

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**CONSOLIDAÇÃO DE CRITÉRIOS DE DESCRIÇÃO  
LITOLÓGICA PARA O MINÉRIO APATÍTICO DO  
COMPLEXO ALCALINO DE JACUPIRANGA**

Thiago Bastos Bonás

Orientadora: Profa. Dra. Lília Mascarenhas Sant'Agostino

Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental (GSA)

Co-orientadora: Geol. Paula Regina Pinheiro da Cunha Alves  
Bunge Fertilizantes S.A.

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA  
(TF-2001/36)

SÃO PAULO  
2001



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

CONSOLIDAÇÃO DE CRITÉRIOS DE DESCRIÇÃO LITOLÓGICA  
PARA O MINÉRIO APATÍTICO DO COMPLEXO ALCALINO DE  
JACUPIRANGA

THIAGO BASTOS BONÁS



DISCIPLINA 0440500 - TRABALHO DE FORMATURA

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Lília Mascarenhas Sant'Agostino

*Lília Sant'Agostino*

Profa. Dra. Mabel Norma Costas Ulbrich

*Mabel Norma Costas Ulbrich*

Prof. Dr. Fábio Ramos Dias de Andrade

*Fábio Ramos Dias de Andrade*



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DEDALUS - Acervo - IGC



30900009287

**CONSOLIDAÇÃO DE CRITÉRIOS DE DESCRIÇÃO  
LITOLÓGICA PARA O MINÉRIO APATÍTICO DO  
COMPLEXO ALCALINO DE JACUPIRANGA**

Thiago Bastos Bonás

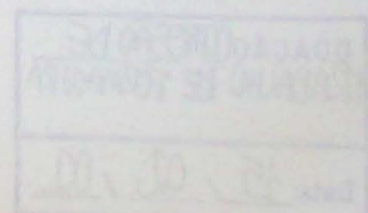


Orientadora: Profa. Dra. Lília Mascarenhas Sant'Agostino  
Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental (GSA)

Co-Orientadora: Geol. Paula Regina Pinheiro da Cunha Alves  
Bunge Fertilizantes S.A.

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA  
(TF-2001/36)

SÃO PAULO  
2001





TF  
B699  
TB.c

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

CONSOLIDAÇÃO DE CRITÉRIOS DE DESCRIÇÃO  
LITOLÓGICA PARA O MINÉRIO ALBATINHO DO  
COMPLEXO ALCALINO DE JACUPIRANGA



Thiago Bastos Barros

Orientador: Prof. Dr. Luiz Marcondes dos Santos  
Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental (GSA)

Co-Orientador: Geol. Paulo Sérgio Pinheiro da Costa Alves  
Bach. Ferraz de Assis

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA  
(77-20049)

SÃO PAULO  
2004

DOAÇÃO COMISSÃO DE TRABALHO DE FORMATURA
Data: 15 / 02 / 02



# USP

*Universidade de São Paulo  
Instituto de Geociências*



***Este projeto beneficiou-se do relacionamento entre universidade e empresa, essencial para a completa capacitação do geólogo voltado ao desenvolvimento e representação da ciência aplicada.***



Ao término desta jornada que se concretizou em minha formação profissional não poderia deixar de lembrar das pessoas que me ajudaram, reservando este discreto porém sincero espaço em minha monografia do Trabalho de Formatura para meus agradecimentos.

Aos meus colegas de faculdade que aqui destaco: Sérgio Willians (Aracy), Frederico Faleiros (Bambi), Carlos Henrique (Guano), Arthur Fosse (Sarita), André Sawakushi (Fruta), Janaína Faria (Mosca) e Paulo Marcondes (Tibúrcio).

A equipe de trabalho na qual estive ligado e aos novos amigos que conquistei nestes 36 meses de Bunge Fertilizantes, dentre eles; Agenor de Faria Jr., Walter H Leite, Paula Alves (Obrigado pelas dicas) e ao consultor Marco Aurélio (Geopit), que acreditaram em meu trabalho e respeito por aquilo que sempre estive disposto a aprender e executar dentro da empresa e sem os quais dificilmente poderia ter encarado as dificuldades que enfrentei ao longo do meu estágio.

A minha orientadora Prof<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup> Lília Mascarenhas San't Agostino, que de forma extremamente competente mostrou-me como se forma um profissional em geologia (Meus sinceros agradecimentos).

A minha família, Pai, Mãe, Irmãos, e Avós, que sempre acreditaram em meu potencial e investiram muito para que eu chegasse onde eu cheguei (Por enquanto é a forma mais respeitosa que posso retribuir tudo o que já me fizeram).

Que vossos mentores iluminem suas vidas e que lhes retribuam em dobro tudo aquilo que um dia, eles mesmos ajudaram a fazer por min.



## ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	3
1.1. OBJETIVOS	3
1.2. RELEVÂNCIA DO TEMA	4
2. LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO	5
2.1. LOCALIZAÇÃO E ACESSO	5
2.2. GEOLOGIA REGIONAL	6
2.3. GEOLOGIA LOCAL	6
2.4. A LINDA DE CAVALO	6
3. MATERIAIS E MÉTODOS	10
4. RESULTADOS GERAIS	12
4.1. FACHINHO DE CAVALO	12
4.1.1. Município de Cachoeira	12
4.1.2. Zona de estudo	23
4.1.3. Obras realizadas	25
4.2. LITOLOGIA	27
4.3. DOMÍNIOS GEOLÓGICOS E LITOLOGIA ASSOCIADOS	28
4.3.1. Domínio da zona de São	29
4.3.2. Domínio da zona de pedregos	32
4.3.3. Domínio granítico sul	33
4.3.4. Domínio metamórfico da zona de São	36
4.3.5. Domínio da zona de pedregos metamórfico	37
4.4. APLICAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE DISTRIBUIÇÃO LITOOLÓGICA	40
4.4.1. Município de São	40
4.4.2. Descrição de localidades de ocorrência	42
4.5. CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO	43
4.5.1. Fatores de peso	43
4.5.2. Testemunhos de ocorrência	44
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	48

Dedico este trabalho a minha irmã, que nos ensina as verdadeiras formas de superação de um ser humano perante as dificuldades da vida.



# ÍNDICE

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>3</b>
1.1. OBJETIVOS	3
1.2. RELEVÂNCIA DO TRABALHO	4
<b>2. LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO</b>	<b>4</b>
2.1. LOCALIZAÇÃO E ACESSOS	4
2.2. GEOLOGIA REGIONAL	5
2.3. GEOLOGIA LOCAL	6
2.4. A MINA DE CAJATI	8
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>10</b>
<b>4. RESULTADOS OBTIDOS</b>	<b>12</b>
4.1. PARÂMETROS DE DESCRIÇÃO	13
4.1.1 <i>Mineralogia do Carbonatito</i>	13
4.1.2 <i>Zona de reação</i>	23
4.1.3 <i>Dados estruturais</i>	25
4.2. LITOTIPOS	27
4.3. DOMÍNIOS GEOLÓGICOS E LITOTIPOS ASSOCIADOS	28
4.3.1 <i>Domínio da zona de falha</i>	29
4.3.2 <i>Domínio da zona de xenólitos</i>	32
4.3.3 <i>Domínio transicional sul</i>	35
4.3.4 <i>Domínio magnesiano/dolomítico norte</i>	36
4.3.5 <i>Domínio do corpo principal calcítico/magnesiano</i>	37
4.4. APLICABILIDADE DOS CRITÉRIOS DE DESCRIÇÃO LITOLÓGICA	40
4.4.1 <i>Mapeamento da mina</i>	40
4.4.2 <i>Descrição de testemunhos de sondagem</i>	42
4.5. CRITÉRIOS DE AMOSTRAGEM	42
4.5.1 <i>Frentes de lavra</i>	43
4.5.2 <i>Testemunhos de sondagem</i>	44
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>46</b>
<b>6. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA</b>	<b>48</b>



## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo-1, Cronograma efetivo de atividades

Anexo-2, DRX apresentando variações nos tipos de apatitas

Anexo-3, Mapa de subdivisão da cava em quadriculas 100X100m

Anexo-4, Descrição de frente de lavra a partir dos critérios homogeneizados

Anexo-5, Descrição de furo de sondagem a partir dos critérios homogeneizados

Anexo-6, Log de sondagem com representação dos litotipos

Anexo-7, Boletim de amostragem com intervalos amostrais definidos a partir dos critérios de descrição litológica.



## RESUMO

O complexo Ultramáfico–Carbonatítico de Jacupiranga dista 240km da cidade de São Paulo, com acesso principal pela BR-116, rodovia Régis Bittencourt, que faz ligação com o Sul do país.

O complexo de Jacupiranga foi descoberto por H.E. Bauer em 1877. Com uma área de 65km<sup>2</sup> ele engloba, em sua porção centro-sul, carbonatitos mineralizados a apatita, que se constituem foco deste trabalho.

O trabalho voltou-se à padronização de critérios geológicos para acompanhamento da lavra e da pesquisa mineral, gerando um guia de descrição litológica macroscópica com ênfase nos parâmetros que permeiam a lavra e a concentração mineral. Para tanto foram utilizados métodos e trabalhos consagrados em investigação geológica, sendo objetivo final a consolidação destas ferramentas em prol de benefícios industriais.

O guia visa tornar perene os critérios utilizados litológicas, favorecendo a integração entre mina e usina de concentração mineral, via planejamento de lavra, através da utilização de parâmetros geológicos como apoio à otimização do processo.

Os dados de descrição litológica foram integrados ao mapeamento da mina na periódica atualização do modelo geológico da jazida, processo que proporciona contínuo aumento na confiabilidade quanto aos limites, caráter tipológico e estruturas associadas à presença do minério.



## ABSTRACT

The ultramafic - carbonatitic complex of Jacupiranga located 240km from São Paulo city, with principal access via BR-116 highway, was discovered by H.E. Bauer in 1877. It has an area of 65km<sup>2</sup> and comprises, in its central-south portion, two apatite-bearing carbonatites, which are the main focus of this work.

This paper deals with geological criteria for mining fowling-up and mineral research, generating a guide for macroscopic lithological describe with emphasis on parameters for mining operation and mineral processing.

Traditional methods of geological investigation were used with true consolidation of these tools, aiming industrial benefices.

The guide intend to homogenize and make constant the lithological description criteria, looking forward an easy integration between the mining and the beneficiation plant, thought mining planning, applying the geological parameter as support for processing optimization.

In order to upgrade the confidence in the orebody boundaries, internal lithological distribution and structural arrangements, a periodic rebuilding of its geological modeling is developed, based on mine bench fronts mapping and drilling programs, for what the manual for lithological description is a fundamental tool.



## 1. INTRODUÇÃO

O complexo Alcalino de Jacupiranga (CAJ) constitui uma ocorrência clássica de rochas alcalinas e ultrabásicas no Brasil. Na porção centro sul do CAJ são encontrados os carbonatitos mineralizados a apatita que correspondem ao foco deste trabalho.

O minério apatítico carbonatítico vem sendo lavrado desde 1943, operação que visava o manto de intemperismo (minério residual) condição que expirou em meados da década de 70, dando-se início a lavra de rocha sã de menor teor ( $\simeq 5\% \text{P}_2\text{O}_5$ ).

Com o decorrer dos anos e aumento dos custos inerentes a exploração mineral, houve a necessidade da realização de trabalhos voltados a otimização e melhor aproveitamento do recurso mineral.

Como parte deste plano e associado aos projetos de Caracterização Tecnológica e refinamento do Modelo Geológico da jazida, encaixa-se o presente, que visa consolidar critérios de descrição de rocha voltados ao acompanhamento de lavra, desenvolvimento tecnológico, bem como consolidação e atualização do modelo geológico ao longo da extração do minério.

Este projeto beneficia-se do relacionamento entre universidade e empresa, essencial para a completa capacitação do geólogo voltado ao desenvolvimento e representação da ciência aplicada.

A Bunge Fertilizantes S.A., sucessora da Serrana Fertilizantes S.A., é responsável pela extração mineral no Morro da Mina, nome dado a jazida situada na cidade de Cajati (SP), sendo a empresa cooperadora neste trabalho de formatura.

### 1.1. Objetivos

O foco principal dos trabalhos esteve voltado à homogeneização e padronização de critérios com vistas ao acompanhamento da lavra e da pesquisa mineral, tendo como produto final a elaboração de um manual de descrição litológica com ênfase nos interesses que permeiam a lavra e a concentração mineral. Para tanto foram utilizados, como apoio, métodos e trabalhos já consagrados em investigação geológica, sendo o objetivo final do projeto a consolidação destas ferramentas em prol de benefícios industriais.



## 1.2. Relevância do trabalho

O fato de o trabalho proposto firmar critérios de descrições que possam ser independentes do responsável pelas mesmas, o torna de considerável aplicabilidade. Isso proporcionará a utilização das informações geradas de forma homogênea e contínua, favorecendo a integração entre a mina e a usina de concentração mineral, via planejamento de lavra, fazendo com que os parâmetros geológicos, de mineralogia, texturas e estruturas, sirvam como apoio à otimização do processo.

As informações obtidas na descrição litológica deverão ser integradas ao mapeamento geológico da mina na constante atualização do modelo já existente, processo que proporcionará um contínuo aumento na confiabilidade quanto aos limites físicos, condicionantes ígneos e estruturais associados à presença do minério.

## 2. LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

### 2.1. Localização e acessos

O complexo Ultramáfico – Carbonatítico de Jacupiranga dista cerca de 240 km da cidade de São Paulo (figura-1) cobrindo uma área de aproximadamente 65 km<sup>2</sup>.

O acesso principal se faz pela BR-116, rodovia Régis Bittencourt, que liga o Estado de São Paulo aos do sul do país.

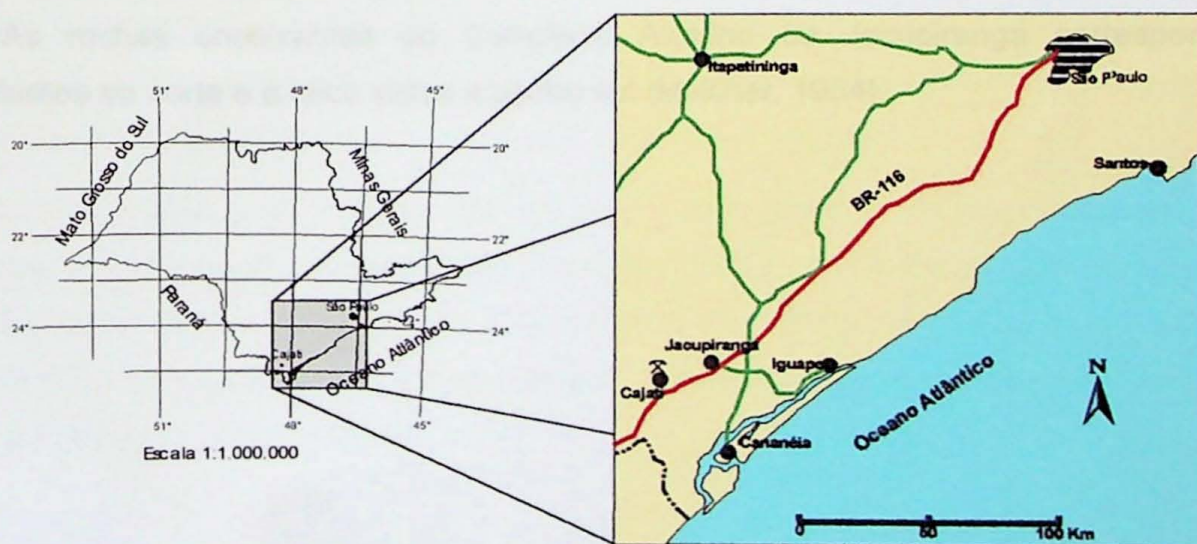


Figura-1. Mapa de localização e acessos da Mina de Cajati.



## 2.2. Geologia regional

O complexo alcalino de Jacupiranga situado a sul do estado de São Paulo, corresponde a uma seqüência de intrusões Cretáceas, que margeia a Bacia do Paraná, com idades radiométricas K/Ar e Rb/Sr  $131 \pm 3$  Ma segundo Amaral e Roden, (1985), *apud* Ruberti *et al.*, (1992),

As primeiras descrições foram publicadas por Derby em 1891. A partir de então vários outros autores interessaram-se pela evolução dos conhecimentos geológicos na região.

Caracterizada como uma região de intensa atividade magmática, Herz (1977), apresenta o CAJ. como um local de um difuso *hot spot* em uma série de junções trípticas, formadas por ocasião da abertura inicial do Atlântico Sul. O provável condicionante tectônico do CAJ. seria o arco de Ponta Grossa, uma estrutura NW – SE ativa, muito possivelmente, desde os tempos paleozóicos.

A estrutura interna do complexo compõe-se basicamente de dois corpos intrusivos principais (figura-2) dunitos na porção setentrional e jacupiranguitos na meridional. Rochas de composição alcalina ocupam geograficamente duas áreas expressivas dentro dos jacupiranguitos: na porção SW, ijolitos na forma de meia lua e, mais ao centro, carbonatitos ocorrendo como um corpo alongado segundo NNW (Ruberti *et al.*, 1992).

Foi proposta a eliminação do termo Jacupiranguito por Gaspar (1989), de acordo com as sugestões do IUGS (Streckeisen 1973) e inserido o termo clinopiroxenito, porém o nome jacupiranguito ainda permanece amplamente aplicado.

As rochas encaixantes do Complexo Alcalino de Jacupiranga correspondem a granodioritos ao norte e a mica xistos a centro sul (Melcher, 1954).



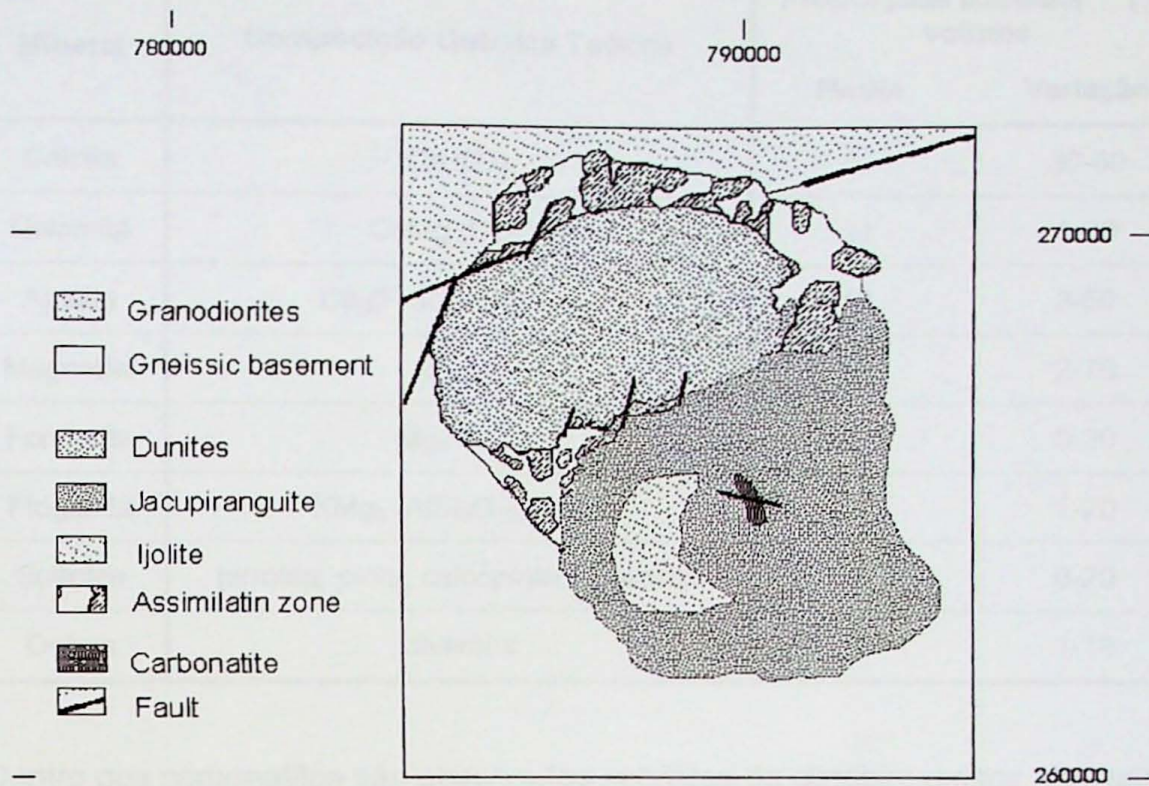


Figura-2. Mapa geológico do Complexo Alcalino de Jacupiranga (extraído de Sant'Agostino *et al*, 2001)

### 2.3. Geologia local

Na topografia atual da mina o carbonatito aflora com forma elíptica de orientação preferencial NNW – SSE, sendo o eixo maior aproximado de 1000m e o eixo menor de cerca de 400m. A elevação original máxima do corpo de carbonatito era de 225m relativamente à topografia local; campanhas de sondagens rotativas revelaram que ele estende-se pelo menos até a profundidade de 400m abaixo do nível do mar (Alves, 1999).

A mineralogia dos maiores constituintes corresponde a Calcita, Dolomita, Apatita, Magnetita, e dos menores constituintes, Flogopita, Forsterita e sulfetos, apresentando como traços Barita, Brucita, Ilmenita, Quartzo, Serpentina, Perovskita, Richterita, Titanita, Natrolita, Wollastonita, Clinohumita como traços (Gaspar, 1989). A tabela-1 representa a composição mineralógica média do carbonatito.



Tabela-1 – Variação da Composição Mineralógica dos Carbonatitos, segundo Gaspar (1985)

Mineral	Composição Química Teórica	Proporções Minerais (%)	
		Média	Variação
Calcita	$\text{Ca CO}_3$	57	30-80
Dolomita	$\text{CaMg (CO}_3)_2$	21	1-80
Apatita	$\text{Ca}_5(\text{F,Cl,OH}) (\text{PO}_4)_3$	12	3-50
Magnetita	$\text{Fe}_3 \text{O}_4$	7	2-70
Forsterita	$\text{Mg}_2 \text{SiO}_4$	2	0-20
Flogopita	$\text{KMg}_3 (\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$	2	1-20
Sulfetos	pirrotita, pirita, calcopirita e vallerita	2	0-20
Outros	<i>diversos</i>	1	1-10

Dentro dos carbonatitos são observados xenólitos de clinopiroxenitos (Jacupiranguitos), com dimensões de centímetros a até 5m. No contato entre o carbonatito e o clinopiroxenito geralmente ocorrem zonas de assimilação, tanto nos xenólitos como na encaixante, caracterizadas pelo bandamento mineralógico entre silicatos e carbonatos.

São ainda observadas feições estruturais como juntas, falhas e diques, além de uma bem marcada estrutura orientada de fluxo magmático em alguns setores da cava.

O mapa geológico simplificado do corpo carbonatítico com sua estruturação litológica interna está ilustrado na figura-3.



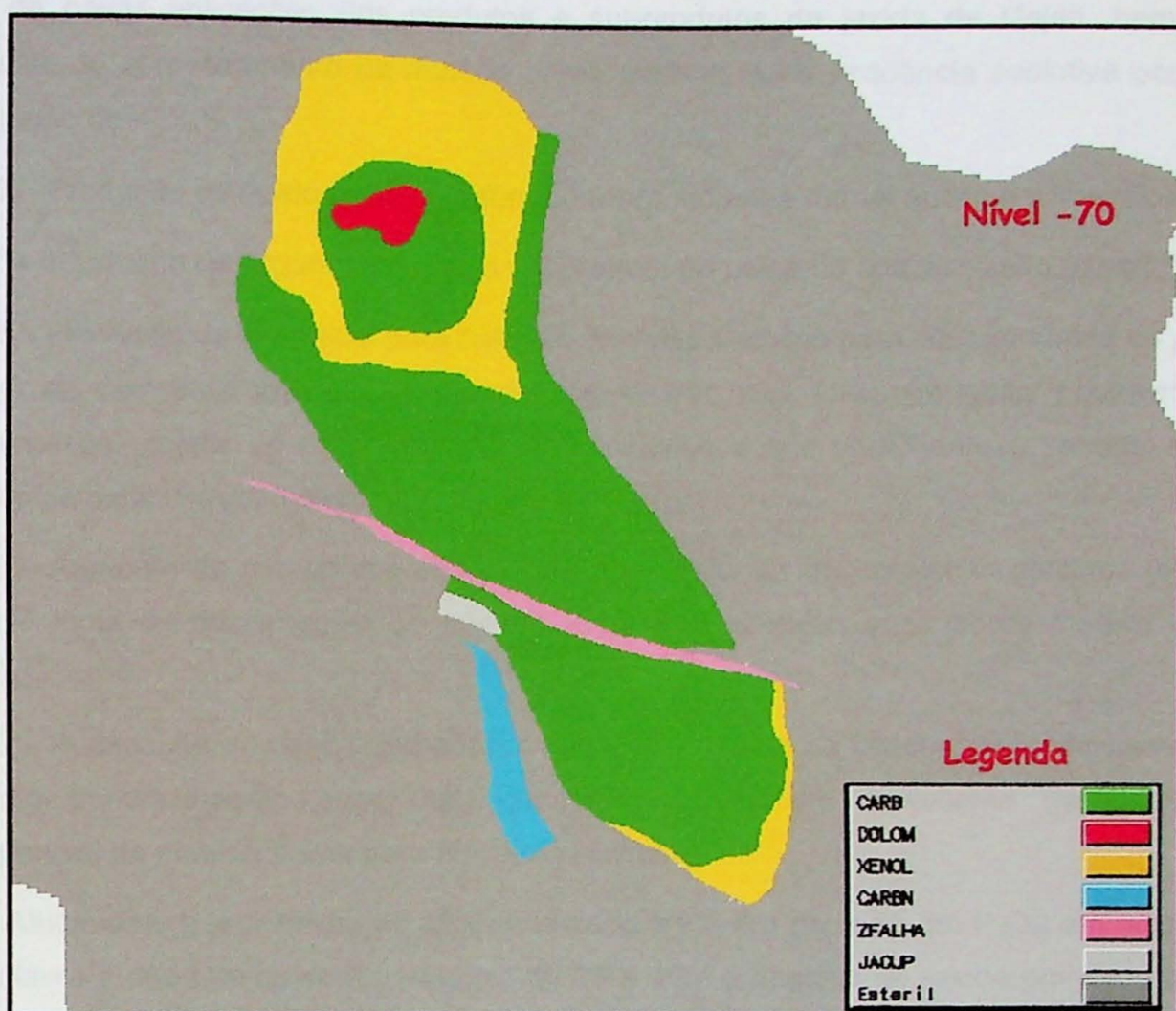


Figura-3. Mapa do corpo carbonatítico no nível -60 m obtido a partir do modelo geológico da jazida, atualizado em dezembro de 2000

#### 2.4. A Mina de Cajati

Com sua produção iniciada na década de 40, a Mina de Cajati, era caracterizada por apresentar seu minério apenas na forma residual, produto de alteração supérgena basicamente composto por apatita, magnetita e argilo-minerais. Este minério era lavado sobre peneiras e desmagnetizado, gerando um concentrado fosfático com cerca de 40% de  $P_2O_5$  e um máximo de 2,5% de  $Fe_2O_3$ , então utilizado para fabricação de fertilizantes.

No início da década de 70, por esgotamento do minério residual, passou-se a lavar rocha sã de menor teor em  $P_2O_5$ , o que viabilizou a utilização de rejeitos gerados no seu beneficiamento, tanto minerais carbonáticos como magnetita, na indústria do cimento, materiais que atingiam as especificações das matérias primas para esta aplicação.



No fim da década de 80, com a crise na indústria de fertilizantes houve um incentivo a busca de novas aplicações dos produtos e subprodutos da jazida de Cajati, bem como otimização do aproveitamento da matéria prima mineral, e na seqüência evolutiva ocorreu a implantação de:

- 1987- Produção de Ácido fosfórico refinado (para indústria farmacêutica e alimentícia),
- 1989- Produção de Argamassas (com subproduto da usina de concentração mineral),
- 1990- Produção de Fosfálcio para nutrição animal e Calcário para *filler* (indústria de papel), além de corretivos agrícola, brita para construção civil (Jacupiranguito encaixante), e fosfogesso<sup>1</sup>, rejeito da produção do ácido fosfórico e que atualmente é vendido para a indústria da construção civil.
- 1999- Aumento da recuperação de apatita no circuito de concentração de finos (material proveniente da deslamagem do minério após sua moagem, com teores médios de 3% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>),
- 2001- Purificação do rejeito carbonático gerado na planta de concentração de apatita, em planta beneficiamento específica, que resultou em um incremento na quantidade disponível de matéria prima para fosfálcio bicálcico.

Atualmente o teor médio do minério lavrado é 5% e o de corte 3% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, a produção se faz em lavra a céu aberto, com bancadas de 20 e 10m e ângulos de talude em torno de 80°, sendo a sua profundidade atual -70m em relação ao nível do mar. O desmonte é feito por explosivos, e a relação estéril / minério média é cerca de 1,4, ao longo do ano. A figura 4 apresenta o arranjo geral da cava no mês de julho de 2001.

A produção mensal de concentrado fosfático é de cerca de 45.000t, que corresponde a 10% do minério extraído (450.000t) e gera uma produção anual de 5,4milhões de toneladas de minério apatítico.

---

<sup>1</sup> Concentrado apatítico + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> = H<sub>2</sub>PO<sub>3</sub> + fosfogesso



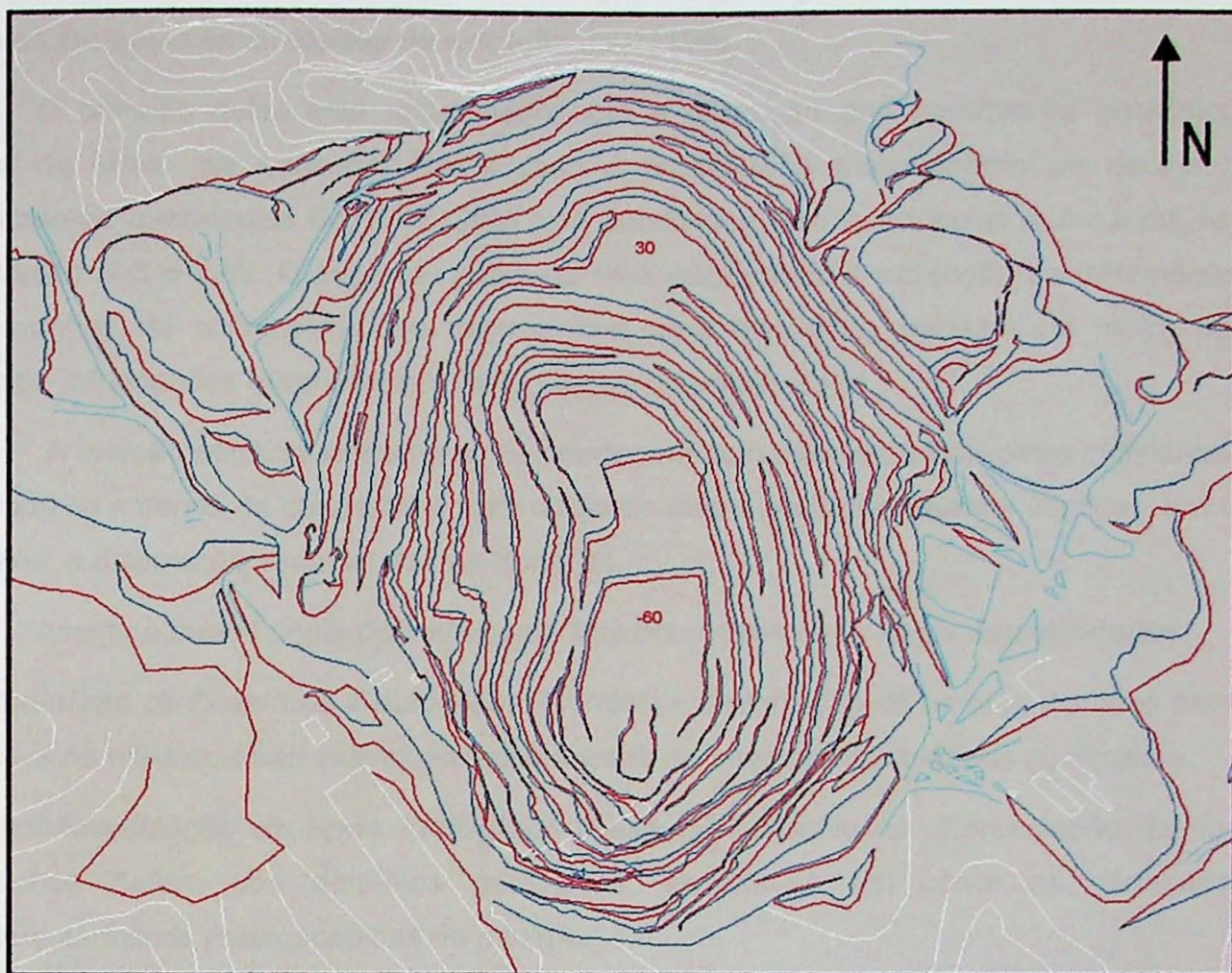


Figura-4. Arranjo geral da cava da Mina de Cajati atualizada no mês de julho de 2001.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Os trabalhos foram realizados dentro do contexto e como parte integrante das atividades de um programa de reavaliação e detalhamento do modelo geológico da mina, em desenvolvimento pela Empresa no período do TF.

A metodologia adotada baseou-se por aproximações sucessivas em diferentes escalas de trabalho. Num primeiro estágio o enfoque foi demarcação e caracterização dos domínios geológicos maiores, no estágio seguinte houve preocupação em verificar os atributos do minério relevantes para a definição de litotipos em cada um destes domínios.

Um dos pontos cruciais na metodologia desenvolvida era o de se estabelecer critérios que fossem aplicados em escalas de trabalhos diferentes sem que se prejudicasse a fidelidade dos atributos levantados. Os critérios de descrições são fortemente relacionados à atualização do modelo geológico e definição de litotipos para a Caracterização Tecnológica.



Foi gerado um guia de descrição litológica que é ilustrado com registros fotográficos e contempla dois universos distintos de investigações geológicas rotineiramente desenvolvidas na mina em apoio às atividades de extração do minério.

O primeiro deles está relacionado com a obtenção dos parâmetros geológicos em frente de lavra, por bancada. Neste caso é realizado o mapeamento na escala 1:500, utilizando-se quadrículas de 100X100m que subdividem em quadrículas a área da cava na orientação N-S e L-W. O segundo universo está relacionado à obtenção de informações em testemunhos de sondagem, que representam uma escala de trabalho de maior detalhe, gerando informações mais pontuais, pela sua representatividade.

A relação espacial entre furos de sondagem com intervalos litológicos individualizados segundo os critérios de descrição e com apoio do mapa geológico permite verificar, em escala de mina, a disposição espacial destas litologias.

Assim, a metodologia definida neste trabalho envolveu as seguintes atividades:

- **Definição de Domínios Geológicos:** Consistiu na definição de setores distintos dentro da cava da mina que são individualizados a partir de suas particularidades geológicas.
- **Individualização de tipos litológicos (Fase-1):** Consistiu na diferenciação de tipos de rochas dentro dos domínios geológicos, levando-se em conta as variações das características macroscópicas do minério.
- **Registro fotográfico:** Teve como objetivo principal a obtenção de imagens dos tipos litológicos individualizados. Neste caso foi utilizada câmara digital.
- **Descrição macroscópica:** Foram realizadas descrições do minério em cada um dos domínios apresentados, com a finalidade principal de se obter os parâmetros texturais e mineralógicos relevantes em vista desarmada e que servissem como base para individualização dos tipos litológicos.
- **Individualização de tipos litológicos (Fase-2):** Consistiu na individualização de tipos de rochas dentro dos domínios geológicos, levando-se em conta os parâmetros obtidos na descrição macroscópica, e análises químicas comparativas.
- **Mineralogia pontual:** Consistiu em aferições e detalhamento de mineralogia com recursos de microscópio estereoscópico e petrográfico (microscopia de grãos) e, menos freqüentemente difratometria de raios-X na identificação de espécies minerais bem como coloração seletiva para diferenciação de tipos de carbonatos, quando necessário para melhor caracterização dos tipos litológicos.



- **Definição de litotipos descritivos:** Esta fase foi caracterizada pela implementação de siglas que descrevem os aspectos mineralógicos e texturais tidos como relevantes para o processo de concentração mineral, bem como para futura individualização de tipos em um modelo tecnológico.
- **Estudos de aplicabilidade:** Consistiu na aplicação da metodologia desenvolvida em dois casos distintos, separados entre si na escala de trabalho. Um deles relacionado ao mapeamento em frente de bancada e o outro à descrição de testemunhos de sondagem.
- **Definição de critérios de amostragem:** Consistiu no desenvolvimento dos critérios para amostragem de seguimentos de testemunhos de sondagem e amostras volumétricas de frente de lavra, respeitando-se os parâmetros tidos como relevantes na definição dos tipos litológicos.
- **Guia de descrição e amostragem:** Nesta etapa foi gerado o material que funcionará como um guia de descrição litológica e amostragem, aplicável à ocorrência carbonatítica situada em Cajati. Este material habilita as descrições dos mais importantes parâmetros geológicos ligados à composição mineral da rocha, seus condicionantes ígneos e estruturais.

Com relação ao desenvolvimento dos trabalhos propostos, não foram encontrados problemas relevantes. Este fato se deu pela estreita cooperação da empresa Bunge Fertilizantes S.A. em todas as etapas, fossem elas de campo, com disponibilização de veículos e equipamentos de lavra, fossem elas laboratoriais, com a disponibilização de lupas, microscópio óptico, equipamento de RX e outros, além do domínio do tema por parte da orientação o que também minimizou muito as dificuldades.

Desta forma as atividades foram efetivamente desenvolvidas segundo o cronograma apresentado no anexo-1.

#### 4. RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados obtidos no âmbito do TF, e apresentados na seqüência, integram estudos e atividades em desenvolvimento da mina, sendo que têm caráter mais ou menos consolidado neste contexto multidisciplinar, interativo principal mas não exclusivamente com atividades de planejamento, operação de lavra e operação da usina de beneficiamento do minério.



#### **4.1. Parâmetros de descrição**

Com base nas observações sistemáticas das variações das características do minério nos dois universos contemplados (frentes de lavra e testemunhos de sondagem), foram definidos quais os parâmetros significativos para descrever o minério. Tais parâmetros ou atributos devem traduzir, da melhor forma possível, as feições geológicas, ao mesmo tempo em que contemplar aspectos relevantes para concentração do minério pelo processo em uso na unidade industrial.

Os parâmetros então definidos se reportam a dimensão e porcentagens dos maiores constituintes, presença e forma de ocorrência dos menores constituintes e dos minerais traços, além dos aspectos texturais e estruturais da rocha. Sua obtenção se apoiou em descrições macroscópicas à vista desarmada e com lupa manual, tendo-se estabelecido os critérios para tais parâmetros a serem adotados nas descrições. Para ilustração no Guia de Descrição foram selecionadas amostras de diversos setores do corpo mineral, que representassem o maior número de variações quanto as características referentes a texturas, estruturas e mineralogia da rocha, em vista desarmada.

A partir disso foram gerados agrupamentos segundo as variações das características acima descritas para que servissem como base para individualização de tipos litológicos.

##### **4.1.1 Mineralogia do Carbonatito**

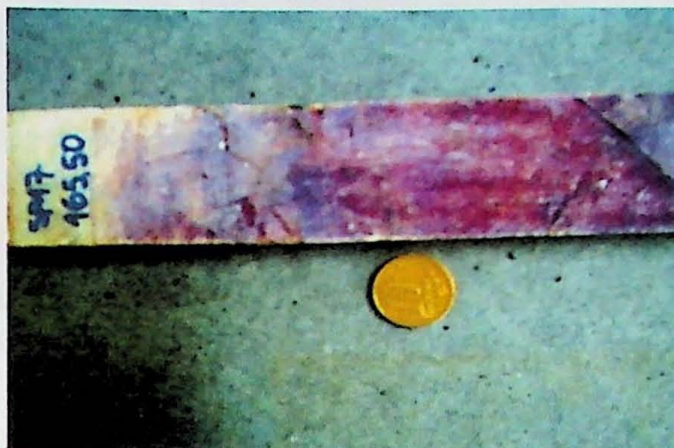
São expostos e ilustrados, na seqüência, aspectos texturais e estruturais para cada uma das espécies minerais componentes do minério carbonatítico, com os critérios que foram adotados na sua identificação e caracterização.

##### **➤ Carbonatos**

Foram identificados calcita, dolomita e siderita. A individualização macroscópica entre a calcita e a dolomita se fez pela reação da amostra ao contato com ácido clorídrico 1:1 ou 50%, onde observa-se que nos casos dolomíticos não há efervescência da amostra. Esta informação foi confirmada para amostras submetidas a análises químicas e tidas como dolomíticas pela adição de ácido que apresentaram teores maiores que 10% MgO no carbonato. A coloração seletiva (fotografia-1) também confirmou a eficácia na utilização do ácido clorídrico.



O carbonato siderítico é extremamente raro sendo apenas identificável com o auxílio de difração de raios X.



Fotografia-1. Aplicação de coloração seletiva para identificação de dolomita  
(dolomita em roxo)

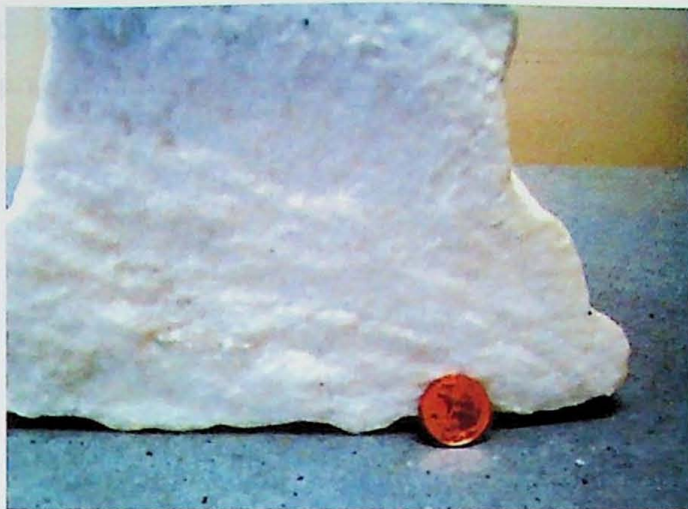
**Textura:** A tabela-2 apresenta as faixas de dimensões de grãos adotadas para os carbonatos. É importante destacar que material carbonático tido como de granulação fina (fotografia-2) apresenta-se como uma massa homogênea de clivagens pouco evidentes enquanto o de granulação grossa e clivagens ressaltadas (fotografia-3) geralmente sofreu recristalização.

Tabela-2 - Critérios adotados para caracterização de textura dos carbonatos

Granulação	Dimensão de Grão
Grossa	$>5\text{mm}$
Normal	$2 < d < 5\text{mm}$
Fina	$< 2\text{mm}$

$d = \text{dimensão}$





Fotografia-2. Carbonatito de granulação fina



Fotografia-3. Carbonatito de granulação grossa

Estruturas: A brecha de falha (fotografias-4 e 4a) é a principal variação estrutural nos carbonatos sendo que traz consigo fortes implicações no processo de concentração mineral, uma vez que este tipo de rocha já é “naturalmente moída” e muito mais propensa a gerar uma quantidade excessiva de finos na moagem do circuito industrial.

É bem observado o aspecto friável nos casos onde sistemas rúpteis são mais atuantes. A feição geral mais visível está relacionada a presença de uma matriz fina carbonática onde se concentra a apatita, envolvendo clastos angulosos do carbonatito semi-oxidados.



Fotografia-4. Brecha de falha recristalizada



Fotografia-4a. Brecha de falha com estrutura friável

Outra observação importante quanto à matriz carbonática está ligada ao grau de oxidação. A coloração amarelada permite a identificação desta característica sem grandes problemas. São observados dois tipos de básicos de oxidação. O primeiro deles está relacionado a alteração intempérica que ocorre na superfície e que afeta a mineralogia da rocha como um todo. O segundo ocorre em profundidade resultado da percolação de fluidos por sistemas de fraturas



conferindo uma modificação que atua principalmente na matriz carbonática. A fotografia-5 apresenta um carbonatito com matriz parcialmente oxidada.



Fotografia-5. Matriz carbonática oxidada

#### ➤ Apatita

O principal aspecto com relação à descrição deste mineral está associado a sua granulação, fato que tem relevância na usina de concentração mineral. Estudos em andamento indicam que apatita grossa na alimentação da usina de concentração tende a gerar os teores elevados de  $P_2O_5$  no rejeito da mesma.

As principais variações desta espécie mineral estão relacionadas à presença de fluorapatita e fluorhidroxiapatita, que podem ser observadas nos difratogramas do anexo-2.

Texturas: A tabela-3 apresenta as faixas de dimensões de grãos estabelecidas nos critérios de descrição das apatitas. É importante destacar que pontualmente podem ser observados cristais com mais de 3cm (fotografia-6) contudo essa rara ocorrência não foi contemplada nas faixas de dimensões de grãos.

Quanto à forma de ocorrência, os cristais de apatita são fortemente relacionados a uma estrutura de fluxo magmático que por vezes formam bolsões métricos (fotografia-7), fato que confere uma estrutura friável à rocha que contém apatita grossa.



Tabela 3 - Critérios adotados na descrição da apatita

Granulação		Coloração	Hábito	Quantidade (% em volume)	
Grossa	>3mm	Esverdeada	Granular e/ou prismático	Muita	>10%
Normal	3> d >1mm	Esverdeada	prismático	Normal	10>q>5%
Fina	<1mm	Incolor	ovóide	Pouca	<5%

d= dimensão

q= quantidade



Fotografia-6. Mega-cristais de apatita



Fotografia-7. Bolsões de apatita

(Cristais de apatita em coloração verde)

### ➤ Magnetita

De fácil identificação com ou sem auxílio de imã de mão, os minerais da série magnetita-ilmenita apresentam coloração preta e por vezes exibem, nos cristais de maiores dimensões, um zonamento bem visível à vista desarmada.

A separação da magnetita na planta industrial se faz via tambores magnéticos de campo fixo com minério em polpa após o processo de moagem, uma vez que existe um ótimo granulométrico para a recuperação deste mineral.

A descrição dos parâmetros texturais é de suma importância, pois a resistência a moagem está diretamente relacionada a tipos de minérios que possuem maiores granulações nas magnetitas, que não são fragmentadas a ponto de serem recuperadas em sua totalidade conservando alto o teor de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  no rejeito da usina de concentração podendo inviabilizar sua aplicação como sub-produto para cimento ou foscálcio.



Texturas: A magnetita corresponde a um dos minerais de maior variação granulométrica, sendo possível observar cristais de dimensões maiores isométricos muito bem formados.

A tabela-4 apresenta os critérios de dimensões de grãos adotados para descrição da magnetita e suas quantidades relativas.

Tabela 4 - Critérios adotados na descrição da magnetita

Granulação		Quantidade	
Muito Grossa	$>3\text{cm}$	Muita	$>15\%$
Grossa	$3>d>1\text{cm}$	Normal	$15>q>5\%$
Normal	$1>d>0,3\text{cm}$	Pouca	$<5\%$
Fina	$<0,3\text{cm}$		

*d= dimensão* *q= quantidade*

As fotografias-8a, 8b e 8c apresentam as três variações mais comuns quanto à granulação da magnetita, ou seja, fina, normal e grossa, respectivamente. A fotografia-8c ilustra casos que podem ser descritos como magnetititos, com intervalos de até 40cm em testemunhos de sondagem, constituídos na sua maioria por magnetita.



Fotografia-8a. Magnetita fina em preto



Fotografia-8b. Magnetita normal em preto





Fotografia-8c. Magnetita grossa em grande quantidade

#### ➤ Flogopita

Apesar de ser considerada um menor constituinte, a flogopita pode ser encontrada em grandes quantidades concentradas em alguns setores da cava, a centro sul e nordeste mais especificamente.

Sua presença no minério implica em contaminação no rejeito da usina de concentração mineral, que é utilizado para fabricação de cimento e foscálcio. Para este segundo produto, existe um processo de purificação de rejeito implantado neste ano que consiste na extração deste silicato, o que ajuda na diminuição em MgO contido.

Texturas: Assim como a magnetita, a flogopita apresenta uma grande variabilidade de dimensões de grãos comparativamente aos demais constituintes, sendo as maiores dimensões particulares de casos pontuais na cava, não necessariamente associadas às maiores proporções relativas deste mineral.

A tabela-5 apresenta os critérios de dimensões de grãos e de quantidades relativas adotados para a flogopita.

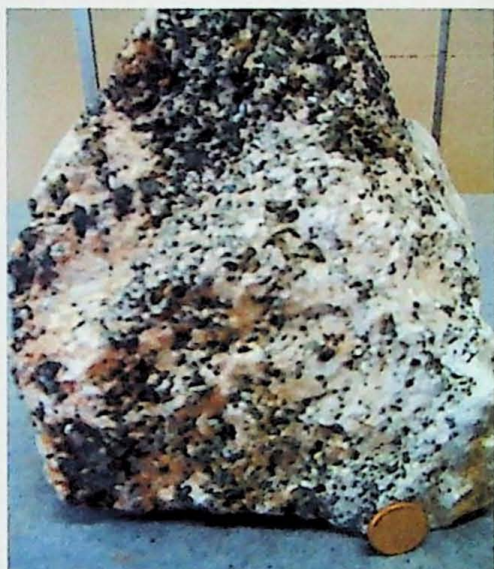


Tabela 5 - Critérios adotados na descrição da flogopita

Granulação		Coloração	Quantidades	
Muito Grossa	$>3\text{cm}$	Preta	Muita	$>10\%$
Grossa	$3>d>1\text{cm}$	Preta	Normal	$10>q>5\%$
Normal	$1>d>0,3\text{cm}$	Esverdeada	Pouca	$<5\%$
Fina	$<0,3\text{cm}$	Esverdeada		

*d= dimensão*                      *q= quantidade*

As fotografias-9a e 9b, apresentam duas formas diferentes de ocorrência da flogopita, em locais de grande concentração e que diferem entre si na granulação dos cristais, 9a normal e 9b muito grossa.



Fotografia-9a. Flogopitas normais



Fotografia-9b. Flogopitas muito grossas

### ➤ Sulfetos

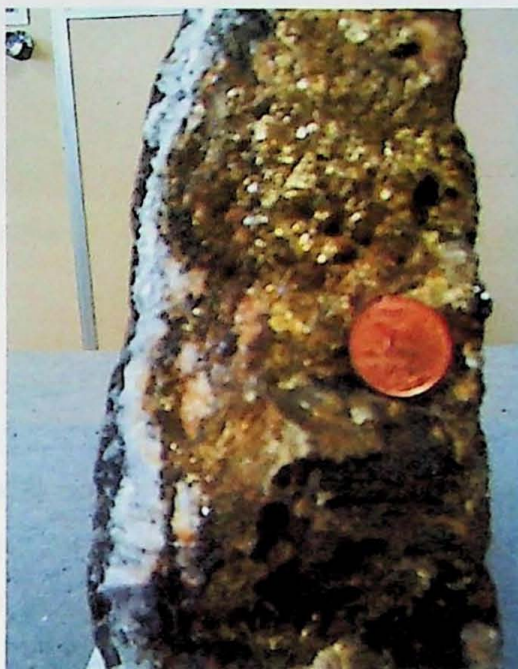
Predominantemente pirrotita e pirita, e apesar de ocorrerem em menor quantidade que a própria flogopita, sua presença deve ser destacada. Mesmo em pequenas proporções estes minerais podem interferir na aplicação do rejeito da usina de concentração mineral para indústria de cimento.

Na descrição, os aspectos a serem observados passaram a ser: presença do mineral e sua forma de ocorrência (Disseminados - Preenchendo vênulas - Associados à magnetita)



Em casos raros onde foram identificados sulfetos em maiores proporções relativas foi incluída a definição da porcentagem de ocorrência.

Pontualmente podem ainda ocorrer concentrações de mega-cristais de pirita e ou pirrotita, porém, este fato foi observado em apenas um ponto na cava ao longo do desenvolvimento dos trabalhos do TF. A fotografia-10 ilustra uma amostra que representa este caso.



Fotografia-10. Mega-cristal de pirita

#### ➤ Olivina

Presente como mineral menor constituinte de dimensões submilimétrica em vários locais da jazida, tem representação pouco expressiva dentro do corpo carbonatítico, sendo mais importante próximo a zona de falha, na sua porção central e a SW da cava.

Pode aparecer de forma pontual com cristais de até 6mm equidimensionais e coloração verde oliva que por vezes são substituídos por serpentina.

Assim como os sulfetos, podem ser observados mega-cristais de olivina ocorrendo de forma pontual. A fotografia-11, apresenta esta situação.





Fotografia-11. Mega-cristal à esquerda da imagem.

#### ➤ Serpentina

Poderá aparecer associado ao jacupiranguito encaixante, formando pequenos veios verde muito escuros de disposições irregulares com brilho sedoso, ou preenchendo vênulas, inclusive no carbonatito. Pela sua pouca expressão costuma-se descrever apenas sua ocorrência. Em alguns casos observa-se a serpentina substituindo a olivina, conservando a forma inicial desta.

#### ➤ Silicatos e outros

O termo silicato foi adotado para uma associação de granulação fina (submilimétrica) formada por flogopita, serpentina, olivina e, eventualmente, piroxênio, este em geral muito fino, dificultando sua identificação sem o auxílio de lupa ou microscópio. Os silicatos ocorrem principalmente próximos a zona de reação, por influência da contaminação de xenólitos de Jacupiranguito, ou pela própria relação de contato entre o Carbonatito e o Jacupiranguito. Sua presença é facilmente reconhecida pela coloração acinzentada que conferem ao carbonatito.

As evidências de campo indicam que zonas de silicatos não correspondem necessariamente a zona de reação, pois não são observados bandamentos composicionais característicos desta feição.

A mineralogia dos minerais traços não foi abordada neste trabalho. Contudo, concentrações de alguns destes minerais podem ser observadas, como na fotografia-12 que apresenta



anfibólios (richterita) de hábito acicular, em uma amostra obtida dentro de uma Zona de Reação entre o carbonatito e o Jacupiranguito encaixante.



Fotografia-12. Hábito acicular da richterita em verde pardo

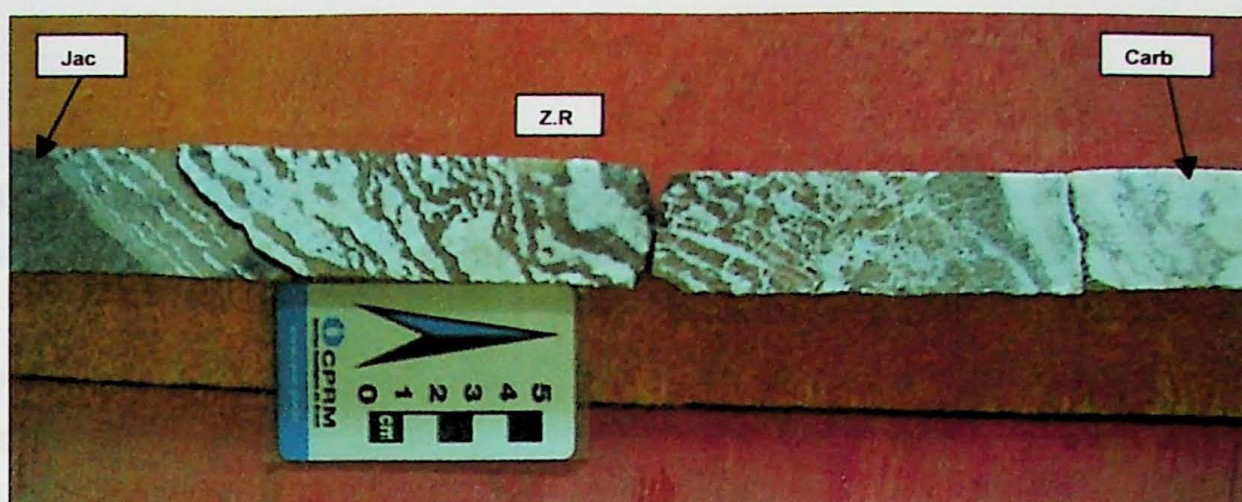
#### 4.1.2 Zona de reação

Zonas de reação ou de fenitização são caracterizadas pelo bandamento mineralógico entre silicatos e carbonatos, resultado de uma auréola metassomática.

Estas bandas são mineralogicamente distintas e podem ser observadas na relação de contato entre o carbonatito e o jacupiranguito, seja em xenólitos que ocorrem dentro dos carbonatitos com dimensões centimétricas até a ordem de 5m, seja no contato entre o carbonatito e o clinopiroxenito encaixante.

O caráter descritivo e mineralógico entre as bandas de reação em xenólitos e no jacupiranguito encaixante é diferente. No caso dos xenólitos (fotografia-13) observam-se bandas avermelhadas a cor de vinho constituídas na sua maioria por flogopita. Suas dimensões são no máximo decimétricas e mostram geometria mais ou menos regular.





Fotografia-13. Bandas avermelhadas constituídas na sua maioria por flogopita

No caso da zona de reação formada no contato jacupiranguito encaixante com carbonatito, observam-se bandas bem maiores de coloração preta ou um verde escuro. Mineralogicamente têm-se clinopiroxênio e magnetita nestas bandas. É possível observar a presença de anfibólio substituindo o clinopiroxênio e formando em volta destes uma aoréula de cristais aciculares.

A fotografia-14, apresenta uma zona de reação que se desenvolveu na relação de contato carbonatito e encaixante.



Fotografia-14. Zona de reação em região de contato carbonatito e jacupiranguito



#### 4.1.3 Dados estruturais

Conjuntamente com as descrições litológicas, no mapeamento e nos furos de sondagem são levantados os principais atributos estruturais com vistas ao constante melhoramento do modelo geológico geotécnico e genético.

Os dados estruturais auxiliam a interpretação da compartimentação das fases intrusivas do carbonatito. Estas divisões são importantes pelo fato de individualizarem corpos que possuem caráter litológico/químico distinto entre si.

Neste contexto, foi proposta a individualização dos seguintes atributos:

##### ➤ Fraturas

Neste caso o objetivo principal é definir famílias dentro da cava e posterior densidade de ocorrência de cada uma delas em setores distintos. Um exemplo é o da existência de uma população de fraturas a NW da cava, de baixo ângulo ( $40^\circ$ ) e direção geral NNW, que obriga que se executem taludes de ângulos inferiores aos praticados no restante da mina.

Fraturas de baixo ângulo  $30^\circ$  relacionadas com alívio de pressão decorrentes da própria lavra são uma família facilmente identificada, mas que por seu caráter sub-horizontalizado não revertem em fortes implicativos na geometria da cava.

Na descrição de testemunhos de sondagem obtém-se o número de descontinuidades por metro e seu grau de preenchimento.

##### ➤ Foliação de fluxo magmático

Permite auxílio na interpretação tectono-genética do modelo geológico, individualizando corpos de diferentes fases intrusivas pelas variações nas direções dos planos que contém alinhamentos minerais e ângulo de mergulhos das lineações minerais.

De maneira geral esta estruturação conserva uma tendência radial com mergulhos acentuados para o centro da cava. Dentro deste conceito são ainda observadas variações nestas direções sugerindo individualizações de seqüências intrusivas.



➤ Foliações tectônicas e falhas

Correspondem a orientações minerais secundárias provindas da atuação de sistemas rúpteis-ducteis existentes no corpo mineral e mais expressivo na região mediana da cava, Zona de Falha. Este atributo deve ser levantado com muita cautela para que não seja confundido com foliação de fluxo magmático.

➤ Contatos

Em alguns setores da cava pode-se observar um contato brusco entre o carbonatito e o jacupiranguito, fotografia-15 , que não exhibe grandes dificuldades para levantamento de sua atitude, contudo, é comum um caráter transicional entre estas duas rochas na grande maioria dos contatos, fazendo com que o levantamento de atitudes seja mais complexo devido as variações das silhuetas na região transicional. O aumento na densidade de medições de atitudes realizadas nestes casos permite que se definam tendências de encaixe do carbonatito.



Fotografia-15. Contato brusco entre carbonatito e jacupiranguito



## 4.2. Litotipos

No conjunto de atributos levantados na descrição litológica, existem alguns que possuem forte influência no processo de concentração mineral e aproveitamento de subprodutos (rejeito) e, portanto, devem ser controlados no planejamento de lavra da jazida.

Dessa forma, com base nestes atributos foram individualizados tipos litológicos que se referem a comportamento e aproveitamento industriais distintos. A tabela-6 apresenta os critérios de representação de litotipos, definidos segundo os domínios geológicos maiores e detalhados segundo os parâmetros da descrição litológica.

No caso da zona de xenólitos, costuma-se indicar também a porcentagem de zonas de reação + xenólitos, para uma estimativa da possibilidade de aproveitamento de minério no setor descrito.

Tabela-6 - Critérios adotados para representação de litotipos no mapeamento e nos furos de sondagem

Litotipos				
<b>CBC</b>	=Carbonatito a calcita	<b>ZF</b>	=Zona de falha	
<b>CBDL</b>	=Carbonatito a dolomita	<b>BR</b>	=Brecha	
<b>CBM</b>	=Intercalação de dolomita	<b>ZX (%)</b>	=Zona de xenólitos	
<b>CBOX</b>	=Carbonatito oxidado	<b>J</b>	=Jacupiranguito franco	
MINERAIS	<b>a</b>	=apatita grossa	<b>Critérios químicos da mina</b>	
	<b>m</b>	=magnetita >10% (grossa)	Calcítico	=MgO < 4,5%
	<b>f</b>	=flogopita > 15%	Magnesiano	=MgO entre 4,5 e 8%
	<b>si</b>	=presença de silicatos	Dolomítico	=MgO > 8%
	<b>s</b>	=sulfetos > 1%	Xenólito	=SiO2 > 10%
	<b>ol</b>	=presença de olivina	Encaixante	=Jacupiranguito

*Nota: **minerais** corresponde a siglas de representação dos litotipos, por exemplo: **CBCmf** (Carbonatito a calcita com magnetita >10% e flogopita >15%), **CBDLs** (Carbonatito a dolomita com sulfetos >1%). **CBOX** enquadra-se tanto para carbonatitos dolomíticos, (**CBDOLX**), quanto para calcítico, (**CBCOLX**).*



A tabela apresenta, ainda, os critérios químicos de individualização de tipos de minério praticados na mina por ocasião do desenvolvimento do TF, que permitem diferenciar principalmente o tipo de carbonato que será lavrado e se estes se situam em região de xenólitos, fato evidenciado pelo teor de sílica caracteristicamente. Contudo a química por si não caracteriza o material vindo da mina de forma a suprir as necessidades de informações da usina de concentração mineral, sendo a descrição litológica o elo de ligação entre estes dois universos.

#### **4.3. Domínios geológicos e litotipos associados**

A metodologia adotada no contexto dos estudos geológicos de aproximação sucessiva em escalas diferentes, proporcionou a individualização de domínios geológicos maiores que foram, em uma segunda etapa de maior detalhe da abordagem, caracterizados quanto seus litotipos.

Os domínios individualizados estão listados a seguir. Serão apresentadas neste item as particularidades de cada um deles.

- Zona de Falha
- Zona de Xenólitos
- Transicional Sul
- Dolomítico Norte
- Corpo Principal, Calcítico/Magnesiano

A fotografia-16, representa a disposição da cava com relação ao norte magnético servindo como um guia espacial para localização dos domínios. A arranjo horizontal dos mesmos pode ser também visualizada no mapa geológico (figura-3) gerado a partir do modelo do corpo de minério utilizado na mina.





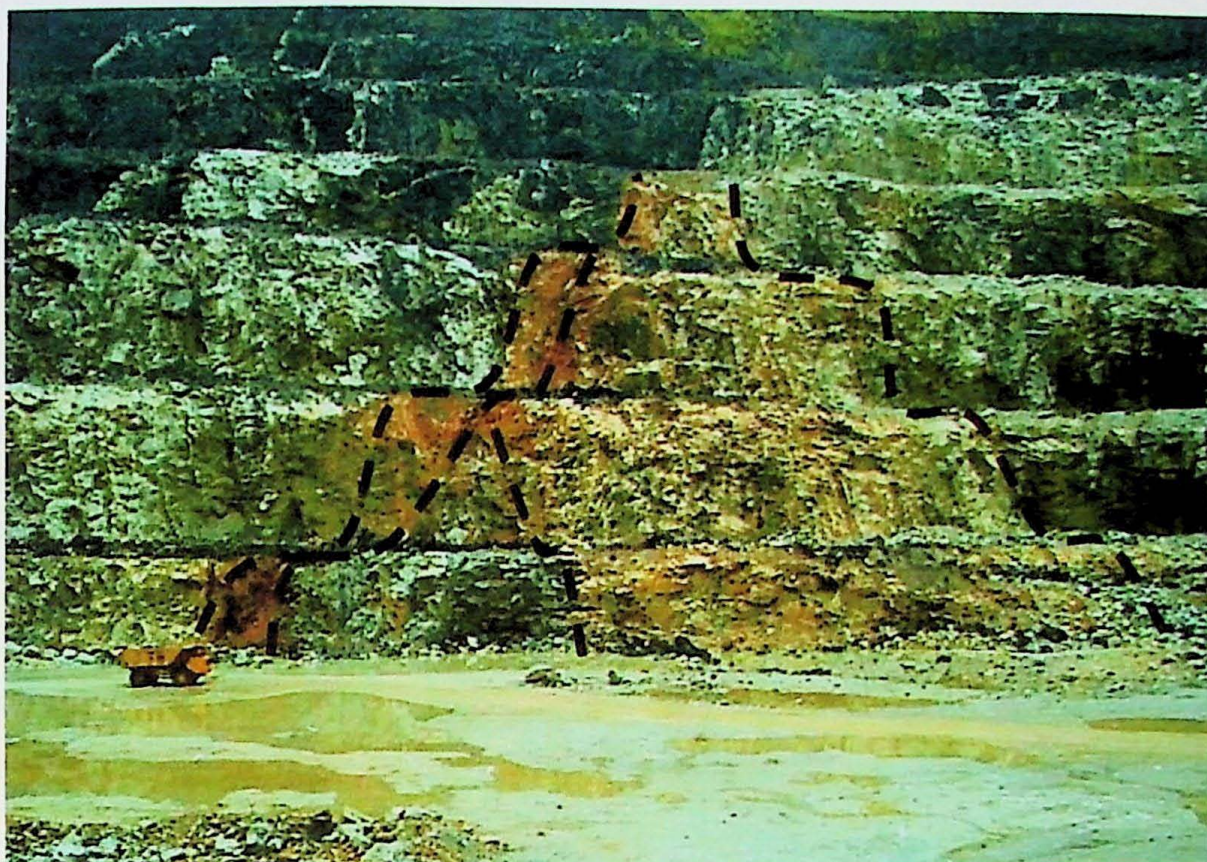
Fotografia-16. Disposição da cava em relação ao norte magnético

#### 4.3.1 Domínio da zona de falha

Corresponde a um sistema rúptil-dúctil que atravessa corpo carbonatítico na orientação  $280^\circ$  com mergulho geral subverticalizado, localizado na região centro-sul da cava; sua espessura não ultrapassa 10m com geometria “amendoada”. Sondagens rotativas a diamante revelaram que existe continuidade desta feição até, pelo menos, o nível  $-260\text{m}$ .

As feições macroscópicas associadas à zona de falha são variadas. Algumas delas podem ser observadas na fotografia-17, na qual podem ser visualizados três tipos litológicos divididos por pontilhados; externamente, em preto, o jacupiranguito encaixante e, em branco, os carbonatitos.





Fotografia-17. Ilustração de litotipos que constituem o domínio da zona de falha no flanco SE da cava

Os litotipos encontrados no domínio da zona de falha descritos segundo os critérios já apresentados foram assim nomeados:

CBCms \_\_\_\_\_ Magnetita carbonatito calcítico com sulfetos

CBCol \_\_\_\_\_ Carbonatito a calcita com olivina

CBCOX \_\_\_\_\_ Carbonatito a calcita oxidado

BR (bege) \_\_\_\_\_ Brecha bege

BR (cinza) \_\_\_\_\_ Brecha cinza

BR (vermelha) \_\_\_\_\_ Brecha vermelha ou “miolo de falha”

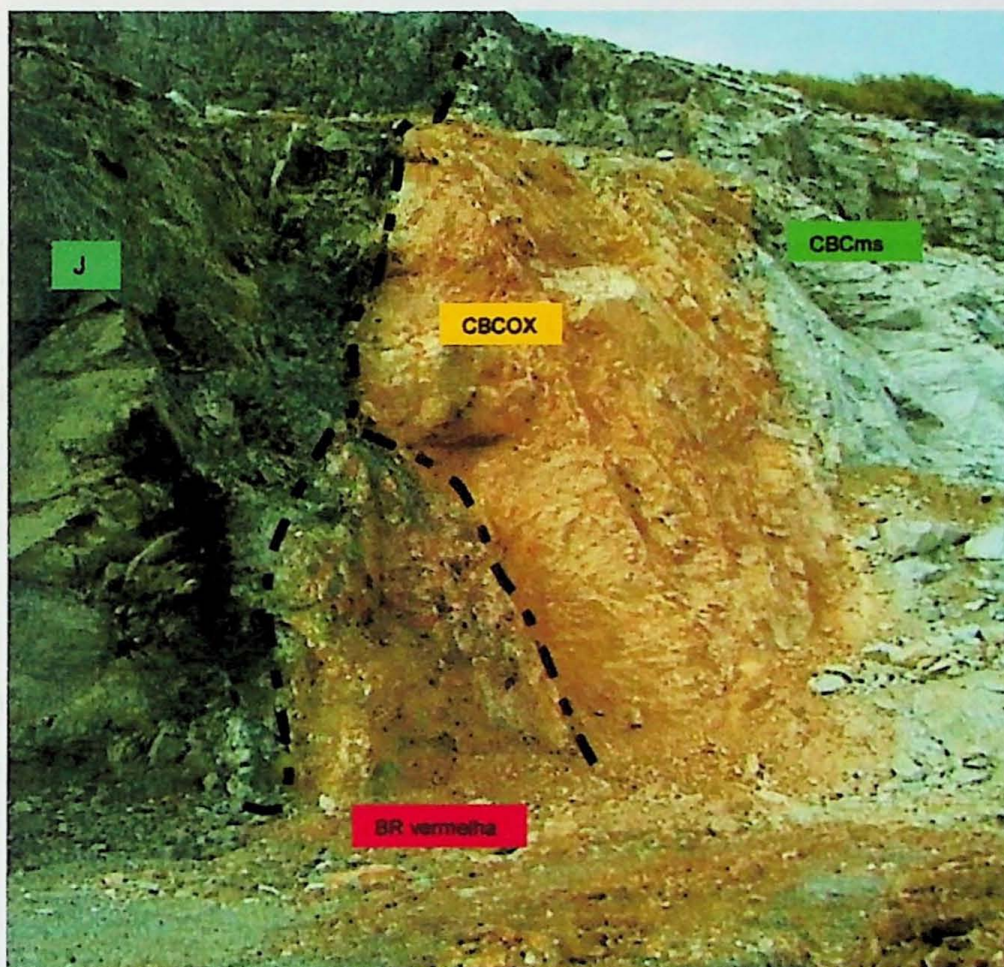
A individualização dos tipos dentro deste domínio é de suma importância, pois um deles – a brecha vermelha ou também chamado “miolo de falha” - possui comportamento muito particular no processo beneficiamento. Esta brecha apresenta acentuada oxidação e é composta por cristais centimétricos em uma matriz naturalmente cominuída e muito friável. Na moagem da usina de beneficiamento, tende à geração excessiva de finos oriundo das frações



mais finas, naturalmente já presentes nesta rocha. Esta fração fina acaba por não ser devidamente processada por sua grande quantidade, tornando ineficiente a recuperação da apatita no processo industrial. Toda esta problemática obriga que este tipo de minério seja incluído em baixas porcentagens nas pilhas de homogeneização.

A brecha bege constitui o litotipo de maior representatividade no domínio da zona de falha. Seu aproveitamento no processo de concentração é bem melhor que o “miolo de falha” pela menor produção de lama enriquecida em  $P_2O_5$ . Este fato se dá pela menor atuação do sistema principal de falha nessas rochas.

A brecha cinza, corresponde a menor representatividade na zona de falha, sendo um tipo com elevados teores em  $P_2O_5$ , porém com baixo aproveitamento na usina de concentração. Trabalhos de mineralogia fina descrevem altas concentrações de silicatos nestas rochas. O vínculo destas informações com a caracterização tecnológica mostrará os principais causadores deste problema. A fotografia-18 apresenta uma seção em bancada de vinte metros no nível -10, onde é apresentada a disposição relativa de alguns litotipos acima citados com a adicional presença do jacupiranguito encaixante.

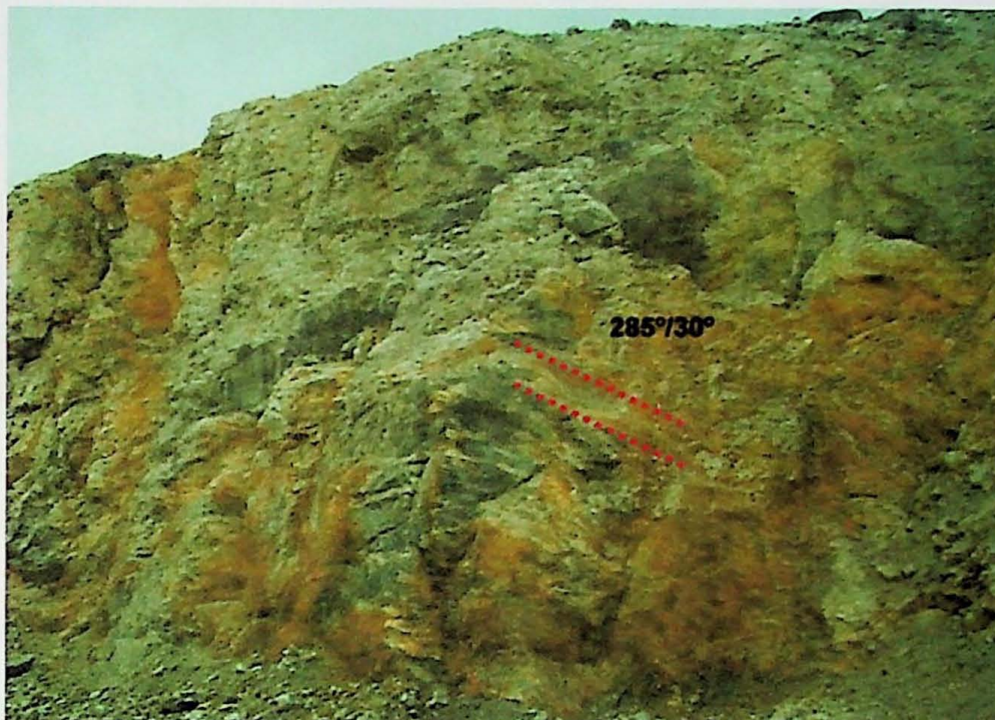


Fotografia-18. Detalhe de alguns litotipos observados no Domínio da Zona de Falha



Algumas feições estruturais são bem marcadas neste domínio, dentre elas podemos destacar, juntas de fraturas, juntas de alívio de carga, planos estriados e fortes lineações minerais tectônicas.

A fotografia-19 apresenta um plano estriado representando uma movimentação oblíqua em uma BR(bege), no setor W da cava em uma bancada de vinte metros no nível -30.

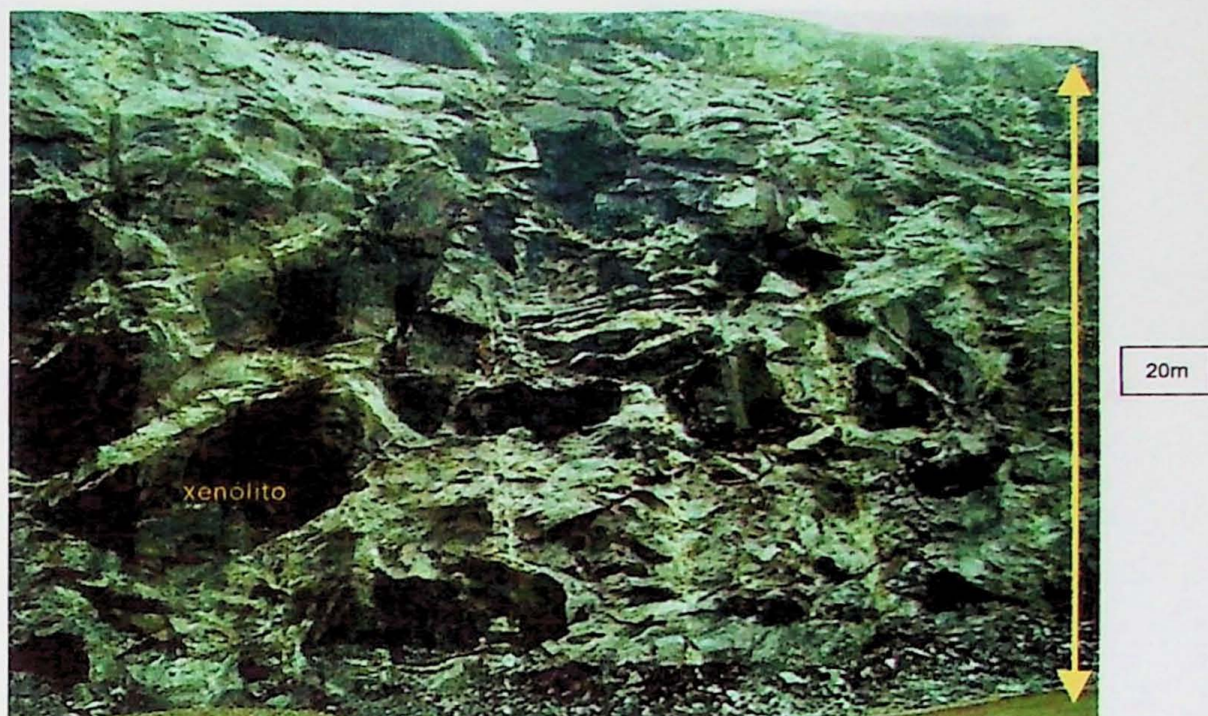


Fotografia-19. Planos estriados observados na Zona de Zalha, no litotipo BR(bege)

#### 4.3.2 Domínio da zona de xenólitos

A zona de xenólitos é caracterizada pela presença de jacupiranguitos com blocos que chegam a atingir alguns metros, dentro de uma matriz carbonatítica (fotografias-20a e 20b) podendo haver uma inversão deste contexto com regiões de até 70% em xenólitos com 30% de carbonatito. Uma particularidade deste domínio é a presença de zonas de reação (fotografia-21), caracterizada pelo bandamento mineralógico entre silicatos e carbonatos.



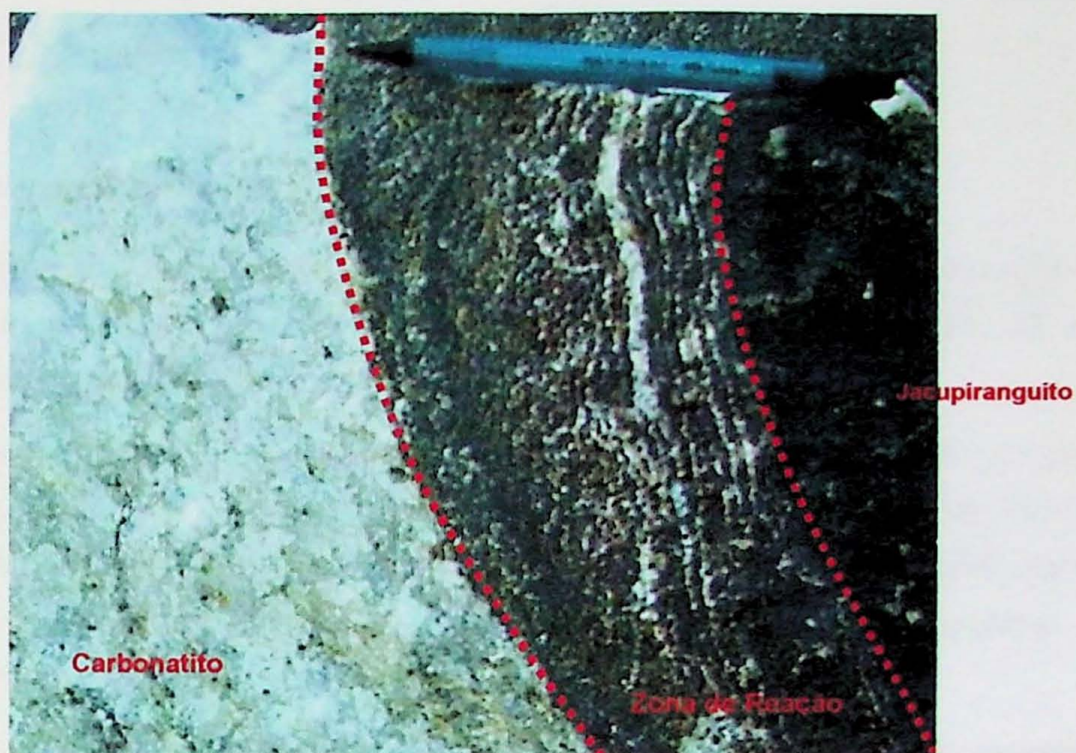


Fotografia-20a. Zona de xenólitos em detalhe



Fotografia-20b. Compartimentação norte da cava com destaque para zona de xenólitos





Fotografia-21. Ilustração do contexto jacupiranguito, carbonatito e zona de reação.

*Nota: é importante destacar a coloração avermelhada na zona de reação caracterizada pela presença de flogopita muito fina; outra assinatura peculiar nas bandas de reação é o da dimensão entre as mesmas que ultrapassam, no máximo, alguns centímetros.*

Um ponto tido como relevante nos levantamentos neste domínio é o de estimar a proporção volumétrica de xenólitos no intervalo mapeado. Considerando a distribuição caótica dos blocos de jacupiranguito, este fator é importante guia para lavra, na definição de volume de minério, caso os teores de fosfato definam o aproveitamento do carbonatito existente nesta região, situação em que é efetuado de um carregamento seletivo do minério desmontado.

Os litotipos presentes no domínio da zona de xenólitos são os seguintes:

CBMSi \_\_\_\_\_ Carbonatito com intercalação de dolomita e com presença de silicatos

CBMsif \_\_\_\_\_ Carbonatito com intercalação de dolomita, com presença de silicatos e flogopita > 15%

CBCsi \_\_\_\_\_ Carbonatito a calcita com presença de silicatos

Jac \_\_\_\_\_ Jacupiranguito (xenólitos)



O levantamento da foliação de fluxo magmático é de suma importância neste domínio, pois serve como um forte indicativo quanto à continuidade em profundidade da zona de xenólitos.

#### 4.3.3 Domínio transicional sul

Este domínio foi individualizado pelo caráter do contato encontrado entre o carbonatito e o jacupiranguito na porção extremo sul da cava, formando grandes bandas de reação diferenciadas por sua composição mineralógica (fotografia-22).

O domínio transicional sul também poderia ser designado como região ou zona de xenólitos sul, porém, o contexto genético desta região e do domínio da Zona de Xenólitos é diferente. O transicional sul é caracterizado pela relação de contato entre o carbonatito e o jacupiranguito encaixante, contraposto ao da Zona de Xenólitos que corresponde a um domínio dentro do corpo de carbonatito (ver mapa geológico item 2.3. figura 3).

As atividades de mapeamento realizadas, associadas a novas informações de sondagem indicaram a ocorrência de outra zona transicional a NE da cava, a ser incluída no modelo geológico da jazida. Contudo, até a conclusão do trabalho de formatura, as informações não haviam sido consolidadas o suficiente para que constasse das discussões. De toda forma esta região representará um incremento na reserva lavrável, mesmo com aproveitamento parcial, pela necessidade de se realizar um carregamento seletivo.



Fotografia-22. Domínio transicional sul e Carbonatito calcítico sul



Quanto aos litotipos que constituem esta região, é importante destacar que a presença de apatita grossa é bem marcante, assim como os silicatos que evidenciam, nestas rochas, uma contaminação do jacupiranguito encaixante. Sulfetos ocorrem, na maioria das vezes, de forma disseminada e a magnetita apresenta-se por vezes em abundância. Os tipos presentes estão listados a seguir:

CBCamsiol \_\_\_ Carbonatito a calcita com apatita e magnetita grossas, silicatos e olivina

CBCamsis \_\_\_ Carbonatito a calcita com apatita e magnetita grossas, silicatos e sulfetos

CBCams \_\_\_\_ Carbonatito a calcita com apatita e magnetita grossas e sulfetos

CBCasol \_\_\_\_ Carbonatito a calcita com apatita grossa, sulfetos e olivina

CBCas \_\_\_\_\_ Carbonatito a calcita com apatita grossa, e sulfetos.

Jac \_\_\_\_\_ Jacupiranguito (no contato transicional)

#### 4.3.4 Domínio magnesiano/dolomítico norte

Corresponde a rochas com teores acima de 4,5% MgO e, que para o mapeamento geológico, não são efervescentes ao ácido clorídrico a 50%.

O conhecimento e a individualização dos litotipos presentes neste domínio são de suma importância para a usina de concentração mineral uma vez que as variações de MgO existentes na composição do minério correspondem ao principal determinante da aplicação dos subprodutos (rejeito) produzidos pela usina de concentração mineral.

Estas rochas correspondem aos maiores teores em  $P_2O_5$  evidenciado mineralogicamente pela presença de apatita fina em muita quantidade. A magnetita, apresenta-se com uma granulação mais fina do que daquela encontrada na porção sul da cava. Estruturalmente correspondem às rochas mais homogêneas do corpo carbonatítico, fator explicado pela textura mais fina observada em toda a assembléia mineral

A fotografia-23 apresenta esta região, onde ainda pode ser observado o seu contato com a zona de xenólitos e uma variação de grau de oxidação, pela coloração alaranjada, dos carbonatos de algumas porções.





Fotografia-23. Carbonatito dolomítico/magnesiano norte em contato com a zona de xenólitos

Os litotipos identificados no domínio dolomítico magnesiano norte estão apresentados a seguir:

CBM \_\_\_\_\_ Carbonatito com intercalação de dolomita

CBMmf \_\_\_\_\_ Carbonatito com intercalação de dolomita, magnetita normal a grossa e flogopita

CBDL \_\_\_\_\_ Carbonatito dolomítico

CBD0X \_\_\_\_\_ Carbonatito dolomítico oxidado

#### 4.3.5 Domínio do corpo principal calcítico/magnesiano

Corresponde a porções da cava onde se encontra carbonatito, tanto magnesiano quanto calcítico, delimitados ou espacialmente definidos pelos domínios apresentados nos itens anteriores (figura-5).

Para fins de cálculos de reserva foi individualizado um corpo de carbonatito periférico a SW do traçado da jazida (figura-5), que corresponde a um dique marginal ainda em detalhamento quanto a seus limites.



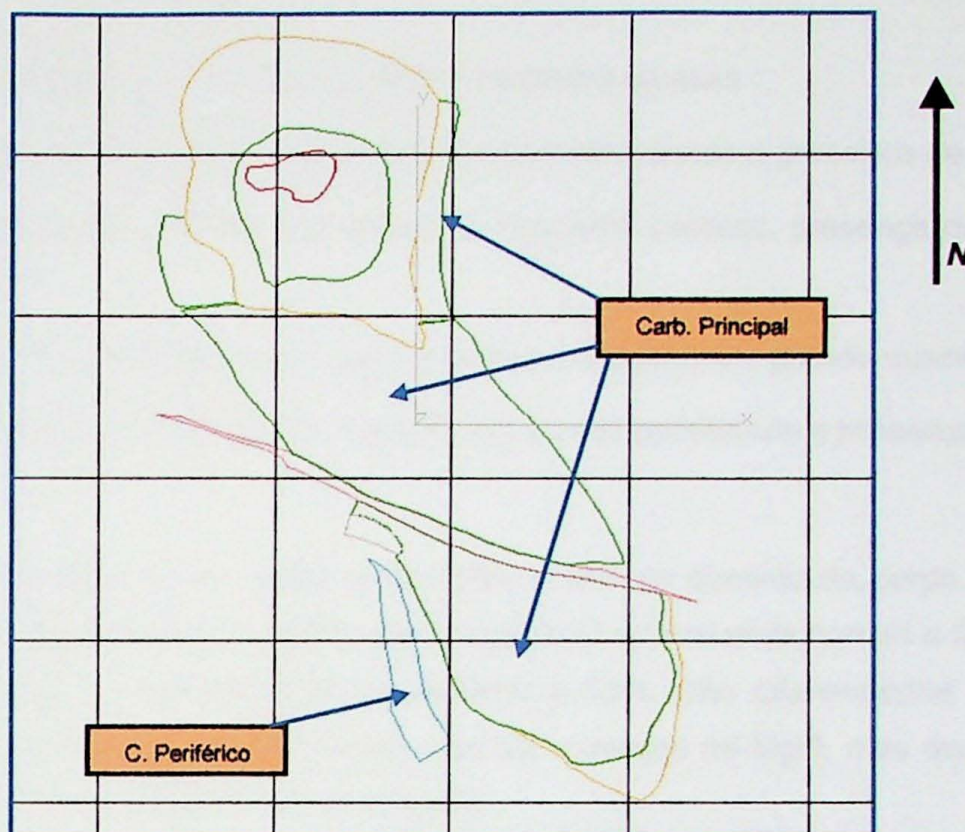


Figura-5. Limites do domínio do corpo principal, verde, incluindo o carbonatito periférico a SW.

Por ser o domínio de maior expressão, o qual representa o minério típico da mina de Cajati, o corpo principal de carbonatito reúne o maior número de variação quanto a constituintes mineralógicas e suas texturas. Sustentando esta idéia viu-se a necessidade de dividir estas rochas em dois sub-domínios, o primeiro deles com um caráter mais calcítico e o segundo mais magnesiano.

- Sub-domínio(C): Situa-se na região central e sul do domínio do corpo principal, incluindo o dique marginal a NE do corpo. É caracterizado pela presença de carbonatitos calcíticos, de texturas normal a grossa e muito grossa nas magnetitas. Os teores de MgO nestas rochas são os mais baixos de toda a compartimentação geológica, designando aplicações muito distintas aos rejeitos carbonáticos. Inclue-se neste sub-domínio o carbonatito periférico (representado em azul na figura-5).



Os litotipos observados neste subdomínio estão listados a seguir:

CBCam \_\_\_\_ Carbonatito a calcita com apatita e magnetita grossas

CBCams \_\_\_\_ Carbonatito a calcita com apatita e magnetita grossas e presença de sulfetos

CBCamsol \_\_\_\_ Carbonatito a calcita com apatita e magnetita grossas, presença de sulfetos e olivina

CBCaf \_\_\_\_ Carbonatito a calcita com apatita grossa e flogopita em grande quantidade

CBCfol \_\_\_\_ Carbonatito a calcita com flogopita em grande quantidade e presença de olivina

- Sub-domínio(M): Situa-se na região centro norte e NW do domínio do corpo principal. É caracterizado pela presença de carbonatos magnesianos de textura normal a fina, que por vezes efervescem ao contato de ácido clorídrico a 50%. São diferenciados do domínio magnésiano dolomítico norte pelos teores não tão elevados de MgO, mas que são muito superiores aos identificados no sub-domínio(C).

CBM \_\_\_\_ Carbonatito com intercalação de dolomita

CBMm \_\_\_\_ Carbonatito com intercalação de dolomita e magnetita em muita quantidade

- Composição química das rochas dos sub-domínios (C) e (M)

Por centralizar-se em porcentagem mineral, a metodologia desenvolvida possui uma forte amarração com análises químicas. No caso da individualização dos sub-domínios dentro do corpo carbonatítico principal esta amarração permite confirmar também os aspectos, mineralógicos que diferenciam estas rochas. A tabela-7 apresenta as análises comparativas para quatro amostras típicas de cada sub-domínio, evidenciando as diferenças nos teores de MgO.



tabela-7 Composição química típica dos sub-domínios (C) e (M)

	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MgO	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	FE <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	SO <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>
Sub-domínio	3,84	2,68	1,18	0,20	3,62	49,42	0,47	0,23	0,23
	5,55	3,45	0,82	0,00	6,85	48,75	1,11	0,25	0,27
	3,01	2,60	1,06	0,02	2,59	50,06	0,46	0,13	0,20
	4,05	3,42	0,73	0,02	4,69	50,10	0,82	0,25	0,18
Sub-domínio (M)	6,15	5,01	1,04	0,12	11,00	44,88	0,74	0,39	0,27
	6,54	6,46	0,94	0,06	4,56	47,12	0,58	0,38	0,16
	4,81	5,94	1,60	0,24	3,34	47,69	1,10	0,39	0,19
	3,62	6,71	1,13	0,21	3,43	46,78	0,84	0,35	0,18

#### 4.4. Aplicabilidade dos Critérios de Descrição Litológica

Após o levantamento dos atributos tidos como relevantes na descrição litológica foram efetuados estudos de aplicação do método desenvolvido em dois universos distintos entre si na escala de trabalho.

##### 4.4.1 Mapeamento da mina

Esta atividade corresponde àquela de abordagem em escala maior. Foi realizada uma divisão da cava em quadrículas de 100x100m na escala 1:500 (anexo-3). A utilização das quadrículas facilita o detalhamento dos contornos dos corpos mapeáveis e geração de um mapa preliminar, ainda no campo. Os atributos levantados são posteriormente passados para um mapa único que contém as coordenadas topográficas já levantadas, dos pontos marcados em campo, para finalmente serem digitalizados no *software* DATAMINE.

O mapeamento de frente de lavra, permite que se individualizem tipos, dentro do domínio mapeado, que podem ser volumetricamente amostrados para realização de trabalhos de caracterização tecnológica e de desenvolvimento de processo de beneficiamento.

A figura-6 apresenta o mapeamento realizado no domínio da zona de falha, contemplando os níveis -50, -30 e -10. Os triângulos em azul correspondem a contatos entre litotipos diferentes e pontos de amostragem.

17093



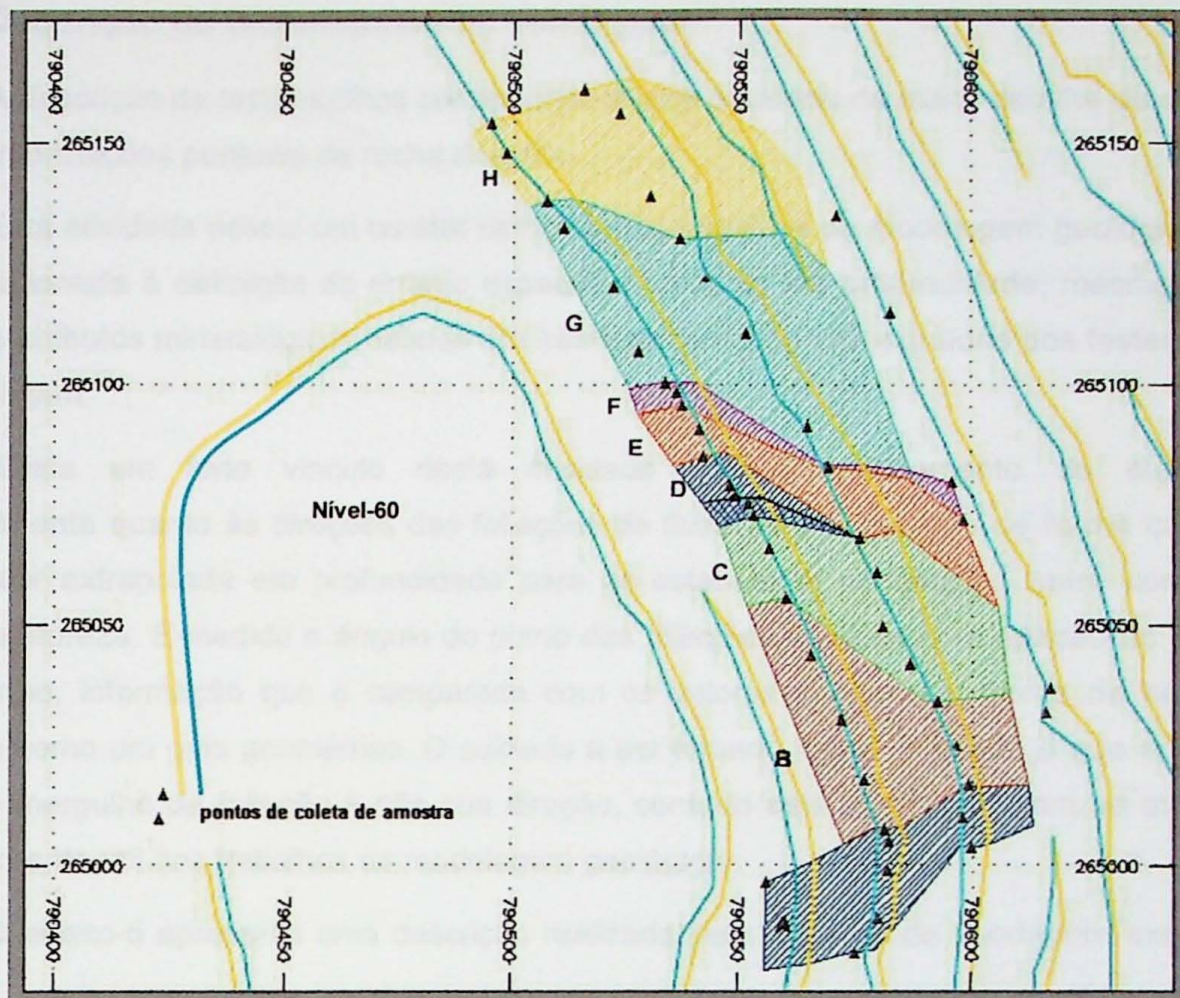


Figura-6. Exemplo de mapeamento em frente de lavra (FL)

- |                    |                           |
|--------------------|---------------------------|
| A – FL-01 CBCms    | E – FL-05 BR(cinza sul)   |
| B – FL-02 CBCfm    | F – FL-06 BR(vermelha ZF) |
| C – FL-03 CBCmol   | G – FL-07 BR(cinza norte) |
| D – FL-04 BR(bege) | H – FL-08 CBC             |

A descrição mineralógica completa de cada uma das frentes mapeadas pode ser visualizada no anexo-4. Deve-se ressaltar que no caso das brechas a mineralogia é de difícil identificação à vista desarmada, tendo sido o mapeamento de campo complementado por microscopia e eventualmente DRX.



#### **4.4.2 Descrição de testemunhos de sondagem**

A descrição de testemunhos corresponde a uma atividade de maior detalhe de onde se subtrai informações pontuais da rocha descrita.

Esta atividade possui um caráter centrado nos trabalhos de modelagem geológica, pois está relacionada à definição do arranjo espacial do modelo em profundidade, mesmo assim, todos os atributos mineralógicos obtidos em frente de bancada são extraídos dos testemunhos de sondagem.

Existe um forte vínculo desta atividade com o mapeamento de superfície, principalmente quanto às direções das foliações de fluxo magmático que de forma criteriosa podem ser extrapolada em profundidade para se estabelecer correlações entre corpos de mesma natureza. É medido o ângulo do plano das foliações de fluxo com relação ao eixo do testemunho, informação que é comparada com os valores obtidos em frente de bancada, servindo como um guia geométrico. O cuidado a ser tomado nesta atividade é que apenas é obtido o mergulho da foliação e não sua direção, contudo esta informação tem se mostrado extremamente útil nos trabalhos de modelagem geológica.

O anexo-5 apresenta uma descrição realizada para um furo de sondagem executado na mina.

#### **4.5. Critérios de amostragem**

Foram desenvolvidos critérios para amostragem de frente de lavra e de testemunhos de sondagem que respeitassem os parâmetros obtidos na descrição litológica.

O processo de amostragem considerou a retirada de quantidades moduladas de material de um todo que se desejava amostrar, para composição de uma amostra primária de forma que esta fosse representativa do todo amostrado. Em seguida, a amostra primária foi submetida a uma série de etapas de homogeneização e quarteamento, até a obtenção da amostra final, com massa e granulometria adequadas para realização de testes e ou análises química e instrumentais.



#### 4.5.1 Frentes de lavra

Optou-se pela amostragem volumétrica em pontos que separavam. No mapeamento da frente de lavra eram estabelecidos os limites dos litotipos reconhecidos, individualizando-se aqueles com representatividade linear superior a 5m na face mapeada. Em cada litotipo foram demarcados pontos para coleta de amostras volumétricas espaçados horizontalmente também de 5 m; litotipos com expressão de 5m tiveram apenas um ponto de coleta. Desta forma, manteve-se uma escala de amostragem de 1:500, e a representatividade espacial de cada litotipo.

Em cada ponto de coleta demarcado, que foi devidamente levantado topograficamente, procedeu-se à amostragem por meio de rompedor hidráulico (fotografia-24); do material desmontado em cada ponto selecionaram-se blocos de dimensões aproximadas 10" na formação de uma amostra de cerca de 100 kg.

As massas geradas na amostragem por ponto selecionado, foram acondicionadas em tambores devidamente identificados posteriormente encaminhados para o laboratório de preparação de amostras. Tais volumes atendem plenamente as necessidades inerentes a caracterização tecnológica e eventuais ensaios para desenvolvimento de processo.



Fotografia-24. Amostragem com rompedor hidráulico



#### 4.5.2 Testemunhos de sondagem

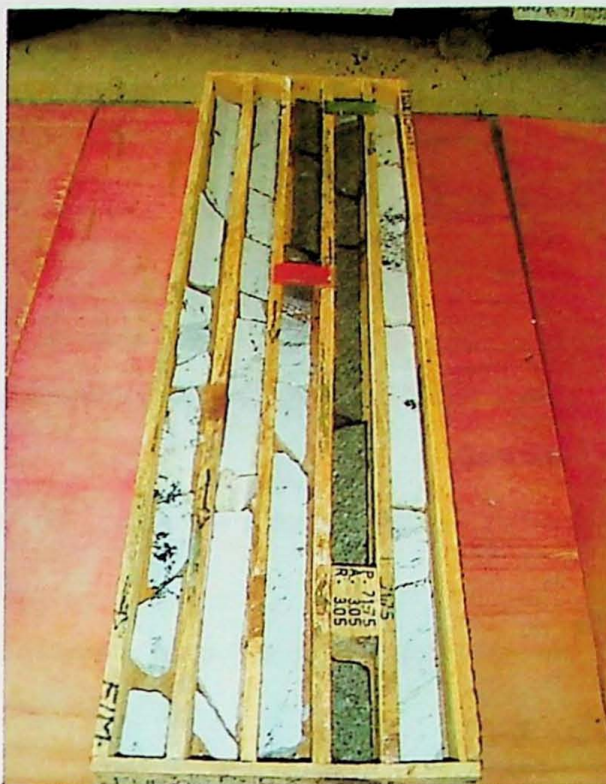
Assim como nas frentes de lavra, a amostragem em testemunhos de sondagem respeita intervalos individualizados segundo os domínios geológicos maiores definidos na jazida, ou seja:

- Carbonatito calcítico (efervescente ao ácido clorídrico 50%)
- Carbonatito dolomítico (não efervescente ao ácido clorídrico 50% ou colorido seletivamente)
- Zona de reação
- Jacupiranguito franco
- Zonas brechadas

Independente dos intervalos amostrais acabarem por compor litotipos carbonatíticos distintos existe uma posterior correlação quanto aos resultados químicos obtidos e os tipos descritíveis, na confecção dos logs dos furos de sondagem. Um exemplo desta correlação está no anexo-6.

Foi estabelecida a sistemática de amostragem a intervalos de profundidade de 5m para análises químicas, mantendo o suporte amostral historicamente mais adotado nas pesquisa da mina. Introduziu-se uma subdivisão destes intervalos de acordo com os litotipos supra mencionados, guardando-se, porém, o critério de individualização deles apenas quando representassem intervalos superiores a 1m de profundidade. Conceitualmente o critério se apoiou na influência que litotipos representando mais de 20% em volume do intervalo de 5m amostrado podem ter na composição química global do mesmo, sobretudo litotipos problemáticos no beneficiamento do minério. A fotografia-25 apresenta dois intervalos amostrais individualizados pelo caráter litológico, Jacupiranguito em preto e carbonatito em branco.





Fotografia-25. Intervalos amostrais individualizados

Os segmentos amostrados correspondem à metade da seção serrada do testemunho de sondagem diâmetro BQ, ou um quarto do testemunho diâmetro HX, preservando sempre uma seção para arquivo ou futuras confirmações de descrição. O sistema de serragem dos testemunhos pode ser visualizado na fotografia-26.



Fotografia-26. Serragem do testemunho de sondagem



Desta forma, a rotina adotada para se efetuar a amostragem, após terem sido descritos e serrados os testemunhos, segue os seguintes passos:

- 1- Marcar intervalos de 5 em 5m, utilizando caneta para madeira, sobre as canaletas da caixa;
- 2- Passar HCl sobre os testemunhos e anotar os intervalos não efervescentes ou muito pouco efervescentes;
- 3- Anotar e identificar os intervalos amostrados (anexo-7- Boletim de Amostragem), com intervalos contêm 5m de testemunho, em geral, e as amostras apresentam comprimento mínimo de 1m;
- 4- Recolher as amostras da caixa e acondicioná-las em sacos plásticos fechados, devidamente etiquetados;
- 5- Considerar sempre um mesmo lado do testemunho serrado para todo o segmento amostrado;
- 6- Envio para o laboratório de preparação de amostras.

## **5. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O desenvolvimento da metodologia para descrição litológica macroscópica visando os constituintes mineralógicos, suas texturas e estruturas gerais de domínios, viabilizaram os seguintes aspectos:

- Estabelecer correlação entre as descrições realizadas para diferentes campanhas de sondagem independente dos responsáveis por executá-las. Este fator trará maior consistência para comparar informações obtidas em períodos diferentes.
- Individualizar litotipos, seja no âmbito mineralógico ou textural, que possuem comportamentos distintos quando submetidos aos processos de concentração mineral, ou inviabilizam, quando não dosados da forma correta nas pilhas de homogeneização, o aproveitamento dos subprodutos industriais.
- Estabelecer uma descrição mineralógica textural para apoio das atividades de caracterização tecnológica do minério, pois tipos diferenciados segundo os critérios desenvolvidos forneceram respostas bem particulares nos ensaios de bancada, moagem, deslamagem, desmagnetização e correlação da mineralogia com resultados de análises químicas.



Na evolução dos trabalhos pretende-se consolidar estes aspectos com a finalidade da geração de um modelo tipológico da jazida, que evoluirá para um modelo tecnológico com a agregação de maiores informações de processo.

A modelagem geológica foi fortemente amparada com os resultados dos trabalhos, uma vez que os atributos estruturais levantados, de descrição tanto de frentes de lavra quanto de testemunhos de sondagem, estabelecem confiança quanto ao traçado em 3D do corpo mineral, além de fornecer subsídios para interpretação geológica genética das intrusões carbonatíticas, pela bem marcada localização dos principais domínios e sub-domínios.

Com relação ao planejamento de lavra, o mapeamento de frentes planejadas para desmonte e a obtenção dos parâmetros químicos inerentes a cada uma delas, possibilitará que se realize uma otimização do planejamento de pilhas de homogeneização, maximizando o aproveitamento do recurso mineral. Pretende-se ainda que este tipo de atividade, quando implantada como rotina, passe a atualizar o modelo geológico existente a partir dos avanços de lavra realizados.

Finalmente, a sistemática de amostragem desenvolvida, tanto para frente de bancada como para testemunhos de sondagem, mostrou-se extremamente representativa e atrelada aos parâmetros de descrição vinculados a modelagem, caracterização e aproveitamento do recurso mineral.



## 6. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- Alves, P.R.P.C. (1999) – Estudos de caracterização tecnológica no minério apatítico do Complexo Alcalino de Jacupiranga, SP. Monografia de trabalho de formatura, TF99/011. USP. São Paulo.
- Goes, M. A. C., Possa, M. V., Luz, A. B.(1991) - Amostragem de minérios. Série tecnologia mineral nº49, CETEM / CnPq. Rio de Janeiro.
- CPRM. (1999) – Projeto Jacupiranga – Rio Guaraú. Relatório do mapeamento geológico folhas Jacupiranga e Rio Guaraú, escala 1:50.000. Secretaria de Estado e energia / CPRM – Serviço Geológico do Brasil, São Paulo, SP.
- Gaspar, J. C. (1989) – Geologie et Mineralogie du Complexe Carbonatitique de Jacupiranga, Bresil. Tese de doutoramento apresentada a U.E.R. de Sciencies Fondamentales et Apliques de la Universite D'Orleans. França.
- Melcher, G.C. (1965) – O carbonatito de Jacupiranga. Boletim nº282, Geologia nº21, São Paulo.
- Ruberti, E., Marguti, R. L., Gomes, C. B. (1992) – O Complexo Carbonatítico de Jacupiranga, SP. Informações gerais. *In*: Congresso Brasileiro de Geologia, 37. São Paulo, 1992. Roteiro de excursão.
- Sant'Agostino, L.M, Alves, P. R., Shimabukuro, N., Bonás, T. B.. 2001 "Applied mineralogy as a tool for mine planing of phosphate rock". Minerals and Metallurgical Processing Journal, Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc.. Submitted in April.







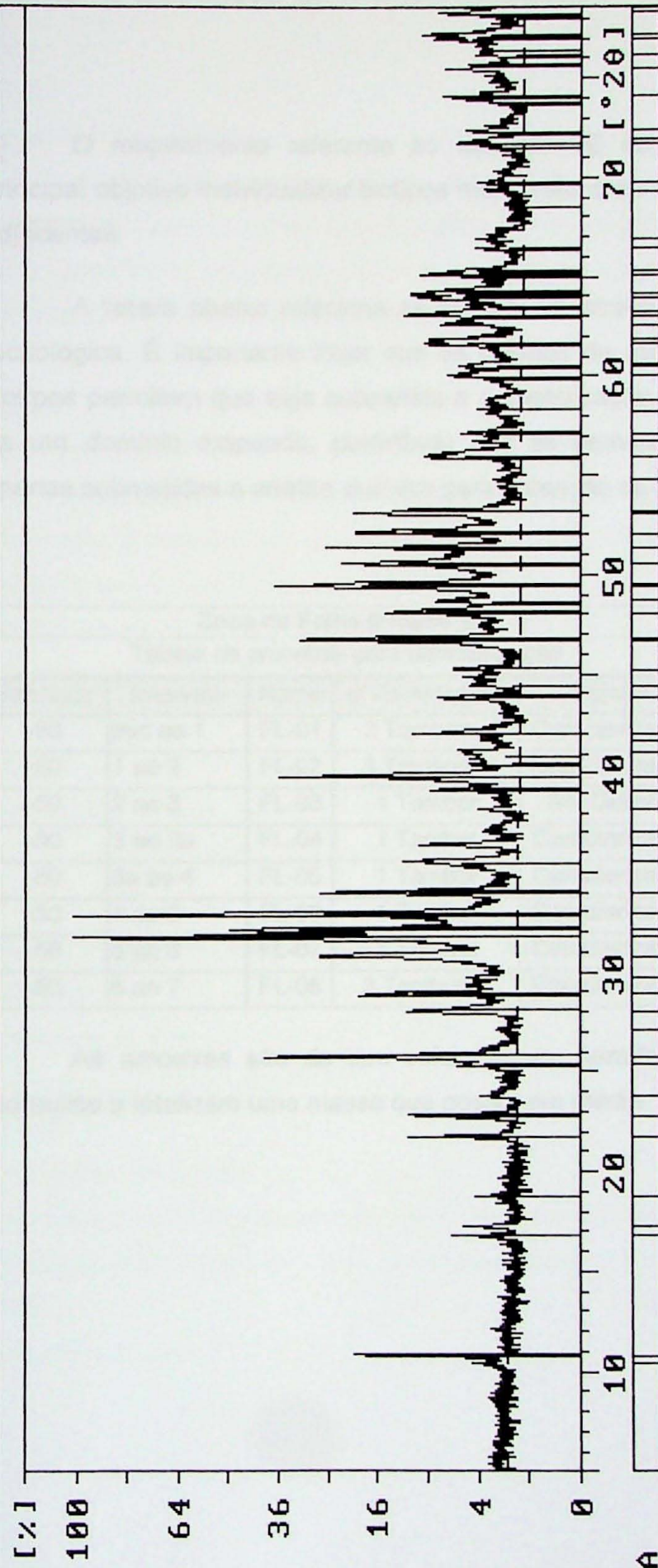




## Anexo-2: DRX apresentando variações nos tipos de apatita







FL-30A

34-0010

Hydroxylfluorapatite

Ca<sub>5</sub>(P<sub>4</sub>)<sub>3</sub>(OH)

24-0033

Hydroxylapatite

Ca<sub>5</sub>(P<sub>4</sub>)<sub>3</sub>(OH)

12-0261

Fluorapatite

Ca<sub>5</sub>F(P<sub>4</sub>)<sub>3</sub>



## Anexo-4: Descrição de frentes mapeadas

O mapeamento referente ao domínio SE do corpo carbonatítico teve como principal objetivo individualizar litotipos relacionados ao contexto de zona de falha e áreas adjacentes.

A tabela abaixo relaciona as frentes amostradas e submetidas a caracterização tecnológica. É importante frisar que os critérios de mapeamento que individualizam os litotipos permitem que seja submetida a caracterização apenas a frente mais expressiva de um domínio mapeado, permitindo que as demais frentes correspondentes sejam apenas submetidas a análise química para obtenção de teores.

Zona de Falha (Flanco SE)					Prioridades	
Tabela de amostras para caracterização					An.Química	Caracterização
Bancada	Intervalo	Nome	nº de Amostras	Objetivo	FL-03	FL-01
-50	Inic ao 1	FL-01	3 Tambores	Caracterização		FL-02
-50	1 ao 2	FL-02	3 Tambores	Caracterização		FL-04
-50	2 ao 3	FL-03	1 Tambor	An. Química		FL-05
-50	3 ao 3a	FL-04	1 Tambor	Caracterização		FL-06
-50	3a ao 4	FL-05	1 Tambor	Caracterização		FL-07
-50	4 ao 5	FL-06	1 Tambor	Caracterização		FL-08
-50	5 ao 6	FL-07	1 Tambor	Caracterização		
-50	6 ao 7	FL-08	3 Tambores	Caracterização		

As amostras são do tipo volumétricas, geradas com auxílio de um rompedor hidráulico e totalizam uma massa que possui em média 100kg.



## **Características das Frentes Mapeadas**

### **BANCADA -50 FLANCO SE**

#### **FL-01**

##### **Descrição: CBCms**

Carbonatito calcítico grosso com apatita grossa, magnetita grossa em muita quantidade e sulfetos presentes disseminados ao longo do intervalo mapeado.

Obs: Observa-se uma estrutura fluidal bem marcada sub-verticalizada.

**Amostras:** FL-01A, FL-01B, FL-01C.

#### **FL-02**

##### **Descrição: CBCfm**

Carbonatito calcítico normal com estruturas fluidais ainda visíveis, com apatita levemente amarelada em quantidade normal, magnetita normal em quantidade normal e flogopita grossa em muita quantidade.

**Medições do fluxo magmático:** N65°E/74°NW

**Amostras:** FL-02A, FL-02B, FL-02C.

#### **FL-03**

##### **Descrição: CBCol**

Início da região que sofre forte influência do sistema de falha, com Carbonatito calcítico grosso com aspecto recristalizado com magnetita e flogopita grossos e apatita e olivina presentes pontualmente e não distribuídas homoganeamente ao longo do intervalo.

**Amostra:** FL-03A.

#### **FL-04**

##### **Descrição: Br (Bege)**

Carbonatito brechado (finamente fraturado), com coloração bege e mineralogia de difícil descrição. Este litotipo tem suas dimensões aumentadas para o centro da cava no sentido E-W.

**Amostra:** FL-04A.



**FL-05****Descrição:** Br (Cinza Sul)

Carbonatito brechado de coloração cinza, com mineralogia de difícil descrição. Ao contrário da FL-04, esta frente possui uma diminuição conforme caminha-se para o centro da cava, além de possuir um caráter descontínuo.

**Amostra:** FL-05A.

**FL-06****Descrição:** ZF

Zona de falha franca, constituída por um material efervescente ao ácido clorídrico com mineralogia não descritível e forte coloração avermelhada. Estruturalmente a rocha se encontra "moída" ou microfraturada e em algumas porções recristalizada.

**Plano de Falha:** N282°/sub-vert

**Amostra:** FL-06A.

**FL-07****Descrição:** Br (Cinza Norte)

Material carbonatítico recristalizado com aspecto cataclasado com pouca magnetita e flogopita, e apatita em concentrações pontuais.

**Amostra:** FL-07A.

**FL-08****Descrição:** CBC

Carbonatito calcítico grosso com pouca magnetita e flogopita e apatita concentrada ao longo da foliação de fluxo magmático sub-verticalizada.

**Amostras:** FL-08A, FL-08B, FL-08C.



Anexo-5: Boletim de recuperação e descrição de furo de sondagem a partir dos critérios homogeneizados



## BOLETIM DE RECUPERAÇÃO

FURO: SP-01

DE (m)	ATÉ (m)	AVANÇO	RECUP (m)	RECUP (%)
0,00	1,35	1,35	0,74	54,81
1,35	2,95	1,60	1,60	100,00
2,95	6,05	3,10	3,10	100,00
6,05	9,10	3,05	3,05	100,00
9,10	12,15	3,05	3,05	100,00
12,15	15,20	3,05	3,05	100,00
15,20	18,25	3,05	3,05	100,00
18,25	21,30	3,05	3,05	100,00
21,30	24,35	3,05	3,05	100,00
24,35	27,40	3,05	3,05	100,00
27,40	30,45	3,05	3,05	100,00
30,45	33,50	3,05	3,05	100,00
33,50	33,80	0,30	0,30	100,00
33,80	36,85	3,05	3,05	100,00
36,85	39,90	3,05	3,05	100,00
39,90	43,00	3,05	3,05	100,00
43,00	46,05	3,05	3,05	100,00
46,05	49,15	3,10	3,10	100,00
49,15	52,20	3,05	3,05	100,00
52,20	55,25	3,05	3,05	100,00
55,25	58,35	3,10	3,10	100,00
58,35	61,45	3,10	3,10	100,00
61,45	64,55	3,10	3,10	100,00
64,55	67,65	3,10	3,10	100,00
67,65	70,75	3,10	3,10	100,00
70,75	73,65	2,90	2,90	100,00
73,65	76,75	3,10	3,10	100,00
76,75	79,85	3,10	3,10	100,00
79,85	82,90	3,05	3,05	100,00
82,90	85,95	3,05	3,05	100,00
85,95	86,05	0,10	0,10	100,00
86,05	89,05	3,00	3,00	100,00
89,05	92,10	3,05	3,05	100,00
92,10	95,10	3,00	3,00	100,00
95,10	98,20	3,10	3,10	100,00
98,20	101,25	3,05	3,00	98,36
101,25	104,30	3,05	3,05	100,00
104,30	107,35	3,05	3,05	100,00
107,35	110,40	3,05	3,05	100,00
110,40	113,45	3,05	3,05	100,00
113,45	116,50	3,05	3,05	100,00
116,50	119,55	3,05	3,05	100,00
119,55	122,55	3,00	3,00	100,00
122,55	125,60	3,05	3,05	100,00
125,60	128,65	3,05	3,05	100,00
128,65	131,70	3,05	3,00	98,36
131,70	134,32	2,62	2,62	100,00



## BOLETIM DE RECUPERAÇÃO



FURO:

SP- 01

DE (m)	ATÉ (m)	AVANÇO	RECUP (m)	RECUP (%)
134,32	134,90	0,58	0,58	100,00
134,90	137,90	3,00	3,00	100,00
137,90	140,95	3,05	3,05	100,00
140,95	144,00	3,05	3,05	100,00
144,00	147,05	3,05	3,05	100,00
147,05	147,75	0,70	0,70	100,00
147,75	150,05	2,30	2,00	86,96
150,05	153,05	3,00	3,00	100,00
153,05	156,05	3,00	3,00	100,00
156,05	159,10	3,05	3,05	100,00
159,10	162,15	3,05	3,05	100,00
162,15	165,20	3,05	3,05	100,00
165,20	168,25	3,05	3,05	100,00
168,25	171,30	3,05	3,05	100,00
171,30	174,35	3,05	3,05	100,00
174,35	177,40	3,05	3,05	100,00
177,40	180,45	3,05	3,05	100,00
180,45	183,50	3,05	3,05	100,00
183,50	186,55	3,05	2,90	95,08
186,55	189,55	3,00	3,00	100,00
189,55	192,55	3,00	3,00	100,00
192,55	195,55	3,00	3,00	100,00
195,55	198,55	3,00	3,00	100,00
198,55	201,55	3,00	3,00	100,00
201,55	204,55	3,00	3,00	100,00
204,55	207,55	3,00	3,00	100,00
207,55	210,60	3,05	3,05	100,00
210,60	213,65	3,05	3,05	100,00
213,65	216,70	3,05	2,93	96,07
216,70	219,75	3,05	3,05	100,00
219,75	222,80	3,05	3,05	100,00
222,80	225,85	3,05	3,05	100,00
225,85	228,90	3,05	3,05	100,00
228,90	231,90	3,00	3,00	100,00
231,90	234,90	3,00	3,00	100,00
234,90	237,90	3,00	3,00	100,00
237,90	240,90	3,00	3,00	100,00
240,90	243,90	3,00	3,00	100,00
243,90	246,90	3,00	3,00	100,00
246,90	249,90	3,00	3,00	100,00
249,90	252,95	3,05	3,05	100,00
252,95	256,00	3,05	3,05	100,00
256,00	259,05	3,05	3,05	100,00
259,05	262,10	3,05	3,05	100,00
262,10	265,15	3,05	3,05	100,00
265,15	268,15	3,00	3,00	100,00
268,15	271,15	3,00	3,00	100,00



## BOLETIM DE RECUPERAÇÃO

FURO: SP- 01

DE (m)	ATÉ (m)	AVANÇO	RECUP (m)	RECUP (%)
271,15	274,20	3,05	3,05	100,00
274,20	277,25	3,05	3,05	100,00
277,25	280,30	3,05	3,05	100,00
280,30	283,35	3,05	3,05	100,00
283,35	286,40	3,05	3,05	100,00
286,40	289,45	3,05	3,05	100,00
289,45	291,30	1,85	1,75	94,59
291,30	294,40	3,10	3,10	100,00
294,40	297,30	2,90	2,90	100,00
297,30	300,35	3,05	3,05	100,00
300,35	303,40	3,05	3,05	100,00
303,40	306,45	3,05	3,05	100,00



**BOLETIM DE DESCRIÇÃO LITOLÓGICA**

**FURO:**

**DATA:**

**EXECUTADO POR:**

DE (m)	ATÉ (m)	DESCRIÇÃO LITOLÓGICA
0	5	Carbonatito calcítico branco, fino a normal, com apatita fina ovóide em quantidade normal a muita, magnetita fina em pouca quantidade, flogopita verde muito fina em pouca quantidade e sulfetos poucos e disseminados. <b>Foliação Magmática 145°.</b>
5	10	Carbonatito calcítico branco, fino a normal, com apatita fina em quantidade normal de 5,00 a 7,85m e fina a normal em muita quantidade de 7,85 a 10,00m, magnetita fina em quantidade normal de 5,00 a 7,85, e normal a grossa de 7,85 a 10,00m em quantidade normal, flogopita fina quase ausente, sulfetos poucos e disseminados, e ocorrências pontuais de olivina. <b>Foliação magmática 140°.</b>
10	15	Carbonat calcítico branco, fino a normal, com apatita fina ovóide em grande quantidade de 10,00 a 12,15m e em quantidade normal no restante do intervalo, magnetita normal a grossa de 10,00 a 10,47m em quantidade normal e fina a normal de 10,47 a 15,00m, flogopita fina quase ausente, sulfetos preenchendo vênulas e ocorrências pontuais de olivina. <b>Foliação magmática 135°.</b>



15	20	Carbonatito calcítico branco, fino, com apatita fina em quantidade normal a pouca, magnetita e flogopita finas em quantidade normal a pouca e sulfetos poucos e disseminados.
20	25	Carbonatito calcítico branco, fino a normal, com apatita fina em quantidade normal a pouca, magnetita e flogopita finas em quantidade normal e sulfetos poucos e disseminados. <b>Foliação magmática 135°.</b>
25	30	Carbonatito calcítico branco, fino a normal, com apatita fina ovóide em quantidade normal de 25,00 a 26,37m e em muita quantidade no restante do intervalo, magnetita fina em quantidade normal de 25,00 a 26,37m e normal a grossa em grande quantidade no restante do intervalo, flogopita fina em pouquíssima quantidade, ocorrências pontuais de olivinas e sulfetos em quantidade moderada, disseminados e preenchendo vênulas. <b>Foliação magmática 145°.</b>
30	35	Carbonatito calcítico branco, fino a normal, com apatita fina ovóide em quantidade normal a muita de 30,00 a 31,35m e em pouca quantidade no restante do intervalo, magnetita normal a grossa em grande quantidade de 30,00 a 30,45m e em quantidade normal a pouca e fina no restante do intervalo, flogopita verde fina em pouquíssima quantidade e sulfetos em grande quantidade disseminados e preenchendo vênulas. <b>Foliação magmática subhorizontal.</b>
35	40	Carbonatito calcítico branco, fino a normal, com oxidações locais e veios recristalizados (calcita dente de cão) com apatita fina em pouca quantidade, magnetita fina em pouca quantidade, flogopita fina quase ausente, ocorrências pontuais de olivina e sulfetos em quantidade normal e disseminados.



40	45	Carbonatito calcítico branco, fino a normal, com apatita fina ovóide em pouca quantidade de 40,00 a 42,39m e em quantidade normal a muita no restante do intervalo, magnetita fina em pouca quantidade de 40,00 a 42,39m e normal a grossa em quantidade normal no restante do intervalo, flogopita verde fina e quase ausente, ocorrências pontuais de olivina e sulfetos em quantidade normal e disseminados.
45	50	Carbonatito calcítico branco, fino a normal, com apatita fina em muita quantidade, magnetita normal a grossa em quantidade normal a muita e sulfetos poucos e associados a magnetita.
50	55	Carbonatito calcítico branco, fino, com apatita fina ovóide em muita quantidade, magnetita normal a grossa em muita quantidade de 50,00 a 51,64m e grossa a muito grossa em quantidade normal no restante do intervalo, flogopita verde normal em pouca quantidade e sulfetos em quantidade normal associados a magnetita.
55	60	Carbonatito calcítico branco, fino, com apatita fina em quantidade normal a muita, magnetita normal a grossa em quantidade normal a muita diminuindo em direção ao final do intervalo, flogopita fina em pouca quantidade e sulfetos poucos e disseminados. Obs. Zona de oxidação de 55,25 a 56,19m.
60	65	Carbonatito calcítico branco, fino, com apatita fina em quantidade normal, magnetita normal a fina em quantidade normal a pouca, flogopita fina quase ausente e sulfetos poucos e disseminados. Obs. Zona de oxidação de 61,95 a 62,74m.



65	70	Carbonatito calcítico branco, fino, com apatita fina em quantidade normal a muita, magnetita fina a normal em quantidade normal a pouca com concentração nos últimos 20 centímetros do intervalo, flogopita quase ausentes e muito finas e sulfetos poucos e disseminados. Obs. Zona de fraturas com material oxidado próximo aos 68,11m ( com $\pm$ 150m).
70	75	Carbonatito calcítico branco, fino, com apatita fina em muita quantidade de 70,00 a 71,78m e em quantidade normal no restante do intervalo, magnetita normal a grossa em quantidade normal de 70,00 a 71,78m e fina em pouca quantidade no restante do intervalo, flogopita fina em pouca quantidade e sulfetos poucos e disseminados.
75	80	Carbonatito calcítico branco, fino a normal, com apatita fina em quantidade normal localmente concentrada, magnetita normal a fina em quantidade normal, flogopita fina quase ausente e sulfetos poucos e disseminados.
80	85	Carbonatito calcítico branco, fino, com apatita fina ovóide em quantidade normal a muita, magnetita fina a normal, localmente grossa, em pouca quantidade e sulfetos poucos e disseminados.
85	90	Carbonatito calcítico branco, fino, com apatita fina em quantidade normal a muita, magnetita fina em pouca quantidade de 85,00 a 85,50m e fina a normal, localmente grossa, em quantidade normal no restante do intervalo e sulfetos em quantidade normal associado a magnetita.
90	95	Carbonatito calcítico branco, fino, com apatita fina a normal, prismática em muita quantidade, magnetita normal a grossa em quantidade normal e sulfetos poucos e disseminados.



95	100	Carbonatito calcítico branco, fino, com apatita fina a normal, prismática em muita quantidade, magnetita normal a grossa em quantidade normal a muita de 95,00 a 96,15m e em quantidade normal no restante do intervalo e sulfetos poucos e disseminados. <b>Foliação magmática 140°.</b>
100	105	Carbonatito calcítico branco, fino, com apatita fina em quantidade normal a muita, magnetita normal de 100,00 a 102,22m e fina no restante do intervalo e sulfetos poucos e disseminados. <b>Foliação magmática 120°.</b>
105	110	Carbonatito calcítico branco, fino, com apatita fina a normal em muita quantidade, magnetita normal a grossa em pouca quantidade de 105,00 a 106,35m e grossa em quantidade normal, localmente concentrada, e sulfetos poucos e associados a magnetita.
110	115	Carbonatito calcítico branco, fino de 110,00 a 113,86m com apatita fina a normal em muita quantidade, magnetita normal a grossa em quantidade muita a normal e sulfetos em quantidade normal associados a magnetita. Zona de reação de 113,86 a 115,00m.
115	120	Zona de reação de 115,00 a 117,85m com carbonatito calcítico de 115,80 a 116,35m. Carbonatito calcítico branco, fino de 117,85 a 120,00m, com apatita fina a normal em pouca quantidade, magnetita fina a normal, localmente grossa, em pouca quantidade, flogopita fina em pouquíssima quantidade e sulfetos em quantidade normal a muita, disseminados e presença de silicatos.
120	125	Carbonatito calcítico branco, fino de 120,00 a 120,98m, 122,40 a 123,90m e 124,34 a 125,00m, com apatita fina a normal em quantidade pouca a normal, magnetita normal a grossa em pouca quantidade, flogopita fina em quantidade normal associada a grande concentração de silicatos, sulfetos em grande quantidade preenchendo vênulas e associados a magnetita. Zona de reação de 120,98 a 122,40m e 123,90 a 124,34m com jacupiranguito franco de 121,09 a 121,74m.



125	130	Zona de reação de 125,00 a 126,16m com uma forte contribuição carbonática. Carbonatito calcítico branco, fino de 126,16 a 130,00m, com apatita fina a normal em quantidade normal a muita de 126,16 a 126,84m e fina em pouca quantidade até o final do intervalo, magnetita muito grossa em muita quantidade de 127,54 a 128,00m e fina a normal e em pouca quantidade no restante do intervalo, flogopita fina e associada aos silicatos que ocorrem em quantidade muito alta de 128,87 a 130,00m, apresentando uma coloração esverdeada pela presença de serpentina e coloração ocre devido a oxidação e sulfetos em quantidade normal e disseminados.
130	135	Zona de reação sem presença de jacupiranguito franco com pequena expressão carbonática, com muita quantidade de silicatos e forte serpentinização, serpentinito franco de 134,22 a 134,54m.
135	140	Zona de reação de 125,00 a 126,16m com uma forte contribuição carbonática. Carbonatito calcítico branco, fino de 135,05 a 137,88m e 138,57 a 140,00m com apatita fina a normal em pouca quantidade, magnetita fina a normal em pouca quantidade de 135,05 a 137,88m, flogopita normal a grossa em quantidade normal de 135,05 a 137,88m, magnetita e flogopita finas em pouca quantidade de 138,57 a 140,00m e sulfetos em muita quantidade e disseminados. Obs. Carbonatito alterado localmente.
140	145	Carbonatito calcítico branco, fino, com apatita fina em pouca quantidade de 140,00 a 143,10m, e em muita quantidade no restante do intervalo, magnetita normal em quantidade pouca a normal de 140,00 a 143,10m e grossa a muito grossa em muita quantidade no restante do intervalo, flogopita normal a fina em pouca quantidade e sulfetos poucos e disseminados. <b>Foliação magmática subhorizontal.</b>



145	150	Carbonatito calcítico branco, fino de 145,00 a 147,76m, com apatita fina a normal em quantidade normal a muita, magnetita grossa a muito grossa de 145,00 a 146,16m e fina a normal em quantidade normal no restante do intervalo, flogopita fina em pouca quantidade, silicatos são presentes nos primeiros 0,55m e sulfetos poucos e disseminados. Zona de reação de 147,76 a 150,00m.
150	155	Zona de reação de 150,00 a 151,04m e de 154,00 a 155,00m com jacupiranguito franco de 154,66 a 154,90m. Carbonatito calcítico branco, fino de 151,04 a 154,00m, com apatita fina a normal, localmente muito grossa, em quantidade normal, localmente concentrada, magnetita normal a grossa em quantidade normal, flogopita grossa em quantidade normal, sulfetos em muita quantidade e silicatos presentes no intervalo de carbonatito. Obs. de 153,17 a 154,00m pouca flogopita e magnetita. <b>Foliação magmática subhorizontal.</b>
155	160	Zona de reação de 155,00 a 157,97m com carbonatito calcítico branco de 155,73 a 156,18m e de 156,66 a 157,17m com apatita fina em pouca quantidade, magnetita e flogopita finas em pouca quantidade e sulfetos em muita quantidade. Carbonatito calcítico branco, fino de 157,97 a 160,00m, com apatita fina a normal em quantidade normal a pouca, magnetita grossa a muito grossa em quantidade normal a muita, flogopita fina em pouca quantidade associada a silicatos e sulfetos em quantidade normal e disseminados.
160	165	Carbonatito calcítico branco, fino, com uma forte contribuição silicática de 160,00 a 163,21m, com apatita fina a normal, localmente grossa, em quantidade normal a muita, magnetita grossa a muito grossa em muita quantidade de 160,00 a 161,23m e normal a fina em quantidade normal no restante do intervalo, flogopita fina associada aos silicatos e sulfetos poucos e disseminados.



165	170	Carbonatito calcítico branco, fino, com apatita fina a normal em quantidade normal, magnetita normal a fina em pouca quantidade, flogopita fina em pouquíssima quantidade e sulfetos poucos e disseminados.
170	175	Carbonatito calcítico branco, fino, com forte contribuição de silicatos de 171,05 a 173,95m com apatita fina a normal, localmente grossa e prismática, em quantidade normal, magnetita normal em pouca Quantidade, flogopita grossa em grande quantidade de 171,40 a 171,70m e fina e pouca quantidade no restante no intervalo, e sulfetos poucos e disseminados.
175	180	Carbonatito calcítico branco, fino de 175,00 a 179,50m, com apatita fina a normal em pouca quantidade de 175,00 a 177,10m e em quantidade normal a muita de 177,10 a 179,50m, magnetita fina a normal em pouca quantidade, flogopita normal em pouca quantidade, sulfetos em muita quantidade e disseminados. Zona de reação de 179,50 a 180,00m. <b>Foliação magmát 120°.</b>
180	185	Zona de reação de 180,00 a 182,90m com carbonatito calcítico fino de 180,35 a 181,36m com apatita fina em pouquíssima quantid, magnetita grossa em ocorrência pontual, flogopita fina associada a silicatos em muita quantid e sulfetos em muita quantid e disseminados. Carb calcítico branco, fino de 182,90 a 185,00, com apatita fina em pouca quantid, flogopita fina, localmente grossa, e, quantid normal, associada a silicatos e sulfetos em muita quantidade e disseminados.
185	190	Carbonatito calcítico branco, fino, com apatita fina, pontualmente grossa, em quantidade pouca a normal, flogopita fina em pouca quantidade e concentrada quando associada aos silicatos presentes em grande quantidade de 185,63 a 186,87m e sulfetos em muita quantidade e disseminados. <b>Foliação magmática 120° em relação ao eixo longitudinal do testemunho.</b>



190	195	Carbonatito calcítico branco, fino de 190,00 a 191,39m e de 192,45 a 194,93m, com apatita fina a normal, localmente grossa, em pouca quantidade, magnetita fina em pouca quantidade, flogopita fina em quantidade normal associada a silicatos e sulfetos em quantidade normal e disseminados. Zona de reação de 191,39 a 192,45m e nos últimos 0,07m do intervalo.
195	200	Zona de reação de 195,00 a 198,14m com carbonatito calcítico branco, fino de 195,81 a 196,84m e 197,24 a 197,52m com apatita normal, prismática, em quantidade normal, magnetita e flogopita finas em pouca quantidade e sulfetos poucos e disseminados. Carbonatito calcítico branco, fino, com apatita fina em quantidade pouca a normal, magnetita fina a normal em pouca quantidade, flogopita fina em pouca quantidade e sulfetos poucos e disseminados. <b>Foliação magnética 115° em relação ao eixo longitudinal do testemunho.</b>
200	205	Carbonatito calcítico branco, fino de 200,00 a 201,63m com apatita fina em quantidade normal, magnetita fina a normal em quantidade pouca a normal, flogopita fina em pouca quantidade e sulfetos poucos, associados a magnetita. Zona de reação de 201,63 a 205,00m com carbonatito calcítico, fino de 203,35 a 204,87m com apatita fina em pouca quantidade, magnetita fina a normal em pouca quantidade, flogopita fina em quantidade normal e sulfetos poucos e disseminados. Jacupiranguito franco de 202,62 a 202,89m.
205	210	Zona de reação de 205,00 a 208,55m com jacupiranguito franco serpentizado de 205,85 a 207,03m. Carbonatito calcítico branco, fino de 208,55 a 210,00m, com apatita fina a normal em quantidade normal, magnetita normal em pouca quantidade, flogopita fina em pouca quantidade e sulfetos poucos e disseminados. <b>Foliação magnética 120° em relação ao eixo longitudinal do testemunho.</b>



210	215	Carbonatito calcítico branco, fino de 210,00 a 212,70m, com apatita normal a grossa, prismática, localmente concentrada e friável, em quantidade normal, magnetita normal a grossa em pouca quantidade, flogopita normal a grossa, localmente muito grossa, em quantidade normal e sulfetos poucos e disseminados. Zona de reação de 212,70 a 215,00m com jacupiranguito franco de 213,93 a 215,00m.
215	220	Jacupiranguito franco com muita magnetita.
220	225	Jacupiranguito franco fortemente serpentinizado. Serpentinito franco de 223,57 a 224,06m .
225	230	Zona de reação de 225,00 a 228,50m com jacupiranguito franco serpentizado de 225,00 a 227,42m e contribuição carbonatítica de 227,42 a 228,50m. Carbonatito calcítico branco, fino de 228,50 a 230,00m, com apatita fina em pouca quantidade, magnetita e flogopita finas em pouca quantidade e sulfetos em quantidade normal e disseminados.
230	235	Carbonatito calcítico branco, fino, com apatita grossa em grande quantidade de 234,13 a 234,50m e normal em quantidade normal no restante do intervalo, magnetita normal, localmente grossa, em pouca quantidade, flogopita grossa a normal, em quantidade normal e sulfetos em muita quantidade de 235,00 a 231,20m preenchendo vênulas e em pouca quantidade e disseminados no restante do intervalo. <b>Foliação magm 110° em relação ao eixo longitudinal do testemunho.</b>
235	240	Carbonatito calcítico branco, fino a normal, com apatita fina em pouquíssima quantidade de 235,00 a 237,00m e normal a grossa em quantidade normal de 237,00 a 240,00m aumentando para o fim do intervalo, magnetita e flogopita finas em pouca quantidade de 235,00 a 237,00m e normal a grossa em quantidade pouca a normal de 237,00 a 240,00m e sulfetos poucos e disseminados.



240	245	Carbonatito calcítico, fino, com apatita fina a normal, prismática, em quantidade pouca a normal aumentando nos 2 últimos metros do intervalo e localmente concentrada, magnetita normal a grossa em quantidade pouca a normal, flogopita fina associada a silicatos que ocorrem em 0,30m no fim do intervalo e sulfetos poucos e disseminados. <b>Foliação magmática 110° em relação ao eixo longitudinal do testemunho.</b>
245	250	Carbonatito calcítico branco, normal, com apatita fina em muita quantidade, magnetita fina a normal em quantidade normal, flogopita fina em pouca quantidade e sulfetos poucos e disseminados.
250	255	Carbonatito calcítico branco, normal, com apatita fina a normal, localmente friável, em muita quantidade, magnetita fina a normal, localmente grossa, em quantidade normal, flogopita normal a grossa em quantidade normal e sulfetos poucos e disseminados. Obs. Silicatos são presentes nos últimos 0,05m. <b>Foliação magmática 110°.</b>
255	260	Carbonatito calcítico branco, normal a grosso, com apatita fina, localmente grossa, em muita quantidade de 255,00 a 258,50m e em pouca quantidade no restante do intervalo, magnetita fina a normal, localmente grossa, em pouca quantidade, flogopita normal em quantidade normal e fina, concentrada em silicatos que ocorrem nos primeiros 0,40m do intervalo e sulfetos em quantidade normal e disseminados. <b>Foliação magmática 120°.</b>
260	265	Carbonatito calcítico branco, fino, com apatita fina, ovóide, em pouca quantidade de 260,00 a 261,16m e em muita quantidade no restante do intervalo, magnetita e flogopita finas a normais em pouca quantidade de 260,00 a 261,55m e normais a grossas em quantidade normal no restante do intervalo e sulfetos poucos e disseminados. Zona de oxidação de 264,15 a 264,80m.



265	270	Carbonatito calcítico, fina a normal, com apatita fina em quantidade muita a normal, magnetita normal em pouca quantidade, flogopita normal a grossa em quantidade normal e sulfetos poucos, disseminados e preenchendo vênulas. <b>Foliação magmática 115°.</b>
270	275	Carbonatito calcítico branco, fino a normal, com apatita fina em muita quantidade de 271,40 a 272,20m e em pouca quantidade nos outros intervalo, magnetita e flogopita normal a grossa e em muita quantidade de 272,63 a 272,96m e finas a normais, localmente grossas, nos outros intervalos e em pouca quantidade e sulfetos poucos e disseminados.
275	280	Carbonatito calcítico branco, fino a normal, com apatita fina em muita quantidade de 277,71 a 278,95m e em pouca quantidade nos outros intervalo, magnetita normal a grossa, localmente muito grossa, em pouca quantidade, flogopita normal em pouca quantidade e sulfetos poucos, associados a magnetita. <b>Foliação magmática 150°.</b>
280	285	Carbonatito calcítico branco, fino a normal de 280,00 a 282,01m, com apatita fina em muita quantidade, magnetita fina a normal em pouca quantidade, flogopita fina e em pouca quantidade, carbonatito dolomítico azulado, grosso de 282,01 a 285,00m, com apatita fina em quantidade normal a muita, magnetita e flogopita finas em pouquíssima quantidade.
285	290	Carbonatito dolomítico branco, grosso, com apatita fina em quantidade normal, magnetita normal a grossa em pouquíssima quantidade, flogopita normal a grossa em pouca quantidade e sulfetos poucos e disseminados. <b>Foliação magmática subhorizontal.</b>



290	295	Carbonatito dolomítico azulado, grosso de 290,00 a 293,77m, com apatita fina em muita quantidade de 290,00 a 291,40m e em pouquíssima quantidade até 293,77m, magnetita fina a normal em pouca quantidade, flogopita grossa em pouca quantidade e sulfetos poucos e disseminados. Carbonatito calcítico branco, normal de 293,77 a 295,00m, com apatita fina em quantidade normal, magnetita normal a grossa em pouquíssima quantidade, flogopita normal, localmente muito grossa, em pouquíssima quantidade e sulfetos poucos e disseminados.
295	300	Carbonatito calcítico branco, normal de 295,00 a 295,44m e 299,05 a 300,00m, com apatita fina em pouca quantidade, magnetita fina a normal em quantidade pouca a normal, flogopita grossa em pouca quantidade e sulfetos poucos e disseminados. Carbonatito dolomítico, normal de 295,44 a 299,05m, com apatita fina em quantidade normal, magnetita fina em pouca quantidade, flogopita fina em pouca quantidade e sulfetos poucos e disseminados. <b>Foliação magnética subhorizontal.</b>
300	305	Carbonatito calcítico branco, normal, com apatita fina em quantidade normal, magnetita fina a normal em quantidade normal a muita, flogopita normal em quantidade normal e sulfetos em quantidade normal e disseminados.
305	306,5	Carbonatito calcítico branco, normal, com apatita fina em quantidade normal, magnetita grossa em quantidade normal, flogopita grossa em pouca quantidade e sulfetos poucos e disseminados. Obs. últimos 20m material alterado e desagregado. <b>Foliação magnética subhorizontal.</b>



# Anexo-6: Log de sondagem com representação dos litotipos

Profundidade (m)		Temperatura (°C)			Litotipo
Superfície	Fundo	Superfície	10m	20m	
0	10	25.0	25.0	25.0	Superfície
10	20	25.0	25.0	25.0	Superfície
20	30	25.0	25.0	25.0	Superfície
30	40	25.0	25.0	25.0	Superfície
40	50	25.0	25.0	25.0	Superfície
50	60	25.0	25.0	25.0	Superfície
60	70	25.0	25.0	25.0	Superfície
70	80	25.0	25.0	25.0	Superfície
80	90	25.0	25.0	25.0	Superfície
90	100	25.0	25.0	25.0	Superfície
100	110	25.0	25.0	25.0	Superfície
110	120	25.0	25.0	25.0	Superfície
120	130	25.0	25.0	25.0	Superfície
130	140	25.0	25.0	25.0	Superfície
140	150	25.0	25.0	25.0	Superfície
150	160	25.0	25.0	25.0	Superfície
160	170	25.0	25.0	25.0	Superfície
170	180	25.0	25.0	25.0	Superfície
180	190	25.0	25.0	25.0	Superfície
190	200	25.0	25.0	25.0	Superfície
200	210	25.0	25.0	25.0	Superfície
210	220	25.0	25.0	25.0	Superfície
220	230	25.0	25.0	25.0	Superfície
230	240	25.0	25.0	25.0	Superfície
240	250	25.0	25.0	25.0	Superfície
250	260	25.0	25.0	25.0	Superfície
260	270	25.0	25.0	25.0	Superfície
270	280	25.0	25.0	25.0	Superfície
280	290	25.0	25.0	25.0	Superfície
290	300	25.0	25.0	25.0	Superfície
300	310	25.0	25.0	25.0	Superfície
310	320	25.0	25.0	25.0	Superfície
320	330	25.0	25.0	25.0	Superfície
330	340	25.0	25.0	25.0	Superfície
340	350	25.0	25.0	25.0	Superfície
350	360	25.0	25.0	25.0	Superfície
360	370	25.0	25.0	25.0	Superfície
370	380	25.0	25.0	25.0	Superfície
380	390	25.0	25.0	25.0	Superfície
390	400	25.0	25.0	25.0	Superfície
400	410	25.0	25.0	25.0	Superfície
410	420	25.0	25.0	25.0	Superfície
420	430	25.0	25.0	25.0	Superfície
430	440	25.0	25.0	25.0	Superfície
440	450	25.0	25.0	25.0	Superfície
450	460	25.0	25.0	25.0	Superfície
460	470	25.0	25.0	25.0	Superfície
470	480	25.0	25.0	25.0	Superfície
480	490	25.0	25.0	25.0	Superfície
490	500	25.0	25.0	25.0	Superfície
500	510	25.0	25.0	25.0	Superfície
510	520	25.0	25.0	25.0	Superfície
520	530	25.0	25.0	25.0	Superfície
530	540	25.0	25.0	25.0	Superfície
540	550	25.0	25.0	25.0	Superfície
550	560	25.0	25.0	25.0	Superfície
560	570	25.0	25.0	25.0	Superfície
570	580	25.0	25.0	25.0	Superfície
580	590	25.0	25.0	25.0	Superfície
590	600	25.0	25.0	25.0	Superfície
600	610	25.0	25.0	25.0	Superfície
610	620	25.0	25.0	25.0	Superfície
620	630	25.0	25.0	25.0	Superfície
630	640	25.0	25.0	25.0	Superfície
640	650	25.0	25.0	25.0	Superfície
650	660	25.0	25.0	25.0	Superfície
660	670	25.0	25.0	25.0	Superfície
670	680	25.0	25.0	25.0	Superfície
680	690	25.0	25.0	25.0	Superfície
690	700	25.0	25.0	25.0	Superfície
700	710	25.0	25.0	25.0	Superfície
710	720	25.0	25.0	25.0	Superfície
720	730	25.0	25.0	25.0	Superfície
730	740	25.0	25.0	25.0	Superfície
740	750	25.0	25.0	25.0	Superfície
750	760	25.0	25.0	25.0	Superfície
760	770	25.0	25.0	25.0	Superfície
770	780	25.0	25.0	25.0	Superfície
780	790	25.0	25.0	25.0	Superfície
790	800	25.0	25.0	25.0	Superfície
800	810	25.0	25.0	25.0	Superfície
810	820	25.0	25.0	25.0	Superfície
820	830	25.0	25.0	25.0	Superfície
830	840	25.0	25.0	25.0	Superfície
840	850	25.0	25.0	25.0	Superfície
850	860	25.0	25.0	25.0	Superfície
860	870	25.0	25.0	25.0	Superfície
870	880	25.0	25.0	25.0	Superfície
880	890	25.0	25.0	25.0	Superfície
890	900	25.0	25.0	25.0	Superfície
900	910	25.0	25.0	25.0	Superfície
910	920	25.0	25.0	25.0	Superfície
920	930	25.0	25.0	25.0	Superfície
930	940	25.0	25.0	25.0	Superfície
940	950	25.0	25.0	25.0	Superfície
950	960	25.0	25.0	25.0	Superfície
960	970	25.0	25.0	25.0	Superfície
970	980	25.0	25.0	25.0	Superfície
980	990	25.0	25.0	25.0	Superfície
990	1000	25.0	25.0	25.0	Superfície



**FURO SP - 01**

N 790248,6911

cota 28,563

Data:

E 265510,9434

azimuth 153

incl 55°

Revisão: 2

**Domínios Geológicos**

CBC = Carbonatito a calcita

ZF = Zona de falha

CBDL = Carbonatito a dolomita

BR = BRECHA

CBM = Intercalação de dolomita

ZX = Zona de xenólitos

CBOX = Carbonatito oxidado

J = Jacupiranguito franco

M a = apatita grossa  
 I m = magnetita >10% e grossa  
 N f = flogopita > 15%  
 E si = presença de silicatos  
 R s = sulfetos > 1%  
 A ol = presença de olivina  
 I  
 S

**Crítérios da Mina**

Calcítico = MgO &lt; 4,5%

Magnesiano MgO entre 4,5 e 8%

Dolomítico = MgO &gt; 8%

 Xenólito = SiO<sub>2</sub> > 10%

Encaixante = Jacupiranguito

 Amostra para  
Caracterização

	Descrição litológica			Domínios Geológicos	Profundidade (m) de até		Teores (%)			MINA
							P2O <sub>5</sub>	MgO	SiO <sub>2</sub>	
CBCsol SP01-01	CBC	s		CBC	0	5	5,16	7,05	0,21	Magnesiano
	CBC	s ol			5	10	6,46	4,05	2,05	Calcítico
	CBC	s ol			10	15	6,30	3,48	2,04	
	CBC				15	20	4,97	3,09	<0,10	
	CBC	s			20	25	5,68	3,08	1,80	
CBC sol SP01-02	CBC	m s ol		CBC	25	30	11,20	4,80	1,08	Magnesiano
	CBC	s ol			30	35	5,18	3,75	1,90	Calcítico
	CBC	s ol			35	40	5,02	3,15	1,76	
	CBC	s ol			40	45	6,58	3,67	2,00	
	CBC	m s			45	50	7,95	4,20	0,91	
CBCOX	CBC	m s		CBCOX	50	55	6,80	4,31	2,29	
	CBC	m s			55	60	7,24	3,33	0,46	
CBC CBC s SP01-03	CBC			CBC	60	65	4,12	2,90	0,15	
	CBC				65	70	6,11	3,07	1,91	
	CBC	s			70	75	6,40	2,88	0,34	
	CBC	s			75	80	5,38	3,04	1,84	
	CBC	s			80	85	4,66	3,09	0,22	
	CBC	s			85	90	5,17	3,54	1,85	
	CBC	s			90	95	4,85	3,68	1,80	
	CBC	m s			95	100	8,10	3,77	2,11	
	CBC	s			100	105	6,57	3,27	1,89	
	CBC	s			105	110	8,49	3,72	0,63	
ZX (38) SP01-04	CBC	m s		ZX	110	113	5,92	3,83	2,14	
	zona reação	si s			113	115	5,07	19,5	16,3	Xenólito
	zona reação	si s			115	117	2,80	17,1	18,9	
	CBC	si s			117	120	3,35	4,12	2,66	
	CBC	s			120	121	5,43	6,80	5,58	Magnesiano
	zona reação	s			121	122,40	2,23	19,5	34,5	
	CBC	m si s			122,40	123,90	8,35	7,02	6,09	Magnesiano
	zona reação	s			123,90	125	5,13	13,0	9,78	Dolomítico
	zona reação	s			125	126,16	3,92	20,2	19,0	Xenólito
	CBC	m si s			126,16	130	4,26	13,7	10,0	
	zona reação	s			130	135	3,46	18,6	22,1	
	CBC	m si s			135	137,88	2,81	4,61	3,60	Magnesiano
	zona reação	s			137,88	138,57	3,88	21,5	20,8	
	CBC	s			138,57	140	0,68	3,41	1,96	Calcítico
	CBC	m si s			140	145	10,42	6,13	3,10	Magnesiano
ZX (71) SP01-05	CBC	m si s			145	147,76	9,93	5,52	3,84	Magnesiano
	zona reação	s		ZT	147,76	150	3,26	17,6	16,3	Xenólito
	zona reação	s			150	151,04	4,88	21,7	18,5	
	CBC	si s ol			151,04	154	4,64	4,97	1,79	Magnesiano
	zona reação	s			154	155	1,41	18,7	31,6	Xenólito
CBC sis SP-01-06	zona reação	s			155	158	2,39	16,4	15,2	
	CBC	m si s		CBC	158	160	4,70	9,31	6,08	Dolomítico
	CBC	m si s			160	165	5,40	9,69	6,35	
	CBC	f			165	170	4,27	3,20	0,31	Calcítico
	CBC	si s			170	175	4,07	8,83	6,38	Dolomítico
	CBC	si s			175	179,50	3,72	4,05	1,25	Calcítico



ZX (38)	zona reação	si s	ZX	% xenólitos= 38	179,50	180	3,21	21,2	20,5	Xenólito
	zona reação	si s		% carbonatito= 71	180	182,90	1,52	16,7	16,4	
	CBC	si s			182,90	185	4,14	4,60	2,01	
	CBC	si s			185	190	2,64	6,65	4,52	
	CBC	si s			190	191,39	4,03	4,89	3,04	
ZX (100)	zona reação		ZX	% xenólitos= 100	191,39	192,45	1,84	19,1	20,6	Xenólito
	CBC	si			192,45	194,93	3,47	7,85	5,18	
	zona reação				194,93	195	2,80	17,10	18,90	
	zona reação	%			195	198,14	4,06	12,8	10,6	
ZX (48)	CBC		ZX	% xenólitos= 48	198,14	200	1,34	3,21	0,14	Calcítico
	CBC			% carbonatito= 52	200	201,63	2,50	3,41	0,77	
	zona reação	%			201,63	205	1,61	16,4	16,9	
	zona reação				205	208,55	1,28	16,1	29,0	
	CBC				208,55	210	3,86	3,97	0,92	
	CBC				210	212,70	3,92	6,99	4,77	
	CBC				212,70	215	0,85	15,7	32,8	
ZX(100)	zona reação		ZX	% xenólitos= 100	215	220	<0,10	11,7	33,6	Xenólito
	jacupiranguito				220	225	<0,10	11,6	38,5	
	zona reação				225	228,50	0,23	12,9	34,3	
	zona reação				228,50	230	0,56	3,62	0,52	
CBC s	CBC	s	CBC		230	235	2,57	4,09	1,13	Calcítico
	CBC	s			235	240	2,02	3,86	0,36	
	CBC	si			240	245	2,20	4,43	0,98	
	CBC	s			245	250	3,04	3,97	0,26	
	CBC				250	255	5,00	4,75	1,29	
	CBC	si s			255	260	3,48	7,43	1,70	
	CBC	s			260	265	3,75	4,78	0,25	
	CBC	s			265	270	2,10	6,58	0,15	
	CBC	s			270	275	2,14	6,77	0,45	
	CBC				275	280	2,04	4,47	0,29	
	CBC				280	282	3,28	7,48	0,17	
	CBC				282	285	3,89	18,0	<0,10	
CBDL	CBDL		CBDL		285	290	4,95	18,4	0,15	Dolomítico
	CBDL				290	293,77	3,48	18,4	<0,10	
	CBDL	s			293,77	295	2,23	4,32	<0,10	
CBC	CBC	s	CBC		295	295,44	2,44	4,72	0,16	Calcítico
	CBC				295,44	299,30	4,35	17,3	<0,10	
	CBDL				299,30	300	2,38	5,59	0,27	
	CBC	s			300	305	3,82	3,68	0,32	
	CBC	s			305	306,35	5,30	3,95	0,23	
	CBC				306,35					















