

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**TIPOS MORFOGENÉTICOS DE MINÉRIOS A
MAGNETITA E APATITA DO COMPLEXO
CARBONATÍTICO DE CAJATI: CONTROLES E
PARAGÊNESE MINERAL.**

Leandro Vasconcelos Thomaz

Orientador: Prof. Dr. Jorge S. Bettencourt

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-2005/21)

SÃO PAULO
2005

TF
T465
LV.t

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

DEDALUS - Acervo - IGC



30900018047

**Tipos Morfogenéticos de Minérios a Magnetita e
Apatita do Complexo Carbonatítico de Cajati:
Controles e Paragênese Mineral**

Leandro Vasconcelos Thomaz



Monografia de Trabalho de Formatura

Banca Examinadora

Prof. Dr. Jorge S. Bettencourt

Prof. Dr. João Moreschi

Prof. Dr. Lilia Mascarenhas Sant'Agostino

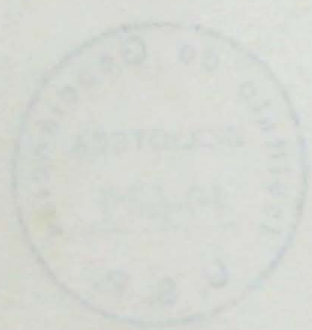
São Paulo

2005

TF
T465
LV. t

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ZOOLOGIA

Tipos Morfológicos de Minérios e Magmatitos e
Aspectos do Complexo Carbonífero do Oeste
Condições e Patrimônio Mineral



Leandro Vasconcelos Thomas

Monografia de Trabalho de Conclusão de Curso

Banco Examinadores

Prof. Dr. Carlos E. Bortolotto

Prof. Dr. João Roberto

Prof. Dr. Carlos Roberto de Souza

Assinatura

Assinatura

Universidade de São Paulo
Instituto de Geociências

Disciplina 044-500
Trabalho de Formatura – 2005

Projeto nº 21/2005

Título: Tipos morfogenéticos de minérios a magnetita e apatita do complexo carbonatítico de Cajati: controles e paragênese mineral.

De acordo: Jorge Silva Bettencourt
Jorge S. Bettencourt

Assinatura: Leandro Vasconcelos Thomaz
Leandro Vasconcelos Thomaz

São Paulo, 22 de novembro de 2005.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao orientador e amigo Jorge Uva Bettendorff pela amizade, orientação e pela oportunidade de desenvolver esta pesquisa. Agradeço também aos professores e colegas da turma, em especial ao Tiago Barros, Diogo Damasceno, Ricardo e Agneta de Faria Jr, pelo apoio e colaboração durante o curso.

Agradeço também à minha família que sempre me apoiou e compreendeu a minha ausência durante o período de desenvolvimento e conclusão desta monografia.

Obrigado também aos meus pais, ao laboratório de produção de células e tecidos, ao Dr. A. M. B. Drumond, pelo apoio no MCV (CT-EPUSP) ao Marco de Engenharia (MCE), ao Prof. Dr. Expedito Roberto pelo apoio e orientação no curso de Engenharia de Materiais.

Aos professores da Unesp, por terem este curso uma importância e destaque especial, em especial ao Dr. Carlos G. Rajan, G. M., João César G. F., Elder V. Rosa S. U., Sérgio A. G., João K. U., Leandro G., pelos grandes ensinamentos e amizade. Aos professores por terem aceitado as minhas necessidades para a realização deste trabalho.

Por fim, agradeço a Maria de J. C. S. pela compreensão, apoio e incentivo durante todo o desenvolvimento deste trabalho e por permitir que eu realizasse este trabalho no laboratório de células e tecidos.

Um obrigado a todos que tornaram este trabalho possível e que por isso tenho o prazer de agradecer.

Dedico este trabalho
em memória a minha mãe,
Maria Aparecida Vasconcelos Thomaz,
que sempre estará no meu coração

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao orientador e amigo Jorge Silva Bettencourt pela inestimável orientação e pela oportunidade de desenvolvimento desta pesquisa. A Bünge por tornar possível a execução deste, em especial ao Tiago Bonás, Daniel Bernardes Raposo e Agenor de Faria Jr, pelo apoio e capacitação técnica.

Reconheço e agradeço a minha família que tanto me apoiou e compreendeu a minha ausência temporal durante o período de mapeamento e confecção desta monografia.

Obrigado a Luceir, pelas seções polidas. Ao laboratório de confecção de seções delgadas do IGc. A Mariane Brumatti, pelo apoio no MEV (LCT-EPUSP), ao Marco da microsonda (IGc). Ao prof.dr. Excelso Ruberti pelo apoio e discussão de dados.

Aos meus amigos da Geologia, por tornar este curso uma indescritível e inesquecível aventura, em especial ao Graziani G., Rafael G. M., Julio César C. F., Elder Y., Rosa S. U., Susanne A. O., Maria K. U., Leandro C., pelos grupos formados e imensa amizade. Aos professores por terem ensinado as ferramentas necessárias para a elaboração deste trabalho.

Um agradecimento especial a Mayra de J. C. S., pela companhia, atenção e carinho desde o início da confecção deste trabalho, e pela paciência nos momentos de cansaço e na ausência dos trabalhos de campo.

Um obrigado a todos que tornaram este trabalho possível, e que por ventura, tenha esquecido de agradecer.

Índice

1. Resumo.....	4
1.1 Abstract	5
2. Introdução.....	6
3. Resumo do Projeto	7
3.1 Objetivo.....	7
3.2 Relevância do Projeto.....	7
3.3 Metodologia	8
4. Fundamentação Bibliográfica	9
4.1. Geologia Regional.....	9
4.2. Geologia Local	10
4.3 Depósitos análogos e possíveis processos formadores	15
5. Resultados obtidos e interpretações preliminares	17
5.1 Mapeamento faciológico	17
5.1.1. Zona de xenólitos (Zxen)	18
5.1.2. Foscorito.....	19
5.1.2.1. Foscorito maciço brechado e/ou venulado (FmBV)	20
5.1.2.2. Foscorito acamadado ou transicional (Fat)	22
5.1.2.3. Foscorito maciço ou em bolsões com magnetita dispersas (Fmb (md))	23
5.1.3. Carbonatito norte.....	25
5.1.3.1. Carbonatito acamadado rico em magnetita (Carm).....	25
Fotos de afloramento	27
Fotos de afloramento	28
5.1.3.2. Carbonatito acamadado acinzentado fino a médio (Cacfm)	30
5.1.3.3. Carbonatito leucocrático médio a grosso (Clmg).....	31
5.1.4. Carbonatito dolomítico.....	32
5.1.4.1. Carbonatito dolomítico (Cd)	32
Fotos de afloramento	33
Microimagem	35
5.2. Microscópio eletrônico de varredura.....	37
Imagens do MEV	38
5.3. Microsonda eletrônica	40
6. Sequência paragenética	41
7. Conclusões e interpretações	43
8. Referências Bibliográficas	45
Anexos.....	49

1. Resumo

O complexo alcalino-carbonatítico de Jacupiranga se localiza no município de Cajati, região sul do Estado de São Paulo. O corpo carbonatítico forma um corpo alongado (1000x400 metros), comportando cinco intrusões distintas. A pesquisa desenvolvida contempla: um mapeamento em detalhe 1:500, da parte norte deste, reconhecendo a morfologia, distribuição, relacionamento de corpos de minério enriquecidos em magnetita e/ou apatita (foscorito) e carbonatitos associados, bem como de controles estruturais dos mesmos. Através de caracterização petrográfica buscou-se, também, compreender as paragêneses das fases minerais desses litotipos.

A área mapeada foi subdividida em oito unidades faciológicas principais, baseada em morfoestrutura, tipos de contatos, textura e associação mineral correlatas, com vistas à definição de um sequenciamento relativo temporal para estas, bem como da ordem de cristalização da associação mineralógica. Os trabalhos de geologia de mina, caracterização petrográfica e mineralógicos permitiram estabelecer a paragênese das fases minerais das associações dos litotipos referidos. Mais especificamente em relação ao foscorito, pelo menos três tipos morfogenéticos foram identificados, cada um com sua associação mineral e taxas de minerais econômicos específicos, dois foram identificadas como sendo anteriores às unidades de carbonatito, e outro, posterior aos carbonatitos calcíticos e anterior ao carbonatito dolomítico, sendo a paragênese geral definida preliminarmente a seguinte: magnetita1 \Rightarrow apatita1 \Rightarrow olivina \Rightarrow flogopita1 \Rightarrow calcita1 \Rightarrow calcita2 \Rightarrow apatita2 \Rightarrow flogopita2 \Rightarrow magnetita2 \Rightarrow dolomita.

Em relação aos corpos de foscorito e minérios a magnetita e apatita os resultados deste trabalho podem ser úteis: ao melhor delineamento espacial dos corpos, conhecimento da variabilidade modal dos minerais principais e acessórios, melhor planejamento da lavra e beneficiamento mineral.

1.1 Abstract

The Jacupiranga carbonatitic alkaline complex is located in the Cajati parish, south of the State of São Paulo. The carbonatite form a 1000x400 meters elongated body, encompassing five distinct intrusions. The studies comprise: a detailed geologic map (scale 1:500), of part of the northern sector of the carbonatite complex involving morphologic reconnaissance, distribution, relationship of the apatite-rich ore bodies (phoscorite), and associated carbonatites, as well their structural control. Also the litotype mineral phases and their paragenetic sequence were investigated through the petrographic characterization.

The surveyed area was subdivided into eight facies units, based on internal structures, contact types, correlated rock texture and mineral association, aiming at defining their relative timing of emplacement, and mineralogical crystallization. The mining geology results integrated to petrographic and mineralogic data have permitted the establishment paragenetic sequence of the referred litotype phase mineral associations. At list three morfogénetic types of phoscorite were identified, which one characterized by a specific mineral association and economic mineral concentrations, two were identified as predate the carbonatite unit, and another phoscorite type younger than calcite carbonatite and older than dolomitic carbonatite was depicted, the ultimate mineral paragéne, is as follow: magnetite₁ ⇒ apatite₁ ⇒ olivine ⇒ phlogopite ⇒ calcite₁ ⇒ calcite₂ ⇒ apatite₂ ⇒ phlogopite₂ ⇒ magnetite₂ ⇒ dolomite.

In relation to the phoscorite and associated magnetite-apatite ore bodies the results presented here may be used to a better knowledge of: a) 3D ore body distribution; b) modal variability of the main and accessory minerals, and c) mine planning and technological characterization of apatite-magnetite ore types.

2. Introdução

O complexo alcalino-carbonatítico de Jacupiranga se localiza no município de Cajati, região sul do Estado de São Paulo, no Vale do Rio Ribeira, coordenadas 48°09'W – 24°41'S, distando cerca de 230 km a sudoeste da cidade de São Paulo (fig.1). O acesso à área a partir da cidade de São Paulo é feito pela rodovia Régis Bittencourt – BR-116.



Figura 1. Localização do município de Cajati. Acesso através da Rod. Regis Bittencourt.

Este complexo constituído por rochas alcalinas e ultrabásicas, formando um corpo alongado segundo a direção NNW, que recobre uma área de aproximadamente 65Km², é intrusivo em rochas do embasamento (Grupo Açungui), constituídas por granodioritos e gnaisses proterozóicos da Faixa Ribeira (Hasui *et al.*, 1975). Na porção centro sul do complexo encontra-se o carbonatito mineralizado com apatita, alvo deste trabalho, que exibe idade aproximada de 130 Ma (Amaral *et al.*, 1967; Roden *et al.*, 1985).

Em 1943 iniciou-se a exploração de minério residual no local denominado de Morro da Mina, que após lavagem e desmagnetização gerava um concentrado com cerca de 40% de P₂O₅.

No início da década de 70 o minério residual se esgotou e começou a ser lavrada a rocha sã com teores da ordem de 5% de P₂O₅, utilizado para a fabricação de ácido fosfórico.

Muitos trabalhos de caracterização tecnológica do minério foram realizados, principalmente encomendados pela Bünge Fertilizantes S.A., responsável pela extração

mineral no Morro da Mina. Porém, poucos trabalhos enfocaram a gênese dos minérios ricos em magnetita-apatita e seus controles.

3. Resumo do Projeto

3.1 Objetivo

Em algumas porções do corpo carbonatítico ocorrem concentrações anômalas de minerais não carbonáticos, em especial magnetita e apatita, formando desde leitos centimétricos a corpos com comprimento maior que 100m. Nestes leitos foram descritos concentrações de até 90% de magnetita (Gaspar, 1989).

A pesquisa, já desenvolvida, visou a realização de um mapeamento geológico, à escala de detalhe 1:500, de algumas porções do corpo carbonatítico enriquecidos em magnetita e/ou apatita. Ênfase foi dada à distribuição e relacionamento (ex: tipo de contato, gradação mineralógica ou textural) desses corpos de minério e carbonatitos associados.

A seguir o enfoque foi dado às associações minerais de minério (paragênese) e seu relacionamento temporal, sendo realizado a caracterização petrográfica e identificação das fases minerais visando à determinação da evolução da seqüência de cristalização. Nesta etapa correlacionou-se a associação paragenética aos controles estruturais e litotipos descritos.

Realizou-se também uma revisão bibliográfica sintetizada sobre a área em estudo, bem como a análise de alguns trabalhos sobre depósitos análogos e possíveis processos formadores de estruturas e texturas similares às descritas no presente trabalho.

3.2 Relevância do Projeto

O corpo de carbonato de Jacupiranga, apesar de ser um exemplo clássico como depósito mineral de apatita e magnetita, possui poucos estudos que enfoquem a morfologia e a gênese dos níveis de minérios ricos em magnetita e apatita associada.

Os resultados deste mapeamento geológicos permitiram compreender melhor a organização interna e distribuição dos corpos e tipos de minério associados na porção norte da mina de Cajati. Este conhecimento pode, em um futuro próximo, fornecer subsídios para o modelo conceitual do depósito ou para os modelos exploratórios e de desenvolvimento de mina, visto que estes minérios ricos necessitam de um

beneficiamento diferenciado, podendo propiciar a otimização e melhor aproveitamento dos insumos minerais.

A análise paragenética poderá ajudar neste refino do modelo conceitual geológico da jazida e fornecer características do minério que, eventualmente, poderão ser utilizadas para uma melhor caracterização tecnológica do minério e otimização do processo de beneficiamento.

3.3 Metodologia

Antes dos trabalhos iniciais de campo, foi realizado um levantamento bibliográfico relativo à geologia regional, local e de depósitos análogos. A pesquisa bibliográfica continuou até o final da redação da monografia do Trabalho de formatura.

A metodologia aplicada inicialmente consiste na descrição de intervalos em furos de sondagem que atravessam zonas enriquecidas em magnetita e apatita. Inicia-se com a análise da estrutura geral da rocha e tipos de gradações, descrição da textura, mineralogia e estimativa modal. A ênfase é dada às feições que possam fornecer subsídios à compreensão dos processos formadores atuantes (tais como tipos de foliação, presença de bandamento, variações na estrutura/textura, variações na quantidade, granulação e granularidade dos minerais, etc.). Esta descrição é complementar àquela já realizada pela empresa, cuja função é voltada para o processamento do minério. Também foi realizada a coleta de alguns intervalos de interesse para caracterização petrográfica.

Durante a fase de levantamentos sistemáticos de campo abordou-se a coleta de dados e amostragem de rocha e minério, buscando a compreensão do quadro geológico, seguindo com o adensamento da malha de afloramentos, visando a confecção de mapas na escala de detalhe de 1:500 das principais zonas mineralizadas. Nesta fase foram efetuadas as descrições de perfis geológicos acompanhando as bancadas da mina, sendo feita marcação dos pontos descritos nas frentes de lavra com tinta, bem como descrição pormenorizada, concomitante, de variações observadas. Foi realizada amostragem sistemática de rochas pertencentes às diferentes *fácies* dos carbonatitos, seguida pela descrição macroscópica e microscópica dos litotipos.

A análise petrográfica consiste na descrição de microestruturas, textura, mineralogia, estimativa modal, dimensão dos cristais, ordem de cristalização e síntese textural, que complementam as descrições macroscópicas e mesoscópicas. Em algumas

lâminas (sem a utilização de bálsamo) utilizou-se coloração seletiva de carbonatos, para a diferenciação de calcita e dolomita.

Posteriormente às descrições petrográficas utilizou-se Microscópio eletrônico de varredura (MEV–marca LEIKA, modelo ESTEREOSCAN 440) com elétrons retroespalhados e microanálise por Dispersão de Energia (SEM-EDS–detetor OXFORD LINK GEM) acoplada, no Laboratório de Caracterização Tecnológica do Departamento de Engenharia de Minas, da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (LCT – EPUSP), para a identificação de minerais, através de análises químicas semi-quantitativas, e observação de texturas com maior nitidez que microscópio convencional. As análise quantitativas de magnetita foram realizadas com Microsonda eletrônica (modelo Jeol JXA 8600), no laboratório do IGc-USP.

As microfotos foram tiradas com câmera digital acoplada a microscópio convencional no Labpetro, IGc-USP.

Na confecção de figuras ilustrativas, mapa geológico e estrutural utilizou-se os programas Microsoft PowerPoint® e Corel Draw®.

4. Fundamentação Bibliográfica

4.1. Geologia Regional

A descoberta do complexo Ultramáfico-Alcalino de Jacupiranga foi atribuída a Bauer (1877) que publicou um artigo na Revista de Engenharia do Rio de Janeiro, descrevendo-as como “As minas de ferro de Jacupiranga”.

Derby (1891) denominou de “Jacupiranguito” uma rocha ígnea, alcalina, composta principalmente por titano-augita e magnetita, com flogopita, olivina e nefelina como acessórios. Interpretou a gênese do carbonatito como sendo resultante de metamorfismo de contato entre jacupiranguito e rocha carbonática.

Melcher (1965) sugeriu uma origem magmática para os carbonatitos, indo contra a hipótese de produto do metamorfismo de contato, como se acreditava até então. Publicou um mapa detalhado do corpo intrusivo.

Herz (1977, *apud* Ruberti 2000) caracteriza uma região de intensa atividade magmática associado a um “hot spot” difuso em uma série de Junções tríplices, relacionadas à abertura inicial do Atlântico Sul. O possível condicionante tectônico seria

o arco de Ponta Grossa, uma estrutura NW-SE ativa, possivelmente, desde os tempos paleozóicos.

Segundo Germann *et al.* (1987) o complexo exhibe forma ovalada (10,5 x 6,7 km), com alongamento NNW e encontra-se inteiramente encaixado em rochas Pré-Cambrianas do Grupo Açungui. É formado por dois corpos intrusivos principais: dunitos na parte norte e magnetita clinopiroxenitos (jacupiranguito) na porção sul. O Jacupiranguito teria sido intrudido por um corpo de ijolito com forma de meia lua, e por um corpo alongado de carbonatito de menor tamanho (fig. 2). Ocorrem fenitos principalmente nas margens do complexo. Esse trabalho mantém, essencialmente, as divisões geológicas propostas por Melcher (1965).

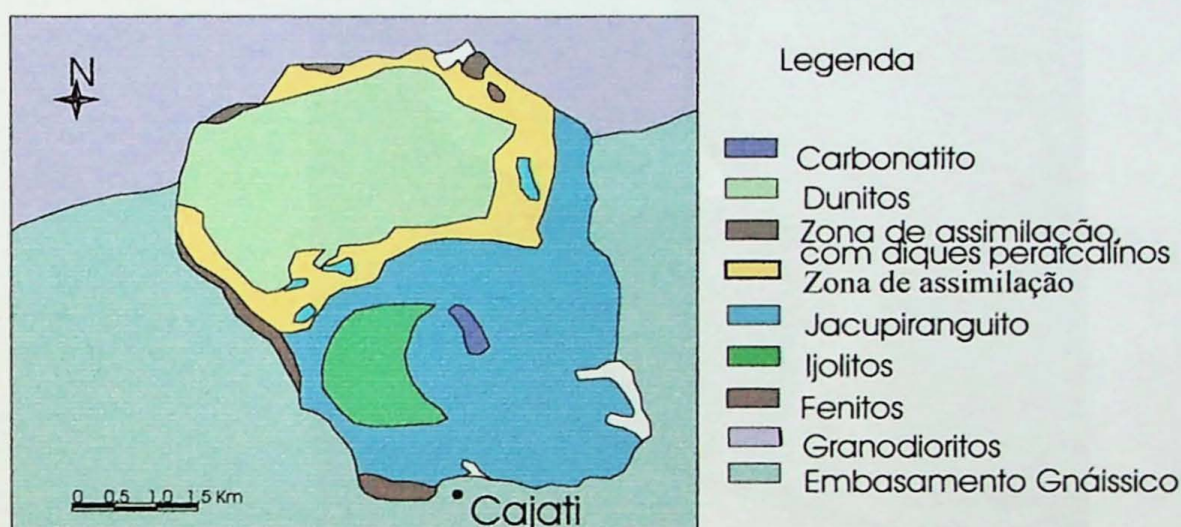


Figura 2. Mapa geológico do Complexo Alcalino de Jacupiranga (adaptado de Germann *et al.*, 1987, *apud* Raposo, 2002).

4.2. Geologia Local

O corpo carbonatítico do complexo alcalino-carbonatítico de Jacupiranga forma um corpo alongado (1000x400metros). A elevação denominada “Morro da Mina” alcançava 225 metros no início das operações mineiras em 1943. Atualmente com o avanço da mineração a céu aberto o fundo da cava posiciona-se aproximadamente a 70 metros abaixo do nível do mar.

Melcher (1966) descreve a ocorrência de duas intrusões carbonatíticas independentes, porção norte e sul.

Gaspar (1989) efetuou um mapeamento em escala de detalhe, com suporte de petrografia, medições de acamadamentos, lineação mineral (apatita) e determinações em

microsonda eletrônica, revelando a ocorrência de cinco intrusões carbonatíticas distintas, de idades diferentes. As intrusões da porção Sul foram denominadas C₁, C₂, C₃ e as da porção Norte C₄ e C₅ (fig. 3), sendo a seqüência das intrusões carbonatíticas, da mais antiga a mais nova, a seguinte: C₁, C₂, C₃, C₄ e C₅. O acamadamento é definido pela variação relativa de vários minerais presentes, principalmente na proporção de minerais carbonáticos e não carbonáticos (apatita, olivina, magnetita, flogopita e sulfetos).

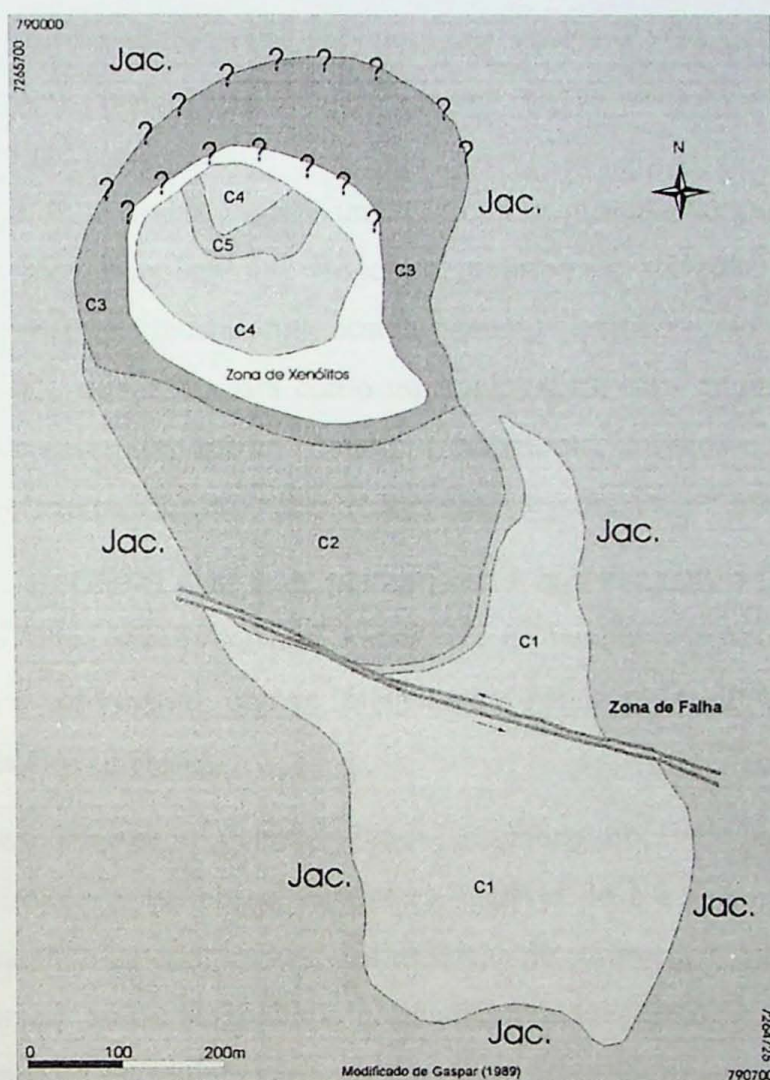


Figura 3. Mapa das intrusões carbonatíticas segundo Gaspar 1989 (*apud* Raposo, 2002).

Segundo Gaspar (1989), C₁ é um sövito, com granulação grossa e acamadamento espesso, composto por calcita, apatita, magnetita, olivina, flogopita, dolomita e sulfetos (toda a mineralogia é descrita pelo autor na ordem de maior para menor abundância). O acamadamento é geralmente subvertical mergulhando para Norte. A lineação da apatita é sempre sub-horizontal. Duas regiões ao Sul podem ser individualizadas por serem pobres em minerais não carbonáticos; já fora dessas regiões o sövito é rico em olivina, magnetita e apatita e contém apatita e flogopita.

A intrusão C₂ é descrita pelo autor como um sövito dolomítico com granulação fina a média, finamente acamadado, composto por: calcita, apatita, magnetita, olivina, flogopita, dolomita e sulfetos. Possui mergulho vertical, paralelo ao contato com C₁ e a lineação da apatita é sub-horizontal. No contato entre C₂ e C₃ observa-se sövito e beforsito com acamadamento difuso.

A intrusão C₃ também é um sövito com granulação média a grossa. O acamadamento é menos evidente composto por: calcita, apatita, magnetita, flogopita, dolomita, olivina e sulfeto. Exibe uma característica diferente dos outros locais: no centro o mergulho é para Norte, entre 20° a 40°, já nas bordas torna-se mais íngreme, e em alguns locais, vertical.

Na porção Sul, C₄ é descrita como um sövito com granulação média, composta por: calcita, apatita, magnetita, olivina, flogopita, dolomita e sulfetos. Essa região é descrita como uma intrusão cilíndrica com acamadamento vertical paralelo às bordas.

E por último C₅, que é descrita como um rauhaugito, com granulação média a grossa, composto por dolomita, apatita, flogopita, magnetita, sulfetos e calcita. Para o autor C₅ corta C₄ e possui bandamento com mergulhos próximos a 80° para Norte.

Morbidelli *et al.* (1986) elaboram, pela primeira vez, um estudo detalhado sobre as zonas de reação. Eles descrevem uma seqüência de bandas silicáticas, a partir do jacupiranguito para o carbonatito, que se inicia com a banda A (anfíbolítica), banda F (flogopítica) e banda O (olivínica).

A banda A encontra-se no contato com o jacupiranguito, onde os anfíbólios são pseudomorfos de piroxênio. Apresenta espessura variável de 1 a 5 cm, tem coloração verde escura, intercalando-se com bandas milimétricas de carbonatos, num bandamento bem definido. Ocorrem ainda flogopita e magnetita remanescente. A banda F, mais desenvolvida, é composta essencialmente por flogopita, além de ilmenita e magnetita. A estrutura bandada não é tão regular, por vezes ocorrendo como manchas. Apresenta espessura variável de poucos centímetros a 1 m e coloração vermelho vinho. A banda O, mais externa, contém, além de olivina abundante, flogopita, magnetita e ilmenita. A espessura das bandas é de dimensões centimétricas a decimétricas, e a coloração é muito escura, quase preta. A estrutura bandada é menos regular que aquela das fases anteriores, deformação essa causada por veios carbonatíticos. Comumente relictos de olivina encontram-se fortemente afetados por serpentinização.

As principais feições mineralógicas e petrográficas das intrusões carbonáticas como descritas por Gaspar (1983) e Morbidelli et al. (1986) estão sintetizadas na tabela 1 (modificado de Ruberti, 2000).

	TIPO DE ROCHA	MINERALOGIA PRINCIPAL *	GRANULAÇÃO	OUTRAS FEIÇÕES
Intrusão Sul	C1 Sövito	C, ap, mt, ol, phl, dl, sf	grosso	Bandamento grosso
	C2 Dolomito Sövito	C, dl, ap, mt, phl, sf	Fino a médio	Finamente bandado
	C3 Sövito	Cc, ap, mt, phl, dl, ol, sf	Médio a grosso	Minerais não-carbonáticos menos abundantes que nos outros Sövitos. Bandamento menos evidente
Intrusão Norte	C4 Sövito	Cc, ap, mt, ol, phl, dl, sf	Médio	
	C5 Rauhaugito	Dl, ap, phl, mt, sf, cc	Médio-grosso	Muito poucos silicatos, óxidos e sulfetos.
Diques	B4 Beforsito	Dl, phl, mt, cc	fino	Intrudido no Sövito C4
	B5 Beforsito	Dl, cc, ap, mt, sf	Médio a fino	Offshoot do Rauhaugito C5 no Sövito C4
Rochas do contato entre intrusão carbonática C2 e C3	S Sövito	Cc, dl, ap, phl, mt, sf	Médio a grosso	Bandamento difuso
	B Beforsito	Dl, cc, ap, mt, sf	Médio	Bandamento difuso
Zona de reação entre carbonatito e magnetita-clinopiroxenito	A Banda anfibolítica	Am psd de py, phl, mt, il	fino	Espessura de 1-5cm, no contato com Mt-cpx. Banda carbonática contém am, phl, ap
	P Banda flogopítica	Phl, am, il, mt	fino	Espessura cm a m. Horizonte carbonático com ap.
	O Banda Olivínica	Ol, chm, phl, mt, il		Espessura cm a dm. Bandas carbonáticas com ap podem estar ausentes
Rocha encaixante	Mt-cpx	Py, Timt	médio	

*Minerais colocados na ordem de decréscimo de abundância.

Abreviação mineralógica: am, anfíbólio; ap, apatita; cc, calcita; chm, clinohumita; dl, dolomita; ilm, ilmenita; mt, magnetita; ne, nefelina; ol, olivina; phl, flogopita; psm, pseudomorfos; py, clinopiroxênio; rch, richterita; sf, sulfeto; Timt, titanomagnetita. Rochas: cpx, clinopiroxenito; Cb, carbonatito; Mt-cpx, magnetita-clinopiroxenito.

Tabela 1. Petrografia de carbonatitos e magnetita clinopiroxenito e bandas de reação. Modificado de Ruberti, (2000).

Hirano et al. (1987, apud Ruberti 2000) agruparam as associações mineralógicas em quatro classes: carbonatito calcítico (CC), carbonatito calcítico rico em magnetita (CMT), carbonatito calcítico rico em apatita (CCap), e carbonatito dolomítico (DC). As principais feições desses grupos estão apresentadas na Tabela 2.

NOME DA ROCHA	OCORRÊNCIA	PRINCIPAL MINERAL CARBONÁTICO	OUTROS MINERAIS PRINCIPAIS E ACESSÓRIOS (DECRESCENDO NA ORDEM DE ABUNDÂNCIA)
Carbonatito calcítico (CC)	Maior constituinte de ambos <i>plugs</i> Norte e Sul. Alguns CC intrudem outros CC como lentes ou diques	calcita	Apatita, magnetita, dolomita; acessórios flogopita, olivina corroída, pirrotita anédrica, calcopirita e valterrita. Clinohumita como bordas de reação na olivina
Carbonatito calcítico rico em magnetita	CCmt ocorre como bandas rítmicas no CC de ambos os <i>plugs</i>	calcita	Magnetita (3 a 15mm, freqüentemente zonada), dolomita, flogopita, apatita e pouca olivina e sulfetos.
Carbonatito calcítico rico em apatita (CCap)	CCap ocorre com xenólitos e bandas em CC, especialmente em zonas marginais do <i>plug</i> carbonatítico Sul.	calcita	Apatita (3mm, euedrica a subeuedrica, atinge mais de 40% modal), olivina (anédrica, inclusão de apatita), magnetita, dolomita e pouca flogopita e sulfetos.
Carbonatito dolomítico com granulação fina a média (DCfg) e carbonatito dolomítico com granulação grossa (DCcg)	DCfg intrude no centro de ambos os <i>plugs</i> carbonatíticos DCcg ocorre principalmente no <i>plug</i> norte como bandas rítmicas com DCfg. Alguns cristais de dolomita desenvolvem nas paredes do DCfg	dolomita	Apatita (acicular e colunar 10 – 30% conteúdo modal); pouca magnetita (anédrica a subeudrica), flogopita e calcita anédrica (2 -8%), sulfetos e eventual olivina com bordas de flogopita.

Tabela 2. Classificação das principais feições dos carbonatitos do complexo de Jacupiranga (Hirano et al. 1987, modificado de Ruberti 2000).

Dentre alguns estudos voltados para a caracterização tecnológica destacam-se: Alves (1999), que correlacionou os tipos litológicos de minério e seu aproveitamento na usina de beneficiamento. Bonás (2001) que padronizou critérios de descrição litológica com vista ao acompanhamento de lavra e pesquisa mineral. Silva (2001) que estudou a mineralogia dos minerais acessórios. Raposo (2002) que realizou um estudo mineralógico no rejeito da Usina de fabricação de foscálcio proveniente do processamento de minério da unidade litológica carbonatito calcítico sul. Brandão (2003) estudou a variabilidade da composição química dos carbonatos do corpo carbonatítico.

4.3 Depósitos análogos e possíveis processos formadores

Magmas carbonatíticos apresentam baixíssima viscosidade. As lavas natrocarbonatíticas do vulcão Oldoinyo Lengai (Tanzânia) apresentou uma viscosidade muito baixa (“similar a corrente de turbidez – *mudflow*”) a 544°C (atividade de junho de 1983; Sean, 1988 apud Gaspar 1989).

Segundo Lapin (1982) durante o estágio de formação dos carbonatitos, uma complexidade de rochas são formadas, incluindo uma série seqüencial de carbonatitos calcíticos, que são seguidos por rochas tardias contendo calcita-dolomita e ankerita. Outra série de rochas formada durante este estágio carbonatítico possui a calcita como um constituinte menos expressivo, e os principais minerais são apatita, forsterita, magnetita e flogopita. Essas rochas são denominadas “camaforitos” ou “foscorito” (*camaphorite or phoscorite*), e possuem posição geológica, paragênese mineral, e tempo de formação similar aos carbonatitos, mas geralmente forma-se anteriormente à massa de carbonatito.

Treiman & Schedl (1983, apud Gaspar 1989) calcularam a viscosidade de um magma carbonatítico normal em 0,05 *poise*. Acreditam que a precipitação de cristais neste magma seja o evento mais importante se considerado o provável fluxo turbulento. Demonstram que qualquer cristal maior que 0,1 cm de diâmetro poderia ser rapidamente precipitado e todos os carbonatitos primários teriam granulação fina. Eles sugerem uma cristalização *in situ* nas paredes da intrusão, onde tenderiam as forças (*stress*) derivadas do fluxo magmático, sendo que a instabilização destas provocadas por exsolução de vapor do magma e contração diferencial devido ao resfriamento, provocariam deformação penetrativa e escorregamento, obliterando as texturas ígneas primárias.

Lapin (*op. cit.*) sugere que os principais processos formadores destes níveis ricos seriam: cristalização fracionada e imiscibilidade líquida. Além disso, a cristalização fracionada com a precipitação de cristais precoces de apatita, forsterita, magnetita e flogopita seriam o principal processo de diferenciação de carbonatitos calcíticos, pressupondo-se o desenvolvimento de acamadamento de fluxo magmático durante o movimento do magma na câmara. Explica que a natureza de estrutura acamadada resulta de fracionamento de cristais e à razão entre a quantidade de carbonatos e componentes metálicos-fosfáticos-silicáticos.

Twyman & Gittins (1987) sugerem que “a maioria das rochas carbonatíticas seriam formadas por processos cumuláticos com cristais afundados através de um

magma muito fluido. Eles não seriam cumulos no sentido passivo, por exemplo, como os cumulos em rochas gábricas. O sistema convectivo magmático em complexo carbonatítico seria mais dinâmico em relação àqueles que formam cumulos, por possuírem um líquido intersticial lubrificante, seriam perturbados, re-intrudidos, e deformados por novos pulsos magmáticos. Possivelmente, a maioria das estruturas intrusivas caóticas de complexos carbonatíticos poderia ser explicada assim”.

Lapin (*op. cit.*) apresenta texturas que indicam forte atuação de processos de imiscibilidade líquida, sendo possível que magmas enriquecidos em componentes metálico-silicático-fosfático possam separar-se em carbonatito e foscorito (composto principalmente por apatita, magnetita, olivina). Essas texturas consistem em esferulitos ou em orbículos concêntricos e zonados, constituídos por forsterita e magnetita, colocados numa mesostase calcítica. Também supõe que estas rochas, por conterem pouca calcita, possam ter sofrido mecanismos de filtração por pressão que teria removido parte desta enquanto ainda em estado plástico. Outras texturas indicadoras de imiscibilidade são agregados de apatita com formato de gota (*drop-like*) e lente (*lens-like*), além de estruturas do tipo “schlieren” claramente separadas da massa de carbonatito. O autor também sustenta que estes processos de diferenciação levam as fases tardias a se tornarem mais leucocráticas, e que assimilação de rochas ultrabásicas encaixantes poderiam enriquecer o magma carbonatítico em componentes metálicos e silicáticos, necessários para a formação de foscorito.

O trabalho experimental de Turner e Campbell (1986) revê os processos de convecção magmática através do fenômeno de dupla-difusão (*double-diffusive convection*) e demonstra como diferenças na viscosidade, temperatura e mistura de magmas podem formar rochas acamadadas.

No estudo do complexo carbonatítico de Sokli - Finlândia, Vartiainen & Paarma (1979) supõem que os metafoscoritos se desenvolveram a partir do metassomatismo das rochas ultrabásicas encaixantes (olivinitos ricos em magnetita, ou piroxenitos), que foram brechadas por injeções carbonatíticas durante a colocação da câmara magmática carbonatítica. Metassomatismo-CO₂, subsequente contribuição para a formação de metasilicosövitos, mobilização e brechamento de metafoscoritos, especialmente na parte interna da área. As feições indicativas desses processos estão expressas em magnetita (primárias com cristais de 10 – 20cm), que teria sido quebrada e corroída por processos metassomáticos e deformacionais (e com alteração para outros minerais). Sendo, portanto, a abundância de magnetita no metafoscoritos (15-30%) teria sido reduzida em

relação às taxas de concentração de magnetita observadas na rocha original afetada pelo metassomatismo. A presença de olivina e piroxênio também é tida como reliquiar desse processo.

Downes et al. (2004) estudando a Província Alcalina Carbonatítica de Kola, no NW da Rússia e Leste da Finlândia, observa que na fase final de evolução do complexo diversas associações de rochas da série foscorito-carbonatito foram formados. Esses foscoritos são compostos por magnetita, forsterita, clinopiroxenito, apatita e carbonato em diferentes proporções (com magnetita geralmente dominante). Calciocarbonatitos do primeiro estágio da série foscorito-carbonatito contêm forsterita, clinopiroxênio, monticellita, flogopita, anfibólio, apatita e magnetita. Os associados aos últimos estágios, desta série, são compostos por calcita-dolomita e dolomita com forsterita e tetraferroflogopita. Os últimos carbonatitos são formados por Fe-carbonatos (dolomita rica em Fe, ankerita e siderita). Segundo os autores a série foscorito-carbonatito representa uma diferenciação complexa de magma carbonático-silicático que era extremamente rico em ferro e fósforo, e os situam como prováveis cumulos.

Muitos trabalhos similares foram realizados em associações de rochas gábricas-anortosíticas, onde níveis contendo apatita ou magnetita foram descritos como cumulos (eg. Dymek e Owens, 2001) ou por imiscibilidade líquida (eg. Kolker, 1982). Deve-se, porém, realizar uma comparação com cautela, uma vez que a viscosidade e mineralogia desta associação de rochas são diferentes.

5. Resultados obtidos e interpretações preliminares

5.1 Mapeamento faciológico

O mapeamento de detalhe na porção norte da mina de Cajati – S.P., explotado pela Bünge Fertilizantes S.A., constituiu o meio inicial e indispensável para o estudo da complexidade faciológica presente.

O procedimento adotado foi o de enfatizar as estruturas, texturas e composições mineralógicas principais, objetivando-se a distinção de *fácies* ou unidades faciológicas. Optou-se por identificar no mapa os conjuntos ou associações onde predominassem um ou vários tipos faciológicos cogenéticos, enfatizando o predomínio de determinados tipos de rochas, sem significar a ausência completa de eventuais associações adicionais, visto também a enorme variabilidade e tipos transicionais entre as *fácies* descritas.

As diversas unidades mapeáveis serão designadas por abreviações, no transcorrer da monografia. A tabela 3 mostra a correspondência entre as *fácies* descritas e a abreviação correspondente.

<i>Unidade faciológica</i>	<i>Sigla</i>
Zona de xenólitos	Zxen
Foscorito	
▪ Foscorito maciço brechado e/ou venulado	FmBV
▪ Foscorito acamadado ou transicional	Fat
▪ Foscorito maciço ou em bolsões com magnetitas dispersas	Fmb (md)
Carbonatito Norte	
▪ Carbonatito acamadado rico em magnetita	Carm
▪ Carbonatito acamadado acinzentado fino a médio	Cacfm
▪ Carbonatito leucocrático médio a grosso	Clmg
Dolomito	
▪ Carbonatito dolomítico	Cd

Tabela 3. Nomenclatura dos *fácies* reconhecidos e siglas utilizadas.

5.1.1. Zona de xenólitos (Zxen)

Ocorre na área mapeada circundando o *plug* carbonatítico, na porção Norte da mina. Está representado, no mapa, nos extremo norte, leste e oeste.

Caracteriza-se por uma estrutura brechada, contendo clastos (xenólitos) de jacupiranguito dispersos em material carbonatítico. Estes clastos possuem dimensão centimétrico a métrico (por vezes ultrapassando 5 metros de comprimento), arredondados a sub-arredondados, geralmente tabulares (foto 1); possuem coloração verde escura a preto; compõem-se predominantemente por clinopiroxênio, olivina e magnetita; a granulação varia de fina a média. Desenvolve-se freqüentemente uma borda de reação entre os clastos de jacupiranguito e o carbonatito, composta por bandas carbonáticas alternadas por bandas silicáticas; estas são formadas por olivina, flogopita e anfibólio, apresentam espessura geralmente centimétricas; coloração avermelhada, marrom, ou esverdeada; foi estudado detalhadamente por Morbidelli *et al.* (1986). Observam-se raros leitos contendo flogopita, apatita, magnetita e carbonato, de origem tardia (hidrotermal), discordantemente do bandamento, e cruzando os clastos de clinopiroxenitos seguindo planos paralelos aos de fratura.

As relações de contato observadas sugerem que o jacupiranguito é anterior às outras unidades, visto que seus contatos com os carbonatitos são por zonas de reação e brechamento, indicando que o primeiro se encontrava cristalizado e se comportava

ruptilmente (foto 2). As fases carbonatíticas intrusivas correspondem aos magmas carbonatíticos posteriores, porém com incorporação de minerais silicáticos e óxidos, pertencentes à zona de reação e ao jacupiranguito. As outras unidades podem conter xenólitos desta unidade (Foto 3).

Ordem de cristalização

A síntese textural está baseada na descrição de três seções delgadas e três seções polidas referentes à amostra SP-12-182 (descrição em anexo) e SP-12-180.

A calcita (fina e espática) deve ser o primeiro mineral a cristalar-se, ocorrendo inclusive nos outros minerais (opacos, olivina, clinopiroxênio), seguidos pela cristalização da magnetita. A olivina é posterior, e durante a cristalização, incorpora os minerais já referidos. O clinopiroxênio se desenvolve a partir da olivina, com inclusão de opaco e calcita. A flogopita cristaliza-se após a formação desses minerais, e obviamente, não está em equilíbrio com os mesmos, exibindo contatos serrilhados e substituindo outros minerais mais antigos (Mic. 2 e 5); desenvolve-se, preferencialmente, nos contatos dos grãos (em especial do opaco) e em clivagens e fraturas. Esta intimamente relacionada a carbonato espático (grosso, Mic. 5). Segue-se uma associação mineralógica tardia composta por: flogopita fina, carbonato (micrítico, Mic. 1), opaco (fino) e apatita; cortando a flogopita grossa em um plano principal, e quando em contato com a olivina, desenvolve-se serpentina. Por último tem-se a alteração parcial da olivina por clorita.

5.1.2. Foscorito

O termo foscorito foi proposto por Russel et al. (1954), derivado de FOSKOR – Phosphate Development Corporation; empresa que explora o Complexo de Palabora na África do Sul; para as rochas constituídas predominantemente por apatita, magnetita e olivina.

No presente trabalho utilizou-se a nomenclatura de foscorito para as rochas compostas tipicamente por magnetita, apatita e outros silicatos (como olivina e flogopita), utilizando como critério de distinção a quantidade de magnetita, a qual

deveria ser superior a 30% em estimativa visual e a quantidade de carbonatos não poderiam exceder a 50%.

Foram descritas diversas *fácies* de rochas enriquecidas em magnetita e apatita, sendo reunidas em 3 unidades faciológicas:

5.1.2.1. Foscorito maciço brechado e/ou venulado (FmBV)

Os corpos de foscorito ocorrem como leitos centimétricos ou faixas métricas, com mergulho subvertical, acompanhando o acamamento circular concêntrico da intrusão norte (denominado por Gaspar 1989, como intrusão C4), e apresentam boa continuidade lateral. As rochas exibem textura inequigranular, granulação fina a grossa (geralmente seriada), coloração cinza a preto.

A estrutura maciça típica é dada pela disposição regular de magnetita euédrica a subeuédrica, fina a grossa (30 – 70%); a apatita é fina (5-30%), esverdeada, amarela ou incolor, podendo ocorrer como xenólitos; a calcita é espática e de grão médio, (10 – 40%); a olivina é fina, esverdeada, e ocorre em quantidade inferior a 2%. A flogopita é fina a média, marrom ou preta, em quantidade variável 1-5%. Subordinadamente reconhece-se a presença de anfibólios e sulfetos.

A estrutura maciça ocorre comumente associada à estrutura brechada, esta resultante de finas vênulas carbonatíticas (0,5 – 1,5cm) dispostas tipicamente em 2 direções ortogonais entre si (Foto 7); esta estrutura parece estar associada a intrusão de outros magmas carbonatíticos, embora não se exclua que outros mecanismos poderiam gerar estruturas similares (p. e. filtração por pressão).

A estrutura venulado é mais comum do que a brechada, caracterizando-se por vênulas centimétricas (raramente mais espessas que 5 cm) dispostas aleatoriamente ou tendendo a acompanhar o bandamento regional, pode associar-se a uma estrutura onde predomina gotas ou círculos (dependendo do corte), compostas predominantemente por calcita espática média. A estrutura venulado está nitidamente associadas a feições intrusivas do Carm/Cacfm (Foto 5 e 6) ou ao Clmg (Foto 4); indicando sua colocação (intrusão) quando o foscorito ainda estava em estado plástico. Os limites das vênulas (Foto 6) associam-se comumente à magnetita euédrica grossa (ver seqüência de cristalização a seguir). Esta estrutura grada lateralmente para foscorito acamadado ou transicional (Fat, foto 8).

As feições intrusivas do corpo Carbonatito Norte (Carm, Cacfm, Clmg) e Carbonatito dolomítico sugerem que essa unidade é anterior à massa principal de carbonatito (eg. Foto 4), sendo por vezes concomitantes – como indicado pelos contatos sinuosos e/ou vênulas.

Ordem de cristalização

A magnetita deve ser a primeira fase mineral a se formar, é fina (0,1-0,4mm), apresenta-se como cristais subeuédricos, ou exibe textura poiquilítica, não apresenta inclusões (ou representam núcleos sem inclusão em magnetita poiquilítica posterior), ocorre inclusa na apatita e na olivina. A apatita está em paragênese com a borda da magnetita, apresentando contatos retos; granulação fina (0,1-0,5 mm), apresenta-se com textura granular/granoblástica ou seguindo cristais orientados, e ostenta magnetita inclusa. A olivina é subeuédrica, apresenta granulação fina (0,1-0,4mm) contém inclusões de magnetita e ocorre co-precipitada com a apatita. A flogopita fina incolor, está em equilíbrio mineral com a magnetita e apatita, desenvolvendo contatos retos. O carbonato espático granoblástico é pouco comum (2-8%), engloba magnetita e apatita ou ocorre intersticialmente. Observa-se que os foscorito que apresentam vênulas, principalmente pertencentes ao Clmg e Cacfm, possuem uma seqüência paragenética superimposta com recristalização e/ou consumo de minerais.

Vênulas e porções associadas: possuem dimensão centimétrica, paralelizam-se ou cortam a foliação de fluxo (?) da apatita do foscorito (Mic.6). Estas vênulas são compostas principalmente por carbonato, apatita, magnetita e flogopita. A apatita comumente é paralela as vênulas, embora possa apresentar aspecto radial ou com crescimento ortogonal aos limites da vênula; apresenta granulação média (1-3mm), pode atingir valores de até 40% modal. O carbonato é grosso (3-5mm) e envolve a apatita (em equilíbrio mineral). A flogopita é incolor, granulação média a grossa (2-10mm), apresenta-se idiomórfica; em equilíbrio com o carbonato e incluindo a apatita. A magnetita é rara inclusa na vênula, mas comum nas laterais, ocorrendo magnetita grossa euédrica (com até 3cm, Mic. 8), que grada para poiquilítica; incluem apatita, carbonato, flogopita, indicando sua cristalização como posterior a estes minerais. A dolomita é posterior e está em desequilíbrio com todos os anteriores, apresenta-se com contatos intrusivos/serrilhados, formato tabular, granulação média-grossa, ocorre

associado a planos de fraturas ou a vênulas carbonática e comumente corta a foliação da apatita e todas as seqüências anteriores.

5.1.2.2. Foscorito acamadado ou transicional (Fat)

Constitui uma *fácies* transicional ou interdigitada com o FmBV e Carm, Cacfm ou Clmg, ou sem nítida associação com FmBV, embora se localize predominantemente nas laterais deste foscorito. Formam faixas variando de poucos centímetros a alguns metros. Para esta unidade também foi utilizado o limite mínimo de 30% de magnetita.

Esta *fácies* possui dois tipos principais de estrutura:

- Acamadada – exhibe acamadamento ígneo vertical, predominando leitos ricos em magnetita (superior a 30%), alternados com leitos onde predominam carbonatos. A apatita apresenta-se dispersa nos leitos ricos em magnetita, ou formando lentes nos leitos carbonatíticos. Ambos os leitos possuem largura de poucos centímetros, geralmente em torno de 5 cm. Quando esta *fácies* ocorre nas laterais do Foscorito maciço brechado ou venulado (FmBV) observa-se uma transição paralela ao corpo foscorítico, que se dá com o aumento das espessuras dos leitos carbonatíticos e conseqüente passagem gradual para unidades faciológicas carbonatíticas (p.e. Carbonatito acamadado rico em magnetita).
- Transicional – a estrutura é maciça ou pouco acamadada. Esta *fácies* transicional é caracterizada pela decrescência na quantidade de magnetita, paralela a faixa foscorítica associada (foto 8), sem o desenvolvimento de acamadamento. Pode associar-se a qualquer unidade foscorítica. Geralmente esta transição ocorre em poucos centímetros, porém pode atingir poucos metros.

Possui coloração acinzentada, textura inequigranular seriada fina a grossa.

Quando se apresenta como unidade transicional (seja com estrutura acamadada ou transicional), apresenta textura variável, geralmente as porções ricas em magnetita possuem textura similar ao foscorito adjacente, e os leitos ou porções com maior quantidade de carbonatos possuem textura similar ao carbonatito correlato. Estas interações produzem um grande número de texturas.

Ordem de cristalização

Aparentemente existem duas seqüências paragenética para esta unidade. As porções ricas em magnetita e apatita que foram “preservadas” correspondem a seqüência paragenética do foscorito anterior (FmBV), e as camadas ricas em carbonato que possuem a seqüência paragenética do carbonatito correspondente (seja Clmg ou Carm/Cacfm), visto que esta unidade é transicional entre dois litotipos diferentes. Porém a interação desta unidades não é estática, pois o litotipo intrusivo superpõe sua seqüência paragenética e produz uma região de interação.

A magnetita é a primeira fase mineral a se formar, ocorrendo como núcleos desprovidos de inclusões (núcleos euédricos de 1-2,5mm), e ocorre inclusa na olivina e na apatita (magnetita com aproximadamente 0,025mm). Em seguida cristalizou-se que ocorre inclusa na olivina (ou co-precipitada com esta) e na borda da magnetita; a granulação varia no intervalo de 0,2 a 0,8mm. A olivina está em paragênese com a apatita, é euédrica a subeuédrica, ostenta granulação fina. Segue-se a cristalização da calcita, equidimensional ou pouco tabular (orientada), a textura é granoblástica, a granulação está ao redor de 1mm, e está em aparente equilíbrio com apatita. Ocorre outra geração de apatita, é prismática; de grão médio variando de 1 a 2mm, e que está discordante da orientação da apatita (possivelmente associada à outra fase carbonática, eg. Cacfm ou Clmg). A flogopita é posterior a olivina e apatita e ocorre em desequilíbrio com estas. Outra geração de carbonatos (provavelmente dolomita) corta a orientação da apatita e está em desequilíbrio com todos os minerais, desenvolvendo contatos serrilhados ou arredondamento (em especial da olivina e apatita). Segue-se um carbonato micrítico tardio, que corta ruptilmente todos os minerais, alguns aglomerados possuem formato sigmoidal.

5.1.2.3. Foscorito maciço ou em bolsões com magnetita dispersas (Fmb (md))

Ocorre associado a todas *fácies* descritas (com exceção do Cd e Zxen, onde não foi observado). Sua melhor exposição ocorre na porção sul e extremo norte da área mapeada. Possui extensão de poucos metros de largura. Esta unidade faciológica é cortada ou invadida pelo Carbonatito dolomítico, com a conseqüente destruição da

textura e consumo (parcial ou total) da magnetita. Esta unidade é posterior às outras unidades (exceção do Cd), por vezes apresenta-se associada a Clmg.

Constitui uma concentração local de magnetita, por vezes com valores superiores a 65% deste mineral. Podem formar bolsões lenticulares pequenos (espessura de poucas dezenas de centímetros; Foto 9), camadas contínuas de aspecto boudinado e pouca espessura (dezenas de centímetros; Foto 12), ou sem geometria definida e espessura de alguns metros (porção extremo norte ou associados ao Clmg; Foto 13 e 14).

A estrutura é maciça ou levemente acamadada, nestes casos observa-se uma superposição deste acamadamento ao anterior, por vezes gerando uma textura ramificada dado pelo cruzamento destes (Foto 14). O acamadamento ou o aspecto maciço é dado devido à disposição da magnetita e do carbonato (Foto 10).

A textura é hipidiomórfica inequigranular seriada a porfirítica (com a magnetita como fenocristal). A coloração é cinza a preta. A magnetita (30 – 65%) é tipicamente grossa, com tamanhos variando desde 0,5 cm a até 5cm (Foto 10). A apatita (5-20%), é tipicamente fina, forma bolsões lenticulares, sigmoidais ou circulares (com aspecto radial, observado próximo ao ponto LV-22). O carbonato (predominantemente calcita) apresenta-se intersticial aos cristais de magnetita e apatita (Foto 10), ou dispostos formando bandas (Foto 13); apresentam grande variação na granulação. Outros minerais identificados são sulfeto, olivina, e raramente flogopita, que ocorrem subordinadamente.

Ordem de cristalização

A magnetita mostra-se como a primeira fase mineral a se cristalizar, apresenta-se euédrica a subeuédrica (Mic. 3), comumente forma fenocristais, exibe granulação grossa variando de 3 a 30mm (cristais maiores do que 5 cm são observados), contém inclusão de apatita e carbonato, preferencialmente na borda de cristais grossos. O carbonato (calcita) é a segunda fase mineral a se formar, apresenta contatos suturados, os cristais são equidimensionais, a granulação varia de 1 a 4mm. A apatita aparentemente possui duas ou três gerações (tipos morfogenéticos), a saber: a) apatita fina, com granulação variando de 0,1 a 0,3mm, ou como núcleos (diferenciados por apresentar pouca inclusão fluida), é granular e ocorre no centro das faixas ricas em apatita (podendo estar em paragênese com a calcita); b) apatita grossa, ou possivelmente bordas recristalizadas de apatita; é prismática, possui muitas inclusões fluidas que lhe confere um aspecto sujo, a

granulação varia de 0,3 a 1mm, ocorre nas laterais de faixas ricas em apatita ou dispersas, comumente corta a apatita fina citada anteriormente; c) uma possível terceira geração de apatita seria, aparentemente, associada à dolomita; é rara, subeuédrica e prismática, a granulação é fina (~0,1mm). A dolomita seria posterior a estes minerais, corta as faixas (ou aglomerados) de apatita, desenvolvendo arredondamento desta e menos comumente na magnetita (porém desenvolvendo contatos irregulares), geralmente é tabular, fina a média. A flogopita está aparentemente associada à dolomita; geralmente euédrica, equidimensional, a granulação varia de 0,1 a 0,2mm.

Comumente apresenta magnetita tardia (pós-magmática), poiquilítica envolvendo apatita e calcita (semelhante a Mic. 9), possui borda contendo martita e sulfeto (principalmente pirita) posteriores a magnetita.

5.1.3. Carbonatito norte

Esta unidade é composta por unidades faciológicas descritas a seguir, onde o mineral principal é a calcita, que ocorre em quantidade superiores a 50%. Também é descrito como unidade de carbonatito calcítico em comparação a unidade de carbonatito dolomítico.

5.1.3.1. Carbonatito acamadado rico em magnetita (Carm)

Ocorre em grande extensão na parte mediana da área mapeada.

As rochas reunidas nessa unidade mapeável se distinguem especialmente pelo caráter acamadado e pela concentração de magnetita (entre 10 – 30%). O acamadamento vertical segue o padrão circular concêntrico da intrusão norte, sendo paralelo aos contatos com a zona de xenólitos e Jacupiranguito encaixante (Foto 2). Possui geometria em meia-lua e apresentam-se interdigitadas com a unidade Cacfm e por vezes como unidade transicional entre o foscorito (FmBV e/ou Fat). Na porção sul esta unidade ocorre como variação lateral da unidade FmBV/Fat.

A estrutura acamadada típica é dada pela alternância de leitos ricos em magnetita e apatita com leitos onde predominam carbonatos (predomina calcita sobre dolomita), o que configura diversos padrões estruturais coesos, assim descritos:

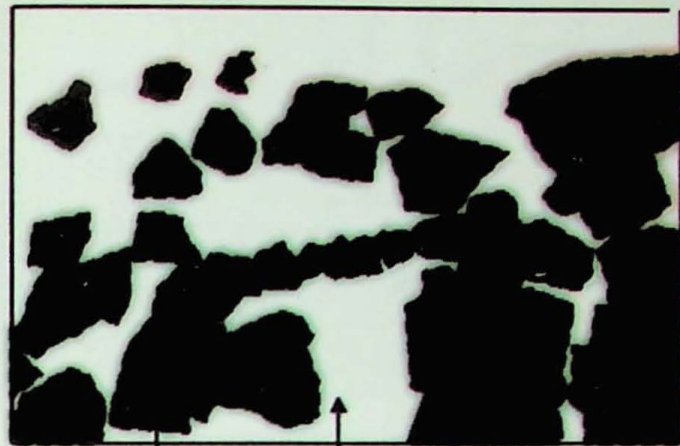
- Transicional: os limites entre as camadas é arbitrário, e a gradação pode ser devida à variação: na quantidade da magnetita em cada camada; na granulação da magnetita (porções ricas seriam compostas pela magnetita grossa); na quantidade, granulação e textura da magnetita, sendo a camada rica composta por magnetita grossa idiomórfica, gradando para poiquilítica fina a média (Foto 17) e a camada clara predominando carbonatos contendo pouca magnetita fina.
- Brusco: a magnetita se concentra em camadas e não se desenvolve uma gradação para a camada clara (rica em carbonatos), ou esta gradação é dificilmente visualizada.
- Boudinado: geralmente associado ao padrão “brusco” descrito acima. Caracteriza-se por camada ricas em magnetita, com aspecto boudinado ou rompido (onde estes leitos ricos possuem formato sigmoidal, Foto 16). A apatita pode estar associada às camadas ricas em magnetita ou nas laterais desta.
- Schlieren: as camadas são descontínuas lateralmente (Foto 15), e apresentam padrão anastomosado. Apresenta grande heterogeneidade de texturas em cada camada.

As camadas geralmente possuem espessura de poucos centímetros (2-8cm); apresentam coloração cinza a preta; textura variando de equigranular fina a média à inequigranular seriada fina a grossa, ou raramente porfirítica (com fenocristais de magnetita grossa, e carbonato e apatita fina). Compõe-se de carbonato (50-90%), magnetita (10-30%), apatita (5-20%), sulfetos, olivina, flogopita, anfibólio ocorrem subordinadamente.

São posteriores a Zxen e FmBV/Fat, ou talvez, localmente, cronocorrelato a estes foscoritos, apresentando contatos bruscos ou transicionais. Ocorre interdigitado lateralmente com a unidade Cacfm, sendo seus contatos transicionais e seus limites arbitrários; esta transição se dá através do aumento da quantidade de camadas ricas em magnetita ou da espessura desta (em comparação aos leitos ricos em carbonatos). É cortado pelas unidades Clmg e Cd.

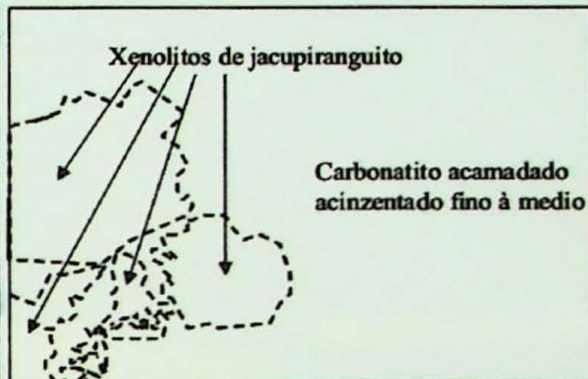


1m

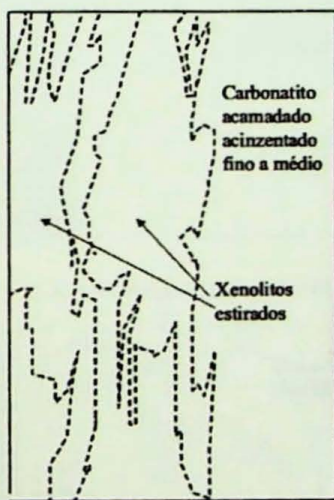
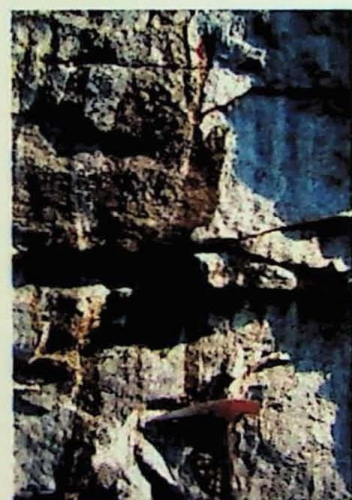


Carbonatito + zona de reação
Xenólitos de jacupiranguito

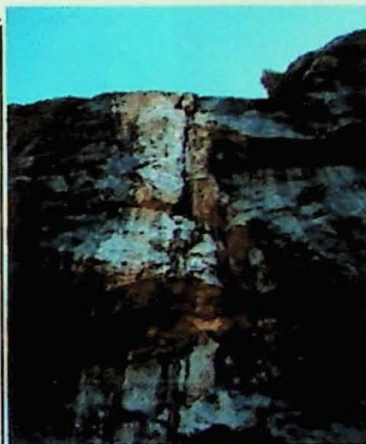
Fotografia 1



Fotografia 2



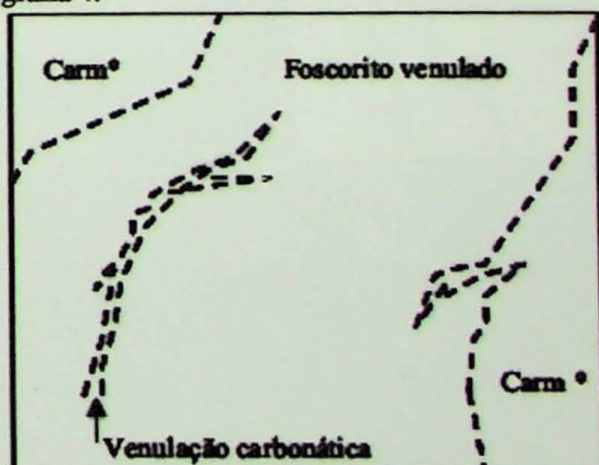
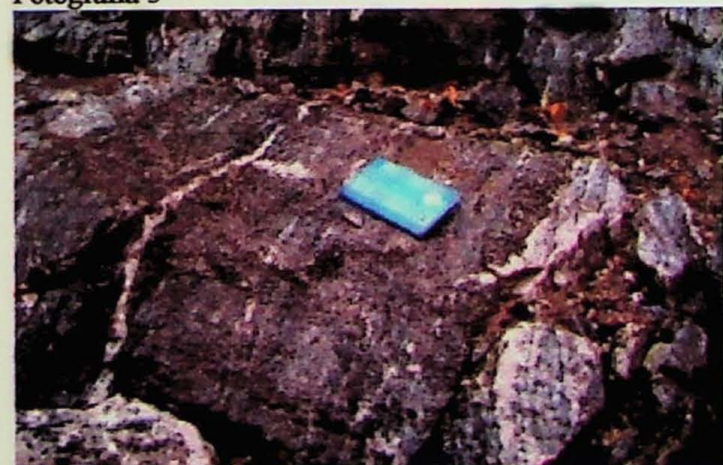
Fotografia 3



1 m



Fotografia 4.

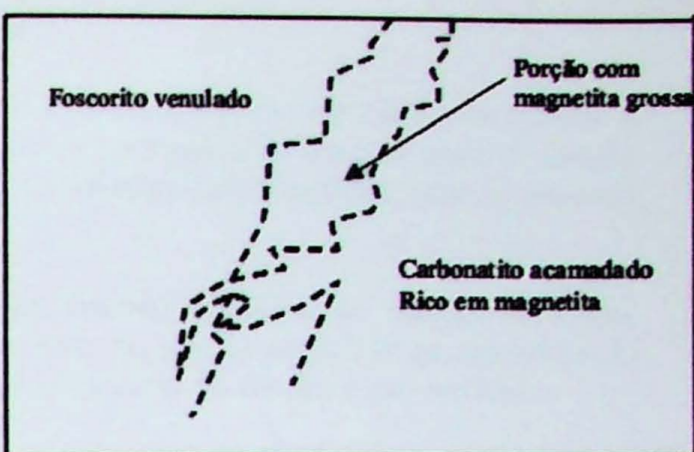


* Carm = Carbonatito acamadadorico em magnetita

Fotografia 5



Fotografia 6.



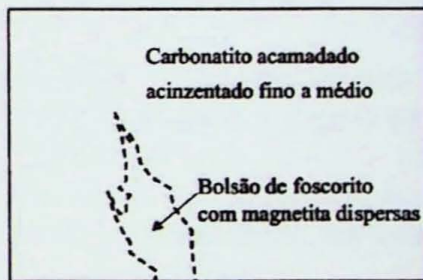
Fotografia 7.



Fotografia 8.



Fotografia 9.



Fotografia 10



fotografia 11.

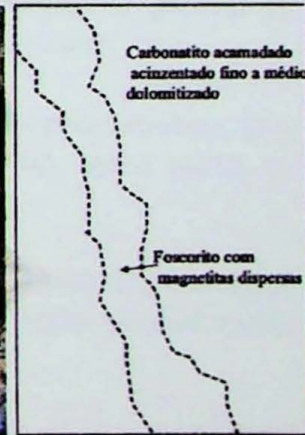
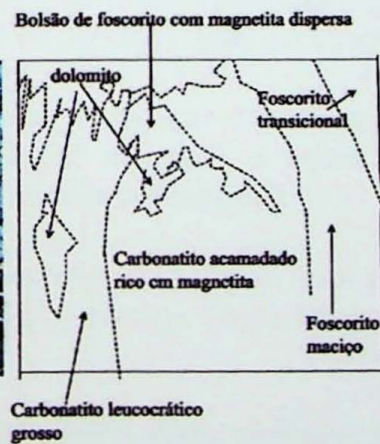
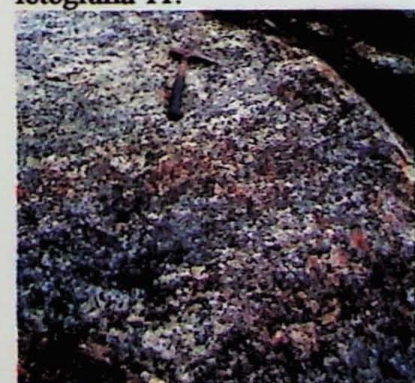


foto.12



fotografia 13



foto.14

Foto 1. Zona de xenólitos (Zxen). Xenólitos de Jacupiranguito com formato tabular a arredondado, dispersos ou sustentados pela matriz carbonatítica. Nota-se zona de reação entre os xenólitos e a matriz carbonatítica. As vênulas carbonatíticas finas e sinuosas sugerem baixa viscosidade deste magma.

Foto 2. Contato entre Zxen e Cacfm. É um contato intrusivo do Cacfm na Zxen, bastante irregular, com desenvolvimento de zona de reação ao redor de xenólitos de Jacupiranguito (coloração verde oliva). O acamadamento do Cacfm é subvertical.

Foto 3. Xenólitos de Jacupiranguito em Cacfm. Mostram-se rotacionados (sentido dextral, perfil SW-NE) e assimilados; são compostos por olivina, flogopita, magnetita e anfibólio e/ou piroxênio.

Foto 4. Dique de Clmg cortando Foscorito e com acamadamento localmente desenvolvido. O Clmg contém xenólitos do foscorito (parcialmente assimilados).

Foto 5. Foscorito venulado intrudido por Carm; nota-se que a vênula está associada à intrusão do Carm (porção direita da Foto).

Foto 6. Detalhe mostrando feição intrusiva do Carm no Foscorito venulado, bem como a associação de magnetita grossa na interface destas unidade (ou associadas às vênulas).

Foto 7. Foscorito maciço brechado. As vênulas carbonatíticas com diferentes espessuras se entrecruzam.

Foto 8. Foscorito maciço venulado grada lateralmente para Foscorito transicional, sem o desenvolvimento nítido de acamadamento, e depois para Cacfm.

Foto 9. Bolsão de foscorito maciço com magnetita grossa dispersa. Observa-se que este bolsão interrompe o acamadamento, indicando sua colocação posterior.

Foto 10. Detalhe em Fmb(md), mostrando grande quantidade de magnetita grossa, as fases minerais estão dispersas, a granulação apatita e magnetita são seriadas.

Foto 11. Clmg intrude Carm, que é cortado, discordantemente do acamadamento, por bolsão de Fmb(md). Cd associado a plano de fratura sub-horizontal, corta todas as unidades presentes, incluindo Fmb(md).

Foto 12. Fmb(md) apresenta-se como uma camada contínua nesta bancada, estrutura com aspecto boudinado, maciço. Neste local, esta unidade e Cacfm, estão parcialmente dolomitizados.

Foto 13. Fmb(md) ocorre com contatos transicionais (arbitrários), seguindo um acamadamento, porém não nitidamente.

Foto 14. Fmb(md) superpõe-se a acamadamento antigo, gera estrutura ramificada.

Ordem de cristalização

Calcita deve ser a primeira fase mineral a se formar, ocorre com textura granular/granoblástica, contatos retos ou serrilhados, tabulares, com direção do comprimento maior paralelo ou sub-paralelo à orientação de apatita, a granulação varia de 0,5 a 2,5mm. A apatita é prismática, está orientada em uma direção, apresenta aparência zonada e ostenta grande quantidade de inclusões fluídas, é posterior a calcita, a granulação varia de 0,5 a 2,5mm; aparentemente há uma outra geração associada à dolomita. Ocorre outra geração de carbonato (associados a algumas camadas ou vênulas posteriores), corta a orientação de apatita (Mic. 4). A magnetita é posterior, mostra-se com textura poiquilítica, subidiomórfica (Mic 10) a xenomórfica; a granulação varia de 0,5 a 2,5mm; engloba todos os minerais citados (Mic. 9), pode possuir núcleos anteriores (desprovidos de inclusão mineral, Mic. 10). Dolomita desenvolve contato intrusivo/serrilhado na calcita; possui formato tabular, é discordante da orientação da apatita, a granulação é média.

5.1.3.2. Carbonatito acamadado acinzentado fino a médio (Cacfm)

É a unidade típica e com a maior área de ocorrência. Distribui-se em todas as direções da área mapeada. O acamadamento vertical segue o padrão circular concêntrico da intrusão norte.

Caracteriza-se por um acamadamento monótono (Foto 18), pela baixa concentração de magnetita e apatita, e predomínio de carbonato (geralmente calcita, quantidade variando de 70-85%). O acamadamento é dado pelo alinhamento de magnetita (4-10%) fina a média e apatita (2-8%) fina, formando leitos mais ricos alternados com leitos tipicamente carbonático. Os leitos carbonáticos (2-5cm) possuem espessura maior que os ricos em magnetita (ao redor de 0,5cm). A mineralogia acessória é dada pela presença de flogopita, sulfeto, raramente olivina ou anfibólio.

Observa-se alguns xenólitos de Jacupiranguito estirados ou rotacionados na direção do acamadamento (Foto 3), ou com formato tabular variando de poucas dezenas de centímetros a poucos metros de largura. A textura é hipidiomórfica equigranular fina ou inequigranular seriada fina a média. A coloração é acinzentada.

Esta unidade é intrusiva na Zxen e possui contato transicional/intrusivo nas unidades FmBV, Fat, Carm. Ocorre interdigitado com Carm. É cortado (embora

geralmente com contatos transicionais) com o Clmg e Cd. Contém bolsões pequenos (~20cm de espessura) de Fmb (md).

Ordem de cristalização

O primeiro mineral a se formar deve ser a calcita apresenta-se com contatos irregulares ou raramente retos, possuem formato tabular (com comprimento maior com direção similar a orientação da apatita), equidimensional ou localmente aparentemente dobrado (Mic.7). Possivelmente a olivina é a segunda fase a se formar (ou em equilíbrio mineral com o carbonato), é rara, apresenta-se euédrica, desprovida de inclusões, a granulação é fina (~1mm). Segue-se a cristalização da apatita e magnetita, que exibem contatos retos entre si. A apatita é prismática e orientada em uma direção, corta os minerais carbonáticos; a granulação varia de 0,2 a 1mm, contém muitas inclusões fluidas; comumente formam faixas monominerálicas associadas a limite de cristais carbonáticos (Mic. 7). A magnetita apresenta-se subeuédrica e sem inclusões ou poiquilítica (geralmente tabular) ocupando interstícios e englobando cristais (carbonato e apatita); a granulação varia de 0,1 a 1mm. A flogopita é posterior e altera a apatita e magnetita; a granulação varia de 0,1 a 0,3 mm, é comumente xenomórfica. A dolomita é posterior a todos minerais citados; geralmente tabular; granulação 2 a 4 mm, corta a orientação de apatita e a altera (quando em contato com a apatita, a última desenvolve contatos serrilhados ou apresenta-se arredondada).

5.1.3.3. Carbonatito leucocrático médio a grosso (Clmg)

Possui maior expressão na parte sudeste da área mapeada. Ocorre também como diques, principalmente na porção sul.

Possui estrutura maciça, aspecto sacaróide, ou raramente contém um acamadamento incipiente. Coloração tipicamente branca. A granulação varia de médio a grosso (mais comum, Foto 19). Compõe-se de carbonato (90-95%) tipicamente calcita, magnetita (2-5%), apatita (2-5%) e olivina (1-2%).

A magnetita e calcita são tipicamente grossas (1-2cm). A apatita é acicular fina a média (0,1-0,5cm). A olivina é média a grossa (0,5-2cm).

Esta unidade possui contatos intrusivos (quando ocorre como dique) nas unidades FmBV (Foto 4), Fat, Carm, Cacfm. Está associado ao Fmb (md), e é cortado pelo Cd.

Ordem de cristalização

O carbonato (calcita) é a primeira fase mineral a se formar, apresenta textura granular/granoblástica, apresentando contatos retos entre si, e junções em 120° (Mic.11), ou menos comumente contatos irregulares; pode atingir quantidades superiores a 95% modal. A apatita é prismática fina a média (podendo ocorrer até grossa, 1-1,5cm), corta os carbonatos, geralmente nos contatos de grão, podendo formar aglomerados tipo *linsen* ou circulares; geralmente possui quantidade variando de 2-8%. A magnetita pode ocorrer como mineral precoce, euédrico e grosso (semelhante a Mic. 3), contendo inclusão na borda composta de carbonato e apatita, ou apresentar-se poiquilítica média a grossa, tardia, associada a sulfeto e martita (?), contendo muita inclusão de carbonato (visíveis inclusive em amostra de mão); a quantidade geralmente situa-se abaixo de 5%.

5.1.4. Carbonatito dolomítico

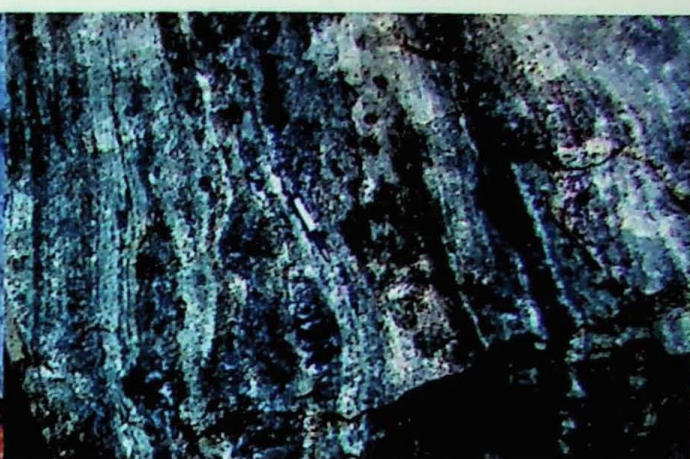
5.1.4.1. Carbonatito dolomítico (Cd)

Ocorre na porção central da área mapeada, e em algumas porções da parte sul. Está controlado em grande parte por falhas. Possui estrutura maciça ou foliada (foliação milonítica), esta com direção WSW-ENE, mesma direção das falhas principais que o delimitam (Foto 21). Comumente apresenta uma transição nas rochas adjacentes: contatos irregulares (Foto 21), alternância de camadas calcíticas e dolomíticas (Foto 22), ou associadas a fraturas (Foto 20 e 22) ou falhas (indicando sua origem tardiamente a estas, possivelmente por metassomatismo). Ocorre intercalada ao Cacfm na porção norte da área mapeada, acima do corpo dolomítico.

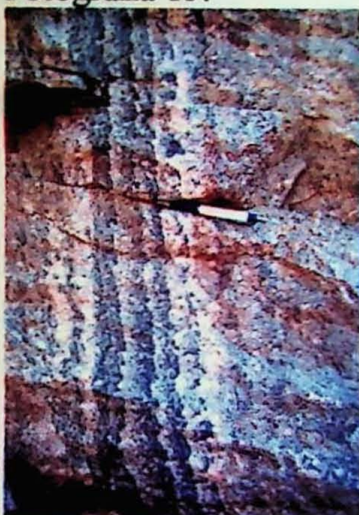
Apresenta granulação grossa, ou localmente, granulação fina à média, coloração creme a alaranjado (por vezes branca). Compõe-se predominantemente por dolomita, contêm pouca apatita e magnetita (com formato tabular, dispersa aleatoriamente). Não foi confeccionada seção delgada específica para esta unidade, porém observa-se o desequilíbrio entre a dolomita e as fases composta por calcita, apatita e magnetita, das rochas anteriores. Esta unidade é posterior a todas as unidades, podendo ocorrer, inclusive, tardia a falhamentos, indicando sua colocação quando a rocha encontrava-se em estado rúptil (ou possivelmente rúptil-ductil).



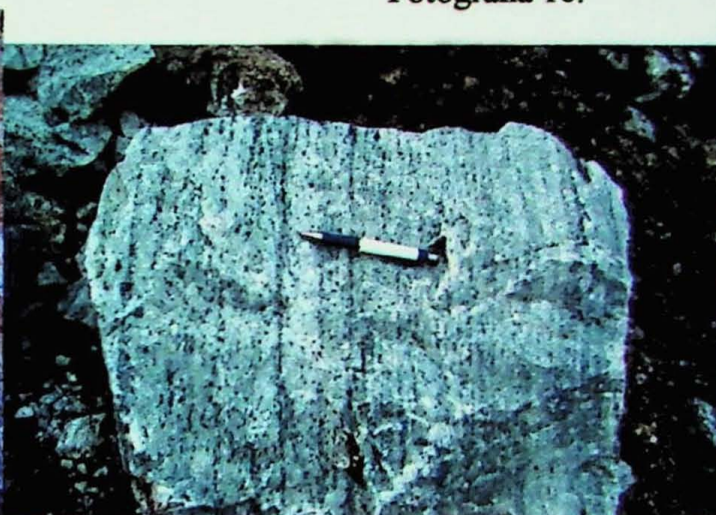
Fotografia 15.



Fotografia 16.



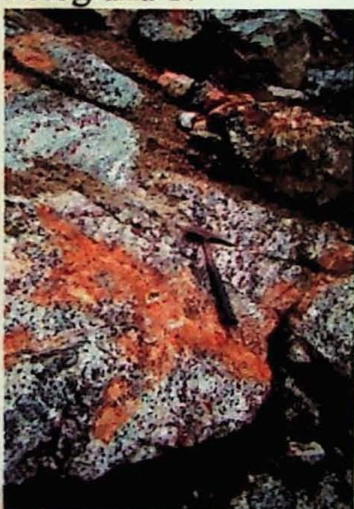
Fotografia 17



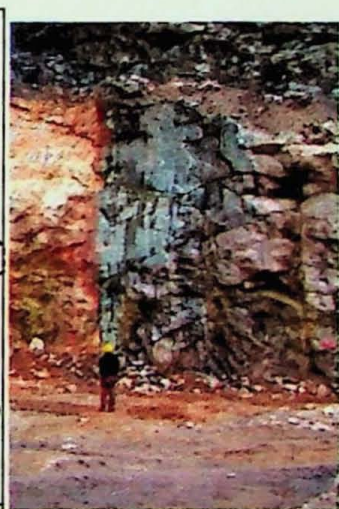
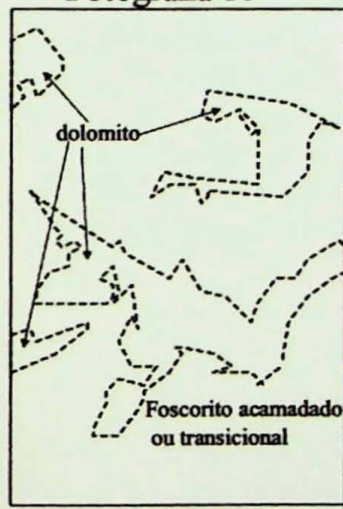
Fotografia 18



Fotografia 19



Fotografia 20



Fotografia 21



Fotografia 22

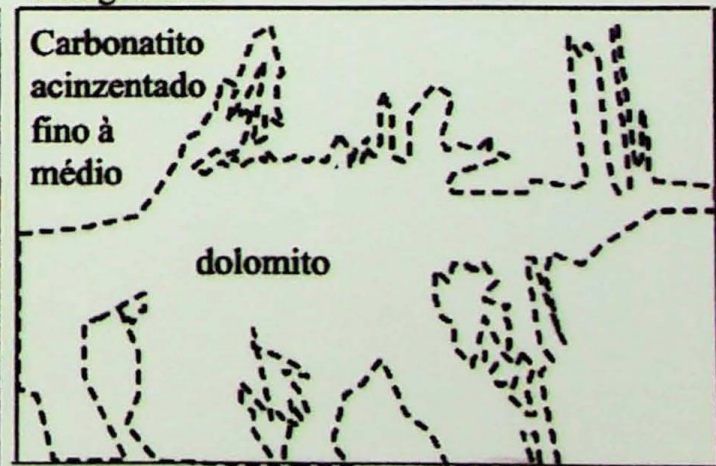


Foto 15. Carm apresentando estrutura schlieren, contendo camadas ricas em magnetita, alternadas com outras a magnetita e apatita, ou apatita e carbonato. Nota-se que as camadas por vezes estão interrompidas ou misturam-se umas as outras.

Foto 16. Carm apresentando estrutura boudinada. Observa-se que as camadas se amoldam as porções mais espessas dos *boudins*.

Foto 17. Acamadamento rítmico, com alternância transicional, entre as camadas ricas em carbonatos e camadas a magnetita e apatita, apresentando variação na granulação e textura entre das camadas.

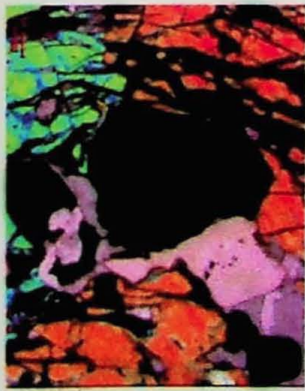
Foto 18. Cacfm típico. Observa-se a pouca espessura das camadas rica em magnetita.

Foto 19. Clmg apresenta aspecto sacaróide, mostrando textura grossa. Contém magnetita grossa dispersa aleatoriamente.

Foto 20. Cd intrude foscorito transicional, cortando o acamadamento deste e se associando a planos de fratura e acamadamento.

Foto 21. Contato relativamente brusco associado a plano de falha, entre Cd (intrusivo) e Carm (este se apresenta parcialmente dolomitizado).

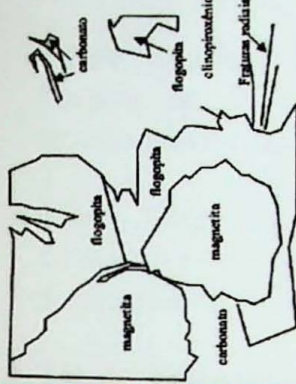
Foto 22. Dolomitização do Cacfm através de plano de falha e acamadamento. Nota-se a destruição da textura e mineralogia original do Cacfm.



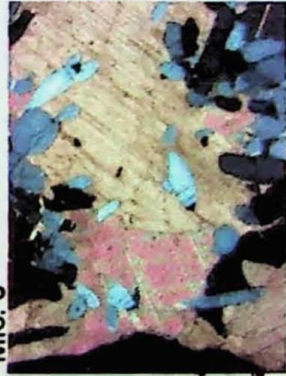
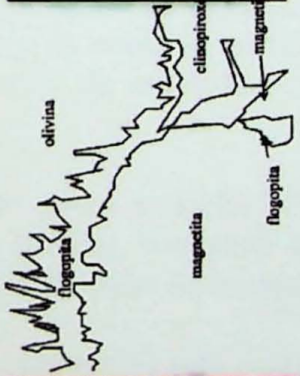
Mic. 1



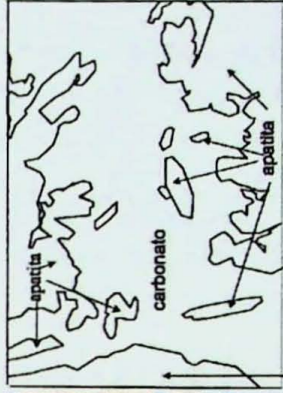
Mic. 5



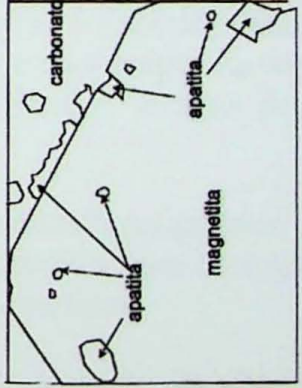
Mic. 2



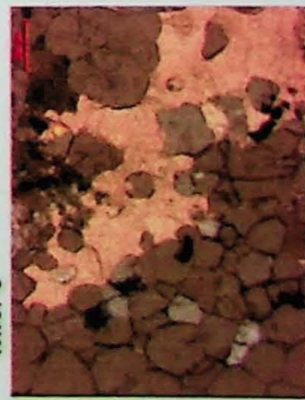
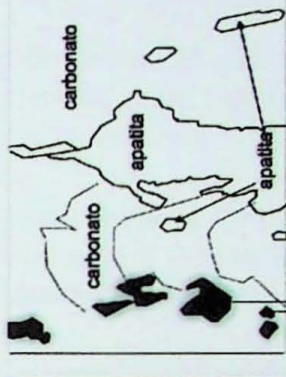
Mic. 6



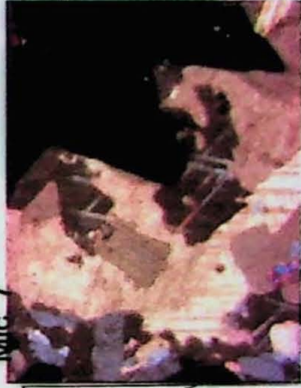
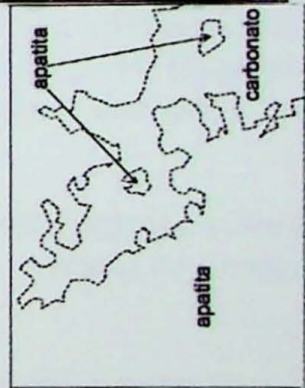
Mic. 3



Mic. 7



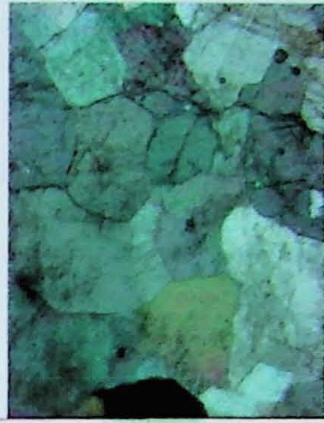
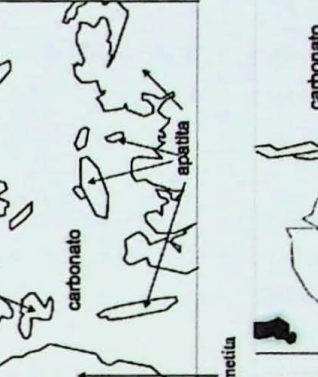
Mic. 4



Mic. 8



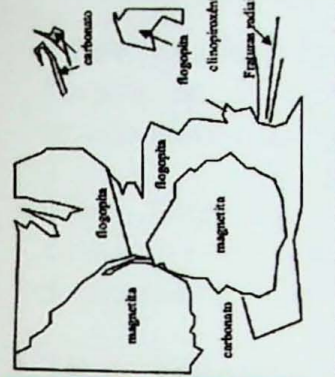
Mic. 10



Mic. 11



Mic. 9



Mic1. Magnetita subeuédrica em amostra de Jacupiranguito. Nota-se contatos retos entre magnetita e olivina; contatos irregulares ou arredondados nos contatos com carbonato (feição de desequilíbrio).

Mic2. Magnetita arredondada com contatos serrilhados com a flogopita (que se desenvolveu utilizando a magnetita como substrato). A flogopita também invade a olivina e o clinopiroxênio através de planos de clivagens ou fraturas. Amostra de Jacupiranguito

Mic3. Magnetita euédrica contendo inclusão e co-precipitação de apatita na borda. Carbonato em equilíbrio com demais minerais. Amostra de Fmb(md).

Mic4. Vênula carbonatítica (provavelmente de dolomita); desenvolve textura em baía, e feições de desequilíbrio da apatita em contato com carbonato, tais como cristais arredondados e com formato amebóide. Amostra de Carm.

Mic5. Flogopita posterior a magnetita e olivina; desenvolve contatos serrilhados com a magnetita (e arredondamento), indicando corrosão e consumo; invade a olivina, com formação de fraturas radiais junto a estas indentações. Amostra de Jacupiranguito

Mic6. Foliação de fluxo de apatita sendo cortado discordantemente por carbonato (provavelmente calcita) posterior. Desenvolvimento de textura em baía, e arredondamento local de cristais de apatita. Amostra de FmBV

Mic7. Carbonato (aparentemente dobrado) anterior a apatita e magnetita. Observa-se magnetita xenomórfica poiquilítica envolvendo carbonato e concordante com a direção de elongação da apatita. Apatita prismática nos limites de cristais de carbonato ou atravessando-os. Amostra de Cacfm. Lado maior da imagem com 4mm.

Mic8. Vênula carbonática (predominantemente calcítica) intrusiva em foscorito (FmBV), em desequilíbrio com apatita (corta a foliação, desenvolve textura em baía, arredonda localmente os cristais); associa-se com magnetita euédrica grossa (magnetita texturalmente diferente da encontrada no FmBV, distante da vênula esta grada para poiquilítica fina).

Mic9. Magnetita (em preto, e martita? /hematita?) poiquilítica, tardia, envolve todos os minerais (calcita e apatita), ocupando interstícios (por exemplo: contatos de cristais). Amostra de Carm. Lado maior da imagem com 6mm.

Mic10. Magnetita com núcleo sem inclusão no núcleo, muita inclusão e poiquilítica na borda. Amostra de Carm.

Mic11. Carbonato (calcita) com arranjo granular, contatos retos entre cristais. Lado maior com 6mm. Amostra de Clmg.

5.2. Microscópio eletrônico de varredura

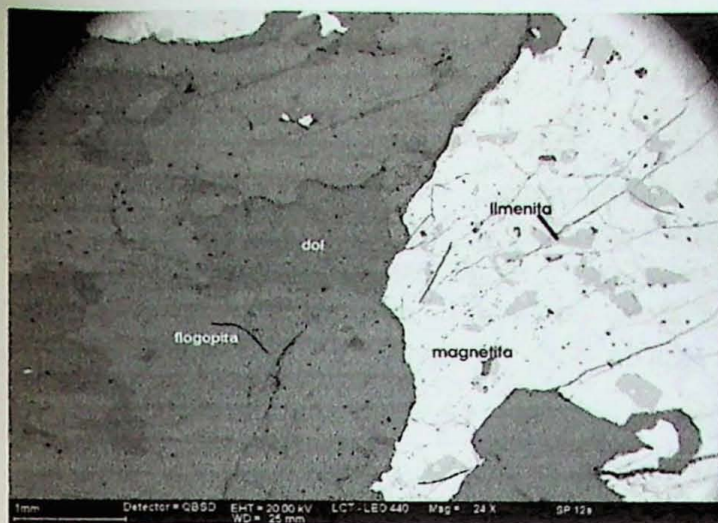
Na utilização do microscópio eletrônico de varredura objetivou-se: a identificação dos minerais, através de análises químicas semi-quantitativas (eds); visualização de feições e texturas com maior nitidez, dificilmente observadas em microscópio convencional, assim como uma integração entre as texturas observadas em microscópio de luz refletida e de luz transmitida.

Os principais avanços realizados com a utilização deste equipamento são exemplificados e interpretados nas imagens a seguir.

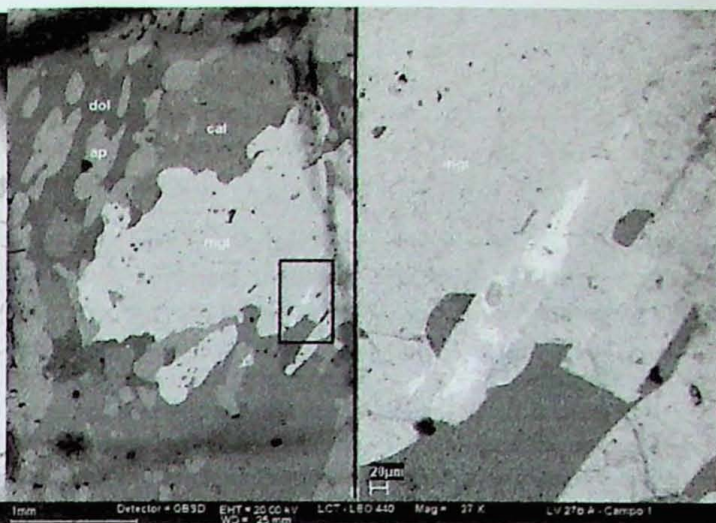
Foi possível identificar minerais não descritos por microscopia, como por exemplo, barita e um óxido de zircônio (possivelmente zirconita), além de confirmação da presença de pirita.

Observou-se o desequilíbrio petrográfico entre a dolomita e os minerais principais: invasão na calcita, cristais arredondados ou amebóides de apatita, e contato serrilhado ou irregular/arredondado com a magnetita.

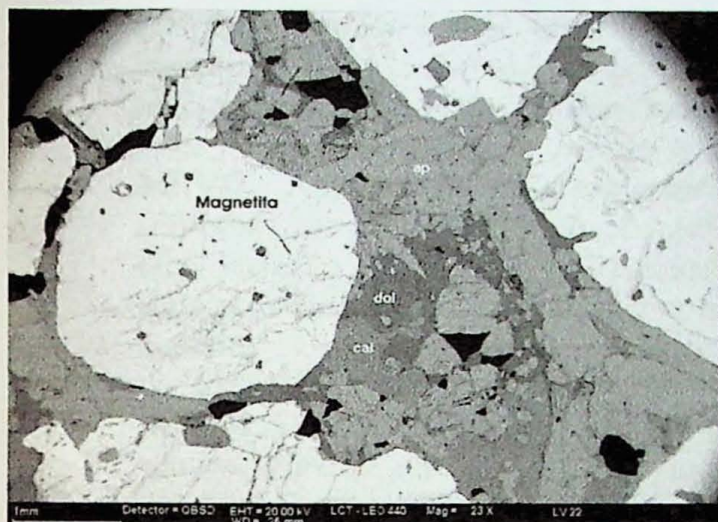
Confirmou-se a presença de exsoluções de ilmenita na magnetita do Jacupiranguito, o que indica uma alta temperatura de cristalização para esta; e sua ausência (ou não identificação) na magnetita do *plug* carbonatítico.



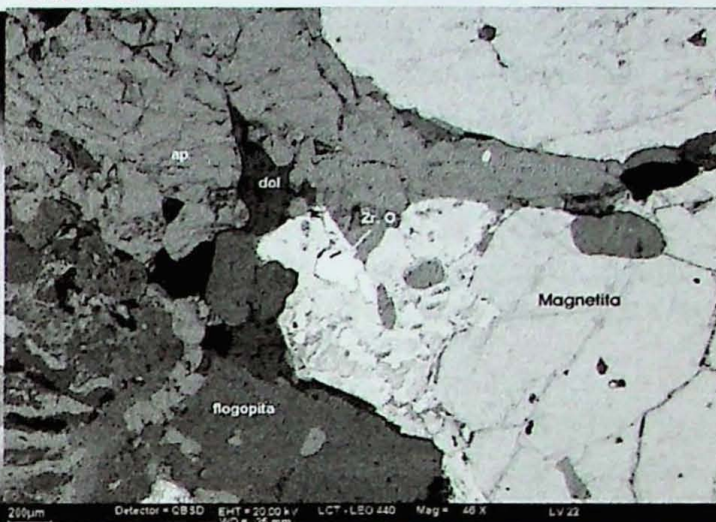
MEV-1



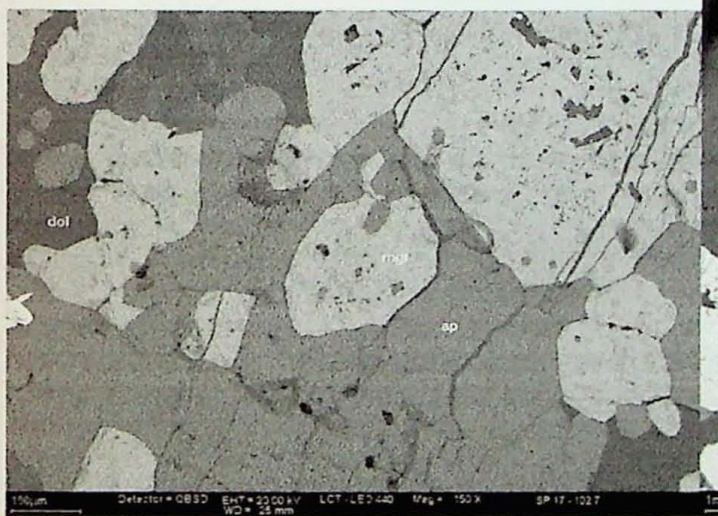
MEV-2



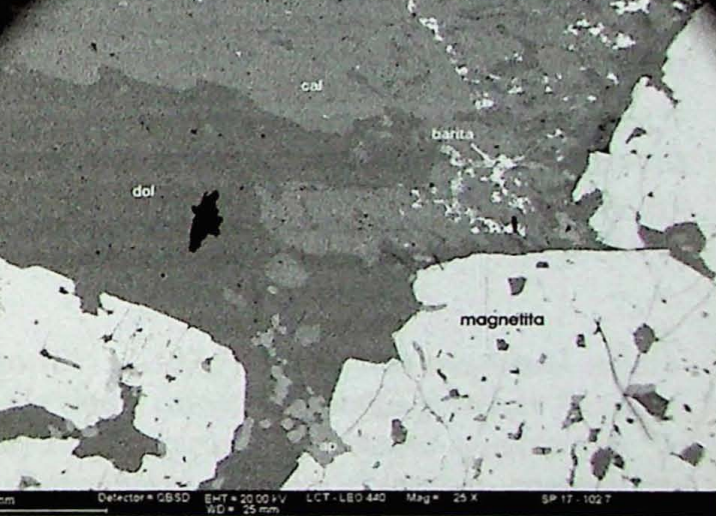
MEV-3



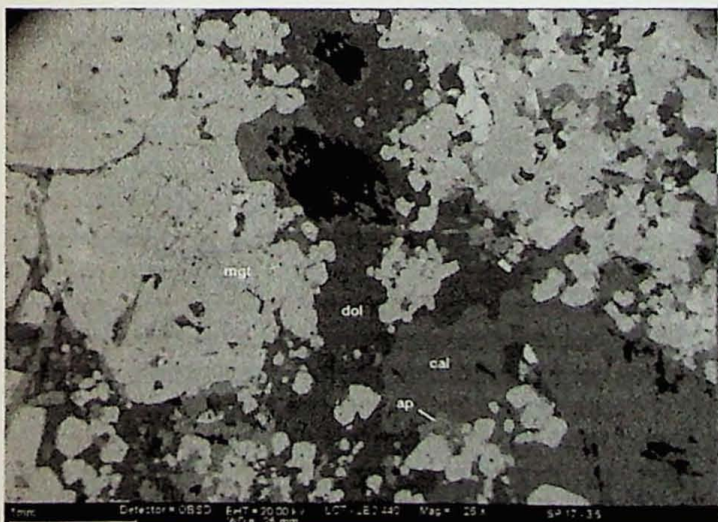
MEV-4



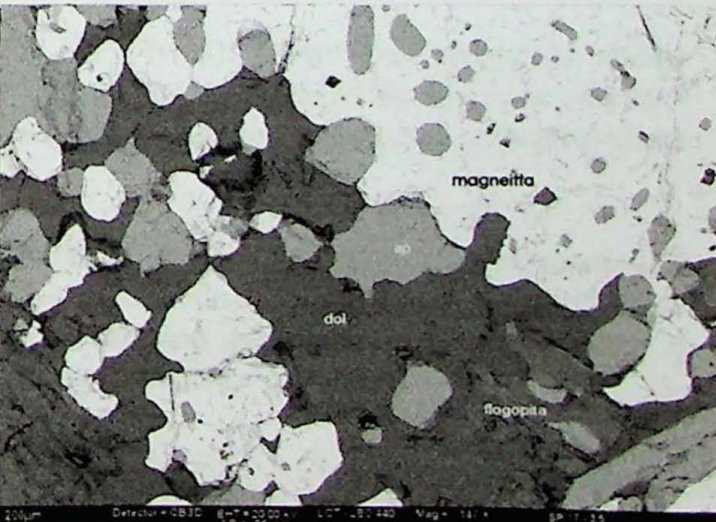
MEV-5



MEV-6



MEV-7



MEV-8

MEV-1. Amostra de Jacupiranguito (SP-12a). Mostra magnetita xenomórfica grossa, com muita exsolução de ilmenita. Flogopita posterior a magnetita, desenvolve contatos serrilhados (feições de desequilíbrio); Observe porção inferior onde flogopita entra irregularmente na magnetita (com arredondamento desta). Dolomita posterior à magnetita e flogopita, com feições de consumo e desequilíbrio (eg: contatos irregulares).

MEV-2. Amostra de Carbonatito acamadado rico em magnetita (Carm, amostra LV-27b). Apresenta foliação com apatita bem desenvolvida. Magnetita com núcleo sem inclusão, grada para borda poiquilítica com incorporação de apatita e carbonato (calcita); contém sulfeto (análise semiquantitativa eds demonstrou ser pirita), com contatos difusos, mostrado em detalhe. A dolomita é posterior e arredonda cristais de apatita e desenvolve contatos serrilhados com magnetita.

MEV-3. Amostra de Foscorito maciço ou em bolsões com magnetita dispersa (Fmb(md), amostra LV-22). Feição geral com magnetita média euédrica a subeuédrica, com inclusão de apatita (principalmente na borda). Apatita prismática fina a média. Calcita em equilíbrio com magnetita e apatita. Dolomita posterior consome calcita e apatita.

MEV-4. Detalhe na amostra anterior. Magnetita subeuédrica média, com inclusão de apatita. Apatita em concentração local. Flogopita incluindo apatita, com formato arredondado (em desequilíbrio), e contato irregular; aparente equilíbrio com sulfeto. Sulfeto (pirita) é posterior a magnetita, sobrecresce a esta; contém inclusão de apatita; consome mineral de Zr. Mineral de Zr (óxido) possivelmente zirconita é anterior a pirita. Dolomita apresenta contato irregular com apatita.

MEV-5. Amostra de foscorito (SP-17-102,7), apresenta magnetita fina euédrica e apatita granular fina euédrica, com contatos retos e feições de co-precipitação (apatita inclusa na magnetita está em equilíbrio com esta). Dolomita posterior desenvolve indentação na apatita e magnetita, arredondamento e contatos serrilhados (principalmente com magnetita).

MEV-6. Porção transicional de foscorito (SP-17-102,7). Apresenta magnetita média-grossa subeuédrica com inclusão de apatita fina e calcita. Dolomita posterior à calcita, apatita e magnetita; na porção central apresenta feição de consumo e indentação na calcita e magnetita. A apatita, em desequilíbrio com a dolomita, apresenta-se arredondada. A barita é posterior a todos, ocupando interstícios e contatos entre cristais.

MEV-7. Porção transicional de foscorito (SP-17-3,5). Observa-se magnetita média subeuédrica gradando para poiquilítica e fina; contendo inclusão de apatita e calcita. A calcita apresenta-se em equilíbrio com a magnetita e apatita. A dolomita posterior altera todos os minerais.

MEV-8. Detalhe desta amostra. Mostra a interação em desequilíbrio da dolomita com os outros minerais. Apatita pode apresentar-se arredondada ou amebóide. A dolomita entra irregularmente na magnetita, desenvolvendo contatos irregulares ou arredondados. A apatita e magnetita estão em equilíbrio e apresentam contatos retos.

5.3. Microsonda eletrônica

Foi realizada análise quantitativa de magnetita de diferentes unidades faciológicas. A amostra SP-17-3,5, pertencente a um furo de sondagem, foi coletada em um Foscorito maciço Brechado ou Venulado (FmBV); iniciou-se com a primeira análise do núcleo da magnetita, a amostra BOR da borda, e as outras (PEQ1 e PEQ2) de magnetita poiquilítica fina. A amostra LV-22 (ponto no mapa estrutural) refere-se a um foscorito maciço em bolsão (Fmb(md)) encaixado em Carbonatito leucocrático médio a grosso. Na amostra SP-17-102,7, retirada de um furo de sondagem, (NUC= núcleo, BOR=borda) analisou-se magnetita tardia poiquilítica. Os resultados estão indicados na tabela a seguir, considerando os algarismos significativos para cada análise.

AMOSTRA COMPOSTO	SP- 17- 3,5 (1)	SP- 17- 3,5 BOR	SP- 17-3,5 PEQ1	SP- 17-3,5 PEQ2	LV- 22 NUC	LV- 22 BOR	SP- 17- 102,7 NUC	SP- 17- 102,7 BOR
SiO ₂	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,04	n.d.	n.d.	n.d.
TiO ₂	1,1	0,6	1,3	1,2	0,3	0,3	0,2	0,3
Al ₂ O ₃	0,38	1,30	0,50	0,47	0,97	1,21	0,59	1,05
Cr ₂ O ₃	0,10	n.d.	n.d.	0,02	n.d.	n.d.	0,03	n.d.
FeO	24,0	20,7	22,8	23,2	20,7	20,2	21,7	22,2
Fe ₂ O ₃	68,5	69,2	67,5	69,1	70,4	70,3	69,6	69,1
MnO	0,54	0,52	0,54	0,55	0,72	0,59	0,54	0,63
MgO	4,8	6,6	5,4	5,5	6,4	6,3	5,5	5,3
CaO	0,03	n.d.	0,06	0,05	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Nb ₂ O ₅	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Total	99,5	98,9	98,1	99,9	99,5	99,9	98,3	98,6

Tabela 4. Composição química de magnetita de diferentes unidades faciológicas.

Os resultados não têm validação estatística, mas conferem as observações a seguir. As principais diferenças químicas se referem a quantidade de TiO₂, MgO, FeO e Al₂O₃. A quantidade de TiO₂ decresce do núcleo da magnetita do foscorito à borda da magnetita e até magnetita poiquilítica. A composição química da borda da magnetita do foscorito é muito similar a composição da magnetita tardia do Carbonatito acamadado rico em magnetita (Carm), indicando uma provável correlação das mesmas. O gráfico FeO/(FeO+MgO) foi utilizado por Gaspar (1989) para a separação de diferentes intrusões e correlacionamento da idade relativa (decréscimo da idade), neste trabalho a utilização deste gráfico resultou em uma feição semelhante, concordando com as descrições de campo, tendo a unidade foscorítica como anterior aos carbonatitos

(gráfico1), e sugerindo que a borda da magnetita do foscrito seria correlata a magnetita do carbonatito (podendo indicar, por exemplo, um metassomatismo regional).

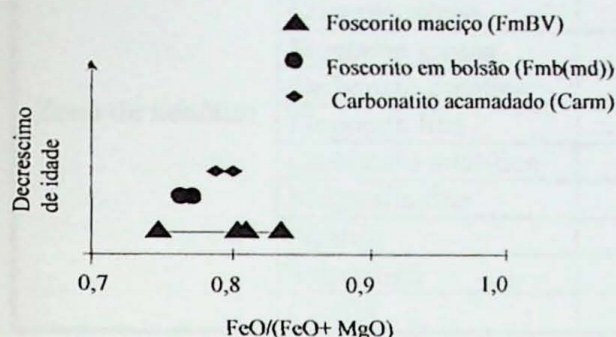


Gráfico 1. Composição $\text{FeO}/(\text{FeO} + \text{MgO})$ da magnetita de diferentes unidades faciológicas de acordo com o decréscimo da idade relativa.

O Gráfico 2 separa a magnetita em populações distintas dependente da unidade faciológica em que ocorrem.

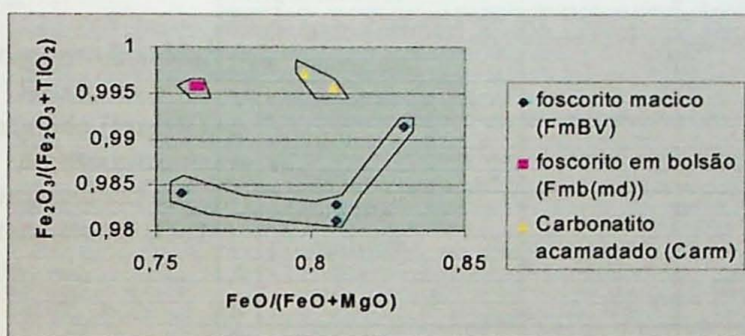


Gráfico 2. Populações químicas diferentes de magnetita.

6. Seqüência paragenética

A partir dos dados de descrição petrográfica sintetizou-se uma tabela de sequenciamento paragenético, partindo das unidades mais antigas para as mais jovens. A linha cheia representa qualitativamente grande proporção da fase mineral depositada no intervalo referido, e a linha tracejada indica baixa proporção ou relação de incerteza quanto ao intervalo de deposição.

	ESTÁGIO DE CRISTALIZAÇÃO⇒	PRECOCE	MAGMÁTICO PRINCIPAL	TARDIO	PÓS- MAGMÁTICO
UNIDADE FACIOLÓGICA↓	MINERALOGIA				
Zona de xenólito	Calcita fina (inclusão)	--			
	Magnetita	---			
	Olivina	---			
	Clinopiroxênio				
	Flogopita grossa				
	Carbonato espático				
	Flogopita fina				--
	Carbonato micrítico				--
	Magnetita fina				--
	Apatita				--
	Serpentina				--
	Clorita				--

Foscorito maciço Brechado e venulado (FmBV) e Foscorito acamadado ou Transicional (Fat)	Magnetita fina euedrica (ou núcleo)	---			
	Apatita	---			
	Olivina	---			
	Flogopita fina				
	Carbonato (calcita) fina, intersticial				
	V Carbonato espático				
	Ê Apatita				
	N Flogopita				-----
	U Magnetita L poiquilitica				---
	A				
	S				
	Dolomita				
	Carbonato micrítico				

Carbonatito acamadado rico em magnetita (Carm)	Calcita				
	Apatita				---
	Magnetita		?	?	
	Sulfeto (pirita)				---
	Martita(?)/hematita(?)				---
	Calcita (vênulas)				
	Dolomita				--

Carbonatito acamadado acinzentado fino a médio (Cacfm)	Calcita		—	—	
	Olivina		— — — —	— — — —	
	Apatita			— — — —	— — ?
	Magnetita		? — — ?	— — — —	
	Flogopita				— — — —
	Dolomita				— —

Carbonatito leucocrático médio a grosso (Clmg)	Calcita		—	—	
	Apatita			— — — —	— — ?
	Magnetita		— — — —	— — — —	
	Sulfeto (pirita)				— — — —
	Dolomita				— —

Foscorito maciço ou em bolsões	Magnetita (fenocristal sem inclusão)		? — — — — ?		
	Calcita		— — — —		
	Apatita granular		? — — — ?		
	Apatita prismática			— — — —	— — — —
	Magnetita poiquilítica				— — — —
	Sulfeto (pirita)				— — — —
	Dolomita				— —

Tabela 5. Seqüência paragênética.

7. Conclusões e interpretações

O presente trabalho subdividiu a área mapeada em 8 unidades faciológicas principais, utilizando critérios estruturais, texturais, mineralógicos e de sequenciamento de cristalização mineral, que foram descritos ao longo deste trabalho. A partir dos dados colhidos é possível realizar outras deduções.

O jacupiranguito encontrava-se parcialmente ou totalmente cristalizado quando ocorreu a colocação do corpo carbonatítico, resultando em uma estrutura brechada, com clastos (“xenólitos”) de Jacupiranguito tabulares ou pouco arredondados, além do desenvolvimento de zona de reação (como estudado por Morbidelli et. al., 1986).

O Foscorito maciço (primário) seria a primeira rocha a se formar (possivelmente por processos de cristalização fracionada e/ou imiscibilidade líquida, como proposto por outros autores, eg. Twyman e Gittins, 1987; Lapin, 1982), sendo modificado posteriormente com a colocação da unidade Carbonatito Norte, e o conseqüente desenvolvimento de estrutura brechada, venulada, acamadada, transicional (Foscorito

acamadado ou transicional) e outras. Esta entrada de material carbonatítico deve ter diminuído proporcionalmente a quantidade de minerais de minério (magnetita e apatita) em relação a quantidade de carbonatos, sendo a responsável pela associação mineralógica tardia observada (magnetita poiquilítica pós-magmática e outros).

O Carbonatito acamadado rico em magnetita (Carm) e o Carbonatito acamadado acinzentado fino a médio são unidades interdigitadas e cronocorrelatas, com limites transicionais. O Carbonatito Leucocrático médio a grosso é a última unidade faciológica do carbonatito calcítico (unidade Carbonatito Norte) e corta discordantemente ou apresenta-se paralelo ao acamadamento das rochas anteriores. É interessante ressaltar que esta unidade apresenta pouca magnetita primária (geralmente 2 a 5%), em contraste com as outras unidades de carbonatito (tipicamente acima de 10%) e foscorito (acima de 30%), o que pode indicar uma segregação de magnetita do magma carbonatítico nas unidades anteriores. No entanto, faz-se uma ressalva, pois há uma importante contribuição de magnetita pós-magmática (ostentando textura poiquilítica e englobando todos os minerais) de origem possivelmente metassomática, presente principalmente nas unidades de Carbonatito acamadado rico em magnetita (Carm), Carbonatito acinzentado fino a médio (Cacfm) e Foscorito maciço ou em bolsão com magnetita dispersa (Fmb(md)), o último pode ser conseqüente deste processo, observado também que esta unidade se desenvolve sobre as outras unidades (FmBV, Fat, Carm, Cacfm, Clmg), apresentando-se discordantemente ou superpondo o acamadamento anterior.

O Carbonatito dolomítico é posterior as outras unidades, encontrando-se discordantemente das outras unidades, ou associado a planos de falha e fraturas. Possui diferente associação mineral, dada pela presença massiva de dolomita.

As seqüências paragenéticas mostram similaridades entre as unidades faciológicas de Foscorito maciço Brechado e Venulado e Foscorito acamadado ou transicional, que seriam cronocorrelatas, e discordância com o Foscorito maciço ou em bolsões com magnetita dispersa (Fmb(md)), que é posterior as outras unidades de foscorito e apresenta semelhança paragenética as unidades faciológicas Carbonatito acamadado rico em magnetita (Carm) e Carbonatito acamadado acinzentado fino a médio (Cacfm), as quais também é posterior.

As unidades faciológicas Carbonatito acamadado rico em magnetita (Carm) e Carbonatito acamadado acinzentado fino a médio (Cacfm) possuem seqüência de cristalização mineral semelhante, o que sustenta uma gênese comum. O Carbonatito leucocrático médio a grosso, possui seqüência paragenética pouco diferente dos outros

carbonatitos calcíticos, embora seja uma fase final e apresenta-se em campo freqüentemente discordante das unidades faciológicas antigas.

Em relação aos corpos de foscorito e minérios a magnetita e apatita (incluindo aqui as outras unidades faciológicas descritas) os resultados deste trabalho podem ser úteis:

- ao melhor delineamento espacial dos corpos, com o conseqüente melhor aproveitamento dos insumos minerais;
- conhecimento da variabilidade modal dos minerais principais e acessórios;
- melhor planejamento da lavra e beneficiamento mineral, visto que foi preliminarmente separado em unidades com características petrográficas similares, que podem, através de um detalhamento tecnológico, corresponder a porções onde o beneficiamento mineral seja semelhante.

8. Referências Bibliográficas

ALVES, P. R. P., 1999. Estudos de caracterização tecnológica no minério apatítico do Complexo Alcalino de Jacupiranga, S.P. Monografia de trabalho de Formatura, TF99/011. Instituto de Geociência da Universidade de São Paulo. São Paulo. 59p.

AMARAL, G.; BUSHEE, J.; CORDANI, U. G.; KAWASHITA, K.; REYNOLDS, J. H., 1987. Potassium-argon ages of alkaline rocks from southern Brazil. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 51:117-42.

BARROS, G., 1998. Reavaliação dos recursos/reservas minerais da mina de Cajati (SP). Monografia de trabalho de formatura. Instituto de Geociência da Universidade de São Paulo. São Paulo. 55p.

BARROS, G., 2000. Reavaliação geoestatística dos recursos/reservas de fosfato da mina de Cajati, São Paulo. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. 108p.

BAUER, H. E. 1877. As minas de ferro de Jacupiranga. *Rev. Eng.*, Rio de Janeiro, p213.

BONÁS, T. B., 2001. Consolidação de critérios de descrição litológica para o minério apatítico do Complexo Alcalino de Jacupiranga. Monografia de Trabalho de

Formatura, TF 2001/36. Instituto de Geociência da Universidade de São Paulo. São Paulo. 48p.

CPRM, 1999. Projeto Jacupiranga – Rio Guaraú. Relatório de mapeamento geológico folhas Jacupiranga e Rio Guaraú, escala 1:50.000. Secretaria de Estado e energia / CPRM – Serviço Geológico do Brasil, São Paulo, SP.

DERBY, O. A., 1891. The magnetite ore districts of Jacupiranga and Ipanema, São Paulo, Brazil. *American Journal of Science*, series 3, 41. p311 – 321.

DOWNES, H., BALAGANSKAYA, E., BEARD, A., LIFEROVICH, R., DEMAIFFE, D., 2004. Petrogenetic process in the ultramafic, alkaline and carbonatitic magmatism in the Kola Alkaline Province: a review. In: *Lithos*, June. 15p.

DYMEK, R. F., OWENS, B. E., 2001. Petrogenesis of Apatite-Rich Rocks (nelsonites and Oxide-Apatite Gabbro-norites) associated with Massif Anorthosites. *Economic Geology*, 96, 797-815.

GASPAR, J. C., WYLLIE, P. J., 1983. Magnetite in the carbonatites from the Jacupiranga complex, Brazil. *Am. Min.*, 68, 195-213.

GASPAR, J. C.; WYLLIE, P. J., 1987. The phlogopites from Jacupiranga Carbonatite Intrusions. *Min. Petr.*, 36:121-134.

GASPAR, J. C., 1989. *Geologie et mineralogie du complexe carbonatitique de Jacupiranga, Brésil*. França, Tese de Doutorado U. E. R. de Science Fundamentales et Appliquées, Université d'Orleans. 344p.

GERMAN, A.; MARKER, A.; FRIEDRICH, G., 1987. The alkaline complex of Jacupiranga, São Paulo, Brazil. Petrology and genetic consideration. *Zbl. Geol. Paleont.*, 1 (7/8): p 807 – 818.

HASUI, Y.; CARNEIRO, C. D. R.; COIMBRA, A. M., 1975. The Ribeira folded belt. *Rev. Bras. Geoc.*, 5(4), p257-266.

HERZ, N. 1977. Timing of spreading in the South Atlantic: information from Brazilian alkalic rocks. *Bulletin of the Geological Society of America* 88, 101-112.

HIRANO, H., KAMITANI, M. & DAITX, E. C. 1987. Jacupiranga carbonatites in the São Paulo State, Brazil: their mode of occurrence. Report of International Research and Development Cooperation ITIT Projects, 8316, Japan, 74-95.

KOLKER, A., 1982. Mineralogy and geochemistry of Fe-Ti oxide and apatite (nelsonite) deposits and evaluation of the Liquid Immiscibility hypothesis. *Economic Geology*, 77, 1146-1158.

LAPIN, A. V., 1982. Carbonatite differentiation process. *Intern. Geol. Rev.*, 24, 9, 1079-1089.

MELCHER, G. C., 1965. O carbonatito de Jacupiranga. *Boletim 282, Geologia* nº 21, São Paulo, Brazil. 59p.

MELCHER, G. C., 1966. The carbonatites of Jacupiranga, São Paulo, Brazil. In Tuttle, O. F. and Gittins, J. eds. *Carbonatites*. Intersciences Publishers. Pp. 169-181.

MENEZES Jr, L. A. D.; MARTINS, J. M., 1984. The jacupiranga mine. São Paulo, Brasil. *The Mineralogical Record*, September-October. p 261-269.

MORBIDELLI, L., BECCALUVA, L., BROTZU, P., CONTE, A., GARBARINO, C., GOMES, C. B., MACIOTTA, G., RUBERTI, E., SCHEIBE, L. F., TRAVERSA, G. 1986. Petrological and geochemical studies of alkaline rocks from continental Brazil. 3. Fenitization of jacupirangite by carbonatite magmas in the Jacupiranga Complex, SP. *Periodico di Mineralogia*, 55, 261-295.

RAPOSO, D. B., 2002. Investigação tecnológica em minério carbonatítico de Cajati, São Paulo, utilizado como matéria-prima na produção de foscálcio. Monografia de trabalho de formatura, TF2002/010. Instituto de Geociência da Universidade de São Paulo. 28p.

RUBERTI, E.; SCHEIBE, L. F.; GOMES, C. B., 1988. The Jacupiranga Alkaline Complex. INT. CONF. "GEOCHEMICAL EVOLUTION OF THE CONTINENTAL CRUST", Poços de Caldas, 1988. Guidebook. Poços de Caldas. p11-25.

RUBERTI, E.; MARGUTI, R. L.; GOMES, C. B., 1992. O complexo carbonatítico de Jacupiranga, SP: Informações gerais. Roteiro das excursões do 37º Congresso Brasileiro de Geologia – SBG/SP, São Paulo, SP. Vol. 4, p16.

RUBERTI, E.; GOMES, C. B.; MELCHER, G. C. The Jacupiranga carbonatite complex (Part I), São Paulo, Eastern Brazil. 31st International Geological Congress. Rio de Janeiro, Brazil, 2000. p01-19.

RUSSEL, H. D.; HIEMSTRA, S. A.; GROENEVELD D., 1954. The mineralogy and petrology of the carbonatite at loolekop, Eastern Transvall. *Transactions of the Geological Society of South Africa*, 57, p197-208.

SAITO, M. M.; BARROS, G.; BONÁS, T. B.; BETTENCOURT, J. S. Mapeamento geológico de detalhe da mina Cajati (SP): : modelo conceitual e aplicação à lavra, produção e beneficiamento. Congresso Brasileiro de Geologia 42: 2004: Araxá – MG.

SILVA, J. F., 2001. Detalhamento da mineralogia em apoio à caracterização tecnológica do minério de fosfato da mina de Cajati, São Paulo. Monografia de trabalho de formatura, TF2001/22 USP, São Paulo. 33p.

TREIMAN, A. H., SCHEDL, A. 1983. Properties of carbonatite magma and process in carbonatite magma chambers. Jour. Geol., 91, 437-447.

TURNER, J. S., CAMPBELL, I. H. 1986. Convection and mixing in Magma Chambers. Earth-Science Review, 23, 255-352.

VARTIAINEN, H., PAARMA, H. 1979. Geological characteristics of the Sokli Carbonatite Complex, Finland. Economic Geology, 74, 1296-1306.

Anexos

Descrição petrográfica

Foram descritas 3 seções delgadas e 3 seções polidas, referentes à amostra SP-12-182 (figura 4). Esta amostra foi retirada de um furo de sondagem locado na porção norte da mina, à profundidade equivalente a 182 metros; o furo de sondagem ultrapassou a unidade carbonatítica e atingiu o contato com o magnetita-clinopiroxenito (jacupiranguito).

Em análise macroscópica observa-se muita magnetita (30%), com granulação seriada (0,1 – 1,5cm), subangulosa a arredondada, com borda de flogopita (10%) granulação grossa. A calcita micrítica (2%) ocupa pequenas fraturas e a calcita espática (5%) aparece associada à flogopita. A matriz é levemente foliada e composta por olivina e piroxênio. Observam-se feições de quebra da magnetita, associada à fase com flogopita.

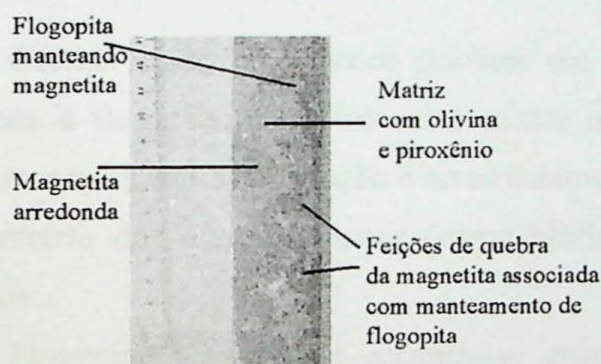


Figura 4. Intervalo da amostra laminada SP-12-182 e suas principais feições macroscópicas.

Seção delgada SP 12 - 182 – A

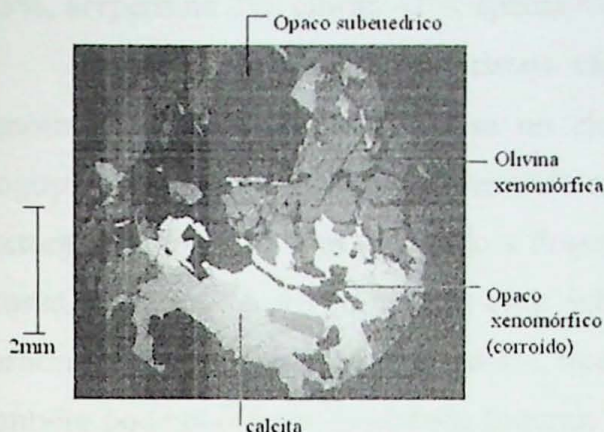
Rocha com textura inequigranular seriada fina a grossa, maciça com porções foliadas (foliação da flogopita). Holocristalina.

Olivina 30%, opaco 30%, flogopita 10%, carbonato 20%, serpentina 5%.

Olivina: cristais tabulares arredondados, em geral 0,7cm. Contém muita inclusão de opaco (geralmente euédrico a subeuédrico, fino a médio). Um dos opacos ocorre com inclusão de olivina, sendo esta em continuidade óptica com a externa, sugerindo co-precipitação (ou crescimento do opaco com consumo da olivina?). A olivina está fraturada com entrada (reação) de flogopita + carbonato +/- serpentina.

Opacos: tamanhos variados (fino a grosso), são euédricos quando totalmente inclusos na olivina, passando a subeuédricos quando parcialmente com fase de carbonato +

flogopita (MIC-1). Os cristais maiores são xenomórficos, embora muitas vezes se reconheçam as faces dos cristais (corroídas). Estes cristais ocorrem em contato com uma fase tardia (que preenche fraturas nos cristais e contatos) formada por carbonatos (geralmente espáticos) e flogopita grossa. Exibem feição de quebra de cristal.

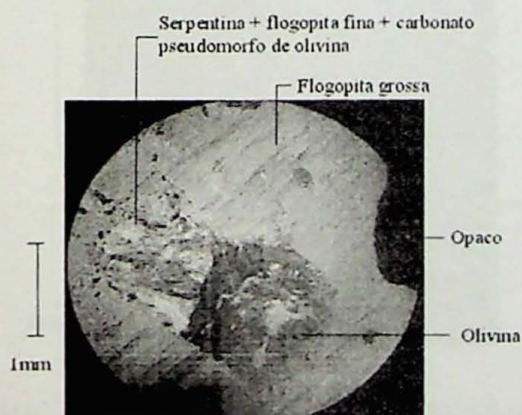


MIC-1. Opaco xenomórfico (corroído) em contato com calcita, e subeuédrico em contato com olivina. SP-12-182^a

Calcita: pode ser precoce (inclusa em olivina, clinopiroxênio e opaco), ou associada à flogopita, ocorrendo comumente nas fraturas, clivagens e contatos dos minerais, associados a dissolução e arredondamento de cristais. É geralmente espático. Ao contrário dos outros minerais (como olivina e clinopiroxênio) não se encontra fraturada.

Flogopita: nesta seção encontra-se grossa e associada a carbonato espático. Ocorre preenchendo clivagens, e no contato entre outros cristais, se desenvolvem preferencialmente próximo às magnetita.

Serpentina: ocorre substituindo a olivina, e associada a flogopita + carbonato. Por vezes é pseudomorfo de olivina (MIC-2).



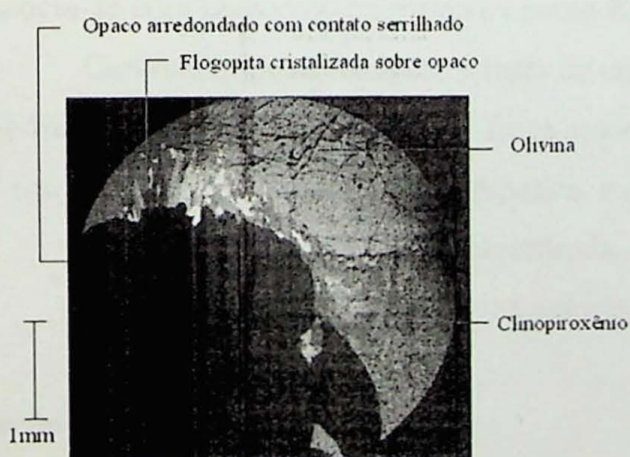
MIC-2. Serpentina, flogopita fina e carbonato como pseudomorfo de olivina. Seção delgada SP-12-B

Rocha com textura inequigranular seriada fina a grossa, maciça com porções foliadas (foliação da flogopita). Holocristalina.

Opaco – 15%, olivina – 25%, clinopiroxênio – 35%, flogopita – 15%, carbonato – 5%, serpentina 2%, clorita ~1%, apatita <1%.

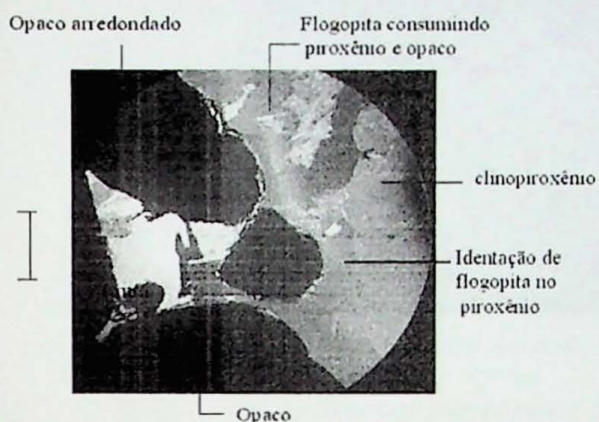
Olivina: ocorrem como cristais variando de 1mm a 2,5 cm. É tipicamente xenomórfica, pode ocorrer inclusa no clinopiroxênio ou com borda de reação de flogopita + serpentina, por vezes restando apenas um aglomerado destes minerais como textura reliquiar, também associado a flogopita fina e carbonato que cortam a flogopita grossa. Porções da olivina podem estar substituídas por clorita. Ocorrem inclusões de carbonato (fino), opacos (fino a grosso), rara apatita e flogopita primária (?). A flogopita também pode ocorrer preenchendo fraturas.

Opacos: podem ocorrer como inclusões fina-média na olivina ou no clinopiroxênio, e como grandes cristais (até 1,5cm) subeuédricos arredondados a xenomórficos subangulosos. Os cristais grandes geralmente possuem contatos serrilhados, e comumente com borda de flogopita (0,1 – 1,5 cm) grossa ou fina (2ª e 3ª geração ?). Por vezes mostram texturas de descolamento e quebra de cristais. A flogopita tende a crescer preferencialmente sobre os minerais silicáticos (olivina e piroxênio) e utiliza a magnetita como substrato (MIC-3). A magnetita contém pouca inclusão (em geral carbonatos). Após o carbonato, a magnetita deve ser o primeiro mineral a se formar. Pode ocorrer como cristais muito finos a fino (0,05 a 0,1cm) associados à foliação de flogopita fina+carbonato que corta a flogopita grossa.



MIC-3. Flogopita cristalizada radialmente sobre opaco, com contatos serrilhados (desequilíbrio). O opaco demonstra feições de quebra e arredondamento.

Clinopiroxênio: nesta seção, ocorre como 1 cristal grande (maior que 2cm) ou como fragmentos deste, associados a reação e geração da flogopita. Contém inclusões de olivina (mm a cm), opacos (fino a médio), apatita (fina e rara), e comumente carbonato. A olivina ocorre inclusa e arredondada, demonstrando o piroxênio ter-se cristalizado a partir desta. Seus contatos com opacos (grandes) ou olivina contêm uma aureola com flogopita fina ou grossa (associada a carbonato espático- MIC-4). Geralmente está fraturado, sendo preenchido por flogopita grossa ou fina.



MIC-4. Crescimento de flogopita sobre clinopiroxênio. Observe a formação de fraturas radiais com origem na indentação de flogopita. O opaco é arredondado e com feição de corrosão.

Flogopita: possivelmente tipos vinculados a três fases de cristalização. 1-) a precoce (?) de origem magmática, inclusa na olivina. 2-) a fase grossa (até cm), coloração avermelhada, associada aos contatos dos grãos ou clivagem e fratura de minerais, geralmente associada a carbonato espático e formando aureolas de reação nos opacos. 3-) a fase fina que comumente, é observada corroendo a flogopita grossa e associa-se com carbonato micritico e opacos finos.

Carbonato: possivelmente 3 fases de cristalização. A precoce inclusa nos opacos, olivina e clinopiroxênio. E a 2ª e 3ª fases associadas às respectivas fases de flogopita. A 1ª (ou precoce) e a 2ª é geralmente espática, e a 3ª tipicamente micritica.

Clorita: xenomórfica, fina, esverdeada, substitui tardiamente a olivina.

Serpentina: alteração da olivina associa-se com flogopita.

Seção delgada SP-12-182-C

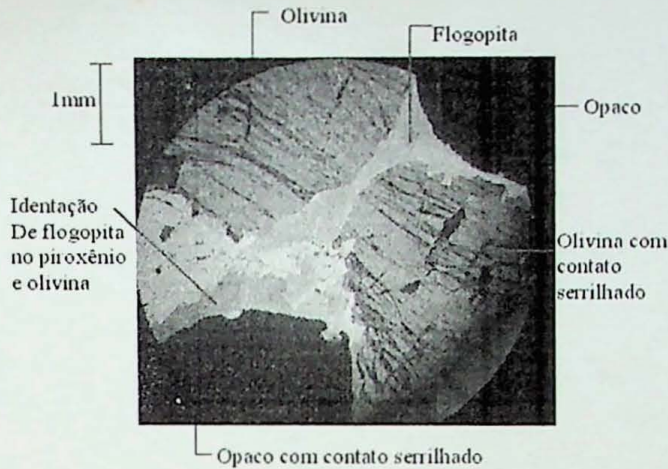
Textura inequigranular média a grossa. Maciça, holocristalina. Lâmina consiste em 1 cristal de olivina (2,5cm - 70%), 1 cristal de clinopiroxênio (15%), 1 opaco semicorroído (8%), flogopita (5%), carbonato (2%).

DOAÇÃO

PGC-USP

Data: 24/03/06

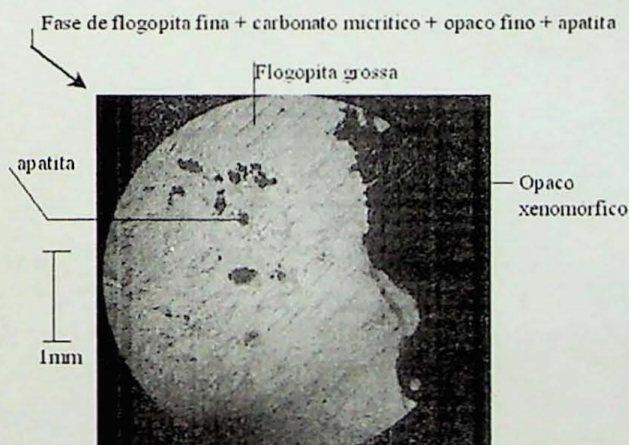
Olivina: consiste em 1 cristal, em contato com clinopiroxênio. Está fraturada, muitas vezes com fraturas radiais junto a indentação de flogopita que cresce sobre o opaco. (MIC-5). Ocorre inclusão de opaco (fino) e carbonato. A clorita é produto de alteração desta. No contato com fase de carbonato ou flogopita (grossa) ocorre serpentina.



MIC-5. Cristalização de flogopita nos contatos de cristais e zonas de fraqueza. Observe indentação de flogopita sobre olivina e piroxênio.

Clinopiroxênio: cristal de 1,5cm. Xenomórfico. Em contato com olivina e opaco. É consumido por fase de flogopita +/- carbonato (com feição de restos de clinopiroxênio em continuidade óptica). Suas clivagens e fraturas podem conter flogopita e carbonato.

Flogopita: grossa, substituindo clinopiroxênio, olivina e opaco, associado a carbonato. E outra geração, fina, com opacos finos e carbonatos micríticos, e apatita ocorre cortando a flogopita grossa ou nos contatos de grãos (MIC-6).

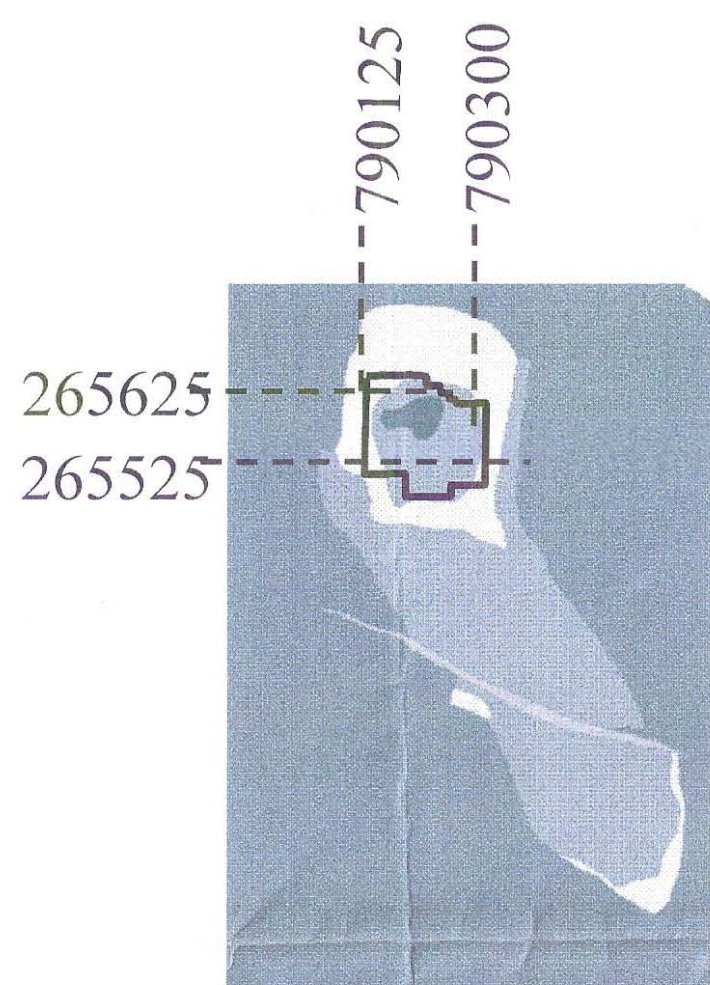


MIC-6. Fase de flogopita fina, carbonato, opaco e apatita, cortando flogopita grossa.

Opacos: pequenas inclusões ou como um cristal grande. Ocorre bordejado por flogopita grossa e carbonato. Possui contato serrilhado e feições de quebra e consumo.

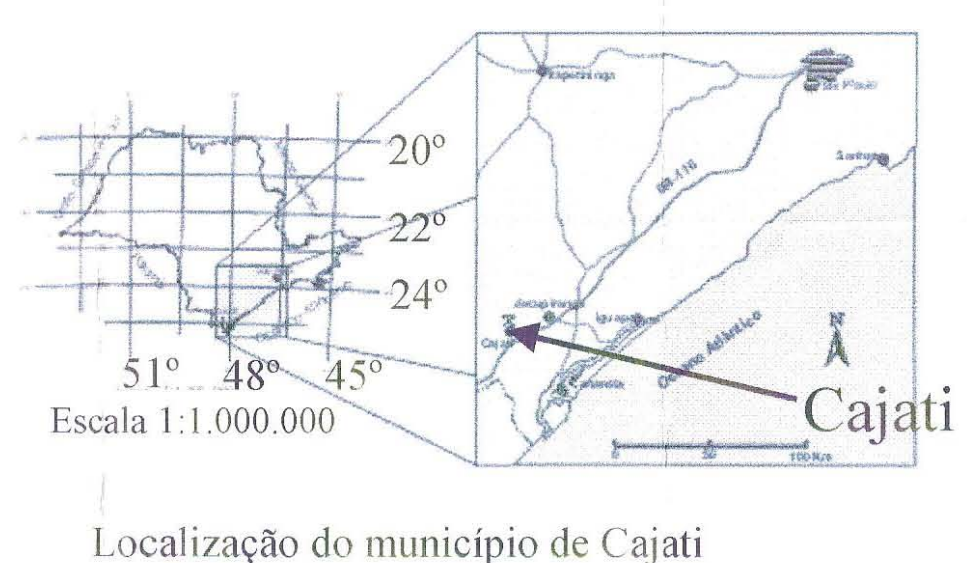
Carbonato: incluso em olivina, opaco ou clinopiroxênio. Ou espático associado a flogopita grossa.

Mapa geológico – Porção norte da mina de Cajati- S.P.



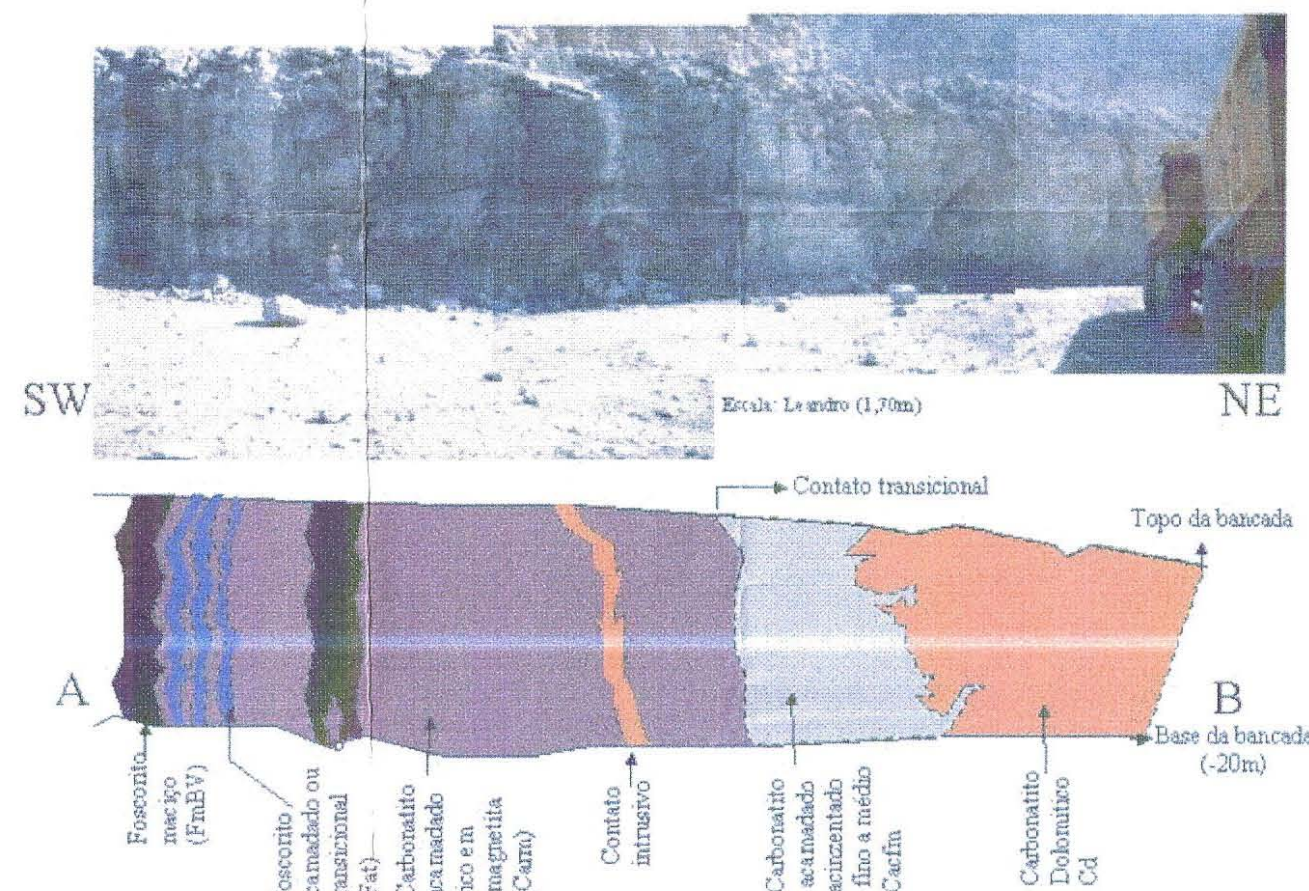
Articulação da área mapeada com a Mina de Cajati.

Adaptado de BONÁS, T. B., 2001. Consolidação de critérios de descrição litológica para o minério apatítico do Complexo Alcalino de Jacupiranga. Monografia de Trabalho de Formatura, TF 2001/36, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. São Paulo. 48p.



Localização do município de Cajati

Fotoperfil esquemático (base da bancada -20).



Descrição simplificada das unidades faciológicas principais.

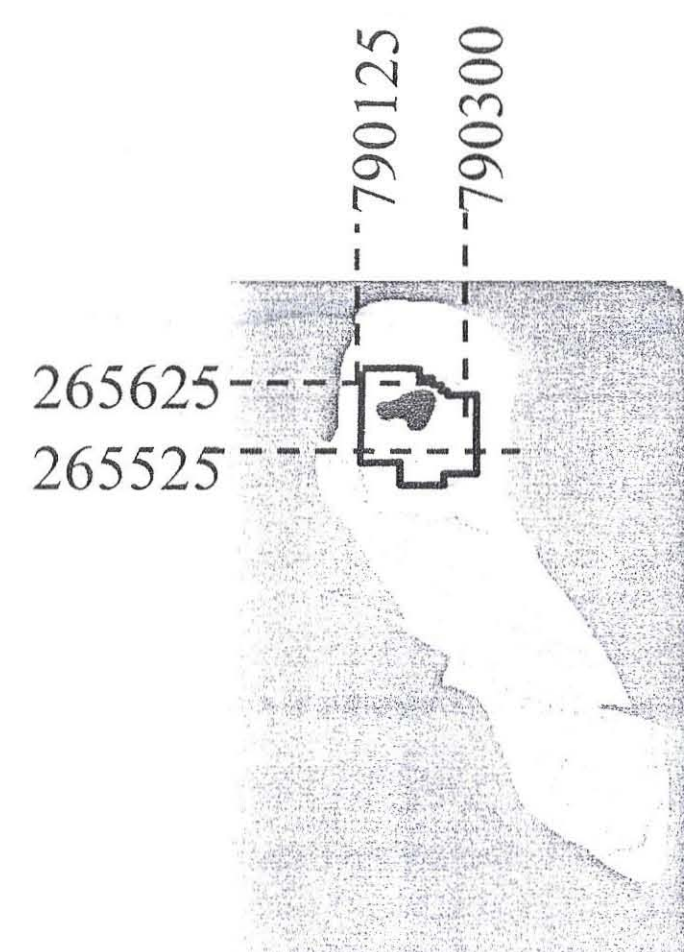
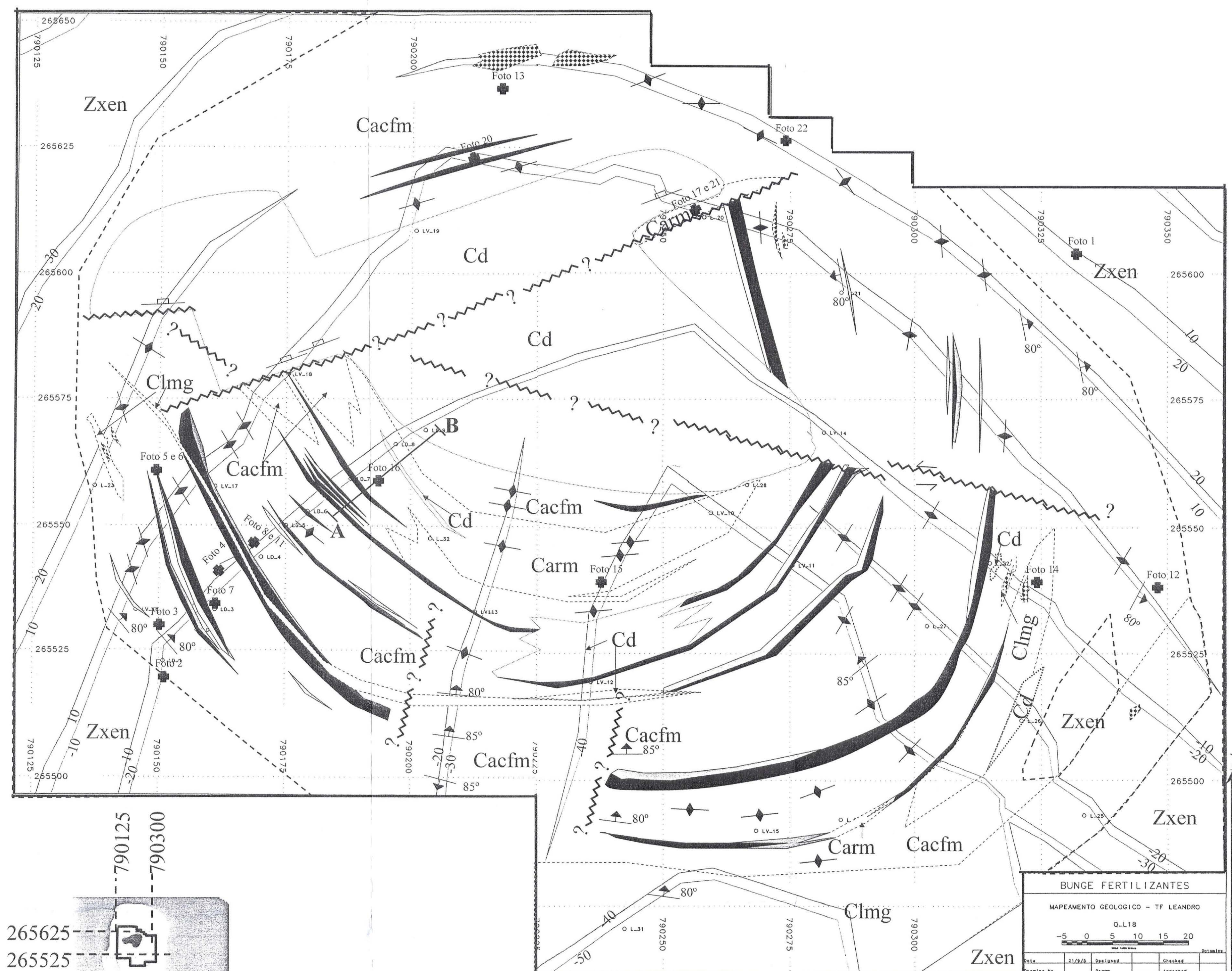
- Cd** Carbonatito dolomítico: Possui estrutura maciça ou foliada (foliação milonítica), esta com direção WSW-ESE, mesma direção das falhas principais que o delimitam. Apresenta granulação grossa, ou localmente, granulação fina a média, coloração creme a alaranjado (por vezes branca). Compõe-se predominantemente por dolomita, contém pouca apatita e magnetita (com formato tabular, dispersa aleatoriamente).
- Fmb(md)** Foscorito maciço ou em bolsões com magnetita dispersa: associa-se a todas fácies descritas (com exceção do Cd e Zxen, onde não foi observado). Constitui uma concentração local de magnetita, por vezes com valores superiores a 65% deste mineral. Podem formar bolsões lenticulares pequenos, camadas contínuas de aspecto boudinado e pouca espessura, ou sem geometria definida e espessura de alguns metros. A estrutura é maciça ou levemente acamadada. A textura é hipidiomórfica inequigranular seriada a porfirítica (com a magnetita como fenocristal). A coloração é cinza a preta. A magnetita (30 – 65%) é tipicamente grossa, com tamanhos variando desde 0,5 cm a até 5cm. A apatita (5-20%), é tipicamente fina, forma bolsões lenticulares, sigmoidais ou circulares.
- Clmg** Carbonatito leucocrático médio a grosso: Possui estrutura maciça, aspecto sacaróide, ou raramente contém um acamadamento incipiente. Coloração tipicamente branca. A granulação varia de médio a grosso (mais comum, Foto 19). Compõe-se de carbonato (90-95%) tipicamente calcita, magnetita (2-5%), apatita (2-5%) e olivina (1-2%). A magnetita e calcita são tipicamente grossas (1-2cm). A apatita é acicular fina a média (0,1-0,5cm). A olivina é média a grossa (0,5-2cm).
- Carm** Carbonatito acamadado acinzentado fino a médio: Caracteriza-se por um acamadamento monótono, pela baixa concentração de magnetita e apatita, e predomínio de carbonato (geralmente calcita, quantidade variando de 70-85%). O acamadamento é dado pelo alinhamento de magnetita (4-10%) fina a média e apatita (2-8%) fina, formando leitos mais ricos alternados com leitos tipicamente carbonáticos. Os leitos carbonáticos (2-5cm) possuem espessura maior que os ricos em magnetita (ao redor de 0,5cm). A mineralogia acessória é dada pela presença de flogopita, sulfeto, raramente olivina ou anfibólio.
- Cacfm** Carbonatito acamadado rico em magnetita: As rochas reunidas nessa unidade mapeável se distinguem especialmente pelo caráter acamadado e pela concentração de magnetita (entre 10 – 30%). O acamadamento vertical segue o padrão circular concêntrico da intrusão norte.
- FmBV** Foscorito maciço Brechado ou venulado: Apresenta estrutura maciça dada pela disposição regular de magnetita euédrica a subeuédrica, fina a grossa (30 – 70%), a apatita é fina (5-30%), esverdeada, amarela ou incolor; a calcita é espática e de grão médio, (10 – 40%); a olivina é fina, esverdeada, e ocorre em quantidade inferior a 2%. A flogopita é fina a média, marrom ou preta, em quantidade variável 1-5%. Subordinadamente reconhece-se a presença de anfibólios e sulfetos. A estrutura maciça ocorre comumente associada à estrutura brechada, esta resultante de finas vênulas carbonáticas (0,5 – 1,5cm) dispostas tipicamente em 2 direções ortogonais entre si. A estrutura venulada é mais comum do que a brechada, caracterizando-se por vênulas centimétricas (raramente mais espessas que 5 cm) dispostas aleatoriamente ou tendendo a acompanhar o bandamento regional.
- Fat** Foscorito acamadado ou transicional: Constitui uma fácies transicional ou interdigitada com o FmBV e Carm, Cacfm ou Clmg, ou sem nítida associação com FmBV, embora se localize predominantemente nas laterais deste foscorito. Apresenta estrutura acamadada ou transicional. A quantidade de magnetita é superior a 30%, com granulação e textura variável, bem como da associação mineral.
- Zxen** Zona de xenólitos: Caracteriza-se por uma estrutura brechada, contendo clastos (xenólitos) de jacupiranguito dispersos em material carbonatítico. Estes clastos possuem dimensão centimétrica a métrica (por vezes ultrapassando 5 metros de comprimento), arredondados a sub-arredondados, geralmente tabulares; possuem coloração verde escura a preto; compõem-se predominantemente por clinopiroxênio, olivina e magnetita; a granulação varia de fina a média. Desenvolve-se frequentemente uma borda de reação entre os clastos de jacupiranguito e o carbonatito, composta por bandas carbonáticas alternadas por bandas silicáticas; estas são formadas por olivina, flogopita e anfibólio, apresentam espessura geralmente centimétrica; coloração avermelhada, marrom, ou esverdeada;

- Curvas de níveis (base e topo de bancada)
- Falha inferida (sem indicação de movimento relativo de blocos).
- Falha com indicação de movimento relativo de blocos
- Unidade faciológica (todos os contatos são transicionais ou com desenvolvimento de zona de reação).

*Para maiores informações sobre as unidade faciológicas consulte a legenda do mapa geológico ou a monografia

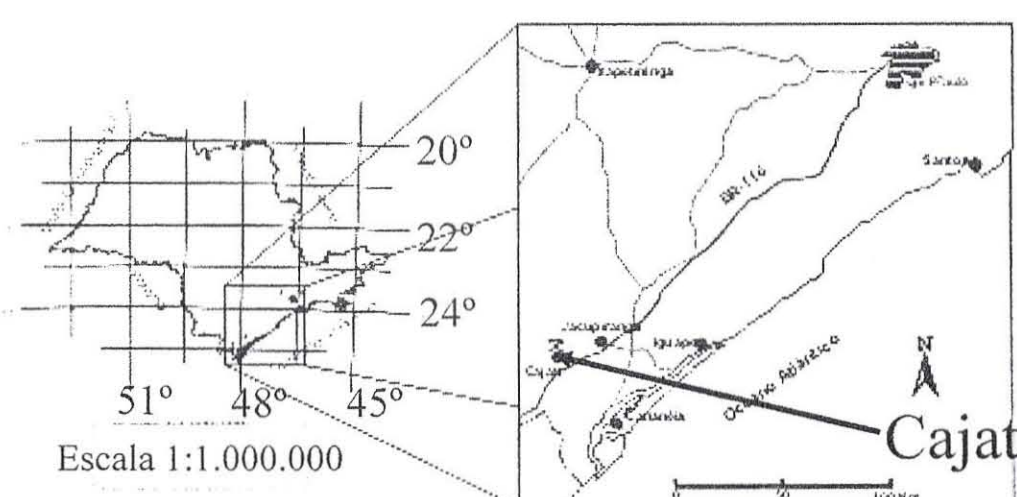
Referência: Tipos morfogenéticos de minérios a magnetita e apatita do complexo carbonatítico de Cajati: controles e parágenese mineral. Autor: Thomaz, L. V. Orientador: Bettencourt, J. S. Monografia de formatura, 2005

MAPA ESTRUTURAL PRELIMINAR



Articulação da área mapeada com a Mina de Cajati.

Adaptado de BONÁS, T. B., 2001. Consolidação de critérios de descrição litológica para o minério apatítico do Complexo Alcalino de Jacupiranga. Monografia de Trabalho de Formatura, TF 2001/36. Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. São Paulo, 48p.



Localização do município de Cajati

Descrição das siglas* utilizadas e legenda

- Cd** Carbonatito dolomítico
- Clmg** Carbonatito leucocrático médio a grosso
- Cacfm** Carbonatito acamadado acinzentado fino a médio
- Carm** Carbonatito acamadado rico em magnetita
- Zxen** Zona de xenólitos
- Foscorito maciço Brechado ou Venulado
- Foscorito acamadado ou transicional
- Foscorito maciço ou em bolsões com magnetita dispersa
- A — B** Localização do Fotoperfil
- Foto 1
Localização da fotografia
- Curvas de níveis (base e topo de bancada)
- Falha inferida (sem indicação de movimento relativo de blocos).
- Falha com indicação de movimento relativo de blocos
- Acamadamento ígneo vertical
- Acamadamento ígneo sub-vertical com mergulho
- Foliação milonítica
- Unidade faciológica

*Para maiores informações sobre as unidade faciológicas consulte a legenda do mapa geológico ou a monografia

Referência: Tipos morfogenéticos de minérios a magnetita e apatita do complexo carbonatítico de Cajati: controles e parágenese mineral. Autor: Thomaz, L. V. Orientador: Bettencourt, J. S. Monografia de formatura, 2005

