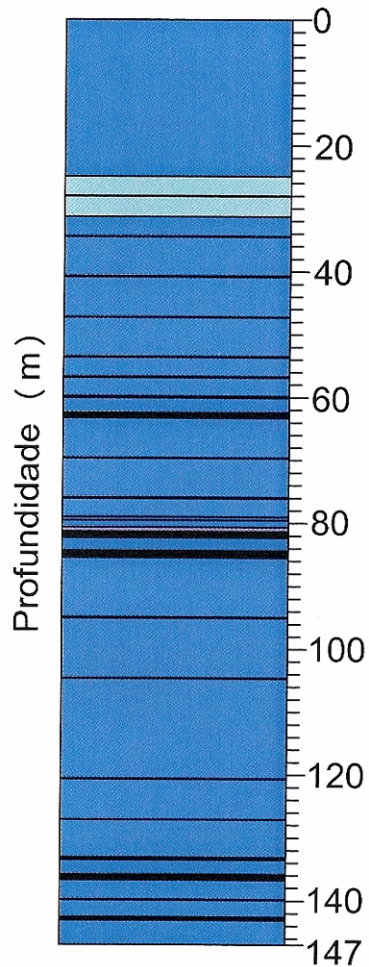


**FURO 1025**

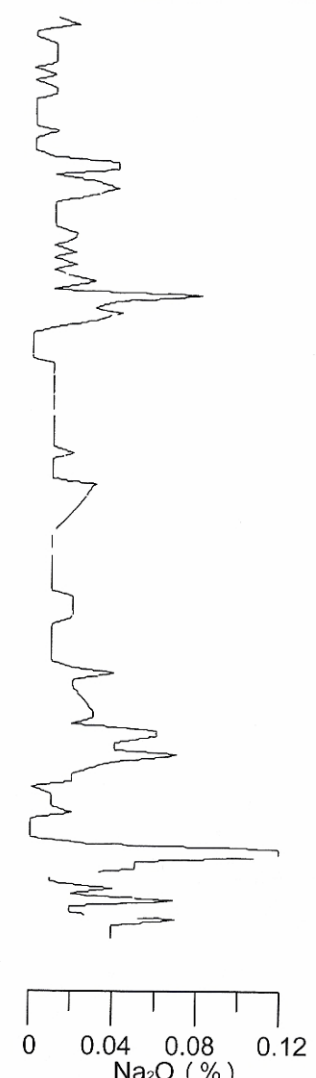
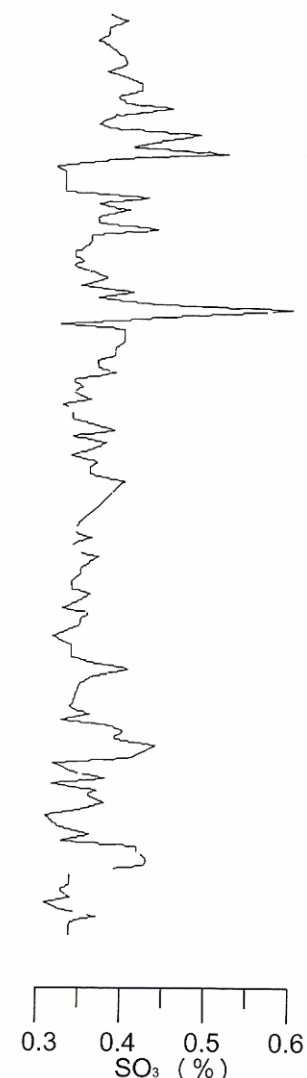
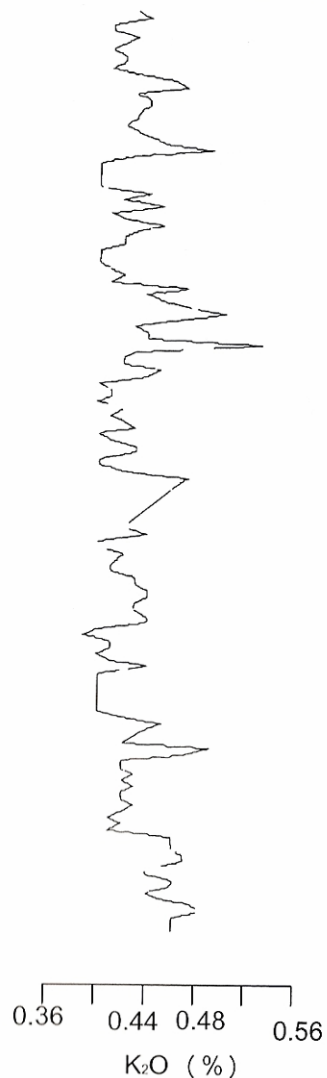
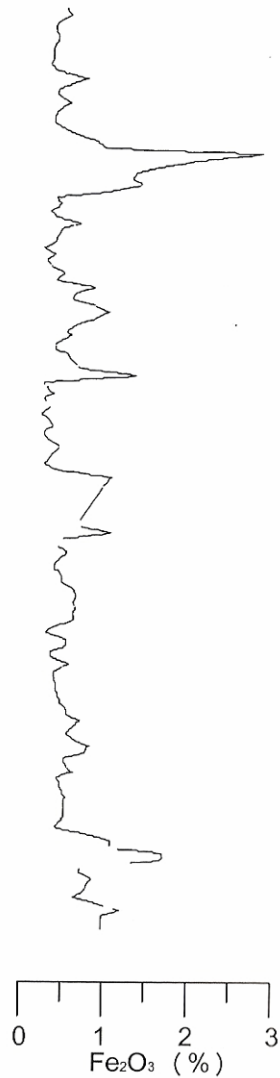
Coordenadas ( UTM ) : 636.002,650 / 7.198.678,000

Inclinação: 30° para Norte





- mármore calcítico cinza escuro
- brecha dolomítica
- metamarga



### FURO 1025

Coordenadas ( UTM ) : 636.002,650 / 7.198.678,000

Inclinação: 30° para Norte



*Anexo 3*  
*Tabelas com teores químicos em*  
*função da profundidade*  
*Furos 1010 – 1025*



CAMPANHAS DE SONDAGEM DO ANO 2000

FURO 1010

profundidade	MgO	CaO	SiO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
2	2,92	49,11	2,09	0,33	0,14	0,41	0,77	0,93
4	3,99	48,41	2,25	0,32	0,14	0,43	0,98	1,21
6	0,61	40,68	4,03	0,24	0,14	0,38	0,76	1,26
8	0,8	50,52	3,69	0,29	0,15	0,46	0,68	1,56
10	0,75	51,26	2,93	0,32	0,16	0,43	0,63	1,33
12	0,64	52,41	2,34	0,26	0,16	0,28	0,52	0,62
14	0,72	52,13	1,19	0,28	0,15	0,29	0,46	0,52
16	1,48	49,85	2,8	0,35	0,15	0,48	0,59	1,62
18	0,8	48,46	6,54	0,26	0,14	0,42	1,19	2,15
20	0,72	52,62	1,35	0,28	0,16	0,31	0,45	0,68
22	0,78	52,04	2,07	0,31	0,16	0,31	0,48	0,73
24	0,7	48,28	6,57	0,26	0,14	0,4	0,89	1,62
26	0,7	51,51	3,54	0,25	0,14	0,32	0,7	1,04
28	0,75	47,73	7	0,23	0,13	0,49	0,98	2,43
30	0,86	43,1	12,1	0,22	0,1	0,66	1,38	4,14
32	0,89	49,5	5,3	0,26	0,14	0,43	0,97	1,8
34	0,64	51,77	3,08	0,24	0,16	0,32	0,76	0,98
36	0,81	46,2	8,47	0,2	0,12	0,53	1,28	3,05
38	0,72	51,45	3,31	0,29	0,16	0,39	0,6	1,2
40	0,78	48,56	6,64	0,22	0,14	0,43	1,28	1,88
42	0,83	49,34	5,11	0,24	0,14	0,45	0,95	1,9
44	0,86	48,32	6,94	0,22	0,14	0,42	1,15	1,95
46	0,77	47,93	6,98	0,27	0,12	0,44	0,82	2,04
48	1,68	41,51	13,95	0,27	0,09	0,62	1,71	4,1
50	1,17	38,94	18,29	0,22	0,08	0,62	2,23	4,92
52	0,72	49,07	5,92	0,24	0,13	0,42	0,98	1,84
54	1,03	42,94	12,65	0,23	0,09	0,61	1,7	4,25
56	1,31	38,84	16,62	0,23	0,08	0,75	1,95	5,96
58	1,16	40,05	15,97	0,22	0,08	0,68	1,83	5,02
60	1,04	45,47	9,86	0,24	0,12	0,47	1,59	2,68
62	0,84	48	6,98	0,23	0,13	0,45	1,2	2,15
64	1,25	44,19	11,21	0,28	0,11	0,51	1,81	3,12
68	0,69	48,83	6,16	0,26	0,07	0,41	1,16	1,86
70	0,71	47,54	7,15	0,24	0,08	0,4	1,13	2,01
72	0,71	46,62	9,08	0,22	0,07	0,41	1,48	2,51
74	0,38	35,51	4,86	0,23	0,01	0,35	0,8	1,56
76	0,55	51,93	2,3	0,27	0,09	0,35	0,48	0,92
78	1,23	42,09	12,84	0,24	0,05	0,56	2,15	4,66
80	1,67	32,82	24,32	0,21	0,05	0,83	3,22	8,85
82	1,14	40,46	15,94	0,18	0,06	0,58	2,52	4,37
84	1,48	37,97	17,91	0,2	0,06	0,56	3,09	4,58
86	1,82	38,21	17,31	0,19	0,07	0,58	3,07	5,22
88	1,42	39,85	16,82	0,18	0,07	0,54	2,69	4,47
90	0,72	47,98	6,59	0,19	0,12	0,41	0,99	1,93
92	1	45,02	10,51	0,24	0,11	0,4	1,73	2,64
94	1,25	40,67	15,93	0,19	0,08	0,58	2,14	4,24
96	1,23	41,95	12,57	0,23	0,1	0,52	2,12	4,31
98	1,1	42,47	12,93	0,22	0,1	0,56	2,17	4,44
100	1,34	36,63	12,96	0,21	0,06	0,73	2,74	7,1
102	1,45	37,23	20,82	0,19	0,07	0,6	3,06	5,93
104	0,96	46,28	9,1	0,23	0,13	0,39	1,64	2,62

106	1,2	39,53	17,91	0,22	0,08	0,5	2,81	4,44
108	1,18	40,26	15,24	0,23	0,08	0,56	2,72	5,59
110	1,12	41,02	15,11	0,21	0,08	0,51	2,2	3,99
112	1,38	39,03	16,04	0,21	0,08	0,45	3,55	5,32
114	0,86	44,61	10,72	0,2	0,11	0,44	1,84	3,31
116	2,89	28,32	27,71	0,27	0,05	0,47	9,77	8,68
118	3,7	23,02	33,84	0,2	0,03	0,58	11,88	11,52
120	2,2	28,23	27,24	0,2	0,03	0,77	5,97	11,13
122	2,18	24,15	33,1	0,18	0,02	0,81	6,41	15,96
124	2,11	29,93	25,6	0,17	0,04	0,66	6,95	11,12
126	2,39	24,29	34,13	0,17	0,02	0,86	8,03	15,46
128	2,45	25,35	31,99	0,18	0,03	0,82	6,39	13,16
130	2,5	24,92	34,09	0,18	0,02	0,87	6,76	12,9
132	2,91	27,68	29,65	0,19	0,03	0,88	5,64	11,02
134	3,55	23,64	36,05	0,22	0,02	0,97	6,57	12,34
136	3,44	21,57	40,33	0,18	0,01	0,95	6,87	13
138	3,85	23,45	38,03	0,3	0,02	0,88	6,73	11,39
140	2,05	34,52	22,46	0,2	0,06	0,71	4,09	7,02
142	2,75	23,73	37,31	0,29	0,02	0,91	6,83	13,22
144	4,33	22,95	37,51	0,2	0,02	0,82	7,46	10,8
146	3,78	28,6	30,59	0,32	0,03	0,75	5,6	8,12
148	4,35	28,03	42,26	0,19	0	1,01	7,49	13,88
150	3,13	33,69	22,99	0,24	0,06	0,77	2,94	6,49
152	4,98	21,2	39,31	0,2	0,01	1	7,3	12,36
154	2,53	37,96	17,79	0,24	0,07	0,71	2,43	5,35
156	3,75	24,1	33,62	0,19	0,02	0,99	6,56	12,74
158	1,64	42,94	12,04	0,28	0,09	0,58	1,72	4,04
160	3,09	34,13	17,85	0,27	0,07	0,64	2,58	4,86

FURO 1011

profundidade	MgO	CaO	SiO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
2	0,7	51,94	2,48	0,29	0,15	0,29	0,55	0,69
4	1,25	49,13	5,28	0,37	0,14	0,4	0,96	1,49
6	0,59	50,18	3,5	0,3	0,13	0,39	0,72	1,34
8	0,96	44,45	10,23	0,31	0,1	0,68	1,07	3,96
10	0,7	47,91	6,46	0,28	0,13	0,49	0,8	2,24
12	0,57	50,2	3,71	0,3	0,14	0,36	0,6	1,31
14	0,66	49,06	5,49	0,35	0,14	0,43	0,7	1,97
16	0,72	47,43	6,75	0,32	0,13	0,5	0,9	3,04
18	0,72	45,71	9,39	0,29	0,12	0,48	1,24	3,09
20	0,65	48,72	5,88	0,31	0,14	0,4	0,89	1,97
22	0,62	50,38	4,14	0,27	0,15	0,36	0,79	1,8
24	0,68	48,37	5,79	0,27	0,13	0,46	0,76	2,55
26	0,7	49,89	4,64	0,24	0,11	0,39	0,78	2,03
28	0,87	47,479	6,71	0,25	0,09	0,47	1,06	2,94
30	0,66	50,04	4,07	0,24	0,12	0,36	0,81	1,7
32	0,81	47,07	6,49	0,24	0,11	0,46	1	2,63
34	1,16	49,81	4,3	0,22	0,13	0,34	0,6	1,31
36	0,74	47,99	6,08	0,27	0,13	0,48	0,98	2,77
38	0,7	50,74	4,05	0,28	0,15	0,38	0,77	1,68
42	0,67	49,2	5,65	0,27	0,14	0,43	0,85	1,8
44	0,68	49,01	5,16	0,28	0,14	0,43	0,85	1,8
46	0,74	50,44	4	0,26	0,15	0,4	0,77	1,47
48	0,73	49,46	4,47	0,27	0,14	0,42	0,88	1,54
50	0,82	48,92	6,16	0,29	0,13	0,46	0,89	1,87

54	0,84	47,05	7,43	0,25	0,12	0,56	1,12	2,49
56	0,87	48,35	6,51	0,28	0,14	0,5	0,98	2,13
58	0,84	49,23	5,56	0,26	0,14	0,45	0,79	1,68
60	2,17	47,53	5,68	0,25	0,13	0,46	0,91	1,71
62	5,42	45,25	4,91	0,29	0,12	0,45	1,17	1,66
64	5,56	41,16	8,96	0,35	0,11	0,59	1,91	2,87
66	3,59	45,67	6,65	0,35	0,12	0,5	1,48	2,26
68	2,61	45,98	5,56	0,37	0,13	0,51	1,27	2,02
70	2,81	47,6	4,91	0,4	0,13	0,49	1,3	1,9
72	2,36	48,72	4,73	0,36	0,14	0,46	1,07	1,73
74	1,73	48,9	4,28	0,33	0,13	0,45	0,98	1,69
76	2,01	48,01	5,56	0,4	0,13	0,5	1,18	2,08
78	1,67	47,62	5,34	0,34	0,14	0,5	1,09	2,13
80	1,34	49,92	4,29	0,32	0,14	0,44	0,91	1,69
82	1,17	50,61	3,88	0,33	0,15	0,41	0,81	1,54
84	1,03	50,95	2,78	0,27	0,15	0,37	0,86	1,27
86	1,28	50,3	3,18	0,24	0,14	0,42	0,93	1,63
88	0,95	49,11	4,34	0,23	0,14	0,48	1,02	2,24
90	0,96	47,98	5,95	0,22	0,12	0,53	1,14	2,56
92	1,06	46,09	8,66	0,21	0,11	0,59	1,24	3,37
94	1,13	48,49	5,69	0,22	0,13	0,47	1,09	2,04
96	0,8	49,34	5,6	0,24	0,13	0,44	0,93	1,92
98	0,97	50,59	3,07	0,24	0,15	0,41	0,9	1,63
100	0,85	19,63	4,91	0,25	0,14	0,44	1,05	1,79
102	1,02	46,46	8,33	0,23	0,13	0,58	1,39	2,92
104	1,43	43,41	10,88	0,23	0,11	0,65	1,49	3,53
106	1,03	45,87	9,54	0,32	0,12	0,55	1,35	2,78
108	1,09	46,86	8,03	0,28	0,13	0,51	1,13	2,55
110	0,79	49,12	5,41	0,26	0,14	0,41	1,1	1,58
112	0,72	49,12	5,62	0,23	0,14	0,4	1,02	1,69
114	0,71	49,03	5,91	0,22	0,14	0,39	1,03	1,83
116	0,77	47,86	6,77	0,22	0,13	0,45	1,09	2,12
118	0,86	47,33	7,46	0,26	0,12	0,45	1,2	2,34
120	0,76	47,98	6,53	0,22	0,13	0,43	1,18	2,02
122	0,85	46,41	8,9	0,22	0,12	0,54	1,45	3,15
124	1,73	32,35	24,52	0,2	0,05	0,85	3,95	8,35
126	0,98	40,92	14,49	0,19	0,1	0,64	2,14	4,78
128	1,66	32,31	24,83	0,19	0,06	0,83	3,83	8,45
130	1,56	33,77	23,01	0,19	0,06	0,75	3,54	7,58
132	2,12	37,21	19,35	0,2	0,08	0,67	2,85	5,69
134	1,44	39,55	16,5	0,2	0,09	0,6	2,5	4,78
136	0,18	40,47	15,21	0,2	0,09	0,61	2,48	4,59
138	1,19	40,6	14,7	0,2	0,1	0,62	2,57	4,63
140	1,43	37,08	18,39	0,19	0,08	0,79	3,08	6,85
142	1,34	36,32	18,99	0,21	0,07	0,81	3,25	6,94
144	1,4	35,5	20,31	0,2	0,07	0,82	3,7	7,11
146	1,21	38,8	16,01	0,2	0,08	0,72	2,69	5,52
148	1,44	39,99	14,74	0,2	0,09	0,64	2,64	4,7
150	1,36	39,09	16,17	0,2	0,09	0,72	2,64	5,69
152	1,32	41,1	14,15	0,2	0,1	0,63	2,45	4,63
154	1,42	39,37	15,22	0,2	0,09	0,65	2,79	5,15
156	1,42	38,9	16,93	0,19	0,08	0,6	2,86	5,08
158	1,39	38,53	16,81	0,19	0,09	0,58	2,78	4,99
160	1,15	42,08	13,48	0,19	0,1	0,52	2,4	2,24

162	0,97	44,53	11,18	0,19	0,12	0,44	1,98	3,44
164	0,84	46,15	8,82	0,2	0,12	0,42	1,8	3
166	1,05	41,54	13,27	0,21	0,1	0,62	2,39	4,95
168	1,6	36,63	18,1	0,2	0,08	0,58	4,49	6,58
170	2,74	31,43	22,41	0,2	0,06	0,44	8,77	7,77
171	4,38	24,87	28,59	0,2	0,05	0,35	14,89	9,6

FURO 1012

profundidade	MgO	CaO	SiO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
2	3,02	40,61	11,63	0,31	0,1	0,36	4,75	3,87
4	2,21	46,01	6,47	0,31	0,12	0,38	2,4	2,44
6	1,97	49,63	3,327	0,29	0,15	0,34	1,13	1,31
8	1,6	50,08	2,87	0,29	0,15	0,32	0,88	1,05
10	1,24	51,16	2,92	0,27	0,15	0,32	0,72	1
12	1,02	51,67	2,55	0,25	0,16	0,3	0,65	0,84
14	0,97	51	2,56	0,25	0,15	0,31	0,67	0,89
16	0,94	51,33	3,23	0,27	0,16	0,33	0,67	1,04
18	0,95	50,44	4,33	0,28	0,15	0,35	0,83	1,26
20	0,94	49,02	5,35	0,27	0,14	0,39	0,87	1,61
22	1	48,29	6,75	0,25	0,14	0,45	1,05	2,34
24	0,91	47,18	7,7	0,22	0,14	0,48	1,08	2,74
26	0,84	47,18	6,88	0,21	0,14	0,48	1,06	2,51
28	0,89	48,3	6,46	0,22	0,14	0,43	0,98	2,05
30	0,79	49,57	5,66	0,24	0,15	0,39	0,98	1,69
32	0,7	49,36	5,58	0,24	0,14	0,38	0,96	1,57
34	0,71	48,93	5,39	0,24	0,15	0,39	0,91	1,57
36	0,78	49,25	5,98	0,28	0,15	0,4	0,91	1,79
38	0,8	49,28	5,78	0,28	0,15	0,42	1,01	1,85
40	0,78	48,48	6,63	0,28	0,14	0,46	1,09	2,25
42	0,74	47,06	7,24	0,26	0,13	0,47	1,12	2,48
44	0,72	46,65	8,22	0,27	0,12	0,49	1,06	2,56
46	0,74	46,73	8,08	0,26	0,13	0,51	1,21	2,73
48	0,92	45,06	10,63	0,27	0,12	0,55	1,34	3,47
50	0,92	42,24	13,47	0,23	0,1	0,6	1,51	4,15
52	0,87	44,09	12,15	0,22	0,11	0,54	1,33	3,51
54	0,88	45,19	10,7	0,26	0,12	0,52	1,34	3,34
56	0,86	46,53	8,88	0,29	0,12	0,47	1,28	2,89
58	0,77	48,42	6,41	0,29	0,13	0,39	1,13	1,95
60	0,69	47,98	6,42	0,28	0,13	0,4	0,97	1,95
62	0,74	48,96	6,43	0,27	0,14	0,37	1,02	1,91
64	0,67	48,96	6	0,35	0,13	0,35	1,04	1,74
66	0,72	47,83	7	0,33	0,13	0,38	1,1	2,27
68	0,73	47,39	7,24	0,36	0,13	0,39	1,33	2,79
70	0,8	45,99	9,07	0,32	0,12	0,44	1,27	2,96
72	0,81	46,19	8,91	0,3	0,12	0,42	1,4	2,85
74	0,94	45,19	9,9	0,32	0,11	0,45	1,56	3,43
76	1,03	43,73	11,75	0,25	0,11	0,49	1,82	3,92
78	1,1	40,37	15,08	0,22	0,08	0,56	2,3	4,85
80	1,34	36,62	20,28	0,21	0,07	0,68	2,94	6,82
82	1,36	36,73	20,09	0,2	0,08	0,66	2,82	6,58
84	1,41	38,76	17,24	0,2	0,09	0,57	2,67	5,28
86	1,53	38,36	18,19	0,26	0,08	0,55	3,16	5,39
88	1,74	34,2	24,29	0,26	0,06	0,654	3,18	6,43
90	1,95	34,08	24,13	0,2	0,07	0,56	4,43	6,22
92	1,77	34	23,88	0,19	0,07	0,67	3,73	7,21

94	1,6	35,19	22,5	0,19	0,07	0,66	3,28	6,77
96	1,33	38,4	18,13	0,19	0,08	0,54	2,74	4,8
98	1,22	39,99	16,74	0,19	0,09	0,55	2,19	4,47
100	1,14	42,77	14,55	0,19	0,11	0,48	2,07	3,95
102	1,05	43,12	13,25	0,19	0,11	0,43	2,06	3,3
104	1,27	40,09	16,57	0,19	0,09	0,54	2,39	4,49
106	1,64	36,8	20,08	0,18	0,08	0,55	3,52	5,89
108	1,69	36,8	20,33	0,18	0,08	0,56	3,62	6,09
110	2,52	32,08	22,39	0,2	0,06	0,49	7,19	7,62
112	3,39	28,84	25,83	0,25	0,06	0,38	11,23	8,31
114	3,67	27,13	27,63	0,21	0,06	0,31	12,74	8,76
116	3,39	27,34	27,49	0,19	0,06	0,36	11,76	9,22
118	3,16	27,84	26,62	0,2	0,05	0,43	10,69	9,48
120	2,97	29,53	24,54	0,19	0,06	0,44	10,18	8,74
122	2,46	31,93	22,18	0,23	0,06	0,48	7,87	7,69
124	1,86	36,32	18,02	0,25	0,07	0,44	5,59	6,06
126	2,14	36,99	16,96	0,25	0,07	0,44	5,36	5,94
128	2,1	34,68	19,77	0,25	0,07	0,43	5,92	6,73
130	2,04	32,34	22,11	0,28	0,06	0,56	6,06	8,09
132	1,68	34,74	20,12	0,23	0,06	0,57	5,23	7,4
134	1,74	31,63	24,12	0,23	0,04	0,63	5,5	8,62
136	2,9	29,77	25,04	0,23	0,04	0,68	5,53	10,06
138	1,76	30,82	23,66	0,24	0,05	0,7	5,66	10,23
140	1,95	29,94	26,04	0,24	0,05	0,61	6,15	9,81
142	2,89	28,02	27,16	0,24	0,03	0,45	9,47	9,07
144	2,76	24,38	29,73	0,22	0,02	0,66	9,72	13,18
146	2,35	24,93	29,16	0,21	0,01	0,71	8,55	13,57
148	2,13	25,96	28,58	0,21	0,02	0,74	6,96	12,96
150	2,12	26,03	29,28	0,21	0,02	0,74	9,72	12,74

FURO 1014

profundidade	MgO	CaO	SiO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
2	1,02	47,92	5	0,34	0,12	0,52	1,05	2,12
4	0,93	45,34	7,56	0,44	0,11	0,75	1,17	3,99
6	0,84	47,9	4,88	0,38	0,13	0,68	0,95	3,16
8	0,69	48,5	4,26	0,38	0,13	0,54	0,91	2,44
10	0,63	49,7	3,27	0,38	0,12	0,46	0,9	1,69
12	0,77	46,88	7,82	0,33	0,12	0,52	1,2	2,73
14	1,1	39,67	15,43	0,34	0,03	0,75	1,44	5,02
16	1,47	40,01	14,68	0,32	0,05	0,77	1,55	5,15
18	0,52	47,25	6,51	0,3	0,1	0,48	0,97	2,11
20	0,45	48,69	5,27	0,33	0,11	0,43	1,13	1,79
22	0,64	45,88	8,24	0,41	0,1	0,5	1,22	2,43
24	0,6	43,91	11,33	0,44	0,09	0,48	1,65	2,64
26	0,7	46,65	6,88	0,56	0,1	0,5	1,35	2,34
28	0,79	42,11	11,81	0,37	0,08	0,71	1,34	4,44
30	0,66	44,93	10,12	0,31	0,08	0,56	1,28	3,19
32	1,61	33,49	24,87	0,3	0,03	0,82	2,2	7,02
34	0,79	43,37	11,44	0,37	0,08	0,63	1,5	3,78
36	1,43	34,82	22,13	0,32	0,03	0,95	2,06	7,73
38	1,03	39,69	15,71	0,36	0,05	0,75	1,53	5,01
40	1,01	43,63	10,54	0,36	0,07	0,61	1,47	3,41
42	0,6	46,89	6,89	0,32	0,11	0,48	1,08	2,26
44	0,73	47,01	7,1	0,33	0,12	0,49	1,13	2,44
46	0,94	45,84	8,47	0,35	0,09	0,53	1,33	2,96

48	0,54	47,25	6,23	0,35	0,1	0,43	1,11	2,04
50	0,94	41,94	13,65	0,3	0,07	0,59	1,78	3,93
52	1	42,32	12,74	0,31	0,07	0,63	1,73	4,21
54	1,4	37,58	20,07	0,28	0,04	0,6	2,63	4,82
56	1,91	33,75	25	0,29	0,03	0,6	3,91	6,11
58	1,74	33,99	24,45	0,28	0,05	0,76	3,11	6,42
60	1,13	38,95	17,82	0,29	0,07	0,61	2,33	4,22
62	1,16	40,2	16,24	0,27	0,06	0,62	2,35	4,33
64	1,41	37,16	18,65	0,27	0,05	0,65	3,35	5,97
66	2,73	28,98	29,83	0,38	0,02	0,86	4,9	9,66
68	1,52	36,66	18,38	0,28	0,05	0,65	3,62	6,93
70	1,49	37,06	18,21	0,28	0,05	0,64	3,34	5,88
72	1,52	36,37	18,93	0,27	0,05	0,7	3,42	6,9
74	1,7	36,23	19,36	0,28	0,04	0,67	3,56	6,44
76	1,62	35,52	20,23	0,27	0,05	0,74	4	7,55
78	2,69	32,56	20,76	0,29	0,03	0,57	6,67	8,07
80	3,54	30,17	20,97	0,3	0,03	0,45	9,6	8,65
82	1,13	41,08	13,86	0,31	0,07	0,59	2,01	4,61
84	0,93	42,95	11,9	0,31	0,09	0,52	1,84	4
86	2,48	34,27	18,75	0,29	0,06	0,45	6,87	6,85
88	2,31	34,79	18,57	0,33	0,05	0,57	6,17	7,14
90	2,45	31,19	21,4	0,3	0,03	0,76	6,71	9,13
92	4,24	24,21	27,37	0,32	0,02	0,58	12,76	11,91
94	3,6	29,92	21,34	0,3	0,03	0,45	9,66	8,73
96	4,58	27,98	22,12	0,3	0,03	0,35	13,27	8,68
98	2,48	28,51	26,22	0,25	0,03	0,93	7,39	11,02
100	2,48	28,15	27,94	0,26	0,02	0,76	6,54	11,69
102	3,12	21,59	35,18	0,25	0,02	0,95	8,46	17,24
104	2,62	26,16	31	0,26	0,02	0,85	7,37	12,68
106	2,83	26,3	28,56	0,26	0,02	0,89	8,22	12,76
108	2,63	26,69	29,04	0,25	0,03	0,91	6,74	13,66
110	2,93	24,11	30,45	0,25	0,02	1,02	7,25	16,56
112	2,86	24,48	31,79	0,26	0,02	0,92	7,52	15,12
114	2,02	31,09	24,4	0,26	0,03	0,79	4,7	10,1
116	2,44	31,49	24,67	0,28	0,03	0,72	6,33	8,36
118	1,73	35,3	21,36	0,27	0,05	0,69	3,89	6,88
120	3,12	24,88	33,24	0,28	0,02	0,97	6,86	12,76

FURO 1015

profundidade	MgO	CaO	SiO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
2	1,26	43,36	11,27	0,29	0,1	0,49	2,57	4,07
4	0,83	46,65	7,46	0,33	0,12	0,4	1,74	2,18
6	1,65	44,11	7,94	0,28	0,09	0,55	2,01	3,28
8	1,16	42,54	12,34	0,35	0,1	0,64	1,92	4,58
10	1,1	41,52	13,56	0,31	0,09	0,69	1,98	5,21
12	1,03	42,35	11,83	0,29	0,09	0,68	2,06	4,76
14	1,44	38,54	16,21	0,31	0,07	0,76	2,98	5,94
16	1,23	43,41	11,08	0,36	0,11	0,58	2,2	3,83
18	1,16	42,95	10,35	0,31	0,1	0,57	2,69	3,67
20	1,2	43,74	10,13	0,4	0,1	0,59	2,54	3,67
22	0,91	46,6	7,69	0,31	0,12	0,49	1,74	2,52
24	0,86	47,79	6,45	0,28	0,13	0,43	1,5	2
26	0,94	45,32	8,58	0,29	0,12	0,52	2,16	2,98
28	1,01	42,77	11,08	0,3	0,1	0,66	2,07	4,35
30	1,14	40,91	13,56	0,3	0,08	0,7	2,19	4,94

32	1,12	42,33	11,73	0,32	0,1	0,67	2,05	4,26
34	0,99	44,54	9,97	0,29	0,1	0,62	1,68	3,82
36	0,92	46,19	8,51	0,3	0,12	0,52	1,57	2,84
38	0,76	47,5	7,16	0,29	0,13	0,43	1,23	2,14
40	0,74	47,87	7,29	0,33	0,12	0,42	1,27	2,27
42	0,83	46,5	7,55	0,3	0,13	0,45	1,41	2,62
44	1,16	42,76	11,79	0,3	0,1	0,6	1,99	4,13
46	1,22	40,7	13,18	0,28	0,09	0,62	2,34	4,69
48	1,62	33,8	22,89	0,24	0,04	0,76	3,61	7,64
50	1,49	36,33	21,05	0,23	0,07	0,63	3,1	5,55
52	1,42	37,34	20,16	0,23	0,07	0,61	3,14	5,23
54	1,7	32,93	25,76	0,22	0,03	0,69	3,65	6,56
56	1,58	35,72	22,47	0,22	0,05	0,63	3,46	5,72
58	1,62	36,28	20,32	0,23	0,06	0,66	3,38	5,75
60	1,6	36,51	19,86	0,23	0,06	0,66	3,7	6,08
62	1,61	34,72	20,95	0,24	0,05	0,65	3,99	8,07
64	1,36	38,92	16,32	0,25	0,08	0,55	3,24	6,2
66	2,17	34	18,61	0,24	0,05	0,72	6,4	8,24
68	4,91	22,34	23,88	0,23	0,05	0,57	18,73	12,5
70	6,64	16,19	28,06	0,26	0,07	0,45	27,24	13,84
72	5,99	16,11	30,5	0,24	0,05	0,68	24,53	14,87
74	4,99	15,98	34,55	0,22	0,03	0,92	20,25	16,86
76	4	16,01	40,54	0,22	0,01	0,92	16,51	16,79
78	3,65	15,96	41,96	0,22	0,01	0,87	14,13	17,45
80	3,35	15,95	42,24	0,29	0,01	0,9	13,23	19,1
82	3,94	15,55	46,82	0,22	0,01	0,73	13,69	16,71
84	3,47	15,28	44,51	0,25	0,01	0,82	12,82	18,79
86	4,27	15,5	47,61	0,22	0,01	0,69	14,25	15,09
88	4,68	15,85	44,97	0,21	0,01	0,88	12,92	15,92
90	5,25	16,9	45,99	0,2	0	0,86	10,27	14,26
92	5,97	18,93	41,05	0,21	0,01	0,92	9,13	13,11
94	6,48	19,95	37,87	0,22	0	0,93	8,45	12,24
96	7,06	21,5	37	0,28	0,01	0,86	7,76	10,19
98	7,01	23,94	33,46	0,23	0,01	0,74	6,19	7,9
100	5,33	29	26,39	0,25	0,03	0,56	6,55	6,38

FURO 1016

profundidade	MgO	CaO	SiO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
12	0,65	50,39	4,31	0,29	0,14	0,43	0,64	1,42
16	0,6	49,81	4,33	0,31	0,14	0,43	0,65	1,44
18	0,74	48,15	5,94	0,32	0,13	0,53	0,92	2,22
20	0,52	50,39	3,96	0,29	0,14	0,42	0,63	1,43
22	0,58	50,57	4,19	0,28	0,14	0,35	0,7	1,37
24	0,51	52,28	1,83	0,28	0,15	0,29	0,49	0,64
26	0,59	49,6	5,03	0,3	0,13	0,45	0,71	1,74
28	0,51	50,98	3,23	0,29	0,13	0,37	0,56	1,16
30	0,48	51,37	2,99	0,27	0,14	0,34	0,54	0,93
32	0,71	50,67	4,12	0,38	0,15	0,37	0,67	1,23
34	0,53	51,75	2,56	0,3	0,15	0,32	0,59	1
36	0,55	51,22	3,27	0,3	0,14	0,36	0,52	1,19
38	0,58	51,62	2,88	0,31	0,15	0,33	0,57	1,14
40	0,58	50,92	3,35	0,33	0,15	0,4	0,7	1,31
42	0,59	50,17	4,22	0,28	0,14	0,38	0,57	1,36
44	0,4	50,89	3	0,26	0,14	0,29	0,58	0,93
48	0,51	48,63	5,14	0,28	0,12	0,41	0,74	1,87

50	0,61	50,21	4,42	0,3	0,14	0,36	0,73	1,46
52	0,51	50,95	3,05	0,29	0,14	0,32	0,64	1,1
56	1,69	50,55	3,1	0,32	0,14	0,65	0,7	1,23
58	0,63	48,82	5,11	0,28	0,14	0,42	0,73	1,88
60	0,64	48,72	5,36	0,33	0,12	0,46	0,76	1,92
62	0,6	50,64	3,24	0,29	0,14	0,36	0,66	1,3
66	0,62	49,79	3,84	0,27	0,14	0,37	0,81	1,2
68	0,84	49,27	4,92	0,33	0,13	0,48	0,87	1,87
70	0,55	51,54	2,17	0,3	0,16	0,31	0,59	0,8
74	1,32	47,74	5,16	0,33	0,12	0,46	1,01	2,01
76	0,6	50,88	2,92	0,28	0,14	0,32	0,7	0,87
78	0,67	46,11	8,21	0,31	0,12	0,5	1,18	2,9
80	0,7	50,04	3,6	0,28	0,15	0,4	0,81	1,4
82	0,81	48,52	5,89	0,29	0,14	0,47	0,92	1,98
84	0,6	49,75	4,39	0,29	0,12	0,45	0,95	1,47
88	0,7	47,72	7,43	0,32	0,07	0,51	1,02	2,51
90	0,72	48,73	5,82	0,28	0,13	0,45	0,93	1,86
92	0,73	43,79	19,03	0,17	0,04	1,35	2,24	6,22
98	0,88	38,23	16,94	0,3	0,02	0,93	1,75	5,73
100	0,56	48,43	6,11	0,29	0,08	0,48	0,96	1,92
102	0,62	48,67	6,29	0,28	0,08	0,49	1,02	2,15
104	0,78	44,96	9,95	0,36	0,12	0,66	1,3	3,4
106	0,97	37,35	18,52	0,29	0,01	1,02	2,1	6,73
108	0,71	46,29	8,4	0,29	0,07	0,57	1,15	2,48
112	0,58	48,09	6,8	0,31	0,13	0,5	0,98	2,01
114	0,54	49,57	5,18	0,32	0,13	0,39	0,74	1,43
116	0,48	49	5,67	0,3	0,12	0,45	0,88	1,82
118	0,57	51,68	2,87	0,35	0,15	0,36	0,64	0,96
120	0,66	47,83	5,04	0,35	0,12	0,48	0,93	1,76
122	0,54	49,86	3,8	0,29	0,13	0,42	0,74	1,54
124	0,5	49,83	4,79	0,28	0,13	0,39	0,77	1,52
126	9,43	44,4	2,06	0,26	0,1	0,312	1,1	0,74
128	0,56	47,43	8,34	0,29	0,08	0,49	1,14	2,52
130	0,64	45,54	8,7	0,31	0,11	0,52	1,15	2,98

FURO 1017

profundidade	MgO	CaO	SiO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
5	0	0	0	0	0	0	0	0
7	9,12	43,81	3,31	0,31	0,11	0,39	1,07	0,14
8	14,97	40,69	1,4	0,25	0,09	0,29	1,2	0,48
9	11,6	42,7	2,14	0,27	0,1	0,34	1,21	0,83
10	13,61	40,74	1,39	0,25	0,08	0,3	1,28	0,54
11	11,56	42,67	2,04	0,26	0,1	0,34	1,21	0,84
26	4,56	46,08	3,6	0,26	0,11	0,42	1,03	1,32
32	5,24	46,18	3,53	0,25	0,11	0,43	0,97	1,39
39	7,91	44,72	2,41	0,26	0,1	0,34	0,93	0,82
41	5,15	45,89	3,83	0,27	0,11	0,44	0,9	1,52
43	2,94	49,14	2,39	0,28	0,13	0,34	0,75	0,87
45	9,77	43,47	2,3	0,27	0,1	0,32	1	0,8
47	3,01	48,25	3,35	0,3	0,12	0,38	0,79	1,12
51	1,88	49,43	3,55	0,29	0,13	0,39	0,81	1,18
54	1,15	48,98	3,92	0,32	0,12	0,43	0,82	1,45
63	1,43	49,31	4,05	0,34	0,12	0,41	0,89	1,34
70	3,04	47,07	4,42	0,31	0,11	0,46	0,98	1,72



FURO 1018								
profundidade	MgO	CaO	SiO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
23	1,62	50,42	2,65	0,31	0,12	0,29	0,79	0,45
25	2,5	50,57	1,8	0,28	0,13	0,3	0,56	0,55
27	2,66	43,8	10,56	0,33	0,09	0,5	1,22	1,62
32	2,83	43,52	10,28	0,47	0,1	0,52	1,84	2,25
34	2,4	48,68	3,7	0,35	0,12	0,34	0,69	0,62
36	2,57	48,82	3,68	0,39	0,1	0,35	0,73	0,61
37	2,57	48,82	3,68	0,39	0,1	0,35	0,73	0,61
38	2,97	48,89	3,93	0,38	0,14	0,3	0,88	0,59
40	1,51	50,59	2,76	0,28	0,12	0,3	0,71	0,5
44	3,18	48,1	5,2	0,29	0,12	0,35	0,92	0,68
46	2,52	47,83	5,55	0,35	0,11	0,35	0,99	0,71
48	2,93	48,72	3,69	0,37	0,15	0,3	0,89	0,54
50	1,61	47,85	5,61	0,32	0,13	0,38	1,01	1,05
52	1,7	49,36	4,51	0,28	0,13	0,31	0,77	0,68
54	1,37	50,05	2,96	0,31	0,12	0,33	0,63	0,63
56	2,24	46,59	5,92	0,28	0,11	0,44	1,36	1,51
62	2,05	48,1	4,52	0,34	0,11	0,38	0,94	0,97
64	1,36	42,14	13,93	0,31	0,08	0,53	2,03	2,87
68	1,71	46,91	7,77	0,34	0,13	0,45	1,09	1,73
70	3,94	44,18	7,47	0,26	0,07	0,42	1,91	1,45
72	3,89	42,85	9,59	0,26	0,09	0,55	1,9	2,57
74	5,13	30,68	25,89	0,37	0,08	0,79	3,41	6,2
76	2,79	29,43	30,56	0,27	0,06	0,7	5,18	6,03
78	6,75	38,17	14,7	0,28	0,05	0,42	1,96	1,44
80	4,89	40,29	13,65	0,3	0,06	0,45	1,72	1,83
82	5,62	40,8	11,14	0,29	0,08	0,45	2,17	1,87
85	6,09	42,41	8,1	0,57	0,08	0,37	1,65	1,05
87	3,55	47,01	5,38	0,34	0,1	0,56	1,03	0,84
90	9,14	36,37	14,11	0,56	0,05	0,43	2,62	1,65
92	7,77	39,58	11,42	0,32	0,07	0,44	1,73	1,5
94	11,05	34,79	13,64	0,28	0,05	0,46	3,08	1,65
96	8,63	34,79	13,64	0,28	0,06	0,46	3,08	1,44
98	7,58	40,25	9,65	0,54	0,08	0,44	1,84	1,48
100	6,36	39,64	11,33	0,4	0,007	0,5	2,36	1,77
103	3,01	44,23	9,97	0,34	0,1	0,45	1,22	1,45
105	8,1	29,1	26,36	0,36	0,03	0,75	2,95	4,59
110	8,26	37,39	13,21	0,27	0,06	0,45	3,11	1,57
112	7,15	37,57	12,68	0,29	0,06	0,53	2,94	2,03
119	6,52	42,69	6,02	0,25	0,09	0,42	1,99	1,13

FURO 1019								
profundidade	MgO	CaO	SiO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
3	0,62	47,06	6,72	0,44	0,1	0,47	1,32	2,34
5	0,6	46,07	8,95	0,34	0,09	0,52	1,25	2,79
7	0,93	42,18	11,8	0,3	0,07	0,67	1,73	4,45
9	0,72	44,02	9,16	0,34	0,08	0,62	1,35	3,54
11	0,42	48,32	5,49	0,28	0,1	0,4	1,1	1,51
13	0,62	47,38	6,1	0,31	0,11	0,34	1,21	1,91
15	0,49	48,71	5,55	0,3	0,11	0,39	1,05	1,58
17	0,6	48,24	5,93	0,39	0,11	0,41	1,18	1,83
19	0,59	46,61	7,11	0,35	0,07	0,44	1,38	2
21	0,76	43,99	10,33	0,33	0,06	0,54	1,77	2,92

23	1,02	42,37	11,54	0,38	0,08	0,63	2,68	3,87
25	0,9	42,94	11,13	0,36	0,08	0,6	2,1	3,51
27	0,72	47,63	5,76	0,32	0,09	0,44	1,43	1,99
29	0,71	45,25	8,86	0,32	0,09	0,54	1,88	2,98
31	0,74	44,54	9,3	0,29	0,08	0,59	1,52	3,1
33	0,86	42,67	12,82	0,28	0,08	0,6	1,86	3,36
35	0,74	46,14	8,2	0,33	0,1	0,51	1,28	2,37
37	0,69	45,61	9,46	0,29	0,1	0,51	1,48	2,65
39	0,5	48,24	5,9	0,33	0,11	0,42	1,08	1,61
41	0,44	47,44	6,54	0,32	0	0,43	1,24	1,35
43	0,67	47,54	6,38	0,32	0,11	0,44	1,42	2,12
45	0,73	45,78	8,41	0,31	0,09	0,47	1,4	2,24
47	1,2	41	13,1	0,33	0,07	0,6	2,75	4,12
49	1,05	42,12	11,43	0,35	0,08	0,56	2,29	3,66
51	1,23	40,54	13,62	0,31	0,06	0,57	2,7	4,07
53	1,63	35,85	19,99	0,26	0,07	0,72	3,74	6,36
55	2,05	31,84	23,99	0,28	0,05	0,82	3,71	7,76
57	1,55	34,97	20,47	0,26	0,06	0,73	2,94	6,4
59	1,35	37,93	16,48	0,25	0,08	0,65	2,55	5,06
61	1,48	36,93	18,49	0,26	0,07	0,64	2,92	5,22
63	1,8	34,64	21,66	0,25	0,06	0,71	3,11	6,06
65	2	34,56	22,14	0,27	0,06	0,66	3,84	5,98
67	1,89	32,78	25,61	0,26	0,05	0,74	3,33	6,76
69	1,68	35	22,7	0,24	0,06	0,67	3,07	5,77
71	1,37	38,04	18,55	0,25	0,08	0,65	2,82	5,04
73	1,17	40,19	15,42	0,28	0,09	0,58	2,4	4,06
75	1,1	40,1	14,54	0,28	0,09	0,52	2,44	3,67
77	1,25	39,95	15,99	0,25	0,08	0,65	2,57	4,94
79	2,23	32,11	23,64	0,24	0,05	0,8	4,62	8,01
81	3,12	26,78	29,05	0,24	0,03	0,9	6,42	10,13
83	4,37	19,89	36,47	0,24	0,01	1,05	9,88	15,13
85	4,42	18,33	36,44	0,24	0	1,12	10,29	17,77
87	4,31	18,95	34,8	0,24	0,01	1,15	10,33	18,38
89	5,11	16,36	40,49	0,25	0,01	0,99	12,18	17,65
91	5,25	15,66	42,85	0,24	0,01	1,15	11,68	18,58
93	5,42	15,91	41,95	0,26	0	1,04	11,35	17,5
95	5,48	15,52	44,19	0,24	0,01	0,99	11,26	16,12
97	5,63	15,57	43,84	0,24	0,01	1,1	10,84	16,98
99	6,1	16,21	42,92	0,24	0,01	1,08	10,77	16,12
101	6,87	16,07	44,03	0,24	0,01	1,04	11,26	15,33
103	7,93	18,18	38,62	0,24	0,01	0,93	10,11	13,75

CAMPANHAS DE SONDAAGEM DO ANO 2008

FURO 1020

profundidade	MgO	CaO	SiO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
1	1,38	43,46	14,67	0,34	0,06	0,43	1,51	2,43
2	0,85	48,93	6,64	0,32	0,03	0,42	0,78	1,54
4	1	48,12	6,44	0,32	0,06	0,43	1,48	2,08
5	1,22	47,71	6,35	0,32	0,07	0,43	1,72	2,02
6	0,93	46,59	8,77	0,32	0,11	0,44	1,34	2,58
7	0,99	45,71	9,5	0,32	0,15	0,45	1,49	3,08
9	0,93	43,32	14,19	0,3	0,15	0,44	1,53	3,06
11	0,87	47,34	8,28	0,33	0,09	0,43	1,19	2,29
12	0,95	46,1	9,08	0,32	0,14	0,44	1,3	2,98
14	1,21	40,2	17,31	0,32	0,29	0,46	2,35	4,81

15	1,21	40,2	17,31	0,32	0,29	0,46	2,35	4,81
16	1,09	42,78	14,31	0,3	0,19	0,44	1,82	3,64
18	1,72	38,15	17,86	0,3	0,26	0,51	3,04	5,13
19	1,34	42,53	11,35	0,3	0,13	0,51	2,85	4,39
20	1,37	41,8	11,89	0,3	0,17	0,51	3,16	4,6
21	2,4	27,71	28,83	0,33	0,98	0,52	6,75	9,49
22	3,72	26,56	30,35	0,31	0,52	0,42	11,63	7,92
23	5,64	21,06	33,53	0,34	0,32	0,39	19,31	8,53
24	5,49	21,46	33,32	0,32	0,8	0,39	18,52	8,67
25	5,73	21,3	33,97	0,32	0,51	0,38	19	8,21
27	6,04	19,9	34,62	0,33	0,26	0,39	20,79	8,45
29	2,57	28,3	27,44	0,31	0,88	0,53	6,68	9,11
30	1,58	39,7	13,86	0,29	0,25	0,52	3,75	5,4
31	2,28	27,35	31,68	0,3	0,36	0,56	6,79	9,33
32	2,27	27,41	31,21	0,29	0,53	0,49	8,12	9,4
33	1,76	22,94	40,82	0,29	0,87	0,55	5,82	12,43
35	2,73	21,18	36,1	0,31	0,89	0,54	10,14	13,53
36	2,2	20,75	40,42	0,29	1,05	0,55	7,88	14,36
39	2,36	19,2	43,59	0,29	0,72	0,62	8,84	13,91
40	1,9	20,35	38,15	0,31	0,71	0,69	7,97	14,81
41	2,34	21,58	37,79	0,32	0,64	0,66	7,52	13
42	2,89	24,31	35,05	0,3	0,51	0,56	8,52	9,85
43	2,2	21,29	36,97	0,29	0,86	0,64	8,18	14,3
44	2,21	19,66	37,49	0,3	0,96	0,64	9,16	15,38
45	2,21	19,36	40,97	0,38	0,94	0,63	8,77	15,16
46	3,06	19,25	39,3	0,31	0,88	0,64	8,91	15,07
47	2,36	24,57	30,76	0,32	0,72	0,61	7,81	12,32
48	1,86	21,15	39,21	0,29	0,89	0,61	7,07	14,03
49	2,47	24,02	35,75	0,31	0,71	0,59	6,6	11,7
50	1,95	21,84	40,55	0,35	0,79	0,59	6,86	12,8
51	1,86	22,63	37,96	0,3	0,78	0,62	5,74	13,09
52	1,7	26,49	32,54	0,32	0,66	0,59	4,88	11,11
54	2,97	19,21	46,77	0,3	0,24	0,69	7,49	12,98
55	2,44	29,74	30,74	0,37	0,24	0,54	5,86	6,76
56	3,05	24,42	36,87	0,31	0,33	0,62	6,96	9,16
57	3,09	29,17	29,01	0,3	0,23	0,58	6,85	6,95
58	1,75	21,89	42,72	0,3	0,27	0,68	6,05	11,37
59	2,42	19,51	46,43	0,29	0,26	0,67	8,3	12,02
60	3,05	19,59	46,87	0,3	0,28	0,65	8,14	11,84
61	3,35	19,42	48,39	0,29	0,22	0,64	7,88	11,23
62	3,4	21,66	44,59	0,34	0,18	0,62	6,91	10,02
63	3,87	19,43	48,16	0,29	0,2	0,63	7,69	10,95
65	4,37	21,69	41,9	0,3	0,18	0,63	7,59	9,76
68	5,11	21,04	46,27	0,29	0,14	0,58	7,7	8,03
69	6,96	21,7	39,98	0,29	0,15	0,61	8,19	7,7
70	4,75	18,57	48,67	0,29	0,19	0,68	6,89	10,48
71	6,06	19,67	45,5	0,29	0,17	0,63	7,5	9,06
74	3,34	19,8	47,2	0,3	0,22	0,64	7,66	11,06
77	3,58	20,23	43,16	0,29	0,17	0,67	6,59	10,37
83	3,89	18,54	51,02	0,29	0,2	0,63	7,06	11,3
84	5,92	21,44	43,25	0,3	0,16	0,6	7,22	8,21
87	4,81	18,75	47,62	0,3	0,21	0,65	7,42	11,44
88	3,77	18,94	51,04	0,31	0,19	0,62	6,67	11,25
89	3,9	17,6	53,03	0,3	0,22	0,65	6,81	12,45

92	6,81	22,06	42,89	0,29	0,12	0,54	7,25	7,33
93	6,69	22,17	41,76	0,3	0,11	0,52	7,38	7,29
95	7,42	19,8	47,71	0,29	0,15	0,56	7,58	7,99

FURO 1021 A

profundidade	MgO	CaO	SiO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
15	2,44	26,86	31,31	0,31	0,32	0,59	7,11	9,63
16	2,41	21,16	40,34	0,29	0,6	0,63	7,98	13,28
17	2,45	22,06	39,31	0,3	0,55	0,6	8,42	12,31
18	1,86	26,62	35,67	0,29	0,41	0,54	6,22	9,06
19	1,86	25,99	32,84	0,32	0,56	0,58	6,42	11,09
20	2,17	25,52	36,99	0,31	0,47	0,51	7,9	9,29
22	2,43	20,64	39,45	0,31	0,72	0,58	9,96	13,32
23	1,81	21,03	48,07	0,35	0,63	0,55	6,63	11,32
24	2,44	23,2	34,6	0,31	0,68	0,57	9,73	12,6
25	2,74	21,12	37,75	0,29	0,72	0,57	10,18	13,2
26	2,42	21,91	37,11	0,29	0,68	0,57	10,01	12,94
27	2,33	18,86	43,31	0,29	0,88	0,59	9,64	14,77
29	2,48	17,82	42,44	0,3	0,99	0,63	9,87	16,59
30	2,68	18,59	38,19	0,3	0,88	0,62	11,3	15,81

FURO 1021 B

profundidade	MgO	CaO	SiO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
1	3	14,41	52,74	0,29	0,85	0,67	8,55	17,49
2	2,4	19,97	45,19	0,31	0,61	0,62	6,73	13,41
3	2,67	20,09	44,4	0,29	0,55	0,62	7,15	13,17
4	2,62	21,75	44,9	0,3	0,37	0,6	6,09	11,14
5	2,85	22,64	40,76	0,29	0,41	0,58	7,1	11,14
6	2,79	19,01	46,06	0,29	0,59	0,65	6,97	14,33
7	2,91	21,05	44,31	0,3	0,45	0,6	6,87	11,85
8	2,89	20,65	45,62	0,31	0,41	0,6	6,84	11,78
9	3,26	20,21	44,17	0,3	0,4	0,61	7,99	12,38
10	2,55	23,81	39,54	0,31	0,43	0,58	6,11	10,92
11	2,66	26,08	38,58	0,29	0,21	0,55	5,73	8,29
12	2,58	26,5	39	0,31	0,13	0,54	5,97	7,32
13	2,84	23,58	43,13	0,29	0,16	0,57	6,32	8,92
15	2,94	23,18	41,93	0,31	0,27	0,58	6,5	9,96
16	2,84	23,58	43,13	0,29	0,16	0,57	6,32	8,92
17	7,4	23,22	39,44	0,29	0,12	0,53	6,97	6,79
20	6,19	20,99	45,19	0,3	0,14	0,57	7,44	8,02
23	5,32	18,87	50,13	0,33	0,17	0,6	7,8	9,96
26	4,27	17,25	51,7	0,32	0,23	0,66	7,36	12,98
30	5,25	18,86	47,57	0,29	0,2	0,67	6,73	10,29
33	3,93	17,57	48,35	0,32	0,24	0,73	6,26	12,99
34	3,93	16,45	54,72	0,35	0,24	0,71	6,2	12,9
35	8,59	21,73	39,04	0,3	0,15	0,6	7,11	7,32
38	9,24	21,87	38,07	0,29	0,16	0,59	6,77	7,06
39	7,46	23,41	35,99	0,29	0,14	0,57	7,7	7,46
41	3,79	20,6	47,54	0,29	0,19	0,61	7,06	10,31
42	3,82	20,18	46,81	0,29	0,19	0,6	7,47	10,48
43	3,46	24,2	41,55	0,29	0,12	0,56	6,17	8,32
44	4,48	22,89	42,21	0,32	0,12	0,54	7,48	8,53
45	4,14	18,06	51,04	0,32	0,02	0,63	7,53	11,83
46	6,59	19,98	45,67	0,3	0,07	0,59	7,76	8,84
47	2,85	41,05	17,92	0,39	0,04	0,43	2,15	2,16

48	1,42	47,02	9,19	0,35	0,01	0,45	0,82	2,03
49	1,22	47,91	7,49	0,31	0,01	0,45	0,66	1,91
50	1,71	46,01	10,16	0,31	0,01	0,45	0,92	1,91
51	0,84	35,55	29,57	0,4	0,03	0,47	1,36	2,5
52	1,95	40,96	18	0,31	0,02	0,49	1,03	2,79
53	1,15	49,78	4,75	0,3	0	0,43	0,45	1,4
54	1,9	37,19	29,44	0,3	0,01	0,44	0,85	1,86
55	2,24	40,3	19,72	0,29	0,01	0,48	1,04	2,49
56	2,99	36,52	25,46	0,31	0,02	0,49	1,53	2,98
57	4,39	30,51	36,76	0,43	0,04	0,52	2,82	3,87
58	3,43	32,3	35,46	0,33	0,02	0,48	1,66	3,39
59	3,41	32,38	33,17	0,31	0,02	0,51	1,53	3,65
60	3,74	36,87	24,64	0,3	0,01	0,49	1,31	2,69
61	2,68	37,54	24,28	0,3	0,02	0,49	1,24	2,77
62	3,39	35,86	26,01	0,3	0,03	0,51	1,63	3,41
63	3,06	35,01	28,9	0,32	0,04	0,48	1,64	2,92
64	6,01	28,12	38,2	0,31	0,1	0,52	2,23	4,24
65	11,38	23,26	40,41	0,3	0,05	0,51	4,1	4,3
66	12,3	25,48	35,91	0,31	0,07	0,49	3,14	3,05
67	14,77	27,33	28,91	0,29	0,03	0,44	2,5	1,96
68	13,07	24,57	39,51	0,29	0,04	0,43	2,6	2,06
69	13,62	25,78	32,5	0,3	0,05	0,49	2,91	3,38

FURO 1022

profundidade	MgO	CaO	SiO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
2	1,98	29,21	25,84	0,29	0,45	0,62	5,4	10,48
3	2,67	19,99	39,6	0,35	0,8	0,59	10,06	14,19
4	1,91	25,9	36,99	0,29	0,4	0,55	6,13	9,13
5	2,3	19,17	45,48	0,29	0,67	0,62	8,28	13,79
6	2,43	20,68	40,1	0,36	0,79	0,6	8,96	14,07
7	1,83	23,96	38,87	0,29	0,57	0,56	6,4	10,7
8	2,37	19,51	39,51	0,3	0,94	0,6	9,98	15,28
9	2,29	17,8	42,76	0,3	1,07	0,62	9,8	16,7
10	2,16	25,27	29,59	0,31	0,68	0,61	7,37	12,73
11	2,26	18,22	43,63	0,29	0,97	0,6	9,26	15,65
12	2,35	23,03	34,64	0,3	0,78	0,58	8,38	13,28
13	2,18	22,03	37,98	0,29	0,84	0,58	7,72	13,46
14	1,92	26,58	30,72	0,29	0,66	0,58	6,02	11,44
15	2,19	28,74	30,51	0,32	0,54	0,51	5,46	8,76
16	2,08	34,06	29,41	0,4	0,07	0,42	5,28	3,55
17	1,74	30,17	28,84	0,3	0,36	0,58	4,1	8,57
18	2,53	20,77	46,09	0,29	0,48	0,6	6,72	11,74
19	2,51	25,17	37,35	0,31	0,32	0,58	5,96	9,68
20	2,97	19,88	46,68	0,29	0,36	0,61	7,66	11,78
21	2,83	23,39	44,48	0,3	0,19	0,57	6,16	8,99
24	2,9	22,69	44,49	0,33	0,2	0,59	6,57	9,52
25	3,11	19,25	49,79	0,31	0,23	0,63	7,52	11,32
26	3,54	18,83	51,03	0,3	0,21	0,63	7,16	11,12
28	3,13	20,63	48,08	0,32	0,2	0,61	6,63	10,47
29	3,45	18,21	50,75	0,31	0,27	0,64	7,56	12,26
32	2,87	23,8	38,98	0,29	0,31	0,59	6,92	10,15
33	2,32	28,24	38,33	0,29	0,14	0,53	4,37	6,3
35	3,15	19,71	49,63	0,3	0,25	0,62	6,33	10,74
38	2,63	21,22	47,8	0,3	0,25	0,63	5,1	10,15
39	2,95	20,39	48,21	0,33	0,22	0,64	6,18	10,33

41	2,63	23,97	44,67	0,31	0,15	0,6	4,78	7,84
42	3,35	39,13	21,19	0,33	0,02	0,47	1,12	2,39
43	1,7	45,62	9,89	0,31	0,04	0,48	0,78	2,3
44	1,96	40,23	12,36	0,32	0,02	0,49	0,8	2,25
45	2,58	38,98	22,43	0,3	0,01	0,46	1,07	2,23
46	2,92	38,29	23,24	0,3	0,02	0,47	1,31	2,53
47	2,74	38,87	22,63	0,3	0,02	0,46	1,11	2,3
48	2,98	35,68	28,18	0,29	0,02	0,48	1,49	2,89
49	5,08	33,25	30,82	0,32	0,02	0,48	1,58	2,74
50	2,88	31,45	36,5	0,3	0,03	0,5	1,85	3,2
51	9	19,35	63,09	0,32	0,04	0,43	2,55	2,86
52	12,94	27,54	27,96	0,3	0,05	0,51	2,76	3,38
53	13,38	27,84	28,58	0,35	0,05	0,48	3,06	2,89
54	12,96	27,23	34,82	0,29	0,03	0,41	2,17	1,4
55	13,09	24,1	36,33	0,3	0,04	0,42	3,01	2,04
56	9,21	19,42	63,87	0,31	0,05	0,43	2,6	2,87
57	14,53	26,45	31,34	0,31	0,03	0,42	3,11	1,98
58	15,25	27,9	39,49	0,29	0,03	0,41	1,99	1,26
59	16,31	29,91	22,87	0,3	0,04	0,41	1,72	1,27
60	14,75	27,7	29,53	0,32	0,03	0,41	2	1,38
61	16,73	31,1	17,72	0,31	0,03	0,41	2,28	1,35
62	17,21	31,04	15,91	0,3	0,04	0,43	2,19	1,93
63	16,82	30,11	19,85	0,42	0,03	0,41	2,41	1,65
59	16,31	29,91	22,87	0,3	0,04	0,41	1,72	1,27
60	14,75	27,7	29,53	0,32	0,03	0,41	2	1,38
61	16,73	31,1	17,72	0,31	0,03	0,41	2,28	1,35
62	17,21	31,04	15,91	0,3	0,04	0,43	2,19	1,93
63	16,82	30,11	19,85	0,42	0,03	0,41	2,41	1,65
64	17,07	30,76	18,71	0,32	0,03	0,39	2,24	1,2
65	17,81	31,08	18,25	0,31	0,03	0,39	2,13	1,19
66	1,03	50,91	3,09	0,42	0,03	0,43	0,51	1,69
67	18,69	34,15	10,11	0,3	0,03	0,4	1,2	0,93
68	6,36	42,25	4,65	0,41	0,03	0,39	0,8	1,53
69	19,41	33,6	12,08	0,32	0,03	0,4	1,25	0,96
70	19,55	35,38	7,15	0,31	0,03	0,4	1,05	0,97
71	19,42	36,93	4,45	0,33	0,03	0,39	0,88	0,85
72	18,56	37,91	3,87	0,31	0,03	0,39	0,79	0,75
73	16,59	39,12	2,83	0,31	0,03	0,4	0,95	0,95
74	19,21	36,54	4,98	0,31	0,03	0,4	0,96	0,91
75	18,58	37,64	3,66	0,31	0,03	0,4	0,94	0,86
76	16,77	38,74	4,31	0,31	0,03	0,39	0,81	0,88
77	16,71	39,42	2,63	0,31	0,03	0,4	0,77	0,88
78	17,71	36,1	7,77	0,29	0,02	0,39	0,8	0,69
79	18,16	34,53	10,04	0,3	0,03	0,4	1,03	1
80	17,53	35,56	9,66	0,32	0,03	0,39	1,01	0,79
81	17,58	34,66	10,14	0,35	0,03	0,41	1,43	1,12
82	17,09	31,72	15,36	0,42	0,04	0,43	2,35	1,71
83	17,64	31,65	13,89	0,43	0,04	0,44	1,73	1,75
76	16,77	38,74	4,31	0,31	0,03	0,39	0,81	0,88
77	16,71	39,42	2,63	0,31	0,03	0,4	0,77	0,88
78	17,71	36,1	7,77	0,29	0,02	0,39	0,8	0,69
79	18,16	34,53	10,04	0,3	0,03	0,4	1,03	1
80	17,53	35,56	9,66	0,32	0,03	0,39	1,01	0,79
83	17,64	31,65	13,89	0,43	0,04	0,44	1,73	1,75

84	16,6	30,1	20,51	0,45	0,03	0,43	1,47	1,52
85	15,51	30,55	21,59	0,41	0,04	0,42	1,32	1,42
86	15,99	34,67	12,73	0,42	0,03	0,41	1,25	1,19
89	14,16	33,57	15,05	0,37	0,03	0,44	2,2	1,57
91	15,47	34,07	10,65	0,42	0,03	0,45	1,85	1,21
94	10,12	35,98	7,77	0,53	0,02	0,44	1,97	0,96
95	11,8	38,99	8,02	0,38	0,02	0,43	1,58	1,44
96	6,29	44,27	6,93	0,35	0,01	0,42	0,82	1,34
98	13,11	40,46	4,66	0,36	0,03	0,44	1,12	1,57
99	12,67	41,7	4,21	0,36	0,02	0,4	0,92	1,02
100	13,44	39,63	4,01	0,37	0,04	0,42	0,56	1,23
96	6,29	44,27	6,93	0,35	0,01	0,42	0,82	1,34

FURO 1023

profundidade	MgO	CaO	SiO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
1	19,78	37,24	1,87	0,42	0,05	0,42	1,54	1,26
2	19,05	36,57	1,88	0,37	0,04	0,44	2,09	1,5
3	20,45	37,22	0,68	0,34	0,04	0,42	2,21	1,16
4	19,31	37,45	0,48	0,32	0,04	0,41	2,31	1,12
5	19,72	37,63	0,57	0,33	0,04	0,41	2,79	1,13
6	20,94	37,75	0,01	0,32	0,04	0,4	1,41	0,94
7	20,56	37,48	0,02	0,32	0,04	0,4	2,09	1
8	19,88	38,28	0,14	0,32	0,04	0,41	1,71	1,03
9	19,9	38,74	0,01	0,31	0,04	0,4	1,1	0,85
10	21,26	37,87	0,01	0,32	0,04	0,4	1,07	0,86
11	21,81	38,14	0,01	0,31	0,04	0,39	0,7	0,74
12	20,83	36,66	0,42	0,42	0,04	0,41	1,66	1,15
13	20,62	37,3	0,2	0,33	0,05	0,4	2,04	0,97
14	19,66	37,49	0,61	0,32	0,05	0,42	2,62	1,26
15	21,01	36,36	0,31	0,32	0,04	0,4	1,79	1,01
16	20,56	37,11	0,36	0,32	0,04	0,41	1,3	1,1
17	20,72	37,52	0,63	0,33	0,04	0,41	1,21	1,16
18	16,63	41,19	1,32	0,36	0,03	0,42	1,52	1,1
19	7,68	44,99	2,14	0,43	0,03	0,46	0,95	2,05
20	1,24	52,54	0,88	0,38	0,01	0,42	0,34	1,28
21	1,11	53,77	0,65	0,35	0,01	0,41	0,31	1,14
22	14,24	41,13	1,3	0,42	0,04	0,43	0,77	1,46
23	3,07	50,26	1,46	0,39	0,01	0,43	0,47	1,45
24	8,59	42,99	3,37	0,55	0,05	0,46	1,03	2,29
28	3,13	49,69	2,3	0,36	0,02	0,42	0,38	1,44
31	1,45	48,29	5,58	0,49	0,02	0,45	0,59	1,95
32	0,93	50,47	3,54	0,41	0,02	0,43	0,46	1,62
33	0,85	51,04	2,72	0,44	0,01	0,43	0,49	1,54
34	0,8	51,78	2,49	0,38	0,01	0,42	0,4	1,38
35	0,84	53,27	0,58	0,37	0,01	0,4	0,34	1
36	0,87	50,69	3,4	0,43	0,01	0,43	0,51	1,62
37	0,82	51,35	2,57	0,44	0,01	0,44	0,49	1,39
38	0,79	51,86	2,56	0,41	0,01	0,42	0,39	1,41
39	0,64	52,19	1,76	0,38	0,01	0,41	0,46	1,21
40	0,63	51,29	3,09	0,44	0,01	0,42	0,47	1,42
41	0,66	52,58	1,29	0,39	0,02	0,4	0,62	0,96
42	0,71	50,44	3,97	0,42	0,02	0,42	0,76	1,52
43	1,06	42,57	12,49	0,47	0,06	0,51	1,15	3,55
44	0,81	48,77	5,62	0,36	0,04	0,45	0,69	2,16
45	0,75	50,58	3,12	0,41	0,02	0,43	0,56	1,53

46	0,71	49,1	4,83	0,39	0,03	0,44	0,61	1,86
47	0,9	50,38	4,29	0,39	0,03	0,43	0,47	1,74
48	0,83	50,25	4,11	0,37	0,04	0,42	0,37	1,66
49	0,71	51,52	2,53	0,37	0,03	0,42	0,33	1,51
50	0,84	47,6	6,91	0,42	0,04	0,45	0,74	2,29
51	0,79	47,26	8,08	0,45	0,05	0,45	0,87	2,37
52	0,66	52,33	2,88	0,35	0,03	0,41	0,36	1,29
53	0,77	49,3	4,29	0,43	0,05	0,44	0,57	2,01
54	0,74	49,95	4,16	0,4	0,04	0,43	0,57	1,84
55	0,66	52,06	1,84	0,34	0,03	0,41	0,35	1,36
56	0,57	51,55	2,49	0,35	0,04	0,41	0,38	1,44
57	0,75	49,28	4,97	0,43	0,04	0,43	0,76	1,95
58	0,8	47,72	6	0,46	0,07	0,45	0,76	2,4
59	0,82	47,58	6,16	0,47	0,07	0,45	0,81	2,5
60	0,91	47,63	6,63	0,52	0,07	0,46	0,8	2,65
61	0,79	48,19	5,77	0,42	0,06	0,45	0,68	2,48
62	0,72	50,63	3,73	0,38	0,03	0,42	0,57	1,69
63	1,08	41,62	13,51	0,59	0,13	0,49	1,43	3,92
64	1,11	41,98	13,82	0,6	0,13	0,49	1,41	3,96
65	0,78	51,58	2,56	0,33	0,03	0,42	0,46	1,57
66	0,86	51,36	2,64	0,33	0,03	0,42	0,46	1,53
67	0,92	48,18	6,01	0,41	0,07	0,45	0,75	2,43
68	5,65	45,39	4,71	0,37	0,03	0,44	0,91	1,87
71	0,91	50,2	3,84	0,32	0,05	0,43	0,51	1,88
77	0,88	49,67	4,58	0,38	0,01	0,44	0,52	1,71
80	1,18	42,12	14,36	0,46	0,06	0,52	0,86	3,63
81	1,15	41,11	17,45	0,56	0,04	0,46	1,33	2,68
82	1,07	45,32	11,33	0,55	0,02	0,45	0,97	2,05
83	1,07	44,08	13,66	0,53	0,02	0,44	0,9	2,01
84	1,07	44,08	13,66	0,53	0,02	0,44	0,9	2,01

FURO 1024

profundidade	MgO	CaO	SiO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
2	0,71	52,31	1,62	0,36	0,01	0,41	0,37	1,31
5	1,08	50,69	3,38	0,48	0,02	0,43	0,61	1,7
6	0,78	51,31	1,91	0,41	0,02	0,44	0,45	1,77
7	0,81	51,78	1,25	0,41	0,02	0,43	0,46	1,66
8	0,79	50,19	2,89	0,43	0,03	0,47	0,51	1,76
9	0,79	50,19	2,89	0,43	0,03	0,47	0,51	1,76
10	0,67	51,29	1,79	0,42	0,02	0,44	0,44	1,25
11	0,64	51,98	1,56	0,45	0,02	0,43	0,44	1,08
12	0,62	51,28	1,15	0,4	0,01	0,43	0,41	0,94
13	1,07	52,38	1,3	0,39	0,01	0,43	0,44	0,9
14	0,82	51,55	1,91	0,42	0,01	0,44	0,47	1,09
15	1	48,95	3,63	0,52	0,02	0,49	0,77	2,02
16	1,33	49,22	4,59	0,57	0,02	0,47	0,68	1,79
17	0,89	51,67	2,35	0,4	0,01	0,47	0,45	1,01
18	0,92	51,3	1,93	0,41	0,01	0,45	0,5	1,27
19	1,65	50,29	3,64	0,52	0,01	0,45	0,59	1,38
20	1,65	50,29	3,64	0,52	0,01	0,45	0,59	1,38
21	1,66	51,26	2,5	0,39	0,01	0,44	0,52	1,1
22	5,82	46,33	2,27	0,35	0,02	0,45	2,04	1,15
23	14,57	37,38	2,58	0,38	0,04	0,45	5,99	1,23
24	16,67	36,98	2,71	0,39	0,04	0,45	3,33	1,11
25	20,95	37,12	0,9	0,39	0,04	0,42	1,21	0,69



27	19,95	37,08	1,2	0,35	0,04	0,42	1,55	0,8
28	19,47	36,88	1,4	0,38	0,05	0,43	2,09	0,87
29	19,85	36,78	1,5	0,36	0,04	0,43	2,09	0,95
30	18,56	37,26	1	0,34	0,04	0,43	2,87	0,8
31	20,11	37,29	0,76	0,34	0,04	0,41	1,78	0,62
33	19,7	37,35	0,85	0,36	0,04	0,42	2,32	0,68
34	18,09	36,3	2,35	0,41	0,05	0,46	3,42	1,42
35	4,75	46,63	2,72	0,46	0,03	0,47	1,65	1,63
36	2,36	48,02	4,44	0,39	0,03	0,47	0,97	1,62
37	1,83	51,26	1,86	0,37	0,01	0,43	0,76	0,89
38	1,37	49,46	2,96	0,42	0,02	0,46	0,76	1,59
39	0,81	52,92	1	0,36	0,01	0,41	0,39	0,73
40	3,79	48,78	2,88	0,39	0,03	0,45	0,83	1,3
41	0,86	51,13	2,64	0,38	0,04	0,44	0,51	1,43
42	0,63	51,82	1,25	0,37	0,03	0,41	0,46	0,89
43	0,67	52,48	1,21	0,37	0,02	0,41	0,48	0,87
44	0,65	50,8	3,15	0,35	0,03	0,42	0,73	1,11
45	0,67	52,64	1,43	0,35	0,03	0,41	0,51	0,8
46	0,56	52,1	1,76	0,38	0,04	0,4	0,48	0,89
47	0,81	48,75	5,57	0,39	0,09	0,45	0,73	2,01
48	0,6	52,48	1,25	0,35	0,02	0,4	0,37	0,73
49	0,79	50,25	3,8	0,37	0,02	0,43	1,27	1,32
50	2,73	34,9	16,04	0,45	0,05	0,51	8,63	4,34
51	0,97	51,29	2,4	0,36	0,01	0,43	1,09	1,05
52	0,97	51,29	2,4	0,36	0,01	0,43	1,09	1,05
53	0,95	51,79	2,3	0,36	0,01	0,42	0,66	0,83
54	1	52,54	1,5	0,38	0,01	0,42	0,53	0,81
55	0,87	52,18	1,9	0,38	0,01	0,43	0,58	0,86
56	5,26	49,02	1,28	0,34	0,01	0,42	0,59	0,68
57	5,26	49,02	1,28	0,34	0,01	0,42	0,59	0,68
58	17,63	40,16	0,39	0,33	0,03	0,4	0,79	0,41
59	17,63	40,16	0,39	0,33	0,03	0,4	0,79	0,41
61	9,64	45,81	1,09	0,35	0,01	0,42	0,69	0,74
62	9,64	45,81	1,09	0,35	0,01	0,42	0,69	0,74
64	4,86	49,51	1,99	0,36	0,01	0,43	0,86	0,84
65	4,86	49,51	1,99	0,36	0,01	0,43	0,86	0,84

FURO 1025

profundidade	MgO	CaO	SiO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
1	0,97	51,63	1,81	0,38	0,01	0,43	0,50	1,09
2	1,16	50,67	2,76	0,4	0,02	0,44	0,51	1,22
3	0,77	52,60	1,58	0,38	0,00	0,41	0,38	0,71
4	0,69	52,70	1,64	0,38	0,00	0,41	0,34	0,75
5	0,73	51,80	2,24	0,37	0,01	0,43	0,36	0,99
6	0,78	52,36	1,35	0,38	0,01	0,42	0,38	0,86
7	0,57	52,51	1,56	0,39	0,01	0,41	0,32	0,80
8	0,57	51,84	1,99	0,4	0,01	0,42	0,33	0,87
9	0,72	52,48	1,46	0,4	0,00	0,42	0,33	0,81
10	0,62	52,85	1,46	0,38	0,01	0,41	0,31	0,66
11	0,92	51,57	2,31	0,4	0,00	0,43	0,40	0,92
12	3,19	48,39	3,38	0,42	0,01	0,46	0,74	1,37
13	0,79	49,66	3,88	0,42	0,01	0,47	0,49	1,59
14	1,44	51,60	1,08	0,39	0,00	0,43	0,39	0,86
15	0,91	51,85	1,62	0,4	0,00	0,44	0,41	1,06
16	0,71	51,31	2,11	0,46	0,00	0,44	0,53	1,09

17	1,00	52,22	1,45	0,39	0,00	0,43	0,39	0,80
18	0,77	42,72	0,98	0,37	0,00	0,43	0,35	0,80
19	0,65	52,74	0,96	0,38	0,01	0,42	0,34	0,72
20	1,65	50,65	2,16	0,49	0,00	0,43	0,48	0,93
21	2,67	50,15	1,58	0,45	0,00	0,44	0,59	1,09
22	2,88	49,72	1,74	0,41	0,00	0,45	0,84	1,14
23	2,57	47,78	3,1	0,52	0,01	0,49	0,95	1,74
24	17,98	37,84	1,32	0,39	0,04	0,43	2,82	0,92
25	19,63	37,91	0,34	0,32	0,04	0,40	2,11	0,49
26	20,08	37,94	0,09	0,33	0,01	0,40	1,70	0,39
27	19,85	38,45	0,01	0,33	0,03	0,40	1,35	0,35
28	19,30	38,62	0,5	0,33	0,04	0,40	1,28	0,47
29	20,06	38,27	0,23	0,33	0,03	0,40	1,41	0,39
30	6,06	47,05	1,56	0,43	0,01	0,44	0,99	1,07
31	1,05	52,44	1,02	0,37	0,01	0,42	0,40	0,74
32	0,84	51,40	1,92	0,4	0,01	0,45	0,44	1,23
33	0,74	53,30	0,44	0,37	0,01	0,41	0,33	0,6
34	0,70	52,60	0,78	0,37	0,01	0,42	0,37	0,77
35	0,80	50,48	2,87	0,44	0,02	0,45	0,65	1,37
36	0,70	50,68	3,36	0,36	0,02	0,43	0,46	1,21
37	0,57	52,07	2,08	0,36	0,01	0,42	0,39	0,83
38	0,58	52,15	1,7	0,35	0,02	0,42	0,36	1,01
39	0,59	53,62	0,64	0,34	0,01	0,40	0,24	0,47
40	0,54	52,36	1,86	0,35	0,02	0,40	0,37	0,71
41	0,53	53,08	0,93	0,34	0,01	0,40	0,27	0,64
42	0,53	52,37	1,41	0,37	0,02	0,41	0,35	0,78
43	0,68	51,84	1,97	0,38	0,03	0,42	0,48	1,16
44	0,6	52,66	1,1	0,35	0,01	0,41	0,38	0,77
45	0,88	47,65	6,36	0,41	0,08	0,47	0,84	2,41
46	0,75	50,42	3,53	0,37	0,04	0,44	0,65	1,45
47	0,76	51,03	2,52	0,44	0,03	0,45	0,58	1,46
48	1,10	47,94	7,35	0,6	0,04	0,47	0,81	2,03
49	0,83	45,70	9,16	0,45	0,03	0,5	1,01	2,4
50	0,84	49,52	4,2	0,33	0,01	0,46	0,84	1,50
51	0,76	51,90	1,47	0,4	0,00	0,43	0,63	0,84
52	0,96	51,45	2,07	0,4	0,00	0,44	0,51	0,97
53	1,01	51,55	1,47	0,4	0,00	0,44	0,53	0,95
54	0,88	52,26	1,53	0,39	0,00	0,53	0,40	0,74
55	1,20	51,38	2,21	0,39	0,00	0,43	0,40	0,80
56	5,46	48,79	1,15	0,37	0,01	0,42	0,56	0,66
57	6,96	47,94	0,7	0,37	0,01	0,42	0,6	0,61
58	1,44	51,15	2	0,39	0,01	0,45	0,67	1,16
59	1,5	50,27	1,86	0,34	0,01	0,44	1,4	1,21
60	0,84	53,77	0,26	0,35	0,01	0,4	0,25	0,5
61	0,72	53,68	0,47	0,34	0,01	0,41	0,26	0,57
62	0,83	52,96	0,57	0,36	0,01	0,41	0,35	0,58
63	0,64	54,11	0,16	0,33	0,01	0,4	0,24	0,39
64	0,62	53,14	0,73	0,34	0,01	0,42	0,32	0,7
65	0,68	53,37	0,5	0,34	0,01	0,41	0,22	0,56
66	0,78	52,77	0,93	0,36	0,01	0,42	0,31	0,73
67	0,81	52,42	1,41	0,39	0,01	0,43	0,36	0,9
68	0,61	53,77	0,42	0,34	0,01	0,4	0,26	0,43
69	0,64	53,18	1,01	0,38	0,01	0,41	0,28	0,57
70	0,76	52,04	2,16	0,36	0,02	0,43	0,41	1,08

71	0,72	49,66	6,52	0,34	0,01	0,43	0,4	1,11
72	0,96	53,61	0,32	0,37	0,01	0,4	0,31	0,45
73	0,71	53,67	0,18	0,36	0,01	0,4	0,27	0,44
74	1,03	52,25	1,22	0,36	0,01	0,42	0,37	0,87
75	0,9	46,92	8,28	0,4	0,03	0,47	1,06	1,91
83	1,23	50,88	3,18	0,34	0,01	0,42	0,65	0,89
84	0,73	50,52	2,85	0,36	0,01	0,44	1,08	1,17
85	0,59	53,63	0,37	0,34	0,01	0,4	0,38	0,48
86	0,59	53,63	0,37	0,34	0,01	0,4	0,38	0,48
87	0,61	52,86	1,34	0,37	0,01	0,42	0,53	0,86
89	0,63	0,41	1,25	0,35	0,01	0,41	0,39	0,77
90	0,63	0,41	1,25	0,35	0,01	0,41	0,39	0,77
91	0,94	52,14	1,56	0,34	0,01	0,43	0,47	0,94
92	0,94	52,14	1,56	0,34	0,01	0,43	0,47	0,94
93	0,80	50,85	2,67	0,36	0,02	0,44	0,61	1,30
94	0,72	51,13	2,66	0,35	0,02	0,44	0,66	1,19
95	1,18	51,17	1,82	0,33	0,02	0,43	0,61	1,14
96	0,8	51,41	2,27	0,36	0,02	0,43	0,65	1,08
97	0,75	51,28	2,36	0,35	0,01	0,44	0,62	1,18
98	0,75	51,28	2,36	0,35	0,01	0,44	0,62	1,18
99	1,61	52,69	0,36	0,33	0,01	0,40	0,36	0,48
100	1,2	53,54	0,50	0,32	0,01	0,39	0,28	0,3
101	0,91	52,48	1,11	0,34	0,01	0,41	0,53	0,7
102	0,91	52,48	1,11	0,34	0,01	0,41	0,53	0,7
103	0,56	53,21	0,99	0,34	0,01	0,4	0,34	0,52
104	0,77	51,97	2,21	0,37	0,02	0,41	0,4	0,81
105	0,72	48,76	6,16	0,41	0,04	0,44	0,58	1,59
106	0,57	52,2	2,26	0,37	0,02	0,4	0,38	0,77
107	0,62	52,71	1,48	0,35	0,02	0,4	0,38	0,68
111	0,60	52,05	2,21	0,34	0,03	0,40	0,45	0,82
112	0,60	51,89	2,47	0,36	0,03	0,40	0,53	0,75
113	0,82	51,57	2,39	0,33	0,02	0,42	0,56	0,86
114	1,07	48,96	5,45	0,39	0,06	0,45	0,71	1,82
115	0,64	49,21	5,07	0,40	0,06	0,44	0,61	1,75
116	0,66	49,84	4,56	0,39	0,04	0,43	0,53	1,39
117	0,64	50,86	3,79	0,44	0,04	0,42	0,67	1,14
118	0,84	45,14	10,34	0,43	0,07	0,49	0,81	2,69
119	0,80	47,00	8,04	0,41	0,04	0,47	0,77	2,01
120	0,72	51,07	3,73	0,32	0,03	0,42	0,51	1,02
121	0,65	50,80	3,75	0,34	0,02	0,42	0,54	1
122	0,65	50,07	4,57	0,38	0,02	0,43	0,60	1,19
123	0,60	51,50	2,80	0,32	0,00	0,42	0,43	0,89
124	0,61	50,33	3,75	0,37	0,01	0,43	0,48	1,13
125	0,59	51,33	2,89	0,36	0,01	0,42	0,48	0,91
126	0,61	51,43	2,69	0,38	0,01	0,42	0,53	0,83
127	0,65	49,96	4,71	0,35	0,02	0,43	0,52	1,18
128	0,62	50,35	4,12	0,31	0,00	0,42	0,51	0,91
129	0,62	52,06	2,25	0,32	0,00	0,41	0,52	0,66
130	0,69	51,81	2,63	0,33	0,00	0,42	0,47	0,84
131	0,61	52,02	2,21	0,36	0,00	0,41	0,43	0,70
132	0,79	46,63	8,96	0,33	0,03	0,46	0,84	2,00
133	0,86	45,11	11,69	0,42	0,12	0,46	1,07	2,16
134	0,86	45,11	11,69	0,42	0,12	0,46	1,07	2,16
135	3,10	41,83	13,64	0,43	0,05	0,47	1,70	2,52

136	3,10	41,83	13,64	0,43	0,05	0,47	1,70	2,52
137	0,70	49,63	5,86	0,34	0,01	0,44	0,72	1,18
138	0,70	49,63	5,86	0,34	0,01	0,44	0,72	1,18
139	0,95	46,63	9,28	0,34	0,04	0,46	0,88	1,91
140	0,77	44,63	8,37	0,33	0,02	0,46	0,81	1,89
141	0,73	48,31	7,29	0,34	0,07	0,44	0,78	1,49
142	0,72	48,7	7,32	0,31	0,02	0,45	0,66	1,42
143	0,85	46,5	9,59	0,33	0,02	0,48	0,93	2,01
144	0,99	45,78	9,16	0,37	0,07	0,48	1,19	2,14
145	0,89	46,93	9,31	0,34	0,04	0,46	0,98	1,78
146	0,89	46,93	9,31	0,34	0,04	0,46	0,98	1,78
147	0,89	46,93	9,31	0,34	0,04	0,46	0,98	1,78

