

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**“AVALIAÇÃO COMPARATIVA DOS ATRIBUTOS GEOLÓGICOS,
MINERALÓGICOS, QUÍMICOS E ESTRUTURAIS DE CORPOS
CARBONATÍTICOS DA MINA DE APATITA DE CAJATI, SP:
IMPLICAÇÕES NO MODELO DE LAVRA”**

Talita Cristina de Oliveira Ferreira

Orientador: Prof. Dr. Jorge S. Bettencourt
Co-Orientador: Geol. Daniel Bernardes Raposo

**MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF –2007/41)**

**SÃO PAULO
2007**

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**“AVALIAÇÃO COMPARATIVA DOS ATRIBUTOS GEOLÓGICOS, MINERALÓGICOS,
QUÍMICOS E ESTRUTURAIS DE CORPOS CARBONATÍTICOS DA MINA DE APATITA DE
CAJATI, SP: IMPLICAÇÕES NO MODELO DE LAVRA”**

Talita Cristina de Oliveira Ferreira



Orientador: Prof^º Dr. Jorge S. Bettencourt
Co-Orientador: Geol. Daniel Bernardes Raposo

De acordo: Jorge S. Bettencourt
PROF^º DR. JORGE S. BETTENCOURT

Assinatura: Talita C. de O. Ferreira
TALITA CRISTINA DE OLIVEIRA FERREIRA

São Paulo
2007

DEDALUS - Acervo - IGC



30900024418

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, que sempre me ajudou e vir a mim a vencer todas as dificuldades que se vierem na vida e a seguir as minhas com muito sucesso. Aos meus pais, Mãe e Pai, que sempre foram os meus maiores apoiadores, ajudando sempre e mais e mais. Aos amigos, que sempre estiveram ao meu lado, ajudando sempre e mais e mais. Aos meus professores, que sempre me ajudaram a crescer e a aprender, ajudando sempre e mais e mais.

Agradeço ao professor e coordenador de todos os cursos, o professor Jorge Silva Botelho, que sempre me ajudou e vir a mim a vencer todas as dificuldades que se vierem na vida e a seguir as minhas com muito sucesso. Aos meus pais, Mãe e Pai, que sempre foram os meus maiores apoiadores, ajudando sempre e mais e mais. Aos meus amigos, que sempre estiveram ao meu lado, ajudando sempre e mais e mais. Aos meus professores, que sempre me ajudaram a crescer e a aprender, ajudando sempre e mais e mais.

Agradeço a todos os professores, que sempre me ajudaram e vir a mim a vencer todas as dificuldades que se vierem na vida e a seguir as minhas com muito sucesso. Aos meus pais, Mãe e Pai, que sempre foram os meus maiores apoiadores, ajudando sempre e mais e mais. Aos meus amigos, que sempre estiveram ao meu lado, ajudando sempre e mais e mais. Aos meus professores, que sempre me ajudaram a crescer e a aprender, ajudando sempre e mais e mais.

Agradeço a todos os professores, que sempre me ajudaram e vir a mim a vencer todas as dificuldades que se vierem na vida e a seguir as minhas com muito sucesso. Aos meus pais, Mãe e Pai, que sempre foram os meus maiores apoiadores, ajudando sempre e mais e mais. Aos meus amigos, que sempre estiveram ao meu lado, ajudando sempre e mais e mais. Aos meus professores, que sempre me ajudaram a crescer e a aprender, ajudando sempre e mais e mais.

Agradeço a todos os professores, que sempre me ajudaram e vir a mim a vencer todas as dificuldades que se vierem na vida e a seguir as minhas com muito sucesso. Aos meus pais, Mãe e Pai, que sempre foram os meus maiores apoiadores, ajudando sempre e mais e mais. Aos meus amigos, que sempre estiveram ao meu lado, ajudando sempre e mais e mais. Aos meus professores, que sempre me ajudaram a crescer e a aprender, ajudando sempre e mais e mais.

Agradeço a todos os professores, que sempre me ajudaram e vir a mim a vencer todas as dificuldades que se vierem na vida e a seguir as minhas com muito sucesso. Aos meus pais, Mãe e Pai, que sempre foram os meus maiores apoiadores, ajudando sempre e mais e mais. Aos meus amigos, que sempre estiveram ao meu lado, ajudando sempre e mais e mais. Aos meus professores, que sempre me ajudaram a crescer e a aprender, ajudando sempre e mais e mais.

*Dedico este trabalho aos meus pais,
que nunca desistiram do sonho de
formar os filhos e dar-lhes o diploma
que eles não puderam ter.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, que sempre me ajudou a ter forças e vencer todos os obstáculos que a vida nos impõe e a superá-los sempre com muita coragem. Aos meus pais, Vera e Valdemir, que mesmo com as dificuldades, souberam educar a mim e meu irmão, Douglas, com todo amor e força necessários para transformar pequenas crianças em literalmente grandes adultos.

Gostaria de agradecer a paciência e os conhecimentos compartilhados do orientador Jorge Silva Bettencourt, que tanto me ensinou ao longo deste ano. Agradecer também a todos os outros professores que durante esses cinco anos de graduação me mostraram um novo mundo, em especial aos professores Benjamim Bley, Caetano Juliani, Daniel Atêncio, Fábio Ramos, Gergely Szabó, Ginaldo Campanha, Mário Campos, Oswaldinho Siga Jr., Paulo Gianinni, Renato Moraes, Renato Paes, Schorcher, Umberto Cordani e Valdecir Janasi, obrigada.

Agradecer a empresa Bunge Fertilizantes S.A., que forneceu todos os subsídios necessários para a realização desta monografia, e a todas as pessoas que nesse ano foram meus colegas de trabalho, e que me ensinaram a geologia que vai além das salas de aula e dos trabalhos de campo, principalmente ao Daniel Raposo, Agenor Faria, Andréia Duca, Dirce, Marcelo Pereira e aos supervisores Walter, José Amado e Geraldo, muito obrigada. E não esquecendo da minha "chefinha" Tereza Lee (Kama), muito obrigada pela companhia, pela ajuda, pelas conversas, pela televisão na hora da novela, pelos jantares, por tudo, obrigada e boa sorte a nós!

Às antigas companheiras de trabalho, as geólogas Anne Yuri, Andréia Fregolente, a querida Carla Bertolani, a companheira arquiteta, Marcela Rodrigues e aos meninos, geólogos Rogério Dudas (Carla Peres) e Rodrigo Silveira que me deram muito apoio no momento em que decidi ir para Cajati e encarar uma nova cidade, um novo emprego e uma nova rotina; tenho vocês como bons amigos.

Agradecer a todas as pessoas que colaboraram ao longo da minha graduação para os trabalhos realizados. Pessoal do Laboratório de Geocronologia, Preparação de Amostras (LTA), do Laboratório de Química e ICP, de Microsonda Eletrônica, muito obrigada. Agradecer as gestões de 2003, 2004 e 2005 da empresa Geo Junior Consultoria, pelo ingresso na vida profissional e pela grande experiência adquirida na ajuda da I FENAFEG e na organização II FENAFEG, e pelas amizades construídas, em especial Lélia, Reginaldo e Kathe, obrigada pelas broncas!

Às amigas pequenas de mapeamento Maíra (Cika) e Roberta (Pisa), que entre subidas e descidas, sempre me apoiaram e tiveram paciência para ouvir aos meus lamentos e histórias

mirabolantes sempre com bom humor e com bons conselhos, vocês são pessoas muito especiais, que com certeza me acompanharão por toda a vida.

Amigas Ana Paula (Treme) e Daina (Arrombada), sempre tão esportistas e dispostas a ajudar no que der e vier; Cyntia (Fun), Júlia (Doris) e Ana (Xup's), o trio inseparável das S_{n-1} , Thais (Tchitcho), minha maneger em assuntos amorosos; Grace (Crazy), a mais nova companheira de quarto e viagens, Gabriela (Poch), minha linda "bixete"; Vivian (Cachorra) e Patricia (Lamerah), veteranas queridas; obrigada pelos abraços, pelas risadas, pelos treinos de basquete, pelos almoços preparados tão corridos, pelas brigas, pelos conselhos, pelas baladas, pelas viagens, pela loucura, e pela amizade. Não quero que a distância apague nossos "causos geológicos" e que sempre possamos dar risada juntas de tudo o que passou e que ainda bem passou!

Aos meus irmãos de coração Bruno (Rapunzel), Rogério (Lacraia), Fábio (Bydeh), Ralph (Tangah), Marcus (Xaby), André (Kodornna) e Paulo (Razgah-mãe) que sempre me aporrinharam, mas me ajudaram em tudo o que precisei e com certeza parte do que aprendi nesses anos, entre aulas e viagens, brincadeiras e discussões do "café filosófico", foi com esses meninos.

Agradecer a todos os demais companheiros da turma que apesar de não muito próximos, sempre respeitaram as diferenças e souberam conviver da maneira mais agradável possível, tentando organizar churrascos, festas de aniversários, baladas (nem sempre bem sucedidas), mas com as melhores intenções possíveis. E não esquecendo daqueles que infelizmente não estarão se formando conosco e que fizeram parte da turma de 2003 e deixaram suas histórias marcadas no trajeto tão longo dessa graduação!

Aos amigos que mesmo distantes sempre estiveram presentes e tornaram pessoas muito importantes e admiradas: Marcus (Deus), Vitão e BH da Unb e Bradoque da UFPR, muito obrigada por tudo, espero que depois de formada eu cumpra as tantas promessas de visitas e que nos próximos congressos e Enegeos possamos dar muitas risadas juntos!

E finalmente a pessoa especial que há um ano cruzou o meu caminho e tem me ajudado muito, Matheus, o próprio Bozo do Sambozo, muito obrigada por toda cumplicidade, todo carinho e respeito que você tem com relação a mim e, principalmente, toda a paciência durante esse ano difícil, mas necessário para minha formação e nosso crescimento. Muito obrigada, te adoro muito, sua eterna flor maior.

SUMÁRIO

Os primeiros anos vividos na povoação de Cuiabá são sempre lembrados com carinho. A infância de J. J. foi marcada pela presença da mãe, do pai e dos irmãos. O pai, J. J. de Almeida, era um homem de caráter forte, que sempre quis ver os filhos bem educados. O pai era um homem de caráter forte, que sempre quis ver os filhos bem educados. O pai era um homem de caráter forte, que sempre quis ver os filhos bem educados.

O pai era um homem de caráter forte, que sempre quis ver os filhos bem educados. O pai era um homem de caráter forte, que sempre quis ver os filhos bem educados. O pai era um homem de caráter forte, que sempre quis ver os filhos bem educados.

O pai era um homem de caráter forte, que sempre quis ver os filhos bem educados. O pai era um homem de caráter forte, que sempre quis ver os filhos bem educados. O pai era um homem de caráter forte, que sempre quis ver os filhos bem educados.

O pai era um homem de caráter forte, que sempre quis ver os filhos bem educados. O pai era um homem de caráter forte, que sempre quis ver os filhos bem educados. O pai era um homem de caráter forte, que sempre quis ver os filhos bem educados.

O pai era um homem de caráter forte, que sempre quis ver os filhos bem educados. O pai era um homem de caráter forte, que sempre quis ver os filhos bem educados. O pai era um homem de caráter forte, que sempre quis ver os filhos bem educados.

*“E no seu canto ela sempre dizia,
que só queria ter asas para voar.
Subir aos céus como uma estrela guia!”*

RESUMO

Os carbonatitos que ocorrem na mina da Cajati são intrusões associadas ao Complexo Alcalino de Jacupiranga, localizado na região do Vale do Ribeira de Iguape (SP). Os alvos deste estudo são as unidades faciológicas: Carbonatito Norte (CBN), Carbonatito Foliado (CBF) e Carbonatito Branco (CBR), e o objetivo da pesquisa é realizar a avaliação comparativa dos atributos geológicos, mineralógicos, químicos e estruturais com a finalidade de fornecer subsídios para a atualização do modelo de lavra e otimização do planejamento de lavra.

O estudo foi realizado a partir da comparação dos trabalhos existentes para a unidade CBN, com os resultados obtidos através das observações e análises químicas realizadas para as demais unidades (CBF e CBR).

A unidade CBF foi subdividida em três fácies (Cfmc, Cfox e Cfba) e a unidade CBR em quatro fácies (Cbgm, Cbox, Cbma e Cblm). Os estudos comparativos indicam que as unidades CBF e CBN apresentam características semelhantes (estruturas, texturas e composição modal). Em relação à unidade CBR, os mesmos parâmetros avaliados apresentam disparidades marcantes quando comparados com os das demais unidades.

A avaliação geoquímica demonstra que os teores médios para os principais óxidos de interesse industrial (CaO , MgO , FeO , P_2O_5 e SiO_2) contradizem a avaliação geológica e apontam teores quase similares para as unidades CBF e CBR e inferiores para a unidade CBN, exceto ao teor de P_2O_5 , relativo à ocorrência de apatita, principal mineral explotado. Os ETR exibem um mesmo padrão de comportamento, porém, observa-se um maior fracionamento nas unidades CBF e CBR. A análise discriminante dos óxidos indica que as unidades CBF e CBN constituem populações distintas, e que o CBR apresenta um comportamento similar à unidade CBF.

A partir dos resultados, conclui-se que as unidades estudadas embora apresentem características semelhantes em alguns aspectos, não podem ser agrupadas para fins mineiros, devendo ser lavradas individualmente.

ABSTRACT

The Cajati Mine carbonatites are related to the Jacupiranga Alkaline Complex, which is located in the Vale do Ribeira de Iguape (SP). The studied intrusions comprise the Northern Carbonatite (CBN), Foliated Carbonatite (CBF), and White Carbonatite (CBR) units. The present work focuses on a comparative evaluation of their geological, mineralogical, chemical, and structural features, in order to provide new insights for mine planning modeling. This study was undertaken based on available data from the CBN unit together with the CBF and CBR data, mainly geological and mineralogical observations and chemical analyses. The CBF unit comprises three facies: Cfmc, Cfox and Cfbm. The CBR unit was subdivided into four facies: Cbgm, Cbox, Cbm and Cblm. The comparison between CBF and CBN units suggests that CBF and CBN have similar characteristics in relation to texture and modal composition. However, based on the same criteria, the CBR unit reveals contrasting whit respect relation to the CBF and CBN units.

The geochemical evaluation has shown that the average concentrations of CaO, MgO, FeO, P₂O₅ and SiO₂, which are very important parameters from the industrial side, contradict with the geological evaluation and pointing to the nearly similar chemical average concentrations for CBF and CBR, and lower values for the CBN unit, except for the P₂O₅ grades, related to apatite, which is the main mined commodity. The REE exhibit the same chondrite-normalized REE patterns. However, the CBF and CBR units show a higher fractionation pattern.

The chemical data was subjected to discriminant analysis in order to test internal chemical associations in the samples; the results shows that the CBF and CBN units are distinct, and that the CBR unit is similar to CBF.

It is concluded that the studied carbonatite units not can be grouped together for mining operations, but rather should be mined as separate ore bodies.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS E RELEVÂNCIA DO PROJETO	2
3. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO.....	2
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
4.1. Localização e Acessos	3
4.2. Geologia do Complexo Alcalino de Jacupiranga.....	4
4.3. Histórico da Mina.....	5
4.4. Geologia Local.....	6
5. OBJETOS DE ESTUDO	9
5.1. Carbonatito Norte (CBN)	9
5.1.1. Carbonatito Acamadado Fino a Médio (Cacfm)	10
5.1.2. Carbonatito Acamadado Rico em Magnetita (Carm)	10
5.1.3. Carbonatito Branco Médio a Grosso (Cbmng)	10
5.1.4. Carbonatito Branco (CBR)	12
5.1.5. Carbonatito Foliado (CBF)	12
6. MÉTODOS E MATERIAIS	14
6.1. ICP-OES.....	15
6.2. ICP-MS	16
6.3. MICROSSONDA ELETRÔNICA	17
6.4. FLUORESCENCIA DE RAIOS – X	17
6.5. AMOSTRAGEM E PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS.....	18
6.5.1. Coleta das Amostras	18
6.5.2. Preparação das Amostras	18
7. RESULTADOS OBTIDOS E INTERPRETAÇÕES.....	20
7.1. Mapeamento Faciológico	20
7.1.1. Carbonatito Foliado fino a médio cinza (Cfmc)	23
7.1.2. Carbonatito foliado branco rico em minerais acessórios (Cfba).....	23
7.1.3. Carbonatito foliado médio oxidado (Cfmo).....	23
7.1.4. Carbonatito branco grosso maciço (Cbgm).....	24
7.1.5. Carbonatito branco dolomítico oxidado (Cbdo).....	24
7.1.6. Carbonatito branco médio rico em minerais acessórios (Cbma)	25
7.1.7. Carbonatito branco lamelar médio (Cblm)	25
7.2. Descrição de testemunhos de sondagem	28
7.3. Análise estatística dos atributos químicos.....	32
7.4. Análises Químicas.....	34
7.5. Análise Petrográfica e Seqüência Paragenética	42
7.6. Microsonda Eletrônica	44
8. DISCUSSÕES E CONCLUSÕES	46
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	48

INDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Cronograma de desenvolvimento do projeto TF41/2007.	3
Tabela 2 – Critérios texturais e faixas de quantidades minerais formadores do carbonatito (maiores constituintes e acessórios). Adaptado de Bonás (2001).	9
Tabela 3 – Nomenclatura das fácies correlatas das unidades CBF e CBR e respectivas siglas adotadas no trabalho.	22
Tabela 4 – Furos de sondagem referentes às unidades CBF, CBN e CBR.	28
Tabela 5 – Relação de amostras utilizadas para análises químicas (ICP-OES/MS).	35
Tabela 6 – Teores médios para as unidades CBR, CBF e CBN. Óxidos (%) e elementos menores (ppm).	41
Tabela 7 – Sequência paragenética das unidades CBR e CBF.	42
Tabela 8 – Composição química dos carbonatos presentes nas unidades expressos em composição molar (%) calculada:	45

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa de localização da área em estudo.	4
Figura 2 – Mapa geológico Complexo Alcalino de Jacupiranga (adaptado de Germann <i>et al.</i> , 1987).	5
Figura 3 – Mapa das intrusões carbonatíticas. Intrusões: C1, C3 e C4 – Sövitos calcíticos; C2 – Sövito dolomítico; C5 – Rauhaugito. Modificado de Gaspar (1989).	7
Figura 4 – Mapa geológico da Mina do Morro. Unidades Geológicas: 0 – Corpos de Jacupiranguito (JAC); 1 – Carbonatito Periférico Sul (CPS); 2 – Carbonatito Calcítico Sul (CCS); 3 – Carbonatito Oxidado (COX); 4 – Zonas com Foscoritos Sul (FCS); 5 – Zona de Falha (ZFA); 6 – Carbonatito Intermediário (CBI); 7 – Carbonatito Foliado (CBF); 8 - Carbonatito Branco (CBR); 9 - Carbonatito Norte (CBN); 10 - Zonas com Foscoritos Norte (FCN); 11 - Carbonatito Dolomítico (DOL); 12 - Zonas de Xenólitos (XENorte, XELeste, XESul). Adaptado de Saito <i>et al.</i> , 2004.	8
Figura 5 – Fácies correlatas à unidade CBN: A. Carbonatito acamadado fino a médio (Cacfm); B. carbonatito acamadado rico em magnetita (Carm); C. Carbonatito branco médio a grosso, parcialmente alterado (Cbmng).	11
Figura 6 – Carbonatito Branco típico, com fenocristais de magnetita e apatita acicular esverdeada.	12
Figura 7 – Mapa geológico representativo indicando a variação da foliação do fluxo magmático dentro do Carbonatito Foliado. A – Foliação de fluxo sub-horizontal a norte e B – Foliação de fluxo sub-vertical a sul. (Mapa modificado de Saito <i>et al.</i> , 2004).	13
Figura 8 – Área mapeada em destaque (limites em vermelho) correspondendo às bancadas -50, -60, -70 e -80 metros,	21

Figura 8 – Área mapeada em destaque (limites em vermelho) correspondendo às bancadas -50, -60, -70 e -80 metros,	21
Figura 9 – Contato sinuoso inferido entre as unidades CBR (Cbgm) e CBF (Cfcm), onde é comum a intercalação dos litotipos.....	22
Figura 10 – Mapa de localização das seções 125CB e 250CB.	29
Figura 11 – Seção vertical com direção N 23° (1).....	30
Figura 12 – Seção vertical com direção N 23° (2).....	31
Figura 13 – Gráfico de distribuição das diferentes populações discriminadas a partir do método de Análise discriminante (AD).....	32
Figura 14 – Gráfico de correlação de variáveis mensuráveis, obtido a partir de Análise de Principais Componentes (ACP).....	33
Figura 15 – Gráficos de distribuição de elementos maiores (óxidos) para a análise de ICP-OES e respectivas amostras. (1).....	36
Figura 16 – Gráficos de distribuição de elementos maiores (óxidos) para a análise de ICP-OES e respectivas amostras. (2).....	37
Figura 17 – Distribuição dos elementos menores para as amostras analisadas em ICP-OES e respectivas amostras. (3)	38
Figura 18 – Distribuição dos elementos menores para as amostras analisadas em ICP-OES e respectivas amostras. (4)	39
Figura 19 – Gráfico de distribuição de elementos terras raras para as unidades CBN, fácies Cacfm, Cacfm parcialmente alterado, CBF, fácies Cfmc e CBR, fácies Cbgm.....	40
Figura 20 – Comparação das amostras analisadas para elementos terras raras. A. amostras referentes ao CBF, CBR e CBN; B. curva esperada para os carbonatitos de Jacupiranga (adaptado de Morbidelli <i>et al.</i> , 1986); C. curva ideal para carbonatitos plutônicos da Barra de Itapirapuã (adaptado de Andrade <i>et al.</i> , 1999).....	42

ANEXOS

ANEXO A – Tabela de amostras;

ANEXO B – Mapa de Pontos;

ANEXO C – *Logs* dos furos de sondagem;

ANEXO D – Gráfico de teor vs profundidade para os furos de sondagem;

ANEXO E – Histogramas de distribuição de teores para as unidades CBF, CBR e CBN;

ANEXO F – Resultados da Análise Discriminante (AD);

ANEXO G – Resultados das análises químicas realizadas em ICP-OES e ICP-MS;

ANEXO H – Fichas petrográficas;

ANEXO I – Resultados de Microsonda Eletrônica;

ANEXO J – Mapa geológico.

1. INTRODUÇÃO

O Complexo Alcalino de Jacupiranga, localizado no Vale do Rio Ribeira de Iguape, sudoeste do Estado de São Paulo, é conhecido por ser um exemplo clássico de ocorrências de rochas alcalinas e ultrabásicas, com destaque às intrusões carbonatíticas mineralizadas a apatita, de grande importância geológica e econômica.

Carbonatito é definido como rocha alcalina com conteúdo superior a 50% de minerais carbonáticos, sendo estes classificados de acordo com a proporção em peso de CaO, MgO e $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MnO}$ (Woolley & Kempe, 1989). A maioria dos tipos de carbonatito reconhecidos mundialmente é associada a rochas alcalinas e ultramáficas, como nefelinitos, fenitos e piroxenitos, formando associações carbonatito-nefeliniticas (Hall, 1996).

A ocorrência do carbonatito em Cajati está associada ao jacupiranguito do complexo, e Desde 1940, a empresa Bunge Fertilizantes S/A desenvolve atividade de lavra no corpo carbonatítico de Cajati visando a extração da apatita - mineral de minério - para a produção de ácido fosfórico e também aproveitando, como subproduto, a matéria-prima carbonática para a fabricação de foscálcio, usado como suplemento mineral para alimentação animal e cimento para construção civil.

Durante os últimos anos foram executados inúmeros estudos enfocados para a caracterização tecnológica do minério explotado, porém há poucos estudos dirigidos à gênese das diversas unidades da intrusão carbonatítica. Destacam-se, entre os trabalhos mais recentes, o de Thomaz (2005) que tratou de tipos morfogenéticos de minérios e o de Lee (2006), sobre a alteração hidrotermal dos carbonatitos na porção norte da mina.

O presente estudo possui importância científica devido à escassez de trabalhos anteriores referentes aos corpos de carbonatito localizados na porção central da Mina, Carbonatito Foliado e Carbonatito Branco, e também pela discussão a respeito da origem desses corpos, seja ele correlacionado ao Carbonatito Norte, ou distinta, relativa a um novo pulso magmático primitivo. Ademais permitirá obter informações mais detalhadas sobre atributos importantes, relativos à geologia, mineralogia e quimismo, desses corpos carbonatíticos, que em última instância irão permitir um melhor planejamento de lavra e conseqüentemente melhor aproveitamento do minério explotado, contribuindo assim para os interesses da empresa.

2. OBJETIVOS E RELEVÂNCIA DO PROJETO

O presente trabalho objetiva realizar uma avaliação comparativa de atributos geológicos, físicos, mineralógicos, químicos e estruturais relativos às rochas carbonatíticas das unidades geológicas: Carbonatito Norte, Carbonatito Foliado e Carbonatito Branco (Figura 4, item 3.4.), afim de obter informações necessárias que permitam correlacionar as unidades estudadas de acordo com suas semelhanças ou diversidade genética e contribuir, com base nos resultados obtidos, para o refinamento não só do modelo conceitual do depósito de apatita, como também do modelo geoestatístico utilizado para o planejamento de lavra em si.

O estudo assim se justifica: primeiro, pela sua importância científica devido à escassez de trabalhos referentes à gênese das unidades carbonatíticas, mesmo considerando os poucos trabalhos mais detalhados efetuados Lee (2006), Thomaz (2005) e mais genericamente por Gaspar (1989), corroborando assim para o melhor entendimento genético e relações espaciais mútuas entre os corpos carbonatíticos; e segundo, do ponto de vista de interesses mineiros imediatos da empresa Bunge, o estudo vai contribuir substancialmente para o refino do planejamento de lavra do minério.

Ao longo do desenvolvimento do projeto, foi possível também obter maiores conhecimentos dos processos que envolvem a gênese de carbonatitos e a aplicação prática de conceitos, antes taxados de uso exclusivamente acadêmico, no âmbito profissional, sendo de extrema importância para a formação profissional e desenvolvimento de raciocínio científico.

3. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

O projeto foi desenvolvido paralelamente ao programa de estágio oferecido pela empresa Bunge Fertilizantes S.A., que teve início em fevereiro de 2007.

Ao longo deste período foi executado o levantamento de todos os dados necessários para a execução deste projeto, fornecidos pela empresa, e obtidos novos resultados a partir de análises realizadas nos laboratórios do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (IGc-USP).

Todos os dados foram obtidos com sucesso, à exceção de uma análise química de ICP-MS, devido a problemas técnicos ocorridos no próprio laboratório. Outro fator de importância é que não foi dada tanta ênfase às descrições dos testemunhos de sondagem, devido ao grande volume de novos furos realizados na atual campanha de sondagem da empresa, o que acarretou na exclusão das descrições detalhadas dos furos de sondagem de longo prazo, sendo utilizadas apenas descrições genéricas e, com maior detalhe, apenas o furo CP-134.

Tabela 1 – Cronograma de desenvolvimento do projeto TF2007/41.

ATIVIDADE	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov
Levantamento Bibliográfico										
Elaboração do relatório inicial										
Descrição de testemunhos e confecção de “logs” dos furos de sondagem										
Mapeamento geológico das unidades de estudo										
Confecção de mapas e perfis geológicos										
Amostragem										
Preparação de amostras para análises químicas convencionais										
Elaboração do relatório de progresso										
Análises petrográficas										
Análises químicas convencionais e de microsonda										
Elaboração da monografia										

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1. Localização e Acessos

O maciço carbonatítico localiza-se na cidade de Cajati, Estado de São Paulo, na região conhecida como Vale do Ribeira, próximo à divisa com o Estado do Paraná (Figura 1), sob coordenadas aproximadas, 24°41" S e 49°09' W.

A principal via de acesso ao local é a rodovia federal Régis Bittencourt (BR 116), que liga São Paulo ao sul do país, distando cerca de 230 km, ou a partir de Curitiba (PR), fazendo-se o acesso pela mesma rodovia, cerca de 180 km.

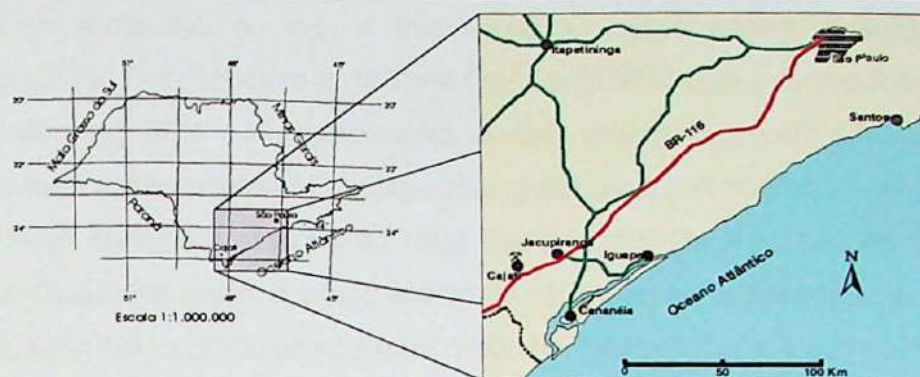


Figura 1 – Mapa de localização da área em estudo

4.2. Geologia do Complexo Alcalino de Jacupiranga

A área, objeto de estudo, enquadra-se no contexto do Complexo Alcalino de Jacupiranga, uma das principais ocorrências de rochas alcalinas e ultrabásicas do Brasil, localizado na borda da Bacia do Paraná, na região denominada Vale do Ribeira em São Paulo.

Esta ocorrência foi inicialmente relatada por Bauer (1877), quando em seus estudos citou a existência das minas de ferro de Jacupiranga. Já em 1891, Derby apresentou estudos detalhados desta ocorrência, e propôs o termo jacupiranguito para a rocha constituída por magnetita e que possui o piroxênio titano-augita como mineral característico, tendo ainda nefelina, flogopita e olivina como minerais acessórios.

O Complexo de Jacupiranga possui forma ovalada (10,5 x 6,7 Km) orientada na direção NNW (Ruberti *et al.*, 1992) e hospeda-se em rochas pré-cambrianas do Complexo Turvo-Cajati, (Paleoproterozóico), ao norte em granodioritos e na porção centro sul por mica xistos, ambos do Grupo Açungui (550 m.a.; segundo Melcher, 1962).

O Complexo é composto por rochas ultramáficas, carbonatíticas, alcalinas e peralcalinas, que configuram dois corpos principais. Um na porção setentrional, de composição dunítica e um na porção meridional, composto predominantemente por magnetita-clinopiroxenito (jacupiranguito), que por sua vez engloba outras duas intrusões: uma intrusão de ijolito (rocha contendo entre 30-70% de nefelina), com forma de meia-lua a sudoeste, e outra do carbonatito, com forma ovalada de orientação NNW, sendo esse corpo, segundo Reis (1983), a intrusão mais recente do Complexo. Nas bordas ocorrem também fenitos, localizados na parte de contato entre o Complexo e as suas encaixantes regionais, representadas por rochas do embasamento. Corpos subordinados de fenito e diques de rochas peralcalinas também ocorrem no interior do complexo, na porção centro sul (Figura 2).

Com a evolução dos estudos notou-se certa discordância quanto aos critérios utilizados para definição do jacupiranguito, pois se verificou que o principal piroxênio do

jacupiranguito é o diopsídio e não a titano-augita, como assim definido pelas normas internacionais da IUGS. Foi proposto então por Gaspar (1989) que o termo fosse evitado, sendo adotado o termo de magnetita – clinopiroxenito, porém, devido à grande difusão do termo, neste trabalho será adotada a denominação de jacupiranguito para a rocha encaixante do carbonatito.

No contexto tectônico, admite-se uma associação entre as rochas do Complexo e o Fissuramento de Guapiara onde a atividade magmática alcalina Mesozóica, reconhecida nas rochas de Cajati, teria sido condicionada pelo arco de Ponta Grossa e correlacionada também a um *hot spot* difuso em uma série de junções tríplices associadas à abertura do Atlântico Sul (Herz 1977, *apud* Ruberti 2000).

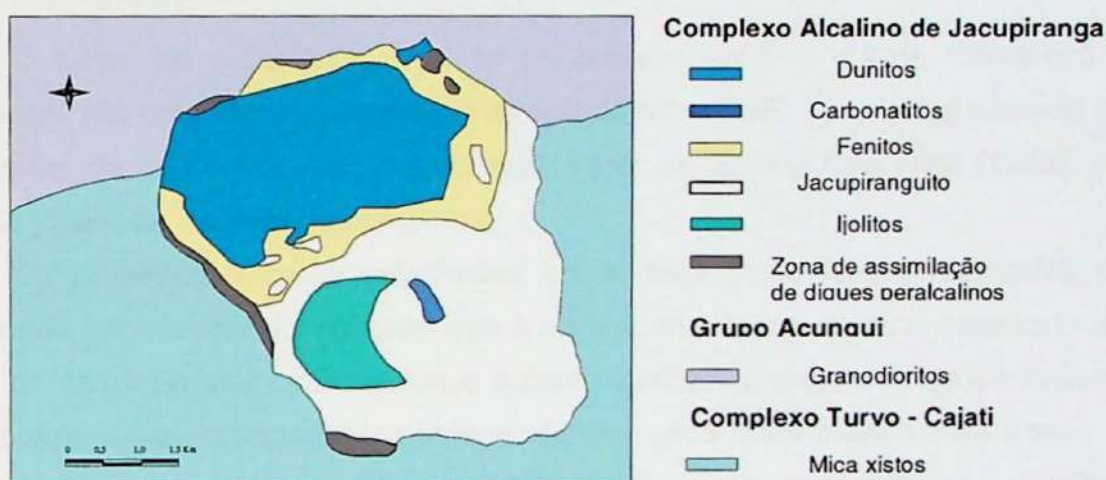


Figura 2 – Mapa geológico Complexo Alcalino de Jacupiranga (adaptado de Germann *et al.*, 1987).

Outro fator que contribui para essa hipótese diz respeito às idades radiométricas obtidas a partir de métodos de datação K/Ar e Rb/Sr (em mica e carbonatos), em carbonatitos, com idades de aproximadamente 131 ± 3 M.a. (Amaral 1978, Roden *et al.* 1985, *apud* Gaspar 1989), que coincidiriam com o evento de abertura do Atlântico Sul.

4.3. Histórico da Mina

Os primeiros estudos efetivados na região visando avaliar os recursos minerais, iniciaram-se na década de 30, quando Knecht (1934) apontou que havia um grande potencial econômico para apatita.

A partir da década de 40, a empresa Serrana Nutrição Animal instalou-se na região e iniciou-se assim a exploração do minério de apatita residual, minério este formado a partir do

intemperismo da massa carbonatítica (Ruberti *et al.*, 1992), com teores de P_2O_5 superiores a 20% e utilizado na fabricação de fertilizantes.

A exploração deste minério estendeu-se até 1969, quando o próprio corpo de carbonatito passou a ser lavrado, com teor médio de P_2O_5 (~5,5%) inferior ao teor médio do minério residual.

Atualmente a empresa Bunge Fertilizantes S.A. é a responsável pela exploração da apatita, que é utilizada para a produção de ácido fosfórico, e pela comercialização dos outros subprodutos da mina, aproveitados para a produção de corretivos agrícolas, cimento e brita.

4.4. Geologia Local

O corpo de carbonatito situa-se na porção centro – sul do Complexo Alcalino de Jacupiranga, em uma faixa alongada na direção NNW – SSE, com forma ovalada e dimensões aproximadas de 1000 m x 400 m. Esta ocorrência, de acordo com Reis (1983), representa a fase mais jovem de intrusão do complexo.

Os primeiros estudos detalhados sobre este corpo foram realizados por Melcher (1966), onde inicialmente foi relatado que a origem do minério residual explotado até então era produto de alteração dos carbonatitos e sugeriu também a origem magmática dessas rochas, definindo dois “plugs” carbonatíticos independentes, um a norte e outro mais a sul.

Porém, em 1983, Gaspar & Wyllie realizaram um estudo de detalhe sobre as ocorrências carbonatíticas desta região e identificaram cinco fases de intrusões, descritas em ordem cronológica posteriormente por Gaspar (1989), que realizou um mapeamento do corpo e descreveu as intrusões, da mais velha para a mais nova, assim nominadas: C1, C2, C3, C4 e C5 (Figura 3), sendo este trabalho considerado o de maior importância para os estudos de origem do corpo carbonatítico.

Na porção sul da mina, segundo o mesmo autor, a intrusão C1 corresponde a um sovito exibindo disposição vertical, granulação grossa, bandamento espesso, e mineralogia dada por calcita, apatita, magnetita, olivina, flogopita, dolomita e sulfetos, em ordem decrescente de taxa de abundância e a C2 é descrita como um sovito dolomítico com granulação fina a média, foliada, composta por: calcita, apatita, magnetita, olivina, flogopita, dolomita e sulfetos. A mesma intrusão possui mergulhos verticais, paralelos ao contato com C1 e a lineação da apatita é sub-horizontal. A intrusão C3 corresponde a um sovito de granulação média a grossa e bandamento menos evidente que as outras intrusões, composta por: calcita, apatita, magnetita, flogopita, dolomita, olivina e sulfeto. No contato entre C2 e C3 observa-se sovito e beforsito com bandamento difuso.



Figura 3 – Mapa das intrusões carbonatíticas. Intrusões: C1, C3 e C4 – Sôvitos calcíticos; C2 – Sôvito dolomítico; C5 – Rauhaugito. Modificado de Gaspar (1989).

C4 na porção norte é caracterizada por um sôvito disposto de forma cilíndrica, granulação média, bandamento vertical, paralelo às bordas, mineralogicamente composta por: calcita, apatita, magnetita, olivina, flogopita, dolomita e sulfetos, e possui orientação de lineação mineral da apatita sub-horizontal. E por último C5, rauhaugito, de granulação média a grossa, com bandamento sub-vertical próximo a 80°, composta por dolomita, apatita, flogopita, magnetita, sulfetos e calcita. Para o autor, C5 corresponde a um dique intrusivo em C4.

As determinações radiométricas dos carbonatitos foram realizadas através do método K/Ar, indicando idade aproximada do carbonatito de 131 ± 3 Ma (Amaral, 1978 *apud* Gaspar, 1989), sendo reafirmadas posteriormente pelo método Rb/Sr (em mica e carbonatos) no trabalho de Roden *et al* (1985).

Desde o início das atividades de lavra na intrusão carbonatítica o modelo geológico adotado seguia a subdivisão proposta por Gaspar (1989). Porém devido às dificuldades no beneficiamento da rocha, associados à necessidade de reavaliação do depósito, Saito *et al.* (2004) apresentaram um refinamento do mapa proposto pelo autor, identificando no total doze unidades que levaram em consideração, principalmente, as características geológicas, como estruturas, mudanças texturais, composição mineralógica, etc. Este modelo é atualmente

utilizado pela empresa para a delimitação dos tipos de minério explotado e para o controle do planejamento de lavra. (Figura 4).

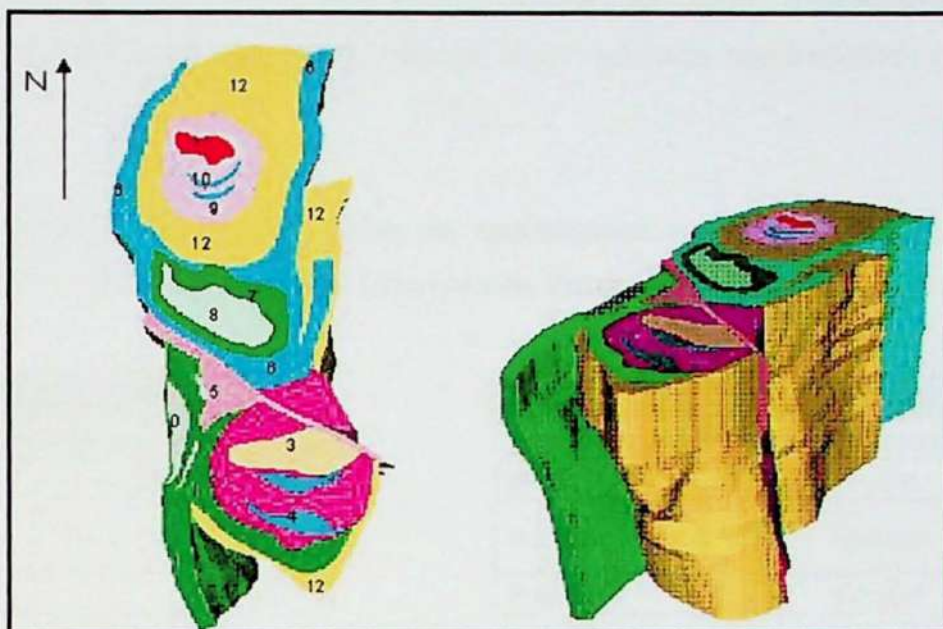


Figura 4 – Mapa geológico da Mina do Morro. Unidades Geológicas: 0 – Corpos de Jacupiranguito (JAC); 1 – Carbonatito Periférico Sul (CPS); 2 – Carbonatito Calcítico Sul (CCS); 3 – Carbonatito Oxidado (COX); 4 – Zonas com Foscoritos Sul (FCS); 5 – Zona de Falha (ZFA); 6 – Carbonatito Intermediário (CBI); 7 – **Carbonatito Foliado (CBF)**; 8 - **Carbonatito Branco (CBR)**; 9 - **Carbonatito Norte (CBN)**; 10 - Zonas com Foscoritos Norte (FCN); 11 - Carbonatito Dolomítico (DOL); 12 - Zonas de Xenólitos (XENorte, XELeste, XESul). Adaptado de Saito *et al.*, 2004.

Correlacionando com o mapa de Gaspar (*op. cit.*), as unidades carbonatíticas, 1 a 3 correspondem à intrusão C1, as unidades 6 a 8 correspondem à intrusão C2, sendo uma parte da unidade 6 inclusa na C3; a unidade 9 corresponde à C4, e aparentemente o carbonatito dolomítico (11) corresponde à C5. Além da zona de xenólitos norte, mapeada pelo mesmo autor, foram identificadas outras duas regiões a leste e sul, onde os xenólitos centimétricos a métricos são de jacupiranguito com bordas metassomatizadas, ora suportadas por matriz carbonática ora por xenólitos.

Recentemente, Thomaz (2005), estudou as anômalas concentrações de minerais não carbonáticos (Foscoritos) que ocorrem principalmente na porção norte da mina, enfocando relações estruturais e texturais com as unidades adjacentes, e Lee (2006), detalhou o corpo Carbonatítico Norte e sua relação genética hidrotermal com o Carbonatítico Dolomítico Norte.

5. OBJETOS DE ESTUDO

Dos trabalhos mais recentes, para o embasamento e realização dos estudos, foram adotadas as descrições gerais de Saito *et al.* (2004) e Lee (2006), baseados principalmente nos critérios de descrição estabelecidos por Bonás, 2001, adotada nos trabalhos mineiros, conforme Tabela 2:

Tabela 2 – Critérios texturais e faixas de quantidades minerais formadores do carbonatito (maiores constituintes e acessórios). Adaptado de Bonás (2001).

CARBONATOS		
Granulação (mm)		
grossa	> 5	> 10
normal	$2 < d < 5$	$5 < q < 10$
fina	< 2	< 5

APATITA			
Granulação (mm)		Quantidade (%)	
grossa	> 3	muita	> 10
normal	$3 < d < 1$	normal	$5 < q < 10$
fina	< 1	pouca	< 5

MAGNETITA			
Granulação (cm)		Quantidade	
muito grossa	> 3	muita	> 15
grossa	$1 > d > 3$	normal	$5 < q < 15$
normal	$0,3 < d < 1$	pouca	< 5
fina	< 0,3		

FLOGOPITA		
Granulação (cm)		Quantidade
muito grossa	> 3	muita
grossa	$1 > d > 3$	normal
normal	$0,3 < d < 1$	pouca
fina	< 0,3	

5.1. Carbonatito Norte (CBN)

Ocorre como um corpo concêntrico de grande extensão em contato com a Zona de Xenólitos. Possui em seu interior o corpo de carbonatito dolomítico e lentes de foscorito. É denominado de carbonatito calcítico por ter como mineral principal a calcita, ocorrendo em quantidades superiores a 50%, que exibe cor branca acinzentada e granulação normal ($2 < d < 5\text{mm}$). Os minerais acessórios e secundários são apatita fina e transparente (~6 – 8%), magnetita (~5 – 10%) com tamanhos inferiores a 3mm, sulfetos e localmente flogopita normal ($0,3 < d < 1\text{cm}$).

Essa unidade foi subdividida, por Lee (2006), em três fácies distintas:

5.1.1. Carbonatito Acamadado Fino a Médio (Cacfm)

Rocha mais comum dentre as demais fácies, ocorre intrusiva à Zona de Xenólitos, apresentando contato transicional com os corpos de Foscorito e com a fácies Carbonatito acamadado rico em magnetita (Carm).

Possui bandamento ígneo sub-vertical, expresso pela alternância de bandas milimétricas de magnetita alternadas com bandas mais espessas de carbonato calcítico. Pode apresentar pequenos corpos dolomíticos de coloração alaranjada intercalados na região próxima ao contato com o corpo dolomítico, mas tem como carbonato principal a calcita.

Apresenta cor branca acinzentada, granulação fina a média e textura equigranular fina a média. A mineralogia e composição modal dessa rocha podem assim ser resumidas: carbonato fino (80%), magnetita fina (<5%), podendo ocorrer porfirítica, flogopita fina (<3%), apatita fina (~10%), sulfetos (pirita e/ou pirrotita) e olivina subordinados (<2%) (Figura 5. A).

5.1.2. Carbonatito Acamadado Rico em Magnetita (Carm)

Ocorre interdigitado lateralmente a fácies Cacfm e usualmente se comporta como fácies transicional aos corpos de Foscorito. Possui foliação de fluxo ígneo incipiente, com orientação sub-vertical marcada pela orientação dos cristais de magnetita.

A rocha é predominantemente calcítica, podendo ocorrer pequenas porções dolomíticas, tem cor branca acinzentada, textura equigranular fina a inequigranular seriada fina a grossa, casualmente porfirítica, com fenocristais de magnetita grossa e é composta mineralogicamente por magnetita fina a média (8-20%), apatita fina (~5-20%), flogopita fina e sulfetos subordinados. (Figura 5. B)

5.1.3. Carbonatito Branco Médio a Grosso (Cbmng)

O corpo é pouco expressivo e ocorre de forma subordinada na poção norte da área do Carbonatito Norte.

Este carbonatito possui estrutura maciça e aspecto pegmatóide, com coloração branca ou alaranjada. Digno de nota é a granulação grossa dos cristais de magnetita e calcita (até 2cm), associados à apatita acicular fina a média (~0,2cm). Às vezes nota-se presença de flogopita normal a grossa (~1cm) localmente. A composição mineralógica modal é expressa por calcita (~95%), apatita (~5%), flogopita e/ou magnetita (~2%) e olivina (<2%) (Figura 5. C).



Figura 5 – Fácies correlatas à unidade CBN: **A.** Carbonatito acamadado fino a médio (Cacfm); **B.** Carbonatito acamadado rico em magnetita (Carm); **C.** Carbonatito branco médio a grosso, parcialmente alterado (Cbmng).

5.1.4. Carbonatito Branco (CBR)

Ocorre no interior do corpo de carbonatito foliado (CBF) e apresenta indícios de ser mais jovem que o ele, devido à presença de xenólitos do CBF e de injeções de Carbonatito Branco no mesmo.

É descrito como um carbonatito calcítico branco de granulação média, estrutura maciça e em profundidade, apresenta porções dolomíticas no contato com o CBF, intercalando porções de estrutura foliada com porções maciças. É composto por apatita fina acicular, radial, concentrada em bolsões (5 - 10%), magnetita fina em aglomerados centimétricos, podendo ocorrer localmente em granulometria grossa (até 2 cm), flogopita esverdeada, sulfetos concentrados em vênulas ou bolsões e sem a presença de olivina (Figura 6).



Figura 6 – Carbonatito Branco típico, com fenocristais de magnetita e apatita acicular esverdeada.

5.1.5. Carbonatito Foliado (CBF)

Este corpo ocorre na porção central da mina, sendo descrito como um carbonatito calcítico acinzentado fortemente foliado. Nota-se que neste corpo também ocorrem pequenos corpos de carbonatito dolomíticos de coloração alaranjada, com contatos difusos e localmente

transicionais, e corpos de carbonatito calcítico alaranjado, decorrentes de oxidação pervasiva ao longo de fraturas e falhas. Uma das características distintivas desta unidade é a presença da foliação verticalizada, na porção sul, e foliação de baixo ângulo, na porção norte do corpo principal (Figura 7).

A mineralogia típica é expressa por: apatita fina (5 – 10%), magnetita fina (5 – 10%), pouca flogopita fina (<5%), pouco sulfeto (< 1%) e olivina ausente, ou em pequenas quantidades (mineral traço).

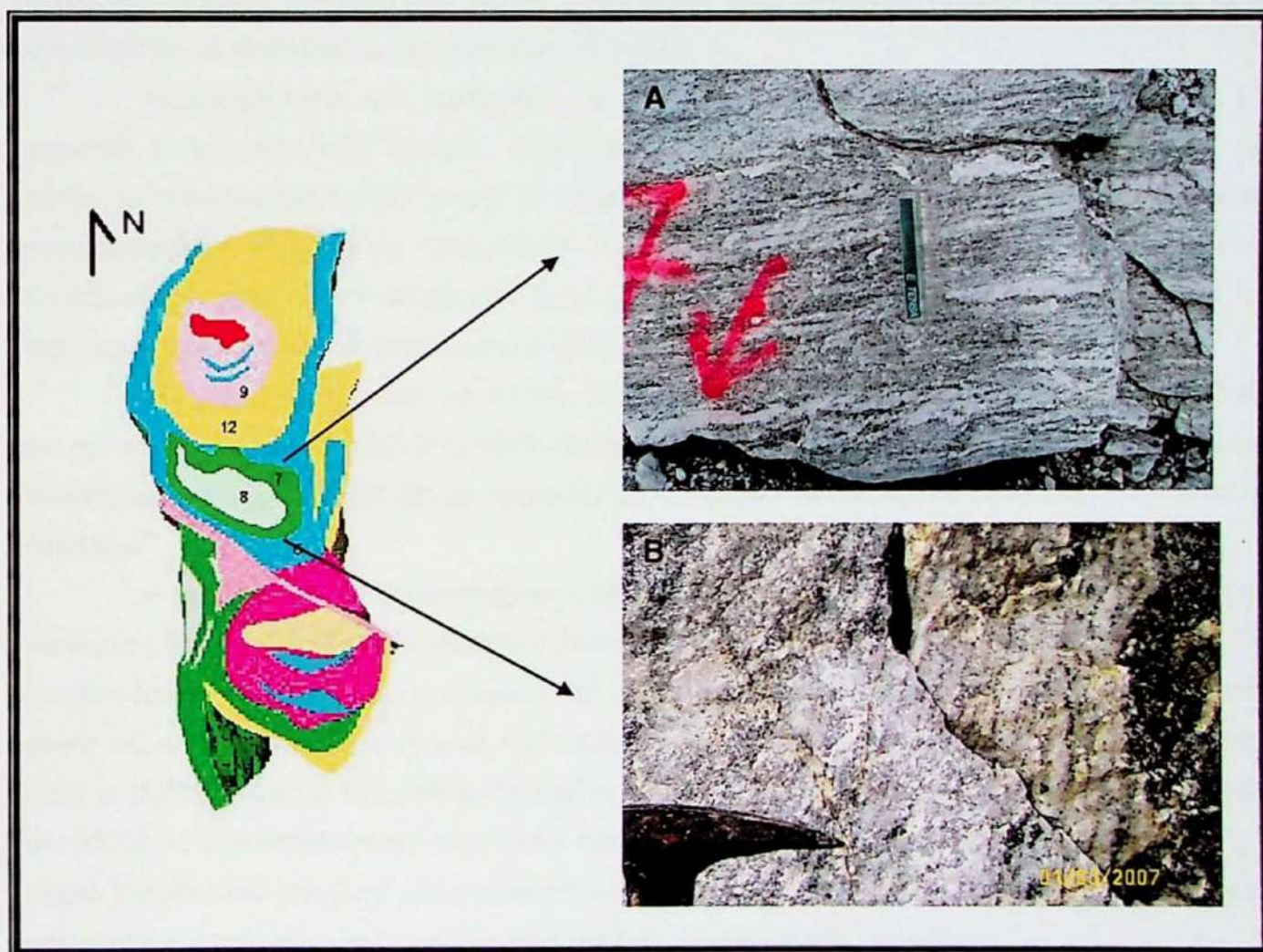


Figura 7 – Mapa geológico representativo indicando a variação da foliação do fluxo magmático dentro do Carbonatito Foliado. **A.** Foliação de fluxo sub-horizontal a norte e **B.** Foliação de fluxo sub-vertical a sul. (Mapa modificado de Saito *et al*, 2004).

6. MÉTODOS E MATERIAIS

A metodologia proposta e empregada consiste na aquisição, compilação e geração de dados que forneçam maiores informações dos corpos em estudo, sempre com a visão de comparar seus atributos para posterior avaliação.

Inicialmente fora realizado o levantamento bibliográfico de todas as características mineralógicas, texturais e estruturais das três unidades litológicas descritas, com base em toda a geologia local do complexo e da intrusão carbonatítica (Item 4). Adicionalmente, foram utilizadas também informações locais, fornecidas pela empresa Bunge Fertilizantes S.A., e compiladas de trabalhos anteriores recentes (Item 5),

Posteriormente foi realizado um mapeamento geológico local, em escala 1:500, visando a descrição dos litotipos, destacando a variabilidade mineralógica e textural, assim como as relações de contato entre os carbonatitos adjacentes. A delimitação da área mapeada compreende o domínio do Carbonatito Foliado e Branco, já que em estudos anteriores o Carbonatito Norte já foi detalhado (Lee, 2006). Em conjunto com essas atividades foram coletadas amostras representativas de cada fácies identificada.

Em campo adotaram-se rotinas típicas, como observações macroscópicas, utilizando-se de ácido clorídrico (HCl 2N) para distinção entre corpos predominantemente calcíticos ou dolomíticos. Para a confecção do mapa foram utilizados os softwares CorelDraw®, Gencom® e Arcwiew®.

A partir de furos de sondagem realizados pela empresa, foram confeccionadas seções verticais com a intenção de delimitar o comportamento em profundidade desses corpos. Essas seções foram realizadas com o auxílio do software Gencom®, considerando apenas o contato entre as unidades litológicas e as variações composicionais significativas, como por exemplo, corpos dolomíticos ou foscoritos. As seções de direção N 23° atingem a profundidade máxima de 35,00 m e correspondem aos furos executados na campanha de curto prazo (2007), já a seção longitudinal principal apresenta profundidades variáveis, que abrangem diversos furos de longo prazo realizados em diversas campanhas de sondagem anteriores.

As descrições a partir dos testemunhos de sondagem, têm o objetivo principal de fornecer as variações mineralógicas e texturais, observadas em cada unidade, e complementar as informações sobre a composição média dos teores dos principais elementos maiores para cada unidade, obtidas através de análises por Fluorescência de Raios-X, fornecidos pela empresa, tratados posteriormente no software Excel®. Para as descrições foram adotados os critérios estabelecidos nos trabalhos de Bonás (2001), conforme Tabela 2.

Para as análises petrográficas, foram confeccionadas lâminas petrográficas no Laboratório de Preparação do IGc-USP. As lâminas apresentavam espessura máxima de 30 µm

e foram descritas tanto no laboratório de Caracterização Tecnológica da empresa Bunge Fertilizantes S.A., quanto no laboratório didático do IGc-USP, e as fotografias foram obtidas através de câmera digital C5050 Olympus, acoplada ao microscópio Olympus BX50, no Laboratório de Microscopia Óptica do IGc - USP

Os dados de Fluorescência de Raios – X, fornecidos pela empresa, foram tratados a partir de métodos estatísticos quantitativos, por meio de análise discriminante, e análise de componentes principais (ACP). Esses métodos são considerados como análises multivariadas, uma vez que relaciona as variáveis no espaço. Para a realização dessas análises estatísticas foi necessário calcular a média dos teores para cada unidade faciológica subdividida dentro dos furos de sondagem da campanha de curto prazo.

A análise discriminante multigrupos, considerada como uma análise estatística, é principalmente utilizada para a distinção de grupos internos entre diferentes amostras analisadas a partir de diversas variáveis mensuradas, no caso aplicado, os diversos teores de óxidos para a média das amostras de uma unidade, obtida a partir dos furos de sondagem da campanha de curto prazo. Para tal, esse método baseia-se em procedimentos que combinam as análises de variância e fatorial (Landim, 2006).

Já a análise de componentes principais, interpreta a importância das variáveis e como elas se relacionam a partir de um conjunto de autovetores e correspondentes autovalores de uma matriz de variâncias-covariâncias. Ela também consiste em uma transformação linear de 'n' variáveis originais em 'n' novas variáveis, sendo considerada então uma técnica de transformação de variáveis (Landim, *op cit*).

Devido ao grande volume de análises químicas de rocha total a partir de Fluorescência de raios –X, correspondente a amostras de testemunhos de sondagem já descritas pela empresa, optou-se pela utilização dos métodos: ICP-OES (Inductively Coupled Plasma – Optical Emission Spectrometry) e ICP-MS (Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometry) e análise química quantitativa em microsonda eletrônica, com amostras representativas das fácies típicas de cada unidade para geração de novos dados analíticos referentes às unidades.

6.1. ICP-OES

O método ICP-OES (Inductively Coupled Plasma – Optical Emission Spectrometry) consiste na determinação da concentração dos elementos químicos de interesse a partir da contagem de radiação eletromagnética na frequência da luz visível a ultravioleta emitida pelos próprios elementos quando excitados através de um plasma.

A espectrometria óptica de luz emitida é amplamente utilizada para determinação de elementos maiores, menores e traço principalmente por ser uma técnica não destrutiva (preservando a amostra para futuras análises por outras técnicas mais sensíveis) e por ser uma técnica de grande precisão e exatidão, analisando simultaneamente elementos em faixas de concentrações muito diferenciados. Esta técnica baseia-se no seguinte princípio:

Em um átomo, quando este for excitado por determinada quantidade de energia, ocorrerá a transição eletrônica entre diferentes orbitais, sendo que os orbitais mais externos demandam menos energia para a ocorrência deste fenômeno. Após certo período de tempo, o elétron retorna à sua posição original, emitindo energia equivalente à absorvida, na forma de radiação eletromagnética. Cada átomo possui uma energia diferente de excitação e, com isso, as ondas de luz emitidas serão de diferentes frequências para diferentes transições eletrônicas dos diferentes átomos.

O mecanismo do plasma fornece energia suficiente para a ocorrência de transições eletrônicas nos orbitais mais externos, ou “de valência”, de praticamente todos os elementos da tabela periódica. Assim, o material analisado, quando excitado, deve emitir luz branca, equivalente à somatória de todas as frequências emitidas.

No interior do maquinário existe uma grade de difração capaz de selecionar comprimentos de onda específicos para a espectrometria, separando-os da luz branca, e identificando cada comprimento de onda característico de cada elemento.

As amostras foram analisadas em Espectrômetro óptico com plasma induzido acoplado, modelo ARL-3410 – *Applied Research Laboratories Inc.*, do Instituto de Geociências – USP e para o controle de qualidade das análises foram inseridos os materiais de referência SARM-40 e JGb – 1, correspondendo a um carbonatito e um gabro respectivamente.

6.2. ICP-MS

A técnica do ICP-MS (Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometry) baseia-se nos mesmos princípios de excitação empregados para a técnica de ICP-OES, mas a espectrometria de massas (MS) utiliza o movimento de íons em campos elétricos e magnéticos, para classificá-los de acordo com sua relação massa – carga. Desta maneira, a espectrometria de massas é uma técnica analítica por meio da qual as substâncias químicas se identificam separando os íons gasosos em campos elétricos e magnéticos (Potts, 1992)

Com o espectrômetro de massa determinam-se massas atômicas com grande precisão permitindo, inclusive, distinguir as massas dos isótopos de um mesmo elemento. O ICP-MS

possui também alta sensibilidade e capacidade de determinação de metais e não metais a concentrações abaixo de uma parte em 10^{12} (ppt).

As leituras foram realizadas no Laboratório de Química e ICP do IGc – USP, em aparelho da marca Perkin Elmer, modelo ELAN 6100 DRC.

6.3. MICROSSONDA ELETRÔNICA

Essa técnica visa a identificação e a caracterização química de minerais e rochas, a partir de linhas de espectro característicos de raios X, originadas a partir de uma amostra sólida bombardeada por um feixe eletrônico direto, capaz de excitar os elementos presentes no material. A partir deste espectro gerado, faz-se então a comparação da intensidade da radiação com aquela emanada de uma substância de composição química conhecida (padrão), obtendo-se desse modo uma análise quantitativa do material.

A microsonda permite ao usuário uma análise simultânea à visualização da amostra (análise qualitativa), sendo de maneira geral rápida e com alta resolução espacial, permitindo a realização de análises em amostras com partículas inferiores a $1\mu\text{m}$, sem que haja a destruição do material.

O material utilizado para esta técnica é preparado a partir de lâminas delgadas polidas (espessura da ordem de $30\mu\text{m}$) segundo a mesma técnica adotada para a preparação de lâminas para microscopia petrográfica, diferindo-se inicialmente pela ausência de cobertura (lamínula) e pelo polimento, que objetiva produzir uma superfície destituída de relevo, já que irregularidades podem prejudicar a análise.

As leituras desse método foram efetuadas em aparelho de marca Jeol, modelo SuperProbe JX-8600 no laboratório de Microsonda Eletrônica do IGc-USP e os resultados posteriormente tratados no *software* Excel®, e calculados valores aproximados de CO_2 para as amostras a partir da estimativa da proporção molecular dos demais óxidos analisados.

6.4. FLUORESCÊNCIA DE RAIOS – X

A análise por fluorescência de raios – X é amplamente utilizada para determinação de elementos maiores e menores, e emprega a radiação eletromagnética para a produção de raios – X característicos, emitidos pelos elementos presentes em cada amostra.

Raios – X emitidos por tubos de raios X, gerados através da diferença de potencial aplicada entre uma fonte de elétrons (catodo) e um alvo de natureza qualquer (anodo), saem deste tubo e excitam os elementos constituintes da amostra analisada que, por sua vez, emitem linhas espectrais com energias características do elemento e cujas intensidades estão

relacionadas com a concentração do elemento na amostra, Conhecendo-se os ângulos de reflexão e a intensidade dessa radiação, identifica-se não só o elemento, mas também se determina sua quantidade (Gomes *et al*, 1984).

Quando um elemento de uma amostra é excitado, este tende a ejetar os elétrons do interior dos níveis dos átomos, como consequência disto, elétrons dos níveis mais afastados realizam um salto quântico para preencher a vacância. Cada transição eletrônica constitui uma perda de energia para o elétron, e esta energia é emitida na forma de um fóton de raio X, de energia característica e bem definida para cada elemento.

As amostras devem ser preparadas em forma de disco com superfície plana e área constante, sendo utilizadas normalmente pastilhas de pó prensadas ou fundidas, e as leituras foram realizada no LCT (Laboratório de Caracterização Tecnológica) do Departamento de Minas da Escola Politécnica – USP.

Este método apresenta uma grande vantagem com relação aos demais, principalmente quanto ao fato de ter um caráter não destrutivo das amostras e apresentar uma ampla capacidade de detecção, com teores variando de partes por milhão a 100%.

6.5. AMOSTRAGEM E PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

6.5.1. Coleta das Amostras

As amostras, com peso aproximado de 5 Kg cada, foram coletadas durante mapeamento em campo das unidades sendo escolhidas devido a características estruturais e texturais comuns à unidade descrita.

No total foram coletadas 28 amostras representativas (Anexo A), sendo 9 selecionadas para descrição petrográfica e 3 dessas para microsonda eletrônica, 7 amostras para análise de ICP-OES e 2 para análise de ICP-MS.

Vale ressaltar que amostras utilizadas para o trabalho de Lee (2006) também serviram de base para a obtenção dos resultados finais, no caso das técnicas de microsonda eletrônica, amostras TL-07-2006 (Cacfm) e TL-13-2006 (Cacfm parcialmente alterado), e para análise de terras raras as amostras TL-07/2006, TLT-06, TLT-09 (Cacfm) e TL-13, TLT-05 (Cacfm parcialmente alterado).

6.5.2. Preparação das Amostras

As amostras foram preparadas de acordo com as rotinas estabelecidas pelos laboratórios de preparação de amostras do IGc-USP. Ao total foram preparadas 8 amostras para ICP-OES e dessas, 3 para ICP-MS.

Os resultados correspondentes às análises de Fluorescência de Raios – X, derivados de amostras de furos de sondagem, foram fornecidas pela empresa, cujos critérios de amostragem e preparação seguem padrões estabelecidos pela mesma, sendo amostras correspondentes a $\frac{1}{2}$ de um testemunho de sondagem com diâmetro NW (54,73 mm) e com comprimento variando entre $5 \pm 2,5$ m, não tendo separação entre as fácies descritas no presente trabalho (Item 7.1) ou em trabalhos anteriores (Lee, 2006 e Thomaz, 2005), apenas a separação por unidades litológicas, como proposto por Saito *et al*, 2004.

Para a preparação das soluções utilizadas para a técnica de ICP-OES foram obedecidas as seguintes etapas:

- a) Fragmentação das amostras na marreta até dimensões centimétricas;
- b) Lavagem das amostras por meio de ultra-som e posterior secagem em estufa;
- c) Britagem secundária em britador de mandíbulas;
- d) Quarteador-Jones: quarteamento das amostras devido à porções heterogêneas;
- e) Pulverização: utilização de moinho de anéis de ágata até frações inferiores a 200 *mesh*, entre cada amostra o moinho é lavado com sabão e limpo com ar comprimido e álcool;

A partir de então, as amostras foram submetidas às seqüências de laboratório para a preparação da solução, seguindo o procedimento seguinte:

- f) Pesagem da amostra sólida em cadinho de porcelana para realização do método de perda ao fogo;
- g) Secagem da amostra em estufa por aproximadamente 24 horas a uma temperatura de 105 °C;
- h) Pesagem da amostra para conferência da perda de %H₂O⁺;
- i) Lavagem do material a ser utilizado com ácido nítrico (HNO₃) e água destilada;
- j) Pesagem de solução de tetraborato de lítio e metaborato de lítio (0,7500 ± 0,0001 g) em cadinho de porcelana com capacidade de 30 mL, previamente limpo e seco;
- k) Pesagem da amostra sólida limpa e seca a 105 ± 5 °C em outro cadinho de porcelana (0,2500 ± 0,001 g);
- l) Homogeneização da amostra com o fundente no cadinho de porcelana que contém a amostra sólida por meio de um bastão de vidro ou teflon;
- m) Transferência de mistura para cadinho de grafite, previamente queimado em mufla elétrica a 1000 °C por aproximadamente 20 minutos;
- n) Fusão do material no cadinho de grafita a 1000 °C por 20 minutos;
- o) Pesagem do cadinho para posterior correção de massa;
- p) Transferência do material fundido para bquer de 400 mL, contendo 150 mL de água e 25 mL de HNO₃ 2N;

- q) Dissolução completa do vidro formado com auxílio de agitador magnético por cerca de 30 minutos;
- r) Homogeneização da solução em balão volumétrico de 250 mL;
- s) Filtragem da solução através de papel para filtragem rápida para dentro de um frasco de polietileno de 250 mL seco.

Após essas etapas, obteve-se uma solução de concentração 1000 ppm de amostra, que foi utilizada para leitura no equipamento.

Para a preparação das amostras utilizadas na leitura do método ICP-MS, foram seguidas as etapas de **a.** a **k.**, sendo diferenciadas a partir do método de abertura, que foi efetuado em forno de microondas para a amostra T-18 (Cfcm) e para as demais amostras o método de abertura foi por bomba par, descritos no trabalho de Navarro, 2004.

Na preparação dessas amostras foram tomados todos os cuidados a fim de evitar contaminações através de manipulação das amostras, aparelhos de moagem e principalmente contaminações entre partículas sólidas ou líquidas provindas de outras fontes que não a própria amostra.

7. RESULTADOS OBTIDOS E INTERPRETAÇÕES

7.1. Mapeamento Faciológico

O mapeamento realizado em escala de detalhe, 1:500 (Anexo J), permitiu a obtenção dos principais contatos entre o Carbonatito Foliado e Carbonatito Branco, uma vez que o Carbonatito Norte, anteriormente detalhado (Lee, 2006 e Thomaz, 2005), não faz contato direto com essas unidades. A área do mapeamento está apresentada na Figura 8 e o mapa de pontos no Anexo B.



Figura 8 – Área mapeada em destaque (limites em vermelho) correspondendo às bancadas -50, -60, -70 e -80 metros,

De maneira geral o Carbonatito Foliado (CBF) ocorre na periferia do Carbonatito Branco (CBR) e o contato entre essas unidades é muito difuso, variando de contatos gradativos, com a diminuição de minerais acessórios em direção ao centro, ou contatos abruptos, através de zonas de falhas e/ou mudança brusca na textura e mineralogia dos corpos.

Freqüentemente observam-se injeções de corpos similares ao CBR no CBF (e do CBF no CBF, neste caso em menores dimensões); caracterizadas como interdigitações próximas ao contato. Essas características validam uma região intermediária próxima ao contato, que foi classificada como zona de reação de contato, com corpos dolomíticos também associados (Figura 9).

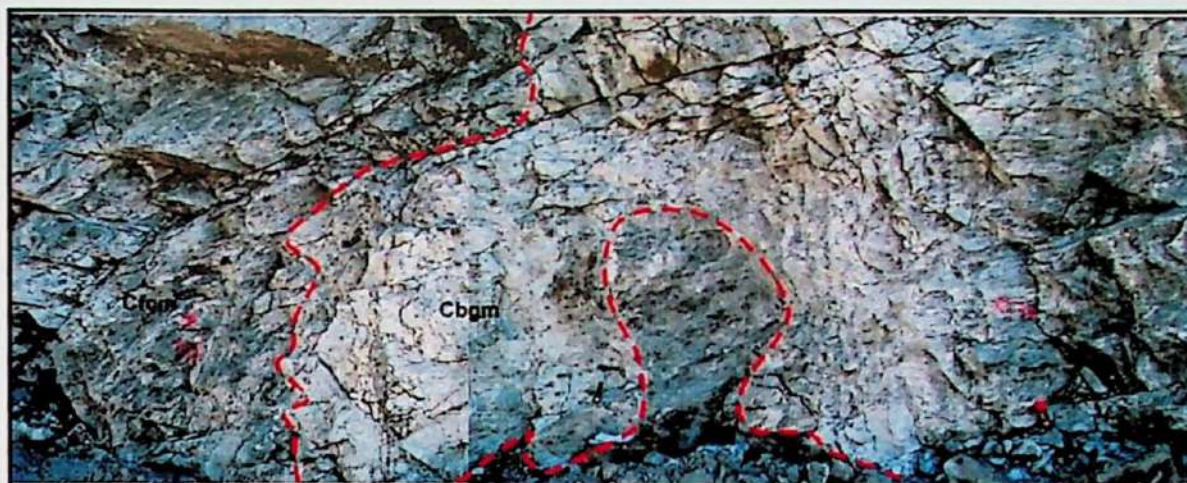


Figura 9 – Contato sinuoso inferido entre as unidades CBR (Cbgm) e CBF (Cfcm), onde é comum a intercalação dos litotipos.

Devido à grande variação textural observada nas unidades faciológicas, optou-se pela subdivisão das mesmas em fácies correlatas que ocorressem freqüentemente em cada uma delas. O sumário dessas unidades é apresentado na Tabela 3:

Tabela 3 – Nomenclatura das fácies correlatas das unidades CBF e CBR e respectivas siglas adotadas no trabalho.

UNIDADE FACIOLÓGICA	FÁCIES CORRELATAS	SIGLA
Carbonatito Foliado (CBF)	<i>Carbonatito Foliado fino a médio cinza</i>	Cfmc
	<i>Carbonatito foliado branco rico em minerais acessórios</i>	Cfba
	<i>Carbonatito foliado médio oxidado</i>	Cfmo
Carbonatito Branco (CBR)	<i>Carbonatito branco grosso maciço</i>	Cbgm
	<i>Carbonatito branco dolomítico oxidado</i>	Cbdo
	<i>Carbonatito branco médio rico em minerais acessórios</i>	Cbma
	<i>Carbonatito branco lamelar médio</i>	Cblm

7.1.1. Carbonatito Foliado fino a médio cinza (Cfmc)

É a fácies que predomina e tem como principal característica a presença de foliação bem delimitada, sub-horizontal na parte sul e sub-vertical a norte.

A rocha é um carbonatito de textura inequigranular seriada fina a média, branco acinzentado. Sua composição mineralógica se resume a: carbonato (~50-70%), magnetita fina a média, euédrica (~12-18%), apatita fina a média transparente (~5-10%), flogopita fina estirada (~5-7%) e sulfetos associados (~3%).

A matriz é calcítica, podendo ocorrer porções centimétricas dolomíticas. Os acessórios são orientados de acordo com a foliação, sendo comum a associação de apatita e magnetita, que definem a foliação magmática principal ou ocorrem como bolsões discordantes, onde as quantidades de magnetita e apatita podem caracterizar leitos de foscorito (magnetita > 30% e apatita (15%) (Fotografia A)

7.1.2. Carbonatito foliado branco rico em minerais acessórios (Cfba)

Normalmente aparece como injeções ou intrusões no Cfmc e está sempre interdigitado nas regiões próximas ao contato (Fotografia B).

Apresenta estrutura maciça e, localmente, em alguns bolsões, a rocha está estirada, o que sugere uma foliação incipiente de fluxo ígneo. A coloração é branca e a textura é inequigranular, seriada; a granulometria varia de fina a grossa. Mineralogicamente apresenta grande variação, com carbonato calcítico médio a grosso (50-90%), magnetita fina a grossa euédrica, localmente porfirítica, com cristais de até 4 cm (~5-7%), apatita fina esverdeada, disposta em bolsões alongados, normalmente circundados pela magnetita fina (7-12%), flogopita média euédrica, associada à apatita (~3-5%), sulfetos localmente variando de fino a grosso (<3%) e pequenos cristais de olivina (<1%).

A distinção desta unidade muitas vezes é dificultada pela grande semelhança com o Carbonatito branco maciço rico em minerais acessórios (Cbma), com características texturais e mineralógicas muito similares, porém para tal distinção foi levada em consideração à referência local de sua ocorrência, podendo ser considerada uma zona de transição próxima ao contato entre a unidade CBR e CBF.

7.1.3. Carbonatito foliado médio oxidado (Cfmo)

Ocorre associado a zonas de falhas e fraturas, freqüentemente presente em regiões próximas ao contato com outras unidades (Carbonatito Branco e Carbonatito Intermediário) (Fotografia C).

Texturalmente apresenta as mesmas características que Cfmc, diferenciando-se não só pela coloração (alaranjada) ocasionada pela oxidação pervasiva e alteração ao longo das fraturas ou falhas, mas também pela mineralogia representada por magnetita oxidada (~10-15%), apatita fina e alaranjada (7-12%) e pela ausência de sulfetos finos (Fotografia D).

As porções dolomíticas são mais freqüentes, e a rocha é caracterizada pela coloração creme e pela quantidade menor de acessórios, exceto apatita, que nesses casos ocorre com teores maiores que 10%.

7.1.4. Carbonatito branco grosso maciço (Cbgm)

Esta fácies ocorre em maior proporção e localiza-se na porção central do corpo, sendo de fácil distinção pelos seus aspectos estruturais, natureza maciça e coloração branca (Fotografia E).

A rocha é um carbonatito branco, inequigranular seriado de médio a muito grosso, localmente pegmatítico e porfirítico, com fenocristais de magnetita muito grossa (> 5 cm).

Sua composição média é predominantemente calcítica (75-90%), podendo ocorrer lentes de carbonatos magnesianos intercalados, magnetita média a muito grossa euédrica (~2-5%), apatita fina acicular esverdeada concentrada em bolsões radiais (~5-7%), flogopita fina verde euédrica (~2-5%) e sulfetos grossos associados à magnetita (~3%).

O contato com as demais fácies e unidades adjacentes é interdigitado, localmente gradativo, com a variação dos minerais acessórios em direção ao centro do corpo, verificados principalmente pela diminuição da magnetita fina, e aumento dos bolsões de apatita fina, radial. Próximo ao contato também, verifica-se bolsões semelhantes a esta fácies, intrudindo o Carbonatito foliado médio cinza (Cfmc).

7.1.5. Carbonatito branco dolomítico oxidado (Cbdo)

Ocorre associado a zonas de falhas e fraturas, com coloração alaranjada a rosa, freqüentemente presente em regiões próximas ao contato com a unidade Carbonatito Foliado.

Predomina estrutura maciça, coloração alaranjada, ocasionada pela oxidação pervasiva e alteração ao longo das fraturas ou falhas, e mineralogia representada por magnetita oxidada (<5%), apatita fina e alaranjada (7%), flogopita média, euédrica e esverdeada (5-7%) e ausência de sulfetos finos.

Intercalados ocorrem intervalos calcíticos de coloração branca a creme e pela quantidade menor de acessórios, exceto apatita, que nesses casos ocorre com teores maiores que 10%.

7.1.6. Carbonatito branco médio rico em minerais acessórios (Cbma)

Muito similar à fácies Carbonatito foliado branco rico em minerais acessórios, com as mesmas características estruturais e texturais, porém, nota-se uma quantidade pouco menor de acessórios, exceto apatita, muito comum.

A matriz é calcítica (~70-80%) e a apatita ocorre em bolsões estirados (~5-7%). A magnetita é de granulação média, euédrica e pode concentrar-se em bolsões formando pequenas lentes de foscritos (7-10%) e a flogopita associada é fina, euédrica em menor quantidade (<5%). Pode ocorrer intercalação de carbonatos magnesianos, em bolsões na matriz (Fotografia F).

7.1.7. Carbonatito branco lamelar médio (CbIm)

Rocha caracterizada pela presença de leitos compostos por magnetita fina e apatita fina esverdeada, arranjos caóticos na matriz carbonática branca de textura equigranular média.

Estas características são típicas em bolsões intercalados ao Cbgm, não tendo uma localização precisa dentro da unidade, podendo ocorrer em contato lateral com todas as demais fácies da unidade, e interdigitada à unidade adjacente. O contato é evidenciado pelo aparecimento contínuo de magnetita fina associada aos bolsões de apatita radial que evoluem para leitos com um arranjo espacial difuso ou localmente orientado (Fotografia G).

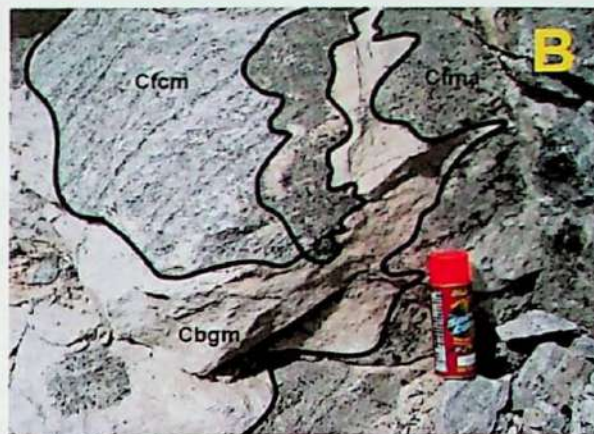
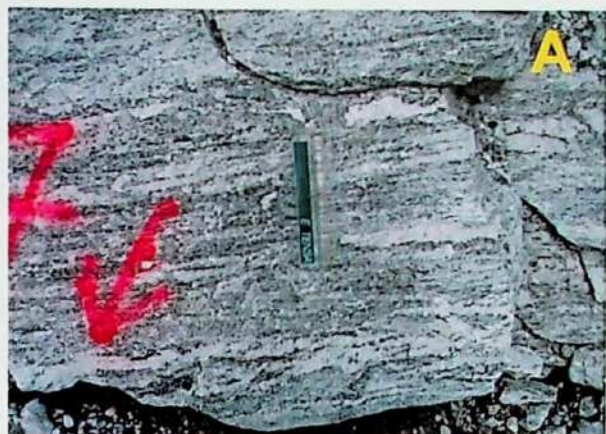
Sua composição mineralógica se resume a carbonato calcítico (~70-80%) na matriz, magnetita inequigranular seriada, granulação de fina a média euédrica (~5-7%), apatita com granulação fina, transparente e prismática associada à magnetita (7-10%), flogopita com granulação fina, esverdeada orientada de acordo com foliação (<3%) e sulfetos de granulação fina, associados à magnetita média (<2%).

Durante o mapeamento notou-se que as diferenças são muito expressivas entre o Carbonatito Foliado e o Carbonatito Branco, quando comparados os parâmetros texturais, estruturais e mineralógicos para as fácies típicas de unidade faciológica (Carbonatito foliado cinza médio (Cfcm) e Carbonatito branco grosso maciço (Cbgm)), porém, as demais fácies tendem a ser muito similares quanto à composição mineralógica e textural, como no caso das fácies Carbonatito foliado branco rico em minerais acessórios (Cfba) e Carbonatito branco médio rico em minerais acessórios (Cbma), pertencentes às unidades CBF e CBR, respectivamente. Neste caso, pode-se verificar que os minerais acessórios, apatita e magnetita, concentram-se preferencialmente em bolsões, em quantidades que variam de normal a muito (vide Tabela 2).

A partir destas ocorrências, inicialmente pode-se inferir que no contato entre o Carbonatito Foliado e o Carbonatito Branco, ocorre uma zona de transição onde a interdigitação dos litotipos é comum e de difícil delimitação. Esta mesma relação pode ser observada também no contato entre o Carbonatito Norte e o Carbonatito Dolomítico, que ocorre como uma intrusão posterior ao CBN (vide Figura 4 – Item 4.4). Interpreta-se também que ocorrem corpos dolomíticos próximos a este contato, característicos da interação rocha-fluido durante a injeção do Carbonatito Branco.

-
- FOTOGRAFIA A** – Carbonatito foliado fino a médio cinza (Cfmc)
- FOTOGRAFIA B** – Carbonatito foliado branco rico em minerais acessórios (Cfba)
- FOTOGRAFIA C** – Carbonatito foliado médio oxidado (Cfox)
- FOTOGRAFIA D** – Carbonatito foliado médio oxidado (Cfox) em contato com corpo de Foscorito e Cfcm
- FOTOGRAFIA E** – Carbonatito branco grosso maciço (Cbgm)
- FOTOGRAFIA F** – Carbonatito branco médio rico em minerais acessórios (Cbma)
- FOTOGRAFIA G** – Carbonatito branco lamelar médio (Cblm)
-

PRANCHA



7.2. Descrição de testemunhos de sondagem

Os trabalhos iniciais para a descrição dos testemunhos constam no levantamento do inventário de furos que cruzam as unidades estudadas (Tabela 4).

As descrições realizadas nos furos de interesse foram efetuadas durante o estágio na empresa Bunge Fertilizantes S/A, e são apresentadas nos *logs* dos furos (ANEXO C). Vale ressaltar que existem inúmeros furos que atravessam as unidades, porém em intervalos pouco representativos, não sendo descritos e tão pouco utilizados neste trabalho.

Tabela 4 – Furos de sondagem referentes às unidades CBF, CBN e CBR.

FURO	CP-134	SP-78	SP-65	SP-64	SP-63
CAMPANHA	2007	2007	2005	2005	2005

FURO	SP-38	SP-31	SP-07	SP-05 A	SP-01
CAMPANHA	2002	2002	2000	2000	2000

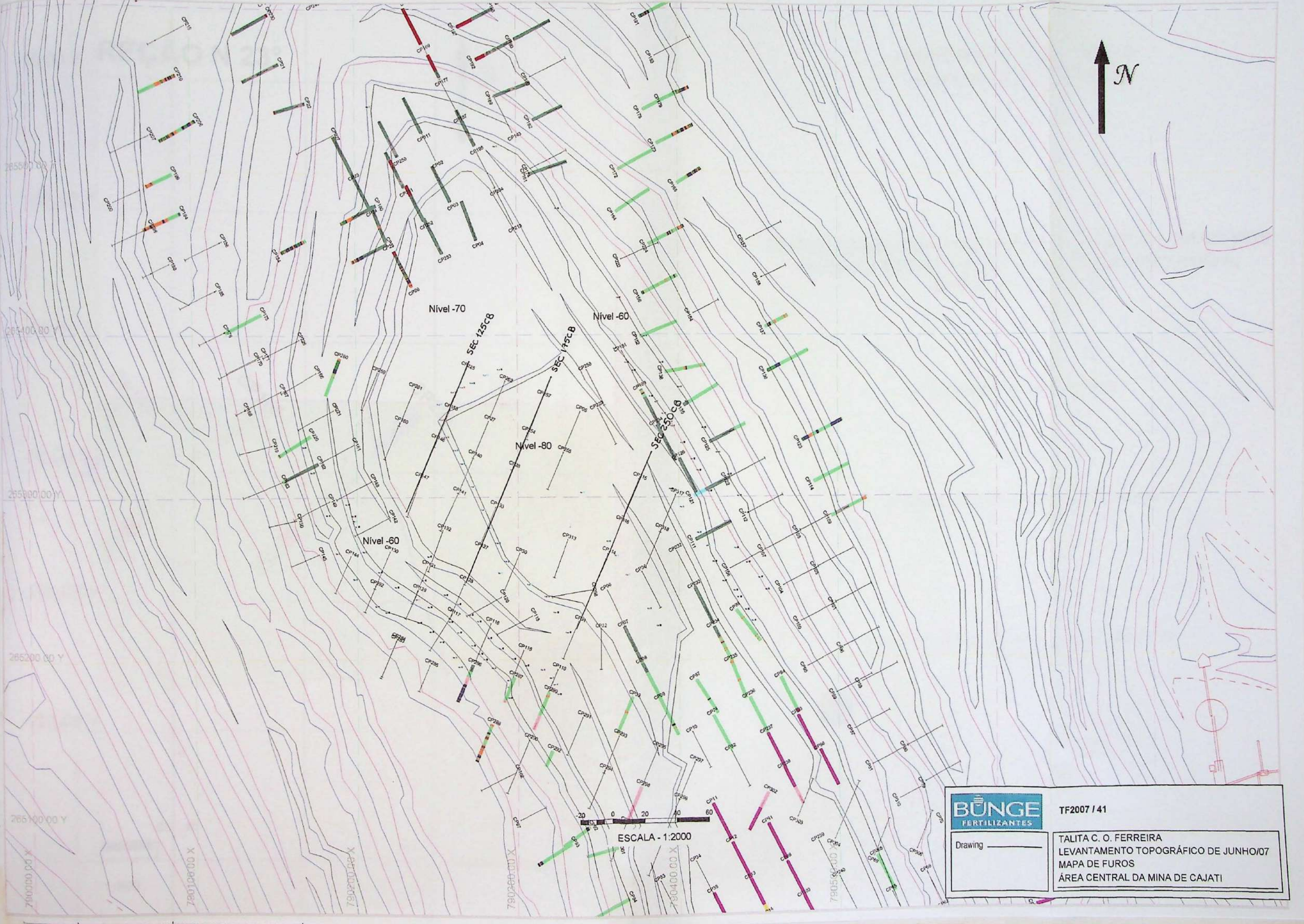
De acordo com as relações estruturais, texturais e mineralógicas procurou-se seguir a subdivisão das unidades adotadas no trabalho mineiro (Saito *et al*, 2004) e as descrições foram baseadas nos critérios estabelecidos nos trabalhos de Bonás (2001) (Tabela 2). Em determinados furos seguiu-se a subdivisão faciológica já referida.

Uma vez efetuada essa subdivisão, procurou-se detalhar a composição química dos testemunhos de sondagem descritos, a fim de obter informações adicionais referentes a cada unidade faciológica.

A relação do comportamento entre teor *versus* profundidade das amostras, observada nos gráficos (Anexo D), ostenta uma distribuição química quase homogênea e com pouca dispersão em relação à média, localmente com aumento relativo de FeO em certos intervalos, na maioria das vezes não distinguidos devido ao método de amostragem.

Em certos casos, nas regiões próximas ao contato do Carbonatito Foliado com o Carbonatito Branco, nota-se intercalações de corpos dolomíticos, ou até mesmo lentes métricas, com textura e coloração diferenciada das demais unidades faciológicas.

Os furos de sondagem também foram utilizados para a confecção das seções verticais (Figuras 10, Figura 11 e Figura 12). Estas seções mostram contatos verticais, com pouca variação ao longo dos corpos, e evidencia a ocorrência de corpos dolomíticos ao longo das fácies.



ESCALA - 1:2000

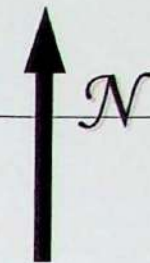


TF2007 / 41

Drawing

TALITA C. O. FERREIRA
LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO DE JUNHO/07
MAPA DE FUROS
ÁREA CENTRAL DA MINA DE CAJATI

SEÇÃO GEOLÓGICA VERTICAL DIREÇÃO N 23° SEÇÃO 125CB



-20,00 Y

-40,00 Y

-60,00 Y

-80,00 Y

-100,00 Y

-120,00 Y

CP282

CP147

CP146

CP158

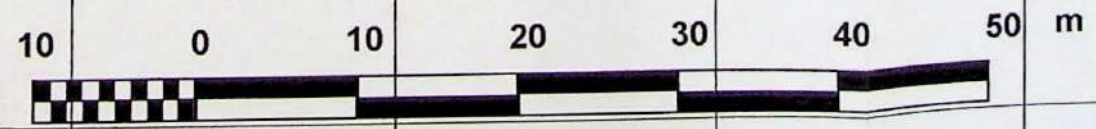
CP225

Carbonatito foliado cinza médio (Cfcm)

Carbonatito foliado oxidado (Cfox)

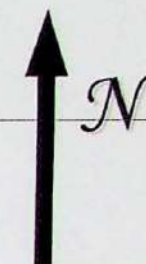
Carbonatito Intermediário (CBI)

Jacupiranguito



1:500

SEÇÃO GEOLÓGICA VERTICAL DIREÇÃO N 23° SEÇÃO 250CB



00,00 Y

-20,00 Y

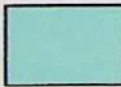
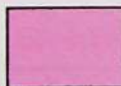

-40,00 Y

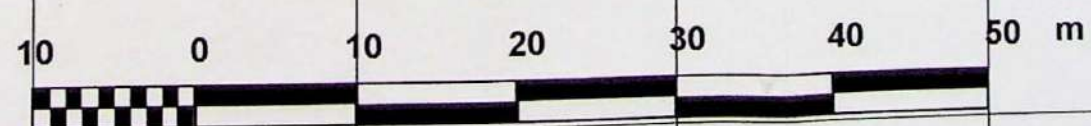
-60,00 Y

-80,00 Y

-100,00 Y

-120,00 Y

-  Carbonatito branco grosso maciço (Cbgm)
-  Carbonatito branco dolomítico oxidado (Cbdo)
-  Carbonatito Foliado (CBF)



1:500

CP314

CP316

CP315

7.3. Análise estatística dos atributos químicos

A partir dos dados químicos obtidos via Fluorescência de Raios-X para as amostras de testemunhos de sondagem oriundos da campanha de curto prazo, ou seja, com profundidades de no máximo 35 metros, foi possível realizar uma análise estatística com um número de amostras representativas que permitissem a comparação de teores dos óxidos: SiO_2 , FeO , CaO , MgO , P_2O_5 , MnO , SrO , BaO e perda ao fogo.

Após a verificação do comportamento normal obtido para a distribuição de todos os óxidos a partir de histogramas de distribuição gerados no programa Excel® (Anexo E), partiu-se então para uma análise estatística multivariada dos dados, a fim de subdividi-los, independente da divisão já definida das unidades geológicas em descrições preliminares, e verificar o comportamento de cada óxido em relação às unidades estudadas.

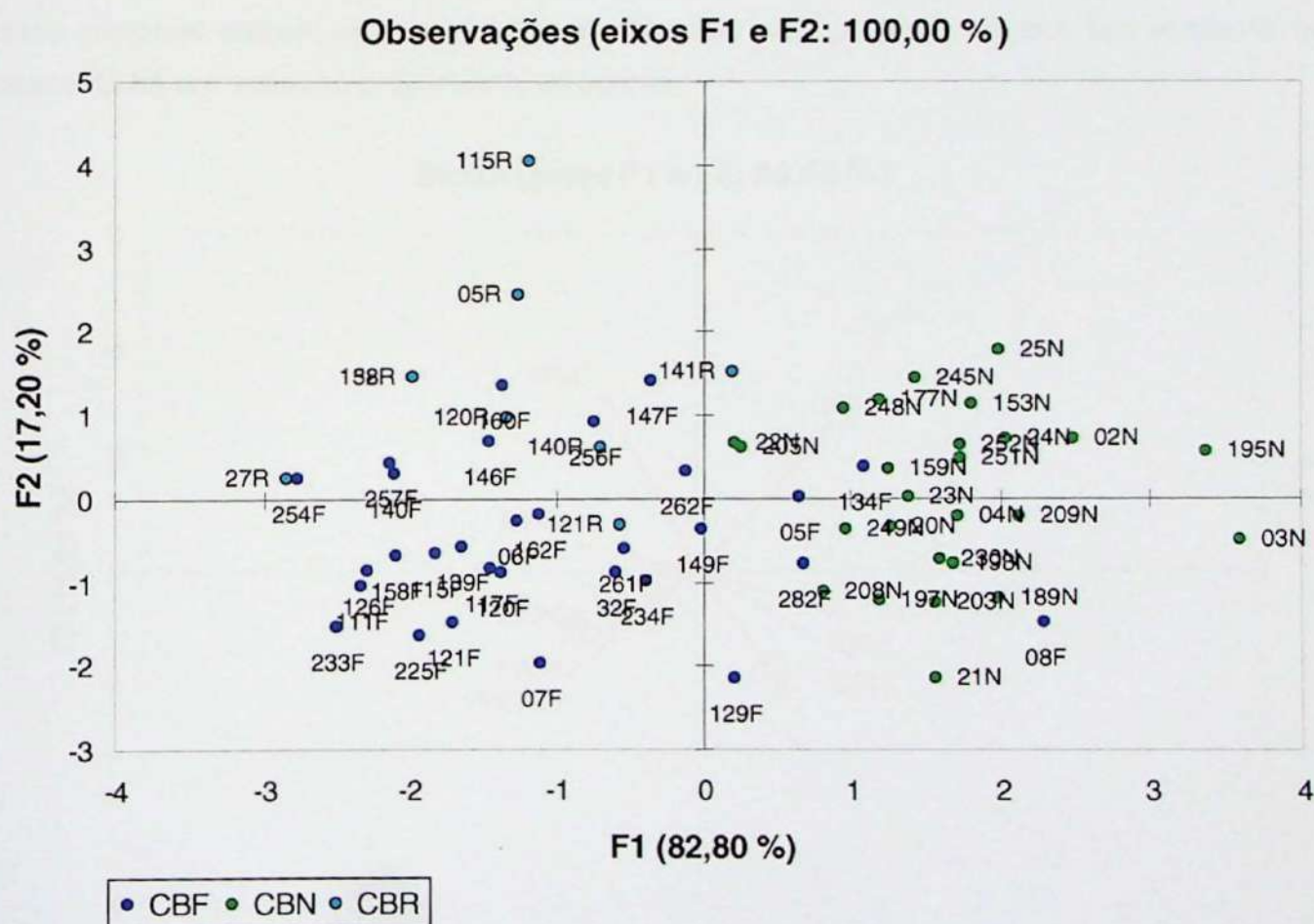


Figura 13 – Gráfico de distribuição das diferentes populações discriminadas a partir do método de Análise discriminante (AD).

Os resultados obtidos para a análise discriminante, apresentaram uma clara distinção

entre os teores expressos pelas unidades CBN e CBF, essas sendo consideradas como unidades distintas, assim como a relação entre a unidade CBR e CBN. Em relação às unidades CBF e CBR, nota-se que não há diferenças marcantes em relação à distribuição das amostras, sendo que as duas unidades faciológicas apresentariam o mesmo comportamento para os óxidos analisados (Figura 13).

A análise das componentes principais mostra que existe claramente uma afinidade geoquímica tanto entre os óxidos P_2O_5 , Fe_2O_3 , SiO_2 e MnO , quanto entre CaO , SrO e S . O mesmo comportamento é observado em relação aos óxidos MgO , Al_2O_3 e SiO_2 e a perda ao fogo mostra uma correlação, embora incipiente, com o SrO , conforme compartimentação observada na Figura 14.

Essa relação entre óxidos, na maioria das vezes reflete a composição mineralógica modal das diferentes unidades faciológicas; no caso da apatita e da magnetita (P_2O_5 , Fe_2O_3 e MnO) durante o mapeamento e descrição de testemunhos de sondagem, foi observado que esses minerais exibem uma correlação positiva, ou seja, quando se tem um aumento de magnetita há um aumento proporcional de apatita.

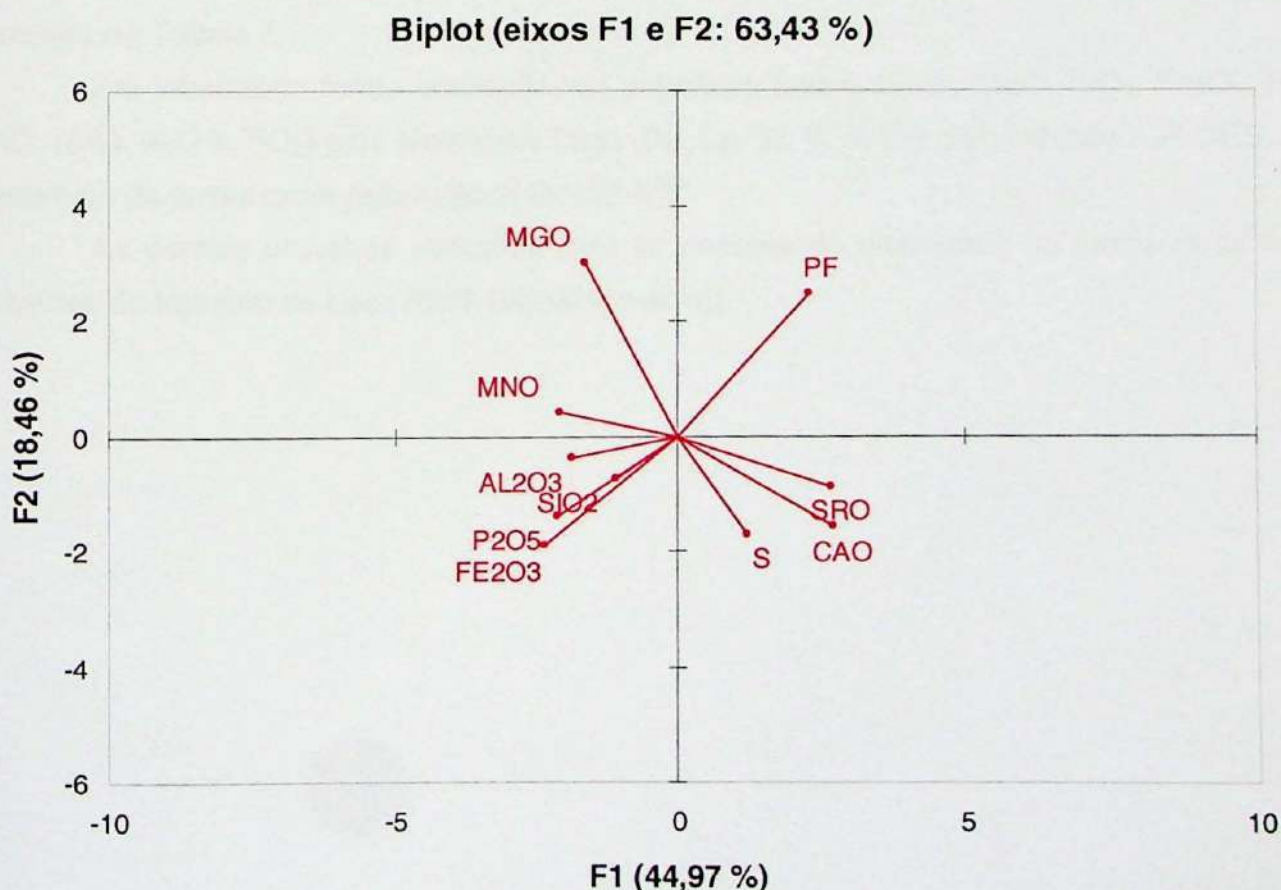


Figura 14 – Gráfico de correlação de variáveis mensuráveis, obtido a partir de Análise de Principais Componentes (ACP).

As amostras 120R, 121R, 27R, 08F, 05F, 134F, 147F, 160F, 282F, 140R e 141R (Anexo F) apresentaram composição química discordante em relação àquela esperada para a unidade faciológica correspondente. Esta discordância é demonstrada através da análise discriminante, que verifica os parâmetros analisados e agrupa as amostras em populações distintas. Quando uma amostra apresenta uma tendência divergente em relação àquela da unidade à qual pertence, isso pode indicar algum erro de amostragem, contaminação ou materiais muito semelhantes e, no caso das amostras referidas, poderia tratar-se de intercalações rochosas distintas das fácies típicas de cada unidade faciológica às quais pertencem. Essas intercalações podem ser: corpos dolomíticos, corpos foscoríticos, copos ricos em magnetita e apatita, zonas de reação com predominância de minerais silicáticos, etc, ainda não bem estudados.

7.4. Análises Químicas

Durante o mapeamento foram selecionadas amostras representativas de cada unidade estudada para análises em ICP-OES e ICP-MS, sendo essas amostras referenciadas e descritas na Tabela 5.

Em laboratório foram analisados os principais óxidos (CaO, MgO, SiO₂, Fe₂O₃, P₂O₅, MnO, NaO, K₂O e TiO₂) e os elementos traço (Ba, La, Sr, V, Y, Zr) pelo método ICP-OES, e os elementos de terras raras pelo método de ICP-MS.

As demais amostras utilizadas para as análises de elementos de terras raras foram extraídas do trabalho de Lee (2006) (trabalho inédito).

Tabela 5 – Relação de amostras utilizadas para análises químicas (ICP-OES/MS).

Amostra	Localização			UNIDADE	Descrição
T-14	790409,8264	265323,3443	-68.418 (B – 70m)	CBF	Carbonatito calcítico branco acinzentado c/ foliação sub-horizontal (328/35); 10 % mgt; 7% apt.
T-18	790436,9488	265268,2648	-66.905 (B – 70m)	CBF	Carbonatito calcítico branco acinzentado com foliação sub-vertical; 12% mgt, 5% apt, 2% flg; sulfetos disseminados.
T-19	790369,4057	265252,4465	-74.233 (B – 80m)	CBR	Carbonatito calcítico branco grosso maciço e fragmentado; 5% mgt grossa, 10% apt, 2%flg 3% sulfetos.
T-20	790388,3653	265221,2528	-78.002 (B – 80m)	CBF	Carbonatito calcítico branco acinzentado com foliação vertical (332/80), médio a grosso; 8-15% mgt fina, 4% apt.
T-21	790362,2261	265264,1264	-73.107 (B – 70m)	CBR	Carbonatito branco maciço inequigranular porfirítico; 7-10% mgt grossa (5 cm), 5% apt em bolsões.
T-23 B	Bloco Rolado na Bancada – 70m			CBR	Carbonatito calcítico branco grosso maciço; 7-10% mgt, 7% apt em bolsões, 2 % flg, sulfetos disseminados.
T-98	790209,5533	265540,5524	-47,712 (B – 50m)	CBN	Carbonatito calcítico branco acinzentado, bandado, com apt fina (7%), mgt fina orientada (12%), flg fina e estirada (< 5%), poucos sulfetos estirados.
T-99	790288,1107	7265515,5600	-57,412 (B – 60m)	CBN	Carbonatito calcítico branco acinzentado, bandado, com apt fina (7%), mgt fina orientada (15%), flg fina e estirada (< 5%), poucos sulfetos estirados.

Abreviações – magnetita (mgt), apatita (apt), flogopita (flg); bancada (B). Demais características indicadas na tabela 1 (pg. 7).

Os resultados obtidos e suas devidas correções são apresentados na tabela do Anexo G e a distribuição comparativa dos óxidos analisados para cada unidade nas Figuras 15 a 19:

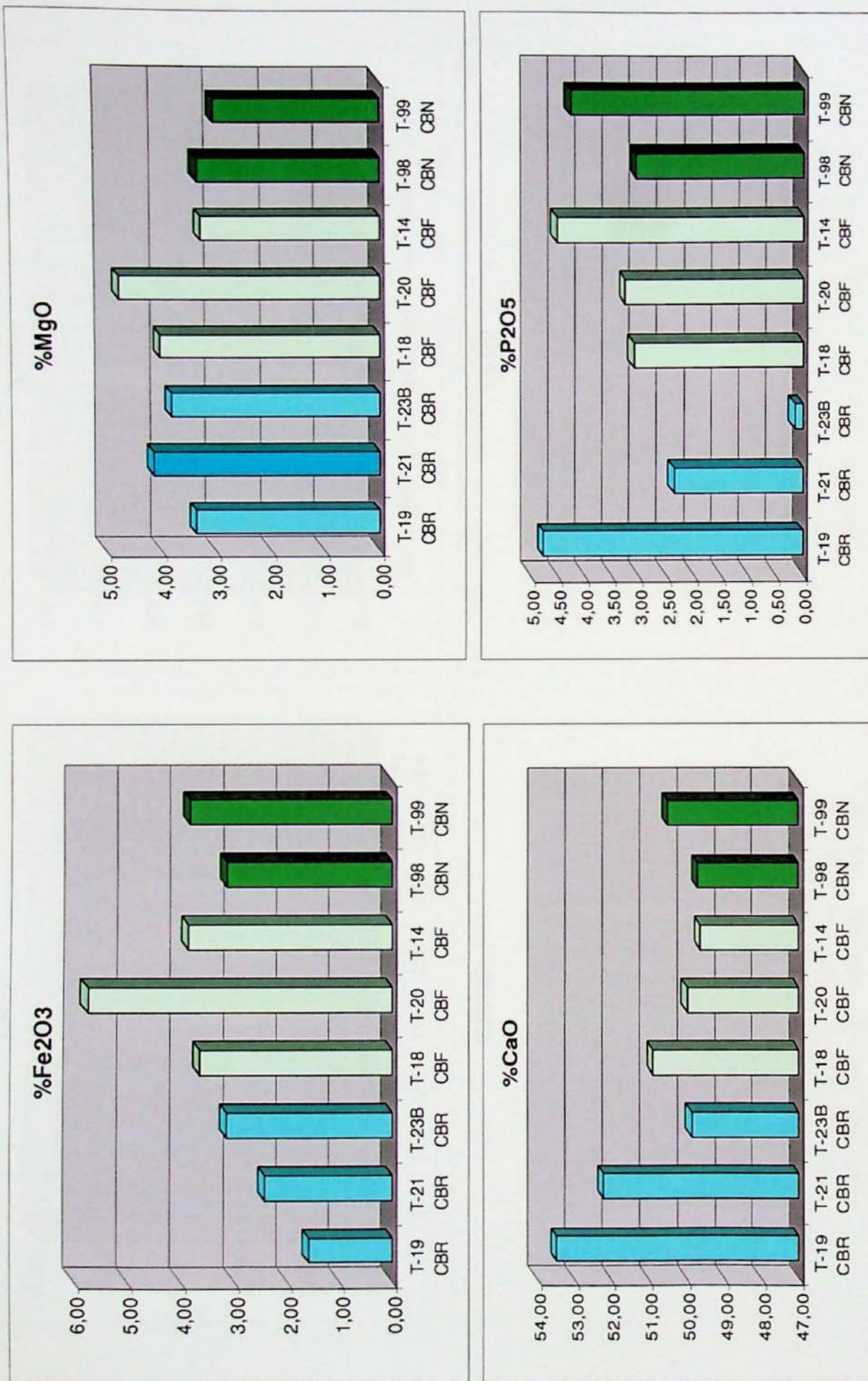


Figura 15 – Gráficos de distribuição de elementos maiores (óxidos) para a análise de ICP-OES e respectivas amostras. (1)

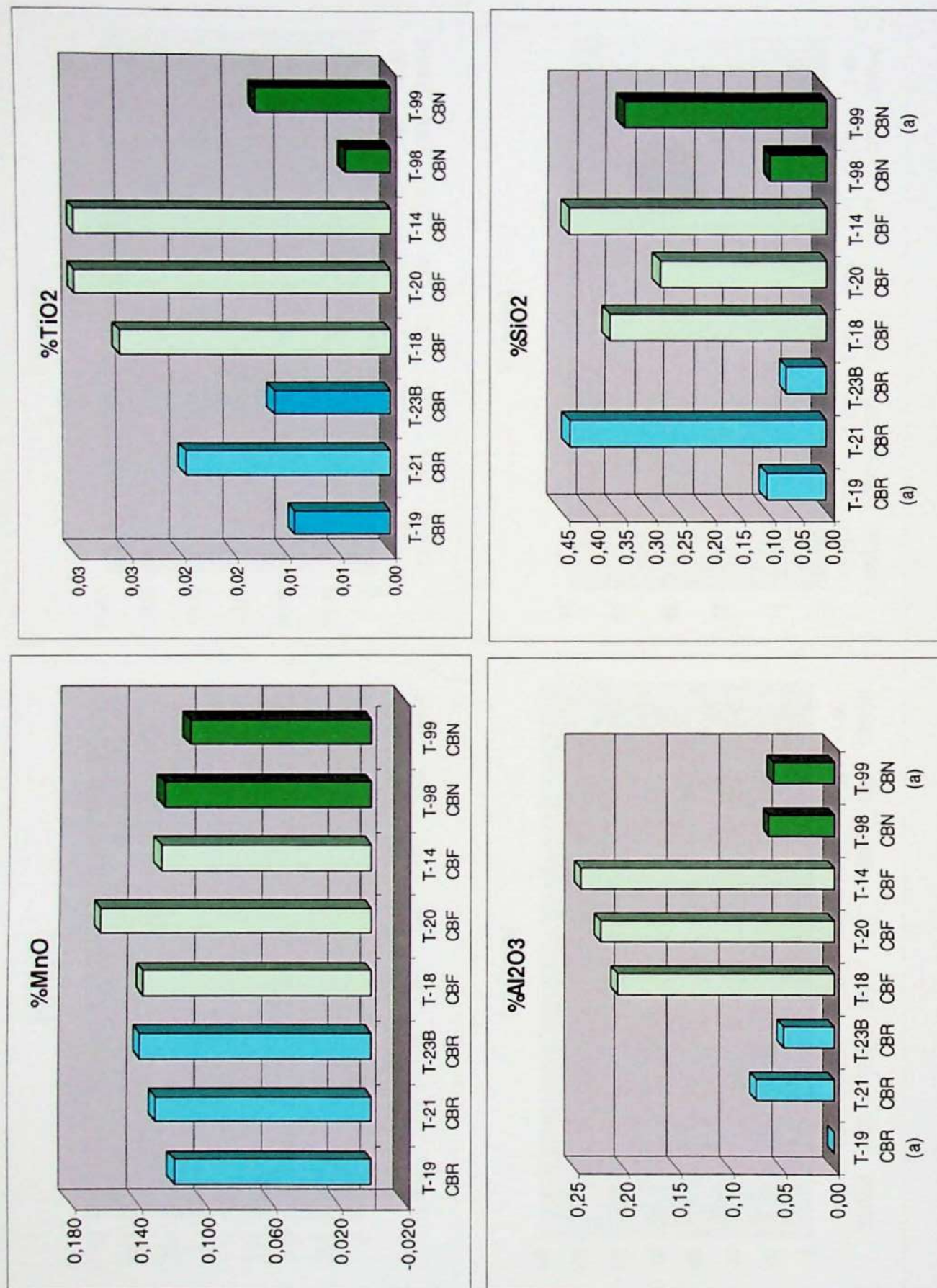


Figura 16 – Gráficos de distribuição de elementos maiores (óxidos) para a análise de ICP-OES e respectivas amostras. (2)

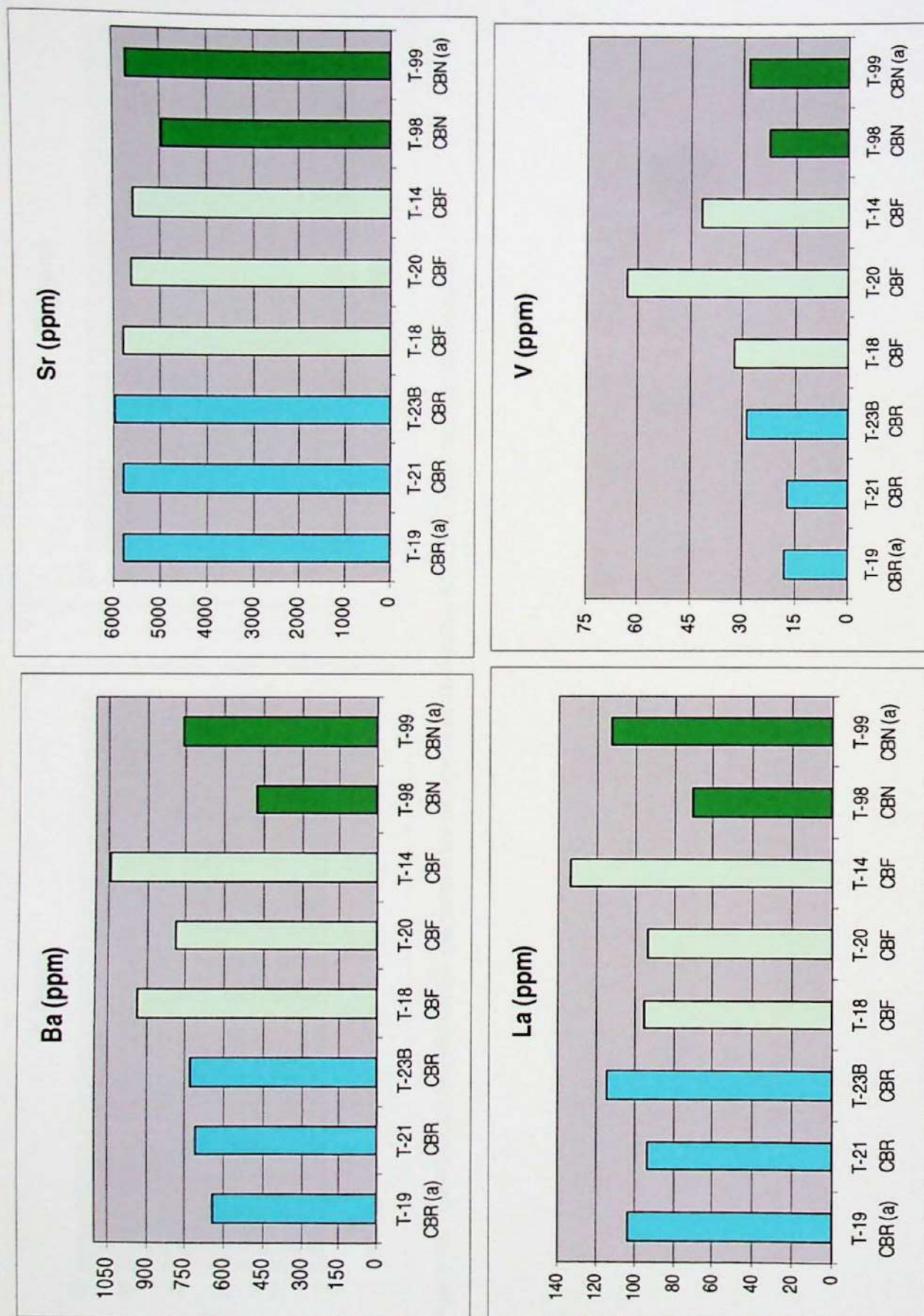


Figura 17 – Distribuição dos elementos menores para as amostras analisadas em ICP-OES e respectivas amostras. (3)

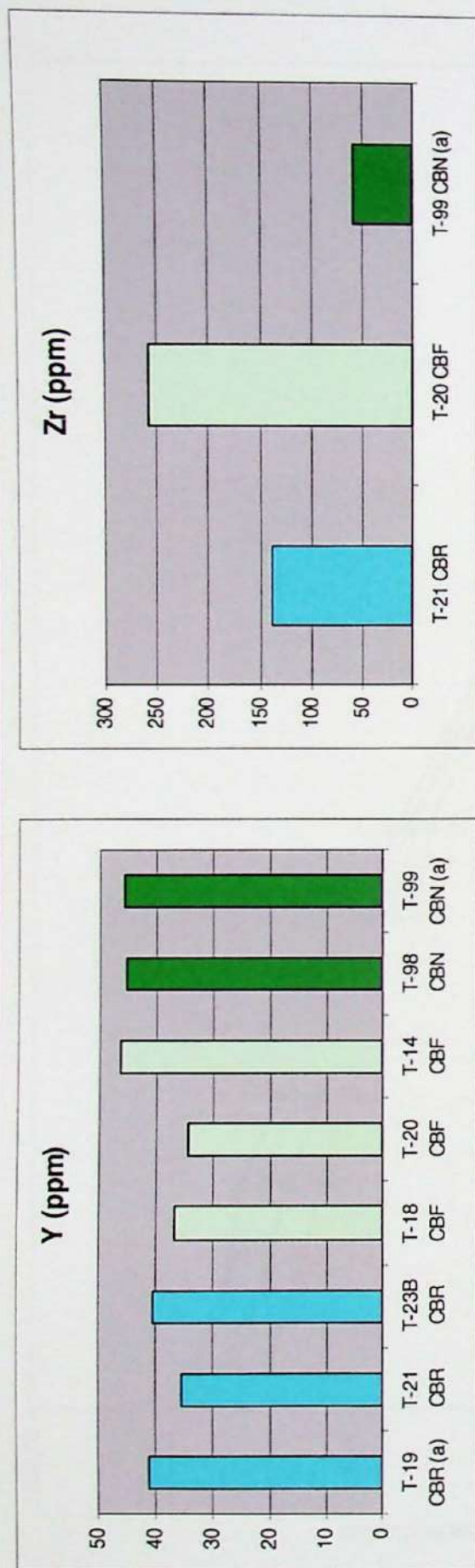


Figura 18 – Distribuição dos elementos menores para as amostras analisadas em ICP-OES e respectivas amostras. (4)

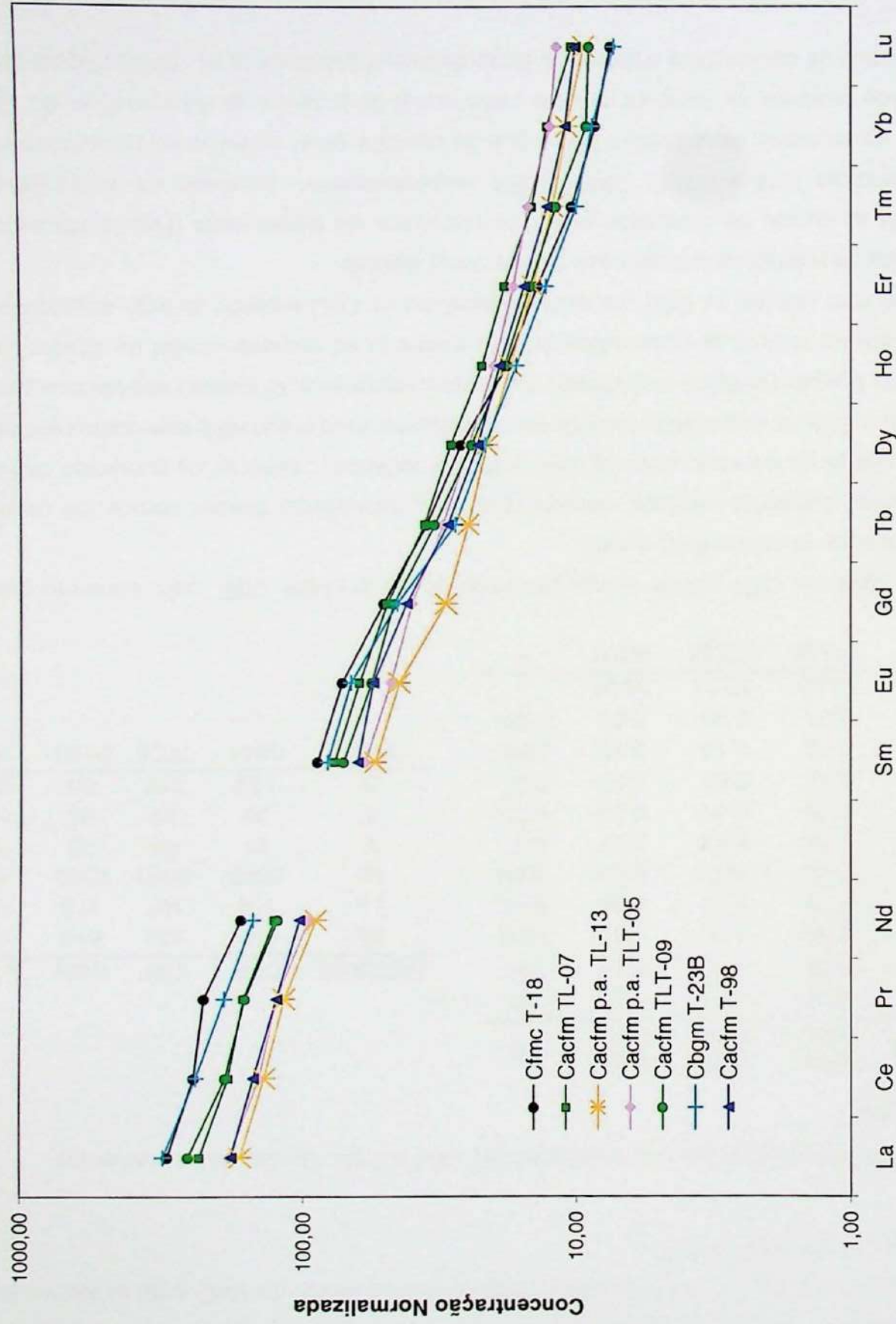


Figura 19 – Gráfico de distribuição de elementos terras raras para as unidades CBN, fácies Cacfm, Cacfm parcialmente alterado, CBF, fácies Cfmc e CBR, fácies Cbgm.

Os resultados obtidos e resumidos na Tabela 6 indicam que a unidade CBF possui teores dos óxidos FeO, MgO, SiO₂, Al₂O₃ e TiO₂, e elementos menores: Zr, Ba e V superiores às outras duas unidades, e que a unidade CBR apresenta teores de CaO e de perda ao fogo, maiores que as outras unidades.

Tabela 6 – Teores médios para as unidades CBR, CBF e CBN. Óxidos (%) e elementos menores (ppm).

UNIDADE	CBR (n=3)	CBF (n=3)	CBN (n=2)	L.D.		UNIDADE	CBR	CBF	CBN	L.D.
SiO ₂	0,20	0,36	0,22	0,02		Ba	694	922	619	10
Al ₂ O ₃	0,06	4,44	0,06	0,01		La	104	107	112	15
Fe ₂ O ₃	2,39	4,20	3,50	0,006		Sr	5843	5655	5333	5
MgO	3,78	4,01	3,20	0,01		V	21	46	25	15
CaO	51,87	49,77	50,10	0,006		Y	39	39	46	10
Na ₂ O	0,04	0,04	0,07	0,01		Zr	139	257	60	25
K ₂ O	0,05	0,06	0,03	0,03		Total	6841	7026	6195	–
P ₂ O ₅	2,42	3,63	3,67	0,01						
MnO	0,13	0,14	0,12	0,006						
TiO ₂	0,01	0,03	0,01	0,006						
P.F.	39,60	37,13	38,04	–						
Total	100,56	103,84	99,02	–						

A unidade CBN reflete teores próximos ao da unidade CBF, com aumento pouco significativo para os óxidos P₂O₅ e NaO.

Esses aumentos relativos refletem também a mineralogia desses corpos; no caso do CBF, a presença de silicatos como flogopita e olivina poderiam ocasionar os aumentos de FeO, MgO, Al₂O₃ e SiO₂, e ao aumento de TiO₂ pode relacionar-se a magnetita, que como mostra os trabalhos de Gaspar (1989), é classificada como titano-magnetita. O mesmo aconteceria para o caso do CBN em relação aos aumentos de P₂O₅ coerente ao aumento modal de apatita nesta unidade. Já com relação ao CBR, os teores superiores de CaO e perda ao fogo sugerem uma taxa elevada de voláteis associados aos fluidos desta intrusão.

Já as curvas de comportamento dos elementos de terras raras (Figura 16) indicam que as amostras T-18 e T-23B, CBF e CBR, respectivamente, possuem um fracionamento maior que as amostras da unidade CBN, e que de maneira geral apresentam comportamentos similares aos descritos na literatura para os carbonatitos de jacupiranga (Morbidelli *et al.*, 1986) e para modelos de carbonatitos frescos, da Barra de Itapuã (Andrade *et al.*, 1999) (Figura 20).

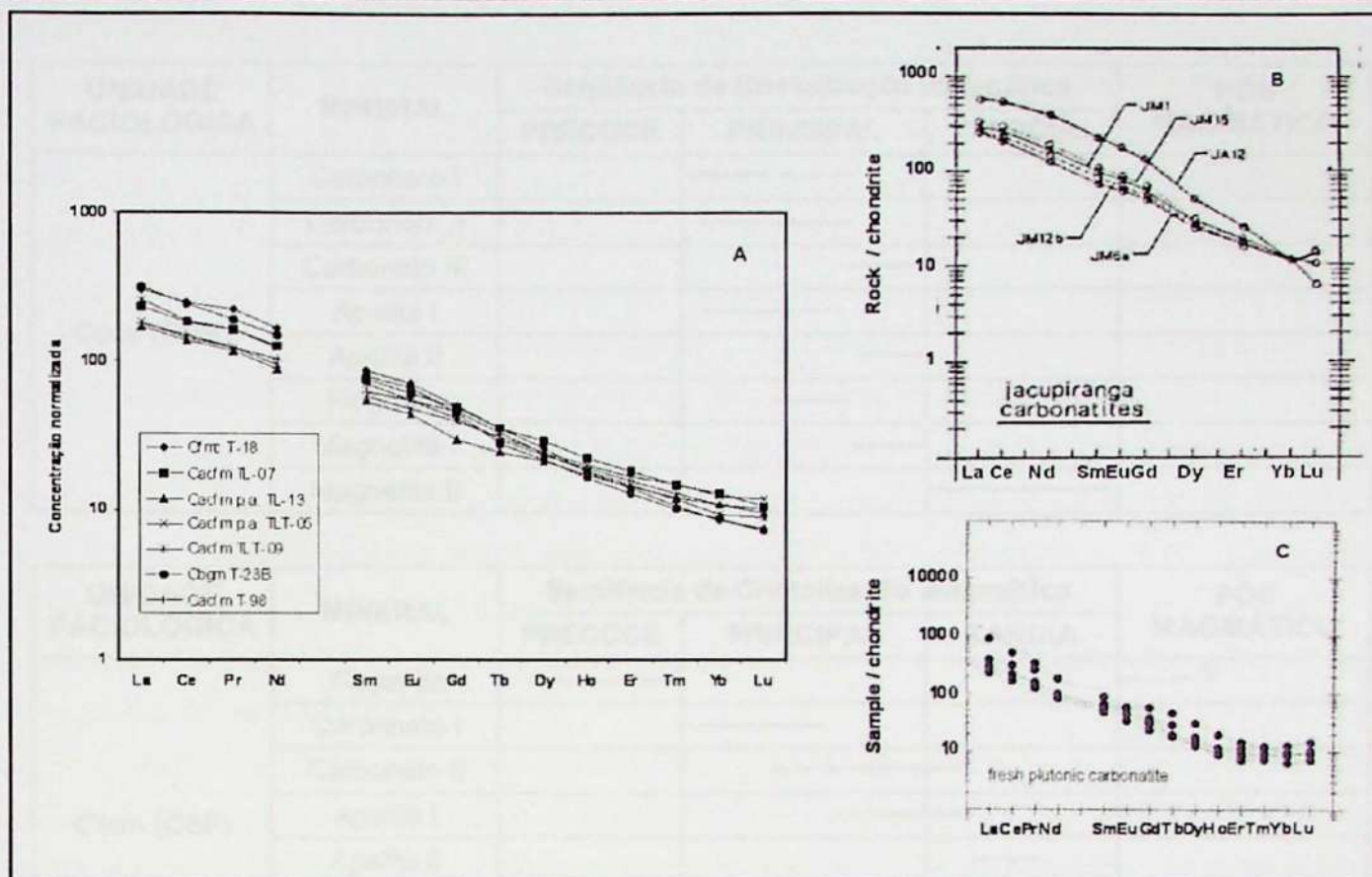


Figura 20 – Comparação das amostras analisadas para elementos terras raras. **A.** amostras referentes ao CBF, CBR e CBN; **B.** curva esperada para os carbonatitos de Jacupiranga (adaptado de Morbidelli *et al.*, 1986); **C.** curva ideal para carbonatitos plutônicos da Barra de Itapirapuã (adaptado de Andrade *et al.*, 1999).

7.5. Análise Petrográfica e Seqüência Paragenética

A partir das descrições das lamínas petrográficas (Anexo H) foi possível distinguir diferentes fases minerais associadas às unidades CBF e CBR e determinar uma prévia seqüência paragenética das unidades em estudo, resumidas na tabela abaixo:

Tabela 7 – Seqüência paragenética das unidades CBR e CBF.

UNIDADE FACIOLÓGICA	MINERAL	Seqüência de Cristalização Magmática			PÓS MAGMÁTICO
		PRECOCE	PRINCIPAL	TARDIA	
Cbgm (CBR)	Carbonato I	---	—		
	Carbonato II		—	—	
	Apatita		---	—	
	Magnetita I		---		
	Magnetita II			—	

UNIDADE FACIOLÓGICA	MINERAL	Seqüência de Cristalização Magmática			PÓS MAGMÁTICO
		PRECOCE	PRINCIPAL	TARDIA	
Cbox (CBR)	Carbonato I		-----		
	Carbonato II		-----		
	Carbonato III		-----		
	Apatita I		-----		
	Apatita II		-----		
	Flogopita		-----		
	Magnetita I		-----		
	Magnetita II			-----	

UNIDADE FACIOLÓGICA	MINERAL	Seqüência de Cristalização Magmática			PÓS MAGMÁTICO
		PRECOCE	PRINCIPAL	TARDIA	
Cfcm (CBF)	Flogopita	-----			--- ?
	Carbonato I		-----		
	Carbonato II		-----		
	Apatita I		-----		
	Apatita II			-----	
	Magnetita			-----	
	Minerais secundários				-----

A análise petrográfica permitiu identificar duas fases principais de cristalização magmática para as rochas da fácies Cfcm: a Fase I, representada por cristais espáticos de carbonatos que definem a foliação de fluxo magmático preferencial, e a Fase II definida por cristalização de carbonatos xenomórficos, nos interstícios, e que localmente truncam a foliação magmática da fase anterior. Nesta unidade também nota-se que os cristais de apatita são normalmente prismáticos e também ocorrem segundo duas fases minerais, uma associada aos carbonatos da Fase I, com cristais euédricos, paralelos à foliação, e a outra dispersa na matriz que pode estar em paragênese com os cristais de carbonato da Fase II. A magnetita em todos os casos é tardia, com cristais euédricos e poucas inclusões (carbonato). Um cristal de flogopita, provavelmente associado a uma fase mais precoce, exibe evidências de influência hidrotermal, pois contém minerais neoformados.

A fácies Cbox apresenta três fases principais de cristalização de minerais: a primeira fase define foliação incipiente e é caracterizada por cristais de carbonato espáticos; intersticialmente ocorre uma segunda geração de carbonatos que preenchem os interstícios da rocha e é cronocorrelata à fase I. Esta é representada por cristais que invadem os contatos entre

os minerais e fraturas.

Os carbonatos da terceira fase são euédricos, estão orientados e definem também uma outra foliação que trunca a foliação preferencial. Ocorrem também duas fases de apatita associadas, respectivamente, às fases I e II de carbonato. A apatita I ocorre como inclusões nos carbonatos da fase II, e a apatita II é prismática, distribui-se de maneira irregular e ocorre em paragênese com o carbonato II. A magnetita I é intersticial, xenomórfica e ocorre associada à apatita II; a magnetita II é euédrica e exibe textura poiquilítica, estando provavelmente associada à fase de cristalização tardia. A flogopita está em paragênese com carbonato II.

Na fácies típica do Carbonatito Branco (Cbgm), ocorrem duas fases de cristalização de carbonatos: a primeira, representada pelo carbonato I, associa-se a uma foliação de fluxo incipiente e a segunda, carbonato II intersticial, posterior e sem orientação de fluxo magmático. A magnetita é posterior, associa-se à fase tardia e não se observa, em lâmina delgada, a ocorrência de outros minerais acessórios. Ressalta-se, contudo, que flogopita e sulfetos foram descritos macroscopicamente.

As fácies litológicas típicas das unidades CBR e CBF apresentam uma única fase de cristalização associada à orientação da foliação de fluxo magmático, sendo mais evidente nos carbonatitos da unidade CBF, e associada a uma fase inicial de cristalização dos carbonatos. No caso do CBR, pode-se ter ainda, uma terceira fase de foliação, possivelmente tectônica, que oblitera as demais fases, porém não chega a determinar uma foliação marcante.

7.6. Microsonda Eletrônica

A análise de microsonda foi realizada com o objetivo de distinguir a composição química das diferentes fases minerais (calcita ou dolomita) associadas a cada unidade, com a finalidade de determinar possíveis variações composicionais ao longo do mesmo corpo carbonatítico (Tabela 8).

Foram utilizadas três amostras coletadas durante o mapeamento geológico, sendo que estas anteriormente foram descritas petrograficamente, sendo elas: T-23B (Cbgm), T-31 (Cfox) e T-49 (Cfcm).

Tabela 8 – Composição química dos carbonatos presentes nas unidades expressos em composição molar (%) calculada:

Carbonato I

Amostra	Leitura	SiO ₂	FeCO ₃	MnCO ₃	MgCO ₃	CaCO ₃	SrCO ₃	BaCO ₃	Σ	Mineral
T-23B	7	0,01	0,05	0,19	2,16	92,72	1,41	0,14	94,68	Calcita
T-23B	1	0,01	0,42	0,20	37,81	45,33	0,63	0,00	104,16	Dolomita
T-31	4	0,02	0,50	0,27	39,89	52,27	0,58	0,02	93,55	Dolomita
T-49	2	0,02	1,16	0,44	40,31	43,72	0,43	0,02	86,10	Dolomita
T-49	4	0,01	0,12	0,24	1,80	95,45	1,50	0,16	99,26	Calcita

Carbonato II

Amostra	Leitura	SiO ₂	FeCO ₃	MnCO ₃	MgCO ₃	CaCO ₃	SrCO ₃	BaCO ₃	Σ	Mineral
T-23B	6	0,01	0,55	0,21	1,72	97,14	1,34	0,06	101,04	Calcita
T-23B	1	0,04	0,30	0,26	39,57	45,55	0,54	0,18	86,43	Dolomita
T-31	4	0,01	0,50	0,27	40,50	48,45	0,47	0,04	90,23	Dolomita
T-49	6	0,01	0,92	0,28	40,03	48,51	0,41	0,02	90,17	Calcita
T-49	2	0,01	0,14	0,24	2,04	92,41	1,17	0,17	96,18	Dolomita

O resultado final dessas análises foi obtido a partir de cálculos em % para os carbonatos de interesse, vale ressaltar que o fechamento final das análises apresentou valores abaixo do esperado (99 – 101%). Presume-se que provavelmente tenha havido algum erro analítico sistemático durante a operação do equipamento ou que outros óxidos não tenham sido analisados, tais como TiO₂ e P₂O₅. (Anexo I)

A amostra T-23B, oriunda da unidade CBR, apresenta uma pequena queda de MgO na calcita da fase II e um aumento de CaO, sendo que os demais óxidos mantêm uma média similar sem muitas variações, e que a dolomita pode ocorrer nas duas fases subordinadas, sem muitas variações quanto aos teores dos óxidos. Na amostra T-49 foram analisadas inclusões de cristais de carbonato em magnetita posterior, indicando que estas inclusões são dolomíticas e apresentam um aumento relativo quanto ao teor de FeO e diminuição nos teores de BaO e SrO, e que a calcita da fase II nesta fácies apresenta um teor de FeO superior ao da fase I.

Já a amostra T-31, derivada da fácies Carbonatito foliado oxidado, indicou a presença de dolomita como mineral principal nas duas fases identificadas, não ocorrendo calcita subordinada.

De maneira geral pode-se afirmar que a fase mineral predominante na fácies típica de cada unidade faciológica (CBF e CBR) é a calcita e que a dolomita pode ocorrer subordinada, exceto na fácies Cfox, que indicou a dolomita como principal fase mineral, provavelmente devido à dolomitização imposta pela alta interação rocha-fluido existente nas zonas fraturadas e falhadas.

8. DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

Os trabalhos desenvolvidos forneceram uma visão geral das características mineralógicas, texturais e composicionais das principais unidades faciológicas estudadas.

A partir dos dados de campo foi possível comparar as principais características geológicas das unidades litológicas, dentre as quais se destacam:

- Intercalação de corpos dolomíticos na interface entre as unidades CBR e CBF e CBN e CDOL, provavelmente devidos à interação rocha-fluido;
- Presença de foliação de fluxo magmático nas unidades CBF e CBN, traduzida por estrutura bandada, implicando em intercalação de bandas ricas em magnetita e bandas carbonáticas;
- Nas fácies Cacfm e Cfcfm (CBN e CBF) observou-se presença marcante da foliação magmática;
- Ausência de foliação de fluxo magmático, evidente na fácies Cbm_g (CBR);
- Composição mineralógica modal similar para as fácies típicas do CBN e CBF, Cacfm e Cfc_{mc}, respectivamente, com aumento pouco significativo de apatita e magnetita no caso do Cacfm;
- Interdigitação, ao longo do contato entre as unidades CBR e CBF, das fácies Cfba e Cbma, embora ostentem características geológicas similares;

A partir do arranjo espacial das fácies verificado nas seções verticais, infere-se que no contato entre o Carbonatito Foliado e o Carbonatito Branco, ocorre uma zona de transição onde a interdigitação dos litotipos e a ocorrência de corpos dolomíticos é comum e de difícil delimitação, assim como o contato entre o Carbonatito Norte e o Carbonatito Dolomítico (vide Figura 4 – Item 4.4).

A análise dos dados analíticos permite inferir que, do ponto de vista químico, existem algumas disparidades entre o Carbonatito Norte e o Carbonatito Foliado e Branco, a saber:

- A unidade CBF apresenta teores dos óxidos FeO, MgO, SiO₂, Al₂O₃ e TiO₂, e elementos menores, Zr, Ba e V, superiores às outras duas unidades, provavelmente devido a constante presença de silicatos como flogopita, olivina e magnetita;
- O Carbonatito Branco apresenta teores de CaO e de perda ao fogo maiores que as outras unidades, sugerindo elevada concentração de voláteis associados a fluidos magmáticos;

- A unidade CBN reflete teores próximos ao do Carbonatito Norte, com aumentos poucos significativos de P_2O_5 , o que reflete no aumento dos valores modais da apatita em relação aos demais carbonatitos;
- As análises dos elementos de terras raras indicaram que as unidades CBF e CBR, possuem um fracionamento maior que as amostras da unidade CBN e que, em comparação com os trabalhos de Morbidelli *et al.* (1986) e Andrade *et al.* (1999), essas rochas apresentariam comportamentos similares aos de carbonatitos plutônicos, com pouca influência de fluidos hidrotermais;
- Mineralogicamente nota-se que a fase mineral predominante nas três unidades é a calcita, podendo ocorrer dolomita de forma subordinada, exceto às fácies que estariam diretamente associadas a regiões de grande percolação de fluidos, no caso as fácies Cfox, Cacfm parcialmente alterado e Cbox, onde a fase mineral predominante é a dolomita.

A avaliação final deste trabalho permite afirmar que, baseado em todos os dados adquiridos e pré-existent, as unidades litológicas Carbonatito Foliado, Carbonatito Branco e Carbonatito Norte apresentam feições distintas, porém, é prematuro afirmar que eles não apresentam uma mesma origem genética, e que:

- As unidades Carbonatito Foliado e Carbonatito Branco são cronocorrelatas, sendo a última a fase mais recente;
- A composição química original das rochas da unidade CBF pode ter sido afetada pela interação fluido-rocha associada à intrusão posterior do magma carbonatítico responsável pela unidade CBR;
- Apesar da grande semelhança estrutural, mineralógica e química das unidades CBF e CBN, não é possível, no memento e com os dados atuais, agrupá-las em uma mesma unidade.

Deste modo fica patente no que diz respeito aos aspectos mineiros que as duas unidades faciológicas (CBF e CBN) constituem unidades distintas, que não podem ser lavradas concomitantemente, pois representam populações diferentes em relação às concentrações elementares. As mesmas conclusões podem ser extendidas à unidade CBR que por apresentar características díspares em relação às demais unidades, exige também uma lavra diferenciada.

Esse trabalho contribuiu substancialmente para a melhoria do modelo tridimensional dos corpos de carbonatito estudados, bem como para a melhoria da estimativa de reserva, planejamento de lavra e beneficiamento mineral.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, F. R. D.; MÖLLER, P.; LÜDERS, V.; DULSKI, P.; GILG, H. A., 1999. Hydrothermal rare earth elements mineralization in the Barra do Itapirapuã carbonatite, southern Brazil: behaviour of selected trace elements and isotopes (C, O). *Chemical Geology*, volume 155, pp. 99-113.
- AMARAL, G. 1978. Potassium-argon age studies on the Jacupiranga alkaline district, State of São Paulo, Brazil. In: *First Int. Symp. Carbonatites*, 1. Poços de Caldas, 1978. *Proceedings...* Poços de Caldas. 297-302 p.
- BAUER, H.E. 1877. As minas de ferro de Jacupiranga. *Rev. Eng.*, Rio de Janeiro, p 213.
- BELL, K. 1989. Carbonatites: genesis and evolution. Ottawa – Carleton Geoscience Centre, Department of Earth, Carleton University, Ottawa. 618p.
- 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) Usp. São Paulo, 48p.
- DERBY, O.A. 1891. The magnetite ore districts of Jacupiranga and Ipanema, São Paulo, Brazil. *American Journal of Science*, series 3, 41, p 311-321.
- 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, 344 p.
- 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.
- GOMES, C. B.; FORMOSO, M. L. L.; TRESCASES, J. J.; DUTRA, C.V., 1984. Técnicas analíticas instrumentais aplicadas à geologia. Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia, São Paulo. 218 p.
- HALL, A., 1996. *Igneous Petrology*, 2ª ed. Pearson Education Ltd., Harlow, England. 551p.
- 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.
- KNECHT, T. 1934. Os minerais e minérios do Estado de S. Paulo. *Secr. Agr. Ind. Com.*, *Bol. De Agr. Ser. 35.*, n. Único, p. 237-323, São Paulo.
- LANDIM, P. M. B., 2006. Análise estatística espacial de dados geológicos multivariados. DGA, IGCE, UNESP, Rio Claro, Lab Geomatematica, Texto didático 15, 158 pp. 2006. Disponível em < <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html> >. Acesso em 21/09/2007.

- LEE, T. 2006. Alteração hidrotermal de carbonatito no setor norte da mina de Cajati, SP: um estudo preliminar. Monografia de Trabalho de Formatura (TF-2006/54) Usp. São Paulo, 53p.
- MELCHER, G.C. 1962. O Carbonatito de Jacupiranga estado de São Paulo. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, USP. 59p.
- MORBIDELLI, L.; BECCALUVA, L.; BROTZU, P.; GARBARINO, C.; GOMES, C. B.; MACCIOTTA, G.; RUBERTI, E.; SCHEIBE, L. F.; TRAVERSA, G., 1986. Petrological and geochemical studies of alkaline rocks from continental Brazil. 3. Fenitization of jacupiranguite by carbonatite magmas in the Jacupiranga Complex, SP. *Per Mineral*, 55, pp. 261-295.
- NAVARRO, M.S. 2004. A implantação de rotina, e seu refinamento, para a determinação de elementos terras raras em materiais geológicos por ICP-OES e ICP-MS. Aplicação ao caso dos granitóides de Piedade-Ibiúna (SP) e Cunhaporanga (PR). Dissertação de mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 132 p.
- POTTS, P. J., 1992. A handbook of silicate rock analysis. Blackie Academic & Professional, London; Weinheim. 622 p.
- REIS, J.R. 1983. Depósito de fosfato de Jacupiranga, São Paulo. In: Principais Depósitos Minerais do Brasil, vol. IV-C, DNPM, Brasília, 1994, 31-39 p.
- RODEN, M.F., MURTHY, V.R., GASPAR, J.C. 1985. Sr and Nd isotopic composition of the Jacupiranga carbonatite. *J. Geol.*, 93, 212-220 p.
- 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, p 16.
- SAITO, M. M.; BARROS, T. B., BETTENCOURT, J. S. 2004. Mapeamento geológico de detalhe da mina de Cajati (SP): modelo conceitual e aplicação à lavra, produção e beneficiamento. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 42. Araxá. Anais...Araxá, SBG. CD-ROM.
- THOMAZ, L. V. 2005. Tipos morfogenéticos de minérios a magnetita a apatita do complexonatítico de Cajati: controles e paragênese mineral. Monografia de Trabalho de Formatura (TF-2005/21) Usp. São Paulo, 53p.
- WOOLLEY, A.R. & KEMPE, D.R.C. 1989. Carbonatites: nomenclature, average chemical compositions, and element distribution. In: Bell, K. Carbonatites - Genesis and Evolution. London, Unwyn Hyman, 622p.

ANEXOS

TABELA DE AMOSTRAS

ANEXO A – Tabela de amostras;

ANEXO B – Mapa de Pontos;

ANEXO C – *Logs* dos furos de sondagem;

ANEXO D – Gráfico de teor vs profundidade para os furos de sondagem;

ANEXO E – Histogramas de distribuição de teores para as unidades CBF, CBR e CBN;

ANEXO F – Resultados da Análise Discriminante (AD);

ANEXO G – Resultados das análises químicas realizadas em ICP-OES e ICP-MS;

ANEXO H – Fichas petrográficas;

ANEXO I – Resultados de Microsonda Eletrônica;

ANEXO J – Mapa geológico.

ANEXO A

TABELA DE AMOSTRAS

FICHA DE AMOSTRAGEM				
Amostra	Ponto	Localização (x, y, z)	Bancada (m)	Descrição
T-14	T-14	790409,8264 7265323,3443 -68.418	-70	Carbonatito Calcítico branco acinzentado c/ foliação sub-horizontal (328/35); 10 % mgt; 7% apt
T-18	T-18	790436,9488 7265268,2648 -66.905	-70	Carbonatito calcítico branco acinzentado com foliação sub-vertical; 12% mgt, 5% apt, 2% flg; sulfetos disseminados.
T-19	T-19	790369,4057 7265252,4465 -74.233	-80	Carbonatito calcítico branco grosso maciço e fragmentado; 5% mgt grossa, 10% apt, 2%flg 3% sulfetos.
T-20	T-20	790388,3653 7265221,2528 -78.002	-80	Carbonatito calcítico branco acinzentado com foliação vertical (332/80), médio a grosso; 8-15% mgt fina, 4% apt.
T-21	T-21	790362,2261 7265264,1264 -73.107	-80	Carbonatito branco maciço inequigranular porfirítico; 7-10% mgt grossa (5 cm), 5% apt em bolsões.
T-22A	T-22	790382,5674 7265231,7471 -75.140	-80	Carbonatito calcítico alaranjado foliado da zona de falha; 5% mgt oxidada, 7-10% apt fina.
T-22B	T-22	790382,5674 7265231,7471 -75.140	-80	Carbonatito branco alaranjado próximo ao contato com carbonatito branco; 5% mgt concentrada oxidada, 5% flg.
T-22C	T-22	790382,5674 7265231,7471 -75.140	-80	Carbonatito branco acinzentado foliado com intercalação de bandas alaranjadas (oxidadas); 10-15% mgt oxidada e euédrica fina, 7-0% apt prismática e fina.
T-23	T-23	790357,0276 7265272,9669 -72.277	-80	Carbonatito calcítico branco com foliação insipiente (354/55); 10-20% mgt seriada, 7-10% apt acicular.
	T-23B	Bloco Rolado B -70 centro		Carbonatito calcítico branco grosso maciço; 7-10% mgt, 7% apt em bolsões, 2 % flg, sulfetos disseminados.
T-24	T-24	790340,9925 7265302,8224 -69.620	-70	Carbonatito Calcítico branco inequigranular médio a grosso maciço; 15% mgt, 10 % apt, 7% flg, 2% sulfetos em bolsões.
T-26	T-26	790321,6184 7265188,7262 -67.137	-70	Carbonatito calcítico médio c/ foliação sub-vertical (8/80) alaranjado; 15% mgt, 10%flg, 2% apt.
T-27	T-27	790324,0131 7265184,7461 -66.763	-70	Carbonatito levemente alaranjado, bandado (26/75); idem.
T-28	T-28	790326,2149 7265178,8864 -66.593	-70	Carbonatito calcítico branco acinzentado foliado; 10-15% mgt fina euédrica, 7-10% apt, 3% flg fina.
T-31	T-31	790290,1354 7265206,5913 -64.781	-70	Carbonatito calcítico foliado que apresenta porções pegmatóides e injeções de carbonatito maciço alaranjado; 15% mgt fina, 20% apt (no contato).
T-32	T-32	790282,8871 7265212,9014 -64.498	-70	Carbonatito calcítico branco acinzentado, com foliação sub-vertical ondulante (186/80), médio a grosso. 10-15% mgt fina, 7% apt prismática fina.
T-33	T-33	790276,3738 7265223,3294 -65.160	-70	Carbonatito branco acinzentado com foliação insipiente horizontalizada com injeções de material maciço esbranquiçado; 10% mag fina, 4 % apt prismática fina, 5% olv sub-euédrica.

FICHA DE AMOSTRAGEM				
Amostra	Ponto	Localização (x, y,z)	Bancada (m)	Descrição
T-37	T-37	790242,2215 7265248,6294 -61.683	-70	Carbonatito branco acinzentado com foliação sub-horizontal (250/40), intercalando leitos ricos em mgt, com leitos de carbonato grosso com mgt oxidada; 10-15% mgt, 10% apt, 5% olv, sulfetos dispersos (2%).
T-47	T-47	790238,2882 7265236,7825 -60.605	-70	Carbonatito calcítico branco maciço; 15% mgt fina, 2% olv, 10% apt, 5% flg, 2 % sulfetos associados à mgt.
T-49	T-49	790214,9379 7265253,8526 -60.548	-70	Carbonatito calcítico branco acinzentado com foliação insipiente; 10% apt fina prismática, 10 % mgt normal.
T-51	T-51	790201,0508 7265282,0955 -59.977	-60	Carbonatito calcítico branco acinzentado com foliação sub-vertical incipiente; 15% de mgt fina (enriquecimento próximo ao contato com injeções carbonatíticas maciças), 15 % apt fina associada a mgt.
T-56	T-56	790245,6413 265263,4036 -69.139	-70	Carbonatito foliado médio cinza com intercalação de leitos leucocráticos (mm). 7-10% de apatita concentrada próximo ao contato com leitos leucocráticos, 10-15% de magnetita fina dispersa na foliação, 2-5% de flg fina euédrica e sulfetos estirados em leitos, com mgt oxidada.
T-65	T-65	790416,7414 7265342,7273 -58.513	-60	Carbonatito calcítico branco acinzentado foliado; 7-10% mgt fina, 10-12% apt fina e prismática, sulfetos e flg acessórios.
T-81	T-81	790438,7530 265237,9854 -78.583	-80	Carbonatito calcítico médio cinza foliado; 15% de magnetita fina a média, 5% de apatita fina transparente, 7% de flg fina e sulfetos disseminados. Ocorre próximo ao contato com lente de foscrito.
T-83	T-83	790447,6825 265223,3917 -76.285		Carbonatito intermediário (CBI). Contato entre zona de reação e carbonatito branco. Apt é grossa (10-15%), mg ocorre concentrada em bolsões média a grossa (15%), flg é grossa (5-7%) não ocorrem sulfetos ou olv.
T-90	T-90	790219,3666 265228,8965 -48.074	-50	Carbonatito calcítico foliado médio branco acinzentado, com foliação demarcada pela orientação da apt prismática fina (7%). Ocorre ainda 5% de olv fina, 10% de magnetita fina, e sulfetos estirados associados a mgt.
T-94	T-94	790182,9616 265289,0463 -47.813	-50	Carbonatito calcítico branco acinzentado com 15% de magnetita fina, 7% de flg fina, 7% de apt prismática média. O corpo ocorre bastante fraturado.
T-98	T-98	790209,5533 265540,5524 -47,712	-50	Carbonatito calcítico branco acinzentado, bandado, com apt fina (7%), mgt fina orientada (12%), flg fina e estirada (< 5%), poucos sulfetos estirados.
T-99	T-99	790288,1107 7265515,5600 -57,412	-60	Carbonatito calcítico branco acinzentado, bandado, com apt fina (7%), mgt fina orientada (12%), flg fina e estirada (< 5%), poucos sulfetos estirados.

Abreviações: Apt – apatita; Mgt – magnetita; Flg – flogopita; Olv – olivina; Demais descrições consultar Tabela 2, p. 9

ANEXO B

MAPA DE PONTOS





ANEXO C

LOG DO FURO DE SONDAGEM

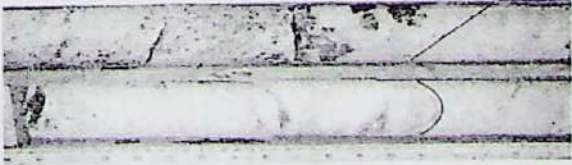



CP-134 – Profundidade: 35,00 m

Data e Hora		Profundidade (m)		Temperatura (°C)		Observações	
10/05/2011	08:00	0,00	0,00	20,0	20,0	Superfície	
		1,00	1,00	18,0	18,0	Areia	
		2,00	2,00	16,0	16,0	Areia	
		3,00	3,00	14,0	14,0	Areia	
10/05/2011	09:00	4,00	4,00	12,0	12,0	Areia	
		5,00	5,00	10,0	10,0	Areia	
		6,00	6,00	8,0	8,0	Areia	
		7,00	7,00	6,0	6,0	Areia	
10/05/2011	10:00	8,00	8,00	4,0	4,0	Areia	
		9,00	9,00	2,0	2,0	Areia	
		10,00	10,00	0,0	0,0	Areia	
		11,00	11,00	-2,0	-2,0	Areia	
10/05/2011	11:00	12,00	12,00	-4,0	-4,0	Areia	
		13,00	13,00	-6,0	-6,0	Areia	
		14,00	14,00	-8,0	-8,0	Areia	
		15,00	15,00	-10,0	-10,0	Areia	
10/05/2011	12:00	16,00	16,00	-12,0	-12,0	Areia	
		17,00	17,00	-14,0	-14,0	Areia	
		18,00	18,00	-16,0	-16,0	Areia	
		19,00	19,00	-18,0	-18,0	Areia	
10/05/2011	13:00	20,00	20,00	-20,0	-20,0	Areia	
		21,00	21,00	-22,0	-22,0	Areia	
		22,00	22,00	-24,0	-24,0	Areia	
		23,00	23,00	-26,0	-26,0	Areia	
10/05/2011	14:00	24,00	24,00	-28,0	-28,0	Areia	
		25,00	25,00	-30,0	-30,0	Areia	
		26,00	26,00	-32,0	-32,0	Areia	
		27,00	27,00	-34,0	-34,0	Areia	
10/05/2011	15:00	28,00	28,00	-36,0	-36,0	Areia	
		29,00	29,00	-38,0	-38,0	Areia	
		30,00	30,00	-40,0	-40,0	Areia	
		31,00	31,00	-42,0	-42,0	Areia	
10/05/2011	16:00	32,00	32,00	-44,0	-44,0	Areia	
		33,00	33,00	-46,0	-46,0	Areia	
		34,00	34,00	-48,0	-48,0	Areia	
		35,00	35,00	-50,0	-50,0	Areia	

LOG DO FURO: CP 134

REPRESENTAÇÃO GRÁFICA	CAIXA	DE (m)	A (m)	ROCHA	DOMÍNIO GEOLÓGICO	DESCRIÇÃO LITOLÓGICA
 8,92 mm	1-3	0,00	8,92	Cfox	CBF	<p>Carbonatito calcítico inequigranular seriado de fino a médio laranja, foliado. Este carbonatito faz contato abrupto com o carbonatito cinza adjacente. <i>Mineralogia</i>: magnetita ocorre seriada de fina a média, subeuédrica e levemente orientada de acordo com foliação (10 – 12%), apatita fina, prismática, transparente e localmente concentrada em bolsões ao longo da foliação (7 – 12%), flogopita é esverdeada e ocorre fina e euédrica (5 – 7%). Não se observa a presença de sulfetos.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 2,75 – 2,90: muita magnetita euédrica grossa concentrada em bolsão (15%) (Foto 1); ▪ 3,05 – 3,61: Carbonatito calcítico fino, acinzentado, foliado. Magnetita é fina (0,05 mm) e orientada em até 15% com mineralogia similar ao descrito anteriormente; ▪ 3,61 – 3,71: Recristalização de calcita em fraturas e oxidação alaranjada.
 12,51 mm	4	8,92	9,50	Cfmc	CBF	<p>Carbonatito calcítico inequigranular médio branco acinzentado, textura inequigranular seriada foliada. <i>Mineralogia</i>: magnetita fina, subeuédrica (20%) e pode ocorrer oxidada, a apatita é prismática fina, esverdeada e associada à magnetita (15 – 20%), flogopita verde, fina e euédrica (5%), sulfetos ocorrem finos e disseminados (3%) e associados à magnetita e apatita.</p>
 11,8 mm	4	9,50	11,80	Cfmc	CBF	<p>Carbonatito calcítico branco acinzentado inequigranular médio com foliação insipiente sub-vertical. <i>Mineralogia</i>: magnetita muito fina euédrica paralela à foliação (10%), apatita prismática fina que varia de esverdeada a transparente e pode ocorrer em bolsões (até 7%) associada a sulfetos finos (1%), flogopita é fina, euédrica e esverdeada (3%). Ocorrem localmente porções oxidadas de coloração avermelhada, principalmente onde ocorrem fraturas.</p>
 11,8 mm	4	11,80	12,51	Cfba Cfox	CBF	<p>Carbonatito calcítico creme acinzentado inequigranular médio intercalado a bolsões de coloração laranja (oxidado). <i>Mineralogia</i>: magnetita ocorre por vezes esfarapada ou concentrada em pequenos bolsões dispersos na matriz calcítica e de maneira geral é fina e euédrica (7 – 10%), a apatita é fina e é paralela a foliação (5%), podendo estar concentrada em bolsões associada à magnetita e aos sulfetos que ocorrem finos e disseminados, a flogopita varia de verde a marrom fina e dispersa na matriz (2%).</p>

LOG DO FURO: CP 134

REPRESENTAÇÃO GRÁFICA	CAIXA	DE (m)	A (m)	ROCHA	DOMÍNIO GEOLÓGICO	DESCRIÇÃO LITOLÓGICA
 26,2	4/6	12,51	17,44	Cfmc	CBF	Carbonatito calcítico acinzentado, inequigranular médio, foliado. A foliação é marcada pela orientação da magnetita e da apatita que parecem ocorrer como lamelas orientadas. Mineralogia: magnetita muito fina (15%), apatita transparente a castanha acicular (5%), flogopita de granulação média euédrica esverdeada (5%) e sulfetos finos associados à apatita (3%). Podem ocorrer bolsões isolados ricos em apatita fina acicular (10 – 12%) e magnetita euédrica média (20%).
 26,65 m				Cfmc Cfba	CBF	Fotos 3 e 4: Carbonatito foliado e maciço intercalado. Ocorrem bolsões de apatita. Carbonatito calcítico branco acinzentado foliado intercalado a porções calcíficas brancas maciças. A porção foliada apresenta leitos ricos em magnetita seriada de fina a média (20%) e apatita fina esverdeada acicular em bolsões, podendo atingir até 20%. Olivina pode ocorrer em até 3% e sulfetos são finos e associados à apatita. ▪ 17,44 a 17,53; 18,03 a 18,12: carbonatito calcítico branco com poucos acessórios finos, predominando flogopita em até 2%; ▪ 20,70 a 20,90: 15 – 20% de apatita e 15% de magnetita euédrica; ▪ 19,59 a 19,65: carbonatito alaranjado com recristalização de calcita em fratura.
 17,53 m		23,00	26,97	Cfmc	CBF	Carbonatito calcítico foliado inequigranular de fino a médio de branco a cinza. A foliação ocorre mais evidente e homogênea. Mineralogia: magnetita fina orientada segundo foliação (10-15%) associada à apatita fina, esverdeada e acicular (7-10%). Sulfetos ocorrem como acessórios associados à magnetita (2%) e a flogopita ocorre dispersa na matriz calcífica alongada (3%). ▪ 26,20 – 26,65: localmente o carbonatito apresenta coloração creme, onde a foliação é menos evidente (Foto).
 17,44		26,97	28,28	Cfmc Cfba	CBF	Carbonatito calcítico branco acinzentado inequigranular médio, foliado, intercalado com carbonatito branco maciço. O carbonatito branco apresenta poucos acessórios e nota-se uma diminuição da quantidade de bolsões de apatita relativamente ao intervalo anterior. Mineralogia: magnetita ocorre estirada ao longo da foliação em até 12%, a apatita concentra-se em bolsões e é fina e prismática, flogopita ocorre em pouca quantidade e euédrica (5%).
		28,28	29,33	Cbgm	CBR	Carbonatito calcítico branco inequigranular médio a grosso maciço. Mineralogia: magnetita é grossa e ocorre concentrada em bolsões (5%), a apatita é fina acicular esverdeada e concentrada em bolsões radiais (5%), flogopita euédrica e fina (3%) e sulfetos ocorrem associados à magnetita (5%).

LOG DO FURO: CP 134

REPRESENTAÇÃO GRÁFICA	CAIXA	DE (m)	A (m)	ROCHA	DOMÍNIO GEOLÓGICO	DESCRIÇÃO LITOLÓGICA
		29,33	35,00	Cfmc	CBR	Carbonatito calcítico branco acinzentado inequigranular médio, foliado, intercalado com carbonatito branco maciço. O carbonatito branco com poucos acessórios e nota-se uma diminuição da quantidade de bolsões de apatita relativamente ao intervalo anterior (5%). Mineralogia: magnetita estirada ao longo da foliação (12%), apatita fina concentra-se em bolsões, flogopita euédrica fina (5%). ■ 32,70 – 33,80: carbonatito branco com magnetita grossa (3%) e poucos acessórios
Foto5: Carbonatito branco maciço e carbonatito branco acinzentado foliado.						
FIM DO FURO						



Foto 1:
Magnetita grossa no contato.



Foto 2:
Detalhe para oxidação em fraturas

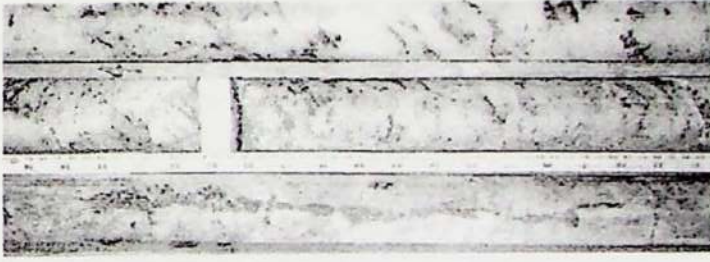


Foto3: Bolsões de apatita associados à magnetita.



Foto 4: Carbonatito com foliação evidenciada pela orientação de magnetita e apatita em lamelas.



Foto 5: detalhe - intercalação de carbonatito branco com foliado.

ANEXO D

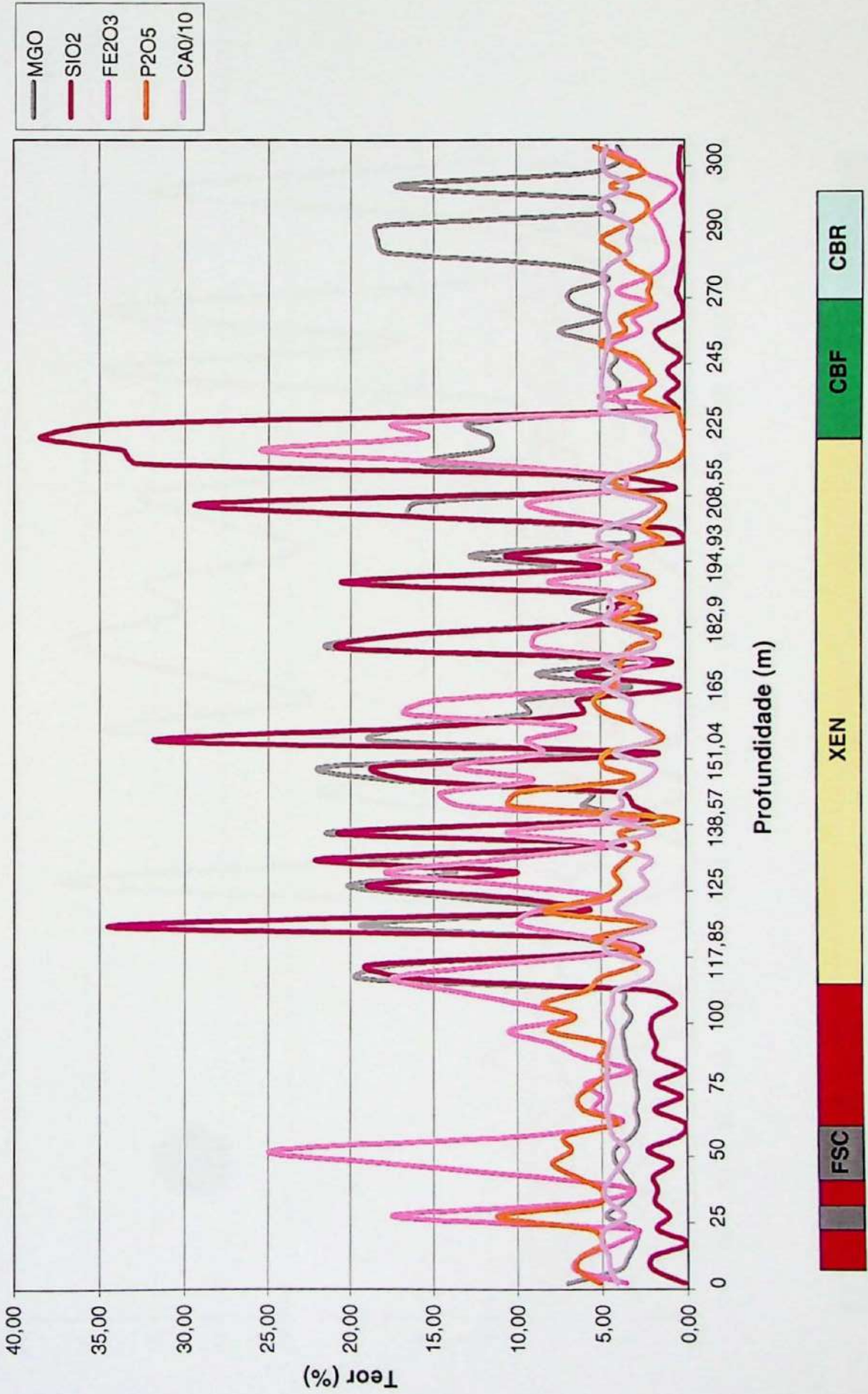
GRÁFICO DE TEOR VS PROFUNDIDADE PARA OS FUROS DE SONDAGEM

LEGENDA

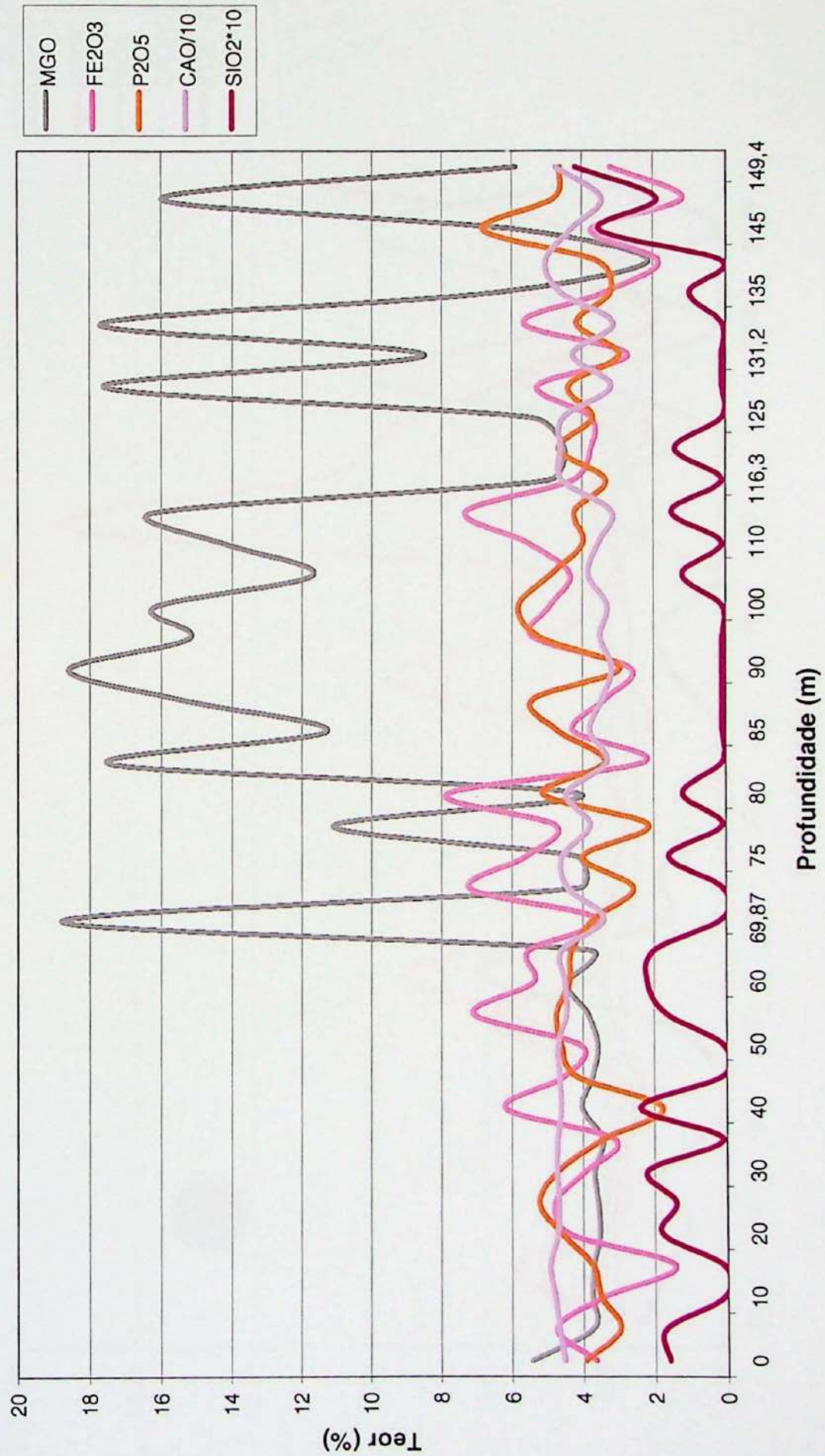
CBR – Carbonatito Branco
CBF – Carbonatito Foliado
CBI – Carbonatito Intermediário
CBN – Carbonatito Norte
FSC – Foscorito
XEN – Zona de Xenólitos

* Vide figura 4 (mapa geológico – Saito *et al*, 2004)

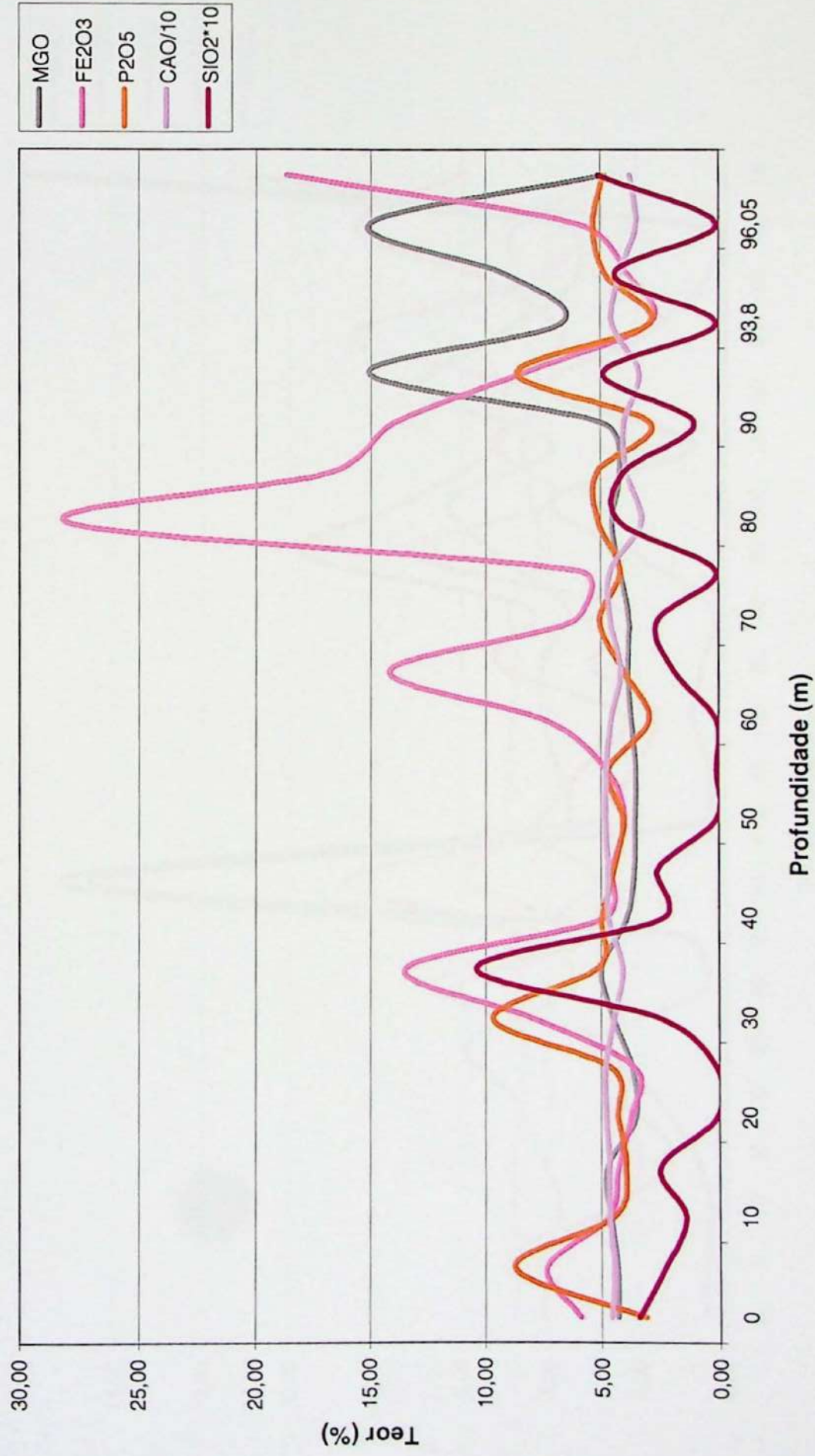
SP-01



SP-05 A

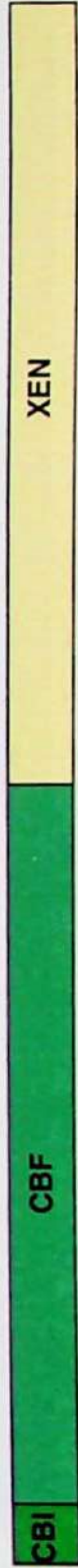
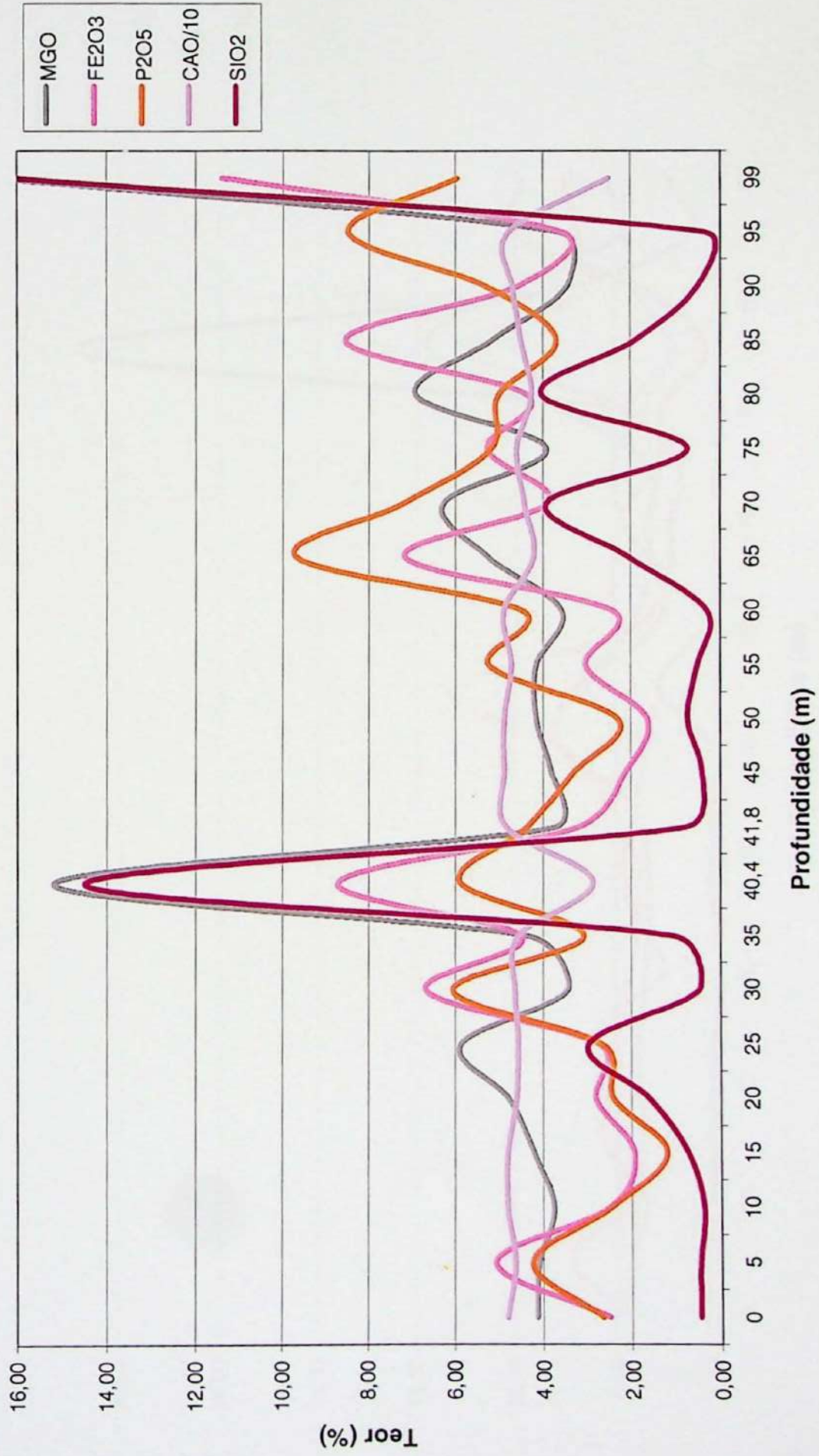


SP-07

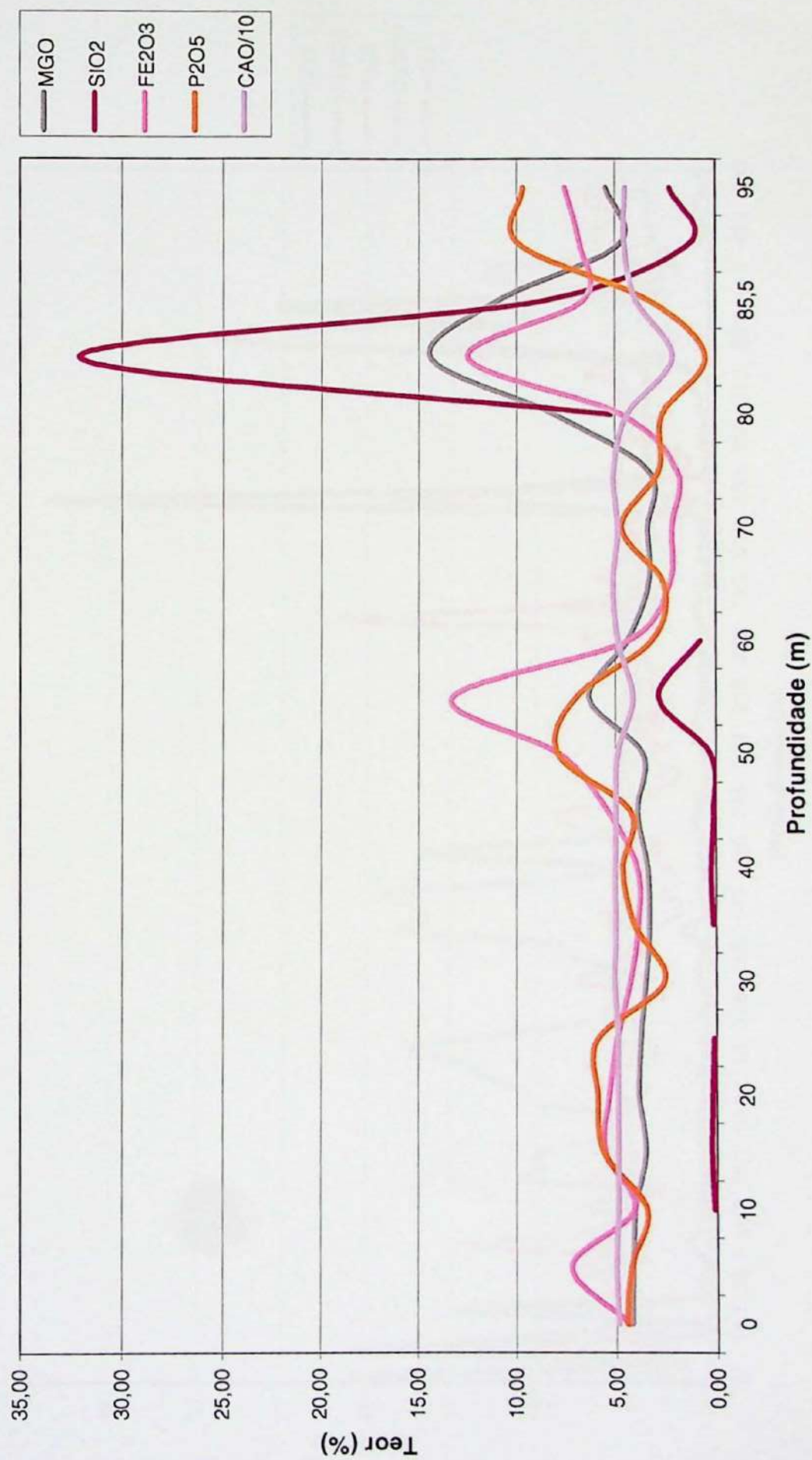


CBR	CBF	CBR	CBF	CBI
-----	-----	-----	-----	-----

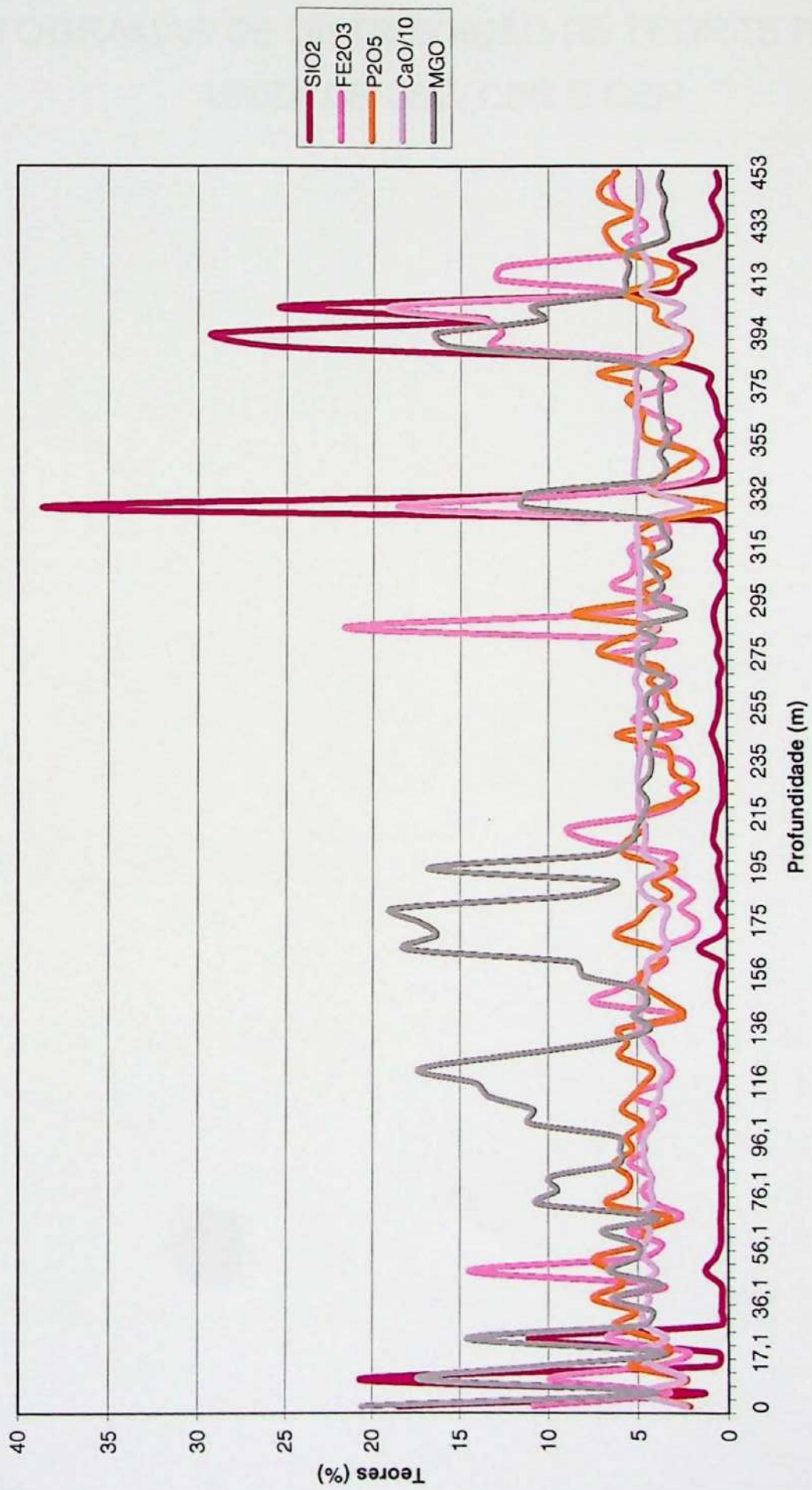
SP-31



SP-38



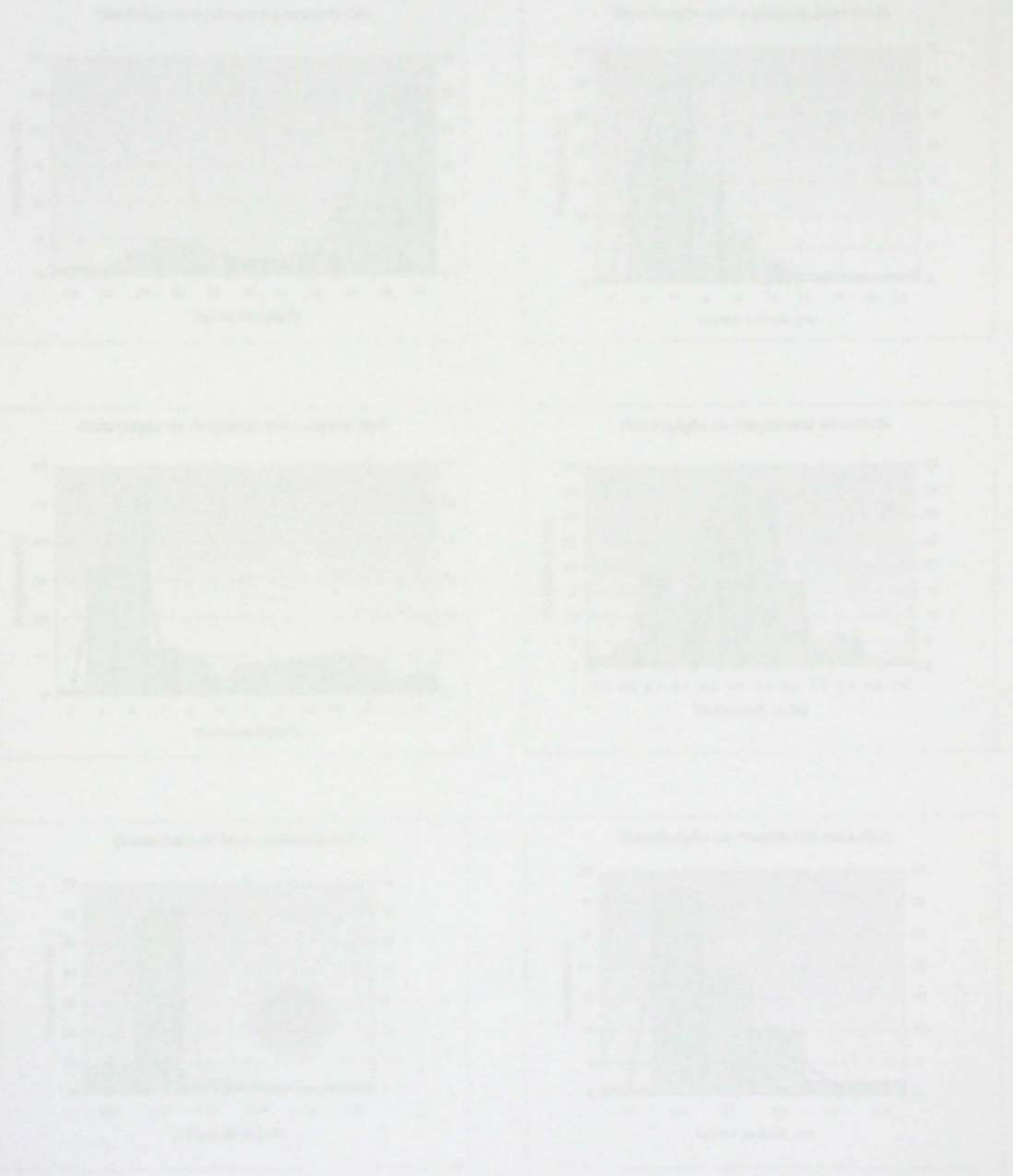
SP-78



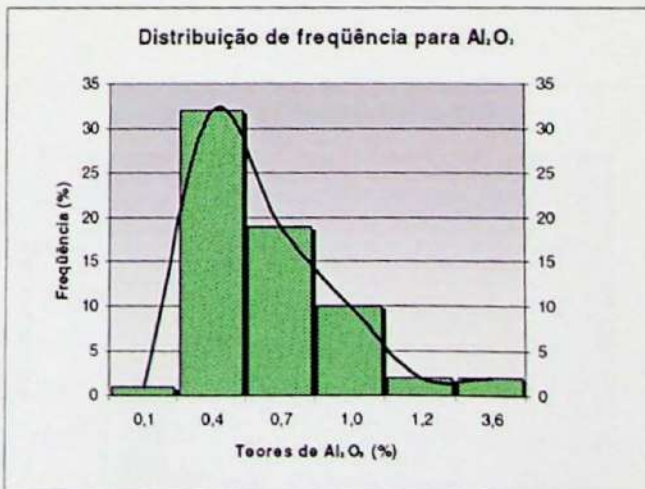
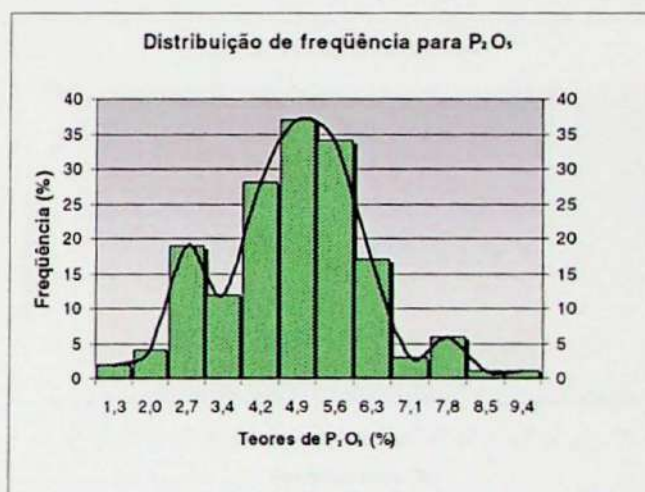
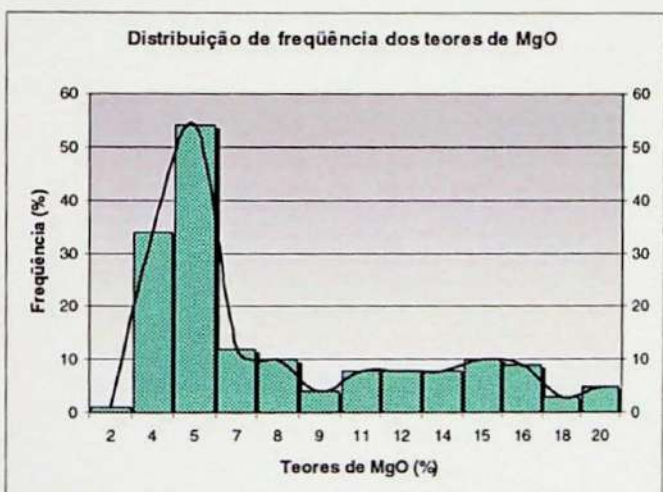
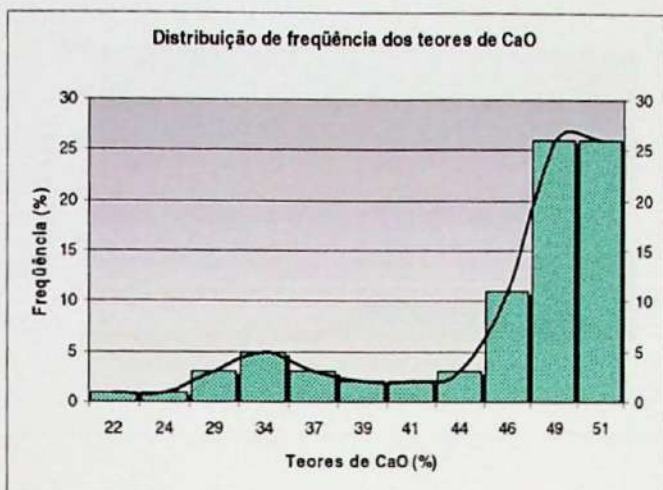
CBI	CBF	CBR	CBI
-----	-----	-----	-----

ANEXO E

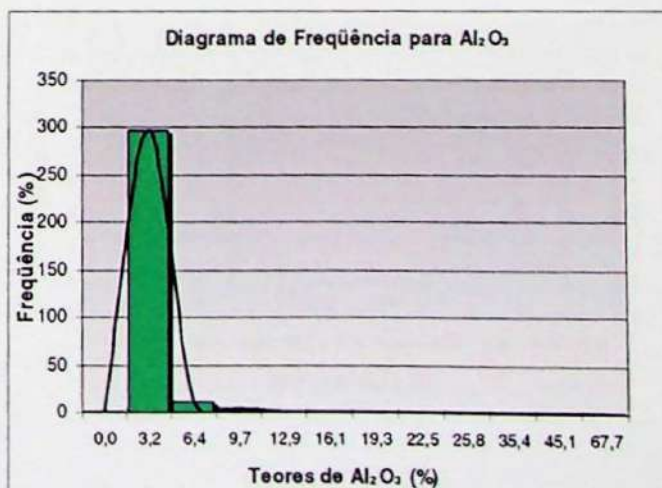
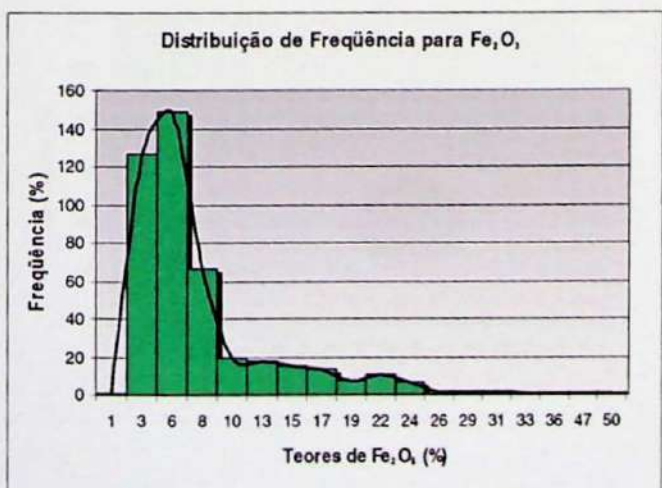
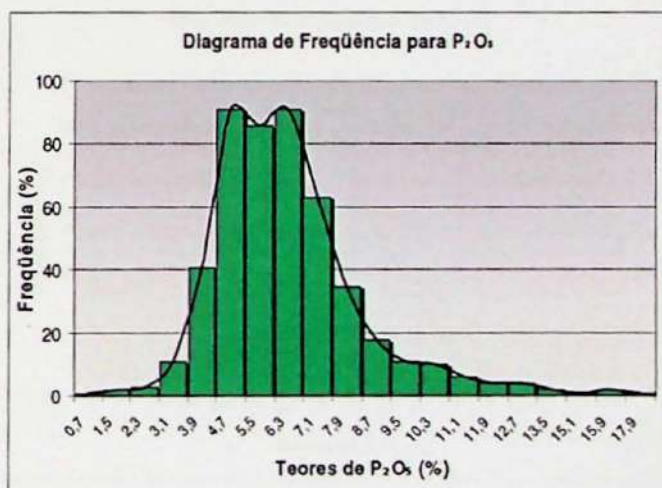
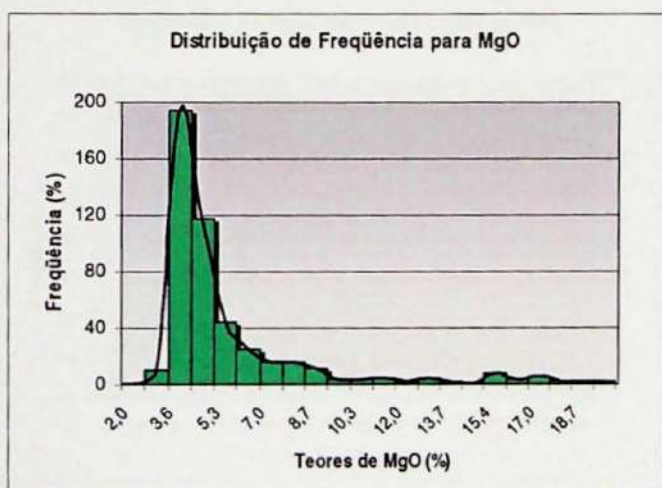
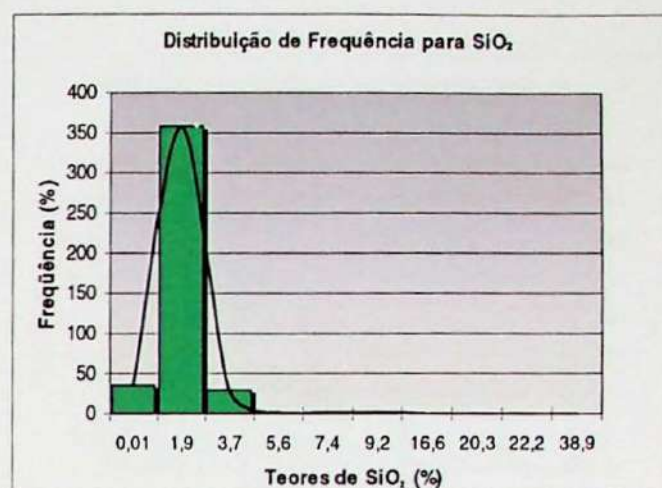
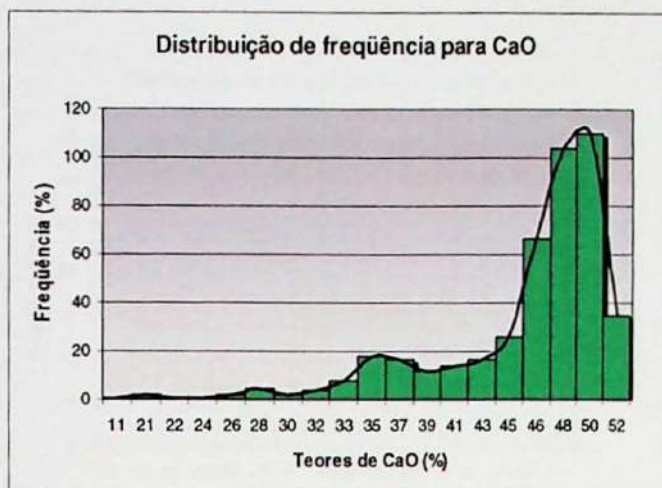
HISTOGRAMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE TEORES PARA AS UNIDADE CBF, CBR E CBN



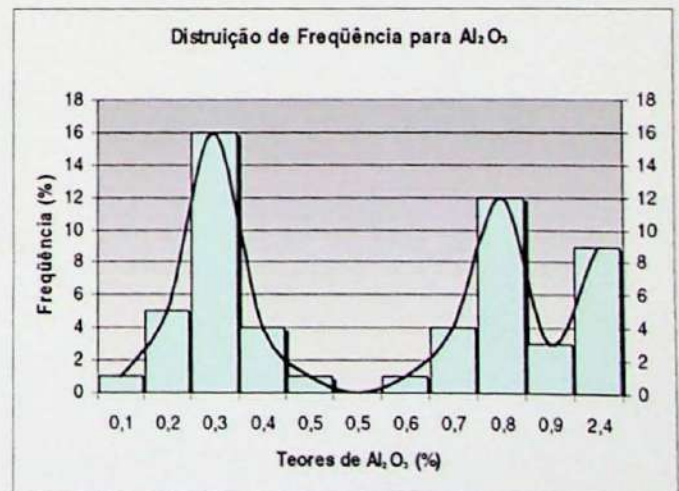
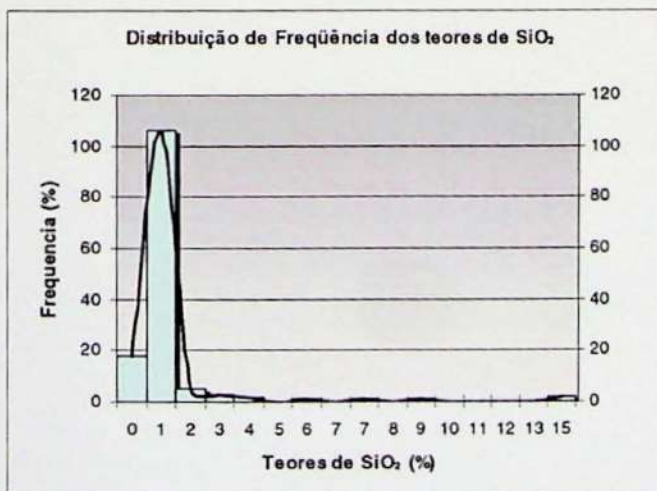
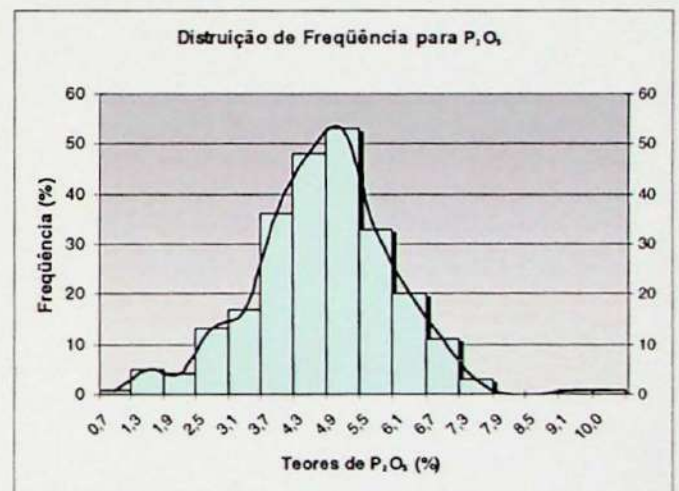
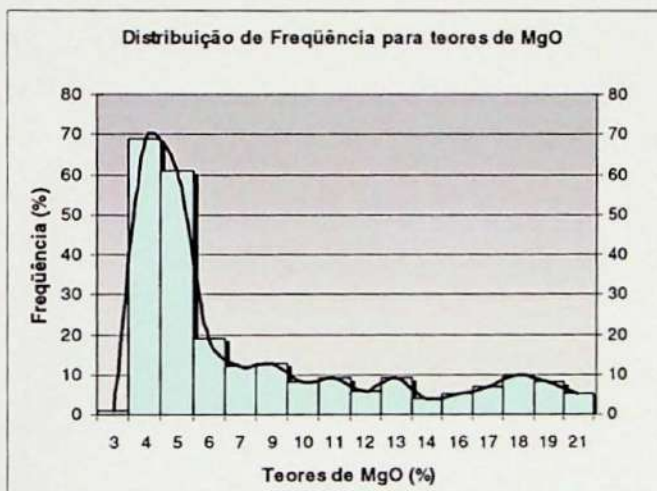
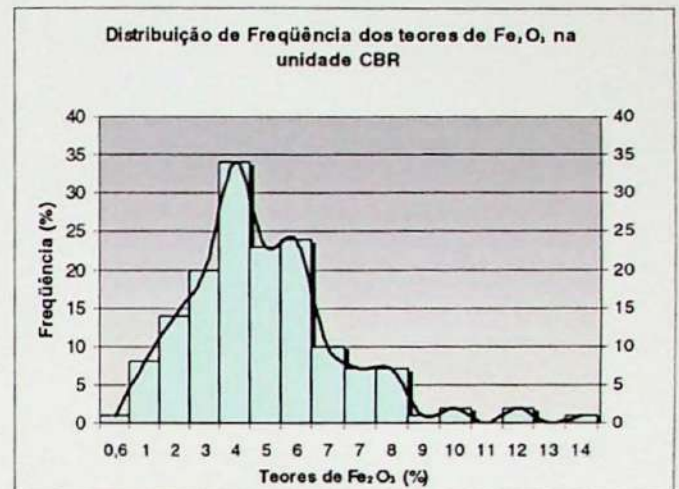
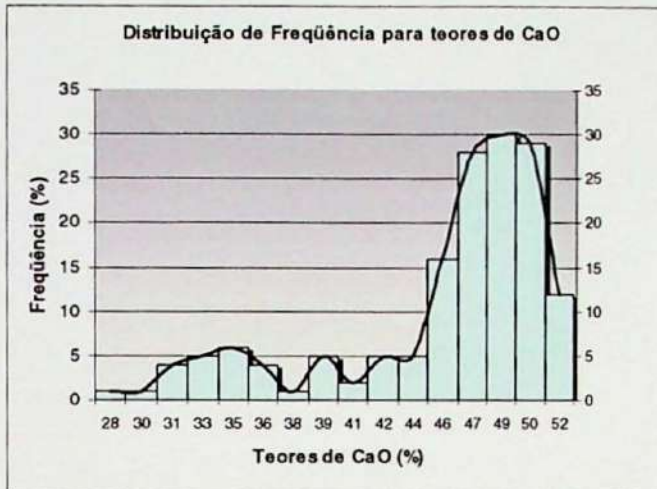
DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DOS TEORES PARA OS PRINCIPAIS ÓXIDOS NA UNIDADE CBF



DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DOS TEORES PARA OS PRINCIPAIS ÓXIDOS NA UNIDADE CBN



DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DOS TEORES PARA OS PRINCIPAIS ÓXIDOS NA UNIDADE CBR



ANEXO F

RESULTADOS DA ANÁLISE DISCRIMINANTE (AD)

Observação	A priori	A posteriori	Pr(CBF)	Pr(CBN)	Pr(CBR)	F1	F2	D ² (CBF)	D ² (CBN)	D ² (CBR)
251N	CBN	CBN	0,019	0,978	0,003	1,727	0,487	30,463	22,572	34,439
252N	CBN	CBN	0,017	0,980	0,003	1,741	0,648	16,447	8,316	19,838
32F	CBF	CBF	0,927	0,053	0,020	-0,598	-0,895	5,069	10,784	12,785
05F	CBF	CBN	0,284	0,693	0,023	0,653	0,021	13,436	11,655	18,503
06F	CBF	CBF	0,914	0,012	0,073	-1,271	-0,275	10,647	19,257	15,693
07F	CBF	CBF	0,988	0,009	0,003	-1,109	-1,978	6,973	16,476	18,379
08F	CBF	CBN	0,012	0,988	0,000	2,289	-1,483	23,131	14,310	34,682
111F	CBF	CBF	0,973	0,001	0,027	-2,328	-1,028	4,500	19,427	11,704
115F	CBF	CBF	0,953	0,002	0,045	-1,824	-0,652	9,414	21,308	15,526
117F	CBF	CBF	0,965	0,006	0,029	-1,451	-0,845	5,950	16,086	12,987
120F	CBF	CBF	0,967	0,007	0,026	-1,369	-0,890	5,053	14,805	12,304
121F	CBF	CBF	0,988	0,002	0,010	-1,704	-1,475	5,858	17,970	15,068
126F	CBF	CBF	0,964	0,001	0,035	-2,290	-0,869	8,700	23,261	15,339
129F	CBF	CBF	0,798	0,201	0,001	0,210	-2,142	13,304	16,059	26,077
134F	CBF	CBN	0,095	0,891	0,013	1,094	0,386	10,018	5,550	13,998
139F	CBF	CBF	0,948	0,004	0,048	-1,639	-0,582	6,881	17,735	12,841
140F	CBF	CBF	0,769	0,002	0,230	-2,106	0,308	16,220	28,611	18,635
146F	CBF	CBF	0,660	0,009	0,331	-1,464	0,690	5,846	14,478	7,229
147F	CBF	CBR	0,370	0,132	0,498	-0,350	1,403	6,521	8,579	5,925
149F	CBF	CBF	0,715	0,251	0,034	-0,012	-0,363	6,974	9,072	13,073
158F	CBF	CBF	0,953	0,001	0,046	-2,093	-0,678	8,280	21,612	14,332
160F	CBF	CBR	0,370	0,009	0,621	-1,379	1,360	9,159	16,662	8,125
162F	CBF	CBF	0,899	0,019	0,082	-1,112	-0,181	6,555	14,237	11,346
225F	CBF	CBF	0,991	0,001	0,008	-1,923	-1,639	10,123	23,551	19,808
233F	CBF	CBF	0,989	0,000	0,011	-2,503	-1,542	7,475	23,846	16,466
234F	CBF	CBF	0,897	0,088	0,015	-0,376	-0,979	5,333	9,969	13,487
254F	CBF	CBF	0,752	0,000	0,248	-2,762	0,259	6,930	22,812	9,147
256F	CBF	CBF	0,580	0,058	0,362	-0,741	0,924	18,042	22,646	18,983
257F	CBF	CBF	0,724	0,001	0,274	-2,135	0,432	9,768	22,183	11,711
261F	CBF	CBF	0,899	0,070	0,031	-0,539	-0,612	4,379	9,493	11,086
262F	CBF	CBF	0,643	0,246	0,111	-0,112	0,322	12,121	14,039	15,640
282F	CBF	CBN	0,363	0,631	0,006	0,682	-0,786	8,949	7,843	17,006

Observação	A priori	A posteriori	Pr (CBF)	Pr (CBN)	Pr (CBR)	F1	F2	D ² (CBF)	D ² (CBN)	D ² (CBR)
05R	CBR	CBR	0,078	0,004	0,918	-1,262	2,440	18,716	24,495	13,777
115R	CBR	CBR	0,005	0,001	0,995	-1,196	4,033	36,811	40,611	26,049
120R	CBR	CBF	0,546	0,012	0,442	-1,338	0,971	10,504	18,187	10,928
121R	CBR	CBF	0,875	0,072	0,053	-0,570	-0,320	2,917	7,898	8,531
132R	CBR	CBR	0,295	0,001	0,703	-1,991	1,454	11,889	22,503	10,154
140R	CBR	CBF	0,690	0,067	0,243	-0,695	0,620	8,362	13,032	10,447
141R	CBR	CBN	0,248	0,400	0,351	0,202	1,516	18,621	17,668	17,927
158R	CBR	CBR	0,295	0,001	0,703	-1,991	1,454	11,889	22,503	10,154
27R	CBR	CBF	0,750	0,000	0,250	-2,844	0,250	10,118	26,440	12,318
21N	CBN	CBN	0,102	0,898	0,000	1,567	-2,144	22,555	18,196	36,120
02N	CBN	CBN	0,002	0,997	0,000	2,482	0,716	64,655	52,569	68,227
03N	CBN	CBN	0,000	1,000	0,000	3,591	-0,499	35,121	18,462	43,805
04N	CBN	CBN	0,028	0,971	0,001	1,712	-0,208	12,238	5,137	18,764
153N	CBN	CBN	0,011	0,984	0,005	1,814	1,119	21,149	12,151	22,852
159N	CBN	CBN	0,066	0,926	0,008	1,256	0,348	13,586	8,304	17,802
177N	CBN	CBN	0,050	0,921	0,029	1,197	1,188	18,922	13,089	20,012
189N	CBN	CBN	0,022	0,977	0,000	1,990	-1,187	14,219	6,664	24,505
193N	CBN	CBN	0,039	0,960	0,001	1,692	-0,790	14,485	8,084	23,139
195N	CBN	CBN	0,000	1,000	0,000	3,370	0,567	29,970	13,382	34,603
197N	CBN	CBN	0,158	0,841	0,001	1,193	-1,219	30,997	27,654	40,943
20N	CBN	CBN	0,089	0,908	0,003	1,270	-0,353	12,043	7,406	18,848
203N	CBN	CBN	0,067	0,933	0,000	1,563	-1,238	15,877	10,611	26,104
205N	CBN	CBN	0,409	0,481	0,110	0,257	0,621	7,888	7,567	10,520
208N	CBN	CBN	0,322	0,675	0,003	0,816	-1,108	13,475	11,995	22,793
209N	CBN	CBN	0,010	0,990	0,000	2,125	-0,224	19,693	10,443	26,517
22N	CBN	CBN	0,415	0,461	0,124	0,225	0,676	7,802	7,592	10,215
23N	CBN	CBN	0,057	0,940	0,004	1,382	0,031	22,249	16,631	27,704
230N	CBN	CBN	0,048	0,951	0,001	1,599	-0,733	14,377	8,407	22,768
24N	CBN	CBN	0,007	0,991	0,001	2,040	0,721	20,115	10,341	23,414
245N	CBN	CBN	0,024	0,954	0,021	1,432	1,451	23,747	16,416	24,005
248N	CBN	CBN	0,095	0,857	0,048	0,947	1,078	15,763	11,354	17,116
249N	CBN	CBN	0,179	0,815	0,006	0,966	-0,357	8,298	5,263	14,939
25N	CBN	CBN	0,005	0,988	0,007	1,992	1,780	29,732	19,126	29,107

ANEXO G

RESULTADOS DAS ANÁLISES QUÍMICAS REALIZADAS EM ICP-OES E ICP-MS

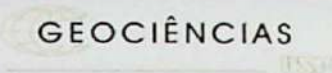

RESULTADOS DAS ANÁLISES QUÍMICAS

ELEMENTOS MAIORES (ÓXIDOS)

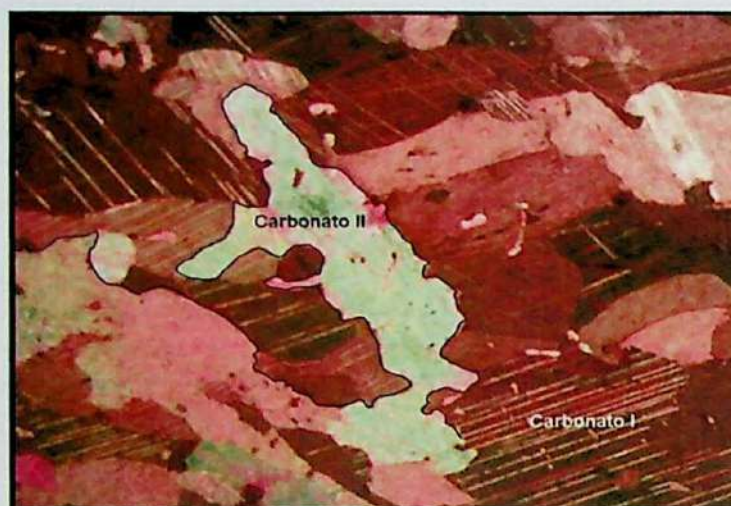
N. Campo	T-19 CBR	T-21 CBR	T-23B CBR	T-18 CBF	T-20 CBF	T-14 CBF	T-98 CBN	T-99 CBN	BCO	L.D.
%SiO ₂	0,10	0,44	0,07	0,37	0,28	0,44	0,10	0,35	<0,02	0,02
%Al ₂ O ₃	<0,01	0,07	0,05	0,21	0,22	0,24	0,06	0,06	0,02	0,01
%Fe ₂ O ₃	1,58	2,43	3,17	3,67	5,77	3,89	3,15	3,85	<0,01	0,006
%MgO	3,37	4,14	3,82	4,01	4,75	3,27	3,35	3,05	<0,01	0,01
%CaO	53,50	52,24	49,87	50,89	49,98	49,64	49,70	50,51	<0,01	0,006
%Na ₂ O	0,02	0,03	0,06	0,02	0,04	0,07	0,07	0,07	0,01	0,01
%K ₂ O	<0,03	<0,03	0,05	0,03	0,04	0,12	0,05	0,02	<0,01	0,03
%P ₂ O ₅	4,76	2,36	0,15	3,10	3,28	4,52	3,07	4,28	0,01	0,01
%MnO	0,119	0,130	0,139	0,137	0,162	0,13	0,13	0,11	<0,006	0,006
%TiO ₂	0,01	0,02	0,01	0,03	0,04	0,03	0,00	0,01	<0,006	0,006
%P.F.	37,94	39,34	41,52	37,91	37,06	36,43	38,99	37,08		
%Total	101,40	101,20	98,91	100,36	101,62	98,77	98,66	99,37		

ELEMENTOS MENORES

N. Campo	T-19 CBR	T-21 CBR	T-23B CBR	T-18 CBF	T-20 CBF	T-14 CBF	T-98 CBN	T-99 CBN	BCO	L.D.
Ba (ppm)	644	710	730	936	789	1040	476	762	<10	10
La (ppm)	104	93	114	95	94	134	71	112	<15	15
Sr (ppm)	5769	5788	5974	5784	5614	5566	4947	5720	<5	5
V (ppm)	18	17	29	32	63	42	23	28	<15	15
Y (ppm)	41	35	40	37	34	46	45	46	<10	10
Zr (ppm)	<25	139	<25	<25	257	<25	<25	60	<25	25
Total	6575	6782	6887	6884	6852	6828	5562	6728		

			
FICHA PARA DESCRIÇÕES PETROGRÁFICAS			
I - Identificação da Amostra		T-23B	
Procedência: Bloco Rolado no pátio da -70		Estado de alteração: Sã	
Nome da rocha: Carbonatito Branco			
II - Descrição Macroscópica			
Cor /Heterogeneidades: Branca, homogênea			
Estrutura: Maciça			
Granulação; forma e natureza dos constituintes: granulação grossa e cristais espáticos, porfírica.			
Mineralogia: apatita fina em bolsões distribuídos de forma radial (5%), magnetita grossa dispersa (<5%), localmente como fenocristais de até 5 cm e flogopita de granulação média (<3%) e sulfetos de granulação média como mineral acessório.			
Nome Macroscópico: Carbonatito branco maciço grosso (Cbm _g)			
III - Descrição Microscópica			
Textura: Inequigranular fina (de 0,03 mm) a normal (0,28 mm)			
Microestruturas: Foliação de fluxo magmático insipiente, definido pelo alongamento dos cristais de carbonatos e apatita.			
Cristalinidade: Holocristalina		Granularidade/granulação: Fina	
IV - Mineralogia e Estimativa Modal			
	Minerais	%	Aspectos texturais, hábito, distribuição, zoneamento, geminação, dissolução alteração inclusões;
Félsicos	Carbonatos	95	Espático na matriz, euédrico a sub-euédrico, com cristais predominantemente angulosos. 2 fases associadas: I. espático distribuído na matriz; II. e intersticial, anédrico, provavelmente posterior.
	Apatita	< 5	Cristais sub-euédricos, prismáticos, bastante fraturados. Os cristais são alongados e ocorrem em paragênese com o carbonato II, anédrico, truncando os cristais espáticos da I fase.
Máficos	Magnetita	1	Associada a apatita com cristais euédricos, intersticial ou truncando o carbonato da matriz.
	Opacos	1	Ocorrem dispersos como inclusões secundárias (posteriores) em todas as demais fases minerais.
V - Comentários			
O carbonato ocorre em duas fases: inicialmente cristalizou-se espático na matriz, com cristais euédricos predominantemente e com bordas retilíneas e em contato reto, e uma fase posterior, que ocorre intersticial aos cristais da primeira fase. Esta fase ocorre em paragênese com a apatita, e localmente trunca a foliação insipiente delimitada pelos cristais da fase anterior. A magnetita seria a última fase associada a cristalização.			
Unidade faciológica: Carbonatito branco maciço grosso (Cbm _g)			

VI - Fotomicrografia:



Lado maior: 5,2 mm

Fotomicrografia 1 - Carbonato da fase II truncando foliação definida por carbonato da fase I.
Polarizadores cruzados



Lado maior: 8,32 mm

Fotomicrografia 2 - Apatita associada aos carbonatos da fase II, truncando os carbonatos da fase 1 e concentrado e bandas. Detalhe para magnetita euédrica associada. Polarizadores cruzados.

VII - Sequência de Cristalização e eventos

Mineral	Magmático			Pós - magmático
	Precoce	Principal	Tardio	
Carbonato I		-----		
Carbonato II		-----	----	
Apatita		-----	-----	
Magnetita				
Opacos				-----

Autor: Talita Cristina de Oliveira Ferreira

Projeto: TRABALHO DE FORMATURA 2007/41

FICHA PARA DESCRIÇÕES PETROGRÁFICAS

I - Identificação da Amostra

T-49

Procedência: Bancada -60 oeste

Estado de alteração: Sã

Nome da rocha: Carbonatito Foliado

II - Descrição Macroscópica

Cor /Heterogeneidades: Branco acinzentado, localmente amarelado, e heterogenea.**Estrutura:** Foliação de fluxo insipiente**Granulação; forma e natureza dos constituintes:** granulação fina (<1 mm), minerais prismáticos euédricos.**Mineralogia:** apatita fina 910%), magnetita fina a média concentrada em bandas associadas a apatita (10%), localmente ocorre recristalização de calcita (porfírica)**Nome Macroscópico:** Carbonatito foliado cinza médio (Cfcm)

III - Descrição Microscópica

Textura: Inequigranular seriada fina (de 0,5 mm) a média (3 mm)**Microestruturas:** Foliação de fluxo magmático definida pela orientação da apatita e carbonatos.**Cristalinidade:** Holocristalina**Granularidade/granulação:** Média

IV - Mineralogia e Estimativa Modal

	Minerais	%	Aspectos texturais, hábito, distribuição, zoneamento, geminação, dissolução alteração inclusões;
Féisicos	Carbonatos	93	Cristais sub-euédricos levemente orientados, com bordas retilíneas, que comumente são truncados por uma segunda geração de carbonatos que apresentam orientação mais evidente e hábito anédrico, e associados a apatita.
Máficos	Apatita	6	Predominam cristais arredondados, anédricos, com bordas parentemente substituídas por carbonatos, podendo ocorrer também cristais sub-euédricos prismáticos, com bordas arredondadas associadas ao carbonato.
	Flogopita	1	Cristais euédricos posteriores as demais fases, truncando a foliação definida pelas duas fases de carbonatos.
	Magnetita		Cristais euédricos, posteriores, associados a uma fase tardia.

V - Comentários

Ocorrem duas fases principais de carbonatos: I. com cristais sub-euédricos em paragenese com uma segunda fase intersticial que trunca foliação preferencial da rocha. A apatita ocorre tanto como inclusões precoce em carbonatos da fase I, quanto associada aos cristais de carbonato da fase II, com inclusões de carbonatos.

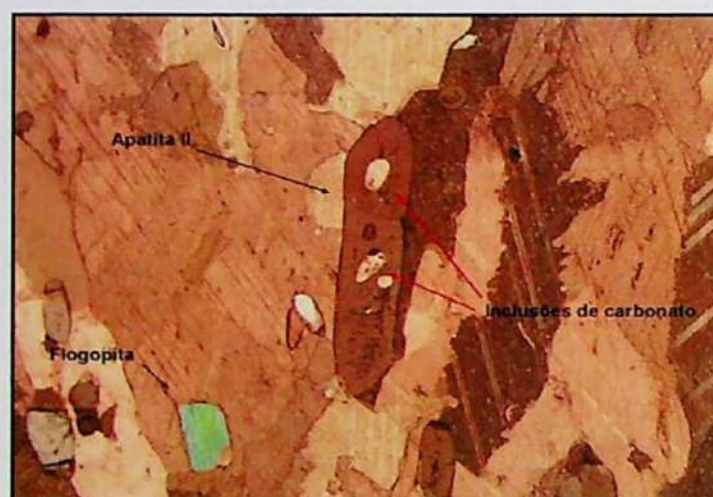
Unidade faciológica: Carbonatito branco maciço grosso (Cbm_g)

VI - Fotomicrografia:



Lado maior: 5,20 mm

Fotomicrografia 1 - Carbonato II em destaque, truncando foliação preferencial definida por carbonato I. Polarizadores cruzados.



Lado maior: 3,25 mm

Fotomicrografia 2 - Apatita II com inclusões de carbonatos e cristal posterior de flogopita euédrica. Polarizadores cruzados.

VII - Sequência de Cristalização e eventos

Mineral	Magmático			Pós - magmático
	Precoce	Principal	Tardio	
Carbonato I	---	---		
Carbonato II		---		
Apatita I				
Apatita II		---		
Flogopita			---	
Magnetita			---	

Autor: Talita Cristina de Oliveira Ferreira
 Projeto: TRABALHO DE FORMATURA 2007/41

FICHA PARA DESCRIÇÕES PETROGRÁFICAS

I - Identificação da Amostra

T-18

Procedência: Bancada -70 leste

Estado de alteração: Sã

Nome da rocha: Carbonatito Foliado

II - Descrição Macroscópica

Cor /Heterogeneidades: branco acinzentado

Estrutura: Foliação de fluxo ígneo sb-vertical e ondulante

Granulação; forma e natureza dos constituintes: granulação média a grossa com intercalação de nandas de carbonato de cor branca.

Mineralogia: Magnetita fina, subeuédrica (12%), apatita fina e prismática (5%), flogopita média, euédrica (2%) e sulfetos disseminados. A magnetita pode ocorrer oxidada.

Nome Macroscópico: Carbonatito foliado fino a médio cinza

III - Descrição Microscópica

Textura: Inequigranular seriada fina a média (0,1 a 2,2 mm), OBS.: bastante alterada

Microestruturas: Foliação de fluxo magmática definida para orientação de carbonatos e apatita

Cristalinidade: Holocristalina

Granularidade/granulação: 0,1 a 2,2 mm

IV - Mineralogia e Estimativa Modal

	Minerais	%	Aspectos texturais, hábito, distribuição, zoneamento, geminação, dissolução alteração inclusões;
Félsicos	Carbonatos	92	Bastante alterado e em 2 fases: I. espática e de granulação média que predomina na foliação, sendo a fase principal. II. Carbonato intersticial posterior que engloba os cristais da fase I.
	Apatita	5	2 fases: I. emparagênese a fase I de carbonatos, tem cristais prismáticos e com bordas retilíneas; II. Cresce em fraturas ou sobreposta aos demais cristais, xenomórfica e levemente arredondada.
Máficos	Magnetita	3	Posterior com cristais euédricos cm inclusões de diversos minerais, prncipalmete os carbonatos, Te granulação média com até 0,5 mm.
	Flogopita	1	Cristais associados ao carbonato e apatita da fase I, com bordas irregulares e levemente serrilhadas. Precoce (?)

V - Comentários

Observa-se uma intensa alteração dos carbonatos e muitos cristais posteriores preenchendo fraturras, provavelmente associados a fluidos pós-magméticos. A fase principal que define a foliação é relacionada ao carbonato I e à a patita I, sendo localmente obliterados pela fase II.

Unidade faciológica: Carbonatito foliado fino a médio cinza. (Cfmc)

VI - Fotomicrografia:



Lado maior: 3,25 mm

Fotomicrografia 1 - Cristal de flogopita intensamente fraturado em paragênese com carbonato I. Polarizadores cruzados.



Lado maior: 3,25 mm

Fotomicrografia 2 - Cristal de magnetita posterior, com inclusões de carbonato. Polarizadores cruzados.

VII - Sequência de Cristalização e eventos

Mineral	Magmático			Pós - magmático
	Precoce	Principal	Tardio	
Carbonato I		_____		
Carbonato II		-----	-----	
Apatita I		_____		
Apatita II		-----	-----	
Flogopita	? _____			
Magnetita			_____	
Minerais de alteração				_____

Autor: Talita Cristina de Oliveira Ferreira

Projeto: TRABALHO DE FORMATURA 2007/41

FICHA PARA DESCRIÇÕES PETROGRÁFICAS

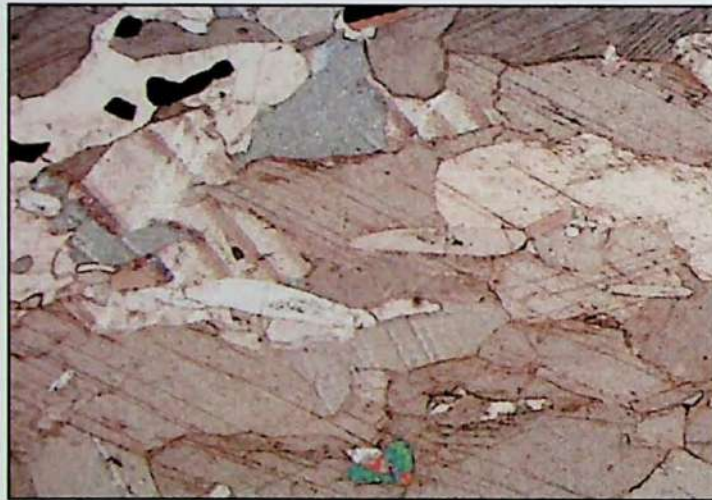
I - Identificação da Amostra		T-22A	
Procedência: Rampa de acesso à B - 80		Estado de alteração: Sã	
Nome da rocha: Carbonatito Branco / Carbonatito Foliado (?)			
II - Descrição Macroscópica			
Cor /Heterogeneidades: Alaranjada, localmente acinzentada.			
Estrutura: Levemente foliada, com porções maciças intercaladas			
Granulação; forma e natureza dos constituintes: granulação média a grossa, com carbonatos oxidados, e recristalização de calcita grossa em fraturas.			
Mineralogia: Magnetita fina, sub-euédrica concentrada em leitos ou dispersa pela matriz (<5%), apatita fina associada a magnetita (< 4%), flogopita média, esverdeada (2%).			
Nome Macroscópico: Carbonatito branco maciço oxidado			
III - Descrição Microscópica			
Textura: Inequigranular seriada muito fina a média (< 0,1 a 2,5 mm).			
Microestruturas: Foliação de fluxo magmática muito incipiente			
Cristalinidade: Holocristalina		Granularidade/granulação: 2,0 mm	
IV - Mineralogia e Estimativa Modal			
	Minerais	%	Aspectos texturais, hábito, distribuição, zoneamento, geminação, dissolução alteração inclusões;
Félsicos	Carbonatos	92	3 fases: I. cristais espáticos e dispersos pela matriz, com bordas retilíneas. Pode apresentar algumas nclusões de flogopita ou ocorrer em paragênese com o mesmo. II. Cristais sub-euédricos com bordas irregulares, intersticial. Ocorre em paragênese com a apatita prismética e sugere foliação de fluxo. II. discorda das demais fases e são cristais alongados que truncam todas as demais fases minerais, e pode ocorrer preenchendo fraturas.
Máficos	Apatita	5	2 fases: I. como inclusões nos carbonatos da fase I, forma arredondada e com bordas de reação; II. associada ao carbonato da fase II, com cristais euédricos, prismáticos, concentrados em bandas, porém não definem foliação, podendo ocorrer também dispersos na matriz.
	Flogopita	2	Cristais euédricos e com bordas levemente arredondadas que ocorrem em paragênese com a fase I de carbonatos ou como inclusões associadas
	Magnetita	1	2 fases: I. sub-euédrica, com bordas arredondadas, e associada a apatita prismática; II. tardia, poiquilitica, com inclusões de carbonatos e apatita.
Unidade faciológica: Carbonatito branco grosso maciço (Cbgm)			

VI - Fotomicrografia:



Lado maior: 3,25 mm

Fotomicrografia 1 - Carbonato II truncando foliação preferencial (carbonato I). Polarizadores cruzados.



Lado maior: 3,25 mm

Fotomicrografia 2 - Apatita II paralela à foliação a as cristais de carbonato II. Polarizadores cruzados.

VII - Sequência de Cristalização e eventos

Mineral	Magmático			Pós - magmático
	Precoce	Principal	Tardio	
Carbonato I		— — — ?		
Carbonato II		— — — —		
Carbonato III		— — — —		
Apatita I		— — — —		
Apatita II	?	— — — —		
Magnetita I		— — — —		
Magnetita II		— — — —	— — — —	
Flogopita		— — — —		

Autor: Talita Cristina de Oliveira Ferreira

Projeto: TRABALHO DE FORMATURA 2007/41

FICHA PARA DESCRIÇÕES PETROGRÁFICAS

I - Identificação da Amostra

T-31

Procedência: Bancada -70 W

Estado de alteração: Sã

Nome da rocha: Carbonatito Foliado, parcialmente oxidado

II - Descrição Macroscópica

Cor /Heterogeneidades: Levemente alaranjado próximo a zonas oxidadas, predomina cor acinzentada**Estrutura:** Foliada e localmente pegmatítica**Granulação; forma e natureza dos constituintes:** granulação média a grossa, localmente pegmatítico.**Mineralogia:** apatita fina (7-10%), magnetita grossa dispersa (<5%), localmente como fenocristais de até 7 cm e flogopita de granulação média, euédrica (<3%) e sulfetos de granulação grossa, estirados (2%).**Nome Macroscópico:** Carbonatito foliado médio oxidado, Carbonatito Branco maciço grosso.

III - Descrição Microscópica

Textura: Matriz inequigranular seriada de fina a média, porfírica.**Microestruturas:** Estruturas coroníticas na borda de cristal alterado definido por apatita e carbonato, e bandamento insipiente.**Cristalinidade:** Holocristalina**Granularidade/granulação:** Fina e porfírica

IV - Mineralogia e Estimativa Modal

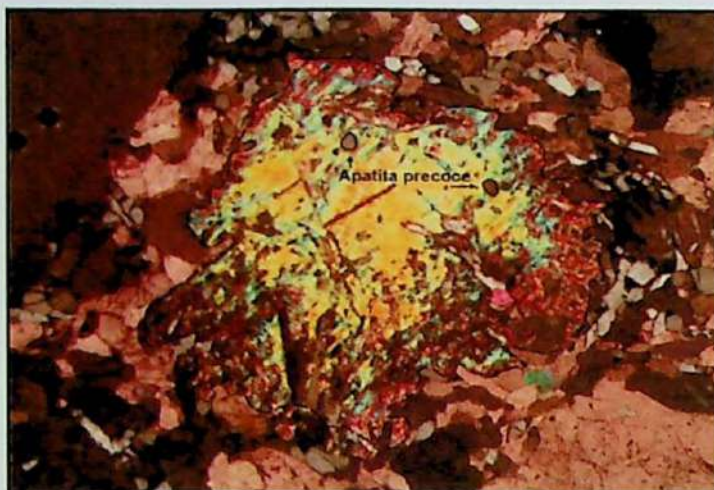
	Minerais	%	Aspectos texturais, hábito, distribuição, zoneamento, geminação, dissolução alteração inclusões;
Félsicos	Carbonatos	94	Predominam cristais sub-euédricos, em contato retilíneo e com inclusões de opacos. Ocorre em duas fases: I. espática na matriz e; II. intersticial ou intercrescida sobre os demais cristais.
	Apatita	5	Ocorre euédrica com hábito prismático e com cristais intercrescidos em paragênese com o carbonato. Ocorre associada a flogopita como inclusões arredondadas, ou definindo textura coronítica.
Máficos	Magnetita	< 2	Ocorre como fenocristal (1 cm) euédrico crescido sobre os demais cristais e com inclusões de carbonatos.
	Flogopita	< 1	Anédrica, com bordas corroídas e alteradas para minerais secundários, com diversas inclusões arredondadas de apatita e com cristais posteriores intercrescidos na borda.

V - Comentários

A flogopita ocorre como mineral precoce associado a apatita primária. O carbonato é o mineral principal e ocorre levemente orientado na matriz, sugerindo uma foliação de fluxo magmático. Comcomitantemente ocorre a cristalização da apatita em paragenese aos carbonatos da matriz e concentrados próximos ao cristal de flogopita, sugerindo uma textura coronítica de laterção. A magnetita ocorre como fase posterior.

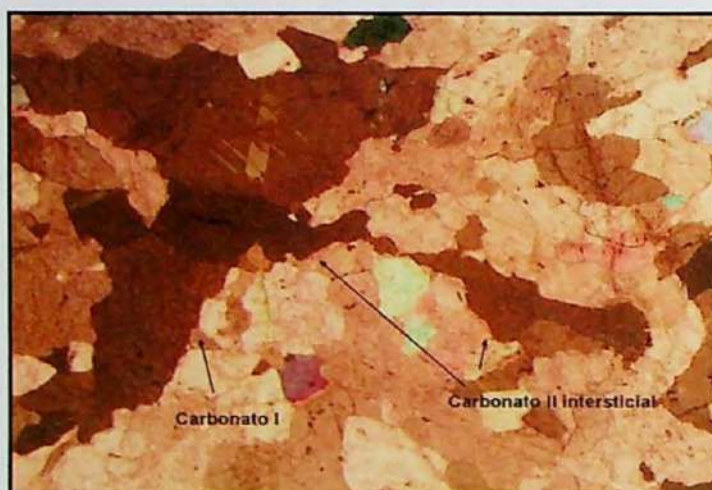
Unidade faciológica: Carbonatito foliado cinza médio (Cfcm)

VI - Fotomicrografia:



Lado maior: 3,25 mm

Fotomicrografia 1 - Flogopita precoce com inclusões de apatita precoce, borda corroída e alterada e com crescimento de apatita (coronítica). Polarizadores cruzados.



Lado maior: 3,25 mm

Fotomicrografia 2 - Fase II de carbonato truncando fase I da matriz. Polarizadores cruzados.

VII - Sequência de Cristalização e eventos

Mineral	Magmático		Pós - magmático
	Principal	Tardio	
Flogopita	-----		
Carbonato I	-----		
Carbonato II		-----	
Apatita I	-----		
Apatita II	-----		
Apatita III		-----	
Magntetita		-----	-----
Acessórios			-----

Autor: Talita Cristina de Oliveira Ferreira

Projeto: TRABALHO DE FORMATURA 2007/41

FICHA PARA DESCRIÇÕES PETROGRÁFICAS

I - Identificação da Amostra

T-65

Procedência: Bancada -60 leste

Estado de alteração: Sã

Nome da rocha: Carbonatito Foliado

II - Descrição Macroscópica

Cor /Heterogeneidades: branco acinzentado

Estrutura: Bandada e foliada

Granulação; forma e natureza dos constituintes: granulação média (2 mm), minerais máficos concentram-se em bandas intercaladas aos minerais felsícos.

Mineralogia: Magnetita fina, subeuédrica (7-10%), apatita fina e prismática (10-12%), flogopita fina, euédrica e sulfetos

Nome Macroscópico: Carbonatito foliado fino a médio cinza

III - Descrição Microscópica

Textura: Inequigranular fina (20µm a 0,2 mm), porfíritica

Microestruturas: Foliação de fluxo magmática definida para orientação de carbonatos e apatita

Cristalinidade: Holocristalina

Granularidade/granulação: 0,25 a 0,31 mm

IV - Mineralogia e Estimativa Modal

	Minerais	%	Aspectos texturais, hábito, distribuição, zoneamento, geminação, dissolução alteração inclusões;
Felsícos	Carbonatos	90	Ocorre em duas fases: I. sub-euédrico, anguloso e com bordas retilíneas localmente espático, que compõem a matriz; II. Fase posterior com cristais anédricos e com bordas sinuosas, intersticial, e localmente truncam a foliação definida pela fase I.
	Apatita	8	2 fases: I. corre em paragênese com os carbonatos da fase II e I e pode ter inclusões de carbonatos da fase I.
			II. Cresce sobre os demais cristais, anédrica e arredondado, apresenta inclusões e pode ocorrer truncando a apatita da fase I.
Máficos	Magnetita	1	São cristais xenomórficos, localmente angulosos e com inclusões de carbonatos. Cresce posterior todas as outras fases
	Flogopita	< 1	Posterior ao carbonato da fase I com cristais sub-euédricos intercrescidos entre os demais cristais. Pode ser porfíritico com até 1 cm.

V - Comentários

A foliação é definida pela orientação dos carbonatos da fase I que localmente são truncados pelos cristais da fase I. A apatita ocorre foliada truncando os cristais de carbonato da fase I. A flogopita estaria associada aos carbonatos em um estágio magmético principal.

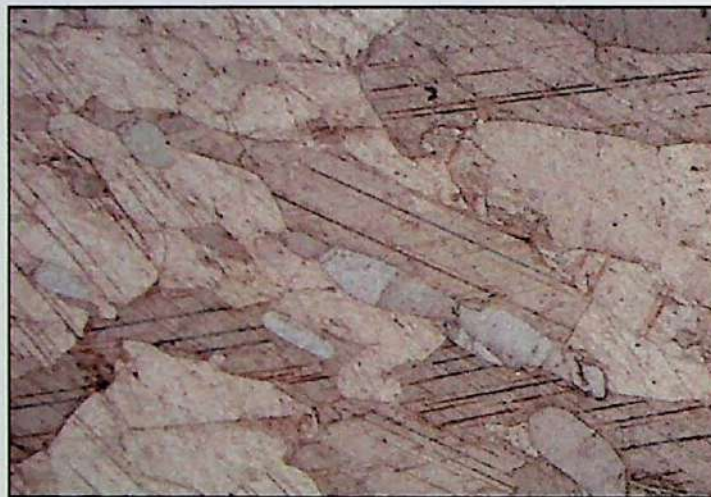
Unidade faciológica: Carbonatito foliado fino a médio cinza. (Cfmc)

VI - Fotomicrografia:



Lado maior: 3,25 mm

Fotomicrografia 1 - Carbonato II com aspecto intergranular, xenomórfico. Polarizadores cruzados.



Lado maior: 3,25 mm

Fotomicrografia 2 - Apatita II concordante com foliação preferencial definida por carbonato I. Polarizadores cruzados.

VII - Sequência de Cristalização e eventos

Mineral	Magmático			Pós - magmático
	Precoce	Principal	Tardio	
Carbonato I				
Carbonato II		---		
Apatita I				
Apatita II			? ---	
Flogopita	? --	---		
Magnetita			---	-- ?

Autor: Talita Cristina de Oliveira Ferreira
 Projeto: TRABALHO DE FORMATURA 2007/41

FICHA PARA DESCRIÇÕES PETROGRÁFICAS

I - Identificação da Amostra

T-19

Procedência: Rampa de acesso à B - 80

Estado de alteração: Sã

Nome da rocha: Carbonatito Branco

II - Descrição Macroscópica

Cor /Heterogeneidades: Branca, localmente alaranjada

Estrutura: Maciço

Granulação; forma e natureza dos constituintes: granulação grossa, porfiritica, com fenocristais de magnetita com até 5 cm.

Mineralogia: Magnetita grossa, sub-euédrica (<5%), apatita fina e acicular concentrada em bolsões (5%), flogopita fina, esverdeada (2%) e sulfetos venulares associados a magnetita, ou filonar em até 3%

Nome Macroscópico: Carbonatito branco grosso maciço

III - Descrição Microscópica

Textura: Inequigranular seriada fina a média (0,1 a 2,5 mm).

Microestruturas: Foliação de fluxo magmática incipiente e localmente bandada (bandas de apatita intercaladas com carbonatos).

Cristalinidade: Holocristalina

Granularidade/granulação: 2,5 mm

IV - Mineralogia e Estimativa Modal

	Minerais	%	Aspectos texturais, hábito, distribuição, zoneamento, geminação, dissolução alteração inclusões;
Félsicos	Carbonatos	92	3 fases: I. fase principal com cristais anédricos, bordas retilíneas orientados na foliação preferencial; II. fase intermediária que ocorre intersticial à fase principal, com cristais anédricos; e III. Cristais euédricos, com orientação que obliteram a fase I.
	Apatita	5	Concentrada em bandas, com cristais euédricos, hábito prismático e ocorre sobrepondo as demais fases minerais.
Máficos	Magnetita	< 1	Cristais sub-euédricos associados ao carbonato da I fase, preenchendo fraturas e intersticial.

V - Comentários

Não ocorrem os fenocristais de magnetita e nota-se que as fases minerais são bem distintas, com truncamento de foliação pela fase mais jovem (fase II), e presença de foliação incipiente associada a fase I.

Unidade faciológica: Carbonatito branco grosso maciço (Cbgm)

VI - Fotomicrografia:

Fotomicrografia 1 -

Fotomicrografia 2 -

VII - Sequência de Cristalização e eventos

Mineral	Magmático			Pós - magmático
	Precoce	Principal	Tardio	
Carbonato I		_____		
Carbonato II		-----		
Carbonato III		_____		
Apatita		-----	_____	
Magnetita		_____		

Autor: Talita Cristina de Oliveira Ferreira

Projeto: TRABALHO DE FORMATURA 2007/41

ANEXO I

MICROSSONDA ELETRÔNICA

	0,000	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007
P1	0,000	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007
P2	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008
P3	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009
P4	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009	0,010
P5	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009	0,010	0,011
P6	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009	0,010	0,011	0,012
P7	0,006	0,007	0,008	0,009	0,010	0,011	0,012	0,013
P8	0,007	0,008	0,009	0,010	0,011	0,012	0,013	0,014
Media	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009	0,010	0,011

Tabela 1 - Dados de Calibração 1

	0,008	0,009	0,010	0,011	0,012	0,013	0,014	0,015
P1	0,008	0,009	0,010	0,011	0,012	0,013	0,014	0,015
P2	0,009	0,010	0,011	0,012	0,013	0,014	0,015	0,016
P3	0,010	0,011	0,012	0,013	0,014	0,015	0,016	0,017
P4	0,011	0,012	0,013	0,014	0,015	0,016	0,017	0,018
P5	0,012	0,013	0,014	0,015	0,016	0,017	0,018	0,019
P6	0,013	0,014	0,015	0,016	0,017	0,018	0,019	0,020
P7	0,014	0,015	0,016	0,017	0,018	0,019	0,020	0,021
P8	0,015	0,016	0,017	0,018	0,019	0,020	0,021	0,022
Media	0,010	0,011	0,012	0,013	0,014	0,015	0,016	0,017

Tabela 2 - Dados de Calibração 2

	0,016	0,017	0,018	0,019	0,020	0,021	0,022	0,023
P1	0,016	0,017	0,018	0,019	0,020	0,021	0,022	0,023
P2	0,017	0,018	0,019	0,020	0,021	0,022	0,023	0,024
P3	0,018	0,019	0,020	0,021	0,022	0,023	0,024	0,025
P4	0,019	0,020	0,021	0,022	0,023	0,024	0,025	0,026
P5	0,020	0,021	0,022	0,023	0,024	0,025	0,026	0,027
P6	0,021	0,022	0,023	0,024	0,025	0,026	0,027	0,028
P7	0,022	0,023	0,024	0,025	0,026	0,027	0,028	0,029
P8	0,023	0,024	0,025	0,026	0,027	0,028	0,029	0,030
Media	0,019	0,020	0,021	0,022	0,023	0,024	0,025	0,026

Tabela 3 - Dados de Calibração 3

	0,024	0,025	0,026	0,027	0,028	0,029	0,030	0,031
P1	0,024	0,025	0,026	0,027	0,028	0,029	0,030	0,031
P2	0,025	0,026	0,027	0,028	0,029	0,030	0,031	0,032
P3	0,026	0,027	0,028	0,029	0,030	0,031	0,032	0,033
P4	0,027	0,028	0,029	0,030	0,031	0,032	0,033	0,034
P5	0,028	0,029	0,030	0,031	0,032	0,033	0,034	0,035
P6	0,029	0,030	0,031	0,032	0,033	0,034	0,035	0,036
P7	0,030	0,031	0,032	0,033	0,034	0,035	0,036	0,037
P8	0,031	0,032	0,033	0,034	0,035	0,036	0,037	0,038
Media	0,027	0,028	0,029	0,030	0,031	0,032	0,033	0,034

T-23B (Cbm)g - Carbonato I

	SiO2	FeO	MnO	MgO	CaO	SrO	BaO	Σ
P1	0,000	0,036	0,116	0,848	46,869	1,027	0,145	49,041
P2	0,000	0,045	0,148	0,777	55,021	1,016	0,132	57,139
P3	0,000	0,000	0,122	0,641	54,310	0,645	0,097	55,815
P4	0,026	0,012	0,123	1,008	54,471	1,098	0,049	56,787
P5	0,000	0,076	0,113	1,098	55,344	1,097	0,086	57,814
P6	0,004	0,000	0,101	1,054	52,822	1,066	0,113	55,160
P7	0,045	0,260	0,123	18,075	25,395	0,440	0,000	44,338
P8	0,031	0,052	0,108	1,786	44,742	0,983	0,157	47,859
Média	0,013	0,060	0,119	3,161	48,622	0,922	0,097	52,994

T-23b (Cbm)g - Carbonato II

	SiO2	FeO	MnO	MgO	CaO	SrO	BaO	Σ
P1	0,025	0,030	0,098	0,964	55,661	1,028	0,029	57,835
P2	0,000	0,034	0,062	0,905	53,544	1,064	0,079	55,688
P3	0,022	0,000	0,130	0,551	53,863	1,038	0,071	55,675
P4	0,016	0,013	0,154	0,928	55,229	1,108	0,140	57,588
P5	0,002	1,981	0,234	0,688	53,023	0,364	0,000	56,292
P6	0,045	0,260	0,123	18,075	25,395	0,440	0,000	44,338
P7	0,017	0,000	0,112	0,909	55,165	1,021	0,128	57,352
Média	0,018	0,331	0,130	3,289	50,269	0,866	0,064	54,967

T-49 (Cfcm) - Carbonato I

	SiO2	FeO	MnO	MgO	CaO	SrO	BaO	Σ
P1	0,018	0,999	0,357	19,215	24,456	0,285	0,025	45,355
P2	0,03	0,44	0,19	19,32	24,53	0,32	0,00	44,825
P3	0,000	0,044	0,161	0,888	54,538	1,206	0,136	56,973
P4	0,000	0,003	0,151	0,811	55,090	0,771	0,132	56,958
P5	0,003	0,062	0,148	0,783	51,009	1,172	0,094	53,271
P6	0,020	0,181	0,125	0,967	53,229	1,055	0,123	55,7
Média	0,012	0,288	0,188	6,998	43,808	0,802	0,085	52,180

T-49 (Cfcm) - Carbonato II

	SiO2	FeO	MnO	MgO	CaO	SrO	BaO	Σ
P1	0,025	0,950	0,181	18,909	24,621	0,242	0,000	44,928
P4	0,002	0,185	0,164	19,355	29,724	0,327	0,029	49,786
P2	0,007	0,077	0,208	1,031	54,966	1,090	0,139	57,518
P3	0,021	0,044	0,092	0,713	52,273	0,710	0,156	54,009
P5	0,011	0,133	0,158	1,332	51,226	0,723	0,133	53,716
P6	0,015	0,074	0,137	0,892	47,444	0,667	0,120	49,349
P7	0,000	0,099	0,148	0,842	53,248	1,093	0,066	55,496
P8	0,000	0,085	0,163	1,042	51,432	0,656	0,161	53,539
Média	0,010	0,206	0,156	5,515	45,617	0,689	0,101	52,293

T-31 (Cfcm) - Carbonato I

	SiO2	FeO	MnO	MgO	CaO	SrO	BaO	Σ
P1	0,013	0,323	0,153	18,874	27,545	0,354	0,023	47,285
P2	0,000	0,430	0,191	19,105	29,926	0,321	0,000	49,973
P3	0,017	0,205	0,137	19,304	29,419	0,521	0,041	49,644
P4	0,041	0,294	0,180	18,981	30,236	0,425	0,000	50,157
Média	0,018	0,313	0,165	19,066	29,282	0,405	0,016	49,265

T-31 (Cfcm) - Carbonato II

	SiO2	FeO	MnO	MgO	CaO	SrO	BaO	Σ
P1	0,012	0,284	0,156	19,602	28,674	0,180	0,054	48,962
P2	0,030	0,284	0,143	19,043	26,130	0,318	0,034	45,982
P3	0,002	0,429	0,177	19,173	25,244	0,523	0,023	45,571
P4	0,007	0,238	0,183	19,618	28,506	0,308	0,000	48,86
Média	0,013	0,309	0,165	19,359	27,139	0,332	0,028	47,344

TL-07/2006 (Cacfm)

	SiO2	FeO	MnO	MgO	CaO	SrO	BaO	Σ
P1	0,000	0,000	0,097	0,335	50,591	0,598	0,006	51,627
P2	0,000	0,034	0,101	0,291	49,125	0,242	0,008	49,801
P3	0,000	0,000	0,115	1,044	55,651	0,686	0,053	57,549
P9	0,000	0,000	0,123	1,191	54,037	0,633	0,058	56,042
P11	0,024	0,000	0,103	1,042	53,762	0,621	0,000	55,552
P13	0,030	0,000	0,145	1,060	54,363	0,565	0,018	56,181
P17	0,014	0,014	0,116	0,816	53,934	0,703	0,057	55,654
P19	0,009	0,000	0,124	0,903	52,113	0,668	0,010	53,827
P7	0,004	0,178	0,137	21,108	31,604	0,288	0,039	53,358
Média	0,009	0,025	0,118	3,088	50,576	0,556	0,028	54,399

TL-13/2006 (Cacfm parcialmente alterado)

	SiO2	FeO	MnO	MgO	CaO	SrO	BaO	Σ
P1	0,000	0,119	0,113	0,317	51,542	0,396	0,033	52,520
P2	0,000	0,127	0,056	0,326	49,350	0,269	0,060	50,188
P6	0,033	0,131	0,080	0,853	52,387	0,748	0,130	54,362
P7	0,000	0,016	0,066	0,215	50,130	0,176	0,000	50,603
P12	0,009	0,108	0,190	0,457	52,348	0,677	0,102	53,891
P19	0,000	0,256	0,178	1,080	53,907	0,594	0,150	56,165
P20	0,006	0,181	0,186	1,101	56,144	0,639	0,095	58,352
P23	0,000	1,570	0,042	0,454	51,511	0,310	0,098	53,985
P13	0,000	0,488	0,139	20,626	31,266	0,269	0,032	52,820
Média	0,005	0,333	0,117	2,825	49,843	0,453	0,078	53,654

1	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
2	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
3	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
4	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
5	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
6	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
7	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
8	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
9	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
10	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000

1	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
2	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
3	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
4	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
5	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
6	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
7	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
8	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
9	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
10	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000

1	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
2	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
3	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
4	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
5	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
6	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
7	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
8	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
9	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
10	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000

DOAÇÃO

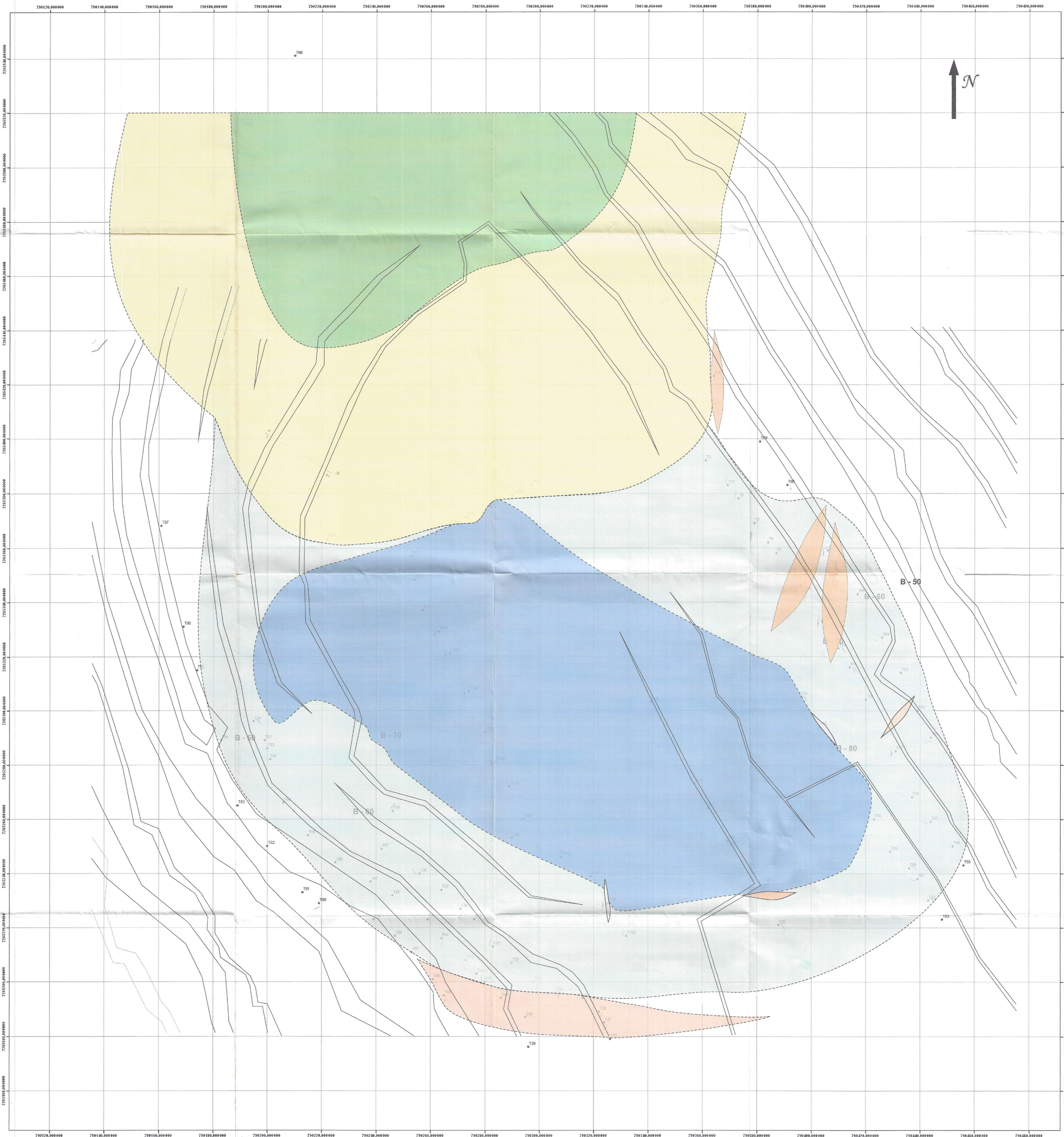
IGC-USP

Data: 07/05/08

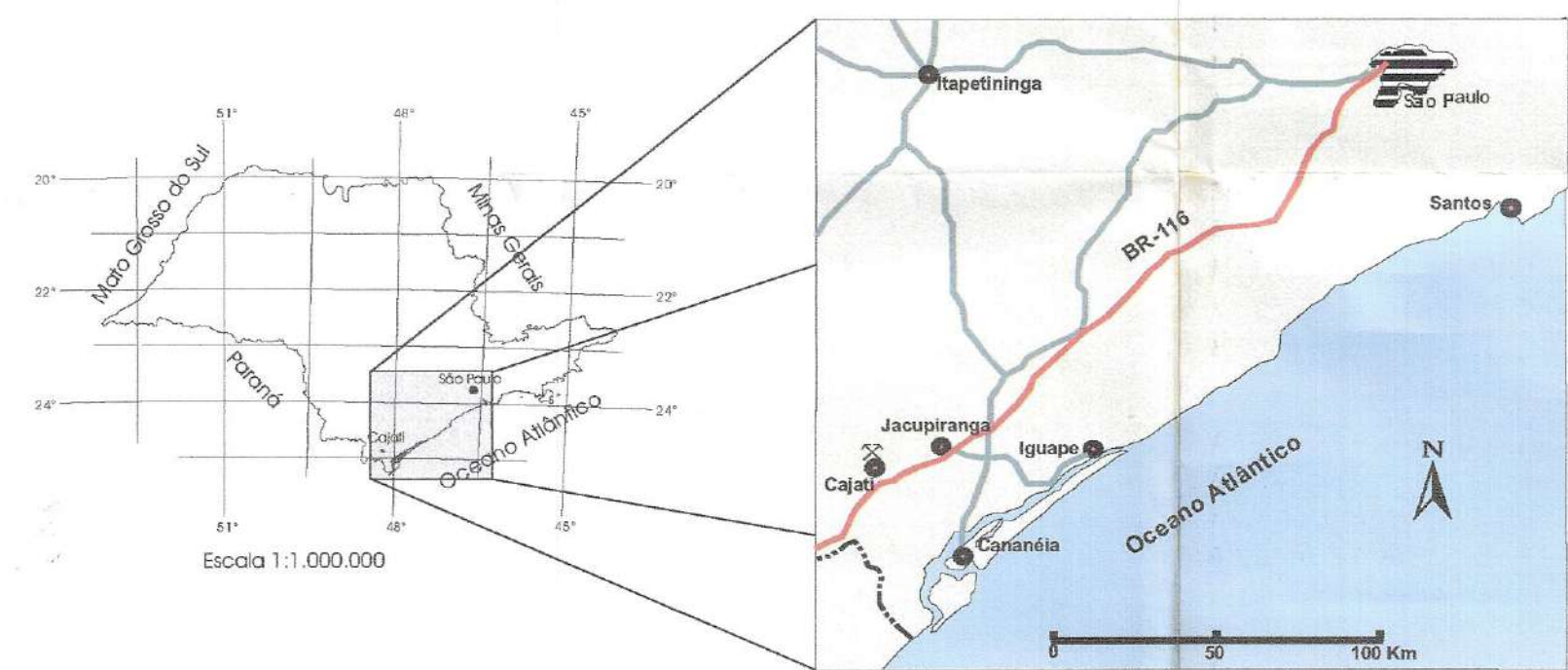


MAPA GEOLÓGICO DA REGIÃO CENTRAL DA MINA DE CAJATI - SP

MONOGRAFIA DO TRABALHO DE FORMATURA - TF2007/41



LOCALIZAÇÃO DA ÁREA NO ESTADO



Avaliação comparativa dos atributos geológicos, mineralógicos, químicos e estruturais de corpos carbonatíticos da mina de apatita de Cajati, SP: implicações no modelo de lavra.

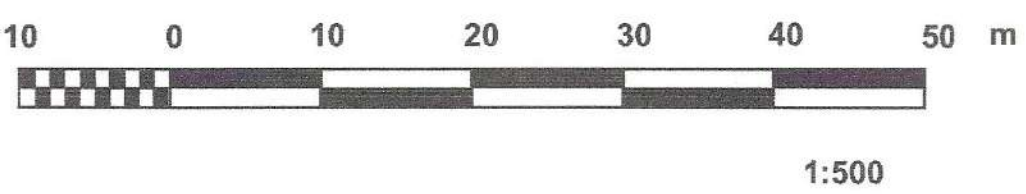
Talita Cristina de Oliveira Ferreira
Orientador: Jorge S. Bettencourt

TF2007/41

* Para maiores informações consultar Monografia do Trabalho de Formatura

LEGENDA

- Carbonatito Branco (CBR)** – Carbonatito calcítico branco de granulação média, cor branca e estrutura macia, composto por apatita fina acicular, radial, concentrada em bolsões (5 - 10%), magnetita fina em aglomerados centimétricos, podendo ocorrer localmente em granulometria grossa (até 2 cm), flogopita esverdeada, sulfetos concentrados em vênulas ou bolsões e sem a presença de olivina.
- Carbonatito branco dolomítico oxidado (Cbdo)** – Predomina estrutura macia, coloração alaranjada, ocasionada pela oxidação pervasiva e alteração ao longo das fraturas ou falhas, e mineralogia representada por magnetita oxidada (<5%), apatita fina e alaranjada (7%), flogopita média, euédrica e esverdeada (5-7%) e ausência de sulfetos finos.
- Carbonatito foliado médio oxidado (Cfmo)** – Carbonatito inequigranular com textura seriada fina a média, cor alaranjada, ocasionada pela oxidação pervasiva e alteração ao longo das fraturas ou falhas> Mineralogicamente resume-se a: magnetita oxidada (~10-15%), apatita fina e alaranjada (7-12%) e sulfetos ausentes. A matriz é predominantemente calcítica (~60%), com porções dolomíticas frequentes, onde a rocha é caracterizada pela coloração creme e pela quantidade menor de acessórios, exceto apatita, que nesses casos ocorre com teores maiores que 10%.
- Carbonatito foliado médio cinza (Cfmc)** – Carbonatito inequigranular seriada fina a média, branco acinzentado. Sua composição mineralógica se resume a: carbonato calcítico, com pequenas porções dolomíticas (~50-70%), magnetita fina a média, euédrica (~12-18%), apatita fina a média transparente (~5-10%), flogopita fina estirada (~5-7%) e sulfetos associados (~3%). Os acessórios são orientados de acordo e definem foliação ígnea horizontalizada ao sul e verticalizada à norte.
- Zona de Xenólitos (XEN)** – caracterizada pela ocorrência de xenólitos de jacupiranguito em matriz carbonática subordinada. O carbonatito da matriz possui granulação fina a média e cor branca, quase ausente de minerais acessórios máficos. A estrutura geral é brechada, com os xenólitos de jacupiranguito de diversas formas geométricas, variando de métricos a decimétricos. Comumente ocorrem bordas de reação no contato entre a matriz e o jacupiranguito, denominada zona de reação. Esta zona é bandada, intercalando silicatos avermelhados, principalmente flogopita, e carbonatos. O jacupiranguito corresponde a um magnetita-clinopiroxênio, de cor cinza escuro, esverdeado, com textura fanerítica fina, composto por piroxênio, olivina e demais minerais acessórios.
- Carbonatito Norte (CBN)** – Carbonatito calcítico (calcita com quantidades superiores a 50%), cor branco acinzentado e granulação normal (2<d<5mm). Os minerais principais são apatita fina e transparente (~5-8%), magnetita (~5-10%) com tamanhos inferiores a 3mm, sulfetos e localmente flogopita fina (0,3<d<1cm).
- Carbonatito Intermediário (CBI)** – Carbonatito calcítico branco de granulometria média a grossa (~3 a 5 mm), levemente foliado. Mineralogicamente composto por: apatita grossa a média, esverdeada e prismática (~7%), magnetita grossa a muito grossa (~10-20%), flogopita média, euédrica (~7%), sulfetos maciços, granulares (3%) e olivina muito grossa, comumente serpentinizada (10%). Neste carbonatito é comum a ocorrência de blocos de jacupiranguito decimétricos a métricos e bandas silicáticas intercaladas.



CONVENÇÕES

- Curvas de níveis (base e topo das bancadas)
- Zonas de falha com indicação de mergulho
- Fraturas com mergulho indicado
- Direção de foliação ígnea com indicação de mergulho
- Contato observado
- Contato inferido

PIT - MARÇO 2007

COORDENADAS UTM LOCAIS PRÓXIMAS ÀS COORDENADAS UTM
Projeção Esfereográfica
Datum: Corrego Alegre - 23S

