UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

ESTUDO DA ALTERAÇÃO INTEMPÉRICA DAS
ROCHAS RICAS EM APATITA DA MINA GONZAGA
DE CAMPOS, ASSOCIADAS AO MACIÇO
ALCALINO-CARBONATÍTICO DE IPANEMA, SP

Raquel Valério de Sousa Florêncio

Orientadora: Profa. Dra. Maria Cristina Motta de Toledo

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

COMISSÃO JULGADORA

	nome	ass.
Presidente:	Profa. Dra. Maria Cristina M. de Toledo
Examinadores:	Prof. Dr. Eronaldo Bonfim Rocha
	Prof. Dr. Henrique Kahn

São Paulo
1995

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DEDALUS - Acervo - IGC

30900004911

**ESTUDO DA ALTERAÇÃO INTEMPÉRICA DAS
ROCHAS RICAS EM APATITA DA MINA GONZAGA
DE CAMPOS, ASSOCIADAS AO MACIÇO
ALCALINO-CARBONATÍTICO DE IPANEMA, SP**

Raquel Valério de Sousa Florêncio

Orientadora: Profa. Dra. Maria Cristina Motta de Toledo

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica

**São Paulo
1995**

***A Terra, nós não a herdamos de nossos antepassados e sim, a
emprestamos de nossos filhos.***

(De um filósofo holandês)

Aos meus filhinhos queridos Átila e Leonardo.

SUMÁRIO

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABELAS

ÍNDICE DE FOTOS

AGRADECIMENTOS

RESUMO

ABSTRACT

CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO	1
I.1. OBJETIVOS, MATERIAIS E MÉTODO	2
I.2. ASPECTOS GERAIS DOS MACIÇOS ALCALINO-CARBONATÍTICOS	4
I.3. MACIÇOS ALCALINO-CARBONATÍTICOS NO BRASIL	5
I.4. BENS MINERAIS ASSOCIADOS AOS COMPLEXOS ALCALINO-CARBONATÍTICOS	8
I.4.1. Mantos de alteração estudados recentemente no Brasil	10
I.4.2. Dinâmica do fósforo nas jazidas lateríticas sobre os Complexos Alcalino-Carbonatíticos	12
CAPÍTULO II - O COMPLEXO ALCALINO-CARBONATÍTICO DE IPANEMA	16
II.1. SITUAÇÃO GERAL	16
II 1.1. Localização	16
II 1.2. Acessos	16
II 1.3. Relevo	16
II 1.4. Vegetação	17
II 1.5. Clima	17
II.1.6. Idade	17
II.2. HISTÓRICO DA ÁREA	17
II.2.1. Histórico das pesquisas geológicas e atividades mineiras.	18
II.3. GEOLOGIA REGIONAL	19

II 4. GEOLOGIA LOCAL, PETROGRAFIA E MINERALOGIA	20
II.4.1. As rochas da intrusão	20
II.4.2. A apatita de Ipanema	21
II 5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE A ALTERAÇÃO INTEMPÉRICA NO MACIÇO E A JAZIDA FOSFÁTICA SUPÉRGENA	24
CAPÍTULO III - CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS DA MINA GONZAGA DE CAMPOS	29
III.1. AS ROCHAS SÃS	29
III.1.1 A rocha apatítica bandada	29
III.1.2 A rocha glimerítica	31
III.1.3. Caracterização dos minerais primários	31
a. Apatita	31
b. Biotita	33
c. Anfibólio	33
d. Feldspato potássico	36
e. Magnetita	36
f. Outros minerais primários	36
III.2. ALTERAÇÃO DOS TIPOS LITOLÓGICOS: ASPECTOS MORFOLÓGICOS	40
III.2.1 A rocha apatítica bandada alterada	40
III.2.2 A rocha glimerítica alterada	42
III.3. ALTERAÇÃO DOS MINERAIS PRIMÁRIOS: ASPECTOS MORFOLÓGICOS, MINERALÓGICOS E GEOQUÍMICOS	44
III.3.1. Apatita	44
III.3.2. Biotita	45
III.3.3. Anfibólio	52
III.3.4. Outros minerais	52

III.4. OS PLASMAS SECUNDÁRIOS E AS FEIÇÕES ILUVIAIS	56
CAPÍTULO IV - CONCLUSÕES	61
FOTOMICROGRAFIAS	64
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67
ANEXO 1	76
ANEXO 2	81

ÍNDICE DE FIGURAS

	página
Figura 1 - Principais complexos Alcalino-Carbonatíticos do Brasil (Fonte: Berbert 1984 complementado de Ulbrich & Gomes 1981).	6
Figura 2 - Localização e mapa geológico regional do Maciço Alcalino-Carbonatítico de Ipanema, e localização da Mina Gonzaga de Campos (Fonte: Serrana 1976a e b).	22
Figura 3 - Desenho esquemático do perfil de alteração exposto na Mina Gonzaga de Campos.	30
Figura 4 - Espectro de absorção no infravermelho para a amostra GC.A.3, de apatita primária, da Mina Gonzaga de Campos.	32
Figura 5 - Esquema morfológico e mineralógico da evolução da rocha apatítica bandada, tal como verificado no perfil de intemperismo da Mina Gonzaga de Campos.	41
Figura 6 - Esquema morfológico e mineralógico da evolução da rocha glimerítica, tal como verificado no perfil de intemperismo da Mina Gonzaga de Campos.	43
Figura 7 - Espectros EDS da apatita sã, apatita em alteração (com traços de Al) e wavelita, obtidos ao MEV, sobre amostras da Mina Gonzaga de Campos.	46
Figura 8 - Espectros EDS da biotita e seus produtos de alteração pseudomórfica, obtidos ao MEV sobre amostras da Mina Gonzaga de Campos.	49
Figura 9 - Diagramas triangulares mostrando a evolução química na alteração das biotitas, segundo os dados da tabela 6.	51
Figura 10 - Espectros EDS dos anfibólios e seus produtos de alteração, obtidos ao MEV sobre amostras da Mina Gonzaga de Campos.	53
Figura 11 - Diagrama triangular (Ca/Mg/Fe) mostrando a evolução química na alteração dos anfibólios, conforme os dados da tabela 7.	55

ÍNDICE DE TABELAS

	página
Tabela 1 - Tipos petrográficos existentes no Maciço Alcalino-Carbonatítico de Ipanema e sua composição mineral, em porcentagem, segundo Leinz (1940).	20
Tabela 2 - Composição química média, em porcentagem, dos tipos de minério definidos pela Serrana S. A., em Ipanema (Serrana, 1976b).	27
Tabela 3 - Composição mineralógica média, em porcentagem, dos tipos de minério definidos pela Serrana S. A., em Ipanema (Serrana, 1976b).	27
Tabela 4 - Reservas do minério fosfático de Ipanema, segundo Serrana (1975).	28
Tabela 5 - Composição química das apatitas das rochas da Mina Gonzaga de Campos, obtida por análises pontuais ao MEV com EDS, sobre lâminas delgadas de amostras da Mina Gonzaga de Campos.	34
Tabela 6 - Composição química das biotitas das rochas da Mina Gonzaga de Campos, obtida por análises pontuais ao MEV com EDS, sobre lâminas delgadas de amostras da Mina Gonzaga de Campos.	35
Tabela 7 - Composição química dos anfibólios das rochas da Mina Gonzaga de Campos, obtida por análises pontuais ao MEV com EDS, sobre lâminas delgadas de amostras da Mina Gonzaga de Campos.	37
Tabela 8 - Composição química dos feldspatos potássicos das rochas da Mina Gonzaga de Campos, obtida por análises pontuais ao MEV com EDS, sobre lâminas delgadas de amostras da Mina Gonzaga de Campos.	38
Tabela 9 - Composição química das magnetitas das rochas da Mina Gonzaga de Campos, obtida por análises pontuais ao MEV com EDS, sobre lâminas delgadas de amostras da Mina Gonzaga de Campos.	39
Tabela 10 - Composição química média da apatita primária (tabela 5) e análises pontuais ao MEV com EDS de seus produtos de alteração (wavelita), na Mina Gonzaga de Campos.	47

Tabela 11 - Composição química média da biotita (tabela 6) e análises pontuais ao MEV com EDS sobre seus produtos de alteração em pseudomorfoses, em materiais da Mina Gonzaga de Campos.	50
Tabela 12 - Composição química média do anfibólio (tabela 7) e análises pontuais ao MEV com EDS sobre seus produtos de alteração em pseudomorfoses, em materiais da Mina Gonzaga de Campos.	54
Tabela 13 - Composição química dos plasmas secundários ocorrentes no perfil da Mina Gonzaga de Campos (a, b, c e d: vide texto).	59 e 60
Tabela 14 - Composição química das apatitas das rochas da Mina Gonzaga de Campos, obtida por análises pontuais ao MEV com EDS, sobre lâminas delgadas de amostras da Mina Gonzaga de Campos (dados da tabela 5 não corrigidos).	82
Tabela 15 - Composição química das biotitas das rochas da Mina Gonzaga de Campos, obtida por análises pontuais ao MEV com EDS, sobre lâminas delgadas de amostras da Mina Gonzaga de Campos (dados da tabela 6 não corrigidos).	83
Tabela 16 - Composição química dos anfibólios das rochas da Mina Gonzaga de Campos, obtida por análises pontuais ao MEV com EDS, sobre lâminas delgadas de amostras da Mina Gonzaga de Campos (dados da tabela 7 não corrigidos).	84
Tabela 17 - Composição química dos feldspatos potássicos das rochas da Mina Gonzaga de Campos, obtida por análises pontuais ao MEV com EDS, sobre lâminas delgadas de amostras da Mina Gonzaga de Campos (dados da tabela 8 não corrigidos).	85
Tabela 18 - Composição química das magnetitas das rochas da Mina Gonzaga de Campos, obtida por análises pontuais ao MEV com EDS, sobre lâminas delgadas de amostras da Mina Gonzaga de Campos (dados da tabela 9 não corrigidos).	86
Tabela 19 - Composição química média da apatita primária (tabela 5) e análises pontuais ao MEV com EDS de seus produtos de alteração (wavelita), na Mina Gonzaga de Campos (dados da tabela 10 não corrigidos).	87
Tabela 20 - Composição química média da biotita (tabela 6) e análises pontuais ao MEV com EDS sobre seus produtos de alteração em pseudomorfoses, em materiais da Mina Gonzaga de Campos (dados da tabela 11 não corrigidos).	88

Tabela 21 - Composição química média do anfibólio (tabela 7) e análises pontuais ao MEV com EDS sobre seus produtos de alteração em pseudomorfoses, em materiais da Mina Gonzaga de Campos (dados da tabela 12 não corrigidos).	89
Tabela 22 - Composição química dos plasmas secundários ocorrentes no perfil da Mina Gonzaga de Campos (a, b, c e d: vide texto) (dados da tabela 13 não corrigidos).	90

ÍNDICE DE FOTOMICROGRAFIAS

	página
Foto 1 - Apatita primária em alteração, com formação de wavelita (MO)	65
Foto 2 - Apatita primária em alteração, com desenvolvimento de poros de dissolução (MEV). Os espectros EDS dos locais mais atingidos pela dissolução já apresentam algum Al, além de P e Ca, mostrando o aporte necessário à neoformação de wavelita, produto da alteração da apatita na Mina Gonzaga de Campos.	65
Foto 3 - Wavelita, produto da alteração da apatita. Note-se a película ferruginosa em rede, sublinhando os contatos originais entre os grãos apatíticos (MO).	65
Foto 4 - Wavelita neoformada, em geodo (MEV).	65
Foto 5 - Biotita alterada em interestratificados biotita-vermiculita e vermiculita (MEV).	66
Foto 6 - Alteração do anfibólio em padrão finamente denticulado ("pente") e resíduo ferruginoso, formando paredes pseudomórficas (MEV).	66
Foto 7 - Fissura na rocha apatítica bandada alterada com materiais ferruginosos iluviais responsáveis pelo deslocamento relativo entre os fragmentos de rocha isoalterada (MO).	66

AGRADECIMENTOS

É com muita alegria e satisfação que chego ao final deste árduo trabalho.

Árduo por toda ordem de dificuldades encontradas no decorrer de seu percurso, que em um momento muito sério em minha vida, achei que deveria interrompê-lo por não ter mais condições de prosseguir. Entretanto, continuei lutando, e nem sei mesmo como aqui cheguei, não fosse o carinho a colaboração e a prestatividade de diversas pessoas, entre professores, funcionários, amigos e familiares, às quais gostaria de deixar registrado os meus mais sinceros agradecimentos:

Em primeiro lugar, à profa. Dra Maria Cristina Motta de Toledo, minha orientadora, que acompanhou-me em todas as fases desta dissertação, dando apoio técnico, científico e bibliográfico, direcionando-me de forma altamente crítica e profissional, fazendo-me tomar gosto pela pesquisa científica e, em especial, agradeço pelo seu companheirismo e amizade que tornou a realização deste trabalho muito mais prazerosa.

Ao professor Helmut Born pelas críticas e sugestões que me fizeram compreender ainda mais algumas questões específicas de minha área de pesquisa, além do fornecimento de material bibliográfico.

Ao professor José Vicente Vallareli pela obtenção da análise ao infravermelho, no Instituto de Química/USP, bem como pelo auxílio na interpretação do resultado obtido.

Aos professores Joel Sígolo e Sônia Maria Barros de Oliveira, quando da leitura de meu exame de qualificação, pelas críticas e sugestões que tanto enriqueceram este trabalho.

À Sara Lenharo pela atenciosidade dispensada em ajudar-me a dissipar dúvidas com relação aos cálculos de parâmetros de cela unitária da apatita.

Ao professor Armand Boujo, quando do início deste trabalho, auxiliou-me na interpretação de artigos pesquisados.

Ao Laboratório de Microscopia Eletrônica da Orstom (Bondy, França), pela possibilidade de uso de seus equipamentos.

À Universidade de Aix-Marseille III pela análise de difração de raios X sobre lâminas delgadas, feita pelo Dr. René Flicoteaux,

À Fazenda Ipanema pelo apoio logístico.

À Mineração Serrana S/A pela cessão de amostras e relatórios, em especial ao geólogo Richard Margutti e ao seu funcionário "Chiquinho".

A todos os funcionários dos laboratórios do Instituto de Geociências como Samuel e Mário, do laboratório de preparação de amostras, Cleide e Suely, do laboratório de Geoquímica, Walter, Sr. Gouveia, João Antunes do laboratório da Geocron, Sr. Jaime pela confecção de fotos e slides, ao Sr. Dalto pela encadernação, ao Cláudio e Luiz pela preparação de Lâminas delgadas, e em especial, a amiga Verônica do laboratório de análises mineralógicas sempre tão prestativa, pontual e solícita, que nem dá para enumerar todo auxílio que me tem prestado.

Ao funcionário Helder do NUPEGEL (Núcleo de Pesquisa em Geoquímica e Geofísica da Litosfera) pelo apoio na obtenção de difratogramas de raios X, bem como pelo auxílio na operação dos equipamentos de MEV com EDS do IAG e do FRANZ, do laboratório de análises mineralógicas.

Aos amigos João e Flávio, do laboratório de raios-X, pela apoio na obtenção de difratogramas de raios-x, e ainda ao Flávio, pelo apoio na obtenção e compreensão dos parâmetros para o cálculo de cela unitária da apatita.

Aos desenhistas: Francisco (pelo mapa geológico), aluno Ideval de Sousa (pelos desenhos das figuras 5 e 6) e Eduardo (pelos desenhos das demais figuras).

Aos amigos Arnaldo e Délcio pelo carinho, prestatividade e solicitude com que leram este trabalho, dando-me sugestões tão preciosas, e ainda ao amigo Arnaldo pelo fornecimento de material bibliográfico.

Às amigas Rosely e Cleide por toda força que sempre têm me dado, auxiliando-me sempre em momentos difíceis.

À amiga Maria Luiza pelo auxílio na impressão final, especialmente pela melhoria na estética do quadro 1 e figura 3.

Ao colega Eronaldo pelo apoio na impressão final, auxiliando-me na montagem de figuras quando do uso da máquina xérox.

Ao colega Vitor Paulo Pereira, pelo apoio prestado na primeira campanha de campo.

À Ivone pelo seu coleguismo e quem, de um relance, depositou em mim, grande amizade. A todos os funcionários da biblioteca, em especial à Estela pelo auxílio na uniformização de minhas referências bibliográficas.

À CAPES pelo auxílio à bolsa e FAPESP e CNPQ pelo auxílio à pesquisa.

Ao Jefferson, meu esposo, por me ter fornecido condições de trabalho.

E finalmente, agradeço com carinho muito especial à minha mãe e ao meu pai, por tudo que têm feito, pois sem o seu apoio, a finalização deste trabalho teria sido mesmo impossível.

E a todos aqueles que de uma maneira indireta me apoiaram, confiando e torcendo por mim.

RESUMO

Este trabalho trata dos materiais intemperizados expostos na Mina Gonzaga de Campos, formados a partir de rochas ricas em apatita associadas ao Complexo Alcalino Carbonatítico de Ipanema (SP), e visou ao reconhecimento das modificações morfológicas, filiações minerais e evolução química geral causadas pelo processo intempérico. Esta área corresponde a um dos locais pesquisados pela Serrana S.A. de Mineração, visando à lavra experimental do depósito fosfático de Ipanema, associado ao Complexo.

Os estudos realizados (morfológicos, mineralógicos e geoquímicos pontuais) evidenciaram a presença de dois tipos litológicos básicos no local, interrelacionados espacialmente de maneira complexa, sendo que um deles apresenta características de dique, cortando o outro, anterior. São eles, respectivamente, rocha apatítica bandada (biotita, hastingsita, apatita, magnetita) e rocha glimerítica (biotita, apatita, hastingsita).

Os minerais primários apresentaram uma evolução química e mineral em direção a materiais secundários típicos do intemperismo em clima tropical, sendo que as fases filossilicáticas apresentaram estágio intermediário importante. Assim, os anfibólios (hastingsita) mostraram alteração para oxihidróxidos de ferro (goethita) em pseudomorfoses. As biotitas, passando por estágio importante de interestratificados biotita-vermiculita e vermiculita, mostraram evolução para caulinita somente nas partes mais evoluídas do perfil. A magnetita mostrou dissolução parcial e, finalmente, a apatita evoluiu para wavelita. Apatita secundária teve formação muito restrita e ligada à mobilização de fósforo e cálcio fora dos pontos com apatita primária.

A maior parte do perfil é de isalterita, sustentada pelos produtos ferruginosos e apatita, mais resistente. A aloterização ocorre tanto pela desestabilização progressiva das pseudomorfoses, como pela invasão de produtos iluviais (com presença de Fe, Si, Al, P e Ti, formando goethita, caulinita e wavelita) ao longo de fissuras em sucessivas gerações de cutãs que ajudaram a destruir o caráter isalterítico.

Enquanto que na isalterita ainda há elementos potencialmente lixiviáveis nestas condições de intemperismo laterítico, tanto pela mais tardia alteração das apatitas (no caso do Ca) como pela lenta evolução das biotitas (no caso do K e Mg e, em menor escala, do Si), na aloterita ocorrem somente os elementos residuais (Fe, Al e, em parte, Si). O fósforo quase não ocorre na aloterita, demonstrando que sofreu

lixiviação após a formação dos fosfatos secundários, embora não tenha sido verificada diretamente a desestabilização da wavelita.

Dois pontos a serem ressaltados neste estudo com respeito a peculiaridades deste setor do manto de alteração sobre o Complexo de Ipanema são os seguintes: a) a alteração da apatita forma diretamente um fosfato de alumínio (wavelita) sem estágios intermediários existentes em outros locais (fosfatos da família da crandalita), promovendo, portanto, uma lixiviação imediata do cálcio mesmo em micromeios aparentemente mal drenados (espaços inter e intracristalinos fechados) e b) o papel do intemperismo na gênese do depósito mineral fosfático de Ipanema foi no sentido de friabilizar a rocha e não de promover um enriquecimento relativo em fósforo apatítico, já que a grande quantidade de micas primárias sofreram lenta evolução com pouca perda de matéria na maior parte do perfil, ao contrário do que ocorre em outros maciços com menor abundância de minerais micáceos em suas rochas primárias, onde a alteração com perda importante de massa aumenta relativamente os teores em apatita.

ABSTRACT

This work treats on the weathered material from the Gonzaga de Campos Mine, originated from apatite rich rocks associated to Ipanema Alkaline Complex. Its aim was recognizing morphological, mineral and chemical changes through weathering processes. This area corresponds to an experimental local for exploitation of the Ipanema phosphatic deposit, associated to the Complex.

Two lithological types was shown by the materials in that mine: one, an apatitic banded rock (biotite, hastingsite, apatite, magnetite), with dyke characteristics, and other, a glimerite (biotite, apatite, hastingsite).

Primary minerals present a chemical and mineralogical evolution toward secondary materials typic of tropical weathering, although phyllosilicates had shown an important intermediate stage. So, amphibole (hastingsite) has weathered to iron oxyhydroxydes (goethite), forming pseudomorphs. Biotite, that has passed by an important earlier stage of interstratified biotite-vermiculite and vermiculite, finally evolved to kaolinite, in the upper parts of the profile. Magnetite has shown partial dissolution, and apatite, more resistant, evolved to wavelite, without intermediate minerals. Secondary apatite was formed in very restrict points, linked to the remobilization of Ca and P out of the apatite domaines.

Most of the profile is isalteritic, kept by ferruginous products and apatite. Alloteritization occurs either by progressive desestabilization of pseudomorphs, or by invasion of illuvial products (with Fe, (Ti), Si, Al, and P, forming goethite, kaolinite, and wavelite, respectively) along fissures in successive generations of cutans, which allows destroying isalteritic characteristics.

In the isalterite, mobile elements cen be still found, both because the late weathering of apatite (in the case of calcium), and because the slow evolution of phylossilicates (in the case of K and Mg and, in minor scale, Si). Phosphour is almost absent in the alloterite, which shows its lixiviation after later evolution of secondary phosphates, although this fact had not been directly observed.

Two points about the particularities of the Gonzaga de Campos Mine stand out: a) apatite weathering forms directly a secondary aluminous phosphate without intermediate stages of calcium-aluminous phosphates, like crandallite family, for instance, which is common over other complexes, and b) weathering role in the generation of the apatitic ore seems to have been making the rocks friables without promoting a relative enrichment in apatitic phosphate, because the most important mineral, biotite, has undergone slow evolution without important loss of mass through most part of the profile, the opposite of which normally occurs over the other complexes, where other silicate minerals are also important, but whose weathering evolution promotes more important loss of mass, causing a relative enrichment of phosphate.

I. INTRODUÇÃO

O intemperismo sobre complexos alcalino-carbonatíticos primariamente enriquecidos em apatita gera jazidas importantes de fosfatos, essencialmente por enriquecimento residual. Outros elementos químicos concentrados nestes complexos também podem, por mecanismos variados, sofrer enriquecimento durante o intemperismo. Assim, existe grande número de ocorrências e jazidas de Nb, Ti, ETR, U, Th, Fe, e outros, além de fosfatos, associados aos mantos de alteração destes complexos, com vários exemplos no Brasil.

O caso do complexo de Ipanema, no estado de São Paulo, tem sido estudado desde há muito tempo, já que lá situa-se uma das primeiras ocorrências de minério de ferro descobertas no Brasil, tendo sido instalados neste local os primeiros fornos para o seu beneficiamento, por volta de 1560. Posteriormente, foram verificadas na área a presença de micas expansivas e fosfatos. Contudo, os processos de intemperismo ainda não haviam sido abordados como nesta pesquisa, que faz parte de um trabalho bem mais amplo que pretende caracterizar, sob o ponto de vista da geoquímica de superfície, os materiais produzidos pelo intemperismo sobre as rochas associadas aos complexos alcalino-carbonatíticos próximos à borda da bacia do Paraná.

Neste contexto, podem ser citados algumas referências mais significativas: Flicoteaux et al (1990), Alcover Neto (1991), Walter (1991), Alcover Neto e Toledo (1993) e Almeida et al (1994) para o complexo de Juquiá; Imbernon (1993) para o de Catalão I; Melfi et al (1991), Soubiés et al (1991a) e Soubiés et al (1992) para o de Tapira; Soubiés et al (1991b) para o de Salitre e Toledo-Groke & Sousa (1991) para o de Ipanema.

1.1. OBJETIVOS, MATERIAIS E MÉTODO

Este trabalho visou à investigação dos mecanismos de evolução intempérica pelos quais passaram as rochas na área da Mina Gonzaga de Campos, associadas ao Maciço Alcalino Carbonatítico de Ipanema, procurando explicar as suas modificações morfológicas, texturais, mineralógicas e geoquímicas.

Para tal, foi realizada a caracterização dos materiais lá expostos, em suas diferentes fases evolutivas, através de trabalhos de campo e de laboratório, com análises morfológicas, físicas, mineralógicas, petrográficas e geoquímicas.

O método empregado aqui seguiu a tendência atual nesta área do conhecimento, na medida da disponibilidade das técnicas analíticas adequadas, e privilegiando as análises sobre amostras indeformadas, visando a uma compreensão das relações espaciais entre as diversas fases primárias e secundárias que constituem cada fácies e que informam sobre a cronologia relativa dos eventos que as originaram.

Assim, foram feitas três campanhas de campo, onde, em primeira instância, procedeu-se à visita a diversas minas (frentes experimentais de lavra) visando a escolha de um ou mais perfis de alteração.

A mina escolhida (Gonzaga de Campos) é, na verdade, uma das diversas frentes experimentais de lavra abertas pela Serrana S. A., estando fora dos limites da intrusão principal segundo o mapa geológico daquela companhia. Contudo, algumas razões se apresentaram para esta escolha: a mina Gonzaga de Campos é constituída pelo material de interesse para este trabalho, ou seja, material que permitia o estudo da evolução dos fosfatos apatíticos primários predominantemente em meio a minerais filossilicáticos (glimerito), o que possibilitaria uma comparação com outros locais; além disto, a heterogeneidade das rochas (glimerítica e bandada, descritas nos próximos s), as dimensões da exposição, a possibilidade de acesso seguro, a presença de fosfatos primários e secundários aluminosos bem como de argilominerais, caracterizando um bom exemplo de materiais bem evoluídos do ponto de vista do intemperismo químico também contribuíram para esta escolha.

A exposição foi subdividida em três partes segundo a variação de suas características macroscópicas, como coloração, estrutura, textura, granulometria e concentração dos minerais presentes. A partir dessa caracterização procedeu-se à amostragem dos diferentes setores para as etapas analíticas posteriores.

Outros materiais foram ainda observados e amostrados nos primeiros trabalhos de campo, em outras minas, sondagens e afloramentos diversos, mas não foram incluídos neste trabalho, que teve unicamente na Mina Gonzaga de Campos o seu objeto de estudo. Estes materiais serviram para fornecer uma idéia da variedade

de características das alteritas sobre diversas partes do Maciço, as quais deverão ser estudadas no futuro.

Em síntese, os trabalhos de campo constaram de:

- reconhecimento dos materiais,
- escolha e descrição detalhada dos perfis,
- definição dos locais para amostragem,
- coleta de amostras indeformadas e orientadas e amostras deformadas.

As etapas dos trabalhos de laboratório foram:

a. Fase de Preparação com:

- nova descrição das amostras e reconhecimento de fases separáveis manualmente ou com broca (preenchimento de poros e fissuras, nódulos, etc.) - IG-USP
- separação de alíquotas de amostra total e/ou das fases separadas para análises ou outras separações (granulométrica, densimétrica, magnética) - IG-USP
- moagem das amostras totais e/ou frações para Difração de raios X (DRX) - IG-USP
- impregnação de fragmentos indeformados e orientados para confecção de lâminas delgadas e polidas para utilização em Microscopia Óptica (MO), Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) - IG-USP

b. Fase de análises propriamente ditas:

- Análises sobre amostras com estrutura destruída:
DRX (identificação mineralógica e cálculo dos parâmetros de cela unitária da apatita) - IG e NUPEGEL - USO e ORSTOM (Bondy)
espectrofotometria no infra-vermelho (caracterização da apatita)- IQUSP.
- Análises sobre fragmentos naturais indeformados:
descrição morfológica à lupa binocular
microscopia eletrônica de varredura com EDS (análise micromorfológica e análises químicas pontuais qualitativas) NUPEGEL - USP e ORSTOM (Bondy)
- Análises sobre amostras indeformadas endurecidas com resina e laminadas:
microscopia óptica (análise micromorfológica e petrográfica) - IG-USP
microscopia eletrônica de Varredura (EDS) (análises químicas pontuais qualitativas e quantitativas) ORSTOM (Bondy)

Com relação às análises químicas, cabe aqui ressaltar que as análises pontuais realizadas ao MEV com EDS apresentaram sempre um fechamento ruim para os materiais alterados, o que é explicado pela natureza dos minerais, com graus variados e altos de hidratação, muitas vezes com baixa cristalinidade e ainda alta porosidade. Por outro lado, havendo nas lâminas delgadas de materiais intemperizados, sempre uma dificuldade adicional ao polimento pela presença de resina de impregnação e pelo caráter altamente poroso das amostras, a utilização do EDS é preferível à do WDS já que para este último a imperfeição do WDS é mais crítica.

Já que o programa utilizado no EDS já considerava todas as características e fenômenos físicos envolvidos nas análises, de modo a fornecer as relações de quantidade entre os óxidos considerados, mesmo com fechamento ruim (devido aos fatores já mencionados, intrínsecos ao material intemperizado) as análises foram encaradas como resultados relativos e utilizadas para definir as tendências geoquímicas evolutivas nas filiações minerais consideradas, através de diagramas triangulares, em cuja confecção, através do programa "Minfile", os dados foram corrigidos a 100% apenas para tornar possível as comparações. Desta forma, ao longo do trabalho encontram-se as tabelas corrigidas, sendo que as originais encontram-se no anexo correspondente.

I.2. ASPECTOS GERAIS DOS MACIÇOS ALCALINO-CARBONATÍTICOS

Todas as acumulações endógenas de calcita, dolomita e outros carbonatos em estreita relação espacial e genética com rochas ultrabásicas alcalinas diversas podem ter a denominação genérica de maciços alcalino-carbonatíticos (Smirnov 1976). Os complexos alcalino-carbonatíticos situam-se em todos os continentes, com vários exemplos conhecidos.

De um modo geral, os complexos alcalino-carbonatíticos estão associados às zonas anorogênicas e às bordas cratônicas intraplacas (Heinrich 1966; Kapustin 1971), relacionando-se a feições como *riffs*, falhas profundas, lineamentos e bacias intracratônicas sendo que 90% dos complexos alcalino-carbonatíticos conhecidos no mundo encaixam-se em granitos e gnaisses, rochas típicas de plataformas continentais evoluídas (Biondi 1986). No Brasil meridional, podem ser lembrados os exemplos dos maciços de Barra do Itapirapuã, Jacupiranga e Ipanema, encaixados em granitos e o de Juquiá, em gnaisses.

Os carbonatitos em geral integram complexos intrusivos do tipo ovalados ou circulares decorrentes de uma evolução magmática que segue a partir de rochas ultrabásicas até félsicas alcalinas. Ocorrem como pequenos *plugs* ou *stocks*, *cones-sheets*, *ring-dikes*, *stockworks* e veios que cortam as rochas encaixantes (Heinrich 1966). Todavia, são ainda conhecidos carbonatitos vulcânicos como alguns do leste africano (Kerimasi, Oldoinyo Lengai, Kizingiri, Kalyango), configurando um caso raro (Kapustin 1971).

As rochas alcalino-carbonatíticas distribuem-se ao longo de toda história geológica, desde o Mesoproterozóico até o recente. O carbonatito mais antigo conhecido é o de Palabora na África do Sul, com 2060 Ma (Palabora Mining Company 1976), idade determinada pelo método U/Pb. Entretanto, são bem conhecidas atividades recentes de vulcões carbonatíticos africanos como o Ondoinyo Lengai, na Tanzânia, que entrou em erupção em 1966 (Le Bas 1977).

Um outro fator comum entre praticamente todos os complexos conhecidos é a grande variedade petrográfica e mineralógica, devido aos processos de cristalização fracionada e imiscibilidade dos líquidos magmáticos, além de inúmeras transformações químicas posteriores (femitização) que normalmente afetam as rochas encaixantes nas proximidades das intrusões (Eckerman 1948 *apud* Biondi 1986).

I.3. MACIÇOS ALCALINO-CARBONATÍTICOS NO BRASIL

No Brasil, a maioria dos complexos alcalino-carbonatíticos conhecidos situa-se na Região Sudeste. Alguns estão no Brasil Central e menor número nas Regiões Norte e Nordeste, onde recentemente foram descobertas novos corpos: Angico dos Dias, no norte da Bahia (Silva *et al.* 1988), e Maicuru, no Pará e Mutum, no Amazonas (Lemos & Costa 1987 e 1989) (figura 1). Estas novas ocorrências, ao contrário da maioria dos demais complexos, de idade mesozóica, são bem mais antigas, segundo os autores citados, representando idades pré-cambrianas de 2011 ± 6 Ma para Angico dos Dias (U/Pb) (Silva *et al.* op. cit.) e 1026 ± 28 Ma para Mutum (K/Ar) (Ulbrich & Gomes 1981). Além destas, há ainda uma outra nova descoberta: o complexo de Seis Lagos, situado na porção noroeste do Estado do Amazonas, com grandes potencialidades econômicas para manganês, nióbio e terras-raras (Issler *et al.* 1975).

A localização destes complexos em bordas cratônicas, em bordas de bacias e em regiões litorâneas, é condicionada a regimes tectônicos regionais (Reativação Waldeniana), que já tinham sido evidenciados por Almeida (1971, 1972).

Figura 1- Principais complexos alcalino-carbonatíticos do Brasil (Fonte: Berbert 1984 complementado de Ulbrich & Gomes 1981).

(1. Seis Lagos, 2. Catrimani, 3. Cachorra, 4. Mutum, 5. Erepecuru, 6. Maicuru, 7. Maraonai, 8. Mapari, 9. Peixe, 10. Itaçaré, 11. Itaju da Colônia, 12. Potiraguá, 13. Guarapá Mirim, 14. Itarantim, 15. Itabuna, 16. Lages, 17. Anitápolis, 18. Mato Preto, 19. Itapirapuã, 20. Jacupiranga, 21. Juquiá, 22. Ipanema, 23. Tapira, 24. Araxá, 25. São Gotardo, 26. Salitre (I e II), 27. Serra Negra, 28. Catalão I, 29. Catalão II, 30. Morro do Engenho, 31. Canamã, 32. Sucunduri, 33. Fortaleza, 34. Ilha de Fernando de Noronha, 35. Ilha de Trindade, 36. Angico dos Dias, 37. Calapó, 38. Santo Antônio da Barra, 39. Piedade, 40. Itanhaém, 41. Piratini, 42. Morro de São João, 43. Cabo Frio, 44. Sobrinho, Rio Bonito, Tanguá, 45. Canaã, 46. Tinguá, 47. Mendanha, 48. Barra do Piraí, 49. Morro Redondo, 50. Itatiaia, 51. Passa Quatro, 52. Poços de Caldas, 53. Jaboticabal).

Ulbrich & Gomes (1981) propuseram uma classificação com oito tipos de associações petrográficas distribuídas por dez províncias alcalinas para os complexos brasileiros. Posteriormente, Almeida (1983) complementou a classificação acima com novas considerações tectônicas, além de incluir as intrusões não brasileiras da borda da Bacia do Paraná a leste do Paraguai e Uruguai, bem como as da Bolívia Oriental, no interior do Cráton Amazônico, elevando para doze o número de províncias alcalinas conhecidas, onde, entre elas, destaca-se a Província Ipanema.

O maciço alcalino-carbonatítico de Ipanema enquadra-se no tipo III da classificação de Ulbrich & Gomes (1981), onde as rochas mais importantes são glimeritos, dunitos, peridotitos, tipos mais félsicos (álcali-sienitos, malignitos e shonkinitos) e também rochas fortemente subsaturadas e espécies peralcalinas (ijolitos e melteijitos).

Devido à complexidade petrográfica desse tipo de associação, os mesmos autores (Ulbrich & Gomes 1981) fizeram uma subdivisão no tipo III, na qual Ipanema enquadra-se no grupo dos maciços com glimeritos como rochas silicatadas principais, e carbonatitos na forma de diques e *plugs*.

A fenitização varia em grau de intensidade de lugar para lugar, chegando as auréolas fenitizadas a atingir 2,5km de extensão ao redor de alguns maciços (Araxá, Catalão I e Tapira, segundo Gomes *et al.* 1990). Nos estágios iniciais do processo de fenitização, há formação de zonas fissuradas e/ou fraturadas preenchidas por minerais alcalinos de cristalização tardia (álcali-feldspatos, Na-piroxênios e Na-anfibólios) como ocorreu em Barreiro, Araxá, Catalão I e II, Salitre, Serra Negra e Tapira, e haveria também um decréscimo em quartzo, característica esta presente na maioria dos complexos (Biondi 1986).

Alguns casos particulares de fenitização encontrados são anfibolitização, feldspatização e aegirinização. O melhor exemplo conhecido de fenitização no Brasil ainda é o complexo de Jacupiranga (anfibolitização e flogopitização) devido ao seu grau de extensão e intensidade. Os maciços de Anitápolis, Araxá, Catalão I e II, Ipanema, Salitre e Tapira apresentam ainda nítida flogopitização, ocorrida quando da intrusão de magmas carbonatíticos nas rochas piroxeníticas.

I.4. BENS MINERAIS ASSOCIADOS AOS COMPLEXOS ALCALINO-CARBONATÍTICOS - A INFLUÊNCIA DO INTEMPERISMO

Os complexos alcalino-carbonatíticos concentram certos elementos que normalmente possuem clarke muito baixo. O enriquecimento está diretamente ligado à atividade magmática, sendo representado principalmente por óxidos, silicatos, fosfatos, sulfatos e outros compostos de elementos como Nb, ETR, Ni, Ti, Zr, Al, Be, Na, Ba, Sr e ainda outros. A alteração supérgena aumenta a importância econômica destas rochas, uma vez que é capaz de aumentar sobremaneira os teores primários, já elevados.

O intemperismo atuante sobre complexos alcalino-carbonatíticos resultou na formação de várias ocorrências minerais de grande interesse científico e econômico. Muito antes de serem reconhecidos como tal, alguns já eram explorados no passado como fonte de cal e, principalmente, de minério de ferro

. Como exemplo, podem ser citados o complexo de Palabora na África do Sul, explorado desde a idade antiga para minério de ferro e, posteriormente, cobre; o complexo de Fen, no sudeste da Noruega, de onde extraíram-se cerca de 1.000.000t de hematita entre 1652 e 1927, e o complexo de Alnö, na Suécia, com mina de ferro desenvolvida desde 1754 até 1884 (Notholt *et al.* 1990); no Brasil, o complexo de Ipanema, segundo Heinrich (1966), já supria, no final de 1600, as necessidades da América do Sul em ferro fundido.

Estas operações foram, entretanto, limitadas em termos de recursos, advindo o grande interesse por estas rochas somente após a descoberta de pirocloro como fonte de nióbio, no complexo de Fen, por Goldschmidt, em 1918 (Notholt *et al. op. cit.*). Posteriormente, a descoberta de outros usos para o nióbio, notadamente na siderurgia, motivou o aumento do interesse comercial em relação aos carbonatitos do leste e sul africanos, do Brasil e do Canadá.

A importância econômica dos maciços alcalino-carbonatíticos tem sido discutida em detalhe por diversos autores como Deans (1978), Berbert (1984), Méloux (1985), Verwoerd (1986) e Mariano (1989) apud Notholth *et al* (1989).

Os mantos de alteração desenvolvidos sobre estes complexos têm espessura variando de dezenas a centenas de metros, já tendo sido observado, no sudeste de Goiás e em Minas Gerais, mantos de alteração com mais de 200m de espessura (Gomes *et al.* 1990).

A grande variedade litológica inicial, bem como a variação na intensidade do intemperismo e a diversidade de fatores e mecanismos atuantes sobre os complexos alcalino-carbonatíticos definiram a grande heterogeneidade dos mantos de alteração existentes (Kapustin 1981).

O clima quente e úmido, aliado a um longo tempo de atuação do processo intempérico são os fatores diretamente responsáveis pela formação dos mais espessos mantos de intemperismo sobre os complexos alcalino-carbonatíticos. Atualmente, a grande maioria desses complexos situa-se na faixa tropical, havendo entretanto, espessos mantos de alteração em corpos situados em regiões de clima temperado, mas que foram desenvolvidos sob outras condições climáticas (Bardossy, 1981). Assim são o Complexo de Sokli na Finlândia (Vartiainen & Paarma 1979), o complexo de Cargill-Ontário, no Canadá (Sage & Watkinson 1991) e os complexos de Khibiny & Lovozero, na península de Kola (Rússia) (Slukin *et al* & Lapin 1989).

Mediante estudos paleoclimáticos em diversas regiões do globo, Kapustin (1973) concluiu que os mantos de intemperismo tiveram o seu melhor período de formação durante o Fanerozóico, sendo bem expressivos nos limites Devoniano/Carbonífero ou Carbonífero/Permiano e extremamente desenvolvidos no Cretáceo Superior/Eoceno.

Zanin (1989) ressalta a dificuldade em datar os mantos de intemperismo em geral e os fosfáticos em particular e apresenta algumas conclusões sobre o tema, conforme as informações disponíveis. Assim, aponta que a idade das principais formações de acumulações intempéricas de fosfatos (excluídos os relacionados a guanos) é mesozóica e cenozóica e parcialmente paleozóica e précambriana superior. Estas idades concordam, em alguns aspectos, com os períodos de fosfatogênese marinha mais intensa, como apontado por Cook & McElhinny (1979 apud Zanin 1989). O fósforo liberado pela alteração das rochas apatíticas nos períodos de intemperismo mais intenso contribuiria, em parte, para o aumento do teor em fósforo na água do mar, posteriormente depositados como fosforitos marinhos.

Ainda segundo Zanin (1989), a distribuição temporal e espacial dos depósitos fosfáticos relacionados ao intemperismo mostra que aqueles de latitudes mais altas são anteriores ao Eoceno e os perfis fosfáticos do Quaternário e Neógeno estão apenas na faixa tropical e subtropical.

I.4.1. ALTERAÇÃO DAS ROCHAS ASSOCIADAS A COMPLEXOS ALCALINO-CARBONATÍTICOS BRASILEIROS - ESTUDOS RECENTES.

No Brasil, a evolução supérgena das rochas associadas aos complexos alcalino-carbonatíticos tem sido estudada através de trabalhos com objetivos diferenciados, contemplando aspectos acadêmicos e aplicados (Born 1976, Silva et al. 1979, Costa et al. 1980, Costa & Sá 1980, Lucas et al. 1980, Oliveira & Schwab 1980, Siqueira & Lima 1982, Berbert 1984, Costa 1984, Costa & Reymão 1984, Lemos & Costa 1987, Braga & Born 1988, Kahn 1988, Walter et al. 1989, Schwab & Herold 1989, Alcover Neto 1991, Walter 1991, Soubiés et al. 1991, Pereira 1991, Alcover Neto & Toledo 1993 e Imbernon 1993, entre outros). Além destes podemos citar trabalhos semelhantes realizados em localidades fora do Brasil como os de Slansky et al (1964), Flicoteaux et al. (1977), Flicoteaux (1982) e Flicoteaux & Lucas (1984). Considerando os objetivos acadêmicos do presente trabalho e sua ênfase na alteração intempérica, foi feita uma síntese dos trabalhos disponíveis na literatura sobre alguns maciços alcalino-carbonatíticos brasileiros da região sudeste e da Província Alto Paranaíba de Almeida (1967), retratada através do quadro I.

Dentre estes, destaca-se o Maciço de Juquiá, estudado em seus aspectos geológicos, petrográficos e petrológicos por Born (1971 *a* e *b*) e Maciotta et al. (1988) e em seus aspectos de evolução supérgena por Alcover Neto (1991), Walter (1991) e Alcover Neto & Toledo (1993). Em comparação com outros maciços similares brasileiros, Juquiá constitui um exemplo extremo de enriquecimento em fósforo residual apatítico, devido ao caráter contínuo da ocorrência dos carbonatitos. Esta situação diverge dos outros maciços similares brasileiros, onde as rochas carbonatíticas portadoras de apatita primária ocorrem sob a forma de diques e veios associados às rochas alcalinas silicáticas, havendo participação significativa, nos perfis de alteração, de outras fases minerais além dos carbonatos e fosfatos. A única exceção é Jacupiranga onde, no entanto, o manto de alteração já não existe para estudos, tendo sido esgotado pela lava.

Segundo os autores acima citados, os altos teores em apatita encontrados no perfil de alteração sobre o carbonatito em Juquiá são devidos à sua acumulação residual, a partir da desestabilização dos carbonatos primários. Contudo, a apatita acaba também por desestabilizar-se, mas somente a partir dos níveis intermediários do perfil, promovendo uma reciclagem do fósforo, com a formação de fosfatos secundários ainda apatíticos, já que não há disponibilidade geoquímica para a

Maciço (Estado)	Juquaiá (SP)	Tapira (MG)	Jacupiranga(SP)	Catalão I (GO)	Salitre (MG)	Anitápolis (SC)
Litologia e Ocorrência	Peridotitos, piroxenitos, álcali-gabros, jacupiranguitos, ijolitos, melteigitos, nefelina-sienitos, pulaskitos e carbonatitos. 14 km ² -stock zonado intrudido em gnaisses e quartzitos pré-cambrianos.	Jacupiranguito, biotita-piroxenito, álcali-sienito, fonolito e carbonatito. 35 km ² -stock encaixado em quartzitos e xistos pré-cambrianos	Peridotitos, piroxenitos, ijolitos, jacupiranguitos, carbonatitos, nefelina-sienitos, fenitos e diques de essexito, ijolito, monchiquito e tingualito. complexo oval com 65 km ² , encaixados em xistos e granodioritos pré-cambrianos	Glimeritos, peridotitos serpentizados, piroxenitos, sienitos e carbonatitos sovíticos. domo circular com 27 km ² , encaixados em quartzitos e mica-xistos pré-cambrianos.	Egirina-sienitos, foiaitos, jacupiranguitos, carbonatitos, traquitos, tingualitos. plug circular com 40 km ² , intrudido em rochas metassedimentares.	Álcali-sienitos, mela-álcali-sienitos, nefelina-sienitos, malignitos, shonkinitos, urtilitos, ijolitos, melteigitos, piroxenitos, biotita-piroxenitos, biotititos, magnetita dunitos, carbonatitos (sovíticos). stock zonado em forma de pera, de 6 km ² , encaixado
Idade (referência)*(Ma)	127 (K-Ar) (Amaral <i>et al.</i> 1967, <i>apud</i> Herz 1977)	70 (K-Ar) (Hasui & Cordani 1968 <i>apud</i> Herz 1977)	130 (K-Ar) (Amaral <i>et al.</i> 1967 <i>apud</i> Herz 1977)	83 (K-Ar) (Hasui & Cordani 1968 <i>apud</i> Herz 1977)	81 (K-Ar) (Hasui & Cordani 1968 <i>apud</i> Herz 1977)	129 (K-Ar) (Amaral <i>et al.</i> 1967 <i>apud</i> Herz 1977)
Minerais e mineralizações I (teores - tonelagem)	hidróxi-flúor-apatita com Sr, carbonato-apatita com Fl e Na, barita, magnetita, pirocloro, dolomita, ankerita, ilmenita, rabdofanita, ancylita, atrontianita e galena	calcita, dolomita, flogopita, barita, calziritita, diopsídio-augita, forsterita, melanita, biotita, pirita, apatita, perowskita, pirocloro, anatásio, vermiculita, magnetita, Th, U e terras raras. TiO ₂ - 16.31 % com 325.5 m. T. P ₂ O ₅ - 9.04% com 991 m. T. Nb ₂ O ₅ -	dolomita, apatita, magnetita, forsterita, clinohumita, flogopita, pirita, pirrotita, galena, ilmenita, espinélio, pirocloro, badeleita, barita e perowskita.	flogopita, calcita, dolomita, ilmenita, magnetita, pirita, apatita, serpentina, clinohumita, titanita, barita, cancrinita, perowskita. P ₂ O ₅ >10%: 130m. T. TiO ₂ - 20%: 63.9 m. T. Nb ₂ O ₅ - 2.6%: 21 m. T. CeO ₂ +La ₂ O ₃ >2%: 21 m. T. vermic. 20%: 2,3 m. T.	carbonato, apatita, perowskita, magnetita, ilmenita, anatásio, titanita, leucoxênio, rutilo. TiO ₂ - 27.5%, com 389 m. T.	feldspatos, biotita-flogopita, piroxênios, anfíbólios, carbonatos (calcita), nefelina P ₂ O ₅ - 8.5%, com 60 m. T. (residual) P ₂ O ₅ - 6.0%, com 260 m. T. (na rocha).
Manto de intemperismo (Minerais e mineralizações)	carbonato-apatita co Sr e Mg, goethita, barita, gorceixita e caulinita P ₂ O ₅ - 5% e 30%, com 3 m. T	ilmenita, perowskita, anatásio, titanita, leucoxênio, rutilo, barita, pirocloro, apatita, gorceixita, florencita, monazita, crandalita, além de kolbeckita, um fosfato de escândio, muito raro.	níquel, apatita, badeleita, pirocloro	pirocloro, anatásio, magnetita, flúor-apatita, dahilita, fosfatos secundários de ferro, plumbogumita, florencita, quartzo, barita, vermiculita e minerais de terras raras.	anatásio (como produto de alteração da perowskita)	flúor-hidróxi-apatita, carbonato-apatita, fosfato amorfo de alumínio, wavelita, gorceixita, goiazita.
Referências	Born (1971), Alcover Neto & Toledo Groke (1989), Alcover Neto (1991), Alcover Neto & Toledo (1993), Walter (1991), Lenharo (1994).	Saad & Torres (1971), Sobrinho (1974), Cruz & Cheney (1976), Vaz de Melo (1983), Berbert (1984), Quash (1987), Soubiés <i>et al.</i> (1991), Lenharo (1994).	Meicher (1965, 1966), Herz (1977), Amaral (1978), Gaspar & Wyllie (1987), Hirano <i>et al.</i> (1987), Born (1989), Morbidelli <i>et al.</i> (1991), Ruberti <i>et al.</i> (1991), Leal Filho (1988, 1991, 1993), Lenharo (1994).	Carvalho (1974a e b), Araújo & Gaspar (1992), Imbemon (1993), Lenharo (1994).	Mariano & Marchetto (1991).	Ziesemer & Kahn (1980), Vergara (1980), Ulbrich & Gomes (1981), Berbert (1984), Rodrigues (1985), Furtado <i>et al.</i> (1986), Furtado (1989), Costa (1987), Kahn (1988), Pereira (1991).

QUADRO 1 - Maciços alcalino-carbonatíticos da região sudeste do Brasil, recentemente estudados sob o ponto de vista da alteração intempérica.

formação de fosfatos aluminosos e de ferro, comuns no ambiente laterítico. Fosfatos secundários contendo alumínio e bário (gorceixita) podem ocorrer localizadamente e nas partes superiores do perfil devido à influência de minerais alumino-silicáticos existentes em variedades de rochas alcalinas silicáticas do complexo.

I.4.2. DINÂMICA DO FÓSFORO NOS MANTOS DE ALTERAÇÃO SOBRE OS COMPLEXOS ALCALINO-CARBONATÍTICOS

A fixação ou lixiviação do fósforo em perfis de alteração é controlada pelas condições locais, que incluem aspectos climáticos e topográficos além das características texturais, estruturais e mineralógicas da rocha original, que determinam as condições físico-químicas dos meios e, conseqüentemente, o comportamento dinâmico do fósforo.

De um modo geral, a acumulação do fósforo como apatita residual se faz em ambientes alcalinos e substancialmente ácidos (lateríticos), podendo haver ainda, no segundo caso, fosfatos neoformados de Fe e Al, indicando reciclagem daquele elemento, enquanto a lixiviação do fósforo se faz em condições moderadamente ácidas (Zanin 1989).

Segundo The British Sulfur Corporation Limited (1980), o comportamento do fósforo em depósitos sedimentares associados a calcários e margas, que pode ser adaptado para o fósforo associado a carbonatitos, seria: num estágio inicial de alteração, soluções levemente ácidas permitiriam a dissolução dos carbonatos, originando um meio ligeiramente alcalino. A apatita, pouco solúvel neste meio, seria mantida estável. Nos níveis onde os carbonatos já foram totalmente solubilizados, um meio mais ácido favoreceria a dissolução da apatita. O fósforo assim solubilizado seria em parte fixado com outros cátions em fases secundárias (fosfatos de alumínio com Ba, Fe, Sr, ETR e outros), e em parte migraria para níveis inferiores do perfil, eventualmente formando apatita secundária ao atingir horizontes levemente alcalinos. Dessa forma seria explicado o ciclo do fósforo no perfil, elemento considerado residual em escala de perfil, mas com sucessivas reciclagens e mudanças de nível determinadas pelas variações das condições físico-químicas dos meios.

Zanin (1989) distinguiu duas situações de intemperismo em relação ao comportamento do fósforo no ambiente intempérico: intemperismo pré-laterítico e intemperismo laterítico. No primeiro caso, a concentração em fósforo no manto de

intemperismo está principalmente relacionada à apatita residual, sendo a apatita secundária raramente formada diretamente nos perfis de intemperismo e usualmente formada fora do perfil (por exemplo, em cavidades cársticas). No segundo caso, novos minerais fosfáticos, aluminosos e ferruginosos são usualmente formados diretamente nos perfis.

No intemperismo pré-laterítico, algumas situações distintas foram apontadas por Zanin (1989), refletindo as peculiaridades dos controles da alteração:

1. Lixiviação total do fósforo, sem acumulação, podendo talvez ser parcialmente adsorvido por argilominerais e oxihidróxidos de ferro; é característica de rochas ácidas, mas também pode ocorrer com rochas básicas, como no gabro da Ucrânia;

2. Concentração do fósforo nas partes inferiores do perfil, relacionada principalmente com a apatita residual, de concentração relativa portanto, devida à dissolução e lixiviação dos carbonatos, com possibilidade de neoformação de apatita secundária a partir do fósforo proveniente das partes superiores do manto de alteração;

3. Enriquecimento máximo do fósforo nas partes intermediárias do perfil, decrescendo nas porções basais e superiores. Ocorre nos perfis sobre carbonatitos com enriquecimento relativo do fósforo na parte inferior pela dissolução dos carbonatos, processo que atinge seu máximo na parte média do perfil. Nas partes superiores, a perda se dá pela dissolução da apatita até então resistente.

4. Enriquecimento máximo do fósforo na parte superior do perfil, que mais parece representar um perfil truncado, onde a parte superior original foi perdida. Representaria, então, um caso particular do item anterior. Ocorre em rochas carbonatadas, maciço carbonatíticos e depósitos fosforíticos relativamente carbonatados. Ocorre mais raramente nas partes superiores de perfis sobre rochas aluminossilicatadas e também por evolução com influência de guano.

5. Distribuição homogênea do fósforo em todo o perfil, em casos em que os carbonatos foram completamente lixiviados e nenhuma migração do fósforo foi observada.

Seguindo a distinção de Zanin (1989), o processo de intemperismo laterítico conduz à formação dos fosfatos de alumínio e em alguns casos, de fosfatos de ferro, a partir do fósforo liberado pela lenta desestabilização da apatita. Esta retenção do fósforo nos perfis lateríticos tem uma grande influência na dinâmica de diversos elementos, já que os minerais fosfáticos, em particular os minerais da família alunita-jarosita (Kato & Radoslovich 1968, Bottinelly 1976 e Scott 1987 *apud* Schwab *et al.*

1990) , são estruturas favoráveis à fixação de elementos variados como U, Th, V, Sr, Ba, ETR, etc. Além disso, a presença dos íons PO_4^{3-} no perfil inibe a cristalização da gibbsita, já que o alumínio tende a participar da estrutura dos fosfatos secundários. Fosfatos de ferro são mais raros na natureza que os fosfatos de alumínio, e isto seria explicado pelo fato de que as reações dos íons fosfatos com hidróxidos de ferro são muito mais lentas e ocorrem somente em ausência de material argiloso ou em condições muito redutoras; assim, o ferro permanece predominantemente como oxihidróxidos livres, ao contrário do alumínio, que forma gibbsita quando está em excesso em relação ao fósforo. Nestes meios, carbonatos e silicatos vão sendo desestabilizados com lixiviação total ou parcial de seus elementos constituintes, resultando em enriquecimento relativo do fósforo.

Ainda de acordo com Zanin (1989), podem ocorrer situações diferenciadas em termos de zonalidade da distribuição do fósforo nos perfis desenvolvidos sob o intemperismo por ele classificado de laterítico:

1. o teor em fósforo na zona de ocorrência dos fosfatos de alumínio é muito menor que o teor na zona dos fosfatos de cálcio primários (por exemplo, os depósitos de Belka, na Sibéria e Christmas Island, no Oceano Índico);
2. o teor em fósforo na zona de ocorrência dos fosfatos de alumínio é muito maior do que nas partes inferiores do perfil com fosfatos de cálcio (maciço de Essey, no norte da Sibéria);
3. distribuição equilibrada do teor em fósforo ao longo do perfil, composto por fosfatos de alumínio (depósito de Thiès, no Senegal)

Os estudos de perfis de alteração lateríticos em materiais com fosfatos (Altschuler 1973) mostram que estes são progressivamente desestabilizados e reprecipitados, com mudanças na sua composição química, que responde às condições físico-químicas do meio em cada etapa, causando uma zonalidade vertical no perfil, normalmente na seguinte ordem, da base para o topo:

Onde:

fosf_1CaI e fosf_2CaII : apatita, respectivamente (primária e secundária)

$\text{fosf}_3\text{Ca, Al e Fe}$ palita, crandalita e wardita

$\text{fosf}_4\text{Al e Fe}$: leucofilita e barrandita

fosf_5Al : variscita, wavelita, augelita e senegalita

fosf_6Fe : strengita.

O cálcio, que é um elemento normalmente solúvel, vai sendo fixado na estrutura de fosfatos secundários, o que retarda a sua lixiviação. À medida que vai sendo lentamente lixiviado, são possíveis substituições deste elemento por outros disponíveis, como ETR, Pb, Sr e outros.

Condições específicas de intemperismo e as disponibilidades geoquímicas particulares podem omitir algumas fases intermediárias nesta seqüência, como é o caso dos depósitos da região de Altay-Sayan, estudada por Zanin (1968), onde a wavelita é encontrada com freqüência diretamente sobre a fase rica em fluorcarbonatoapatita.

As principais tendências químicas evolutivas observadas nesta paragênese são:

a) na alteração da apatita (modificações progressivas por dissolução incongruente):

Segundo Gusev *et al.* (1976 *apud* Zanin 1989), fluorapatitas primárias sofrem inicialmente perda de fluor, depois de cálcio e depois de fósforo; Flicoteaux & Lucas (1984) mostraram que, durante o intemperismo, a carbonatoapatita sofre descarbonatação e modifica sua composição para fluorapatita; McArthur (1985 *apud* Zanin 1989) remarcou que a carbonatoapatita (francolita) muda para fluorapatita durante recristalização/alteração sob condições intempéricas; amostras intemperizadas de apatita contêm teores menores em Sr, Na e SO_4^{2-} em relação a P_2O_5 .

b) na neoformação dos fosfatos secundários, segundo Zanin (1989), Vieillard *et al.* (1979), Lucas *et al.* (1980) e Flicoteaux & Lucas (1984):

- decréscimo em álcalis e hidratação,
- acréscimo da razão $\text{Al}+\text{Fe}/\text{P}$,
- aumento no grau de oxidação do ferro.

II. O COMPLEXO ALCALINO-CARBONATÍTICO DE IPANEMA

II.1. Situação Geral

II.1.1. Localização

O Complexo alcalino carbonatítico de Ipanema situa-se na Fazenda de mesmo nome, na parte central da Serra de Araçoiaba, no centro leste do Estado de São Paulo, a 143km da capital.

II.1.2. Acessos

O acesso à Fazenda é feito a partir da cidade de São Paulo, percorrendo-se 115km pela Rodovia Castelo Branco e 28km por estrada secundária via Iperó.

A Fazenda Ipanema tem ligação com a Rodovia Raposo Tavares, através de 12km de estrada de terra ou, ainda, por uma terceira estrada, também sem pavimentação, a partir de Sorocaba.

Chega-se à área em questão a partir da vila residencial da Fazenda Ipanema, por estrada de terra com cerca de 4km de extensão, mantida até recentemente em condições de tráfego pela própria Fazenda.

A Fazenda Ipanema é também cortada por via férrea (FEPASA), além da existência de um campo de pouso, utilizado até há pouco tempo por aviões agrícolas de treinamento do já extinto CENEA - Centro Nacional de Engenharia Agrícola do Ministério da Agricultura e Reforma Agrária.

Desde 1992 a fazenda é administrada pela Secretaria do Meio Ambiente e sua reserva florestal tem fiscalização feita pelo IBAMA, denominando-se Floresta Nacional de Ipanema (FLONA).

II.1.3. Relevo

A região sorocabana apresenta relevo suave com cotas da ordem de 600 m, destacando-se a Serra de Araçoiaba que constitui acidente notável de forma semicircular, com cota superior ultrapassando 950m.

A Serra de Araçoiaba tem seu cume arqueado em "V" e em seu interior localiza-se a intrusão alcalina.

II.1.4. Vegetação

Originalmente a área era recoberta por densa floresta tropical caracterizada pela mata atlântica de planalto. Atualmente, a vegetação é escassa nos flancos da Serra, constituída por campos de pastagens ou por plantações, sendo um pouco mais densa no flanco noroeste do Ribeirão do Ferro. No interior da Serra encontra-se mata de difícil penetração em alguns locais.

II.1.5. Clima

O clima atual da região caracteriza-se como sendo sub-úmido, mesotermal, com temperaturas médias anuais de 22°C. Foram registradas precipitações anuais que variam de 600 a 1700mm, sendo que a média anual é de cerca de 1200mm.

II.1.6. Idade

Em amostras tomadas de diques de skonkinitos que cortam rochas metassedimentares do Grupo Tubarão e de uma amostra de um fenito sienítico, Amaral *et al.* (1967) obteve a idade de 123 Ma através de datações pelo método K-Ar. Ulbrich & Gomes (1981) consideraram este valor como sendo o mínimo, uma vez que estudos no núcleo glimerítico principal são ainda bastante escassos. Baseando-se em sua idade e litologia, o maciço alcalino de Ipanema tem sido agrupado com diversos outros tipos de rochas alcalinas, que tiveram sua formação por volta de 130 Ma, idade esta compatível com um dos quatro ciclos magmáticos alcalinos mais importantes ocorridos no sudeste do Brasil (Herz 1977 e Ulbrich & Gomes 1981).

II. 2. HISTÓRICO DA ÁREA

A área da Fazenda Ipanema hoje faz parte do patrimônio histórico nacional, uma vez que abriga importantes sítios arqueológicos e monumentos históricos, representantes dos primórdios da Siderurgia Brasileira. As sucessivas tentativas para a implantação da indústria siderúrgica em Ipanema, na época do Brasil Colônia, falharam totalmente devido à própria natureza do minério de ferro lá existente (alto teor em titânio e fósforo, seu modo de ocorrência e quantidade, além de falhas administrativas e dificuldades de exploração e transporte). Com o deslocamento da

Siderurgia Nacional para o centro de Minas, estas jazidas perderam a importância que se lhe atribuía antigamente. Posteriormente, com a descoberta da existência de rochas alcalinas e carbonatíficas, um novo aspecto se fez importante na região: a ocorrência de fosfatos para a indústria de fertilizantes.

II.2.1. Histórico das pesquisas geológicas e atividades mineiras

Tendo em vista a importância histórica da área, segue uma breve síntese das atividades mineiras e de pesquisa lá desenvolvidas:

- 1589 - primeira notícia de mineralização no maciço alcalino de Ipanema, com a descoberta do minério de ferro por Afonso Sardinha.
- 1591 - montagem do primeiro estabelecimento siderúrgico do país, com dois fornos rústicos e uma forja.
- 1680 e 1766 - tentativa de instalação de fornos, que fracassaram em pouco tempo.
- início do séc., XIX (1818) até meados do século: instalação e apogeu da 1ª Siderurgia Nacional (administração de L. W. Vernhagem)
- 1870 - descoberta da ocorrência de magnetita como produto pseudomórfico de magnetita.
- 1884 - descoberta do ácido fosfórico em quantidade apreciável, no solo, associado à magnetita.
- 1891 - primeiras descrições geológicas e descoberta da apatita, associada às rochas alcalinas, Derby (1891) *apud* Born (1989).
- 1895 - fim das atividades da Fábrica de Ferro de Ipanema.
- 1911 - estudos detalhados sobre os recursos de magnetita de Ipanema - Gonzaga de Campos.
- 1930 - 1ª seção geológica da Serra de Araçoiaba e estudos comparativos da jazida de ferro e apatita (Knecht 1930).
- 1938 - síntese de todas as pesquisas geológicas até então realizadas e sugestões para instalar a fábrica de superfosfatos (Moraes 1938). Estudos para o aproveitamento da apatita (Moraes Rego 1938).
- 1939 - estudos para o aproveitamento da apatita (Araújo 1939).
- 1940 - estudos petrogenéticos sobre as rochas alcalinas, com destaques para as ocorrências de apatita (Leinz 1940).
- 1942 - instalação da usina experimental de beneficiamento de apatita, sem muito sucesso, pela Serrana S.A. de Mineração.

- 1955 - Maciel & Guimarães (1955), fazem menção a um dique de shonkinito-pórfiro ocorrendo fora da intrusão alcalina, no bairro de Congonhal, em Tatuí, como uma rocha semelhante a que ocorre em Ipanema e discutem sua origem e composição.
- 1960 - Knecht (1960) também descreve uma ocorrência de rocha alcalina semelhante aos skonkinitos-pórfiros de Ipanema, no bairro de Soares, em Piedade.
- 1966 - definição dos limites da intrusão, de aspecto circular, detecção da existência de profundo manto de intemperismo, elaboração de mapa geológico e geofísico, além de algumas descrições petrográficas, por Davino (1966).
- 1968 - realização de sondagens constatando a presença de diques carbonatíticos pelo Instituto Geográfico e Geológico (descritos por Felicíssimo Junior em "Os carbonatitos do Estado de São Paulo") sem, no entanto, conseguir localizar reservas de minério.
- 1972 - retomada das pesquisas em Ipanema pela Serrana, com evolução da técnica de beneficiamento, novas considerações geológicas e econômicas.
- 1975 - estudo geológico da Serra de Araçoiaba por Davino (1975). Nesta época, a área chamada Fazenda Ipanema, onde ocorre o complexo alcalino, incluía, além da reserva florestal, o CENEA.

II.3. GEOLOGIA REGIONAL

Na região de Sorocaba predominam as rochas sedimentares permocarboníferas do Grupo Tubarão (Bacia do Paraná) (Mendes 1961 *apud* Davino 1975). Segundo Serrana (1976a), as variedades litológicas encontradas nessa unidade compreendem arenitos, siltitos e, mais restritamente, folhelhos, tilitos e ritmitos; sua espessura varia de 100 a 200m e têm mergulho regional suave, da ordem de 1° a 3°, para NW, embora nas proximidades da Serra estejam extremamente perturbadas, refletindo o comportamento do embasamento.

Ocorrem, na região, diabásios associados ao vulcanismo mesozóico do sul do Brasil (Leinz 1949 *apud* Davino 1975), cortando ou intercalando as camadas do Grupo Tubarão

Sob esta unidade encontra-se o embasamento cristalino (Grupo São Roque), que teria sofrido soerguimento, provocado pela intrusão alcalina, podendo aflorar a altitudes superiores a 850m na Serra de Araçoiaba (Davino 1975). O embasamento

compreende rochas como granitos, anfibolitos e filitos que compõem a maior parte da Serra, sendo que localizadamente pode-se encontrar calcários, micaxistos e quartzitos, com atitudes praticamente verticalizadas. São ainda encontrados diques radiais de shonkinitos, fora da intrusão principal, cortando as encaixantes regionais (Serrana, 1976a).

No centro da Serra de Araçoiaba, drenada pelo Ribeirão do Ferro, ocorre a intrusão alcalina, na direção NE-SW, com uma área de 13 km² e dimensões da ordem de 1000 por 400 m, circundada por uma auréola de fenitização de largura aproximada de 3km (Nogueira *et al.* 1976).

II.4. GEOLOGIA LOCAL, PETROGRAFIA E MINERALOGIA

II.4.1. As rochas da intrusão

Os trabalhos mais antigos (Leinz 1940; Knecht 1940) citam as seguintes rochas alcalinas constituindo a intrusão: ortoclásio-aegirinito (lusitanito rico em egrina-augita), ortoclásio-lusitanito (álcali-sienito melanocrático, com alto teor em máficos), umptequito (álcali-sienito, rico em anfibólio sódico), nordmarkito (álcali-feldspato sienito, com quartzo) e shonquinito-pórfiro.

Davino (1975) também cita estas rochas, além de fazer menção aos diques de carbonatito que já tinham sido revelados por sondagens do IGG (Instituto Geográfico e Geológico do Estado de São Paulo), em 1968.

(%) dos minerais	ortoclásio	piroxênio +anfibólio	quartzo	apatita	magnetita	nefelina	biotita
Ortoclásio- aegirinito	14	82	-	3	1	-	-
Ortoclásio- lusitanito	47	48	-	5	-	-	-
Umptequito	80	17	-	3	-	-	-
Shonkinito (fenocristais +matriz)	28	27	-	3	-	3	2
Nordmarkito	85	2	12	1	-	-	-

TABELA 1 - Tipos petrográficos e porcentagens dos minerais, segundo Leinz (1940).

Segundo a descrição de Leinz (op. cit.) as quatro primeiras rochas da tabela 1 não possuem quartzo, são ricas em feldspatos alcalinos (ortoclásio) e não possuem nefelina. Podem ser denominadas então, genericamente, de sienitos alcalinos. O nordmarkito, a única rocha alcalina com quartzo, mereceu atenção especial, tendo-se admitido, teoricamente, que este mineral, que normalmente aparece acumulado em leitos ou agregados alongados, representaria restos de um arenito não completamente assimilado pelo magma. Leinz chegou a esta conclusão baseando-se na morfologia dos cristais, que se apresentavam muitas vezes com aspecto arredondado de sedimentos clásticos, contrariamente ao que seria de se esperar em uma cristalização magmática primária (forma homogênea dos grãos e denteação nas juntas). Além disto, observou, raras vezes, uma certa idiomorfia do ortoclásio em contato com o quartzo.

Nenhum dos autores anteriores fizeram referência aos glimeritos, nem aos biotita-piroxenitos (alcalinos). Segundo os levantamentos da Serrana S/A (Serrana 1976a, 1976b), os mais completos e atualizados, que utilizaram um grande número de sondagens, são os glimeritos as rochas principais, sendo os sienitos rochas de importância quantitativa secundária, que ocorrem como transições locais do corpo glimerítico principal. A Serrana também faz citação aos diques de shonkinitos e carbonatitos (praticamente isentos de apatita e mais comuns sob a forma de venulações). De qualquer modo, antes da Serrana, ninguém havia descrito a presença de rochas essencialmente micáceas e nem no ortoclásio aegirinito (única rocha mais máfica descrita por Leinz, uma vez que as demais eram leuco a mesocráticas) havia sido descrita a presença de biotita.

Ainda segundo os relatórios da Serrana S. A., envolvendo o núcleo glimerítico ocorrem rochas fenitizadas, constituídas por extensa gama de rochas metassomatizadas, caracterizados pela formação de egrina-augita, hastingsita e feldspato alcalino. A concentração apatítica está associada ao núcleo alcalino principal e às venulações micáceas no fenito circundante. Segundo Serrana (1976a), o intenso grau de alteração intempérica apresentado por todas as rochas que compõem o maciço alcalino de Ipanema não permitiu uma rigorosa delimitação de contatos em superfície. A figura 2 mostra o mapa e perfil geológico elaborados pela Serrana.

II.4.2. A apatita de Ipanema

Nos glimeritos, a apatita associa-se freqüentemente às aegirinas-augitas e micas, podendo também ocorrer dispersamente entre feldspatos alcalinos, hastingsitas, calcitas e magnetitas. Nos fenitos circundantes, a apatita restringe-se aos veios micáceos que os recortam. Aqui apresenta-se com granulometria mais fina

Figura 2 - Localização e mapa geológico regional do Maciço Alcalino-Carbonatítico de Ipanema, e localização da Mina Gonzaga de Campos (Fonte: Serrana 1976a e b).

(0,2mm ou menos) em relação àquela dos glimeritos (0,2 a 0,6mm). A apatita pode formar pequenas lentes ("schlieren") no centro daqueles veios, associando-se com calcita, magnetita e piroxênio. Born (1989) já havia definido a apatita de Ipanema como sendo fluorapatita, o único fosfato importante identificado na rocha fresca; de acordo com este autor, na rocha fracamente alterada, alguma carbonatoapatita poderia ocorrer. No depósito residual, a fluorapatita ainda seria o fosfato predominante, enquanto que os fosfatos não apatíticos estariam concentrados na cobertura superficial.

Lenharo (1994) apresentou um estudo para a caracterização mineralógica e tecnológica das apatitas de alguns depósitos brasileiros de fosfato, entre eles, o de Ipanema. Várias técnicas foram utilizadas pela autora (microscopia óptica, análises químicas, difração de raios-x, espectrofotometria no infra-vermelho, catodoluminescência, microscopia eletrônica de varredura, microflotação em tubo de Hallimond e ensaios de ponto de carga zero) e sua integração possibilitou caracterizar com bastante detalhe as referidas apatitas. As apatitas primárias definidas por Lenharo são predominantes, apresentam hábito granular ou prismático, de superfície lisa ou irregular, com cantos arredondados. Apresentam feições de alteração incipientes, com fraturas conchoidais e sulcos de dissolução, o que as tornam ocasionalmente com superfície rugosa, e comumente apresentam inclusões.

As análises que determinaram as dimensões da cela unitária onde foi observada uma maior expansão para o eixo cristalográfico c, aliadas às análises químicas e espectroscópicas no infra vermelho corroboraram a hipótese da existência do íon OH⁻. Dessa forma caracterizou-se mais precisamente a apatita primária como sendo uma hidróxi-flúor-apatita com algum estrôncio em sua estrutura.

As apatitas supérgenas observadas são do tipo microcristalinas e criptocristalinas, tendo, normalmente, estas últimas, recobrimento superficial por oxi-hidróxidos de ferro. Nas amostras ricas em apatitas supérgenas estudadas, a presença do radical CO₃²⁻ é marcante, estando ausente o íon OH⁻. Com a integração de todos os resultados, aquela autora as definiu como carbonato-flúor-apatita.

As apatitas microcristalinas estudadas têm aspecto rugoso, sem extinção óptica, e foram reprecipitadas com certa orientação, normalmente de forma paralela aos oxi-hidróxidos de ferro. As criptocristalinas apresentam aspecto nebuloso, desfocado e estão subordinadas às primeiras.

A distribuição de elementos TR nas apatitas de Ipanema é muito baixa, em contraste a muitas outras ocorrências de rochas alcalinas e carbonatitos relacionados com depósitos de apatita, onde o valor total obtido por Lenharo (*op. cit.*) está na ordem de 300 ppm. Segundo Born (*op.cit.*), nenhuma concentração significativa de TiO₂, Nb₂O₅, BaO, SrO e ETR foi encontrada.

Segundo Hogarth (1989), a tendência geral seria que os teores de ETR encontrados nas apatitas de carbonatitos indicassem o estágio evolutivo do processo de cristalização magmática, ou seja, quanto maiores os teores, mais tardia a cristalização e teores baixos denotariam fases iniciais. Ainda segundo Hogarth (*op.cit.*), as razões entre os óxidos SrO/MnO também seguem as mesmas tendências que os ETR. Nas apatitas secundárias os teores em ETR e razões SrO/MnO geralmente são baixos.

Os baixos valores em ETR e as baixas razões SrO/MnO (aproximadamente 0,4%) obtidas por Lenharo (*op.cit.*), que normalmente indicariam estágios iniciais de cristalização, aqui, diferentemente, permitiram associar as apatitas a veios tardios existentes em rochas glimeríticas e fenitos, uma vez que se admite uma origem diferente para estas rochas em relação aos glimeritos das outras localidades, ou seja, poderiam constituir a cúpula externa de um possível corpo carbonatítico maior.

II.5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE A ALTERAÇÃO INTEMPÉRICA NO MACIÇO E A JAZIDA FOSFÁTICA SUPÉRGENA

O conhecimento anterior sobre o intemperismo das rochas associadas ao maciço deveu-se às pesquisas para o aproveitamento de fosfatos e, subordinadamente, das micas expansivas (Leinz 1940, Knecht 1972 e 1973 *apud* Serrana 1975, 1976 a e 1976 b e Serrana 1975, 1976a e 1976b). Os resultados obtidos, embora adequados a esse fim, foram insuficientes para a compreensão da evolução superficial propriamente dita, em seus vários aspectos, como composição química, mineralógica e filiações entre os diversos tipos de minerais.

Leinz (1940) observou que o minério decomposto é, macroscopicamente, uma massa amarelo-marrom-friável, apresentando blocos cuneiformes de xistos metamórficos intercalados na massa do minério e contendo muitas vezes octaedros milimétricos de martita. A apatita é dificilmente perceptível a olho nu.

Além disso, também observou textura fluidal do minério primário e a seguinte composição mineralógica quantitativa: apatita (teor muito variável), biotita (37%), hematita e limonita (46%), egirina e hastingsita (12%), caulim (5%) e clorita.

Em análise granulométrica por peneiramento, Leinz concluiu que a apatita estava nas frações de 0,35 a 0,1mm. A fração mais fina é praticamente estéril.

Leinz (1940) fez pouca menção ao processo de alteração superficial. Do minério não alterado para o minério decomposto, fez algumas observações relativas às transformações mineralógicas. Assim, no início, a magnetita passaria para martita e a egirina bem como a hastingsita começariam a dissolver-se fibrosamente, em direções

paralelas às clivagens, formando-se limonita, um outro material, possivelmente de caráter argiloso (incompreensivelmente denominado de biotita pelo autor) e caulim. Esse material argiloso é muito comum, parecendo corroer pelas clivagens o interior dos piroxênios, formando-se finalmente uma pseudomorfose fibrosa. Raras vezes encontra-se clorita como produto secundário. A apatita permanece completamente intacta, onde apenas nos cristais aciculares haveria infiltração de óxido-hidróxidos de ferro.

Leinz (*op cit*) também usa a decomposição superficial das rochas apatíticas como um dos argumentos para explicar a ocorrência de blocos de sílex em camadas superficiais da jazida, embora exista outro argumento, o mais provável, de que a sílica seria o produto final da diferenciação magmática. A presença de barita seria um sinal de processos hidrotermais de baixa temperatura. Em não se tendo constatado nenhuma prova positiva da existência deste processo, lançou aquela outra hipótese. Assim, pela decomposição da apatita das rochas, libera-se o ácido fosfórico, o que causaria uma destruição intensa dos silicatos, liberando, portanto, a sílica, que migraria em solução aquosa, precipitando-se na zona superficial em forma de concreções e infiltrando-se parcialmente nas rochas ainda frescas, silicificando-as.

O modo como a rocha fresca passaria para a rocha decomposta era conhecido de uma forma sumária, uma vez que existia até então apenas uma única análise química completa do minério decomposto. O resultado desta análise demonstrou um forte enriquecimento em SiO_2 e Al_2O_3 e um leve enriquecimento em Fe_2O_3 , além de empobrecimento em elementos alcalinos. Estes dados revelaram a presença de Al_2O_3 e Fe_2O_3 (hidratado), que são nocivos aos processos de beneficiamento e aproveitamento do minério fosfático.

Estes resultados devem ser considerados com bastante cautela, em vista da insuficiência de dados existentes naquela época. Além disto, existe uma heterogeneidade litológica no maciço que não foi relacionada aos materiais intemperizados. Leinz não fez menção à formação de fosfatos secundários de Al e Fe.

Os estudos efetuados pela Serrana (1975, 1976a e 1976b) mostram a seguinte constituição do manto de alteração sobre o maciço: capeamento médio de 0 a 5 m de material estéril, seguido por minério até os 20 a 50 m, onde atinge-se a rocha.

Segundo a Serrana, o minério apatítico corresponde ao simples resultado do intemperismo sobre as rochas mineralizadas primariamente. A composição mineralógica determinada no manto de alteração foi:

- minerais magnéticos: magnetita, nas frações mais grossas.
- óxi-hidróxidos de ferro supérgenos: minerais de ganga (hematita, goethita, "limonita").
- piroxênios e anfibólios: pouco freqüentes, devido à facilidade de alteração.

- apatita: fluorapatita granular (diâmetro 0,2 a 2,0mm), tendo às vezes recobrimento pelicular de "limonita".
- fosfatos secundários: presença detectada através de análises químicas que demonstraram baixo teor em CaO em relação ao P_2O_5 contido, considerando-se a composição teórica da fluorapatita.
- micáceos: ocorrem em proporções muito variadas, chegando a 30% no minério derivado do glimerito.

Em função do grau de alteração intempérica e da qualidade econômica, foram reconhecidos três tipos de minério: **A**, **B**, e **C**.

- **Minério tipo A:** alteração incipiente dos minerais primários:
 - . pobreza em argilo minerais,
 - . presença de vermiculita verde (granulação grossa),
 - . apatita liberada nas frações finas.
- **Minério tipo B:** alteração mais acentuada dos minerais primários:
 - . aumento da fração argila (20 a 50%),
 - . presença de vermiculita (mais fina),
 - . apatita parcialmente recoberta por película ferruginosa, dificultando a flotação.
- **Minério tipo C:** alteração praticamente completa dos minerais primários:
 - . evolução mais acentuada das vermiculitas,
 - . apatita de recuperação ainda mais difícil,
 - . presença de fosfatos aluminosos supérgenos.

Foram analisados os teores de P_2O_5 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 e CaO, além de outros óxidos, de onde se concluiu que houve enriquecimento em Fe_2O_3 , perda de CaO e Al_2O_3 (tabelas 2 e 3). No minério totalmente alterado houve um acréscimo residual em P_2O_5 , cujos teores são por vezes bastante altos, porém, preponderantemente sob a forma de fosfatos secundários. De um modo geral não houve enriquecimento residual em apatita (cujos teores são semelhantes na rocha sã e alterada). Os teores em Nb, Ti e ETR em análises semi-quantitativas, foram muito baixos. Bário ocorre em proporções mais elevadas em algumas áreas isoladas dentro ou fora da área mineralizada, embora no geral, também sejam baixos. A magnetita de Ipanema apresenta teor médio de V_2O_5 de 0,4%.

<i>Tipos de minério (alteração crescente)</i>	CaO	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃
Minério tipo A	11,3	8,6	16,3	9,4
Minério tipo B	8,8	6,9	20,6	9,0
Minério tipo C	5,7	6,9	>30%	3,4

TABELA 2 - Composição química média (%) dos tipos de minério definidos pela Serrana S. A. (Serrana, 1976b)

<i>Tipos de minério (alteração crescente)</i>	<i>Apatita</i>	<i>Magnetita</i>	<i>Micas (biotita ou vermiculita)</i>	<i>Silicatos (feldspatos, piroxênios, argilominerais)</i>	<i>Fosfatos secundários</i>
Minério tipo A	20	10	30	40	-
Minério tipo B	15	15	30	40	pouco
Minério tipo C	10	20	-	65	5

TABELA 3 - Composição mineralógica média (%) dos tipos de minério definidos pela Serrana S. A. (Serrana, 1976 b)

O exame das tabelas 2 e 3 pode suscitar dúvidas com relação à evolução química e mineralógica destes tipos de minério. Considerando que pelo menos parte do alumínio liberado pela alteração dos minerais primários com este elemento (biotita e feldspatos) é fixado nos fosfatos secundários aluminosos e, considerando também, que não há grande perda dos argilominerais (o que ocorre é transformação de vermiculita em caulinita) é difícil aceitar a diminuição dos teores em Al₂O₃ da tabela 2, de 9,4 e 9,0 (minério A e B) para somente 3,4% (minério C). De qualquer forma, foram estes os resultados registrados nos relatórios da Serrana.

Knecht (1972, 1973) *apud* Serrana (1975, 1976 a, 1976 b) descreveu três tipos de minério fosfático:

a. Apatita, com cristais milimétricos de magnetita, encaixada entre as segregações de magnetita compacta pura e aegirinito de baixo teor em apatita.

b. Aegiapito (egirina com apatita), de teor elevado em apatita e pouca magnetita (martita), ocorrendo como massas lenticulares no aegirinito, com pouca ou nenhuma magnetita pura.

c. Fosforita terrosa, pouco coerente e com teor elevado em limonita, proveniente da alteração da rocha apatítica subjacente.

Os itens a e b corresponderiam ao proto-minério e o item c aos tipos A, B, e C da classificação de minério alterado feita pela Serrana.

Segundo a Serrana S. A. (Serrana, 1975), a vermiculita ocorre em área de 350.000 m², nas zonas de glimerito. Trata-se de material com teor médio de 20% de mica expansiva. As reservas de vermiculita até 15 m de profundidade são: 4.725.000 t (medida) e 4.725.000 t (indicada).

Quanto aos fosfatos, no cálculo de reservas, foi considerado minério o material com teor superior a 4% em P₂O₅, que pode por vezes ocorrer intercalado entre camadas com teores abaixo do teor de corte determinado (Aps & Born 1975). Assim, na pesquisa do minério fosfático de Ipanema, a Serrana S. A. obteve 5 categorias de materiais, com reserva medida de 10.672.000 a 6,8% de P₂O₅ (teor médio) conforme mostra a tabela 4, com os respectivos dados quantitativos: 6.980.000t de reserva indicada, 32.987.000t de reserva inferida e 50.639.000t de reserva total.

<i>Categoria</i>	<i>Espessura média (m)</i>	<i>Volume (m³)</i>	<i>Tonelagem (t)</i>
1. Capeamento Estéril	2,3	1.771.000	3.188.000
2. Material acima do minério - P ₂ O ₅ entre 3 e 4%	1,3	1.001.000	1.802.000
3. Minério propriamente dito - P ₂ O ₅ >4%	7,7	5.929.000	10.672.000
4. Material abaixo do minério - P ₂ O ₅ entre 3 e 4%	0,4	308.000	554.440
5. Estéril - P ₂ O ₅ <3%	0,7	539.000	702.000

TABELA 4 - Reservas do minério fosfático de Ipanema, segundo Serrana (1975).

III. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS DA MINA GONZAGA DE CAMPOS

A Mina Gonzaga de Campos corresponde a um corte vertical feito pela companhia de mineração Serrana S.A., que fez estudos para testes de beneficiamento do minério fosfático. Sua localização pode ser vista no mapa geológico da figura 2.

Neste corte, de expressão circular em planta, com aproximadamente 5m de altura e 10m de largura, foram reconhecidos macroscopicamente e amostrados materiais diferenciáveis entre si por seu caráter predominantemente micáceo, apatítico, ferruginoso ou argiloso, com aspecto bandado ou não (figura 3).

Estes materiais apresentam dois tipos litológicos básicos, reconhecidos preliminarmente por Toledo & Sousa (1991), e são encontrados já em início de alteração: a rocha glimerítica e a rocha apatítica bandada. Esta última tem as características petrográficas de uma rocha de dique; alterna-se de modo irregular com a rocha glimerítica no afloramento, com limites mais ou menos nítidos preservados na alterita. Foram coletadas cerca de sessenta amostras no total incluindo os diferentes estágios de alteração encontrados. A localização das principais amostras está na figura 3.

III. 1. AS ROCHAS SÃS

III.1.1 A ROCHA APATÍTICA BANDADA

A rocha apatítica bandada é formada pela alternância de bandas de espessura milimétrica a submilimétrica, lenticulares, descontínuas, podendo haver passagem gradual de uma banda para outra. As bandas possuem a seguinte composição mineralógica:

- a. essencialmente apatítica, com pouca biotita e/ou anfibólio, orientados, formando camadas brancas,
- b. bandas com mistura de anfibólios e biotitas orientados, mais ou menos ricas em apatita e com raros feldspatos potássicos, formando camadas cinza-esverdeadas,
- c. bandas muito ricas em biotitas orientadas, com anfibólios e apatita, com raros feldspatos, formando camadas castanhas, cinzas ou pretas.

FIGURA 3: Desenho esquemático do perfil de alteração exposto na Mina Gonzaga de Campos

III.1.2. A ROCHA GLIMERÍTICA

A rocha glimerítica e seus produtos de alteração ocupam a maior parte do afloramento. A mineralogia da rocha são constituída por biotita, anfibólio (hastingsita), opacos (magnetita) e pouca apatita. Apresenta textura fanerítica fina a grossa. Em alguns locais, a rocha exibe uma certa orientação dos cristais de anfibólios e/ou micas, concentrados em pequenas lentes ou venulações.

III.1.3. CARACTERIZAÇÃO DOS MINERAIS PRIMÁRIOS

a. APATITA

As apatitas são aparecem como grãos equigranulares, finos a médios, variando de 0,002 a 0,3mm na sua maior dimensão. Existem grãos de formas variadas desde hipidiomórficos hexagonais a alotriomórficos. Ocorrem disseminadas entre as biotitas, mas em muito pouca quantidade.

As apatitas presentes na Mina GC foram analisadas com o objetivo de comparar os resultados obtidos ao trabalho de Lenharo (1994). Assim, foi realizado o cálculo dos parâmetros da cela unitária a partir dos difratogramas de raios-X e também foram efetuadas algumas análises por espectrometria de absorção no infra vermelho. Para tanto foi utilizada apenas uma amostra (GCA3) coletada no setor A da referida mina.

Os seguintes parâmetros foram obtidos empregando-se o software LCLSQ, versão 8,4 (Burnham 1991):

$$a_0 = 9,393 \pm 0,001 \quad e \quad c_0 = 6,883 \pm 0,001$$

Esses valores não indicam presença de CO_3^{2-} segundo critério de Gulbrandsen (1970) nem de McClellan & Lehr (1969). Por outro lado, esses valores acham-se entre aqueles de fluorapatita sintética e hidróxi-fluór-apatita, segundo padrões do ASTM, plotados por Lenharo (op cit). As dimensões dos parâmetros podem sugerir substituição do ânion Ca por elementos maiores como Sr e Ba que promovem aumento do parâmetro a_0 (McConnel 1974).

O espectro de absorção de infravermelho (figura 4), mostra além das vibrações do PO_4^{3-} , um pico longo de umidade e pequenos picos de CO_3^{2-} (dubletos a $1,474$ e 1415 cm^{-1}) e picos discretos de OH^- a $717,7 \text{ cm}^{-1}$ e mais discreto ainda a $1,515 \text{ cm}^{-1}$.

FIGURA 4: Espectro de absorção no infravermelho para a amostra GCa3 de apatita primária, da Mina Gonzaga de Campos

A presença destes picos poderia ser atribuída seja à pequena substituição do flúor em processo primário ou supérgeno bem como à presença de impurezas de apatita secundária na amostra (não detectada pelas outras análises realizadas), com teor pequeno, porém mais alto que o OH^- e CO_3^{2-} .

Combinando-se estes resultados pode-se concluir que parte substancial da amostra era constituída de fluorapatita (primária) com pequena porcentagem de apatitas secundárias ou mesmo películas de fosfato secundário (o que foi observado em ampla escala neste trabalho).

Análises químicas pontuais efetuadas neste trabalho, em EDS, constataram a presença desses elementos, embora em pequena quantidade.

A tabela 5 mostra análises pontuais de grãos apatíticos destas rochas.

b. BIOTITA

As micas (biotitas) podem chegar a 90% da rocha glimerítica e são os minerais predominantes em algumas bandas da rocha apatítica bandada. Os cristais tendem ao idiomorfismo e à luz natural têm coloração verde intensa para os mais são e/ou castanha, demonstrando já uma certa alteração. A granulometria varia de fina a grossa, sendo observados cristais que vão de 0,002 mm para os glimeritos mais finos a 0,4 mm para os grãos equigranulares em glimeritos de textura média. Em alguns locais chegavam a 2,5 mm de comprimento das lamelas, para os mais grosseiros, podendo excepcionalmente em alguns pontos da galeria da Mina GC chegar a 2cm na sua maior dimensão. As biotitas formam pilhas de lamelas hexagonais imperfeitas, justapostas entre si, chegando até a 0,5 cm de altura.

As análises químicas pontuais sobre os cristais de biotita são mostradas na tabela 6.

c. ANFIBÓLIO

O anfibólio presente é a hastingsita, que ocorre em cristais com coloração verde e euhédricos. As formas alongadas, prismáticas, são abundantes, tendo sido observado também em alguns locais, um aspecto fibroso deste mineral. Sua granulometria é bastante variável, podendo ter em média, 0,002 mm para os cristais mais finos e 0,1 ou 0,2 mm para os de granulometria média e até megacristais isolados. Ocorrem concentrados e orientados em alguns locais da rocha glimerítica em

	16	49	54	73	161	164	179	180	181	182	183	Média
Na ₂ O	0,00	1,24	0,19	0,30	0,00	0,44	0,51	1,25	1,55	0,45	0,00	0,54
MgO	0,03	0,32	0,19	0,16	0,27	0,15	0,20	0,11	0,00	0,07	0,04	0,14
Al ₂ O ₃	0,64	2,62	0,55	0,18	0,09	0,19	0,05	0,66	0,39	0,01	0,27	0,49
SiO ₂	0,03	3,19	0,03	0,71	0,00	0,55	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,41
P ₂ O ₅	44,72	45,31	43,90	43,07	43,31	42,98	41,94	40,42	41,48	37,96	41,94	42,46
S ⁻²	-	-	-	0,04	0,41	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,08
Cl ⁻¹	-	-	-	0,00	0,23	0,00	0,00	0,05	0,02	0,32	0,01	0,08
K ₂ O	-	0,19	0,00	0,01	0,11	0,00	0,09	0,18	0,19	0,00	0,00	0,08
CaO	54,33	46,31	55,12	54,65	55,08	55,26	56,67	53,34	52,84	55,42	56,76	54,16
TiO ₂	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	0,03	0,27	0,10	0,05
Cr ₂ O ₃	-	-	-	0,00	0,10	0,02	0,00	0,13	0,05	0,22	0,00	0,07
MnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14	0,00	0,16	0,24	0,27	0,13	0,00	0,08
Fe ₂ O ₃	0,24	0,49	0,00	0,60	0,18	0,20	0,03	2,86	2,62	3,53	0,65	1,04
CoO	-	-	-	0,03	0,00	0,01	0,00	0,00	0,27	0,30	0,04	0,08
NiO	-	-	-	0,00	0,00	0,04	0,09	0,12	0,00	0,01	0,03	0,04
CuO	-	-	-	0,03	0,05	0,00	0,01	0,00	0,17	0,01	0,09	0,05
ZnO	-	-	-	0,07	0,03	0,00	0,06	0,00	0,00	0,13	0,00	0,04
BaO	0,00	0,34	0,00	0,00	0,00	0,04	0,16	0,00	0,12	0,05	0,00	0,06
PbO	-	-	-	0,13	0,00	0,00	0,14	0,46	0,00	1,13	0,00	0,17
Total	100,0	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Tabela 5- Composição química das apatitas das rochas da Mina Gonzaga de Campos, obtida por análises pontuais ao MEV com EDS, sobre lâminas delgadas de amostras da Mina Gonzaga de Campos.

	154	155	156	147	148	151	153	Média
Na ₂ O	0,30	0,02	0,64	0,56	0,00	0,12	0,59	0,32
MgO	11,47	12,28	11,69	10,55	9,84	10,20	9,04	10,72
Al ₂ O ₃	13,19	12,38	12,86	12,63	12,69	12,26	11,56	12,51
SiO ₂	40,87	42,82	41,11	38,41	39,81	41,63	41,39	40,86
P ₂ O ₅	0,00	0,32	0,29	0,57	0,15	0,00	0,34	0,24
S ⁻²	0,05	0,04	0,02	0,05	0,15	0,12	0,23	0,09
Cl ⁻¹	0,06	0,05	0,07	0,10	0,05	0,02	0,36	0,10
K ₂ O	7,62	7,55	7,97	8,32	8,79	7,82	8,09	8,02
CaO	0,27	0,73	0,24	0,16	0,07	0,36	0,66	0,32
TiO ₂	3,90	3,62	3,68	4,21	4,25	4,02	3,93	3,94
Cr ₂ O ₃	0,09	0,11	0,00	0,06	0,01	0,00	0,12	0,06
MnO	0,16	0,11	0,26	0,10	0,26	0,24	0,10	0,18
Fe ₂ O ₃	21,83	19,71	20,81	23,80	23,45	22,83	22,55	22,14
CoO	0,00	0,11	0,00	0,09	0,10	0,09	0,00	0,06
NiO	0,05	0,00	0,19	0,03	0,09	0,14	0,00	0,07
CuO	0,08	0,13	0,04	0,00	0,15	0,00	0,00	0,06
ZnO	0,00	0,00	0,00	0,12	0,00	0,13	0,08	0,05
BaO	0,06	0,00	0,08	0,14	0,14	0,00	0,57	0,14
PbO	0,00	0,03	0,03	0,08	0,00	0,00	0,19	0,05
TOTAL	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Tabela 6. Composição química das biotitas das rochas da Mina Gonzaga de Campos, obtida por análises pontuais ao MEV com EDS, sobre lâminas delgadas de amostras da Mina Gonzaga de Campos.

pequenas venulações ou lentes, ou mesmo disseminados no meio da matriz micácea. São os minerais principais em algumas bandas da rocha apatítica bandada.

As análises químicas pontuais ao MEV com EDS sobre os grãos de anfibólio estão na tabela 7.

d. FELDSPATO POTÁSSICO

Os feldspatos potássicos, do tipo ortoclásio, são raros e foram identificados ao microscópio óptico, numa única amostra de rocha bandada. Grãos deste mineral puderam ser analisados também ao MEV com EDS, conforme mostra a tabela 8.

e. MAGNETITA

São os únicos minerais opacos identificados na rocha glimerítica da Mina GC. Os cristais apresentam-se em grãos irregulares, disseminados, raramente apresentando formas octaédricas. Foram também analisados ao MEV com EDS, conforme mostra a tabela 9.

Considerando-se os teores médios em TiO_2 (2,05) e Fe_2O_3 (91,34), as magnetitas de Ipanema mais se aproximam das magnetitas titaníferas da classificação de Deer *et al* (1962).

f. OUTROS MINERAIS PRIMÁRIOS

Apenas em duas amostras da mina GC (GCBS7 e GC2.2) foi evidenciada a presença de carbonato, provavelmente calcita, mineral mais comum dos veios carbonatíticos, mas raro nesta localidade. Estes grãos não foram analisados quimicamente.

Com o objetivo de detectar a presença de minerais primários acessórios residuais, sobre sete amostras foram realizados ensaios de separação magnética (ímã de mão e separador Frantz) e separação densimétrica com líquidos pesados (bromofórmio e iodeto de metileno), a partir de frações granulométricas convenientes (areia fina). As frações obtidas foram observadas à lupa binocular e analisadas por DRX. Em nenhuma amostra foi detectada a presença de outros minerais primários além dos descritos acima. No entanto, numa única lâmina delgada foi observada a presença de um grão de zircão, confirmada ao MEV com EDS.

	39	40	41	42	43	53	84	85	86	87	88	89	162	163	167	168	169	174	175	176	177	178	Média
Na ₂ O	5,53	6,09	5,61	6,05	6,22	5,41	6,90	6,22	5,98	6,78	4,71	5,78	4,65	7,17	6,93	5,55	5,63	5,28	6,08	5,70	7,36	6,04	5,98
MgO	20,63	20,44	20,63	20,42	20,82	20,42	18,97	18,11	18,09	15,64	16,99	18,08	19,44	19,04	17,88	17,81	17,81	18,20	17,69	18,12	18,17	18,04	18,60
Al ₂ O ₃	0,55	1,10	0,76	0,68	1,13	0,78	0,25	0,77	1,16	1,45	1,65	1,11	1,02	0,41	0,84	0,28	0,21	0,00	0,07	0,63	0,34	0,25	0,69
SiO ₂	56,55	55,96	56,81	56,25	56,29	56,41	55,77	55,48	55,40	55,44	56,60	55,25	56,50	57,68	55,79	56,24	55,43	56,38	55,69	56,11	55,74	56,11	56,08
P ₂ O ₅	0,29	0,00	0,19	0,30	0,43	0,21	0,00	0,01	0,07	2,02	1,37	0,82	0,16	0,39	0,39	0,54	0,85	0,30	0,18	0,00	0,26	0,26	0,41
S ²⁻	-	-	-	-	-	-	0,03	0,04	0,03	0,07	0,00	0,09	0,29	0,12	0,35	0,30	0,27	0,03	0,03	0,02	0,00	0,02	0,11
Cl ⁻	-	-	-	-	-	-	0,08	0,12	0,01	0,16	0,28	0,00	0,34	0,03	0,17	0,47	0,14	0,00	0,01	0,02	0,02	0,00	0,12
K ₂ O	3,14	3,15	3,21	3,10	2,85	3,20	2,89	3,02	3,10	2,47	3,06	3,10	3,24	2,76	2,80	3,17	3,22	3,74	3,74	3,35	2,88	3,40	3,11
CaO	6,62	6,51	6,54	6,36	6,05	6,55	5,02	5,76	5,75	6,72	6,05	6,33	6,22	4,38	5,24	5,66	6,14	5,76	4,51	5,81	4,47	5,33	5,81
TiO ₂	0,48	0,46	0,42	0,42	0,59	0,58	0,36	0,32	0,35	0,34	0,36	0,45	0,47	0,43	0,49	0,47	0,56	0,35	0,39	0,42	0,35	0,50	0,43
Cr ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	0,06	0,00	0,02	0,01	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,10	0,09	0,00	0,00	0,00	0,08	0,04
MnO	0,05	0,03	0,03	0,12	0,11	0,06	0,00	0,12	0,06	0,18	0,35	0,18	0,10	0,11	0,03	0,04	0,06	0,16	0,10	0,17	0,44	0,00	0,12
Fe ₂ O ₃	8,16	6,25	5,76	6,30	5,52	6,39	9,37	9,55	9,90	8,32	8,98	9,55	8,71	7,11	7,81	8,59	8,88	9,56	11,21	9,15	9,61	9,58	8,28
CoO	-	-	-	-	-	-	0,00	0,16	0,00	0,00	0,18	0,00	0,00	0,00	0,06	0,02	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,03
NiO	-	-	-	-	-	-	0,03	0,00	0,00	0,07	0,00	0,09	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,07	0,14	0,14	0,04	0,04
CuO	-	-	-	-	-	-	0,14	0,27	0,05	0,00	0,30	0,09	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,06	0,21	0,00	0,22	0,08
ZnO	-	-	-	-	-	-	0,09	0,00	0,00	0,25	0,20	0,00	0,09	0,00	0,24	0,07	0,25	0,06	0,07	0,00	0,00	0,00	0,08
BaO	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,09	0,05	0,16	0,11	0,00	0,00	0,27	0,32	0,00	0,00	0,05	0,21	0,08	0,06
PbO	-	-	-	-	-	-	0,03	0,05	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,00	0,12	0,10	0,09	0,00	0,00	0,05
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Tabela 7 - Composição química dos anfibólios das rochas da Mina Gonzaga de Campos, obtida por análises pontuais ao MEV com EDS, sobre lâminas delgadas de amostras da Mina Gonzaga de Campos.

	1	4	5	111	120	Média
Na ₂ O	0,94	0,16	0,32	0,00	1,57	0,60
MgO	0,14	0,11	0,00	0,06	0,00	0,06
Al ₂ O ₃	18,12	17,47	17,36	18,64	17,06	17,73
SiO ₂	64,38	64,12	64,00	67,07	64,39	64,80
P ₂ O ₅	0,54	0,47	0,00	0,34	0,43	0,36
S ⁻²	-	-	-	0,00	0,10	0,05
Cl ⁻¹	-	-	-	0,28	0,12	0,20
K ₂ O	14,63	16,07	17,24	12,73	14,78	15,09
CaO	0,00	0,00	0,05	0,02	0,13	0,04
TiO ₂	0,00	0,12	0,04	0,10	0,11	0,07
Cr ₂ O ₃	-	-	-	0,00	0,00	0,00
MnO	0,00	0,06	0,00	0,07	0,00	0,03
Fe ₂ O ₃	0,80	0,43	0,95	0,26	0,91	0,67
CoO	-	-	-	0,00	0,11	0,06
NiO	-	-	-	0,05	0,00	0,03
CuO	-	-	-	0,14	0,10	0,12
ZnO	-	-	-	0,00	0,16	0,08
BaO	0,45	1,01	0,03	0,00	0,00	0,30
PbO	-	-	-	0,23	0,00	0,12
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Tabela 8 - Composição química dos feldspatos potássicos das rochas da Mina Gonzaga de Campos, obtida por análises pontuais ao MEV com EDS, sobre lâminas delgadas de amostras da Mina Gonzaga de Campos.

	121	122	123	124	125	126	127	128	134	137	Média
Na₂O	0,62	0,09	0,00	0,27	0,00	0,00	0,83	0,00	0,63	1,11	0,36
MgO	0,43	0,32	0,12	0,00	0,55	0,18	0,24	0,34	0,93	0,53	0,36
Al₂O₃	0,45	0,64	0,48	0,19	0,49	0,40	1,14	0,72	1,19	0,66	0,64
SiO₂	0,81	1,06	0,81	11,73	1,04	13,68	2,19	3,29	1,71	1,52	3,78
P₂O₅	0,08	0,20	0,25	0,00	0,15	0,00	0,58	0,51	0,74	0,67	0,32
S⁻²	0,04	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,05	0,05	0,15	0,36	0,07
Cl⁻¹	0,11	0,06	0,00	0,10	0,05	0,00	0,03	0,00	0,11	0,40	0,09
K₂O	0,00	0,02	0,00	0,06	0,02	0,00	0,06	0,03	0,06	0,00	0,03
CaO	0,15	0,27	0,19	0,04	0,13	0,05	0,29	0,26	0,09	0,11	0,16
TiO	1,53	1,37	1,56	1,06	8,81	0,78	1,35	1,50	1,47	1,11	2,05
Cr₂O₃	0,00	0,12	0,24	0,26	0,02	0,04	0,00	0,02	0,10	0,00	0,08
MnO	0,18	0,10	0,12	0,07	0,50	0,05	0,28	0,29	0,30	0,31	0,22
Fe₂O₃	95,22	95,32	95,54	85,79	87,81	84,03	92,84	92,46	91,62	92,73	91,34
CoO	0,19	0,18	0,00	0,18	0,08	0,37	0,00	0,09	0,21	0,22	0,15
NiO	0,00	0,00	0,17	0,05	0,00	0,00	0,12	0,00	0,13	0,00	0,05
CuO	0,00	0,00	0,22	0,02	0,09	0,00	0,00	0,08	0,44	0,02	0,08
ZnO	0,00	0,00	0,10	0,00	0,19	0,06	0,00	0,35	0,00	0,09	0,08
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	0,00	0,00	0,10	0,00	0,03
PbO	0,18	0,26	0,19	0,19	0,02	0,17	0,00	0,00	0,00	0,16	0,12
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Tabela 9 - Composição química das magnetitas das rochas da Mina Gonzaga de Campos, obtida por análises pontuais ao MEV com EDS, sobre lâminas delgadas.

III.2. ALTERAÇÃO DOS TIPOS LITOLÓGICOS DA MINA GONZAGA DE CAMPOS

III.2.1. A ROCHA APATÍTICA BANDADA ALTERADA - aspectos morfológicos

A partir da base do perfil, em direção ao topo, a friabilidade da rocha apatítica bandada aumenta, ao mesmo tempo em que as cores vão se tornando avermelhadas. Assim, passa-se a uma rocha friável ainda bandada (isalterítica), onde se alternam bandas brancas, com maior ou menor grau de ferruginização, e bandas avermelhadas (alteração das partes ricas em anfibólios e/ou micas). O aumento de friabilidade acompanha um aumento na quantidade de fraturas cruzando a rocha em todas as direções, preenchidas por finas películas de material vermelho, argiloferruginoso.

O material argiloferruginoso, constituído por caulinita, goethita, wavelita e eventualmente vermiculita, instala-se nas fissuras entre os fragmentos de rocha bandada, e, aumentando de espessura pelo contínuo aporte, desloca mecanicamente estes fragmentos, tirando-os de sua posição original. Os fragmentos passam a apresentar bandamento em direções variadas entre si, demonstrando este deslocamento relativo e caracterizando formas "brechadas" (figura 5). Existem ainda manchas pretas disseminadas por toda a rocha, constituída por impregnações de produtos manganésíferos secundários. Os fragmentos bandados tornam-se menores e a parte superior da isalterita grada para um material aloterítico predominantemente vermelho, constituído essencialmente por caulinita e goethita, contendo eventualmente wavelita e vermiculita, bem como nódulos ferruginosos milimétricos, duros, em pequena quantidade.

Para fins de descrição, amostragem e análises posteriores, o material alterado proveniente do intemperismo da rocha apatítica bandada foi dividido nas seguintes fácies, cujas transições também foram consideradas:

Isalterita:

- . fácies bandada pouco alterada com apatita, anfibólio e mica (branco/cinza-esverdeado/preto-cinza),
- . fácies brechada (fragmentos isalteríticos).

Aloterita:

- . fácies vermelha iluvial do material brechado,
- . fácies vermelha friável (parte superior do perfil)

LEGENDA:

- **FISSURAS FERRUGINIZADAS**
- **DEPÓSITOS FERRUGINOSOS CUTÂNICOS ZONADOS**
- **ROCHA BANDADA SÃ OU POUCO ALTERADA**
- **RESTOS DE ROCHAS BANDADAS**
- **MATERIAL ILUVIAL EVOLUÍDO (ferruginoso, argiloso e fosfático) (cutãs e papoules)**
- **GEODO DE WAVELITA EM CUTÃ FERRUGINOSA**

Figura 5 - Esquema morfológico e mineralógico da evolução da rocha apatítica bandada, tal como verificado no perfil de intemperismo da Mina Gonzaga de Campos

III.2.2. A ROCHA GLIMERÍTICA ALTERADA: aspectos morfológicos

A evolução do processo de alteração, evidenciada no perfil, tanto vertical como horizontalmente, demonstra uma grande variação nas cores, granulometria, estruturas e na friabilidade da rocha glimerítica.

Materiais mais evoluídos, já sem estruturas primárias, vão aparecendo mais em direção ao topo, caracterizando porções aloteríticas diferenciadas com relação às isalteritas das rochas basais e medianas pela crescente presença de material argiloso muito fino e vermelho. Dessa forma, as biotitas já totalmente alteradas teriam dado origem aos materiais avermelhados e esverdeados, argilosos e plásticos das porções superiores do perfil. Ocorrem magnetitas de cor cinza a preta formando manchas disseminadas por todo o perfil. A figura 6 esquematiza a evolução morfológica deste tipo litológico.

Raramente, pode-se observar, nas partes intermediárias, a presença de grãos brancos, arenosos, de hábito sacaróide, formando pequenos geodos dentro da massa aloterítica. Trata-se, provavelmente, de produto da remobilização do fósforo formando apatita secundária.

Numa tentativa de visualizar melhor o perfil de alteração da rocha glimerítica, com finalidades descritivas, de amostragem e análises posteriores, tomando-se por base o exposto acima, e levando-se em conta a transição dos diversos materiais, foram identificadas as diferentes fácies:

- a. fácies micácea, verde, isalterítica, com granulometria variando de fina a grosseira.
- b. fácies micácea de cor castanha,
- c. fácies verde argilosa,
- d. fácies vermelha argilosa.

Nesta sequência de fácies a mineralogia evolui, e a presença de argilominerais 2:1 (interestratificados biotita-vermiculita e vermiculita) e 1:1 (caulinita) e oxihidróxidos de ferro é crescente de a para d.

LEGENDA:

- FISSURAS FERRUGINIZADAS
- BIOTITA
- VEMICULITA + INTERESTRATIFICADOS (BIOTITA-VERMICULITA) , (fácies grosseira)
- IDEM (fácies mais fina)
- CAULINITA
- FERRUGINIZAÇÃO GENERALIZADA

FIGURA 6. Esquema morfológico e mineralógico da evolução da rocha glimerítica, tal como verificado no perfil de intemperismo da Mina Gonzaga de Campos.

III.3. ALTERAÇÃO DOS MINERAIS PRIMÁRIOS: MORFOLOGIA, MINERALOGIA E GEOQUÍMICA

O estudo dos produtos de alteração presentes na Mina Gonzaga de Campos permitiu reconhecer as seguintes filiações minerais, que ocorrem para ambos os tipos litológicos:

BIOTITA → INTERESTRATIFICADO B-V + → CAULINITA + GOETHITA
VERMICULITA + GOETHITA

ANFIBÓLIO → GOETHITA (eventualmente apatita secundária a partir de P e Ca alóctones)

APATITA → WAVELITA (com goethita a partir do ferro alóctone)

A seguir, os minerais primários serão tratados um a um, em termos de morfologia, mineralogia e evolução geoquímica no intemperismo tal como registrado pelos materiais da Mina Gonzaga de Campos.

III.3.1. APATITA

Ao M.O., as apatitas apresentam padrão de alteração predominantemente linear irregular a partir dos contatos intercristalinos e das fissuras intracristalinas. É comum a presença de uma película ferruginosa sublinhando os contatos entre os grãos de apatita. Após ou simultaneamente a formação desta película, a apatita começa a se alterar, dissolvendo-se. Logo no início, com a liberação de íons e formação de espaços já pode haver wavelita nestes locais que, aparentemente, não tem porosidade, ou seja, são descontinuidades muito fechadas dando a impressão de que a passagem da fase primária para a fase secundária é mais ou menos abrupta (foto 1). Ao M.E.V., observa-se que, em seus estágios iniciais de alteração há um desenvolvimento de porosidades com localização aparentemente aleatória (padrão geométrico pontuado) (foto 2) e/ou dissoluções a partir das bordas (padrão linear irregular ou pelicular). Outras feições de alteração, bastante evidentes e encontradas generalizadamente, são fissuras e fraturas com ou sem ferruginizações, denotadas pela coloração amarelada na superfície de alguns cristais e detectadas nas análises ao MEV com EDS.

Com a total dissolução dos grãos, resta a rede ferruginosa onde a wavelita reveste a superfície interna de cada célula do retículo ferruginoso. Assim, o espaço deixado pela dissolução da apatita pode estar total ou parcialmente preenchido por

cristais de wavelita, formando vários pequenos "geodos" ou cutãs, quando o preenchimento não é total (foto 3).

A wavelita constitui o único produto residual de alteração da apatita (foto 4). Apresenta-se em cristais finos a aciculares, incolores e com birrefringência média a alta. Pode ainda ocorrer preenchendo feições de descontinuidades e/ou porosidades do material ferruginoso, também formando cutãs, ou ainda disseminada no plasma secundário fosfático ou argiloso.

A tabela 10 mostra a média das análises químicas pontuais realizadas sobre os grãos de apatita (tabela 5) e seus produtos de alteração (wavelita, eventualmente impregnada por produtos ferruginosos). A figura 7 mostra espectros EDS, sobre fragmentos indeformados, mostrando a composição química qualitativa da apatita sã, apatita com evidências morfológicas de alteração e wavelita.

A apatita é muito resistente. Quando começa a se alterar, há dissolução, com liberação de cálcio e fósforo. O cálcio, normalmente, é prontamente lixiviado e o fósforo é retido na neoformação "in situ" de fosfato secundário (wavelita), que usa, certamente, o alumínio das soluções. O alumínio liberado da alteração de outros minerais primários, pode ser parcialmente aprisionado pelo fósforo, dando origem a este mineral alumino-fosfático, que não mostra nenhum outro elemento em sua composição, a não ser traços de cálcio em alguns pontos de análise pontual, o que foi considerado influência da apatita vizinha.

, Excepcionalmente, observa-se apatita secundária, formada possivelmente, onde não houve aporte de alumínio, em ambientes extremamente confinantes, sendo o cálcio então, retido, caracterizando a formação de micro-geodos.

III.3.2. BIOTITA

As feições de alteração presentes nas biotitas são as comumente descritas na literatura: padrão de alteração linear paralelo com aumento de volume e expansão lateral na direção do eixo c, perda de sua coloração inicial (os cristais passam de um verde oliva para um amarelo pálido), diminuição da birrefringência, deformação das lamelas (com encurvamento e eventual ruptura), fragmentação e ferruginização, com entrada de oxihidróxidos de ferro nos espaços interlamelares e nas descontinuidades dos cristais representadas pelas fissuras, clivagens ou contornos. Estas observações estão de acordo com o estudo micromorfológico da alteração de biotitas e seus

FIGURA 7. Espectros EDS da apatita sã, apatita em alteração (com traços de Al) e wavelita, obtidos ao MEV, sobre amostras da Mina Gonzaga de Campos.

	12	13	14	15	17	20	50	55	55.1	55.2	113	114	Média da apatita I (tab. 5)
Na ₂ O	0,08	0,00	0,63	0,10	0,83	0,05	0,75	0,00	0,00	0,75	0,01	1,31	0,54
MgO	0,22	0,07	0,23	0,46	0,00	0,00	0,60	0,00	0,00	0,92	0,16	0,36	0,14
Al ₂ O ₃	44,81	35,42	43,55	44,84	44,45	47,83	34,78	44,82	47,40	41,47	42,45	38,16	0,49
SiO ₂	0,00	13,62	2,98	0,83	1,42	0,00	18,55	0,29	1,14	6,98	1,48	10,04	0,41
P ₂ O ₅	50,77	34,35	48,08	49,23	49,08	51,85	27,28	53,17	49,30	41,98	48,89	40,29	42,46
S ⁻²	-	-	-	-	0,10	-	-	-	0,00	0,00	0,10	0,00	0,08
Cl ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	-	0,23	0,18	0,06	0,16	0,08
K ₂ O	0,00	0,15	0,14	0,05	0,12	0,06	0,50	0,03	0,30	0,23	0,47	1,16	0,08
CaO	0,09	0,47	0,22	0,09	0,87	0,03	1,49	0,09	0,60	0,31	0,08	0,86	54,16
TiO ₂	0,00	1,38	0,00	0,25	0,00	0,00	0,74	0,07	0,00	0,42	0,17	0,27	0,05
Cr ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,06	0,07
MnO	0,02	0,01	0,00	0,03	0,00	0,07	0,00	0,09	0,12	0,00	0,00	0,00	0,08
Fe ₂ O ₃	3,84	14,53	3,78	4,12	2,96	0,12	11,58	1,43	0,62	5,82	5,78	5,47	1,04
CoO	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00	0,00	0,06	0,16	0,08
NiO	-	-	-	-	-	-	-	-	0,04	0,23	0,00	0,09	0,04
CuO	-	-	-	-	-	-	-	-	0,22	0,30	0,00	0,11	0,05
ZnO	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00	0,24	0,08	0,08	0,04
BaO	0,17	0,00	0,38	0,00	0,15	0,00	3,72	0,00	0,00	0,00	0,10	1,42	0,06
PbO	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00	0,14	0,00	0,00	0,17
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Tabela 10 - Composição química média da apatita primária (tabela 5) e análises pontuais ao MEV com EDS de seus produtos de alteração (wavelita), na Mina Gonzaga de Campos.

produtos secundários feito por Bisdom *et al* (1982), bem como inúmeros outros autores.

Os produtos secundários relacionados à alteração das biotitas são, em suas fases intermediárias, os interestratificados biotita-vermiculita e, nas fases mais evoluídas, vermiculita, estas duas fases podem coexistir, pois como a transformação da biotita em vermiculita é um processo lento, há locais em que se encontram folhetos abertos (o potássio já teria sido lixiviado ou substituído) e folhetos ainda fechados, mantendo-se ainda alguma estrutura original dos cristais. Em alguns espaços interlamelares destas pseudomorfoses foram também observadas as presenças de fosfatos secundários alóctones incolores. Estas pseudomorfoses evoluem para material de composição caulínítica, geralmente com destruição total da pseudomorfose anterior (foto 5).

A goethita, outro produto de alteração das biotitas, concentra-se primariamente nas discontinuidades e/ou nas bordas daqueles minerais. Em estágios mais avançados também formam pseudomorfoses por emparedamento.

Nos espaços interlamelares das micas, bem como nas porosidades da goethita pode haver preenchimento por fosfatos secundários neoformados.

A evolução mineralógica da biotita é a seguinte:

A figura 8 mostra espectros EDS obtidos ao MEV, sobre fragmentos indeformados, mostrando a composição química qualitativa da biotita sã, biotita alterada e plasma ferruginoso caulínítico.

As análises químicas pontuais dos materiais correspondentes (biotitas e suas pseudomorfoses em vários estágios de desenvolvimento) são mostradas na tabela 11 e foram utilizadas para a confecção dos gráficos da figura 9.

Nas fases iniciais, isalteríticas, o potássio é lixiviado. Na sequência do processo de alteração, há remobilização e individualização do ferro (autóctone e talvez também alóctone), que se coloca nas discontinuidades dos cristais. Concomitantemente a esta deferruginização, há alguma modificação nos teores em Si e Al, correspondendo ao estágio de vermiculita e de interestratificado biotita-vermiculita.

Posteriormente, há remobilização e perdas parciais em Si e Al, correspondendo ao estágio de caulinitização. Estas modificações, quando não há preservação das pseudomorfoses, dão origem a um plasma secundário argiloferruginoso.

Figura 8. Espectros EDS da biotita e seus produtos de alteração pseudomórfica, obtidos ao MEV sobre amostras da Mina Gonzaga de Campos (1. Biotita sã, 2. Biotita em alteração, já sem potássio, dando I-B-V/V, 3. Plasma ferruginoso caulínítico como produto de alteração de I-B/V).

T2088

	19	82	83	78	79	81	74	75	76	77	140	141	142	143	144	21	22	23	24	25	26
Na ₂ O	0,51	1,54	0,00	0,14	2,10	2,88	0,39	0,35	0,18	0,75	1,08	0,09	1,48	1,03	0,51	2,36	0,94	0,65	3,28	0,66	0,95
MgO	1,12	1,36	0,46	3,57	11,87	6,46	4,03	3,57	2,01	12,82	1,31	1,09	2,26	1,05	1,48	10,33	18,20	14,35	10,51	17,59	2,30
Al ₂ O ₃	14,49	6,94	6,71	9,11	8,51	7,30	9,72	8,74	6,75	9,37	7,46	6,99	10,57	7,05	1,92	13,74	15,27	19,68	14,04	16,47	17,97
SiO ₂	48,68	43,93	17,91	43,47	52,53	55,70	45,79	41,87	57,57	49,15	55,25	54,98	59,77	56,98	78,23	55,36	52,37	50,48	52,50	50,05	57,51
P ₂ O ₅	7,18	3,50	6,14	3,03	2,88	3,48	2,65	2,77	2,65	2,62	0,69	1,08	2,47	0,77	0,50	3,00	1,19	1,30	2,98	0,68	2,80
S ²⁻	-	0,00	0,05	0,06	0,20	0,02	0,00	0,09	0,09	0,03	0,06	0,01	0,10	0,17	0,50	-	-	-	-	-	-
Cl ⁻	-	0,33	0,07	0,54	0,69	1,04	0,60	0,58	0,27	1,35	0,37	0,22	0,79	0,14	0,48	-	-	-	-	-	-
K ₂ O	0,11	0,25	0,17	0,80	1,85	1,55	0,83	0,56	0,48	3,28	0,28	0,09	2,77	0,26	0,01	0,49	0,22	0,13	0,28	0,30	0,68
CaO	0,48	2,37	1,02	2,27	3,98	5,47	2,46	2,33	3,21	2,66	1,61	1,61	1,79	1,08	2,89	3,95	1,43	0,82	2,06	0,86	1,42
TiO ₂	0,35	0,92	2,25	0,91	0,91	0,37	1,10	0,99	0,62	0,71	0,27	0,16	0,23	0,05	0,19	1,39	0,85	0,91	0,72	1,22	0,48
Cr ₂ O ₃	-	0,04	0,06	0,00	0,00	0,03	0,00	0,27	0,07	0,03	0,00	0,09	0,00	0,00	0,11	-	-	-	-	-	-
MnO	0,00	0,00	0,26	0,02	0,00	0,05	0,03	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,17	0,16	0,00	0,17	0,00
Fe ₂ O ₃	26,81	38,19	64,68	35,15	13,86	14,33	31,74	37,27	25,14	16,73	30,71	33,14	17,66	31,38	12,91	9,31	9,35	11,50	13,28	12,00	15,81
CoO	-	0,00	0,00	0,48	0,22	0,03	0,14	0,12	0,21	0,13	0,30	0,16	0,07	0,01	0,21	-	-	-	-	-	-
NiO	-	0,00	0,02	0,02	0,00	0,23	0,24	0,00	0,17	0,15	0,11	0,00	0,00	0,00	0,04	-	-	-	-	-	-
CuO	-	0,14	0,00	0,02	0,10	0,31	0,16	0,06	0,06	0,00	0,27	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-	-	-	-	-
ZnO	-	0,29	0,11	0,03	0,04	0,11	0,10	0,14	0,07	0,08	0,14	0,04	0,02	0,00	0,00	-	-	-	-	-	-
BaO	0,26	0,16	0,08	0,27	0,25	0,47	0,00	0,26	0,21	0,00	0,00	0,00	0,03	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,35	0,00	0,10
PbO	-	0,02	0,00	0,08	0,00	0,16	0,00	0,00	0,24	0,12	0,06	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-	-	-	-
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

	27	29	30	56	57	58	59	60	61	62	67	69	70	71	71a	18	80	28	Média da biotita sã (tab.6)
Na ₂ O	0,00	0,32	0,92	0,71	0,00	0,00	0,81	0,55	0,34	0,00	2,24	0,29	0,19	0,35	0,01	0,67	0,07	3,93	0,32
MgO	2,19	2,02	7,90	3,25	2,48	11,78	15,39	15,95	15,95	12,75	8,76	13,57	13,23	11,50	9,89	0,35	3,20	2,79	10,72
Al ₂ O ₃	21,31	10,14	17,90	28,00	30,24	20,89	15,42	18,82	16,97	16,41	20,07	22,17	25,33	25,02	28,83	30,09	13,47	4,69	12,51
SiO ₂	50,01	51,29	56,75	50,88	51,07	49,62	49,61	47,86	47,76	48,65	53,51	47,44	47,65	48,66	48,81	25,20	26,19	33,14	40,86
P ₂ O ₅	4,40	3,29	1,55	3,27	3,19	2,98	2,39	1,91	4,14	3,20	3,90	4,91	5,31	3,00	4,33	29,18	28,49	23,26	0,24
S ²⁻	-	-	-	0,08	0,07	0,00	0,01	0,00	0,03	0,29	0,11	0,13	0,10	0,11	0,19	-	0,05	-	0,09
Cl ⁻	-	-	-	0,31	0,00	0,16	0,14	0,09	0,14	-	0,10	0,00	0,00	0,08	0,10	-	0,47	-	0,10
K ₂ O	0,35	0,37	0,54	0,13	0,17	0,09	0,48	0,21	0,18	0,21	0,44	0,29	0,25	0,27	0,30	0,04	0,62	0,72	8,02
CaO	1,05	1,13	2,50	0,92	0,46	0,52	1,30	1,06	2,40	0,94	1,72	0,61	0,63	0,70	0,39	0,37	1,83	26,54	0,38
TiO ₂	0,69	0,56	0,64	1,26	1,21	1,41	1,32	1,16	1,67	1,48	0,91	0,53	0,43	0,85	0,55	0,36	0,37	0,32	3,94
Cr ₂ O ₃	-	-	-	0,00	0,09	0,00	0,04	0,10	0,03	0,00	0,17	0,02	0,02	0,00	0,00	-	0,00	-	0,06
MnO	0,00	0,06	0,07	0,00	0,00	0,27	0,10	0,14	0,27	0,09	0,00	0,00	0,17	0,15	0,12	0,03	0,13	0,00	0,18
Fe ₂ O ₃	19,99	30,82	11,22	10,54	10,85	11,06	12,43	11,27	10,91	15,06	7,78	9,40	6,22	9,21	5,96	13,71	25,01	4,61	22,14
CoO	-	-	-	0,04	0,00	0,23	0,05	0,30	0,00	0,42	0,00	0,06	0,03	0,00	0,06	-	0,00	-	0,06
NiO	-	-	-	0,00	0,00	0,03	0,04	0,07	0,00	0,07	0,0	0,01	0,00	0,07	0,00	-	0,00	-	0,07
CuO	-	-	-	0,00	0,08	0,24	0,38	0,22	0,11	0,26	0,19	0,10	0,16	0,01	0,18	-	0,00	-	0,06
ZnO	-	-	-	0,09	0,00	0,18	0,07	0,07	0,01	0,06	0,08	0,00	0,00	0,00	0,15	-	0,00	-	0,05
BaO	0,00	0,00	0,00	0,13	0,09	0,23	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,49	0,27	0,00	0,13	0,00	0,04	0,00	0,14
PbO	-	-	-	0,41	0,00	0,30	0,02	0,18	0,31	0,12	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	-	0,06	-	0,05
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Tabela 11 - Composição química média da biotita (tabela 6) e análises pontuais ao MEV com EDS sobre seus produtos de alteração em pseudomorfoses, em materiais da Mina Gonzaga de Campos.

Biotitas sãs (B) e seus produtos de alteração (demais pontos), mostrando a evolução química daqueles minerais:

- a. perda de potássio**
- b. individualização do ferro**
- c. formação do plasma argilo-ferruginoso (argilominerais)**

- a. perda de potássio**
- b. formação de argilominerais menos aluminosos do que a caulinita (Ka)**
- c. formação de caulinita**

Figura 9. Diagramas triangulares mostrando a evolução química na alteração das biotitas, segundo os dados da Tabela 6.

III.3.3. ANFIBÓLIOS

Os anfibólios apresentam padrão de alteração linear cruzado a irregular na escala de cristais e padrão pelicular na escala de fragmentos de cristais. Ao M.O., os anfibólios alterados apresentam uma coloração menos intensa do que os mais sãos, passando de um verde intenso a um castanho amarelado. Possuem birrefringência menor à luz polarizada.

A dissolução a partir das discontinuidades (clivagens e fraturas) produz volumes com superfície finamente denticulada (similar a um pente) e resíduo ferruginoso e, finalmente, pseudomorfoses ferruginosas por emparedamento, que vão se desenvolvendo à medida que o mineral primário se desestabiliza. Estruturas do tipo "box-work", comumente derivadas da alteração destes minerais, podem estar preenchidas por wavelita ou, mais raramente, por apatita secundária. O produto direto da alteração destes minerais é a goethita. Não foi observada a ocorrência de argilominerais na alteração destes anfibólios (foto 6).

A figura 10 mostra os espectros EDS a partir dos anfibólios e seus produtos de alteração.

As análises químicas pontuais efetuadas sobre estes materiais são mostradas na tabela 12 e resultaram no gráfico da figura 11.

Os elementos químicos deste mineral sofrem comportamento semelhante ao das micas, com perda, inicialmente, das bases (Ca^{2+} e Mg^{2+}) e posteriormente do silício. O ferro individualiza-se como produto de alteração destes minerais, com permanência de traços de silício e alumínio.

III.3.4. OUTROS MINERAIS

a. FELDSPATO POTÁSSICO

Não foram detectados, nos materiais alterados, produtos diretamente relacionados à alteração dos feldspatos potássicos, provavelmente, estes minerais alteraram-se em caulinita com impregnação por produtos ferruginosos, que não formou pseudomorfoses evidentes, misturando-se logo ao plasma secundário, constituindo assim porções aloteríticas das amostras estudadas. Contudo, análises pontuais qualitativas ao MEV com EDS mostraram alguma modificação na sua composição química devida à alteração, indicando lixiviação parcial do potássio e do alumínio.

Figura 10. Espectros EDS dos anfibólios e seus produtos de alteração, obtidos ao MEV sobre amostras da Mina Gonzaga de Campos (1. anfibólio são. 2. anfibólio em alteração, 3. produtos secundários derivados da alteração do anfibólio).

	108	109	110	112	165	166	Média do anfibólio são (tab. 7)
Na₂O	0,00	1,13	0,94	2,52	0,82	0,27	5,98
MgO	0,87	0,05	0,00	0,22	3,66	0,87	18,60
Al₂O₃	6,71	15,55	6,20	5,14	7,26	7,56	0,69
SiO₂	17,13	15,11	3,86	9,37	57,51	55,15	56,08
P₂O₅	9,11	22,07	16,69	8,38	1,99	2,13	0,41
S⁻²	0,05	0,11	0,00	0,00	0,23	0,01	0,11
Cl⁻¹	0,36	0,26	0,08	0,33	0,30	0,93	0,12
K₂O	0,51	0,88	0,10	0,08	1,02	0,43	3,11
CaO	0,92	1,47	0,69	0,78	2,48	2,93	5,81
TiO₂	4,05	2,41	4,44	4,45	0,59	0,41	0,43
Cr₂O₃	0,00	0,00	0,00	0,22	0,00	0,31	0,04
MnO	0,00	0,24	0,70	0,24	0,00	0,11	0,12
Fe₂O₃	57,88	28,66	60,07	66,27	22,93	27,25	8,28
CoO	0,02	0,00	0,00	0,00	0,21	0,00	0,03
NiO	0,00	0,16	0,18	0,13	0,20	0,20	0,04
CuO	0,61	0,00	0,00	0,12	0,27	0,40	0,08
ZnO	0,20	0,00	0,14	0,10	0,15	0,55	0,08
BaO	1,77	11,91	5,77	1,36	0,26	0,27	0,06
PbO	0,00	0,00	0,13	0,27	0,11	0,24	0,05
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Tabela 12 - Composição química média do anfibólio (tabela 7) e análises pontuais ao MEV com EDS sobre seus produtos de alteração em pseudomorfoses, em materiais da Mina Gonzaga de Campos.

Figura 11. Diagrama triangular (Ca/Mg/Fe) mostrando a evolução química na alteração dos anfibólios, conforme os dados da Tabela 7.

b. MAGNETITA

As magnetitas apresentam pequena reação ao intemperismo nos níveis isalteríticos, fraturando-se e dissolvendo-se parcialmente ao longo das discontinuidades, causando ferruginizações ao seu redor (oxidação). Podem receber nestas fraturas materiais alóctones e fosfáticos.

III.4. PLASMAS SECUNDÁRIOS (materiais reorganizados e feições iluviais - formação da aloterita)

Os materiais constituintes do plasma (sem preservação das estruturas e texturas primárias) ocorrem em toda a alterita, naturalmente de forma incipiente na base do perfil, como porções aloteríticas dentro da isalterita, aumentando gradativamente, ocorrendo de forma generalizada nas partes superiores, onde acentua-se a natureza aloterítica dos materiais. Estes materiais testemunham as transferências e reorganizações e foram analisados para complementar a caracterização dos materiais da Mina Gonzaga de Campos. Embora a parte aloterítica do perfil não tenha sido detalhada neste trabalho, sua formação pode ser acompanhada pela evolução do plasma secundário na isalterita.

Sobre a rocha apatítica bandada, estes materiais do plasma secundário ocorrem sob a forma de preenchimento das fissuras que cortam a rocha desde a base do perfil de alteração (preenchimentos cutânicos observados também macroscopicamente) e também sob a forma de reorganizações nos vários tipos de discontinuidades.

No primeiro caso (feições iluviais), os depósitos desenvolvem feições cutânicas típicas, com zoneamento regular ou irregular e formação de papoules (foto 7). Sua composição química é muito variável (tabela 13a), refletindo na variedade de aspecto ao M. O., sendo constituído pelos elementos retidos no perfil (Si, Al, P e Fe), formando misturas de fases argilosas (caulinita), ferruginosas (goethita) e fosfáticas (wavelita) em diversas proporções. Esta mistura é, em geral, suficientemente íntima para a não diferenciação óptica das fases; contudo, há locais em que houve uma nítida precipitação de wavelita pura posterior.

No segundo caso (feições de reorganização), os mesmos minerais estão presentes (caulinita, goethita e wavelita, além de restos dos minerais primários em vias de alteração). Estas feições caracterizam volumes irregulares ao longo das descontinuidades, indicando zonas de maior circulação e, portanto, de mais rápida evolução morfológica, com destruição das heranças geométricas. Os materiais aí presentes provêm da evolução tanto das bandas apatíticas (formando plasmas mais ricos em fósforo e menos ferruginizados) como das bandas mais silicáticas (biotitas e anfibólios), mas têm certamente uma contribuição alóctone, já que representam zonas de maior circulação, e que pode ser verificada pelas composições químicas apresentadas nas análises pontuais (tabela 13b).

O material fissural mostra que sofreu um gradativo aumento em seu volume, forçando o deslocamento relativo dos volumes isalteríticos delimitados pela rede fissural, conforme documentado na foto 7. Assim, a aloterita sobre a rocha bandada forma-se, aqui, por uma via centrípeta, com as fissuras crescendo de importância em espessura e quantidade, invadindo os fragmentos, substituindo-os, e por uma via centrífuga, com reorganização progressiva dos materiais de dentro dos fragmentos, caminhando para uma progressiva homogeneização entre os dois tipos de plasma secundário citados, apagando as feições do bandamento original.

Sobre a rocha glimerítica, a distinção entre feições iluviais e de remobilização não é tão simples; parece que a composição e estrutura da rocha glimerítica (filossilicatos não orientados), condiciona a circulação mais homogênea, dificultando o estabelecimento de zonas preferenciais de circulação, e o resultado é que o processo de aloterização é difuso por todo material, e, muitas vezes, as fissuras transminerais se confundem com os espaços intracristalinos por onde se dá a alteração das micas.

Os materiais das fissuras são principalmente ferruginosos mas também apresentam Si, P e Al em sua composição (tabela 13c), sendo constituídos basicamente por goethita e caulinita (wavelita é apenas suposta presente através da existência de P e Al nas análises pontuais). Estes materiais têm um caráter diferente daquele descrito para a rocha apatítica bandada, ou seja, com importância mais restrita. Apatita secundária preenchendo os vazios das pseudomorfoses ferruginosas de anfibólios são também enquadradas neste tipo de material. Quanto aos materiais reorganizados, formam volumes irregulares, nitidamente provenientes da evolução morfológica dos filossilicatos e apresentam composição argiloferruginosa, onde a fase argilosa predomina (caulinita e vermiculita) e onde também ocorrem traços de P e de Al (tabela 13d). O cálcio presente em algumas análises foi relacionado à existência de

apatita ainda em vias de alteração. Os dados da tabela 13 como um todo mostram a grande variedade de composição e, portanto, de proporções entre as fases mineralógicas principais misturadas nestes plasmas (wavelita, caulinita e goethita), e também a ocorrência localizada de fases mais puras detectadas por análises mais próximas dos pólos fosfático, aluminoso, silicático e ferruginoso.

Parte a	44	45	46	47	48	95	96	97	98	Média
Na ₂ O	0,73	0,00	0,44	1,16	0,19	0,15	0,00	0,00	0,00	0,30
MgO	0,53	0,00	0,00	0,79	0,00	1,05	0,26	0,00	0,00	0,29
Al ₂ O ₃	35,64	46,45	47,06	38,47	44,82	10,85	46,79	18,13	46,13	37,13
SiO ₂	17,59	0,43	0,60	8,18	0,00	60,47	0,00	64,27	0,00	16,84
P ₂ O ₅	31,81	50,98	50,14	43,37	51,83	1,47	49,88	1,12	49,99	36,73
S ⁻²	-	-	-	-	-	0,11	0,03	0,00	0,00	0,04
Cl ⁻¹	-	-	-	-	-	0,13	0,07	0,00	0,01	0,05
K ₂ O	0,24	0,31	0,15	0,37	0,19	0,09	0,09	15,83	0,09	1,93
CaO	1,30	0,49	0,64	0,58	0,23	1,39	0,04	0,00	0,13	0,53
TiO ₂	0,50	0,23	0,06	0,37	0,11	0,37	0,01	0,19	0,00	0,20
Cr ₂ O ₃	-	-	-	-	-	0,18	0,12	0,06	0,06	0,11
MnO	0,00	0,00	0,00	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
Fe ₂ O ₃	9,54	1,10	0,87	6,36	2,81	23,48	2,46	0,24	2,68	5,50
CoO	-	-	-	-	-	0,11	0,05	0,00	0,00	0,04
NiO	-	-	-	-	-	0,00	0,03	0,00	0,12	0,04
CuO	-	-	-	-	-	0,00	0,05	0,13	0,00	0,05
ZnO	-	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
BaO	2,12	0,00	0,04	0,17	0,00	0,14	0,13	0,00	0,22	0,31
PbO	-	-	-	-	-	0,00	0,00	0,01	0,55	0,14
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Parte b	7	7.1	7.2	0.1	0.2	2.2	8.1	Média
Na ₂ O	0,57	0,16	0,07	0,32	0,00	0,03	0,22	0,20
MgO	0,58	0,38	1,07	0,47	0,87	93,43	0,76	13,94
Al ₂ O ₃	37,19	34,89	34,26	4,90	8,57	2,20	46,72	24,39
SiO ₂	21,41	16,24	21,37	3,99	17,34	2,71	0,43	11,93
P ₂ O ₅	23,75	25,00	20,18	5,72	5,42	0,76	46,79	18,23
S ⁻²	-	0,38	0,30	0,06	0,00	0,02	0,00	0,13
cl ⁻¹	-	0,84	0,59	0,26	0,22	0,00	0,33	0,37
K ₂ O	0,24	0,06	0,25	0,02	0,01	0,04	0,38	0,14
CaO	2,23	2,76	2,44	0,43	0,93	0,08	0,34	1,32
TiO ₂	1,24	0,57	1,06	2,48	1,19	0,09	0,00	0,95
Cr ₂ O ₃	-	0,00	0,00	0,00	0,15	0,01	0,14	0,05
MnO	0,00	0,04	0,06	0,56	0,00	0,00	0,00	0,09
Fe ₂ O ₃	4,14	5,52	7,71	80,14	63,63	0,44	1,06	23,23
CoO	-	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,05	0,02
NiO	-	0,04	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	0,02
CuO	-	0,05	0,15	0,17	0,05	0,00	0,10	0,09
ZnO	-	0,18	0,26	0,18	0,22	0,00	0,24	0,18
BaO	8,65	12,34	9,66	0,05	0,98	0,20	0,00	4,55
PbO	-	0,54	0,55	0,17	0,35	0,00	0,43	0,34
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

continua

Parte c	31	33	34	35	36	38	51	52	90	91	92	93	94	99	100	101	102	103	104	105	106	107	170	171	172	173	Média
Na ₂ O	0,44	0,00	0,79	0,00	1,24	0,24	0,04	2,73	0,39	0,81	0,35	0,62	0,00	0,68	0,30	0,24	0,08	0,11	0,52	0,00	0,96	0,02	0,05	0,00	0,00	0,02	0,43
MgO	0,52	0,59	0,79	0,37	1,96	0,14	0,62	1,81	7,63	0,73	0,23	6,68	0,00	0,48	0,03	0,87	0,22	0,74	0,46	0,35	0,14	0,37	0,35	0,15	0,38	0,20	1,03
Al ₂ O ₃	30,81	34,66	32,07	32,90	13,90	31,24	13,55	19,32	16,34	18,45	7,66	13,45	33,38	35,33	36,84	36,43	37,21	36,28	36,56	35,00	34,83	33,35	23,37	25,69	24,84	21,44	27,36
SiO ₂	28,45	31,85	22,96	25,31	5,58	21,50	46,85	46,10	38,17	17,38	7,35	37,65	17,56	11,09	13,23	12,75	12,64	14,93	13,40	20,48	20,43	17,67	29,57	34,28	32,40	25,74	23,28
P ₂ O ₅	12,78	16,29	17,13	18,01	61,05	19,62	12,59	7,27	3,96	11,28	5,53	1,51	21,67	25,76	26,54	25,99	26,69	25,46	26,70	22,41	20,93	22,17	13,23	6,63	8,84	15,74	18,30
S ²⁻	-	-	-	-	-	-	-	-	0,09	0,00	0,00	0,04	0,00	0,05	0,00	0,02	0,10	0,00	0,19	0,05	0,00	0,09	0,01	0,18	0,04	0,09	0,11
Cl ⁻	-	-	-	-	-	-	-	-	0,31	0,50	0,65	0,26	0,40	0,07	0,12	0,11	0,08	0,14	0,19	0,24	0,01	0,25	0,16	0,05	0,21	0,23	0,22
K ₂ O	0,26	0,23	0,25	0,41	0,42	0,25	0,33	0,76	5,11	0,32	0,27	5,72	0,20	0,18	0,21	0,31	0,06	0,17	0,17	0,18	0,34	0,28	0,50	0,36	0,40	0,54	0,70
CaO	1,02	0,98	1,28	1,40	5,00	1,62	8,94	3,15	0,68	1,42	0,62	0,17	2,26	2,92	3,01	2,90	3,07	2,62	2,91	2,46	2,18	2,86	0,82	0,81	0,71	3,21	2,27
TiO ₂	1,33	0,74	1,21	0,84	0,49	1,18	0,87	1,33	2,81	1,78	2,18	2,88	0,52	0,01	0,00	0,34	0,23	0,84	0,31	0,26	0,59	0,66	1,53	1,57	1,42	1,19	1,04
Cr ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	0,16	0,16	0,17	0,00	0,02	0,11	0,11	0,08	0,19	0,02	0,00	0,12	0,00	0,12	0,00	0,12	0,14	0,09	0,09
MnO	0,06	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,10	0,13	0,00	0,18	0,16	0,00	0,01	0,03	0,00	0,03	0,06	0,03	0,07	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,10	1,22	0,09
Fe ₂ O ₃	18,94	9,91	14,39	13,72	8,69	16,29	14,91	16,78	23,74	42,40	73,49	30,80	13,39	9,54	5,20	5,30	4,70	5,99	5,21	5,91	6,98	7,87	29,21	28,62	26,71	29,27	19,13
CoO	-	-	-	-	-	-	-	-	0,18	0,00	0,00	0,01	0,00	0,03	0,00	0,09	0,26	0,03	0,00	0,00	0,17	0,00	0,12	0,07	0,04	0,18	0,07
NiO	-	-	-	-	-	-	-	-	0,19	0,00	0,05	0,08	0,16	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,05
CuO	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,14	0,00	0,13	0,00	0,11	0,16	0,10	0,12	0,00	0,02	0,27	0,30	0,00	0,07
ZnO	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00	0,16	0,00	0,00	0,00	0,05	0,05	0,13	0,12	0,00	0,00	0,19	0,20	0,06	0,22	0,00	0,04	0,07	0,07
BaO	5,59	4,94	9,12	6,97	1,66	8,91	0,60	0,62	0,04	3,84	0,66	0,00	10,15	13,47	14,12	13,79	14,05	12,31	12,81	11,74	11,69	14,17	0,76	1,17	1,21	0,79	7,24
PbO	-	-	-	-	-	-	-	-	0,07	0,68	0,41	0,00	0,27	0,0	0,20	0,27	0,25	0,23	0,33	0,50	0,37	0,04	0,00	0,00	0,27	0,00	0,22
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Parte d	149	150	152	157	158	159	160	Média
Na ₂ O	0,59	0,30	0,13	0,19	2,38	0,00	0,41	0,57
MgO	1,49	2,25	2,02	1,93	0,85	11,60	2,85	3,28
Al ₂ O ₃	17,57	17,15	14,98	10,58	17,37	14,33	17,44	15,63
SiO ₂	56,48	53,07	54,93	48,89	63,95	42,10	63,14	54,62
P ₂ O ₅	1,67	1,35	1,16	2,04	0,31	0,17	1,56	1,21
S ²⁻	0,16	0,07	0,05	0,05	0,41	0,08	0,15	0,14
Cl ⁻	0,11	0,55	0,20	0,54	0,18	0,07	0,33	0,28
K ₂ O	0,67	1,48	0,76	0,48	11,58	7,80	1,60	3,48
CaO	1,47	2,47	1,81	1,48	0,56	0,26	2,00	1,43
TiO ₂	0,41	1,44	0,60	0,60	0,17	4,74	0,21	1,17
Cr ₂ O ₃	0,21	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,06
MnO	0,00	0,08	0,17	0,00	0,00	0,14	0,00	0,06
Fe ₂ O ₃	18,43	19,24	22,88	32,73	1,00	17,62	9,39	17,33
CoO	0,11	0,08	0,00	0,00	0,10	0,26	0,08	0,09
NiO	0,00	0,12	0,12	0,17	0,17	0,00	0,30	0,13
CuO	0,04	0,18	0,00	0,16	0,12	0,00	0,00	0,14
ZnO	0,19	0,00	0,00	0,00	0,43	0,00	0,00	0,09
BaO	0,21	0,00	0,17	0,18	0,45	0,60	0,48	0,30
PbO	0,00	0,04	0,00	0,19	0,17	0,22	0,00	0,08
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Tabela 13 - Composição química dos plasmas secundários ocorrentes no perfil da Mina Gonzaga de Campos (a, b, c e d: vide texto).

IV. CONCLUSÕES

O manto de alteração exposto na Mina Gonzaga de Campos é muito heterogêneo, refletindo a variação litológica original. A frente de lavra experimental, local utilizado para esta pesquisa, cuja base constitui aproximadamente um arco de cerca de dez metros de extensão e chega a cinco metros de altura, exhibe três setores acessíveis. Todos eles mostram fácies isalteríticas e aloteríticas, bem como a rocha em estágio inicial de alteração, e permitiram reconhecer os tipos litológicos originais e a sua evolução durante o intemperismo.

Os estudos realizados indicaram a presença de dois tipos de rocha no local:

- rocha micácea (glimerito com textura fanerítica fina a grosseira, constituído por biotita, pouco anfibólio, pouca apatita e rara magnetita); esta rocha e seus produtos de alteração ocupam a maior parte da frente de exposição;

- rocha apatítica bandada (orientada, com textura fanerítica fina a média, constituída por bandas lenticulares, descontínuas, de espessura milimétrica a submilimétrica); as bandas possuem as seguintes composições: a) essencialmente apatítica, com pouca biotita e/ou anfibólio, orientados, formando bandas brancas, b) bandas com mistura de anfibólio e biotita orientados, mais ou menos ricas em apatita e com raro feldspato potássico, formando bandas cinza-esverdeadas e c) bandas muito ricas em biotita orientada, com anfibólio e apatita, com pouca magnetita e raro feldspato potássico, formando bandas castanhas, cinzas ou pretas.

A biotita presente é uma biotita medianamente ferruginosa; o anfibólio é do tipo hastingsita, a magnetita é titanífera e a apatita, do tipo fluorapatita. Não foram detectadas diferenças composicionais entre os minerais primários presentes nos dois tipos litológicos.

Separações granulométricas, densimétricas e magnéticas nos materiais friáveis foram feitas com o objetivo de encontrar possíveis minerais acessórios. No entanto, apenas zircão foi encontrado, numa única amostra, durante observação ao MEV-EDS.

O estudo sobre a alteração destas rochas mostrou uma evolução dos minerais primários em direção a minerais secundários típicos do intemperismo em clima tropical, sendo que as fases filossilicáticas apresentaram estágio intermediário importante. Assim, os anfibólios mostraram alteração para oxihidróxidos de ferro (goethita) em pseudomorfoses. As biotitas, passando por estágio importante de

interestratificados biotita-vermiculita e vermiculita, mostraram evolução para caulinita somente nas partes mais evoluídas do perfil. A magnetita mostrou dissolução parcial e, finalmente, a apatita evoluiu para wavelita. Apatita secundária teve formação muito restrita e ligada à mobilização de fósforo e cálcio fora dos pontos com apatita primária, tendo sido verificada sua presença na porosidade de pseudomorfoses de anfibólios.

Estas filiações minerais indicam o itinerário geoquímico geral dos elementos principais. Assim, na alteração da biotita e do anfibólio, há inicialmente a lixiviação dos alcalinos e alcalino-terrosos (potássio e magnésio), com aportes de alumínio e ferro resultando nos argilominerais e nos produtos ferruginosos. No caso da alteração da apatita, com a formação imediata da wavelita, verifica-se a lixiviação total do cálcio e aporte de alumínio, proveniente de porções a montante; os vazios muitas vezes formados são indicativos da migração parcial do íon PO_4^{4-} .

A maior parte do perfil é formada por isalterita, sustentada pelos produtos ferruginosos (essencialmente goethita), nas pseudomorfoses e no revestimento das descontinuidades originais, e pela apatita, que é o mineral primário mais resistente.

A aloterita que se superpõe à isalterita, faz com ela uma transição através de materiais onde uma rede de descontinuidades encontra-se preenchida por materiais iluviais e separa fragmentos de isalterita que sofrem uma desorganização progressiva por uma via centrípeta (acumulação de produtos iluviais -com presença de Fe, Si, Al, P e Ti, formando goethita, caulinita e wavelita- ao longo de fissuras em sucessivas gerações de cutãs que aumentam progressivamente seu volume, crescendo e forçando o deslocamento relativo dos fragmentos de isalterita, além de invadí-los, causando subdivisão destes fragmentos) e por uma via centrífuga (desestabilização progressiva das pseudomorfoses destes fragmentos isalteríticos)

Enquanto que na isalterita ainda há elementos potencialmente lixiviáveis nestas condições de intemperismo laterítico, tanto pela mais tardia alteração das apatitas (no caso do Ca) como pela lenta evolução das biotitas (no caso do K e Mg e, em menor escala, do Si), na aloterita ocorrem essencialmente os elementos residuais (Fe, Al e, em parte, Si). O fósforo quase não ocorre na aloterita, demonstrando que sofreu lixiviação após a formação dos fosfatos secundários, embora não tenha sido verificada diretamente a desestabilização da wavelita.

Dois pontos a serem ressaltados neste estudo com respeito a peculiaridades deste setor do manto de alteração sobre o Complexo de Ipanema são os seguintes: a) a alteração da apatita forma diretamente um fosfato de alumínio (wavelita) sem estágios intermediários existentes em outros locais (fosfatos da família

da crandalita), promovendo, portanto, uma lixiviação imediata do cálcio mesmo em micromeios aparentemente mal drenados (espaços inter e intracristalinos fechados) e b) o papel do intemperismo na gênese do depósito mineral fosfático de Ipanema foi no sentido de friabilizar a rocha e não de promover um enriquecimento relativo em fósforo apatítico, já que a grande quantidade de micas primárias sofreram lenta evolução com pouca perda de matéria na maior parte do perfil, ao contrário do que ocorre em outros maciços com menor abundância de minerais micáceos em suas rochas primárias, onde a alteração com perda importante de massa aumenta relativamente os teores em apatita.

FOTOMICROGRAFIAS

Foto 1 - Apatita primária em alteração, com formação de wavelita (MO)

Foto 2 - Apatita primária em alteração, com desenvolvimento de poros de dissolução (MEV). Os espectros EDS dos locais mais atingidos pela dissolução já apresentam algum Al, além de P e Ca, mostrando o aporte necessário à neoformação de wavelita, produto da alteração da apatita na Mina Gonzaga de Campos.

Foto 3 - Wavelita, produto da alteração da apatita. Note-se a película ferruginosa em rede, sublinhando os contatos originais entre os grãos apatíticos (MO).

Foto 4 - Wavelita neoformada, em geodo (MEV).

Foto 5 - Biotita alterada em interestratificados biotita-vermiculita e vermiculita (MEV).

Foto 6 - Alteração do anfibólio em padrão finamente denticulado ("pente") e resíduo ferruginoso, formando paredes pseudomórficas (MEV).

Foto 7 - Fissura na rocha apatítica bandada alterada com materiais ferruginosos iluviais responsáveis pelo deslocamento relativo entre os fragmentos de rocha isoalterada (MO).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCOVER NETO, A.; TOLEDO-GROKE, M.C. (1989).** Caracterização preliminar da evolução supérgena das rochas carbonatíticas do Complexo Alcalino-Carbonatítico de Juquiá, (SP), com enriquecimento em fosfatos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 2., Rio de Janeiro, 1989. Anais. Rio de Janeiro, SBG /CPRM /DNPM. p. 479-86.
- ALCOVER NETO, A. (1991).** Evolução Supérgena das rochas carbonatíticas ricas em apatita do Complexo Alcalino de Juquiá, (SP). São Paulo. 131p. Dissertação de Mestrado - Instituto de Geociências/USP.
- ALCOVER NETO, A. ; TOLEDO, M. C. M (1993).** Evolução Supérgena do Carbonatito de Juquiá (SP). Revista do Instituto Geológico, v.14, n. 1, p.31-43.
- ALMEIDA, F. F. M. de (1967).** Origem e evolução da plataforma brasileira. Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia, DNPM, n.241, p. 1-36.
- ALMEIDA, F. F. M. de (1971).** Condicionamento tectônico do magmatismo alcalino mesozóico do sul do Brasil e do Paraguai Oriental. Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 43, n. 3-4, p. 835-836.
- ALMEIDA, F.F.M. de (1972).** Tectono-magmatic activation of the South American platfform and associated mineralization. In: INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, 24., Montreal, 1972. Proceedings. Montreal, Section 3, p. 339-46.
- ALMEIDA, F. F. M. de. (1983).** Relações tectônicas das rochas alcalinas mesozóicas na região meridional da Plataforma Sul-Americana. Revista Brasileira de Geociências, v.13, n.3, p. 139-158.
- ALMEIDA, T. I. R. DE; ALCOVER NETO, A; TOLEDO, M. C. M. DE ; MOREIRA, M. (1994).** Supergene calcite at the bottom of a weathering profile over carbonatite at Juquiá, São Paulo, Brazil: isotopic composition and genesis. In: CONGRESSO GEOLOGICO CHILENO, 7., Chile, 1994. Actas v.2, p.1483-1487.
- AMARAL, G., BUSHEE, J., CORDANI, U. G., KAWASHITA, K. & REYNOLDS, J. H. (1967).** Potassium-argon ages of alkaline rocks from southern Brazil. Geochimica et Cosmochimica Acta, v. 31, p.23-34.
- AMARAL, G. (1978).** Potassium-argon age studies on the Jacupiranga District, State of São Paulo, Brazil. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON CARBONATITE, 1., Poços de Caldas, 1978. Proceedings. Poços de Caldas, DNPM. p. 297-302.
- ALTSCHULLER, Z. S. (1973).** The weathering of phosphate deposits, geochemical and environmental aspects. In: Griffith, E. J., Beeton A., Spencer, J. M., Mitchel, D. T., (eds.). Environmental phosphorus handbook. John Wiley and sons, New York. p.33-36.
- APS, V. & BORN, H. (1975).** Pesquisa do Minério fosfático de Ipanema. Geologia. e Metalurgia, v.37, p. 25-34.
- ARAÚJO, J.B. (1939).** Beneficiamento de apatita em Ipanema, Estado de São Paulo: Mineração e Metalurgia. v. 3, n.17, p.299-305.

- ARAÚJO, D.P.; GASPAR, J.C. (1992).** Química mineral dos carbonatitos e rochas associadas de Catalão I, GO. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37, São Paulo, 1992. Resumos. São Paulo, SBG. v. 2, p. 90-1.
- BARDOSSY, Gy. (1981).** Paleoenvironments of laterites and lateritic bauxites effect of global tectonism on bauxite formation. In: Melfi, A. J. & Carvalho, A. (eds). Laterization Processes: Proceedings of the II International on Seminar of Laterization Processes held in São Paulo. São Paulo, IAG-USP. p.287-294.
- BERBERT, C. O. (1984).** Carbonatites and associates mineral deposits in Brasil. Geological Survey of Japan Report, n. 263, p.269-90.
- BIONDI, I.C. (1986).** Depósitos de Minerais Metálicos de filiação magmática. São Paulo, T.A. Queiroz /CBMM. 602 p.
- BISDOM, E. B. A.; STOOPS, G.; DELVIGNE, J.; CURMI, P.; ALTEMULLER, H. J.; (1982).** Micromorphology of weathering biotite and its secondary products. Pedologie, v. 32, n. 2, p.225-252.
- BORN, H. (1971 a).** O complexo alcalino de Juquiá. São Paulo, 180 p., Tese de Doutorado - Instituto de Geociências/USP.
- BORN, H. (1971 b).** O complexo alcalino de Juquiá. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25., São Paulo, 1971. Anais. São Paulo, SBG, v.1, p. 223-225.
- BORN, H. (1976).** Recursos minerais associados a complexos alcalino-carbonatíticos no Brasil. In: SEMANA DE ESTUDOS GEOLÓGICOS DO PARANÁ, 1., 10 p. (Palestra).
- BORN, H. (1989).** The Ipanema phosphate deposit, São Paulo, Brazil. In: Notholt, A.J.G.; Sheldon, R.P.; Davidson, D.F., (eds). Phosphate deposits of the world. Cambridge, University Press. v. 2, p.116-9.
- BORN, H.; KAHN, H. (1990).** Caracterização geológica e mineralógica voltada ao aproveitamento de jazimentos fosfáticos. In: ENCONTRO NACIONAL DE ROCHA FOSFÁTICA, 5., São Paulo, 1990. Anais. Brasília, IBRAFOS. p. 213-33.
- BRAGA, J. R. K.; BORN, H. (1988).** Características geológicas e mineralógicas da mineralização apatítica de Araxá. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35., Belém, 1988. Anais. Belém, SBG. v. 1, p. 219-26.
- BURNHAM, C. W. (1991).** Lattice constant refinement. Publication Carnegie Institution of Washington, v.61, p.132-135.
- CARVALHO, W.T. (1974 a).** Aspectos geológicos e petrográficos do Complexo Ultramáfico-Alcalino de Catalão I, Goiás. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28., Porto Alegre, 1974. Anais. Porto Alegre, SBG. v.5, p.107-124.
- CARVALHO, W.T. (1974 b).** Recursos Minerais do Complexo Ultramáfico-Alcalino de Catalão I, Goiás. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28., Porto Alegre, 1974. Anais. Porto Alegre, SBG. v.3, p. 165-84.
- COSTA, M. L.; COSTA, WALMEIRE A. de M.; SCHWAB, R. G. (1980 a).** Mineralogia das ocorrências de fosfatos lateríticos do PA e MA (Brasil). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31., Camboriú, 1980. Anais. Camboriú, SBG. v.4, p.1982-1996.

- COSTA, M. L.; SÁ, J. H. S. (1980 b).** Os fosfatos lateríticos da Amazônia Oriental: Geologia, Mineralogia, Geoquímica e correlações com as bauxitas da Amazônia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31., Camboriú, 1980. Anais. Camboriú, SBG. v.3. p.1459-1472.
- COSTA, M. L. da (1984).** A dinâmica de formação de lateritas: O exemplo do NE do PA e NW do MA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33., Rio de Janeiro, 1984. Anais. Rio de Janeiro, SBG. p.4823-4837.
- COSTA, M. L. da ; Reymão, M. F. F. (1984).** Senegalita/ $\text{Al}_2(\text{OH})_3(\text{H}_2\text{O})_2(\text{PO}_4)_2$, nos fosfatos lateríticos do PA e MA (Amazônia Oriental). Revista Brasileira de Geociências. v.14. n.3, p 170-174.
- COSTA, M. L. (1987).** Uma contribuição geoquímica ao desenvolvimento do perfil intempérico de Anitápolis, SC. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 1., Porto Alegre, 1987. Anais. Porto Alegre, SBG, v.2, p. 17-34.
- CRUZ, F.F.; CHENEY, T.M. (1976).** Recursos de fosfato no Complexo Carbonatítico de Tapira, MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 29., OURO PRETO, 1976. Anais. Ouro Preto, SBG. v.1, p.89-107.
- DAVINO, A. (1986).** Levantamentos Geofísicos na Serra de Araçoiaba e arredores, Estado de São Paulo. Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 48, n.3, p.431-45.
- DAVINO, A. (1975).** Geologia da Serra de Araçoiaba, Estado de São Paulo. Boletim do Instituto de Geociências /USP, v.6, p.129-44.
- DEER, WA.; HOWIE, RA; ZUSSMAN, J. (1962).** Rock forming minerals: Non-silicates. Wiley & Sons, New York, v.5 p. 68-77.
- DELVIGNE, J (1986).** Micromorfologia de alteração de rochas. Apostila do curso de pós graduação do Instituto de Geociências-USP, 220p.
- FELICISSIMO JR., J. (1968).** Carbonatitos do Estado de São Paulo. Anais da Academia Brasileira de Ciências, v.40, p. 93-115.
- FLICOTEAUX, R.; NAHON, D.; PAQUET, H. (1977).** Génèse des phosphates alumineux a partir de sediments argilo-phosphatés du tertiaire de Lam-Lam (Senegal). Suite Minéralogique- permanences et changements de structures. Sciences Géologiques Bulletin, v.303, p. 153-174.
- FLICOTEAUX, R. (1982).** Gênese des phosphates alumineux du Senegal Occidental. Etapes et guides de l'alteration. Sciences geologiques Memoires, v. 67, p.1-249.
- FLICOTEAUX, R ; LUCAS, J. (1984).** Weathering of phosphate minerals. In: Nriagu, J.O.; Moore, P.B.,(eds). Phosphate minerals. Berlim, Springer. p. 292-317.
- FLICOTEAUX, R.; WALTER, A. V.; BONNOT-COURTOIS, C.; TOLEDO-GROKE, M. C. (1990).** Transformation and precipitation of phosphates during weathering: Characterization by R.ee distributions. Chemical Geology, v. 84, n.1-4, p.365-367.
- FURTADO, S. M. A.; GOMES, C. B.; SHEIBE, L. F. (1986).** Ocorrência de fosforitos no maciço alcalino de Anitápolis. SC. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34., Goiânia, 1986. Anais. Goiânia, SBG. v.4, p.1604-1614.

- FURTADO, S. M. A. (1989).** Petrologia do maciço alcalino de Anitápolis (SC). São Paulo, 245 p. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências/USP
- GASPAR, J.C; WYLLIE, P.J. (1987).** The phlogopites from Jacupiranga carbonatite intrusions. Contributions to Mineralogy and Petrology, v.36, p.121-34.
- GOMES, C.B.; RUBERTI, E.; MORBIDELLI, L. (1990).** Carbonatite Complexes from Brazil: a review. Journal of South American Earth Sciences, v.3, n.1, p.51-63.
- GROSSI SAAD, J.H.; TORRES, N. (1971).** Geologia e recursos minerais do Complexo de Tapira, Minas Gerais, Brasil. Belo Horizonte, Geosol, 68 p. (Relatório Interno).
- GULBRANDSEN, R.A. (1970).** Relation of carbon dioxide content of apatite of the phosphoria formation to the regional facies. U.S. Geological Survey Professional Paper, v. 700B, p.9-13.
- HEINRICH, E.W. (1966).** The geology of carbonatites. Chicago, Rand McNally. 555p.
- HERZ, N. (1977).** Timing of spreading in the South Atlantic: information from Brazilian alkalic rocks. Geological Society of America Bulletin, v.88, p.101-12.
- HIRANO, H.; KAMITANI, M.; DAITX, E.C. (1987).** Jacupiranga carbonatites in the São Paulo State, Brazil: their mode of occurrence. ITIT Project 8316, Report of International Research and Development Cooperation. Japan & DNPM (Brasil), p. 74-95. (ITIT Project 8316)
- HOGARTH, R. A. L. (1989).** Pyrochlore, apatite and amphibole: distinctive minerals in carbonatite. In: BELL, K., (ed) . Carbonatites: genesis and evolution. London, Unwin Hyman, p.105-48.
- IMBERNON, R.A.L. (1993).** Evolução Geoquímica e Mineralógica dos produtos de alteração intempérica sobre as rochas do Complexo Alcalino-Carbonatítico de Catalão I, Goiás. São Paulo. 132p. Dissertação de Mestrado-Instituto de Geociências/ USP.
- ISSLER, R. S.; LIMA, M.I.C.; MONTALVÃO, R. M. G.; SILVA, G.G. (1975).** Magmatismo no Craton Guianês. In: CONFERÊNCIA GEOLÓGICA INTERGUIANAS, 10; Belém, 1975. Anais. Belém, DNPM. 22p.
- KAHN, H. (1988).** Caracterização mineralógica e tecnológica da jazida de fosfato do maciço alcalino de Anitápolis, SC. São Paulo. 236 p. Dissertação de Mestrado - Instituto de Geociências/USP.
- KAPUSTIN, L. Y. (1971).** Mineralogy of carbonatites. Moscow, Mineralogiya Karbonattiov, 259 p.
- KAPUSTIN, Y. L. (1973).** Mineralogy of weathering crust of carbonatites. Moscow, Nedra, 198 p.
- KAPUSTIN, L. YU (1981).** Specificity of carbonatite-weathering processes. Doklady Akademii Nauk SSSR, v. 247, n.3, pp. 652-656.

- KNECHT, T. (1930).** Notas geológicas sobre as jazidas de magnetita e apatita de Ipanema. Boletim de Agricultura (São Paulo), n.7/8, p.716-34.
- KNECHT, T. (1940).** Apatita. Boletim n.27 do Instituto Geográfico e Geológico, p-8-27.
- KNECHT, T. (1960).** Notas preliminares sobre novas ocorrências de rochas alcalinas no Estado de São Paulo. Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia, v. 9, n.1, p. 71-76.
- LEMOs, V. P. & COSTA, M. L. da. (1987).** Participação dos terras raras nos lateritos fosfáticos de Maicuru.PA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 1., Porto Alegre, 1987. Anais. Porto Alegre, SBGQ. v.1, p.83-102.
- LEAL FILHO, L.S. (1988).** Contribuição ao estudo de depressores para a flotação aniônica direta do fosfato de Jacupiranga. Belo Horizonte. 165p. Dissertação de Mestrado-Universidade Federal de Minas Gerais.
- LEAL FILHO, L.S. (1991).** Aspectos relevantes na separação apatita mineral de ganga via processo Serrana. São Paulo, 266 p. Tese de Doutorado-Escola Politécnica/USP.
- LEAL FILHO, L.S.; ASSIS, S. M.; ARAUJO, A. C.; CHAVES, A. P. (1993).** Process mineralogy studies for optimizing the flotation performance of two refractory phosphate ores. Minerals Engineering, v.6, n.8-10, p. 907-16.
- LEINZ, V. (1940).** Petrologia das jazidas de apatita de Ipanema (Estado de São Paulo). Boletim da Divisão de Fomento da Produção Mineral. DNPM, v.40, 52 p.
- LE BAS, M. J. (1977).** Magmatic and metasomatic processes. In: Le Bas, M.J. (ed.) Carbonatite-Nephelinite Volcanism. London. John Wiley. pp. 263-78
- LEMOs, V. P.; COSTA, M. L. da (1987).** Participação dos terras raras nos lateritos fosfáticos de Maicuru. (PA).In:congresso brasileiro de geoquímica, 1., Porto Alegre, 1987. Anais. Porto Alegre, SBGQq. v.1, p. 83-102.
- LEMOs, V. P.; COSTA, M. L. da (1989).** Aspectos Mineralógicos das lateritas da Serra de Maicuru (PA). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 2., Rio de Janeiro, 1989. Anais. Rio de Janeiro, SBGq. v.1, p. 375-384.
- LENHARO, S. L. R. (1994).** Caracterização mineralógica/técnológica das apatitas de alguns depósitos brasileiros de fosfato. SP. São Paulo. 196p. Dissertação de Mestrado.- Escola Politécnica/USP.
- LIMA, W. N. de; REYMÃO, M. de F. F. (1983).** Estudo Termodinâmico aplicado à gênese e às alterações de hidroxifosfatos naturais: fosfatos lateríticos de Jandiá (PA) e Pirocaua (MA). (UFPa), Belém, PA. Revista Brasileira Geociências. v.13, n.1, p.41-51.
- LUCAS, J.; FLICOTEAUX, R.; NATHANY, Y.; PRÉVÔT, L.; SHALAR, Y. (1980).** Different aspects of phosphorite weathering. Tulsa, S.E.P.M. p.41-51 (Special Publications, 29).
- MACIEL, P ; GUIMARÃES, J. E. P. (1955).** A mina de vermiculita de Congonhal, Tatuí, Estado. de São Paulo. Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia. v.4, n.1, p. 27-41.

- MACIOTTA, G.; BARBIERI, M.; BECALUVA, L.; BORN, H.; BROTZU, P.; CONTE, A.; GARBARINO, C.; GOMES, C. B.; MORBIDELLI, L.; RUBERTI, E.; SCIENA, F.; TRAVERSA, G. (1988).** Petrological and geochemical studies of alkaline rocks from continental Brazil: The Juquiá intrusive alkaline - carbonatite complex state of São Paulo. In: INTERNATIONAL CONFERENCE "GEOCHEMICAL EVOLUTION OF THE CONTINENTAL CRUST". Poços de Caldas, 1988. Abstracts. Poços de Caldas. p. 92-97.
- MARIANO, A. N.; MARCHETTO, M. (1991).** Serra Negra e Salitre- Carbonatite alkaline igneous complex. In: INTERNATIONAL KIMBERLITE CONFERENCE, 5., Araxá, 1991. Field Guide Book- Brasília, CPRM. p.75-79.
- McCLELLAN, G.H.; LEHR, J.R. (1969).** Crystal chemical investigation of natural apatites. The American Mineralogist, v.54, n.9/10, p.1374-91.
- McCONNELL, D. (1974).** The crystal chemistry of apatite. Bulletin de la Société. Minéralogique de Cristallographie. v.97. p.237-24.
- MELCHER, G.C. (1965).** O carbonatito de Jacupiranga. Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo. Série Geologia. v.282, n.21, p.5-73.
- MELCHER, G.C. (1966).** The carbonatites of Jacupiranga, São Paulo, Brasil. In: Tuttle, O. F. & Gittins, J. (eds). Carbonatites. London. Interscience. p.169-181.
- MELFI, A.J.; SOUBIES, F.; TOLEDO-GROKE, M.C. (1991).** Comportamento do nióbio nas alterações das rochas do Complexo alcalino-carbonatítico de Tapira, Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 3., São Paulo, 1991. Resumos. São Paulo, IG USP. v.1, p. 85-7.
- MOORE, P.B. (1984).** Crystallochemical aspects of the phosphate minerals. In: Nriagu, J.O.; Moore, P. B., (eds). Phosphate Minerals. Berlin, Springer. p. 155-70.
- MORAES, L. J. (1938).** Jazidas de apatita de Ipanema, Estado de São Paulo: Brasil. Boletim do Serviço de Fomento da Produção Mineral. DNPM, n.27, p.1-50
- MORAES, REGO. L. F. (1938).** Recursos brasileiros em matérias primas dos adubos fosfatados: Mineração. e Metalurgia. v. 3, n.12, p. 377-381.
- MORBIDELLI, L. B.; BROTZU, P.; GOMES, C. B.; MACCIOTTA, G.; RUBERTI, E.; TRAVERSA, G. (1991).** Associações alcalinas no Brasil: revisão das ocorrências mesozóicas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 3., São Paulo, 1991. Resumos. São Paulo, SBGQ/Sociedade Geológica de Portugal/IG-USP. v.2, p.781-793.
- NOGUEIRA FILHO, J.V.; SARAGIOTTO, J.A.R.; SINTONI, A. (1976).** A jazida de apatita de Ipanema. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 29., Ouro Preto, 1976. Anais. Ouro Preto, SBG. v.1, p.75-87.
- NOTHOLT, A.J.G.; HIGHLEY, D.E.; DEANS, T. (1990).** Economic minerals in carbonatites and associated alkaline igneous rocks. Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy. Section B, v.99, p.B59-B80.
- NRIAGU, J.O. (1984).** Phosphate minerals: their properties and general modes of occurrence. In: Nriagu, J.O.; Moore, P.B., (eds). Phosphates minerals. Berlin, Springer. p.1-136.

- OLIVEIRA, N. P.; SCHWAB, R. G. (1980).** Itacupim: Um exemplo da influência do fósforo sobre o desenvolvimento de perfis lateríticos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31., Camboriú, 1980. Anais. Camboriú, SBG. v. 1, p. 184-196.
- PALABORA MINING COMPANY (1976).** The geology and economic deposits of copper, iron and vermiculite in the Palabora igneous complex. A Brief Review Economic Geology. v.71, p.177-192.
- PEREIRA, V.P.; DUTRA, C. V.; FORMOSO, M. L. L.; FIGUEIREDO, A. M. G. (1991).** Os elementos terras raras nas apatitas do Maciço alcalino de Anitápolis, SC. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 3., São Paulo, 1991. Resumos. São Paulo, IG-USP. v.2, p.647-50.
- QUASH, N. (1987).** Les concentrations phosphatées des complexes alcalines à carbonatites. Relat. D. E. A. de Geologie. França, Université d'Aix-Marseille III. 91 p.
- RODRIGUES, C. S.; LIMA, P. R. A. S. L. (1984).** Complexos Carbonatíticos do Brasil. In: Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração. Complexos Carbonatíticos do Brasil: geologia. São Paulo, CBMM. Departamento de Geologia. p.3-17.
- RODRIGUES, E. P. (1985).** O complexo alcalino de Anitápolis - um estudo petrográfico. São Paulo, 173 p. Dissertação de mestrado-Instituto de Geociências/USP.
- RUBERTI, E.; MARGUTI, R.L.; GOMES, C.B. (1991).** O complexo carbonatítico de Jacupiranga, SP: informações gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 3., São Paulo, 1991. Guia de excursões. São Paulo, Instituto de Geociências/USP. p.1-20.
- SAGE, P. R.; WATKINSON, D. H. (1991).** Alkalic rock-carbonatite complexes of the Superior Structural Province Northern Ontário, Canadá. Chronique de la Recherche Minière, n 504, p.5-19.
- SCHWAB, R. G.; HEROLD, H.; COSTA, M. L. Da; OLIVEIRA, N. P. De (1989).** The formation of aluminous phosphates through lateritic weathering of rocks. In: Balasubramaniam, K. S. & Evangelov, V. P. (eds.) Weathering: Its products and deposits. Athens, theophrastus. v.2, p.369-386.
- SCHWAB, R. G., HEROLD, H., GÖTZ, CH.; OLIVEIRA, N. P. (1990).** Compounds of the crandallite type: Synthesis and properties of pure goyazite, gorceixite and plumbogummite. Neues Jahrbuch fur Mineralogie Monatshefte, n.3, p.113-26.
- SERRANA S. A. DE MINERAÇÃO (1975).** Jazida Ipanema - Plano de Aproveitamento Econômico - Relatório Interno IPAN n. 048. 1975. 15 p.
- SERRANA S.A. DE MINERAÇÃO (1976 a).** Projeto para implantação de usina de produção de concentrado de apatita em Ipanema - Relatório Interno Pesquisa Mineral. IPAN n 15. 1976a. 6p.
- SERRANA S. A. DE MINERAÇÃO (1976 b).** Geologia de Ipanema e Pesquisa Mineral. Relatório Interno. IPAN n.12. 1976b. 23p.
- SILVA, A. B., LIBERAL, G. S., GROSSI SAD, J. H., ISSA FILHO, A., RODRIGUES, C. S.; RIFFÉL, B.F., (1988).** Geologia e Petrologia do Complexo Angico dos Dias (Bahia, Brasil), uma associação carbonatítica precambriana. Geochimica Brasiliensis, v. 2, p. 81-108.

- SIQUEIRA, N. V. M.; LIMA, W. N. (1982).** Estudo geoquímico de alterações e distribuição de elementos em perfil laterítico, desenvolvido sob a influência do fósforo-Pirocaua (MA). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 32., Salvador, 1982. Anais. Salvador, SBG, v.5, p.1991-2002.
- SLANSKY, M.; LALLEMANDA A.; MILLOT G. (1964).** La sédimentation et l'altération latéritique des formations phosphatées du gisement de Taiba. Bulletin du Service de la Carte Géologique D'Alsace et de Lorraine, v. 17, p.311-324.
- SLUKIN A. D.; ARAPOVA, G. A.; ZVEZDINSKAYA, L. V.; TSVETKOVA, M. V.; LAPIN A. V. (1989).** Mineralogy e geochemistry of laterized carbonatites of the U.R.S.S. In: Balasubramaniam, K. S. & Evangelov, V. P., (eds.) Weathering: Its products and deposits. Athens, theophrastus, v.2, p.171-189.
- SMIRNOV, V. I. (1982).** Geologia de yacimientos minerales. Moscow, Editorial Mir Moscú. p.151-170.
- SOBRINHO, E. G. (1974).** Prospecção de urânio na chaminé alcalina de Tapira, Minas Gerais. Ministério de Minas e Energia do Brasil, Rio de Janeiro, Brasil, Boletim. n.10, p.16.
- SOUBIES, F.; MELFI, A.J.; AUTEFAGE, F. (1991).** Comportamento geoquímico dos elementos terras raras nos alteritos da jazida de fosfato e titânio de Tapira (Minas Gerais, Brasil): a importância dos fosfatos. Revista Brasileira de Geociências, v.21, p.3-16.
- SOUBIÉS, F.; SONDAG, F.; DELAUNE, M.; LEDRU, M. P.; MARTIN, L.; SUGUIO, K.; TURCG, B.; MELFI, A. J. (1991).** Neoformação de fosfato de titânio em sedimentos da Lagoa Campestre de Salitre, MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 3., CONGRESSO DE GEOQUÍMICA DOS PAÍSES DE LÍNGUA PORTUGUESA, 1., São Paulo, 1991. Resumos. São Paulo, SBGQ/Sociedade Geológica de Portugal, IG-USP. v.1, p.74-77.
- SOUBIES, F.; MELFI, A.; AUTEFAGE, F. (1992).** Le comportement des Terres Rares dans les altérites du gite de Tapira (MG, Brésil): mise en évidence du rôle des phosphates. In: SÉMINAIRE ORSTOM, 1990: Organization et fonctionnement des altérites et des sols, p.241-285. Ed. Orstom, Paris, 334 p.
- THE BRITISH SULFUR CORPORATION LIMITED. (1980).** World survey of phosphate deposits. London, 237 p.
- TOLEDO-GROKE, M.C.; SOUSA, R.V. (1991).** Estudo preliminar da alteração intempérica das rochas ultramáficas ricas em apatita na área da Mina Gonzaga de Campos, Maciço Alcalino de Ipanema, SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 3., São Paulo, 1991. Resumos. São Paulo: SBGQ/Sociedade Geológica de Portugal/IG-USP. v. 1, p.91-94.
- TUTTLE, O. F.; GITTINS J. (1966).** Carbonatites. New York, John Wiley and Sons. 591 p.
- ULBRICH, H. H. G.J.; GOMES, C.B. (1981).** Alkaline rocks from continental Brazil. Earth Science Reviews, v.17, p.135-54.
- VAZ DE MELO, M. T. (1983).** Depósitos Minerais associados ao complexo alcalino carbonatítico de Tapira, MG. Belo Horizonte, CVRD. 39 p. (Relatório Interno).

- VERGARA, V. D. (1980).** Pesquisa geológica desenvolvida no Complexo Alcalino de Anitápolis. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31, Camboriú, 1980. Anais. Camboriú, SBG. v.4. p.2502-2517.
- VERTIAINEN, H.; PAARMA, H. (1979).** Geological characteristics of the Sokli carbonatite complex, Finland. Economic Geology, v. 74, p.1296-306.
- VIEILLARD, P.; TARDY, Y.; NAHON, D. (1979).** Stability fields of clays and aluminium phosphates; parageneses in lateritic weathering of argillaceous phosphatic sediments. American Mineralogist, n.64, p. 626-634.
- WALTER, A. V.; LOUBET, M.; FLICOTEAUX, R.; TOLEDO-GROKE, M. C.; NAHON, D. (1989).** Mineralogical and geochemical variations along the alteration profiles of Juquiá Carbonatite (Brazil). Terra Abstracts, Journal of the European Union of Geosciences (EUGV), Strasbourg, v.1, n. 1, março, 1989.
- WALTER, A.V. (1991).** Caractérisation géochimique et minéralogique de l'altération de la carbonatite du complexe alcalin de Juquiá, (Brésil): comportement des terres rares dans les minéraux phosphatés. Thèse, Univ. d'Aix Marseille, 247p.
- ZANIN, Y.N. (1968).** Zones of lateritic weathering of secondary phosphorites of Altay-Sayan region. International Geology Review, v.10, p. 1119-27.
- ZANIN, Y. N. (1989).** Phosphates bearing weathering crusts and their related deposits. In: Balasubramaniam, K. S., (eds.). Weathering: its products and deposits. Athens, theophrastus. v.2, p. 321-67.
- ZIESEMER, L. & KAHN, H. (1980).** O minério da jazida de Anitápolis, SC. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31., Camboriú, 1980. Anais. Camboriú, SBG. v. 4, p.2376-2390.

ANEXO 1

TÉCNICAS ANALÍTICAS

ANEXO 1

TÉCNICAS ANALÍTICAS

1. DIFRAÇÃO DE RAIOS-X (DRX)

Foram utilizados Difratometros de Raios-X dos laboratórios do Instituto de Geociências e do NUPEGEL (USP) e da ORSTOM (Institut Français pour le Développement en Coopération, em Bondy, França). Os difratogramas obtidos permitiram identificar as fases minerais presentes, tanto em amostras totais como em frações granulométricas, densimétricas e magnéticas separadas. Para a identificação dos argilominerais foram necessários os tratamentos normais de glicolagem e aquecimento. Além disso, permitiram também calcular os parâmetros *a* e *c* das apatitas, empregando-se o programa LCLSQ versão 8.4 (Burnham 1991) no Laboratório de Difração de Raios-X do Departamento de Mineralogia e Petrologia do IG - USP.

A maior parte dos difratogramas obtidos foi tratada em computador com a utilização dos programas APD da Phillips (IG - USP) e da Siemens (ORSTOM).

Os minerais supérgeos muitas vezes têm sua identificação ao microscópio óptico dificultada, seja pela presença de oxihidróxidos provocando alterações nas colorações, seja pela fina granulometria, pela fraca cristalinidade ou ainda pela variação composicional que modifica as propriedades ópticas típicas. A possibilidade de DRX diretamente sobre a lâmina delgada pode auxiliar muito nesta questão. Assim, foram realizadas análises no Laboratório de Geociências dos Ambientes Tropicais na Universidade de Aix-Marseille, França, confirmando a ocorrência de wavelita como produto de alteração da apatita.

2. SEPARAÇÕES GRANULOMÉTRICAS, DENSIMÉTRICAS E MAGNÉTICAS

a - Granulométrica

A fração menor que 2 mm das amostras friáveis foi separada por peneiramento e sofreu separação granulométrica por sifonagem e centrifugação (argila

fina e grossa) e peneiramento (siltes e areias), segundo procedimento de rotina do Laboratório de Geoquímica do IG.

b - Magnética

Das amostras da granulometria areia fina, foram retiradas as frações entre 100 e 250 mesh, lavadas e secas em estufa. Foram então submetidas às separações magnéticas inicialmente com imã de mão, e posteriormente com separador magnético Franz, regulando-se o aparelho às diversas intensidades de campo magnético, até que se obtivesse frações puras isentas de minerais magnéticos.

c - Densimétrica

As frações não magnéticas obtidas das separações com o Franz foram submetidas às separações densimétricas para a identificação de possíveis minerais pesados como por exemplo o zircão. Utilizou-se para tanto o bromofórmio, cuja densidade é de 2,87. Desta separação resultou duas frações: minerais mais leves e minerais mais pesados que o bromofórmio. A fração pesada foi recolhida, seca, e tratada com iodeto de metileno, cuja densidade varia de 3,1 a 3,4. Os minerais pesados obtidos desta separação seriam levados novamente ao Franz, não se encontrando, entretanto, minerais mais pesados que o iodeto de metileno.

As frações assim separadas foram levadas à análise difratométrica para pesquisa da possível presença de minerais acessórios, não detectados nas análises difratométricas em amostras totais e nos estudos ao MO.

3. ESPECTROFOTOMETRIA DE ABSORÇÃO NO INFRA-VERMELHO

Foi utilizado um equipamento do laboratório do IQ/USP marca Perkin-Elmer. A amostra foi preparada em pastilha com KBr, segundo procedimento rotineiro neste laboratório.

4. ESTUDOS MICROMORFOLÓGICOS AO MICROSCÓPIO ÓPTICO (MO)

Foram confeccionadas lâminas delgadas de todas as fácies sãs e alteradas amostradas para estudos ao Microscópio Óptico e complementação aos dados de DRX. Nestes trabalhos foram utilizados os laboratórios do Instituto de Geociências da USP e foi adotada a terminologia apresentada por Delvigne (1986).

5. MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV) E GEOQUÍMICA PONTUAL QUALITATIVA E SEMIQUANTITATIVA (EDS)

Foram utilizados os equipamentos do Laboratório de Microscopia Eletrônica da ORSTOM, em Bondy (França) e do NUPEGEL, localizado no IAG (USP), respectivamente de marca Cambridge e JEOL. Os sistemas EDS são respectivamente, e NORAM - TRACOR.

A - Fragmentos

O trabalho ao MEV com fragmentos naturais permite a visualização, em três dimensões, das feições observadas ao MO. A aplicação simultânea do EDS possibilita a identificação das fases morfológicas através da sua análise química qualitativa (espectros EDS). Assim, os dados aqui obtidos são complementação importante dos anteriores.

Foram selecionados fragmentos de amostras representativas, que sofreram a preparação necessária: montagem em suportes adequados e recobrimento com película de carbono ou de ouro.

B - Lâminas Delgadas

As mesmas lâminas estudadas ao MO foram selecionadas para e estudos ao MEV - EDS, sofrendo, para tal, polimento e recobrimento prévio com carbono. Durante seu exame ao MO, foram marcados os pontos de interesse para análise pontual semi quantitativa.

Com relação às análises químicas, cabe aqui ressaltar que as análises pontuais realizadas ao MEV com EDS apresentaram sempre um fechamento ruim para os materiais alterados, o que é explicado pela natureza dos minerais, com graus variados e altos de hidratação, alta porosidade e pequena dimensão dos cristais. O mesmo problema foi enfrentado em vários outros trabalhos utilizando WDS (Microsonda Eletrônica) sobre materiais intemperizados. Por outro lado, havendo, nas lâminas delgadas de materiais intemperizados, sempre uma dificuldade adicional ao polimento pela presença de resina de impregnação e pelo caráter altamente poroso das amostras, a utilização do EDS é preferível à do WDS já que para este último a imperfeição do polimento é mais crítica na exatidão dos resultados.

Já que o programa utilizado no EDS considerava todas as características e fenômenos físicos envolvidos nas análises, de modo a fornecer as relações de quantidade entre os óxidos considerados, mesmo com fechamento ruim (devido aos

fatores já mencionados, intrínsecos ao material intemperizado) as análises, que poderiam ser tomadas como quantitativas, foram encaradas como análises semiquantitativas, como resultados relativos, e utilizadas para definir as tendências geoquímicas evolutivas nas filiações minerais consideradas, através de diagramas triangulares, em cuja confecção, através do programa "Minfile", os dados foram corrigidos a 100% apenas para tornar possível as comparações. Desta forma, ao longo do trabalho encontram-se as tabelas corrigidas, que permitem comparação entre os diferentes pontos de análise, sendo que as originais são apresentadas no Anexo 2. Pelos mesmos motivos, não foram realizados os cálculos para determinação da fórmula estrutural dos minerais analisados.

ANEXO 2

TABELAS ORIGINAIS DAS ANÁLISES QUÍMICAS PONTUAIS REALIZADAS AO MEV-EDS, SOBRE LÂMINAS DELGADAS

	16	49	54	73	161	164	179	180	181	182	183
Na2O	0.00	0.63	0.16	0.25	0.00	0.40	0.47	0.97	1.22	0.11	0.00
MgO	0.03	0.16	0.16	0.13	0.23	0.13	0.18	0.08	0.00	0.02	0.04
Al2O3	0.57	1.35	0.45	0.15	0.08	0.18	0.05	0.50	0.31	0.00	0.25
SiO2	0.02	1.63	0.02	0.58	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P2O5	39.95	23.24	36.48	35.04	36.33	39.22	38.65	31.09	32.78	9.36	37.77
S-2	-	-	-	0.03	0.34	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05
Cl-1	-	-	-	0.00	0.19	0.00	0.00	0.04	0.02	0.08	0.00
K2O	-	0.10	0.00	0.01	0.09	0.00	0.08	0.13	0.15	0.00	0.00
CaO	48.52	23.75	45.81	44.47	46.21	50.42	52.23	41.02	41.76	13.66	51.13
TiO	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13	0.02	0.07	0.09
Cr2O3	-	-	-	0.00	0.09	0.02	0.00	0.10	0.04	0.05	0.00
MnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.00	0.05	0.19	0.21	0.03	0.00
Fe2O3	0.21	0.25	0.00	0.49	0.15	0.19	0.03	2.20	2.07	0.87	0.58
CoO	-	-	-	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.22	0.07	0.04
NiO	-	-	-	0.00	0.00	0.04	0.08	0.09	0.00	0.00	0.02
CuO	-	-	-	0.02	0.04	0.00	0.01	0.00	0.14	0.00	0.08
ZnO	-	-	-	0.06	0.02	0.00	0.06	0.00	0.00	0.03	0.00
BaO	0.00	0.17	0.00	0.00	0.00	0.04	0.14	0.00	0.09	0.01	0.00
PbO	-	-	-	0.11	0.00	0.00	0.13	0.36	0.00	0.28	0.00
Total	89.32	51.29	83.10	81.36	83.89	91.25	92.17	76.92	79.04	24.66	90.07

Tabela 14 - Composição química das apatitas das rochas da Mina Gonzaga de Campos, obtida por análises pontuais ao MEV com EDS, sobre lâminas delgadas de amostras da Mina Gonzaga de Campos (dados da tabela 5 não corrigidos).

	154	155	156	147	148	151	153
Na2O	0.25	0.01	0.54	0.53	0.00	0.10	0.47
MgO	9.73	10.44	9.73	9.87	8.80	8.76	7.28
Al2O3	11.18	10.53	10.70	11.82	11.35	10.52	9.31
SiO2	34.64	36.41	34.20	35.94	35.60	35.75	33.33
P2O5	0.00	0.27	0.24	0.53	0.13	0.00	0.27
S-2	0.04	0.04	0.02	0.05	0.14	0.10	0.19
Cl-1	0.05	0.04	0.06	0.09	0.04	0.02	0.29
K2O	6.46	6.42	6.63	7.78	7.86	6.72	6.52
CaO	0.23	0.62	0.20	0.15	0.06	0.31	0.69
TiO	3.30	3.08	3.06	3.94	3.80	3.45	3.16
Cr2O3	0.08	0.09	0.00	0.05	0.01	0.00	0.09
MnO	0.14	0.09	0.22	0.09	0.23	0.20	0.08
Fe2O3	18.50	16.76	17.31	22.27	20.97	19.61	18.15
CoO	0.00	0.09	0.00	0.09	0.09	0.08	0.00
NiO	0.04	0.00	0.16	0.03	0.08	0.12	0.00
CuO	0.07	0.11	0.03	0.00	0.14	0.00	0.00
ZnO	0.00	0.00	0.00	0.11	0.00	0.11	0.06
BaO	0.05	0.00	0.07	0.13	0.12	0.00	0.46
PbO	0.00	0.02	0.02	0.08	0.00	0.00	0.16
TOTAL	84.77	85.02	83.20	93.57	89.43	85.88	80.52

Tabela 15 - Composição química das biotitas das rochas da Mina Gonzaga de Campos, obtida por análises pontuais ao MEV com EDS, sobre lâminas delgadas de amostras da Mina Gonzaga de Campos (dados da tabela 6 não corrigidos).

	3	39	40	41	42	43	53	84	85	86	87	88	89
Na2O	0.95	5.10	5.55	4.99	6.00	6.17	4.78	6.53	5.49	5.11	5.36	3.02	4.79
MgO	8.98	19.01	18.64	18.34	20.25	20.67	18.06	17.95	16.00	15.48	12.41	10.05	14.09
Al2O3	3.03	0.51	1.01	0.67	0.68	1.12	0.69	0.24	0.68	0.99	1.15	1.06	0.92
SiO2	44.06	52.12	51.03	50.50	55.81	55.87	49.88	52.78	48.99	47.41	44.01	36.24	45.84
P2O5	0.29	0.27	0.00	0.17	0.30	0.42	0.19	0.00	0.00	0.06	1.61	0.88	0.68
S-2	-	-	-	-	-	-	-	0.03	0.04	0.03	0.06	0.00	0.08
Cl-1	-	-	-	-	-	-	-	0.07	0.11	0.01	0.13	0.18	0.00
K2O	5.75	2.89	2.88	2.85	3.07	2.83	2.83	2.74	2.67	2.65	1.96	1.96	2.57
CaO	0.13	6.10	5.93	5.82	6.30	6.01	5.79	4.75	5.09	4.92	5.34	3.88	5.25
TiO	0.49	0.44	0.42	0.37	0.42	0.58	0.51	0.34	0.28	0.30	0.27	0.23	0.38
Cr2O3	-	-	-	-	-	-	-	0.06	0.00	0.02	0.01	0.02	0.00
MnO	0.13	0.04	0.03	0.03	0.12	0.11	0.05	0.00	0.11	0.05	0.14	0.22	0.15
Fe2O3	7.76	5.67	5.70	5.12	6.25	5.47	5.65	8.87	8.43	8.47	6.60	5.75	7.92
CoO	-	-	-	-	-	-	-	0.00	0.14	0.00	0.00	0.12	0.00
NiO	-	-	-	-	-	-	-	0.03	0.00	0.00	0.06	0.00	0.07
CuO	-	-	-	-	-	-	-	0.14	0.24	0.04	0.00	0.19	0.08
ZnO	-	-	-	-	-	-	-	0.09	0.00	0.00	0.20	0.13	0.00
BaO	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.07	0.03	0.13
PbO	-	-	-	-	-	-	-	0.02	0.04	0.00	0.00	0.06	0.00
TOTAL	71.57	92.16	91.18	88.89	99.21	99.25	88.43	94.63	88.31	85.58	79.38	64.02	82.96

	162	163	167	168	169	174	175	176	177	178
Na2O	3.83	5.80	6.43	4.63	4.71	4.79	5.64	5.33	7.06	5.71
MgO	14.91	15.72	17.67	14.92	14.88	16.52	16.40	16.95	17.44	17.06
Al2O3	0.84	0.33	0.60	0.24	0.18	0.00	0.06	0.59	0.32	0.23
SiO2	46.58	46.62	51.79	46.92	46.32	51.15	51.63	52.48	53.49	53.08
P2O5	0.13	0.32	0.36	0.45	0.71	0.27	0.16	0.00	0.25	0.25
S-2	0.24	0.09	0.32	0.25	0.23	0.03	0.03	0.02	0.00	0.01
Cl-1	0.28	0.03	0.15	0.39	0.12	0.00	0.01	0.02	0.02	0.00
K2O	2.67	2.23	2.60	2.65	2.69	3.39	3.47	3.14	2.76	3.21
CaO	5.13	3.53	4.86	4.72	5.13	5.22	4.18	5.43	4.29	5.04
TiO	0.39	0.35	0.45	0.39	0.46	0.31	0.36	0.40	0.34	0.47
Cr2O3	0.00	0.00	0.00	0.17	0.08	0.08	0.00	0.00	0.00	0.08
MnO	0.08	0.09	0.03	0.04	0.05	0.14	0.09	0.16	0.42	0.00
FeO	7.18	5.75	7.25	7.17	7.42	8.68	10.39	8.56	9.22	9.05
CoO	0.00	0.00	0.06	0.02	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07
NiO	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.07	0.13	0.14	0.04
CuO	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.06	0.20	0.00	0.21
ZnO	0.08	0.00	0.23	0.05	0.21	0.06	0.06	0.00	0.00	0.00
BaO	0.09	0.00	0.00	0.22	0.27	0.00	0.00	0.05	0.20	0.08
PbO	0.00	0.00	0.00	0.21	0.00	0.10	0.09	0.08	0.00	0.00
Total	82.44	80.85	92.83	83.43	83.56	90.77	92.72	93.53	95.97	94.60

Tabela 16 - Composição química dos anfibólios das rochas da Mina Gonzaga de Campos, obtida por análises pontuais ao MEV com EDS, sobre lâminas delgadas de amostras da Mina Gonzaga de Campos (dados da tabela 7 não corrigidos).

	1	4	5	111	120
Na2O	0.80	0.14	0.22	0.00	1.43
MgO	0.12	0.10	0.00	0.04	0.00
Al2O3	15.38	16.21	11.82	12.81	15.48
SiO2	54.65	59.49	43.56	46.09	58.44
P2O5	0.46	0.44	0.00	0.23	0.39
S-2	-	-	-	0.00	0.09
Cl-1	-	-	-	0.19	0.11
K2O	12.42	14.91	11.73	8.75	13.41
CaO	0.00	0.00	0.03	0.02	0.12
TiO2	0.00	0.11	0.03	0.07	0.10
Cr2O3	-	-	-	0.00	0.00
MnO	0.00	0.05	0.00	0.05	0.00
Fe2O3	0.68	0.39	0.65	0.18	0.83
CoO	-	-	-	0.00	0.10
NiO	-	-	-	0.03	0.00
CuO	-	-	-	0.10	0.09
ZnO	-	-	-	0.00	0.15
BaO	0.38	0.93	0.02	0.00	0.00
PbO	-	-	-	0.16	0.00
TOTAL	84.88	92.79	68.06	68.72	90.76

Tabela 17 - Composição química dos feldspatos potássicos das rochas da Mina Gonzaga de Campos, obtida por análises pontuais ao MEV com EDS, sobre lâminas delgadas de amostras da Mina Gonzaga de Campos (dados da tabela 8 não corrigidos).

	121	122	123	124	125	126	127	128	134	137
Na2O	0.59	0.08	0.00	0.28	0.00	0.00	0.74	0.00	0.52	0.96
MgO	0.42	0.30	0.11	0.00	0.51	0.18	0.21	0.31	0.76	0.46
Al2O3	0.43	0.61	0.45	0.20	0.45	0.39	1.02	0.65	0.98	0.57
SiO2	0.78	1.02	0.76	12.19	0.96	13.22	1.95	2.98	1.40	1.32
P2O5	0.07	0.19	0.24	0.00	0.14	0.00	0.51	0.46	0.61	0.58
S-2	0.04	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.04	0.04	0.12	0.31
Cl-1	0.10	0.05	0.00	0.10	0.04	0.00	0.03	0.00	0.09	0.34
K2O	0.00	0.02	0.00	0.06	0.02	0.00	0.05	0.03	0.05	0.00
CaO	0.14	0.26	0.18	0.04	0.12	0.05	0.26	0.23	0.07	0.09
TiO	1.46	1.31	1.46	1.10	8.18	0.76	1.20	1.36	1.21	0.96
Cr2O3	0.00	0.12	0.22	0.27	0.02	0.04	0.00	0.02	0.08	0.00
MnO	0.17	0.09	0.11	0.07	0.47	0.05	0.25	0.27	0.25	0.26
Fe2O3	91.15	91.50	89.49	89.10	81.52	81.20	82.57	83.80	75.02	80.26
CoO	0.19	0.17	0.00	0.19	0.07	0.36	0.00	0.08	0.17	0.19
NiO	0.00	0.00	0.16	0.05	0.00	0.00	0.10	0.00	0.11	0.00
CuO	0.00	0.00	0.21	0.02	0.08	0.00	0.00	0.08	0.36	0.01
ZnO	0.00	0.00	0.09	0.00	0.18	0.06	0.00	0.32	0.00	0.08
BaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.16	0.00	0.00	0.08	0.00
PbO	0.17	0.25	0.18	0.19	0.02	0.16	0.00	0.00	0.00	0.13
Total	95.72	95.99	93.66	103.87	92.84	96.63	88.94	90.63	81.88	86.55

Tabela 18 - Composição química das magnetitas das rochas da Mina Gonzaga de Campos, obtida por análises pontuais ao MEV com EDS, sobre lâminas delgadas de amostras da Mina Gonzaga de Campos (dados da tabela 9 não corrigidos).

	12	13	14	15	17	20	50	55	55.1	55.2	113	114
Na2O	0.05	0.00	0.36	0.06	0.52	0.03	0.48	0.00	0.00	0.55	0.00	0.86
MgO	0.14	0.05	0.13	0.30	0.00	0.00	0.38	0.00	0.00	0.68	0.09	0.24
Al2O3	29.19	24.56	25.02	28.77	27.86	30.15	22.18	24.03	21.70	30.57	22.40	25.15
SiO2	0.00	9.44	1.71	0.53	0.89	0.00	11.83	0.15	0.52	5.15	0.78	6.62
P2O5	33.08	23.81	27.62	31.58	30.77	32.68	17.40	28.50	22.57	30.94	25.73	26.56
S-2	-	-	-	-	0.06	-	-	-	0.00	0.00	0.05	0.00
Cl-1	-	-	-	-	-	-	-	-	0.11	0.14	0.03	0.11
K2O	0.00	0.10	0.08	0.03	0.08	0.04	0.32	0.02	0.14	0.17	0.25	0.76
CaO	0.06	0.32	0.13	0.06	0.54	0.02	0.95	0.05	0.28	0.23	0.04	0.57
TiO2	0.00	0.96	0.00	0.16	0.00	0.00	0.47	0.04	0.00	0.31	0.09	0.18
Cr2O3	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	0.00	0.00	0.04
MnO	0.01	0.01	0.00	0.02	0.00	0.04	0.00	0.05	0.06	0.00	0.00	0.00
Fe2O3	2.50	10.07	2.17	2.64	1.86	0.07	7.39	0.77	0.28	4.29	3.04	3.61
CoO	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	0.00	0.03	0.11
NiO	-	-	-	-	-	-	-	-	0.02	0.17	0.00	0.06
CuO	-	-	-	-	-	-	-	-	0.10	0.22	0.00	0.07
ZnO	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	0.18	0.04	0.05
BaO	0.11	0.00	0.22	0.00	0.10	0.00	2.37	0.00	0.00	0.00	0.05	0.93
PbO	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	0.10	0.00	0.00
TOTAL	65.16	69.33	57.45	64.16	62.69	63.04	63.77	53.61	45.78	73.70	52.63	65.92

Tabela 19 - Composição química média da apatita primária (tabela 5) e análises pontuais ao MEV com EDS de seus produtos de alteração (wavelita), na Mina Gonzaga de Campos (dados da tabela 10 não corrigidos).

	19	82	83	78	79	81	74	75	76	77	140	141	142	143	144	21	22	23	24	25
Na2O	0.38	1.14	0.00	0.09	1.30	1.68	0.21	0.23	0.12	0.45	0.81	0.06	1.48	0.74	0.35	2.35	0.67	0.65	2.05	0.53
MgO	0.83	1.00	0.36	2.19	7.33	3.76	2.20	2.27	1.38	7.64	0.98	0.66	2.26	0.75	1.02	10.30	12.91	14.32	6.56	14.04
Al2O3	10.76	5.13	5.20	5.58	5.26	4.25	5.30	5.56	4.64	5.59	5.59	4.26	10.56	5.06	1.32	13.69	10.83	19.64	8.77	13.15
SiO2	36.14	32.45	13.88	26.64	32.46	32.42	24.96	26.62	39.59	29.31	41.39	33.48	59.72	40.94	53.71	55.16	37.15	50.37	32.77	39.96
P2O5	5.33	2.58	4.76	1.85	1.78	2.03	1.45	1.76	1.82	1.57	0.52	0.66	2.46	0.55	0.35	2.99	0.84	1.30	1.86	0.54
S-2	-	0.00	0.04	0.04	0.13	0.01	0.00	0.06	0.06	0.02	0.05	0.01	0.10	0.12	0.34	-	-	-	-	-
Cl-1	-	0.24	0.05	0.33	0.43	0.61	0.33	0.37	0.19	0.81	0.28	0.14	0.79	0.10	0.33	-	-	-	-	-
K2O	0.08	0.19	0.13	0.49	1.14	0.90	0.45	0.36	0.33	1.96	0.21	0.06	2.77	0.19	0.00	0.49	0.16	0.13	0.17	0.24
CaO	0.36	1.75	0.79	1.39	2.46	3.18	1.34	1.48	2.21	1.59	1.20	0.98	1.79	0.78	1.99	3.94	1.02	0.82	1.28	0.69
TiO	0.26	0.68	1.74	0.56	0.56	0.22	0.60	0.63	0.43	0.42	0.20	0.10	0.23	0.03	0.13	1.39	0.60	0.91	0.45	0.98
Cr2O3	-	0.03	0.05	0.00	0.00	0.02	0.00	0.17	0.05	0.02	0.00	0.05	0.00	0.00	0.08	-	-	-	-	-
MnO	0.00	0.00	0.21	0.01	0.00	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.12	0.16	0.00	0.14
Fe2O3	19.90	28.21	50.14	21.54	8.56	8.34	17.30	23.70	17.29	9.98	23.01	20.18	17.64	22.54	8.86	9.27	6.64	11.48	8.29	9.58
CoO	-	0.00	0.00	0.29	0.14	0.02	0.08	0.08	0.14	0.08	0.22	0.10	0.07	0.01	0.14	-	-	-	-	-
NiO	-	0.00	0.01	0.02	0.00	0.14	0.13	0.00	0.11	0.09	0.08	0.00	0.00	0.00	0.03	-	-	-	-	-
CuO	-	0.10	0.00	0.01	0.06	0.18	0.09	0.04	0.04	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-	-	-	-
ZnO	-	0.22	0.09	0.02	0.02	0.06	0.05	0.09	0.05	0.05	0.11	0.03	0.02	0.00	0.00	-	-	-	-	-
BaO	0.19	0.12	0.06	0.16	0.16	0.28	0.00	0.16	0.15	0.00	0.00	0.00	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22	0.00
PbO	-	0.02	0.00	0.05	0.00	0.09	0.00	0.00	0.17	0.07	0.05	0.13	0.00	0.00	0.00	-	-	-	-	-
TOTAL	74.23	73.86	77.52	61.28	61.80	58.21	54.50	63.59	68.77	59.64	74.92	60.89	99.91	71.84	68.65	99.66	70.94	99.78	62.42	79.84

	26	27	29	30	56	57	58	59	60	61	62	67	69	70	71	71a	18	80	28
Na2O	0.65	0.00	0.20	0.66	0.49	0.00	0.00	0.60	0.43	0.26	0.00	1.67	0.21	0.12	0.30	0.01	0.44	0.05	2.64
MgO	1.57	1.40	1.26	5.65	2.24	1.81	8.67	11.28	12.49	11.09	9.26	6.53	9.84	8.69	9.68	6.55	0.23	2.11	1.87
Al2O3	12.27	13.69	6.32	12.80	19.25	22.05	15.37	11.30	14.73	12.79	11.92	14.95	16.08	16.63	21.06	19.09	19.65	8.86	3.15
SiO2	39.28	32.11	32.00	40.59	34.98	37.24	36.52	36.36	37.47	35.98	35.35	39.87	34.40	31.28	40.96	32.32	16.46	17.22	22.25
P2O5	1.91	2.83	2.05	1.11	2.25	2.32	2.19	1.75	1.50	3.12	2.33	2.91	3.56	3.49	2.52	2.86	19.06	18.73	15.62
S-2	-	-	-	-	0.05	0.05	0.00	0.00	0.00	0.02	0.21	0.09	0.09	0.07	0.09	0.12	-	0.03	-
Cl-1	-	-	-	-	0.21	0.00	0.12	0.10	0.07	0.10	-	0.07	0.00	0.00	0.06	0.06	-	0.31	-
K2O	0.46	0.22	0.23	0.39	0.09	0.13	0.07	0.36	0.17	0.14	0.16	0.33	0.21	0.16	0.23	0.20	0.02	0.41	0.48
CaO	0.97	0.68	0.71	1.79	0.63	0.34	0.38	0.95	0.83	1.81	0.68	1.28	0.44	0.41	0.59	0.26	0.24	1.20	17.82
TiO	0.33	0.44	0.35	0.46	0.87	0.88	1.04	0.97	0.91	1.26	1.07	0.68	0.39	0.28	0.71	0.36	0.23	0.24	0.22
Cr2O3	-	-	-	-	0.00	0.06	0.00	0.03	0.08	0.02	0.00	0.13	0.01	0.01	0.00	0.00	-	0.00	-
MnO	0.00	0.00	0.04	0.05	0.00	0.00	0.20	0.08	0.11	0.20	0.07	0.00	0.00	0.11	0.12	0.08	0.02	0.08	0.00
Fe2O3	10.80	12.83	19.23	8.03	7.25	7.91	8.14	9.11	8.83	8.22	10.94	5.80	6.82	4.08	7.75	3.95	8.95	16.44	3.10
CoO	-	-	-	-	0.03	0.00	0.17	0.03	0.24	0.00	0.30	0.00	0.04	0.02	0.00	0.04	-	0.00	-
NiO	-	-	-	-	0.00	0.00	0.02	0.03	0.05	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	-	0.00	-
CuO	-	-	-	-	0.00	0.06	0.18	0.28	0.17	0.08	0.19	0.14	0.07	0.10	0.01	0.12	-	0.00	-
ZnO	-	-	-	-	0.06	0.00	0.13	0.05	0.06	0.01	0.04	0.06	0.00	0.00	0.10	-	-	0.00	-
BaO	0.07	0.00	0.00	0.00	0.09	0.06	0.17	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.36	0.18	0.00	0.09	0.00	0.02	0.00
PbO	-	-	-	-	0.28	0.00	0.22	0.02	0.14	0.23	0.08	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	-	0.04	-
TOTAL	68.31	64.21	62.39	71.53	68.74	72.92	73.59	73.28	78.29	75.33	72.65	74.50	72.52	65.65	84.19	66.22	65.31	65.76	67.16

Tabela 20 - Composição química média da biotita (tabela 6) e análises pontuais ao MEV com EDS sobre seus produtos de alteração em pseudomorfoses, em materiais da Mina Gonzaga de Campos (dados da tabela 11 não corrigidos).

	108	109	110	112	165	166
Na ₂ O	0.00	0.59	0.61	1.57	0.40	0.12
MgO	0.35	0.03	0.00	0.14	1.77	0.40
Al ₂ O ₃	3.50	8.17	4.04	3.21	3.52	3.49
SiO ₂	8.95	7.94	2.51	5.84	27.85	25.44
P ₂ O ₅	4.76	11.59	10.86	5.23	0.96	0.98
S-2	0.03	0.06	0.00	0.00	0.11	0.00
Cl-1	0.19	0.14	0.05	0.21	0.15	0.43
K ₂ O	0.27	0.46	0.06	0.06	0.50	0.20
CaO	0.48	0.77	0.45	0.49	1.20	1.35
TiO ₂	2.12	1.27	2.89	2.78	0.29	0.19
Cr ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.14	0.00	0.14
MnO	0.00	0.12	0.46	0.15	0.00	0.05
Fe ₂ O ₃	30.25	15.06	39.08	41.32	11.10	12.57
CoO	0.01	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00
NiO	0.00	0.08	0.12	0.08	0.10	0.09
CuO	0.32	0.00	0.00	0.08	0.13	0.18
ZnO	0.11	0.00	0.09	0.06	0.07	0.26
BaO	0.92	6.26	3.75	0.85	0.13	0.13
PbO	0.00	0.00	0.08	0.17	0.05	0.11
Total	52.26	52.54	65.06	62.35	48.43	46.14

Tabela 21 - Composição química média do anfibólio (tabela 7) e análises pontuais ao MEV com EDS sobre seus produtos de alteração em pseudomorfoses, em materiais da Mina Gonzaga de Campos (dados da tabela 12 não corrigidos).

a	44	45	46	47	48	95	96	97	98	b	7	7.1	7.2	0.1	0.2	2.2	8.1
Na2O	0.48	0.00	0.25	0.57	0.10	0.11	0.00	0.00	0.00	Na2O	0.33	0.13	0.06	0.20	0.00	0.27	0.11
MgO	0.35	0.00	0.00	0.39	0.00	0.79	0.19	0.00	0.00	MgO	0.33	0.32	0.92	0.30	0.69	747.88	0.37
Al2O3	23.54	27.20	26.60	18.92	24.13	8.14	34.33	16.61	30.47	Al2O3	21.31	29.04	29.55	3.08	6.82	17.63	23.58
SiO2	11.61	0.25	0.34	4.02	0.00	45.34	0.00	58.89	0.00	SiO2	12.26	13.51	18.44	2.51	13.79	21.67	0.21
P2O5	21.01	29.84	28.34	21.34	28.03	1.10	36.60	1.02	33.03	P2O5	13.61	20.80	17.41	3.60	4.31	6.07	22.65
S-2	-	-	-	-	-	0.09	0.03	0.00	0.00	S-2	-	0.31	0.26	0.04	0.00	0.15	0.00
Cl-1	-	-	-	-	-	0.10	0.05	0.00	0.01	Cl-1	-	0.70	0.51	0.16	0.17	0.00	0.16
K2O	0.16	0.18	0.09	0.18	0.10	0.07	0.07	14.51	0.06	K2O	0.13	0.05	0.22	0.01	0.00	0.36	0.19
CaO	0.86	0.28	0.36	0.29	0.12	1.04	0.03	0.00	0.09	CaO	1.28	2.30	2.11	0.27	0.74	0.63	0.17
TiO2	0.33	0.13	0.03	0.18	0.06	0.28	0.01	0.18	0.00	TiO2	0.71	0.48	0.92	1.56	0.95	0.74	0.00
Cr2O3	-	-	-	-	-	0.13	0.08	0.06	0.04	Cr2O3	-	0.00	0.00	0.00	0.12	0.05	0.07
MnO	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	MnO	0.00	0.03	0.05	0.36	0.00	0.00	0.00
Fe2O3	6.30	0.64	0.49	3.13	1.52	17.61	1.81	0.22	1.77	Fe2O3	2.37	4.60	6.65	50.43	50.63	3.49	0.51
CoO	-	-	-	-	-	0.08	0.04	0.00	0.00	CoO	-	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.02
NiO	-	-	-	-	-	0.00	0.02	0.00	0.08	NiO	-	0.04	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00
CuO	-	-	-	-	-	0.00	0.03	0.12	0.00	CuO	-	0.04	0.13	0.11	0.04	0.01	0.05
ZnO	-	-	-	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00	ZnO	-	0.15	0.22	0.11	0.17	0.00	0.11
BaO	1.40	0.00	0.02	0.08	0.00	0.10	0.10	0.00	0.15	BaO	4.96	10.27	8.34	0.03	0.78	1.56	0.00
PbO	-	-	-	-	-	0.00	0.00	0.01	0.36	PbO	-	0.45	0.47	0.11	0.28	0.00	0.21
Total	66.04	58.54	56.53	49.20	54.07	74.98	73.37	91.62	66.07	Total	57.29	83.21	86.26	62.93	79.57	800.51	48.41

c	31	33	34	35	36	38	51	52	90	91	92	93	94	99	100	101	102	103	104	105	106	107	170	171	172	173
Na2O	0.28	0.00	0.54	0.00	0.61	0.15	0.49	1.89	0.30	0.60	0.35	0.46	0.00	0.55	0.25	0.19	0.06	0.09	0.43	0.00	0.73	0.01	0.03	0.00	0.00	0.01
MgO	0.33	0.29	0.54	0.26	0.97	0.09	0.48	1.25	5.93	0.54	0.23	4.98	0.00	0.39	0.02	0.70	0.18	0.61	0.38	0.28	0.10	0.23	0.24	0.11	0.28	0.12
Al2O3	19.69	16.74	21.82	23.50	6.89	19.71	10.42	13.36	12.70	13.68	7.66	10.03	20.70	28.79	30.02	29.43	29.78	29.95	30.38	27.50	26.49	21.22	16.24	18.10	18.04	12.75
SiO2	18.30	15.29	15.62	18.08	2.77	13.56	36.05	31.87	29.65	12.89	7.35	28.23	10.90	9.04	10.78	10.30	10.11	12.32	11.14	16.09	15.54	11.24	20.55	24.15	23.53	15.31
P2O5	8.22	7.87	11.66	12.87	30.26	12.38	9.69	5.03	3.08	8.37	5.53	1.13	13.44	20.99	21.64	21.00	21.36	21.01	22.19	17.60	15.92	14.11	9.20	4.67	6.42	9.36
S-2	-	-	-	-	-	-	-	-	0.07	0.00	0.00	0.03	0.00	0.04	0.00	0.02	0.08	0.00	0.16	0.04	0.00	0.06	0.01	0.13	0.03	0.06
Cl-1	-	-	-	-	-	-	-	-	0.24	0.37	0.65	0.19	0.25	0.06	0.10	0.09	0.07	0.12	0.16	0.19	0.01	0.16	0.11	0.04	0.15	0.14
K2O	0.17	0.11	0.17	0.30	0.21	0.16	0.25	0.53	3.97	0.24	0.27	4.26	0.12	0.15	0.17	0.25	0.05	0.14	0.14	0.14	0.26	0.18	0.35	0.26	0.29	0.32
CaO	0.66	0.47	0.87	1.00	2.48	1.02	6.88	2.18	0.53	1.05	0.62	0.12	1.40	2.38	2.45	2.34	2.45	2.16	2.42	1.93	1.66	1.82	0.57	0.57	0.51	1.91
TiO2	0.86	0.36	0.82	0.60	0.24	0.74	0.67	0.92	2.18	1.32	2.18	2.13	0.32	0.01	0.00	0.08	0.18	0.69	0.26	0.21	0.45	0.42	1.06	1.10	1.03	0.71
Cr2O3	-	-	-	-	-	-	-	-	0.12	0.12	0.17	0.00	0.01	0.09	0.09	0.05	0.15	0.02	0.00	0.10	0.00	0.07	0.00	0.08	0.10	0.05
MnO	0.04	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.07	0.09	0.10	0.00	0.18	0.12	0.00	0.01	0.02	0.00	0.05	0.02	0.06	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.07	0.72
Fe2O3	12.19	4.79	9.79	9.80	4.31	9.64	11.47	11.60	18.44	31.45	73.50	22.82	8.30	7.77	4.24	4.28	3.76	4.94	4.33	4.64	5.31	5.01	20.30	20.16	20.85	17.41
CoO	-	-	-	-	-	-	-	-	0.14	0.00	0.00	0.01	0.00	0.03	0.00	0.07	0.21	0.03	0.00	0.00	0.13	0.00	0.08	0.05	0.03	0.11
NiO	-	-	-	-	-	-	-	-	0.14	0.00	0.05	0.06	0.10	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00
CuO	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.12	0.00	0.11	0.00	0.09	0.14	0.08	0.09	0.00	0.02	0.19	0.22	0.00
ZnO	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	0.12	0.00	0.00	0.00	0.04	0.04	0.10	0.09	0.00	0.00	0.15	0.15	0.04	0.15	0.00	0.00	0.02
BaO	3.60	2.39	6.20	4.98	0.82	5.62	0.46	0.43	0.03	2.85	0.86	0.00	6.29	10.98	11.51	11.14	10.16	10.64	9.23	8.89	9.02	0.53	0.82	0.88	0.47	0.00
PbO	-	-	-	-	-	-	-	-	0.05	0.51	0.41	0.00	0.17	0.06	0.16	0.22	0.20	0.19	0.27	0.39	0.28	0.02	0.00	0.00	0.19	0.00
Total	64.32	48.30	68.03	71.42	49.57	63.08	76.93	69.14	77.68	74.17	100.01	74.58	62.01	81.49	81.51	80.78	80.02	82.54	83.10	78.57	76.07	63.64	69.51	70.44	72.62	59.47

d	149	150	152	157	158	159	160
Na2O	0.46	0.17	0.08	0.15	1.50	0.00	0.22
MgO	1.16	1.24	1.31	1.49	0.41	8.28	1.51
Al2O3	13.65	9.43	9.76	8.19	10.98	10.23	9.22
SiO2	43.89	29.19	35.79	37.66	40.43	30.05	33.37
P2O5	1.45	0.74	0.76	1.57	0.20	0.12	0.82
S-2	0.12	0.04	0.03	0.04	0.26	0.05	0.08
Cl-1	0.09	0.30	0.13	0.42	0.11	0.05	0.17
K2O	0.52	0.81	0.50	0.37	7.32	5.57	0.85
CaO	1.14	1.36	1.18	1.13	0.35	0.18	1.05
TiO2	0.32	0.79	0.39	0.46	0.11	3.38	0.11
Cr2O3	0.16	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04
MnO	0.00	0.04	0.11	0.00	0.00	0.10	0.00
Fe2O3	14.32	10.58	14.91	25.31	0.63	12.58	4.96
CoO	0.09	0.04	0.00	0.00	0.07	0.18	0.04
NiO	0.00	0.06	0.08	0.13	0.11	0.00	0.16
CuO	0.03	0.10	0.00	0.13	0.08	0.00	0.00
ZnO	0.15	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00
BaO	0.16	0.00	0.11	0.14	0.29	0.43	0.25
PbO	0.00	0.02	0.00	0.15	0.11	0.15	0.00
Total	77.71	55.00	65.15	77.34	63.22	71.36	52.86

Tabela 22 - Composição química dos plasmas secundários ocorrentes no perfil da Mina Gonzaga de Campos (a, b, c e d: vide texto) (dados da tabela 13 não corrigidos).