UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**PEGMATITOS LITINÍFEROS DA REGIÃO DE
ITINGA - ARAÇUAÍ, MINAS GERAIS**

JOSÉ HAROLDO DA SILVA SÁ

Tese de Doutorado apresentada
ao Instituto de Geociências da
Universidade de São Paulo

Orientador:
Prof. Dr. Reinholt Ellert

DEDALUS - Acervo - IGC

30900005589

SÃO PAULO
1977

À Esther, Daniel e Pedro

ÍNDICE

RESUMO	vii
CAPÍTULO I	1
1 - INTRODUÇÃO	1
1.1 - CARACTERÍSTICAS DA ÁREA ESTUDADA	1
1.1.1 - Localização, Dimensões e Acesso	1
1.1.2 - Geomorfologia, Rede Hidrográfica, Clima e Vegetação	3
1.2 - TRABALHOS GEOLÓGICOS E MINEIROS ANTERIORES	7
1.3 - METODOLOGIA DE TRABALHO	10
1.4 - OBJETIVOS	12
CAPÍTULO II	13
2 - GEOLOGIA	13
2.1 - OS XISTOS	13
2.2 - OS GRANITOS	20
2.3 - RELAÇÕES ENTRE XISTOS E GRANITOS	27
2.4 - COBERTURA SEDIMENTAR	29
CAPÍTULO III	33
3 - OS PEGMATITOS	33
3.1 - CLASSIFICAÇÃO	33
3.2 - PEGMATITOS SIMPLES	36
3.3 - PEGMATITOS COMPLEXOS	39

3.3.1 - Os Pegmatitos Com Microclina- -Quartzo-Muscovita-Petalita- (Espodumênio)-(Albita)	40
3.3.2 - Pegmatitos Com Microclíneo- -Quartzo-Espodumênio-Albita- -Muscovita	43
3.3.3 - Pegmatitos Com Microclina-Al bita-Quartzo-Lepidolita-Ambli- gonita	45
3.3.4 - Pegmatito Com Microclíneo- -Quartzo-Polucita-Espodumênio	51
3.4 - RELAÇÕES ENTRE OS PEGMATITOS E AS ROCHAS ENCAIXANTES	57
3.5 - DISTRIBUIÇÃO E ZONEAMENTO DOS PEGMATITOS	60
3.6 - COMPARAÇÃO COM OUTROS DISTRITOS PEGMATI- TICOS DO MUNDO	64
 CAPÍTULO IV	 68
4 - GEOCRONOLOGIA	68
4.1 - METODOLOGIA	68
4.2 - RESULTADOS E DISCUSSÕES	73
 CAPÍTULO V	 79
5 - GÊNESE E EVOLUÇÃO DOS PEGMATITOS	79
5.1 - TEORIAS SOBRE A ORIGEM DOS PEGMATITOS	80
5.2 - RELAÇÕES ENTRE OS PEGMATITOS E GRANITOS	82
5.3 - EVOLUÇÃO DOS PEGMATITOS	86
 AGRADECIMENTOS	 96
 BIBLIOGRAFIA	 98

ÍNDICE DAS ILUSTRAÇÕES

FOTOGRAFIAS

Foto 1.1 - Vista da chapada do Piauí	4
Foto 1.2 - O rio Jequitinhonha e sua planície aluvionar	4
Foto 2.1 - Xisto com estrutura laminar	17
Foto 2.2 - Porfiroblastos de cordierita	17
Foto 2.3 - Lâmina delgada mostrando um porfiroblasto de cordierita	18
Foto 2.4 - Granada crescendo poiquiloblasticamente dentro dos xistos	18
Foto 2.5 - Grão de andaluzita que cresceu dentro dos xistos	19
Foto 2.6 - Lâmina delgada de anfibolito mostrando hornblenda e quartzo	19
Foto 2.7 - Desenvolvimento de foliação de clivagem nos xistos	20
Foto 2.8 - Granito com fenocristal idiomórfico de microclina	23
Foto 2.9 - Lâmina delgada mostrando um fenocristal de microclina no granito	23
Foto 2.10- Lâmina delgada de granito	28
Foto 2.11- Visão parcial do maciço de granito, situado a direita do ribeirão Piauí	28
Foto 2.12- Xenólitos de xisto dentro do granito	31
Foto 2.13- Vista parcial da chapada do Piauí	31
Foto 3.1 - Pegmatito simples encaixado no granito	38
Foto 3.2 - Veios de pegmatitos simples encaixados no granito	38
Foto 3.3 - Pegmatito simples encaixado no granito	42
Foto 3.4 - Veios e bolsões de petalita	42

Foto 3.5 - Cristais de espodumênio que cortam as massas de petalita e microclíneo	44
Foto 3.6 - Cristais de espodumênio cortando o microclíneo, lavra da "Cachoeira"	46
Foto 3.7 - Intercrescimento de espodumênio e quartzo	46
Foto 3.8 - Pequeno veio de albita preenchendo fratura no espodumênio	47
Foto 3.9 - Lâmina delgada de um cristal de espodumênio	47
Foto 3.10- Lâmina delgada mostrando a substituição de <u>mi</u> clíneo por albita	50
Foto 3.11- Associação mineralógica encontrada no pegmatito com polucita	52
Foto 3.12- Lâmina delgada de polucita	54
Foto 3.13- Xenólito de xisto dentro do pegmatito da lavra do "Urubu"	59
Foto 3.14- Veios pegmatíticos controlados por um sistema de fraturas	59

FIGURAS

Figura 1.1 - Mapa de Localização	2
Figura 1.2 - Localização das Áreas de Concentração das Pesquisas	2
Figura 2.1 - Mapa Geológico da Região do Ribeirão Piauí e Córrego Genipapo	14
Figura 2.2 - Mapa Geológico da Região do Córrego das Te _s ouras	15
Figura 2.3 - Relação K-Rb nos Xistos e Granitos	30
Figura 2.4 - Relação Mg-Li nos Xistos e Granitos	30
Figura 3.1 - Diagrama de Frequência das Direções de 121 Pegmatitos da Região de Itinga-Araçuaí, MG	58

Figura 3.2 - Variação dos Teores de Rb, Li, Cs, Zn e Sn nos Xistos Adjacentes aos Pegmatitos	61
Figura 3.3 - Mapa de Localização dos Tipos de Pegmatitos Mineralizados à Lítio	63
Figura 4.1 - Localização das Amostras Datadas	69
Figura 4.2 - Isócrona de Referência de Xistos do Grupo Macaúbas	74
Figura 4.3 - Isócrona dos Granitos da Região de Itinga-Araçuaí, MG	75
Figura 5.1 - Campos de Estabilidade da Petalita e do Espodumênio	88
Figura 5.2 - Relação entre K-Rb e K-Cs nos Feldspatos Potássicos dos Pegmatitos Complexos	89
Figura 5.3 - Paragênese Mineral nos Pegmatitos Litiníferos de Itinga-Araçuaí	95

TABELAS

Tabela 2.1 - Dados Analíticos de Composição Química dos Xistos (Rocha Total)	21
Tabela 2.2 - Dados Analíticos de Composição Química dos Granitos (Rocha Total)	25
Tabela 2.3 - Dados Analíticos de Composição Química de Concentrados de Biotita dos Granitos	26
Tabela 3.1 - Classificações Comparativas de Pegmatitos	37
Tabela 3.2 - Distribuição dos Minerais Acessórios nos Pegmatitos mais Importantes do Distrito	55
Tabela 3.3 - Características de Alguns Importantes Distritos Litiníferos do Mundo	65
Tabela 4.1 - Dados Analíticos de Determinações Rb/Sr em Rocha Total de Granitos da Região de Itinga-Araçuaí, MG	71

Tabela 4.2 - Dados Analíticos de Determinações Rb/Sr em Rocha Total, de Xistos do Grupo Macaúbas, MG	72
Tabela 4.3 - Dados Analíticos de Determinações K-Ar em Micas dos Pegmatitos	77
Tabela 5.1 - Teores de Lítio em Granitos e Concentrações de Biotita	84
Tabela 5.2 - Teores de K, Rb e Cs nos Feldspatos Potássicos dos Pegmatitos da Região Itinga-Araçuaí	91

ANEXOS	104
--------	-----

MAPAS DE ALGUNS DOS PEGMATITOS COMPLEXOS

FIGURAS

Convenções Utilizadas nos Mapas dos Pegmatitos

Figura A.1 - Mapa do Pegmatito da "Lavra das Tesouras"

Figura A.2 - Mapa do Pegmatito da "Lavra do Maxixe"

Figura A.3 - Mapa do Pegmatito da "Lavra do Meio"

Figura A.4 - Mapa dos Pegmatitos da Lavra "Cachoeira"

Figura A.5 - Mapa do Pegmatito da "Lavra do Urubu"

FOTOGRAFIAS

Foto A.1 - Vista parcial da lavra do "Maxixe"

Foto A.2 - Vista frontal de um dos corpos da lavra da "Cachoeira"

Foto A.3 - Vista parcial da lavra do "Urubu"

RESUMO

Na região dos municípios de Itinga e Araçuaí, no mêdio Jequitinhonha, Nordeste de Minas Gerais, foram estudados mais de uma centena de pegmatitos distribuídos em uma área de aproximadamente 800 Km². Trata-se de um distrito que contém de pósitos de cassiterita e minerais de Lítio, estes de maior importância econômica, além de quantidades subordinadas de tantalita-columbita, bem como pedras semi-preciosas.

Regionalmente predominam quartzo-mica xistos, localmente ricos em cordierita, com orientação geral NE-SW com mergulhos para NW. Esses xistos, atribuídos ao Grupo Macaúbas, foram intrudidos por plutons de composição granítica. Datações geocronológicas, efetuadas pelo método Rb-Sr, indicaram idades em torno de 650 milhões de anos para os xistos e 520 milhões de anos para os granitos. Muscovitas de dois pegmatitos foram datadas pelo método K-Ar, obtendo-se idades de 467 $\pm$ 18 e 490 $\pm$ 12 milhões de anos.

Os pegmatitos são classificados em simples e complexos, com base em critérios mineralógicos e estruturais. Os pegmatitos simples são constituídos de feldspato (microclíneo), quartzo e muscovita; acessoriamente encontra-se berilo e turmalina (afrisita). Nos pegmatitos complexos além dos minerais dos pegmatitos simples, há uma notável associação mineralógica acessória, na qual se destacam os minérios de Lítio (petalita, espodumênio, lepidolita e ambligonita), de Césio (polucita), cassiterita, tantalita-columbita, além de uma grande variedade de turmalinas. Os pegmatitos do tipo complexo concentram, preferencialmente, uma das formas mineralógicas do Lítio, tais como: pegmatitos com petalita, pegmatitos com espodumênio, pegmatitos com lepidolita e pegmatitos com polucita-espodumênio.

Os pegmatitos simples afloram com formas tabulares, frequentemente exibindo um zoneamento textural interno devido o au

mento da granulação que cresce da borda para o centro. Nos com
plexos, as formas mais comuns se aproximam do tipo lenticular,
mostrando internamente distinto zoneamento textural e mineralôgi
co. Os pegmatitos com espodumênio, que se apresentam com formas
tabulares, exibem estrutura interna praticamente homogênea.

Os pegmatitos do tipo simples estão distribuídos em
toda a área, preferencialmente nas bordas dos maciços graníticos,
bem como nos xistos. Os tipos complexos estão encaixados nos xis
tos e mostram arranjo zonal; os pegmatitos com petalita estão
mais próximos dos maciços de granito e, mais distanciados estão
os portadores de lepidolita e exibem o maior grau de complexida
de estrutural e mineralógica.

A orientação dos pegmatitos é discordante em relação
aos xistos encaixantes, tendo-se alojado, por um processo de in
trusão, dentro de espaços abertos naquelas rochas.

Geneticamente os pegmatitos estão relacionados com os
granitos da região que apresentam elevados teores de Lítio, Cê
sio e Berílio quando comparados com granitos normais da crosta.
Análises das relações Rb/K e Cs/K em feldspatos potássicos dos
diferentes pegmatitos, mostraram um progressivo aumento destas
relações, sendo os maiores valores encontrados nos feldspatos
dos pegmatitos mais complexos.

Conclue-se que os pegmatitos foram formados, nos pri
meiros estágios, através de sucessivas cristalizações de fra
ções residuais do magma granítico, com progressivo enriquecimen
to em Lítio e, nos estágios mais tardios, através de processos
metassomáticos, responsáveis pela formação dos pegmatitos mais
complexos.

CAPÍTULO I

1 - INTRODUÇÃO

1.1 - CARACTERÍSTICAS DA ÁREA ESTUDADA

1.1.1 - Localização, Dimensões e Acesso

Este trabalho foi desenvolvido na região do médio Jequitinhonha, compreendendo parte dos municípios de Araçuaí e Itinga, nordeste do Estado de Minas Gerais.

A área pesquisada é de aproximadamente, 1.800 km^2 , limitada pelas coordenadas geográficas $16^{\circ} 35'$ a $17^{\circ} 00'$ de latitude Sul e $41^{\circ} 45'$ a $42^{\circ} 10'$ de longitude Oeste (Figura 1.1).

As pesquisas concentraram-se principalmente ao longo dos vales do ribeirão Piauí, ribeirão Genipapo e córrego das Teouras, por ser a região de maior ocorrência de pegmatitos, principal objeto de estudo neste trabalho (Figura 1.2).

Trata-se de um distrito contido na Província Pegmatítica Oriental, conforme definido por PAIVA (1946), distrito este que responde pela maior parte da produção brasileira de minerais de Lítio (espodumênio, petalita, ambligonita e lepidolita). A cassiterita já ocupou posição destacada na produção mineral da região, mas hoje tem importância reduzida.

Os pegmatitos estudados estão concentrados numa faixa de aproximadamente 40 km de comprimento e 15 km de largura, com direção geral N-S. O distrito, deve ter extensão bem maior, prolongando-se para Noroeste, pois são conhecidos pegmatitos litíferos nos municípios de Salinas e Coronel Murta.

A região dista da cidade de São Paulo cerca de 1.300 km

FIG.1.1 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO

FIG.1.2 - LOCALIZAÇÃO DAS ÁREAS DE CONCEN -
TRAÇÃO DAS PESQUISAS.

e o acesso, por via terrestre, pode ser feito através da BR-116 onde, na altura do km 847, toma-se a estrada não pavimentada que segue para Oeste, em direção à cidade de Araçuaí, margeando o rio Jequitinhonha pelo lado direito. Nesta estrada, cerca de 45 km da BR-116, cruza-se o ribeirão Piauí.

Outra alternativa de acesso é a via de Diamantina, MG, passando pela cidade de Couto Magalhães e atravessando parte do grande "chapadão", localizado a Leste da Cordilheira do Espinhaço. Por este caminho atinge-se as cidades de Virgem da Lapa, Araçuaí, até o km 847 da BR-116. Esta alternativa apresenta o inconveniente de tráfego em estrada não pavimentada, numa extensão de aproximadamente 350 km.

A cidade de Araçuaí dispõe de aeroporto adequado a aeronaves de pequeno a médio porte.

1.1.2 - Geomorfologia, Rede Hidrográfica, Clima e Vegetação

No geral o relevo é acidentado, apresentando serras pouco elevadas e chapadas, com notável correspondência entre os elementos geomorfológicos que compõem a paisagem regional e a litologia subjacente.

Os níveis hipsométricos mais elevados encontram-se nas chapadas, constituídas de depósitos sedimentares, atribuídos ao Terciário por HARTT (1870), e que se ressaltam pela situação altimétrica, feição plana e extensa (Foto 1.1).

Os níveis de menores altitudes, da ordem de 250 metros, localizam-se nas baixadas formadas pelos depósitos aluvionares recentes do rio Jequitinhonha. As diferenças de cota entre as chapadas e as planícies aluvionares são medidas em algumas centenas de metros.

Pequenas serras e morrotes, com altitudes compreendidas entre os dois níveis citados, foram esculpidos em xistos e

Foto 1.1 - Vista da chapada do Piauí. Os xistos ocupam o relevo mais baixo e suavemente ondulado.

Foto 1.2 - O rio Jequitinhonha e sua planície aluvionar e no fundo um maciço de granito.

granitos. Estes apresentam maior destaque, com suas formas arredondadas características e de fácil reconhecimento, mesmo à distância (Foto 1.2). Os terrenos dos xistos foram mais rebaixados pela erosão apresentando relevo suavemente ondulado.

Toda a paisagem geomorfológica atual é resultante do trabalho erosivo do rio Jequitinhonha e seus afluentes. Estes cursos d'água foram os prospectores naturais que expuseram o embasamento de xistos e granitos, como também os pegmatitos ali encaixados.

O solo formado a partir dos xistos é em geral argilo-arenoso, de cor avermelhada, enquanto que o dos granitos é predominantemente arenoso, de cor cinza amarelada clara. A espessura média do manto de intemperismo é de cinco metros e raramente ultrapassa dez metros.

A preservação dos minerais de Lítio foi possível graças à ação relativamente reduzida dos agentes do intemperismo químico, o que não se deu no distrito pegmatítico de São João Del Rey, no Sul de Minas Gerais, onde a zona de intemperismo atinge dezenas de metros de profundidade (FRANCESCONI, 1972).

Freqüentemente observa-se na parte inferior da cobertura de solo, um nível de cascalho de espessura variável (desde centímetros até mais de 1 m) que, localmente, apresenta concentrações de cassiterita economicamente exploráveis. A espessura variável e o aspecto ondulado destes níveis de cascalho, sugerem preenchimento de pequenas depressões no paleorelevo.

A rede hidrográfica da região é canalizada para o rio Jequitinhonha, que recebe as águas do rio Araçuaí, na localidade denominada Itira, situada a Oeste da área pesquisada. A chapada do Piauí serve de divisor de águas entre o ribeirão Piauí, que corre diretamente para o Jequitinhonha e o ribeirão Calhauzinho, que desagua no rio Araçuaí, em cuja confluência situa-se a cidade de Araçuaí.

Na região encontram-se vários pequenos córregos de cur

sos intermitentes, entre os quais citam-se: o corrêgo da Água Branca, afluente do ribeirão Piauí pelo lado direito; os córregos Quatís, Barriguda, Taquaral e Teixeira que fluem diretamente para o Jequitinhonha pelo lado direito. Pela margem esquerda, o rio Jequitinhonha recebe as águas do ribeirão Genipapo, ribeirão Santana e córrego Angicos. Dentre os cursos d'água de segunda ordem, apenas o ribeirão Piauí apresenta dimensões consideráveis, mantendo fluxo mesmo durante os períodos de longa estiagem.

A configuração geral da rede de drenagem segue o padrão do tipo dendrítico mas, localmente, observam-se trechos onde as direções dos cursos d'água estão controladas por elementos estruturais da rocha subjacente.

O clima regional apresenta duas estações bem definidas caracterizadas por chuvas e seca. A primeira ocorre nos meses de novembro até março e, no resto do ano, as precipitações são esparsas, com prolongados períodos de estiagem. A temperatura média compensada é de 23°C e a precipitação média anual de 806mm (IBGE, 1958).

A região está situada na faixa de transição entre os domínios morfoclimáticos tipo Cerrado e tipo Caatinga (AB'SABER, 1971).

A vegetação mostra tipos bem distintos e sua distribuição parece estar controlada não só pela altitude como também pela disponibilidade de água. Sobre as chapadas predomina o tipo arbustivo associado a uma extensa cobertura de gramíneas, característica da vegetação encontrada na região dos Cerrados. Acompanhando as margens dos cursos d'água desenvolve-se o tipo floresta galeria, com árvores de médio a grande porte, mantendo o verde das folhas durante o ano todo. No declive dos vales a vegetação é constituída por um emaranhado de arbustos, frequentemente espinhosos, não faltando representantes da família das cactáceas, como o mandacaré. Nos períodos de estiagem esta vegetação fica reduzida a galhos secos assumindo uma coloração parda-centa, com aspecto muito semelhante à dominante nas Caatingas do

Nordeste Brasileiro.

A derrubada e queima da vegetação, praticada há séculos, certamente foi um importante fator na degeneração da flora regional.

1.2 - TRABALHOS GEOLÓGICOS E MINEIROS ANTERIORES

Desde o século XVIII explorava-se crisoberilo na região de Araçuaí, antiga Calhau, onde a gema era chamada pelos garimpeiros de "crisólita" (LEONARDOS, 1945); sendo também garimpados topázios e águas marinhas. Aparentemente, foram essas pedras semi-preciosas que levaram SPIX & MARTIUS, em 1818, até às cabeceiras dos ribeirões Piauí e Calhauzinho para encontrarem a rocha matriz. Apesar das poucas evidências obtidas, aqueles pesquisadores concluíram que, "há muita possibilidade, devido a todas as condições do local, de que essas belas pedras se originem nos filões de quartzo do granito". Das nascentes do ribeirão Calhauzinho puderam descrever "um granito sem camadas, esbranquiçado, de granulação grossa, que contém pouca mica branca, porém muita turmalina preta" e observaram que "não raro alterna-se o granito com um gnaiss de elementos constituintes da mesma espécie".

HARTT, em 1866, realizando estudos geológicos na Província de Minas Gerais, atingiu o rio Jequitinhonha através do Araçuaí. Na região do ribeirão Calhauzinho descreveu a presença de xistos, que na margem direita do rio Araçuaí "são silicosos de grã fina tendo estrutura laminar bem desenvolvida". Descendo o Araçuaí, e pelo Jequitinhonha até vários quilômetros abaixo da foz do ribeirão Piauí, observou a presença constante de micaxistos. "No Arraial de Itinga os micaxistos ainda se mostram com uma direção N45E, mergulho vertical e são atravessados por veios de granito". Abaixo de Itinga o pesquisador observou que a rocha dominante passa a ser "uma variedade compacta de gnaiss".

HARTT também procurou explicar a origem dos depósitos sedimentares que formam as atuais chapadas, sugerindo que, "durante o Terciário o planalto do Brasil foi tão submergido que as águas levantaram-se a uma altura de mais de 3.000 pés acima do seu presente nível e, nas bacias do Jequitinhonha e Pardo, uma grande espessura de argilas mais ou menos arenosas, arenitos etc... foi depositada, enchendo o vale em alguns lugares a uma altura de 1.000 pés, convertendo-o em uma imensa planície, cujo nível acima do nível do mar deve ter em média 3.000 pés".

Em 1882, COSTA SENA realizou viagens de estudos nas regiões Norte e Nordeste da Província de Minas Gerais, reunindo informações sobre a Mineralogia e Geologia das bacias do Araguaí e Jequitinhonha. No divisor de águas entre o rio Araguaí e o ribeirão Piauí, o pesquisador descreveu "gneiss cortados por veios de pegmatita e quartzo", e nas areias e cascalhos dos córregos, observou a presença de andaluzita, cimophana (crisoberilo) e trifana (espodumênio) com arestas vivas. No ribeirão Piauí, estes minerais tornam-se "tão rolados que não conservam mais nenhum traço de cristallização", concluindo que a jazida primária destes minerais estaria situada naquele local.

MORAES (1932) definindo a área ocupada pela "Formação" Macaúbas, no Norte de Minas Gerais, incluiu rochas do médio Jequitinhonha dentro desta "Formação", que constitui-se "principalmente de phyllonitos conglomeráticos com algumas camadas associadas de quartzitos e raras intercalações de calcáreo". Destacou que "as camadas conglomeráticas desta formação constituem o melhor critério para a sua identificação no campo". Segundo o mesmo autor, as rochas da "Formação" Macaúbas são polimetamórficas, sujeitas a meso e epi-metamorfismo, achando-se em discordância sobre a "Série" Itacolomi e estratigraficamente abaixo da "Série" Bambuí. O autor também defende a origem glacial, pelo menos para parte dessas rochas.

ALMEIDA *et al.* (1976) definiram a faixa de dobramentos Araguaí, que se desenvolveu no Ciclo Brasileiro, em condi

ções miogeossinclinais, compreendendo as rochas do Grupo Macaúbas.

Como já citado, a região é muito conhecida pelas ocorrências de preciosidades mineralógicas, tais como: berilos, crisoberilo, turmalinas, espodumênio (FERRAZ, 1928), granada, andaluzita (LEONARDOS, 1936), topázio (SILVA, 1939; COUTINHO, 1945), childrenita, eosforita, roscherita, montgomeryta (CASSEDANNE, 1971).

Desde o século XVIII até os dias atuais, o trabalho de garimpagem tem sido uma atividade constante na região, dirigida principalmente para a obtenção de pedras semi-preciosas. Hoje, as mais abundantes são as turmalinas e, subordinadamente, topázio e água-marinha; o crisoberilo é muito raro. O garimpeiro também extrai outros minerais disponíveis nos pegmatitos da região tais como, minerais de Lítio, berilo, cassiterita e tantalita-columbita. Ultimamente, para atender a demanda das indústrias de cerâmica e vidro, tem havido grande incremento na extração de feldspato.

Para fins industriais, o berilo foi o primeiro mineral a ser explorado na região do município de Salinas, por volta de 1948. Essa atividade logo se estendeu até a região dos vales do Piauí e Genipapo.

No ano de 1950, o fazendeiro Avelar Pereira, que explorava berilo na lavra do "Genipapo", encontrou no local denominado Fumal, à direita do médio Piauí, um material escuro e muito pesado, que mandado analisar pelo Sr. Khalil Afgouni constatou que se tratava de cassiterita. Na mesma época soube-se também da existência de amblygonita em alguns pegmatitos do vale do Piauí.

Estes minerais interessaram as Companhias Estanífera do Brasil e Produco (esta uma subsidiária da ORQUIMA) que se instalaram na região por volta de 1952, iniciando-se então trabalhos de pesquisa e exploração em escala industrial. Naquela época os corpos de pegmatitos mais importantes eram: a lavra do "Fumal", a lavra do "Urubu" e a lavra "Generosa", sendo as duas pri

meiras produtoras de cassiterita e a última de ambligonita.

Em 1957, GLYCON DE PAIVA identificou a lepidolita nas lavras do "Urubu" e "Generosa", sendo as primeiras toneladas deste minério exportadas para o Japão em 1959.

O espodumênio já era conhecido dos garimpeiros de longa data, que o apelidavam pelos nomes de "cambalaxo" ou "crisólita podre", este último em alusão a sua semelhança com o crisóberilo. Somente nos fins da década de 60, em decorrência das necessidades do mercado nacional, teve início a exploração do espodumênio na lavra da "Cachoeira".

A petalita, tão abundante na região, era denominada pelos garimpeiros de "escória branca" e muito confundida com o feldspato. Sua identificação correta deu-se nos fins dos anos 60, logo entrando em produção para fins de exportação.

A Companhia Produco retirou-se da região no ano de 1958 enquanto que a Companhia Estanífera do Brasil manteve suas atividades até 1972, sendo sucedida pela Companhia Arqueana de Minérios e Metais Ltda., que detém os direitos de lavra e pesquisa na maior parte das áreas que compreendem os vales do ribeirão Piauí, ribeirão Genipapo e córrego das Tesouras. Esta Companhia possui hoje mais de vinte corpos de pegmatito produzindo petalita, espodumênio, ambligonita, lepidolita, berilo, cassiterita e quantidades reduzidas de tantalita-columbita, empregando cerca de uma centena de trabalhadores. As lavras são semi-mecanizadas e algumas delas têm desenvolvimento subterrâneo.

1.3 - METODOLOGIA DE TRABALHO

Os trabalhos de campo foram conduzidos em dois níveis de observação. O primeiro compreendeu o levantamento geológico regional, registrando-se os tipos litológicos e suas relações, estruturas, geomorfologia, etc., elementos estes necessários pa

ra a elaboração de uma base geológica, apoiando-se em fotografias aéreas na escala 1:40.000. Os resultados deste levantamento foram sintetizados em forma cartográfica na escala 1:80.000 (Figuras 2.1 e 2.2).

O outro nível de trabalho constou de levantamentos e estudos detalhados de 121 corpos de pegmatitos, que foram mapeados com auxílio de teodolito, bússola e trena. Esses trabalhos tiveram o objetivo de estabelecer os elementos geométricos dos pegmatitos, suas relações com as rochas encaixantes, mineralogia principal e acessória, texturas e zoneamento interno. Dentre os corpos estudados selecionamos alguns representativos, que são apresentados, em forma cartográfica, no Anexo I. Os trabalhos de campo foram iniciados em setembro de 1974 e concluídos em outubro de 1976, totalizando 146 dias.

Os trabalhos de laboratório consistiram de análises químicas e mineralógicas, tais como:

a) estudos petrográficos em seções delgadas de rochas e minerais com vistas a identificação das fases minerais presentes, texturas e suas relações;

b) análises químicas de rochas e minerais, efetuadas através de fluorescência de Raios-X e absorção atômica. Todas as amostras analisadas foram previamente britadas, quarteadas e pulverizadas até a granulação inferior a 200 "mesh". Para as análises de fluorescência de Raios-X foram usados os padrões internos: USGS-W.L (diabásio), USGS-GSP-1 (granodiorito), CRPG-Mica-Fe (biotita) e Al_2O_3 (padrão branco). As amostras analisadas por absorção atômica foram atacadas por fluorização, usando-se mistura de ácido fluorídrico, ácido perclórico e ácido nítrico;

c) análises mineralógicas por difração de Raios-X, para melhor identificação de alguns minerais;

d) datações geocronológicas dos xistos, granitos e mi

cas dos pegmatitos. Os dois primeiros foram analisados em rocha total através do método Rb-Sr, enquanto que as micas foram data das pelo método K-Ar.

1.4 - OBJETIVOS

Desde a fase inicial dos trabalhos de campo, procurou-se obter elementos que permitissem situar os pegmatitos dentro da evolução geológica regional. Com o mesmo objetivo buscou-se apoio em dados químicos, mineralógicos e datações geocronológicas.

Os levantamentos detalhados das feições geométricas, mineralógicas, químicas e texturais dos pegmatitos, bem como a distribuição espacial dos muitos corpos estudados, permitiram o estabelecimento de uma classificação e um esquema evolutivo para os pegmatitos.

Assim, as pesquisas foram dirigidas com o objetivo de estabelecer a gênese e evolução dos pegmatitos litiníferos da região de Itinga-Araçuaí, MG.

CAPÍTULO II

2 - GEOLOGIA

Xistos e granitos constituem a litologia predominante na região estudada. No Terciário, essas rochas foram cobertas por sedimentos de natureza continental, que ocuparam toda a região da bacia do Médio Jequitinhonha (HARTT, 1870).

No estabelecimento da atual rede de drenagem o relevo foi esculpido, restando, em forma de chapadas, testemunhos dos sedimentos terciários. O processo erosivo possibilitou, novamente, a exposição dos xistos, granitos e pegmatitos.

As Figuras 2.1 e 2.2 mostram a distribuição das unidades litológicas aqui referidas. De modo geral, os contatos entre essas unidades podem ser estabelecidos com relativa precisão, quer por observações diretas, quer por indicações fornecidas pela geomorfologia, características dos solos, etc.

2.1 - OS XISTOS

Afloram principalmente nas regiões rebaixadas, situação que decorre da sua menor resistência à ação dos agentes do intemperismo e erosão.

Apresentam composição bastante simples e relativamente homogênea, constituídos essencialmente de quartzo, biotita e sericita (muscovita) e, acessoriamente, cordierita, granada e andaluzita. Muitas vezes a quantidade de quartzo é tão elevada que o termo quartzo-xistos seria mais apropriado para designar essas rochas.

Macroscopicamente a granulação dos xistos é fina, com

PERFIL A

NOTAS
1 - AS CITAÇÕES A ESQ. E A DIR., INDICAM O LADO DA ESTRADA DE QUEM SE DIRIGE DE S. PAULO À CAMPINAS.

RECONHECIMENTO RADIOGEOLÓGICO DA REGIÃO DE PERUS (SP)			
PERFIL RADIOGEOLÓGICO	A	ANEXO 5	Nº DO DESENHO
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO	PAULINO E. COELHO	ESCALA INDICADA	
DESENHO DE REFERÊNCIA	DATA	NÚMERO	
CONVENÇÕES E NOTAS	78	ANEXO 4

LEGENDA

- COBERTURA SEDIMENTAR
- GRANITO
- XISTO
- PEGMATITO Com Petalita
- Com Espodumenio
- FOLIAÇÃO
- CONTATO LITOLÓGICO VERIFICADO
- CONTATO LITOLÓGICO INFERIDO
- FRATURAS E FALHAS
- DRENAGEM

ESCALA

FIG. 2.2 - MAPA GEOLÓGICO DA REGIÃO DO CÓRREGO DAS TESOURAS

textura quase sempre homogênea, localmente com alternância de leitões milimétricos, diferenciados pela maior concentração de quartzo ou biotita (Foto 2.1). Esta diferenciação confere à rocha uma estrutura laminar, às vezes com regularidade tal, que é possível acompanhar o prolongamento dos finos leitões, por muitos metros, sem interrupção. Este aspecto é relativamente comum nos xistos que ocorrem no vale do córrego das Tesouras.

A cordierita ocorre sob a forma de nódulos ovalóides, com dimensões que variam desde milímetros até alguns centímetros (Foto 2.2). Esses nódulos tendem a formar concentrações locais, para as quais a classificação mais apropriada seria de cordierita-xistos. Em lâmina delgada, observa-se que esses blastos de cordierita possuem contornos irregulares e cresceram poiquiloblasticamente englobando grãos de quartzo e mica (Foto 2.3). É possível que o aspecto macroscópico dos xistos ricos em porfiroblastos de cordierita (Foto 2.2), leve a confundir essas rochas com metaconglomerados.

Granada e andaluzita são minerais escassos nos xistos e ocorrem também em forma de blastos, que englobam grãos de quartzo e mica (Fotos 2.4 e 2.5).

Dentro dos xistos são encontradas lentes de anfibolito concordantes com a orientação geral e com espessuras que variam desde centímetros até alguns metros. São rochas de granulação média, constituídas essencialmente de quartzo e hornblenda e, em secções delgadas, mostram sinais de intensa deformação (Foto 2.6).

A foliação dos xistos tem orientação geral NE-SW com mergulhos para NW. Localmente, desenvolve-se uma segunda foliação através de planos de clivagem, ao longo dos quais encontra-se biotita recristalizada. São planos de cisalhamento, estreitamente espaçados, que induzem a transposição da foliação anterior (Foto 2.7).

No córrego das Tesouras, bem como para Leste da cidade de Araçuaí o mergulho da foliação dos xistos muda para SE, fato

Foto 2.1 - Xisto com estrutura laminar devido a alternância de leitos mais ricos em quartzo ou biotita.

Foto 2.2 - Porfiroblastos de cordierita desenvolvidos dentro dos xistos.

Foto 2.3 - Lâmina delgada mostrando um porfiroblasto de cordierita. Observe-se os contornos irregulares e a grande quantidade de inclusões de quartzo e mica (aumento 17 X, nicois cruzados).

Foto 2.4 - Granada crescendo poiquiloblasticamente dentro dos xistos (aumento 20 X, nicois paralelos).

Foto 2.5 - Grão de andaluzita que cresceu dentro dos xistos englobando quartzo e mica (aumento 44 X, nícois cruzados).

Foto 2.6 - Lâmina delgada de anfibolito mostrando blenda e quartzo. Observe-se a textura clástica (aumento 17 X, nícois cruzados).

Foto 2.7 - Desenvolvimento de foliação de clivagem nos xistos, induzindo a transposição da foliação anterior e à formação de dobras de arrasto.

já observado por COSTA SENA (1883), que sugeriu a existência de uma linha sinclinal nas vizinhanças do córrego Calhauzinho.

A associação mineral encontrada nos xistos da região estudada, indica que essas rochas foram metamorfizadas em condições da fácies anfibolito (WINKLER, 1967, p. 128).

Na Tabela 2.1 são apresentados dados analíticos da composição química dos xistos. Considerando-se a constituição mineralógica dessas rochas, pode-se inferir que as variações quantitativas referentes aos teores dos elementos analisados estão relacionadas, principalmente, às concentrações de mica (biotita e sericita). Onde a composição dos xistos foi favorável, quanto a disponibilidade de Magnésio, houve condições para o desenvolvimento de cordierita.

2.2 - OS GRANITOS

Na região do ribeirão Piauí, os granitos ocorrem em forma de maciços que balizam o vale. Ocupam toda a parte Norte da área mapeada, prolongando-se para Leste, bordejando o rio Jequitinhonha até as proximidades da cidade de Itinga, onde se unem

TABELA 2.1 - DADOS ANALÍTICOS DE COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS XISTOS (ROCHA TOTAL)*

AMOSTRA	K ₂ O %	CaO %	Al ₂ O ₃ %	MgO %	Li ppm	Be ppm	Cs ppm	Rb ppm	Sr ppm	Sn ppm	Nb ppm	Pb ppm	Zn ppm	Cu ppm
JH/25	2,40	0,92	9,92	1,57	30	1,5	8	82	90	<20	20	18	62	20
JH/23B	3,78	0,76	14,45	2,80	40	2	4	128	71	<20	18	11	96	16
JH/23A	3,12	1,02	13,36	2,78	60	1	10	125	111	<20	25	15	100	20
JH/26B	3,70	1,20	12,28	2,53	45	1,5	15	133	89	<20	22	22	80	10
JH/20A	2,72	1,19	13,41	2,62	60	3	10	124	103	<20	26	6	93	9
JH/222	2,95	0,72	15,39	3,13	50	3,5	14	152	134	<20	20	24	110	8
JH/223	3,23	0,63	15,68	2,85	35	2	9	130	77	<20	22	25	103	20
JH/195	3,65	0,64	15,20	3,20	45	1,5	9	150	100	<20	26	20	110	10
JH/122D	3,40	0,70	14,35	2,97	70	<1	8	154	104	<20	24	28	85	7
JH/22	2,50	1,20	14,35	2,36	40	4	7	115	181	<20	25	28	89	11
Média	3,14	0,89	13,83	2,68	47	2	9,4	129	106	<20	22	19	92	13
JH/50C**	4,37	0,67	18,13	1,79	1600	12,5	180	794	35	30	37	9	320	15

* Al, Mg, Li, Be e Cs analisados através de absorção atômica, demais elementos através de fluorescência de Raios-X

** Xenólito de xisto no granito

com o prolongamento do maciço que está a direita do ribeirão Piauí. No trecho compreendido entre a foz do Piauí e a cidade de Itinga, os xistos formam uma espécie de grande cunha dentro dos granitos.

Entre o ribeirão Piauí e a cidade de Araçuaí aflora um maciço granítico, aparentemente isolado, na maior parte coberto pelos sedimentos que formam a chapada do Piauí.

Macroscopicamente são rochas que tem o aspecto típico de granito, constituídas de feldspatos, quartzo e mica. De modo geral, a textura varia desde o tipo equigranular até o sub-porfirítico.

Nas partes mais internas dos maciços são comuns os fenócristas de microclina, englobando grãos de biotita, quartzo e plagioclásio (Fotos 2.8 e 2.9). Nas partes periféricas, os maciços de granito apresentam uma textura predominantemente equigranular com granulação mais fina que aquela das partes interiores.

Os granitos constituem-se principalmente de microclina, oligoclásio, quartzo, biotita, muscovita e, acessoriamente, em contra-se hornblenda, apatita e zircão. Dentro dos maciços a distribuição desses minerais se faz de modo variável. Avaliações feitas ao microscópio indicaram que a microclina varia de 20-35% e o oligoclásio entre 15-25% do total dos minerais da rocha.

Biotita e muscovita também apresentam distribuições variadas. Amostras coletadas nas partes mais internas dos maciços estão desprovidas de muscovita, e nestas amostras, a biotita constitui 5-10% da rocha. A muscovita se faz presente nas bordas dos maciços, em proporções que podem até suplantar as da biotita.

Em algumas lâminas delgadas dos granitos notam-se sinais de deformação nos minerais, com o desenvolvimento de uma incipiente textura cataclástica (Foto 2.10).

Também afloram alguns diques de granito que partem dos maciços e cortam discordantemente os xistos. São corpos com vá

Foto 2.8 - Granito com fenocristal idiomórfico de microclina, com inclusões de biotita visíveis macroscopicamente.

Foto 2.9 - Lâmina delgada mostrando um fenocristal de microclina no granito. Observe-se as inclusões de quartzo, biotita e plagioclásio. (aumento 20 X, nicóis cruzados).

rios metros de espessura, que podem ser facilmente acompanhados por algumas centenas de metros, pois estão levemente ressaltados na topografia, formando uma espécie de muro natural devido aos processos de erosão diferencial.

Além dos diques, encontram-se corpos graníticos de forma irregular, ocorrendo na borda dos maciços ou mesmo afastados destes. São corpos com dimensões aflorantes de dezenas a centenas de metros, que mostram grandes variações texturais, desde um granito típico até as texturas pegmatíticas. Outra característica destes corpos é a grande abundância de turmalina (afrisita) que ocorre em forma de agulhas milimétricas até centimétricas. Tendo em vista as feições texturais e mineralógicas destes corpos, que bem podem representar uma situação intermediária entre os granitos e pegmatitos propriamente ditos, é consistente designá-los como granitos pegmatóides.

Examinando-se a Tabela 2.2, que apresenta dados analíticos da composição química dos granitos, notam-se consideráveis variações nos teores dos elementos químicos analisados, sendo tais oscilações compatíveis com as variações relativas de composição mineral, citadas anteriormente.

Comparando-se as análises químicas dos granitos da área estudada com a composição média dos granitos da crosta, coletada por TAYLOR (1964), verifica-se que aqueles tendem aos granitos do tipo alcalino, considerando-se as concentrações de Potássio e Cálcio. No que diz respeito aos elementos traços - particularmente Lítio, Césio e Berílio - os teores são consideravelmente superiores a média dos granitos, indicando tratar-se de uma feição geoquímica característica dos granitos desta área, aos quais estão associados pegmatitos portadores de minerais de Li, Cs e Be.

A Tabela 2.3 apresenta os valores da composição química de concentrados de biotita, separados das mesmas amostras dos granitos que foram analisados em rocha total. Esses resultados

TABELA 2.2 - DADOS ANALÍTICOS DE COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS GRANITOS (ROCHA TOTAL)*

AMOSTRA	K ₂ O %	CaO %	Al ₂ O ₃ %	MgO %	Li ppm	Be ppm	Cs ppm	Rb ppm	Sr ppm	Sn ppm	Nb ppm	Pb ppm	Zn ppm	Cu ppm
QUA/10	3,48	1,54	13,22	0,44	300	12	46	264	187	<20	53	32	50	8
JH/50A	4,47	0,69	17,80	0,39	400	35	58	408	57	<20	15	25	70	4
JH/57A	4,67	0,57	12,84	0,38	230	7	23	418	45	<20	20	40	75	5
JH/21B	3,19	1,66	11,76	0,51	65	6,5	10	206	171	<20	61	37	47	6
JH/58	4,78	0,67	12,75	0,35	200	11,5	30	353	48	<20	20	35	65	2
JH/64	4,10	0,62	13,97	0,10	290	25	15	174	18	<20	40	40	37	2
JH/21C	4,11	1,54	13,60	0,36	180	8	8	202	199	<20	42	44	36	7
JH/21E	4,46	1,68	15,48	0,38	195	14	12	235	204	<20	50	40	45	6
JH/21G	4,10	1,38	13,60	0,28	90	19	20	224	144	<20	78	50	42	3
Média	4,15	1,15	13,89	0,35	216	15	24	276	119	20	42	38	52	5
Valores Médios para Granitos (TAYLOR, 1964)														
	4,02	2,21	14,55	0,26	30	5	5	150	285	3	20	20	40	10

* Al, Mg, Li, Be e Cs analisados através de absorção atômica, demais elementos através de fluorescência de Raios-X

TABELA 2.3 - DADOS ANALÍTICOS DE COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE CONCENTRADOS DE BIOTITA DOS GRANITOS*

AMOSTRA	K ₂ O %	CaO %	Al ₂ O ₃ %	MgO %	Li ppm	Be ppm	Cs ppm	Rb ppm	Sr ppm	Sn ppm	Nb ppm	Pb ppm	Zn ppm	Cu ppm
JH/50A	7,55	0,10	19,36	3,89	6.500	9,5	650	2.300	6	73	135	15	904	6
JH/21D	7,30	0,66	13,60	5,70	2.000	3	560	1.270	20	60	375	25	458	8
JH/218D	4,71	0,14	16,00	2,32	2.700	25	700	1.230	13	180	400	12	575	26
JH/57A	7,00	0,13	n. a.	n.a.	n. a.	n.a.	n.a.	2.000	4	56	125	23	1.075	10
QUA/10	7,78	0,61	n. a.	n.a.	n. a.	n.a.	n.a.	1.370	11	74	240	17	445	13
JH/21B	7,10	0,55	n. a.	n.a.	n. a.	n.a.	n.a.	1.260	21	64	245	32	530	60
JH/21C	6,77	0,78	n. a.	n.a.	n. a.	n.a.	n.a.	1.060	24	57	270	29	470	20
JH/58	6,86	0,10	n. a.	n.a.	n. a.	n.a.	n.a.	1.800	2	54	110	15	1.070	18

n.a. = não analisado

* Al,Mg,Li,Be e Cs analisados através de absorção atômica, demais elementos através de fluorescência de Raios-X

indicam que grande parte dos elementos traços contidos nos granitos, estão associados à biotita.

2.3 - RELAÇÕES ENTRE XISTOS E GRANITOS

Examinando-se o mapa geológico (Figura 2.1) verifica-se a franca discordância entre a orientação geral dos xistos e a geometria dos maciços de granito. Os limites entre essas unidades litológicas se fazem através de contatos bruscos e os granitos tendem a formar corpos arredondados, com feições circulares bem marcantes em algumas de suas extremidades (Foto 2.11).

Nas bordas do maciço de granito, localizado à direita do ribeirão Piauí, encontram-se muitos xenólitos de xisto, com dimensões até decimétricas, distribuídos sem orientação preferencial (Foto 2.12).

Este conjunto de evidências indica que os granitos devem ser de origem magmática e intrusivos nos xistos.

Como indicado na Tabela 2.1, as análises químicas efetuadas em amostra do xenólito de xisto indicam valores consideravelmente maiores que a média dos xistos, principalmente quanto aos teores de Lítio, Berílio e Césio. Como já citado, estes elementos estão presentes nos granitos em concentrações bem acima daquelas verificadas na média dos granitos da crosta (Tabela 2.2).

As modificações geoquímicas observadas no xenólito de xisto seriam resultantes da ação dos fluidos da fusão magmática-enriquecidos em Li, Be, Rb, Cs, etc. - que embeberam os fragmentos de xisto.

As variações texturais observadas nos maciços graníticos são consideradas como resultado do processo de resfriamento diferencial do magma combinando-se com uma crescente atividade

Foto 2.10 - Lâmina delgada de granito mostrando sinais de deformação com o desenvolvimento de uma incipiente textura cataclástica (aumento 27 X, nícois cruzados).

Foto 2.11 - Visão parcial do maciço de granito, situado a direita do ribeirão Piauí, mostrando uma feição circular bem marcante. O relevo mais baixo é ocupado pelos xistos.

dos fluidos magmáticos que exerceriam grande influência na formação das fases graníticas pegmatóides. As texturas cataclásticas observadas nas lâminas delgadas dos granitos podem refletir tensões internas durante a consolidação do magma, ou esforços desenvolvidos durante a intrusão dessas rochas (BARTH, 1962, p.158-159).

Nas Figuras 2.3 e 2.4 estão, graficamente representadas, as relações K-Rb e Mg-Li, medidas nos xistos e granitos, conforme os dados das Tabelas 2.1 e 2.2. Pode-se observar nestas figuras que xistos e granitos mostram feições geoquímicas distintas com relação às concentrações e distribuições de Rubídio, Magnésio e Lítio.

As relações Rb-K e Li-Mg aumentam durante o processo de diferenciação das rochas ígneas e podem ser usadas como índices do grau de diferenciação (MASON, 1966, pp. 134-137).

É interessante observar a grande variação de Rubídio e Lítio nos granitos estudados, mostrando uma tendência a formar frações enriquecidas nestes elementos.

As datações geocronológicas obtidas nos xistos e granitos, corroboram as relações geológicas aqui propostas (vide Capítulo IV).

2.4 - COBERTURA SEDIMENTAR

Durante o Terciário, instalou-se uma ampla bacia na região do vale do Jequitinhonha, que foi preenchida por sedimentos continentais diversos (HARTT, 1870).

A chapada do Piauí é um dos remanescentes daquela bacia sendo constituída por sedimentos arenosos, com espessura de várias dezenas de metros (Foto 2.13). São sedimentos de granulação média a grossa, cimentados por uma matriz muito fina de cor cinza amarelada bem clara.

Fig. 2.3 - RELAÇÃO K-Rb NOS XISTOS E GRANITOS

Foto 2.12 - Xenólitos de xisto dentro do granito. Observe-se a irregularidade no tamanho e distribuição dos xenólitos.

Foto 2.13 - Vista parcial da chapada do Piauí, no vale do córrego das Tesouras, mostrando a cobertura sedimentar sobre os xistos.

Observações microscópicas revelaram que os grãos são predominantemente de quartzo com formas angulosas a pobremente arredondadas. Frequentemente distinguem-se grãos com vestígios de geminações de feldspato, além de escassos e pequenos cristais de turmalina.

CAPÍTULO III

3 - OS PEGMATITOS

O termo pegmatito comumente é usado em dois sentidos distintos, ora para designar o aspecto textural, ora para dar nome a um corpo de rocha. Outras vezes, para melhor indicar uma composição mineralógica, usam-se as denominações: pegmatito granítico, pegmatito granodiorítico, pegmatito sienítico, etc.

Neste trabalho o termo é empregado conforme definido por JAHNS (1955), ou seja, "rochas holocristalinas que apresentam, pelo menos em parte, uma granulação muito grosseira, tendo como maiores constituintes minerais aqueles encontrados tipicamente em rochas ígneas, mas com a característica de apresentarem extremas variações texturais, especialmente no que se refere ao tamanho dos "grãos". Os pegmatitos aqui estudados são do tipo granítico.

3.1 - CLASSIFICAÇÃO

As classificações propostas para os pegmatitos baseiam-se em critérios de forma, tamanho, relações com a rocha encaixante, composição química e mineralógica, textura, estrutura interna, gênese e modo de desenvolvimento ou combinações desses critérios (JAHNS, 1955).

LANDES (1933) fez a revisão dos conhecimentos, até então acumulados, sobre as origens dos pegmatitos e propôs uma classificação baseada principalmente na composição mineral. Este trabalho constitui uma referência obrigatória a todos que têm estudado o assunto e, desde então, aquela classificação vem sendo

amplamente utilizada. Segundo o referido autor, os pegmatitos são agrupados em: pegmatitos ácidos, pegmatitos intermediários e pegmatitos básicos, em analogia com as rochas ígneas de composição equivalente.

Cada um desses grupos subdivide-se em pegmatitos simples e pegmatitos complexos, dependendo de terem, ou não, sofrido substituições hidrotermais. Os pegmatitos complexos apresentam substituições hidrotermais e neles houve a deposição de minerais raros.

Atualmente, os termos simples e complexo são mais empregados com referência a mineralogia e textura interna dos pegmatitos (PARK, 1970).

JOHNSTON (1945) classificou os pegmatitos do nordeste brasileiro em homogêneos e heterogêneos. Os primeiros sendo corpos de textura uniforme e desprovidos de cristais com dimensões notáveis, enquanto os heterogêneos apresentam alto grau de diferenciação textural com zoneamento interno distinto, grandes cristais nas partes interiores e contêm minerais raros.

Os pegmatitos de vários distritos dos Estados Unidos foram classificados por CAMERON *et al.* (1949) em zonados e não zonados. Os pegmatitos zonados consistem de sucessivas camadas completas ou não, dispostas concêntricamente em relação a um núcleo interior. As camadas definem zonas que mostram seqüências de associações minerais bem definidas, que diferem entre si quanto a composição, textura ou ambas. As classificações de JOHNSTON & CAMERON são semelhantes, e estão baseadas em critérios de estrutura interna e mineralogia dos pegmatitos.

GEVERS (1937) classificou os pegmatitos de Namaqualand, África do Sul, em interiores, marginais e exteriores. Trata-se de uma classificação que combinou critérios referentes à mineralogia, estrutura interna e localização dos pegmatitos. Os termos da classificação indicam a posição dos pegmatitos em relação ao batólito granítico, ao qual estão associados, ou seja, se den

tro, na periferia ou fora do batólito. O tamanho e a importância econômica desses corpos aumenta de dentro para fora do batólito, tendo os pegmatitos exteriores sofrido intensos efeitos de alteração hidrotermal e concentrado a maior parte dos minerais economicamente importantes.

Classificações semelhantes a de GEVERS foram propostas por HEINRICH (1953) - a vários distritos pegmatíticos do mundo - e por VARLAMOFF (1960) para os distritos pegmatíticos da África central. Essas classificações enfatizam a zonalidade mostrada pela distribuição espacial dos diferentes tipos de pegmatitos.

A classificação proposta por FERSMAN (1931) está baseada em critérios de origem e modo de desenvolvimento. Segundo este autor, os pegmatitos são produtos da cristalização de uma fusão residual silicática, enriquecida em componentes voláteis (F, Cl, B, OH, CO₂ etc.), que foi destacada das massas magmáticas durante o processo de solidificação. A formação dos pegmatitos compreende duas etapas distintas, sendo a primeira de cristalização direta a partir da fusão silicática, seguindo-se a etapa de substituição parcial dos minerais já formados, pela ação dos componentes voláteis que, durante o resfriamento, tornam-se altamente enriquecidos na fusão residual.

As idéias de FERSMAN exerceram grande influência em vários pesquisadores dentre os quais pode-se citar, GINZBURG, VARLAMOFF e NEDUMOV. A Tabela 3.1 resume comparativamente, as classificações destes autores.

A classificação adotada neste trabalho está baseada, principalmente, nas associações minerais encontradas nos muitos pegmatitos que foram estudados. Esse critério foi assumido após a constatação da persistência de algumas características mineralógicas, que julgamos serem um reflexo das condições de formação, podendo-se utilizá-las como indicadoras do processo evolutivo dos pegmatitos aqui estudados.

Ainda, merece que se ressalte uma importante caracte

característica geoquímica dos pegmatitos da região, qual seja, a notável concentração de Lítio, encontrado em todas as formas minerais mais importantes deste elemento (petalita, espodumênio, lepidolita e amblygonita). São minerais formados sob condições mais ou menos distintas, tendo-se verificado que os diferentes pegmatitos apresentam um certo grau de especialização quanto a concentração dos minerais de Lítio, ou seja, pode-se distinguir pegmatitos portadores, preferencialmente, de petalita, de espodumênio ou de lepidolita.

Assim, os pegmatitos da região estudada são classificados em: pegmatitos simples e pegmatitos complexos.

3.2 - PEGMATITOS SIMPLES

São constituídos essencialmente de feldspato (50-70%), quartzo (20-35%) e muscovita (geralmente menos de 10%); eventualmente a biotita também está presente e, em alguns corpos, encontra-se intercrescimento gráfico de feldspato e quartzo. O microclínio é o feldspato predominante sobre o plagioclásio (oligoclásio) sendo que este restringe-se às partes laterais dos corpos. De modo geral, a granulação varia desde milimétrica a centimétrica havendo, entretanto, maior desenvolvimento dos cristais que ocupam as partes centrais dos corpos, onde atingem dimensões de até dezenas de centímetros. Os corpos simples podem apresentar notáveis variações texturais mostrando um significativo aumento no tamanho dos cristais da borda para o centro do corpo. Esta feição resulta em um zoneamento interno chegando mesmo à formação de um incipiente núcleo de quartzo (Foto 3.1).

Nos corpos simples, pode-se distinguir uma zona com espessura de alguns centímetros, localizada na região de contato com a encaixante, onde ocorre maior concentração de quartzo e muscovita com granulação milimétrica.

TABELA 3.1 - CLASSIFICAÇÕES COMPARATIVAS DE PEGMATITOS

	FASE	B	C	D	E	F	G	H		
	TEMPERATURA	800°C	700°C	600°C		500°C		400°C		
	TIPOS	1	2	3	4	5	6	7,8,9		
FERSMAN (1931)	NOME	PEGMATITOS COMUNS COM ALANITA E MONAZITA	PEGMATITOS COM ELEMENTOS DE TERRAS RARAS	PEGMATITOS COM MINERAIS DE BORO E FLUOR	PEGMATITOS COM MINERAIS DE FLUOR E BERILIO	PEGMATITOS COM MINERAIS DE SÓDIO E LÍTIO	PEGMATITOS COM FOSFATOS DE MANGANÊS	FASE PNEUMATOLÍTICA HIDROTHERMAL VEIOS COM W, Au, As		
	MINERAIS (PRINCIPAIS)	PLAGIOCLÁSIO, MICROCLINA, BIOTITA, QUARTZO, MAIS RARAMENTE TURMALINA NEGRA.	MICROCLINA, QUARTZO, BIOTITA, TURMALINA NEGRA, ÀS VÉZES MAGNETITA; PODE CONTER MUSCOVITA	MICROCLINA, QUARTZO, MUSCOVITA, TURMALINA NEGRA	MICROCLINA, QUARTZO, MUSCOVITA, BERILO. TURMALINA NEGRA MENOS ABUNDANTE QUE NO TIPO 3.	MICROCLINA, QUARTZO, MUSCOVITA, ALBITA (SUBSTITUINDO OS MINERAIS) ESPODUMÊNIO, LEPIDOLITA, TURMALINAS DE COR.	MICROCLINA, QUARTZO, MUSCOVITA, COM FOSFATOS DE FERRO-MANGANÊS E LÍTIO.	-MICROCLINA, MUSCOVITA, QUARTZO, ALBITA. - PLAGIOCLÁSIO, ALBITA, MUSCOVITA, QUARTZO, SULFETOS.		
GINSBURG (1960)	TIPOS	1	2	3	4	5	6	7	8	
	NOME	PEGMATITOS DE CRISTALIZAÇÃO PRIMÁRIA (SEM SUBSTITUIÇÃO)			TIPOS DE TRANSIÇÃO	SUBSTITUIÇÃO INTENSA POR ALBITA, LEPIDOLITA, ETC. COM ENRIQUECIMENTO PROGRESSIVO DE Li, Rb, Cs				
	CRISTALIZAÇÃO	I								
		Co								
		II	K							
	SUBSTITUIÇÃO	III	Li							
		IV	No							
		V	K							
		VI	K-Li							
	MINERAIS E ELEMENTOS CARACTERÍSTICOS	TERRAS RARAS								
MUSCOVITA										
			BERILO							
					CASSITERITA, TANTALITA - COLUMBITA					
					LÍTIO					
					CÉSIO					
VARLAMOFF CLASSIFICAÇÃO DOS PEGMATITOS DO CENTRO E OESTE DA ÁFRICA (1948-1971)	ESPÉCIES	I - PEGMATITOS COM BIOTITA			II - COM DUAS MICAS	III - PEGMATITOS COM MUSCOVITA			IV - VEIOS DE QUARTZO COM MUSCOVITA	
	TIPOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	MINERAIS CARACTERÍSTICOS	PEGMATITOS COM BIOTITA.	PEGMATITOS COM BIOTITA E TURMALINA, ESTRUTURAS GRÁFICAS DE QUARTZO E FELDSPATO.	PEGMATITOS COM MUSCOVITA TURMALINA E BIOTITA.	PEGMATITOS COM MUSCOVITA E TURMALINA.	PEGMATITOS COM MUSCOVITA.	PEGMATITOS ZONADOS FREQUENTEMENTE COM NÚCLEO DE QUARTZO. AMBLIGONITA, ESPODUMÊNIO, BERILO E ALGUMA CASSITERITA, TANTALITA COLUMBITA E MICROLITA.	PEGMATITOS FORTEMENTE ALBITIZADOS C/ ESPODUMÊNIO, MUSCOVITA (LEPIDOLITA) BERILO, CASSITERITA E TANTALITA-COLUMBITA.	VEIOS DE QUARTZO COM CRISTAIS DE MICROCLINA ALBITIZADOS, COM MUSCOVITA E CASSITERITA.	VEIOS DE QUARTZO; SCHEELITA, FERBERITA (CASSITERITA) PASSANDO A VEIOS DE QUARTZO COM MUSCOVITA, CASSITERITA (WOLFRAMITA)
NEDUMOV CLASSIFICAÇÃO DOS PEGMATITOS DA URSS (1964)	TIPOS	I			II	III	IV	V	VI	
	MINERAIS CARACTERÍSTICOS	VEIOS DE QUARTZO - PLAGIOCLÁSIO COM QUANTIDADES VARIÁVEIS DE MICROCLINA COM OU SEM BIOTITA TURMALINA.			VEIOS DE QUARTZO, PLAGIOCLÁSIO, MICROCLINA E BIOTITA, MUSCOVITA, TURMALINA.	VEIOS DE QUARTZO, MICROCLINA E PLAGIOCLÁSIO - ALBITA, MUSCOVITA E TURMALINA, BERILO E TANTALITA - NIOBATOS	VEIOS COM ALBITA, ESPODUMÊNIO - QUARTZO E PEGMATITOS COM ESPODUMÊNIO - ALBITA - MICROCLINA - QUARTZO, BERILO, MINERAIS DE Li, Cs, Ta-Nb, etc...	VEIOS COM ESPODUMÊNIO - ALBITA - QUARTZO E MICROCLINA, MUSCOVITA, CASSITERITA, TURMALINA, TANTALITA - NIOBATOS, BERILO E OUTROS MINERAIS.	ESSENCIALMENTE VEIOS DE ALBITA COM QUARTZO E TURMALINA.	
								-VEIOS DE QUARTZO COM MUSCOVITA OU TURMALINA COM CASSITERITA E BERILO. -VEIOS DE QUARTZO.		

SEGUNDO SCHNEIDERHÖHN (1961) E VARLAMOFF (1954 - 1972), MODIFICADO

Foto 3.1 - Pegmatito simples encaixado no granito. Note-se o zoneamento textural interno, mostrando grandes cristais de feldspato (microclíneo) e quartzo na zona central.

Foto 3.2 - Veios de pegmatitos simples encaixados no granito. Observe-se a relação entre os veios, indicando, pelo menos, duas fases de formação.

Acessoriamente, esses pegmatitos podem ser portadores de berilo e turmalina (afrisita) que aparecem em cristais bem formados com dimensões de milímetros até alguns centímetros. Qua se sempre a turmalina é o acessório mais abundante, podendo atingir concentrações medidas em valores percentuais em relação ao volume do corpo.

Numericamente, os pegmatitos do tipo simples são os mais abundantes, estando distribuídos em toda a área estudada, encaixados nos xistos e granitos. Ocorrem com maior frequência nas partes periféricas dos granitos, formando veios cruzados, interligados ou mesmo interpenetrados (Fotos 3.2 e 3.3). Estas fotos mostram que ocorreram, pelo menos, duas fases de formação de pegmatitos.

As formas assumidas pelos pegmatitos simples tendem sempre ao tipo tabular, com espessuras que variam desde centímetros até alguns metros. Os comprimentos geralmente são medidos em dezenas de metros podendo atingir até algumas centenas de metros.

3.3 - PEGMATITOS COMPLEXOS

Compreendem aqueles corpos que contêm quantidades apreciáveis de minerais acessórios, notadamente minerais de Lítio. Ocorrem sempre encaixados nos xistos em posição discordante com a orientação dessas rochas.

Os corpos complexos apresentam geralmente um zoneamento interno bem desenvolvido, podendo assumir formas tabulares porém, mais comumente, tendem, com maior ou menor aproximação, às formas lenticulares. Suas dimensões são medidas em até dezenas de metros na largura e centenas de metros no comprimento. A maior extensão foi verificada no pegmatito da lavra do "Meio" com aproximadamente 500 metros.

A concentração preferencial de alguns dos minerais de Lítio, em constante associação com outras espécies mineralógicas, bem como a persistência de algumas características texturais internas, justificam a seguinte classificação para os pegmatitos complexos da região estudada:

- a) Pegmatitos com microclíneo-quartzo-muscovita-petalita-(espodumênio)-(albita).
- b) Pegmatitos com microclina-quartzo-espodumênio-albita-muscovita.
- c) Pegmatitos com microclina-quartzo-albita-muscovita-lepidolita-ambligonita.
- d) Pegmatitos com microclina-quartzo-muscovita-polucita-espodumênio.

3.3.1 - Os Pegmatitos com Microclina-Quartzo-Muscovita-Petalita-(Espodumênio)-(Albita)

A maior característica mineralógica desses corpos é a presença de petalita, que geralmente ocorre em quantidades econômicas e localizada preferencialmente nas partes centrais dos corpos. Mostram um zoneamento interno distinto o qual, da borda para o centro, apresenta as seguintes unidades texturais e mineralógicas:

- a) zona da parede, com granulação milimétrica, constituída principalmente de quartzo e muscovita, tendo uma espessura máxima de 30 cm. Plagioclásio (oligoclásio) e microclíneo também ocorrem nesta zona, sendo melhor identificados através de observação microscópica;
- b) a zona anterior passa gradativamente a um pegmatito do tipo simples, com granulação centimétrica, constituído de feldspato (microclíneo), quartzo e muscovita. Esta zona tem al

guns metros de espessura e, a medida que se aproxima do centro do corpo, passa a conter cristais de microclíneo bem maiores, que se destacam no meio da massa de pegmatito do tipo simples;

c) a zona mais central é constituída principalmente de grandes cristais de microclíneo e petalita que podem atingir dimensões de até 1 metro. Nesta zona podem aparecer massas de quartzo.

A petalita concentra-se preferencialmente nas partes centrais dos corpos mas, veios e bolsões deste mineral podem estender-se pelas zonas laterais. Nos pegmatitos das lavras do "Maxixe" e "Tesouras" (vide Anexo I) há uma zona central bem definida, constituída quase exclusivamente de microclíneo e petalita, em proporções equivalentes. Já nos pegmatitos das lavras do "Meio" e "Chapadinha" veios e bolsões de petalita distribuem-se de maneira algo irregular, podendo ocorrer também nas zonas laterais, conquanto as maiores quantidades estejam localizadas nas partes centrais, sempre associadas ao feldspato (microclíneo).

As relações texturais observadas em muitas frentes de desmonte, indicam que a petalita está seccionando ou penetrando por entre os cristais de feldspato (Foto 3.4). Não há indícios de que a petalita tenha substituído um mineral anterior, mesmo quando observada em secções delgadas através de microscópio.

Em todos os corpos a petalita aparece em forma de massas de cor branca com um plano de clivagem bem desenvolvido. Na lavra do "Maxixe" pode-se encontrar petalita incolor, transparente, ou com tonalidades de amarelo.

Nos pegmatitos das lavras do "Maxixe", "Meio" e "Chapadinha" encontra-se espodumênio de cor verde clara, em cristais alongados, com vários decímetros de comprimento e sempre associados à zona de ocorrência da petalita. Comumente encontram-se massas de quartzo ao redor dos cristais de espodumênio.

As relações texturais observadas no local indicam que os cristais de espodumênio foram formados posteriormente, pois

Foto 3.3 - Pegmatito simples encaixado no granito. Observe-se as duas fases de injeção de pegmatito que estão superpostas.

Foto 3.4 - Veios e bolsões de petalita (branco), penetram entre os cristais de feldspato. A foto abrange uma área de aproximadamente 3 m², na lavra das "Tesouras".

estão cortando as massas de feldspato e petalita (Foto 3.5).

Acessoriamente, esses corpos contêm berilo de cor azul esverdeada, turmalinas (nas variedades afrisita, verde e azul escuro) e mais raramente, pequenas placas de tantalita-columbita. Nas lavras do "Maxixe" e "Genipapo" ocorreu uma fase de albitização, localizada na zona de feldspato e petalita, onde se encontram alguns bolsões de ambigonita. Essa albitização é de escala reduzida a moderada. Na lavra do "Genipapo" aparece arsenopirita e fosfatos de Lítio preenchendo fraturas e cavidades.

3.3.2 - Pegmatitos Com Microclíneo-Quartzo-Espodumênio-Albita- -Muscovita

Os pegmatitos classificados dentro desse grupo mostram persistência nas suas características mineralógicas, texturais e geométricas. Apresentam-se em forma de diques tabulares com espessuras medidas em metros e comprimentos que alcançam algumas centenas de metros.

Os corpos mais importantes estão localizados nas margens do ribeirão Piauí (Figura A.4), mas representantes deste grupo são também encontrados no vale do córrego das Tesouras e nas margens do rio Araçuaí, na Fazenda Bananal, entre as cidades de Araçuaí e Itira.

Ao longo de todos os corpos praticamente não ocorrem variações texturais, exceto nas bordas onde a granulação dos cristais é fina. A mineralogia principal constitui-se de microclíneo, quartzo, espodumênio, albita e muscovita. O espodumênio forma cerca de 20% dos corpos, microclíneo e albita cerca de 40-45%, com predominância do primeiro, enquanto que a muscovita constitui menos de 10%. Os cristais de feldspato e espodumênio podem atingir dimensões de até 1 metro mas o tamanho médio oscila entre 10-20 cm. Entre os vários corpos podem ocorrer varia

Mc - Microclíneo Pt - Petalita Sp - Espodumênio
Qz - Quartzo Mus - Muscovita

Foto 3.5 - Cristais de espodumênio que cortam as massas de petalita e microclíneo, na lavra do "Maxixe".

ções nos tamanhos médios dos cristais. O espodumênio ocorre em cristais alongados, às vezes tabulares, de cor verde clara.

As relações texturais observadas nas frentes de lavra indicam limites muito bem definidos entre os cristais de espodumênio e o resto do corpo. Frequentemente pode-se constatar que esses cristais estão cortando massas de microclíneo (Foto 3.6). É relativamente comum o intercrescimento de espodumênio e quartzo (Foto 3.7) e, algumas vezes, pequenos cristais de muscovita podem estar associados ao espodumênio.

Os pegmatitos desse grupo apresentam uma fase de albitização em escala moderada. A albita frequentemente substitui microclíneo e espodumênio (Foto 3.9), podendo, eventualmente, preencher fraturas nestes minerais (Foto 3.8).

Ambligonita e berilo são os acessórios mais comuns, sendo que este último se apresenta em cristais de cor branca com dimensões de vários centímetros. Quantidades menores de tantalita-columbita estão presentes em associação com a albita. Pequenos grãos de esfalerita e pirita podem ser encontrados nas bordas das encaixantes ou mesmo dentro do corpo de pegmatito.

3.3.3 - Pegmatitos Com Microclina-Albita-Quartzo-Lepidolita-Ambligonita

Na região, os melhores representantes deste grupo de pegmatitos são os corpos das lavras do "Urubu", "Generosa", "Alair" e "Baixão".

Constituem os corpos mais evoluídos dentro do processo pegmatítico. Neles são identificadas as quatro zonas classicamente descritas nos pegmatitos bem desenvolvidos, ou seja: zona da borda, zona da parede, zona intermediária e núcleo. O zoneamento interno é distinguido da borda para o centro, como segue:

Foto 3.6 - Cristais de espodumênio cortando o microclíneo na lavra da "Cachoeira".

Foto 3.7 - Intercrescimento de espodumênio e quartzo.

Foto 3.8 - Pequeno veio de albita preenchendo fratura no espodumênio.

Foto 3.9 - Lâmina delgada de um cristal de espodumênio (preto-cinza) parcialmente substituído pela albita.

a) na borda encontra-se uma zona constituída de quartzo e muscovita, com granulação predominantemente milimétrica, es pessura centimétrica e, bem no contato com o xisto encaixante, de senvolve-se uma intensa turmalinização (afrisita). Microscopicamente identificam-se grãos intersticiais de plagioclásio (oligoclásio) e microclina;

b) a zona anterior passa gradativamente para um pegmatito do tipo simples, com granulação centimétrica, contendo placas de muscovita em forma de "livros", com dimensões de até algumas dezenas de centímetros. A espessura desta zona é pouco superior a um metro;

c) segue-se a zona dos grandes cristais de feldspato (microclíneo) os quais, a medida que se aproximam do núcleo, cedem lugar a massas de albita;

d) nas partes centrais dos corpos encontram-se massas de quartzo, geralmente leitoso, constituindo o núcleo.

Esses pegmatitos apresentam elevado grau de albitização, desenvolvida principalmente dentro da zona dos feldspatos, que avançando a partir do núcleo de quartzo pode chegar até perto dos contatos, como acontece no pegmatito da lavra do "Urubu".

Ao redor do núcleo de quartzo encontram-se grandes mas sas de lepidolita intimamente associada a albita. Em posição semelhante também ocorrem bolsões de ambigonita.

Esses corpos são os que apresentam a mais diversificada associação mineralógica que está quase sempre ligada à albitização. Encontram-se berilos nas variedades azul, amarelo (heliodora), rósea (morganita) e incolor. Localmente, a rubelita forma grandes agregados, em forma de rosário, nas partes periféricas do núcleo de quartzo. São relativamente comuns as turmalinas bicolores tendo um núcleo róseo, com inclusões de quartzo e lepidolita, envolvido por uma capa de turmalina verde. Turmalinas com qualidades de gema tem sido encontradas com relativa

frequência.

Na lavra do "Urubu" pode-se identificar um zoneamento quanto a distribuição das variedades de turmalina. A afrisita é encontrada na zona da borda, onde parece ter havido influência do xisto encaixante. Na zona da parede, comumente associada às placas de muscovita, a turmalina predominante é de cor verde, enquanto que as variedades rósea e bicolores estão localizadas nas partes centrais dos corpos, principalmente nas bordas do núcleo de quartzo.

A cassiterita é um acessório importante destes pegmatitos, ocorrendo normalmente em associação com a albita. Da lavra do "Urubu", em grande parte já explorada, foram extraídas grandes quantidades de cassiterita, mas hoje a produção é reduzida, pois as maiores concentrações deste mineral ocorrem nas partes superiores do pegmatito. Como acessório menor, encontra-se tanta lita-columbita também associada à albita.

Como já citado, albita invade a zona dos feldspatos (microclíneo) não sendo possível estabelecer contatos precisos entre estes minerais. Observações microscópicas mostram relações de substituição do microclíneo pela albita (Foto 3.10).

Nas zonas internas desses pegmatitos aparecem cavidades, geralmente preenchidas por drusas de quartzo ou clevelandita, com dimensões de até dezenas de centímetros.

A lepidolita é o mineral de Lítio mais importante nes ses pegmatitos seguida pela amblygonita. Os bolsões de lepidoli ta alcançam dimensões de alguns metros cúbicos, sendo constituí dos por um agregado de placas milimétricas, comumente associadas a pequenos grãos de quartzo e albita. Na lavra do "Alair" a le pidolita também ocorre na forma de grandes placas, com tamanho centimétrico. Na lepidolita a cor predominante é rosa clara, mas são também encontradas variedades quase brancas.

Foto 3.10 - Lâmina delgada mostrando a substituição de microclíneo por albita, a partir dos planos de clivagem e fratura (aumento 20 X, nícois cruzados).

3.3.4 - Pegmatito Com Microclíneo-Quartzo-Polucita-Espodumênio

Este grupo está representado por um único corpo, situado no lado esquerdo do ribeirão Piauí, nas proximidades do povoado de Igrejinha. Em superfície tem forma aproximadamente tabular, aflorando numa extensão de algumas dezenas de metros com largura média de 6 metros.

Trata-se de um pegmatito do tipo complexo mais evoluído, no qual estão individualizadas quatro zonas, da borda para o centro, a saber:

a) zona da borda, com alguns centímetros de espessura, constituída principalmente de quartzo e muscovita, com granulação de alguns milímetros;

b) segue-se a zona da parede, tendo aproximadamente um metro de largura, com cristais de granulação centimétrica, constituída essencialmente de feldspato, quartzo e muscovita;

c) a zona intermediária é ocupada por grandes cristais de feldspato (microclíneo) e, na zona mais central, pode-se individualizar um núcleo de quartzo maciço de cor branca a leitosa.

Este pegmatito apresenta uma característica geoquímica particular, em razão do seu alto conteúdo em Césio, possibilitando a formação de polucita, que aparece na forma de veios e bolsões com até dois metros de largura. Neste corpo encontram-se numerosos cristais de espodumênio, alguns com mais de um metro de comprimento, de coloração rosa a branca.

Polucita e espodumênio ocorrem na zona dos grandes cristais de microclíneo, bordejando o núcleo de quartzo (Foto 3.11).

A polucita se apresenta com hábito maciço, semelhante ao quartzo, o que talvez explique a recente identificação deste mineral no pegmatito aqui referido (SÁ & SVISERO, 1976). Sob observação microscópica, a polucita é isotropa e engloba grãos

Foto 3.11 - Associação mineralógica encontrada no pegmatito com polucita.

corroídos de feldspato e quartzo (Foto 3.12).

Os contatos irregulares entre polucita e microclíneo e as inclusões deste último, sugerem que houve substituição do feldspato e a consequente deposição de polucita e espodumênio. Este apresenta características bem distintas do espodumênio encontrado nos pegmatitos já descritos, tendo em vista o modo de ocorrência, a cor em tons levemente róseos e algumas feições geoquímicas que são discutidas no Capítulo V.

Neste pegmatito encontram-se, como acessórios menores, pequenos grãos de cassiterita e agregados de placas milimétricas de lepidolita.

Na região também ocorrem vários corpos cujas características mineralógicas ficam em posição intermediária entre os pegmatitos simples e complexos, conforme definidos anteriormente. São pegmatitos com mineralogia e textura dos tipos simples mas contêm quantidades subordinadas de petalita, espodumênio, ambli_gonita ou lepidolita, mantendo a preferência por um destes minerais.

Pode-se supor que esses corpos sejam tipos complexos aflorando em níveis de erosão desfavoráveis ou, o que é mais provável, constituam situações intermediárias e pouco desenvolvidas, dentro do processo de evolução dos pegmatitos.

Cassiterita também ocorre em veios de quartzo que têm espessuras medidas em algumas dezenas de centímetros. Esses veios, geralmente discordantes dos xistos encaixantes, são encontrados na região do "Fumal", próximos do granito. A cassiterita desses veios é de cor avermelhada escura, diferindo daquela encontrada nos pegmatitos que têm cor bem mais escura, quase preta. Na Tabela 3.2 estão indicados os minerais acessórios mais comuns, em alguns dos pegmatitos estudados.

Na Tabela 3.1 foram apresentadas, de modo comparativo, as classificações de FERSMAN, GINZBURG, VARLAMOFF e NEDUMOV. Conquanto haja correspondência entre os vários tipos de pegmatitos

Foto 3.12 - Lâmina delgada de polucita (isótropa) englobando feldspato (microclíneo) e quartzo (aumento 20 X, nícois cruzados).

TABELA 3.2 - DISTRIBUIÇÃO DOS MINERAIS ACESSÓRIOS NOS PEGMATITOS MAIS IMPORTANTES DO DISTRITO

	PETALITA	ESPODUMÊNIO	LEPIDOLITA	AMBLIGONITA	BERILO	CASSITERITA	TANTALITA-COLUMBITA	TURMALINAS (coradas)
Lavra do Urubu	X		XXX	XX	XX	XX	X	XX
Lavra Generosa			XXX	XX	X	X		XX
Lavra do Maxixe	XXX	XX		X				
Lavra da Chapadinha	XXX	X			X			
Lavra do Meio	XXX	XX						
Lavra das Tesouras	XXX				X		X	
Lavra da Cachoeira		XXX		X	X		X	
Lavra do Genipapo	XXX			XX	XX		X	
Lavra do Morundu	XXX			XX	X	X		
Lavra do Alair			XXX	X	X	X		
Lavra do Baixão			XXX	XX	X	X		X
Lavra do Bié	XXX			XX		X		X
Lavra do Vicente	XXX			X	X	X		

XXX - quantidades economicamente exploráveis e/ou mineralogia acessória mais importante

XX - quantidades subordinadas, geralmente recuperáveis como sub-produto

X - quantidades menores.

classificados pelos autores, notam-se algumas diferenças nas as sociações mineralógicas típicas que servem de base às classifi cações. Os pegmatitos aqui estudados são comparáveis aos seguin tes tipos das classificações daqueles autores:

a) pegmatitos simples: comparáveis aos tipos 3 e 4 da classificação de FERSMAN; ao tipo 3 de GINSBURG; aos tipos 3 e 4 de VARLAMOFF e ao tipo II de NEDUMOV;

b) pegmatitos com petalita: embora não haja indicação de petalita nas classificações da Tabela 3.1, esses pegmatitos devem corresponder ao tipo 4 de GINSBURG, visto que os corpos com petalita sofreram poucos efeitos de substituição;

c) pegmatitos com espodumênio: correspondem com a me-lhor aproximação ao tipo IV de NEDUMOV, sendo também comparáveis aos tipos de transição de GINSBURG;

d) pegmatitos com lepidolita: correspondem aos tipos mais evoluídos, que sofreram intensos efeitos de substituição e albitização, sendo comparáveis ao tipo 7 de VARLAMOFF e aos tipos 7 e 8 de GINSBURG;

e) pegmatitos com polucita: apresentam um grau de de desenvolvimento equivalente aos pegmatitos com lepidolita, e com a característica geoquímica de terem concentrado Césio, possibili tando a formação de polucita. São comparáveis aos tipos 7 e 8 de GINSBURG, com um marcante desenvolvimento do estágio Li-Cs.

Os fosfatos de Li-Mn-Fe e sulfetos encontrados em al guns dos pegmatitos estudados indicam que houve desenvolvimento, embora reduzido, de algumas das características das fases G e H de FERSMAN.

3.4 - RELAÇÕES ENTRE OS PEGMATITOS E AS ROCHAS ENCAIXANTES

Mapeamentos detalhados em mais de uma centena de pegmatitos mostraram que os corpos, na sua maioria, são discordantes em relação às encaixantes.

Os corpos simples estão geralmente encaixados em fraturas, tanto nos granitos como nos xistos, mas encontra-se também, veios de pequena possança, concordantes com os planos de foliação dos xistos.

Muitas vezes, as direções dos pegmatitos praticamente coincidem com as direções dos planos de foliação dos xistos. Nestes casos, a relação de discordância é verificada quando se examina os ângulos de mergulho, pois os pegmatitos estão geralmente em posições sub-verticais a verticais enquanto que os planos de foliação dos xistos têm menores ângulos de mergulho.

Localmente encontram-se situações de concordância nas direções e mergulhos dos planos de foliação dos xistos e pegmatitos. Entretanto, a distância de alguns metros dos contatos, os xistos já apresentam a orientação regional. Essas concordâncias locais são devidas as estruturas de flexura nos xistos, que bem no contato com os pegmatitos mostram superfícies polidas e estrias de fricção.

Xenólitos de xistos dentro dos pegmatitos são comuns (Foto 3.13), com visíveis efeitos de recristalização.

A Figura 3.1, mostra, em forma de diagrama, a distribuição de frequência das orientações dos 121 pegmatitos mapeados, onde se ressalta o evidente controle direcional dos corpos visto que 60% possuem orientações compreendidas no intervalo N40-80E.

A relação espacial mais comum entre pegmatitos e xistos pode ser vista, em escala reduzida, na Foto 3.14, que mostra pequenos veios pegmatíticos controlados por um sistema de fraturas, que forma um ângulo de aproximadamente 20° com a direção

Fig. 3.1 - DIAGRAMA DE FREQUÊNCIA DAS DIREÇÕES DE 121 PEGMATITOS
DA REGIÃO DE ITINGA-ARAÇUAÍ, MG

Foto 3.13 - Xenólito de xisto dentro do pegmatito da la
vra do "Urubu". Observe-se que o xenólito es
tá discordante com a orientação do xisto en
caixante.

Foto 3.14 - Veios pegmatíticos controlados por um sistema
de fraturas, formando um ângulo de aproxima
madamente 20° com a foliação dos xistos. Obse
rva-se também pequenos veios de quartzo dobr
ados em consequência do desenvolvimento da
foliação.

dos planos de foliação do xisto encaixante.

Nas adjacências dos pegmatitos os xistos encaixantes sofreram modificações texturais, mineralógicas e químicas. Macroscopicamente observam-se evidências de recristalização, quer pelo aumento da granulação (bem visível na biotita), quer pela maior compacidade das rochas em comparação com os xistos normais.

A mais notável modificação mineralógica é o aparecimento de turmalina (afrisita) em cristais milimétricos até centimétricos, em forma de agulhas, quase sempre perpendiculares aos planos de contato. Localmente, a turmalinização foi tão intensa que transformou os xistos em "turmalinitos".

As modificações químicas ocorridas nos xistos, próximos dos pegmatitos, foram investigadas pela análise dos elementos Rb, Li, Cs, Sn e Zn, comparando-se com os teores médios desses elementos nos xistos que não sofreram influência de pegmatitos. A Figura 3.2, mostra as variações nos teores dos elementos analisados, em amostras de xisto tomadas a diferentes distâncias dos contatos com os pegmatitos. Verifica-se, que há um notável aumento nos teores daqueles elementos, que decrescem rapidamente à medida que se afasta dos contatos. A influência química dos pegmatitos sobre os xistos encaixantes atinge, no máximo, alguns metros. Também, pode-se verificar que o grau da influência química aqui referida tem relação com o tipo do pegmatito associado à modificação. É mais intensa na lavra do "Urubu" - o corpo mais complexo - e praticamente inexistente nas adjacências do pegmatito simples.

3.5 - DISTRIBUIÇÃO E ZONEAMENTO DOS PEGMATITOS

Os pegmatitos distribuem-se por toda a região estudada. Os corpos do tipo simples ocorrem dentro dos granitos e dos xistos, enquanto que os do tipo complexo estão sempre encaixados

nos xistos.

Como já foi mostrado, os pegmatitos complexos concentram, preferencialmente, uma fase mineralógica específica de Lítio ou seja, petalita, espodumênio ou lepidolita, feição esta que serviu de base para a classificação aqui adotada.

A Figura 3.3 mostra a localização dos pegmatitos complexos que possuem as mais importantes mineralizações de Lítio. Nesta figura verifica-se que há um zoneamento, definido pela distribuição espacial dos vários corpos com suas mineralizações características. Os pegmatitos ricos em petalita - os mais numerosos - ocupam posições bem próximas dos maciços de granito. Aqueles mineralizados com lepidolita estão mais afastados dos granitos, enquanto que as mineralizações de espodumênio ocorrem nos corpos situados em posição intermediária entre os pegmatitos com petalita e os com lepidolita.

Conforme será abordado no Capítulo V, este zoneamento é consistente com as condições de formação dos citados minerais de Lítio, refletindo o processo de desenvolvimento das mineralizações.

As relações geológicas e geomorfológicas entre granitos e xistos, bem como a distribuição dos vários tipos de pegmatitos indicam que deve ter havido considerável erosão no campo dos pegmatitos. Os vales dos ribeirões Piauí e Genipapo constituem uma espécie de calha cavada sobre os xistos tendo nas bordas os maciços de granito que provavelmente estão ligados, em profundidades relativamente rasas, por baixo dos vales.

Tendo em vista a ocorrência e distribuição dos pegmatitos da região e o fato de que, no mundo todo, a maioria dos campos pegmatíticos associados a plutons graníticos situam-se nas partes apicais ou, logo acima dos referidos plutons (ROUTHIER, 1963), pode-se afirmar que, já foram erodidos muitos dos pegmatitos da região aqui tratada, principalmente aqueles corpos de evolução mais complexa. Como já foi visto, os pegmatitos mais com

Fig.3.3-Mapa de localização dos tipos de pegmatitos mineralizados à lítio

plexos são os mais distantes dos maciços de granito.

3.6 - COMPARAÇÃO COM OUTROS DISTRITOS PEGMATÍTICOS DO MUNDO

Distritos de pegmatitos litiníferos estão amplamente espalhados pelos cinco continentes. Atualmente, a maior parte da produção mundial de minérios de Lítio provém dos Estados Unidos e da África - Rodésia e África do Sudoeste, KUNASZ (1975).

Dentre os minérios de Lítio, o espodumênio é o mais abundante, ocorrendo em pegmatitos homogêneos (sem zoneamento interno) e em unidades zonais de pegmatitos complexos; em ambas situações o espodumênio constitui cerca de 20-25% do corpo de minério (NORTON, 1973).

Lepidolita e petalita são também importantes minerais de minério. A mica de Lítio ocorre principalmente nas partes centrais dos pegmatitos complexos, associada com albita e quartzo, enquanto que a petalita é encontrada normalmente nas zonas intermediárias de pegmatitos zonados associada com feldspato, quartzo e espodumênio. São pouco numerosos os depósitos de petalita conhecidos no mundo mas, em todos eles, são bastante significativas as quantidades deste minério.

Ambligonita é um mineral de ampla distribuição nos pegmatitos litiníferos. Conquanto apresente os mais elevados teores de Li_2O o seu modo de ocorrência, normalmente em bolsões relativamente pequenos espalhados, reduz sua importância como minério de Lítio.

A polucita, em termos práticos, é o único minério de Césio conhecido e ocorre principalmente nos pegmatitos complexos, em notável associação com minerais de Lítio.

Na Tabela 3.3 estão resumidas algumas das características mais importantes de vários distritos de pegmatitos litiníferos.

TABELA 3.3 - CARACTERÍSTICAS DE ALGUNS IMPORTANTES DISTRITOS LITÍFEROS DO MUNDO

DISTRITO	MINERALOGIA	CARACTERÍSTICAS GERAIS
Esposumene belt, Colina do Norte, USA (IFFITTS, 1954 e KUNASZ, 1975).	Microclíneo-albita-es- podumênio-quartzo. Aces- sórios menores: berilo, tantálita-columbita, li- tiofilita, esfalerita, apatita.	Numerosos pegmatitos em forma de diques, sem zoneamento interno, com espodu- mênio regularmente distribuído, constituindo cerca de 20% do corpo. As dimen- sões dos pegmatitos variam desde poucos metros até quase 1 km de comprimen- to e desde centímetros até 120 metros de largura. Estão encaixados em anfi- bolitos e xistos, margeando um pluton quartzo-monzonítico, datado em 400 mi- lhões de anos. Constitue o maior depósito em produção no mundo, com reservas avaliadas em cerca de 45 milhões de toneladas de minério.
Issac-Lacorne, Oeste Quebec, Canadá (BERRY, 1950 e ROWE, 1953).	Espodumênio, lepidolita, berilo, polucita e quan- tidades menores de mo- libdenita, columbita-tan- talita.	Espodumênio ocorre tanto em corpos homogêneos, sem zoneamento interno, como em corpos zonados. Os primeiros são os mais importantes contendo de 20 a 25% de espodumênio. Estão relacionados com rochas plutônicas de composição ácida a intermediária. As maiores concentrações de berilo ocorrem nos pegma- titos que estão encaixados dentro dos plutons enquanto que o espodumênio é mais abundante nos corpos situados nas margens plutônicas e nas rochas me- tamórficas adjacentes.
Este de Manitoba, Canadá. (BERRY, 1971 e 1972).	Espodumênio, petalita, be- rilo, lepidolita, poluci- ta, ambligonita e mine- rais de Ta-Nb, Mo, Sn, Te- ras Raras U, Th, Zr.	Grande variedade de mineralizações ocorrendo em diferentes tipos de pegma- titos. Estão encaixados em uma sequência de rochas metavulcânicas e metase- dimentares, bordejando plutons graníticos e granodioríticos. Os maiores depô- sitos estão concentrados em um único pegmatito (Tanco, Bernick Lake). Trata- se de um corpo lenticular, de zoneamento complexo, com comprimento superior a 1 km, cerca de 450 metros de largura e espessura máxima de 84 metros. Con- tém grandes quantidades de espodumênio, polucita, lepidolita, tantálita-colum- bita e berilo.
Petalita, Rodésia, África (OPER, 1964 e KUNASZ, 1975).	Petalita, lepidolita, es- podumênio, polucita, beri- lo, eucryptita e quanti- dades menores de cassi- terita, tantálita-colum- bita e microlita.	Todos esses minerais ocorrem em um único corpo com comprimento superior a 1,5 km e largura máxima de 63 metros. Apresenta um zoneamento complexo, com unidades de concentração de minério bem definidas e dispostas assimetrica- mente em relação às paredes do corpo. Está encaixado em rochas metamórficas, associado com rochas graníticas. Datações geocronológicas indicaram idade de 2.650 milhões de anos. É o maior depósito de petalita do mundo com reser- vas globais de minério de Lítio avaliadas em 5,9 milhões de toneladas com 2,9% de Li ₂ O.
Lepidolita, África do Sudoeste (ROERING, 1966 e KUNASZ, 1975).	Lepidolita, petalita e quantidades menores de ambligonita; berilo, tan- talita-columbita, topá- zio e apatita são aces- sórios comuns	Vários pegmatitos com notável zoneamento interno. As maiores concentrações dos minerais de Lítio ocorrem nas zonas próximas dos centros dos corpos, po- dendo-se individualizar unidades ricas em petalita e lepidolita-ambligonita, esta última mais central. Reservas de lepidolita são estimadas em 1 mi- lhão de toneladas e as de petalita em 200.000 toneladas.
Utrask, Norte da Suécia (ENSEL, 1952).	Petalita, espodumênio, le- pidolita, polucita, amblig- onita e como acessó- rios menores contêm, cas- siterita, columbita-tan- talita, turmalinas ver- des, vermelhas e fosfa- tos de Mn-Li.	As mineralizações são encontradas em um único corpo, de forma aproximadamen- te tabular, exposto em algumas centenas de metros no comprimento, com espes- sura variando de 3 a 30 metros e encaixado em rochas anfibolíticas. Estrutura interna com zoneamento complexo podendo-se individualizar uma zona rica em Lítio e outra em Césio (polucita), esta última restrita à margem do nú- cleo de quartzo. Datações geocronológicas efetuadas por diferentes métodos indicaram idades compreendidas entre 1.650-1.800 milhões de anos.
Alga-Araçuaí, Nordeste de Alagoas, Brasil	Petalita, espodumênio, le- pidolita, ambligonita, polucita, cassiterita, berilo e quantidades me- nores de tantálita-colum- bita, pedras coradas e fosfatos de Mn-Li.	São algumas dezenas de corpos zonados, com exceção dos portadores de espodu- mênio que tem estrutura interna homogênea. As dimensões dos pegmatitos são medidas desde poucos metros até algumas dezenas de metros na largura e os maiores comprimentos não ultrapassam os 500 metros. Estão encaixados em quartzo-mica xistos e associados com granito datado em 520 milhões de anos; muscovitas dos pegmatitos têm idades em torno de 480 milhões de anos. Peta- lita, espodumênio e lepidolita distribuem-se em diferentes corpos que for- mam um zoneamento regional onde a petalita está nos corpos mais próximos dos granitos e a lepidolita naqueles mais afastados. Estes últimos são os que apresentam zoneamento interno e mineralogia mais complexa. As reservas de petalita são avaliadas em cerca de 100.000 toneladas.

ros do mundo, permitindo uma visão comparativa com os pegmatitos da região estudada. A escolha dos distritos que servem à comparação foi baseada em critérios de semelhança, no todo ou em parte, quanto aos tipos de mineralizações.

Examinando-se a Tabela 3.3, verificam-se várias semelhanças entre os pegmatitos de Itinga-Araçuaí e aqueles de outras regiões do mundo, comparando-se as características geológicas, geoquímicas e, principalmente, tipos de mineralizações.

Os pegmatitos com espodumênio assemelham-se àqueles encontrados em Preissac-Lacorne (Canadá) e Carolina do Norte (USA), sobretudo com estes últimos. As semelhanças ocorrem em níveis de textura, estrutura, mineralogia e mesmo teores de espodumênio. Ainda, o distrito da Carolina do Norte possui importantes mineralizações de cassiterita, o que é mais um ponto de identificação. Entretanto, faltam nos distritos de Preissac-Lacorne e da Carolina do Norte os pegmatitos com petalita.

Do ponto de vista geoquímico e mineralógico há, praticamente, total semelhança com os distritos de Manitoba (Canadá), Bikita (Rodésia) e Varuträsk (Suécia). Entretanto, faltam nesses distritos os pegmatitos homogêneos (sem zoneamento), ricos em espodumênio, como os da Carolina do Norte. As dimensões também são consideravelmente maiores nos pegmatitos de Bikita e Manitoba.

Enquanto nos distritos de Bikita, Manitoba e Varuträsk há uma complexa e variada mineralogia reunida em corpos únicos, os pegmatitos de Itinga-Araçuaí, individualmente, apresentam mineralogia mais simples, distribuída em diferentes corpos que concentram, preferencialmente, um determinado tipo de mineral de minério.

Assim, os pegmatitos aqui estudados apresentam a singularidade de reunirem, no mesmo distrito, os principais tipos de mineralizações de Lítio e Césio, distribuídos em diferentes corpos. Pode-se dizer, em sentido comparativo, que o pegmatito de

Varuträsk representa uma espécie de síntese das mineralizações que ocorrem nos pegmatitos aqui estudados.

CAPÍTULO IV

4 - GEOCRONOLOGIA

Através de métodos geocronológicos foram datadas rochas e minerais, com o objetivo de situar no tempo alguns dos mais significativos eventos geológicos que ocorreram na região estudada, particularmente as relações temporais entre os pegmatitos e as demais unidades litológicas.

Xistos e granitos foram datados pelo método Rb-Sr, em onze e oito amostras respectivamente. Determinações pelo método do K-Ar foram efetuadas em muscovitas provenientes dos pegmatitos da lavra da Cachoeira e lavra do Maxixe.

A Figura 4.1 indica a localização das amostras datadas, todas elas coletadas em afloramentos de rocha fresca e previamente estudadas em secções delgadas. Foram descartadas as amostras que apresentavam evidências de alteração intempérica.

4.1 - METODOLOGIA

As análises foram realizadas nos laboratórios do Centro de Pesquisas Geocronológicas da Universidade de São Paulo, seguindo-se as metodologias de trabalho destes laboratórios, conforme descritas por KAWASHITA *et al.* (1974), para o método Rb-Sr, e por THOMAZ FILHO & TORQUATO (1974), para o método K-Ar.

As determinações pelo método Rb-Sr foram efetuadas em rocha total, sendo o $Rb_{(total)}$ e o $Sr_{(total)}$ medidos por fluorescência de Raios-X e as relações isotópicas de Sr^{87}/Sr^{86} determinadas em espectrômetro de massa (VARIAN MAT, modelo TH-5).

FIGURA 4.1 - LOCALIZAÇÃO DAS AMOSTRAS DATADAS

As constantes empregadas nas determinações Rb-Sr são:

$$\text{Rb}^{87} = 27,85\% \text{ do Rb}_{(\text{total})}$$

$$\lambda \text{Rb}^{87} = 1,47 \times 10^{-11} / \text{ano}$$

Para o cálculo das idades convencionais utiliza-se a fórmula:

$$t = \frac{1}{1,47} \times 10^{11} \cdot \ln\left(1 + \frac{\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86} - \text{Ro}}{\text{Rb}^{87}/\text{Rb}^{86}}\right)$$

onde,

t = tempo (anos)

Ro = razão inicial de $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$

Os erros experimentais nas determinações são da ordem de 2% para as análises individuais de Rb ou de Sr. Todos os cálculos foram efetuados em computador, sendo considerados os erros individuais e calculados os parâmetros que definem as linhas isocrônicas.

Para as determinações K-Ar, mediu-se o $\text{K}_{(\text{total})}$ por absorção atômica e o Argônio, após ser extraído pela fusão da amostra em linha de vácuo, foi medido nas relações isotópicas $\text{Ar}^{38}/\text{Ar}^{36}$ e $\text{Ar}^{40}/\text{Ar}^{38}$, utilizando-se espectrômetro de massa (NUCLIDE, modelo MS1).

Nos cálculos para determinação do Ar^{40} (radiogênico) são consideradas as contribuições de outras fontes, uma vez que o Ar^{40} medido pelo espectrômetro é a soma do Ar^{40} (radiogênico) mais o Ar^{40} do "traçador" mais o Ar^{40} (atmosférico).

As constantes utilizadas nas determinações K-Ar são:

$$\text{K}^{40} = 0,0119\% \text{ do K (total)}$$

$$\lambda(\text{total}) = 0,530 \times 10^{-9}$$

$$\lambda \text{K} = 0,585 \times 10^{-10} / \text{ano}$$

TABELA 4.1 - DADOS ANALÍTICOS DE DETERMINAÇÕES Rb/Sr EM ROCHA TOTAL DE GRANITOS DA REGIÃO DE ITINGA-ARAÇUAÍ, MG

AMOSTRA	ROCHA	Rb(total) ppm	Sr(total) ppm	Rb ^{tot} /Sr ^{tot}	Rb ⁸⁷ /Sr ⁸⁶	Sr ⁸⁷ /Sr ⁸⁶	IDADE CONVENCIONAL (milhões de anos) (R ₀ = 0,713 ± 0,002)
JH/21C	Granito	202,2	199,5	1,01	2,94	0,7346	498 ± 54
QUA/10	Granito	264,1	187,0	1,41	4,10	0,7442	516 ± 41
JH/21D	Granito	213,8	157,8	1,35	3,93	0,7429	515 ± 40
JH/21G	Granito	223,8	144,4	1,54	4,50	0,7475	519 ± 34
JH/50A	Granito	408,1	56,9	7,17	21,10	0,8756	522 ± 13
JH/57A	Granito	418,0	44,9	9,30	27,52	0,9257	524 ± 12
JH/58	Granito	353,2	47,7	7,40	21,80	0,8850	535 ± 13
JH/64	Granito	174,2	17,9	9,73	28,77	0,9270	504 ± 12

TABELA 4.2 - DADOS ANALÍTICOS DE DETERMINAÇÕES Rb/Sr, EM ROCHA TOTAL, DE XISTOS DO GRUPO MACAÛBAS, MG

AMOSTRA	ROCHA	Rb(total) ppm	Sr(total) ppm	Rb ^{tot} /Sr ^{tot}	Rb ⁸⁷ /Sr ⁸⁶	Sr ⁸⁷ /Sr ⁸⁶	IDADE CONVENCIONAL (milhões de anos) (R ₀ = 0,713 ± 0,002)
JH/25	Xisto	82,3	90,1	0,91	2,65	0,7398	684 ± 58
JH/20B	Xisto	125,4	111,7	1,12	3,26	0,7443	650 ± 48
JH/23A	Xisto	124,8	110,8	1,12	3,27	0,7474	711 ± 47
JH/26A	Xisto	179,9	118,4	1,51	4,41	0,7541	630 ± 37
JH/23B	Xisto	127,9	70,7	1,80	5,26	0,7605	611 ± 31
JH/004B	Xisto	138,2	233,3	0,59	1,71	0,7297	658 ± 85
JH/008	Xisto	114,7	237,4	0,48	1,40	0,7255	604 ± 111
JH/011	Xisto	105,8	200,0	0,52	1,53	0,7254	548 ± 95
JH/014	Xisto	187,1	119,4	1,56	4,55	0,7520	580 ± 34
JH/223	Xisto	130,4	76,6	1,70	4,95	0,7586	624 ± 34
JH/222	Xisto	151,7	134,4	1,12	3,28	0,7508	780 ± 60

O cálculo da idade é desenvolvido segundo a fórmula:

$$t = 1,887 \times 10^9 \times \ln \left(1 + 9,06 \cdot \frac{Ar^{40}}{K^{40}} \right)$$

4.2 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nas Tabelas 4.1 e 4.2 são apresentados os resultados das determinações Rb-Sr, efetuadas em rocha total, nos xistos e granitos, respectivamente.

Examinando-se essas tabelas, verifica-se que as variações na relação Rb (total) /Sr (total) são relativamente pequenas nos xistos e bem mais acentuadas nos granitos. Verifica-se também que, nos xistos, as relações isotópicas Rb^{87}/Sr^{86} apresentam valores regularmente distribuídos, enquanto que nos granitos essas relações estão agrupadas em dois conjuntos de valores, consideravelmente distanciados um do outro.

As migrações e distribuições geoquímicas do Rubídio estão estreitamente vinculadas às do Potássio (GOLDSCHMIDT, 1954). Comparando-se os dados analíticos de determinações Rb-Sr (Tabela 4.2) com aqueles de composição química dos granitos (Tabela 2.2) verifica-se que, às maiores concentrações de Rubídio correspondem valores mais elevados de Potássio. Aparentemente, as concentrações de Estrôncio variam diretamente com as do Cálcio.

Como já assinalado, os dados analíticos das determinações Rb-Sr nos xistos e granitos, foram processados separadamente e, para cada um dos grupos de rocha foram calculados os parâmetros das linhas isocrônicas. As Figuras 4.2 e 4.3 apresentam, graficamente, os dados analíticos e as correspondentes isócronas.

Em se tratando de um conjunto de amostras cogenéticas

Fig. 4.3-ISÓCRONA DOS GRANITOS DA REGIÃO DE ITINGA-ARAÇUAÍ, MG

cas, o valor numérico associado à linha isocrônica pode fornecer, ao mesmo tempo, a época de homogeneização isotópica no conjunto e a razão inicial $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ (CORDANI & KAWASHITA, 1971). Para os granitos, cuja natureza magmática foi indicada por várias evidências, a época de homogeneização isotópica deve coincidir com a formação dessas rochas e, assim, o valor obtido para a isôcrona (519 ± 6 milhões de anos) corresponde a idade dos granitos.

Um dos pré-requisitos para a datação de rochas e minerais pelo método Rb-Sr é que as variações nas concentrações de Rubídio, Estrôncio e na relação $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ sejam, tão somente, devidas a desintegração do Rb^{87} em Sr^{87} . Quando esta condição não é satisfeita, os valores calculados pelo método não indicam a idade da rocha, mas sim, o final de um evento que provocou modificações dentro do sistema (FAURE & POWELL, 1972). Durante o metamorfismo, ocorrem migrações e redistribuições dos elementos químicos incluindo-se os isótopos de Rubídio e Estrôncio.

Os xistos aqui datados correspondem a antigos sedimentos, regionalmente metamorfizados em condições do "fácies" anfibolito. Assim, o valor de 659 ± 40 milhões de anos associado a isôcrona da Figura 4.2, corresponde à idade do metamorfismo regional. Trata-se de uma isôcrona de referência, visto que as amostras datadas distribuem-se em uma área bastante ampla, bem como pela dispersão relativamente alta dos valores individuais, indicada pelo parâmetro MSWD.

Como já citado, os pegmatitos foram datados pelo método do K-Ar, em muscovita. Na Tabela 4.3 estão resumidos os dados analíticos referentes às duas amostras datadas, provenientes dos pegmatitos da lavra da "Cachoeira" e da lavra do "Maxixe". Os cálculos efetuados forneceram valores de 467 ± 18 e 490 ± 12 milhões de anos, respectivamente.

Esses valores devem ser considerados como idades mínimas para os pegmatitos, visto que a retenção do Argônio nas mus

TABELA 4.3 - DADOS ANALÍTICOS DE DETERMINAÇÕES K-Ar EM MICAS DOS PEGMATITOS

LOCAL	Pegmatito da "Lavra da Cachoeira"	Pegmatito da "Lavra do Maxixe"
MATERIAL DATADO	Muscovita	Muscovita
SPK	3220	3232
% K	7,93	8,02
Ar ⁴⁰ rad. x 10 ⁻⁶ cc/g STP	167,3	178,8
% Ar ⁴⁰ atm.	26,27	6,19
IDADE (milhões de anos)	467 ± 18	490 ± 12

covitas somente ocorre, de maneira efetiva, em temperaturas inferiores a 300° C. Também devem ser admitidas pequenas perdas de Argônio durante os trabalhos de preparação das amostras (DALRYMPLE & LANPHERE, 1969).

As perdas de Argônio influenciam sempre no sentido de indicar valores menores que a idade real e, portanto, pode-se admitir que as idades dos pegmatitos praticamente coincidem com a dos granitos, sendo esta ligação temporal um elemento importante para o estabelecimento das relações genéticas.

Finalmente, merece destaque a consistência entre os resultados geocronológicos obtidos, com a sequência de eventos geológicos estabelecidos a partir dos levantamentos de campo. A evolução geológica da área pode ser resumida em:

- a) sedimentação do Grupo Macaúbas;
- b) fase principal de metamorfismo regional desenvolvido aproximadamente há 650 milhões de anos, sobre os sedimentos do Grupo Macaúbas;
- c) intrusão e formação dos granitos com idades em torno de 520 milhões de anos;
- d) formação dos pegmatitos praticamente contemporâneos dos granitos.

Segundo ALMEIDA *et al.* (1976) a região estudada faz parte da faixa de dobramentos Araçuaí, que se desenvolveu durante o Ciclo Brasileiro.

Dentro do contexto geotectônico, os granitos aqui referidos apresentam características pós-tectônicas, visto que a distinção entre "plutons" graníticos sin-tectônicos e pós-tectônicos é feita, essencialmente, com ênfase no grau de concordância ou discordância entre a estrutura interna e configuração dos "plutons" e a geometria e estilo de dobramento das rochas encaixantes (CARMICHAEL *et al.*, 1974, p. 569).

CAPÍTULO V

5 - GÊNESE E EVOLUÇÃO DOS PEGMATITOS

"Each large intrusive mass is usually accompanied by a series of later dykes. These complementary dykes have, as a rule, a composition similar to that of the prevailing rock, but differ from it in showing an enrichment of certain constituents and a reduction of others. They are generally regarded as products of magmatic differentiation forming residual parts of the dominant magma after its consolidation has begun".

LINDGREN, 1933

5.1 - TEORIAS SOBRE A ORIGEM DOS PEGMATITOS

Há mais de um século a origem dos pegmatitos é assunto de discussão, em torno do qual numerosos pesquisadores propuseram diversas teorias, envolvendo processos distintos tais como, injeção, segregação, secreção, recristalização, substituição e diferentes combinações desses processos (JAHNS, 1953, 1955).

Fundamentalmente, as várias teorias podem ser reunidas em dois grandes grupos: teorias magmáticas e teorias metamórficas. JAHNS (1955) em excelente trabalho de análise, distingue as seguintes categorias dentro das principais teorias que tratam da gênese dos pegmatitos:

I) Teorias magmáticas

- 1) magma viscoso, segregado ou injetado
- 2) magma altamente fluido, segregado ou injetado
- 3) injeção de magma formado por anatexia ou palingênese
- 4) soluções aquosas derivadas de magmas

II) Teorias metamórficas

- 1) recristalização
- 2) anatexis ou palingenesis
- 3) substituição ou secreção por fluidos não magmáticos
- 4) substituição ou secreção através de difusão de partículas (diferenciação metamórfica)

Entretanto, as várias teorias, conforme designadas acima, muitas vezes não são suficientes para caracterizar todas as idéias que têm sido propostas para explicar a formação dos pegmatitos. Há que se considerar os processos desenvolvidos ao longo de toda a história daqueles corpos, quando são admitidas influências de fatores que envolvem condições e reações físico-químicas da massa pegmatítica, contribuições das rochas encaixantes, etc.

Com base em estudos feitos em diferentes distritos pegmatíticos do mundo, vários pesquisadores propuseram processos distintos para a sua gênese e evolução. De acordo com JAHNS (1955), os processos sugeridos para a formação dos pegmatitos podem ser resumidos nas seguintes categorias principais:

I) Diferenciação metamórfica ou metassomatismo de rochas hospedeiras por fluidos de origem magmática ou metamórfica.

II) Cristalização progressiva de um magma ou de um fluido magmático (com ou sem metassomatismo das rochas encaixantes e com ou sem reação entre a fase fluida e os sólidos já cristalizados); podendo-se ainda distinguir entre:

a) sistema restrito com ou sem mudanças posteriores para um sistema aberto;

b) sistema aberto.

III) Substituição, por soluções pneumatolíticas ou hidrotermais, dos minerais de pegmatitos anteriormente formados. A fonte das soluções poderia estar dentro ou fora do pegmatito.

SCHALLER (1925) com base em estudos feitos nos pegmatitos litiníferos dos Estados Unidos, principalmente os da Califórnia, propôs que aqueles pegmatitos resultaram de substituições (provavelmente hidrotermais) de uma rocha anterior desprovida dos elementos mineralizantes, em oposição a idéia de cristalização original a partir de um magma extraordinariamente rico em elementos da mineralização.

O modelo proposto por FERSMAN (1931) estabelece que a formação dos pegmatitos tem início a partir de fusões silicáticas residuais, através de sucessivas cristalizações e, num estágio mais tardio, através de processos metassomáticos.

Mais recentemente, JAHNS & BURNHAM (1969) apoiados em levantamentos de campo e resultados experimentais obtidos em laboratório, propuseram um modelo genético e evolutivo para os pegmatitos graníticos. Segundo os autores, os pegmatitos ígneos de

composição granítica são formados a partir de "Pegmatite magma, as distinguished by a content of dissolved water that is high relative to the limit of solubility under existing confining pressure, can be formed either through partial melting of crustal materials or as rest-liquid in a cooling igneous body yielding dominantly anhydrous crystalline phases".

5.2 - RELAÇÕES ENTRE OS PEGMATITOS E GRANITOS

A grande maioria dos pegmatitos tem uma composição si milar a algumas rochas ígneas comuns e, assim sendo, é de se es perar que as mesmas questões referentes à gênese daquelas ro chas, sejam também levantadas para os pegmatitos equivalentes. A secular discussão em torno da origem dos granitos estende-se aos pegmatitos graníticos.

Os dados geocronológicos obtidos neste trabalho indi cam que, granitos e pegmatitos são praticamente contemporâneos. Estando estas duas rochas associadas no tempo e no espaço, a abordagem dos seus processos formadores pode ser feita segundo uma linha de raciocínio coerente, onde aqueles processos estão interligados. Quando no Capítulo II foi argumentada e proposta a origem ígnea para os granitos, já se estabeleceu um certo com promisso com um modelo genético para os pegmatitos.

Fatos geológicos levantados no terreno mostraram que, tanto os granitos como os pegmatitos têm as mesmas relações es truturais com as rochas adjacentes - ambos são discordantes e contêm xenólitos dos xistos encaixantes - indicando que foram co locados por um mesmo mecanismo de intrusão. Este fato, corrobo rado pelas datações geocronológicas, permite uma primeira conclu são, qual seja, granitos e pegmatitos foram formados após o meta morfismo regional que deu origem aos xistos.

Como já foi dito, a composição mineralógica é essen

cialmente a mesma nos granitos e pegmatitos. Nestes últimos, a mineralogia acessória é bem distinta e notável pelas concentrações de minerais de Lítio, Estanho, Berílio e Césio, encontrada nos corpos do tipo complexo. Assim, admitindo-se que haja ligações genéticas entre os granitos e os pegmatitos, devem ser encontradas evidências geoquímicas que justifiquem essas ligações.

Dados geoquímicos obtidos em muitas rochas graníticas com mineralizações associadas apontam que, essas rochas, apresentam concentrações dos elementos mineralizantes em valores consideravelmente maiores que aqueles encontrados em rochas semelhantes porém desprovidas de mineralizações. Essas feições geoquímicas podem servir a fins práticos no que concerne a seleção de rochas potencialmente favoráveis a mineralizações (BEUS, 1968, 1969).

Na União Soviética, muitos dos granitos relacionados com depósitos de Estanho, apresentam valores superiores a 10 ppm de Sn, enquanto que os granitos estéreis, quase sempre, mostram teores inferiores de 5 ppm de Sn. Os teores de Estanho variam de 60 a 100 ppm nas biotitas dos granitos relacionados às mineralizações e, em casos excepcionais, atingem mais de 300 ppm de Sn (VARLAMOFF, 1969).

No Distrito de Preissac-Lamotte-Lacorne, Quebec, os pegmatitos com espodumênio são geneticamente relacionados com granitos intrusivos altamente enriquecidos em Lítio (SIROONIAN *et al.*, 1959). Na Tabela 5.1 são apresentados os teores de Lítio encontrados nos granitos e concentrados de biotita dos maciços de Preissac, Lamotte, Lacorne e Itinga-Araquã.

TABELA 5.1-TEORES DE LÍTIO EM GRANITOS E CONCENTRADOS DE BIOTITA

Localidade	Material analisado	Número de amostras	Variação	Li (ppm)
				Média
Preissac (1)	Granito	4	25 - 180	87
	Biotita	-	-	1530
Lamotte (1)	Granito	14	23 - 325	127
	Biotita	-	-	2640
Lacorne (1)	Granito	6	89 - 390	248
	Biotita	-	-	3010
Itinga-Araçuaí (2)	Granito	9	65 - 400	216
	Biotita	-	-	3700

1) Segundo SIROONIAN *et al.*, 1959

2) Valores deste trabalho

Segundo SIROONIAN *et al.* (1959), os pegmatitos com espodumênio da região de Quebec são atribuídos a um processo de cristalização fracionada dos magmas que deram origem aos maciços, estando os pegmatitos associados, principalmente, com o maciço de Lacorne.

Os teores de Lítio encontrados nos granitos e concentrados de biotita da região de Itinga-Araçuaí, são semelhantes aos do maciço de Lacorne. Como já mostrado na Tabela 2.2, os granitos aqui estudados contêm quantidades de Lítio, Berílio, Césio e Rubídio, bem superiores aos valores médios dos granitos normais.

Nos concentrados de biotita dos granitos de Itinga-Araçuaí (Tabela 2.3) os teores de Estanho são equivalentes aqueles mencionados por VARLAMOFF (1969), para os concentrados de biotita dos granitos relacionados com mineralizações de Estanho.

Nos xistos, os teores dos elementos químicos acima citados são baixos, com poucas variações (Tabela 2.1), quando comparados com os granitos. Conquanto seja válido supor que os elementos das mineralizações dos pegmatitos pudessem ter sido remobilizados dos xistos, as feições geoquímicas dessas rochas, bem como suas relações com aqueles corpos, sugerem muito mais uma simples relação espacial do que uma contribuição direta na formação dos pegmatitos.

Tendo em vista os dados geológicos, geocronológicos e geoquímicos que foram apresentados, admite-se a existência de relações genéticas entre os pegmatitos e granitos da região de Itinga-Araçuaí. Também, a localização e distribuição dos diferentes tipos de pegmatitos em relação aos maciços de granito, configurando um arranjo em zonas (Figura 3.1), é mais uma evidência favorável ao modelo genético aqui proposto. Segundo JAHNS (1955, p. 1061) "a magmatic source for pegmatite bodies that lie wholly within older country rocks is strongly indicated by systematic zonal relationship with respect to igneous plutons".

A formação dos pegmatitos é melhor explicada através da cristalização progressiva de frações destacadas do magma que originou os granitos, sem influências significativas das rochas encaixantes. Uma vez assumido que os pegmatitos provêm do magma granítico, torna-se necessário explicar o processo pelo qual o magma inicial se diferenciou, possibilitando a concentração dos elementos menores, principalmente o Lítio, na fase pegmatítica.

Aparentemente, a diferenciação do magma teve início desde os primeiros estágios da cristalização, como pode ser visualizado através das Figuras 2.3 e 2.4, que mostram a tendência de concentração de Lítio e Rubídio dentro do próprio granito. Em

rochas graníticas diferenciadas, tem-se verificado um notável enriquecimento de Lítio e Rubídio a medida que progride a diferenciação (SLEPNEV, 1958) encontrando-se valores máximos nas rochas das zonas apicais (VORONTSOV, 1966). As relações Rb-K e Li-Mg aumentam durante a evolução do magma, podendo ser usadas como índices do grau de diferenciação de uma determinada rocha (MASON, 1966, pp. 134, 137).

Os trabalhos experimentais de STEWART (1960, 1963) trouxeram grande contribuição para o entendimento da formação dos pegmatitos litiníferos. Segundo este autor "the bulk compositions of a number of large zoned and unzoned lithium-rich pegmatites are very similar (SiO_2 = 73-75 per cent, Al_2O_3 = 16-17 per cent, Li_2O = 1,2-1,8 per cent, Na_2O = 3,3-4,5 per cent, K_2O = 2,0-2,7 per cent) regardless of the kinds of lithium aluminum silicates present. Feldspar is invariably more abundant than quartz. These compositions lie in the region of minimum melting temperatures of the system albite-quartz-spodumene-water and can form a homogeneous magma at temperatures below 625°C at 2000 bars. The minimum restricts the Li_2O content that can accumulate in magma by fractional crystallization to about 2 per cent, equivalent to about 25 weight per cent spodumene in the rock".

5.3 - EVOLUÇÃO DOS PEGMATITOS

Segundo o modelo de STEWART, os primeiros produtos da cristalização do magma seriam constituídos, principalmente, de feldspato e quartzo, enquanto o Lítio permaneceria na fusão, concentrando-se progressivamente, até ser atingido o mínimo térmico (minimum melting temperatures) quando então dar-se-ia a cristalização de silicatos de Lítio. Dependendo das condições de pressão e temperatura, cristaliza-se espodumênio ou petalita, sendo esta última a forma estável em temperaturas mais altas, co

mo mostrado na Figura 5.1. Com o resfriamento, pode ocorrer a transformação de petalita em espodumênio + quartzo, o que é naturalmente encontrado no pegmatito de Tanco, Bernic Lake, Manitoba (CERNY, 1972).

Trabalhos desenvolvidos por MUNHOZ (1971), em um sistema sob condições hidrotermais, mostraram que a lepidolita é estável somente em baixas temperaturas, podendo formar-se a partir da reação entre espodumênio e feldspato potássico em presença de fluido contendo Fluor.

Com base em resultados experimentais e observações de ocorrências naturais, a sequência petalita-espodumênio-lepidolita, pode ser associada a condições de temperaturas decrescentes.

Os textos clássicos sobre a geoquímica dos elementos (GOLDSCHMIDT, 1954, p. 163; RANKAMA & SAHAMA, 1950, p. 436) assinalam a grande dependência do Césio e Rubídio em relação ao Potássio, visto as similaridades de carga e raio iônico ($\text{Cs}^+ = 1,67 \text{ \AA}$; $\text{Rb}^+ = 1,47 \text{ \AA}$; $\text{K}^+ = 1,33 \text{ \AA}$). O Rubídio não forma mineral próprio, encontrando-se sempre incorporado nos minerais potássicos; como o seu raio iônico é maior que o do Potássio, a relação Rb/K cresce com o processo de diferenciação, que é mais alta em micas e feldspatos de pegmatitos (MASON, 1966, p. 134).

Nos primeiros estágios da cristalização magmática, muito do Césio é incorporado aos minerais potássicos (K- feldspatos e micas) porém, nas fases hidrotermais do processo pegmatítico, sua concentração pode ser tão alta que possibilita a formação de polucita (WEDEPOHL, 1972, pp. 55-01). As quantidades de Césio e Rubídio aumentam com a evolução do processo pegmatítico (GINZBOURG, 1960). As relações Rb/K e Cs/K, medidas em feldspatos potássicos e micas de pegmatitos, podem servir como indicadores do grau de evolução, como verificado nos pegmatitos de Moçambique (CORREIA NEVES, 1971; LOPES NUNES, 1973).

Na Figura 5.2 são mostradas as relações Rb/K e Cs/K

Figura 5.1 - Campos de estabilidade da petalita e do espodumênio, em função da pressão e temperatura (STEWART, 1963). O sistema tem a composição $\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ em presença de vapor. Espodumênio e quartzo são estáveis no campo 1, a petalita no campo 2 e espodumênio, em solução sólida, no campo 3. Em condições de equilíbrio, o resfriamento do campo 2 para o campo 1 conduzirá à reação que transforma petalita em espodumênio + quartzo, segundo a reação: $\text{LiAlSi}_4\text{O}_{10} \rightarrow \text{LiAlSi}_2\text{O}_6 + 2\text{SiO}_2$. Reação similar pode ocorrer, à temperatura constante, se houver aumento de pressão sobre a petalita no campo 2 para o campo 1.

Fig. 5.2 - RELAÇÃO ENTRE K-Rb e K-Cs NOS FELDSPATOS POTÁSSICOS DOS PEGMATITOS COMPLEXOS

medidas nos feldspatos potássicos*, dos vários tipos de pegmatitos da região de Itinga-Araçuaí, conforme os dados analíticos constantes na Tabela 5.2.

Na Figura 5.2 distinguem-se facilmente dois grupos de feldspatos potássicos, no que concerne aos seus teores de Rubídio e Césio. O primeiro grupo, com teores mais baixos, contém os feldspatos dos pegmatitos do tipo simples, bem como os provenientes dos pegmatitos com petalita e com espodumênio. No segundo grupo, encontram-se os feldspatos potássicos dos pegmatitos com lepidolita ou polucita, nos quais os teores daqueles elementos são significativamente mais altos. Examinando-se com mais detalhe os valores numéricos da Tabela 5.2, verifica-se que, no primeiro grupo de feldspatos, as relações Rb/K e Cs/K tendem a aumentar dos pegmatitos simples até os pegmatitos com espodumênio.

Como já citado, o aumento do conteúdo de Rubídio e Césio nos minerais dos pegmatitos reflete a evolução do processo pegmatítico como um todo. Esta feição geoquímica, associada às relações texturais verificadas entre os vários minerais, bem como aspectos de estrutura e distribuição dos pegmatitos estudados, permitem que se estabeleça um esquema evolutivo para os pegmatitos da região, particularmente aqueles portadores de minerais de Lítio.

No Capítulo III foram apresentados, de modo mais descritivo, as associações minerais dos pegmatitos estudados. Com base nessas associações e, sobretudo, nas relações texturais entre aqueles minerais, as seguintes conclusões são pertinentes:

* Todas as amostras analisadas são provenientes das zonas centrais dos pegmatitos, pois foi verificado que os feldspatos potássicos das zonas laterais, mesmo dos corpos mais complexos, apresentam teores de Césio e Rubídio bem menores. Por exemplo, no pegmatito da lavra do "Urubu" os feldspatos potássicos da zona da parede mostram teores de Rb = 3200 ppm e Cs = 120 ppm, enquanto nos feldspatos potássicos da zona intermediária foram medidos Rb = 13.500 ppm e Cs = 800 ppm.

TABELA 5.2 - TEORES DE K, Rb E Cs NOS FELDSPATOS POTÁSSICOS
DOS PEGMATITOS DA REGIÃO ITINGA-ARAQUAÍ

PEGMATITOS	K (%)	Rb (ppm)	Cs (ppm)	Rb/K $\times 10^{-4}$	Cs/K $\times 10^{-4}$
SIMPLES	9,13	2.550	50	279,3	5,5
	9,87	3.000	130	303,9	13,2
	10,70	3.100	80	289,7	7,5
	10,80	4.400	125	407,4	11,6
COM PETALITA	10,04	4.500	120	448,2	11,9
	10,37	5.300	150	511,1	14,5
	10,04	3.100	85	308,8	8,5
	9,46	2.600	200	274,8	21,1
	9,13	2.250	115	246,4	12,6
	9,29	2.700	240	290,6	25,8
COM ESPODUMÊNIO	9,13	4.000	100	438,1	10,9
	9,75	5.600	210	574,3	21,5
	9,63	4.150	100	430,9	10,4
COM LEPIDOLITA	9,46	8.000	230	845,6	24,3
	9,29	5.300	520	570,5	55,9
	10,05	8.500	200	845,8	19,9
	9,37	13.500	800	1.440,8	85,4
	10,15	7.300	300	719,2	29,5
COM POLUCITA	9,46	12.500	1.800	1.321,3	190,3

a) os pegmatitos com petalita e com espodumênio podem ser considerados como sendo pegmatitos do tipo simples que tiveram injeções de fluidos altamente enriquecidos em Lítio, pois aqueles minerais cortam feldspatos (Fotos 3.4 e 3.6). Estes fluidos cristalizaram-se diretamente como petalita ou como espodumênio, em função das condições de pressão e temperatura (vide Figura 5.1);

b) a freqüente associação espodumênio e quartzo, com relações texturais indicativas de cristalização simultânea (Foto 3.7), sugerem uma cristalização a partir dos mesmos fluidos que deram origem à petalita, mas em condições de temperaturas mais baixas, já dentro do campo de estabilidade do espodumênio (Figura 5.1);

c) nos pegmatitos que contêm petalita e espodumênio, este se apresenta como se cortasse aquela (Foto 3.5), sugerindo fases de cristalização distintas. Esta situação está de acordo com o modelo experimental de STEWART (1963) pois, com o abaixamento da temperatura, a petalita é sucedida por espodumênio mais quartzo;

d) a albitização, verificada nos pegmatitos com espodumênio, é um fenômeno posterior à formação deste silicato de Lítio, que é cortado (Foto 3.8) e substituído (Foto 3.9) pela albita;

e) a lepidolita ocorre nos pegmatitos mais complexos, associada às zonas de forte albitização, onde também são encontradas as maiores concentrações de ambligonita. A albitização desenvolveu-se através de processo metassomático, substituindo principalmente os feldspatos potássicos (Foto 3.10).

f) os pegmatitos com polucita situam-se no mesmo nível de evolução dos pegmatitos com lepidolita, tendo porém uma feição geoquímica particular, visto o seu grande enriquecimento em Césio. As relações texturais (Foto 3.12) sugerem que a formação da polucita deu-se por substituição, através de fluido altamente

enriquecido em Césio;

g) o espodumênio associado à polucita, difere daquele encontrado nos corpos de textura homogênea, pelo modo de ocorrência, associação mineralógica e coloração. Este espodumênio deve ter sido formado em condições de baixa concentração de voláteis que deprimiu a formação de lepidolita. Esta hipótese encontra respaldo nos trabalhos de MUNOZ (1971) e GINSBURG (1960) que mostraram a necessidade de alta concentração de voláteis, principalmente Fluor, para a formação da lepidolita;

h) como já mostrado, os pegmatitos se distribuem em zonas, que são caracterizadas pela maior frequência de um determinado tipo de pegmatito - os que contêm petalita estão mais próximos dos maciços de granito, enquanto que os com lepidolita estão mais afastados. Este padrão de distribuição é compatível com a origem aqui proposta para os pegmatitos - a partir de frações residuais do magma granítico - visto que a petalita se forma em condições de temperaturas mais altas que as da lepidolita.

As distribuições de Rubídio e Césio, nos feldspatos potássicos, confirmam o esquema evolutivo que pode ser proposto a partir de uma integração dos dados texturais, estruturais e de distribuição dos vários tipos de pegmatitos.

Os corpos que foram denominados de granitos pegmatoides representam a transição entre os granitos e pegmatitos propriamente ditos. Esta situação está de acordo com o modelo genético e evolutivo proposto por JAHNS & BURNHAM (1969) para os pegmatitos graníticos. Segundo estes autores, a primeira etapa da evolução do magma pegmatítico seria "crystallization from hydrous silicate melt, yielding anhydrous solid phases with or without OH-bearing phases. The product is characterized by normal phaneritic textures that generally are coarse grained. It has been termed pegmatite in some occurrences, and granite in others".

Os pegmatitos do tipo simples constituem o primeiro estágio do processo pegmatítico propriamente dito, seguindo-se a

formação dos pegmatitos complexos, nos quais ocorreu a deposição dos minerais de metais raros, particularmente os de Lítio. Na Figura 5.3, resume-se a paragênese dos minerais de Lítio e Césio nos pegmatitos da região de Itinga-Araçuaí.

Fig. 5.3 - PARAGÊNESE MINERAL NOS PEGMATITOS LITINÍFEROS DE ITINGA-ARAÇUAÍ

AGRADECIMENTOS

Agradeço,

À Universidade Federal do Pará que concedeu os meios para a realização do Curso de Pós-Graduação.

Ao Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo que proporcionou os recursos humanos e materiais nesta etapa do meu desenvolvimento científico.

À Coordenação do Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo suporte financeiro, através de bolsa de estudos.

Ao Professor Doutor Reinholt Ellert pela orientação científica, e por todo o apoio pessoal, um dos maiores incentivos para a realização do meu trabalho.

Ao Professor Doutor Koji Kawashita, pela orientação e condução dos trabalhos de Geocronologia.

Ao Doutor Marcos Berenholc, que muito me ajudou na obtenção dos dados de análises químicas.

A todos os professores do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo que, em salas de aulas e nas palestras informais, me transmitiram ensinamentos.

Ao Professor Doutor Evaristo Ribeiro Filho, pela obtenção das fotomicrografias.

Ao Senhor Khalil Afgouni, Diretor-Presidente da Companhia Arqueana de Minérios, que me proporcionou todas as facilidades de acesso à área de trabalho. Aos funcionários desta Companhia, particularmente ao Senhor Leônidas Chaves.

Aos técnicos que trabalham no Instituto de Geociências da U.S.P., em particular à Senhora Melany Thereza Isauk, Senhor Waldemar L. Oliveira, Senhorita Tieca Sato, Senhor Kei Sato, Senhor José Gouvêa, Senhorita Ivone Sonoki, Senhorita Margarida

Martins, Senhor Jaime de Souza Marques. Aos funcionários deste Instituto pela solicitude e colaboração que recebi de todos, em particular à Senhora Aparecida N. Comi.

À Senhora Nair de Campos Louzada e Senhor José Ponchirolli pelos trabalhos de datilografia e composição da Tese.

Ao Senhor Jaime Alves Silva responsável pelos trabalhos gráficos de impressão da Tese.

Ao Instituto Eschwege que, várias vezes, cedeu veículos para os trabalhos de campo.

Aos colegas do Curso de Pós-Graduação que mantiveram o saudável ambiente de debate e companheirismo.

À Esther, que me ajudou de inúmeras formas, muitas para aqui serem citadas.

BIBLIOGRAFIA

- AB'SABER, A.N.-1971- *A Organização Natural das Paisagens Inter e Subtropicais Brasileiras* - III Simpósio sobre o Cerrado, pp.1-14, Ed. Edgar Blucher Ltda e Ed. da USP, São Paulo
- ALMEIDA, F.F.M.de; HASUI, Y. & BRITO NEVES, B.B.-1976- *The Upper Precambrian of South America* - Bol.Inst.Geoc., USP, v.7, pp.45-80
- BARTH, T.F.W.-1962- *Theoretical Petrology* - 2nd ed., John Wiley & Sons, Inc.
- BEUS, A.A. & SITNIN, A.A.-1968- *Geochemical Specialization of Magmatic Complexes as Criteria for the Exploration of Hidden Deposits* - XXIII International Geological Congress, v.6, pp.101-105, Prague
- BEUS, A.A.-1969- *Geochemical Criteria for Assessment of the Mineral Potencial of Igneous Rock Series During Reconnaissance Exploration* - International Geochemical Exploration Symposium, Quaterly of the Colorado School of Mines, v.64, nº1, pp.67-74
- CAMERON, E.N.; JAHNS, R.H.; McNAIR, A.H. & PAGE, L.R.-1949- *Internal Struture of Granitic Pegmatites* - Economic Geology, Mon.2, 115 p.
- CARMICHAEL, I.S.E.; TURNER, F.J. & VERHOOGEN, J.-1974- *Igneous Petrology* - McGraw-Hill Book Company
- CASSEDANNE, J. & GUILLEMIN, Cl.-1971- *Nota sobre as jazidas brasileiras de eosforita e "childrenita"* - Min.Met., v.LIII, nº316, pp.157-160
- CASSEDANNE, J.; GUILLEMIN, Cl. & JOHAN, Z.-1971- *Nota sobre as jazidas de eosforita e "childrenita", Cont.* - Min. Met. v.LIV, nº321, pp.107-109
- CERNY, P. & TURNOCK, A.C.-1971- *Pegmatites of Southeastern Manitoba* - The Geological Association of Canada, Special Paper, nº9, pp.119-127

- CERNY, P. & FERGUSON, R.B.-1972- *The Tanco Pegmatite at Bernie Lake, Manitoba. IV - Petalite and Spodumene Relations* - Canadian Mineralogist, v.11, pp.660-678
- COOPER, D.G.-1964- *The Geology of the Bikita Pegmatite* - in "The Geology of some Ore Deposits of Southern Africa", v.II, pp.441-461
- CORDANI, U.G. & KAWASHITA, K.-1971- *Estudo geocronológico pelo método Rb-Sr de rochas graníticas intrusivas no Grupo Açungui* - Anais do XXV Congresso Brasileiro de Geologia
- CORREIA NEVES, J.M.; LOPES NUNES, J.E. & LUCAS, D.B.-1971- *Mineralogy and Geochemistry of Pegmatites from Mozambique* - Rev.Cienc.Geológicas, Lourenço Marques, v.4, serie A, pp.1-11
- COSTA SENA, J.C.de-1883- *Notícia sobre a Mineralogia e Geologia de uma parte do norte e nordeste da Província de Minas Geraes* - Annaes da Escola de Minas de Ouro Preto, nº2, pp.113-136
- COUTINHO, J.M.V.-1945- *Sobre um topázio de Arassuaí, Minas Gerais* - Fac.Fil.Ciênc-Letras, Univ.São Paulo, Bol.XLIX, Mineralogia nº7
- DALRYMPLE, G.B. & LANPHERE, M.A.-1969- *Potassium-Argon Dating* - W.H.Freeman and Company, San Francisco
- DEER, W.A.; HOWIE, R.A. & ZUSSMAN, J.-1963- *Rock-Forming Minerals* - vols.1,2,3,4 - Longmans, Green and Co.Ltd.
- DERRY, D.R.-1950- *"Lithium-bearing pegmatites in Northern Quebec"* - Economic Geology, v.45, nº2, pp.95-104
- FAURE, G. & POWELL, J.L.-1972- *Strontium Isotope Geology* - Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg
- FERSMAN, A.E.-1931- *Les Pegmatites, leur importance scientifique e pratique* - Acad.Sci.URSS, trad., Univ.Louvain, Belgique, 1951
- FERRAZ, L.C.-1928- *Compêndio dos Minerais do Brasil* - Imprensa Nacional, Rio de Janeiro
- FRANCESCONI, R.-1972- *Pegmatitos da Região de São João Del Rei, MG* - Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, USP, São Paulo

- GINZBURG, A.I.-1960- *Specific Geochemical Features of the Pegmatitic Process, in Minerals and Genesis of Pegmatites* - International Geological Congress, 21st, Part XVII, Copenhagen, pp. 111-121
- GOLDSCHMIDT, V.M.-1954- *Geochemistry* - Oxford University Press
- GRIFFITTS, W.R.-1954- *Beryllium Resources of the Tin-Spodumene Belt, North Carolina* - Geological Survey Circular 309, 12 p.
- HARTT, C.F.-1870- *Geologia e Geografia Física do Brasil* - Tradução, Cap.III, Coleção Brasileira, Série 5a., v.200, Companhia Editôra Nacional, 1941
- HEINRICH, E.W.-1953- *Zoning in pegmatite districts* - Amer.Mineral. v.38, nº1 e 2, pp.68-87
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-1958- *Enciclopédia dos Municípios Brasileiros* - v.XXIV, Minas Gerais, pp.88-93
- JAHNS, R.H.-1955- *The Study of Pegmatites* - Economic Geology, 50th Ann., Part II, pp.1025-1130
- JOHNSTON Jr., W.D.-1945- *Beryl-Tantalite Pegmatites of Northeastern Brazil* - Bull.of the Geological Society of America, v.56, pp.1015-1070
- KAWASHITA, K. et al.-1974- *Método Radiométrico Rubídio-Estrôncio- Procedimento das Análises no Centro de Pesquisas Geocronológicas da Universidade de São Paulo* - Instituto de Geociências, USP, São Paulo
- KUNASZ, I.A.-1975- *Lithium Raw Minerals, in Industrial Minerals and Rocks* - Amer.Inst.Min.Met. and Petroleum Engineers, Inc., pp.791-803
- LANDES, K.K.-1933- *Origin and Classification of Pegmatites* - Amer. Mineral., v.18, nº2, pp.33-56, 95-103
- LEONARDOS, O.H.-1936- *Tântalo, Nióbio, Urânio e Rádio no Brasil* - Min.Agric., DNPM, SFPM, Bol.11, 56 p.
- LEONARDOS, O.H.-1945- *Ocorrências de crisoberilo no Brasil* - Min. Met., v.IX, nº49, pp.29-30
- LINDGREN, W.-1933- *Mineral Deposits* - 4th edition, McGraw-Hill Book Company, Inc., N.York and London

- LOPES NUNES, J.E.-1973- *Contribution à l'étude minéralogique et géochimique des pegmatites du Muzambique* - C. N. R. S. Sciences de la Terre, Mémoire n° 26, Nancy, France
- MASON, B.-1966- *Principles of Geochemistry* - 3rd edition - John Wiley and Sons, Inc.
- MORAES, L.J.-1932- *Área ocupada pela Formação Macahubas no norte de Minas Geraes* - Annaes Acad.Bras.Sci., tomo IV, n°3, pp.111-114, Rio de Janeiro
- MUNOZ, J.L.-1971- *Hydrothermal stability relations of synthetic lepidolite* - Amer.Mineral., v.56, pp.2069-2087
- NEDUMOV, I.B.-1964- *The process of differentiation of pegmatitic melt and the role of tectonics in the formation of rare-metal pegmatites* - International Geological Congress, Report of The Twenty-Second Session, Part VI, pp.116-139, New Delhi, India
- NORTON, J.J.-1973- *Lithium, Cesium and Rubidium - The rare alkali metals* - U.S.Geological Survey, Prof. Paper 820, pp. 365-377
- PAIVA, G.-1946- *Províncias Pegmatíticas do Brasil* - DNPM-Div.Fom. Prod.Min., Bol.78, pp.13-21, Rio de Janeiro
- PARK Jr., C.F. & MacDIARMID, R.A.-1970- *Ore Deposits* - W.H.Freeman and Company, San Francisco
- QUENSEL, P.-1952- *The Paragenesis of the Varutrask Pegmatite* - Geol.Mag., v.89, n°1, pp.49-60
- RANKANA, K. & SAHAMA, Th.G.-1950- *Geochemistry* - The University of Chicago Press
- ROERING, C.-1966- *Aspects of the genesis and crystallization sequence of the Karibib pegmatites, South West Africa* - Economic Geology, v.61, n°6, pp.1064-1089
- ROUTHIER, P.-1963- *Les gisements métallifères*- Tome I, Masson et Cie.
- ROWE, R.B.-1953- *Pegmatitic Beryllium and Lithium Deposits, Preis sac-Lacorne region, Abitibi County, Quebec* - Geological Survey of Canada, Paper 53-3, 35 p.
- SÁ, J.H.S. & SVIZERO, D.P.-1976- *Polucita em pegmatito no Município de Araçuaí, MG* - Resumo, XXIX Congresso Brasileiro de Geologia, Ouro Preto

- SCHALLER, W.T.-1925- *The Genesis of Lithium Pegmatites* - Amer. Journ. Sci., 5th ser., v.10, pp.269-279
- SCHNEIDERHOHN, H.-1961- *Die Erzlagerstätten der Erde - Die Pegmatite* - Band II, Gustav Fischer Verlag - Stuttgart
- SILVA, J.P.-1939- *Nota sobre o topázio de Arassuaí, Minas Gerais*- Fac.Fil.Ciênc-Letras, Univ.São Paulo, Bol.XVIII, Mineralogia nº 3
- SIROONIAN, H.A.; SHAW, D.M. & JONES, R.E.-1959- *Lithium Geochemistry and the Source of the Spodumene Pegmatites of the Preissac-Lacorne region of Western Quebec* - The Canadian Mineralogist, v.6, part 3, pp.320-338
- SLEPNEV, Yu.S.-1958- *Some Peculiarities in the Distribution of Lithium and Rubidium in Certain Granitoids of Yakutia* - Geochemistry, nº2, pp.151-154
- SPIX, J.B.von & MARTIUS, C.F.P.von-1823- *Viagem pelo Brasil* - Segundo volume - Tradução Brasileira, Imprensa Nacional, Rio de Janeiro, 1938
- STEWART, D.B.-1960- *The system $LiAlSiO_4$ - $NaAlSi_3O_8$ - H_2O at 2.000 bars, in Mineral and Genesis of Pegmatites* - International Geol. Congr., 21st, Copenhagen, pp.15-30
- STEWART, D.B.-1963a- *Petrogenesis and Mineral Assemblages of Lithium-rich Pegmatites (Abs.)* - Geol.Soc.America, Special Paper 76, p-159A
- STEWART, D.B.-1963b- *Petrogenesis of Lithium-bearing Pegmatites* - USGS, publicação interna, 19 p.
- TAYLOR, S.R.-1964- *Abundance of Chemical Elements in the Continental Crust: a new Table* - Geochimica et Cosmochimica Acta, v.28, pp.1273-1285
- THOMAZ FILHO, A. & TORQUATO, J.R.-1974- *Método radiométrico Potásio-Argônio. Procedimentos das Análises no Centro de Pesquisas Geocronológicas da Universidade de São Paulo* - Instituto de Geociências, USP, Publicação Interna, São Paulo
- VARLAMOFF, N.-1972- *Central and West African Rare-Metal granitic Pegmatites, related Aplites, Quartz Veins and mineral deposits* - Mineralium Deposita, v.7, pp.202-216

- VARLAMOFF, N.-1969- *The bearing of Tin Minerals and ores in the Weathering zone and the possibility of Geochemical Exploration for Tin* - International Geochemical Exploration Symposium, Quaterly of the Colorado School of Mines, v.64, n°1, pp.479-495
- VARLAMOFF, N.-1954- *Tendances actuelles dans l'étude des pegmatites à travers le monde; revue des travaux sur les pegmatites du Congo Belge et du Ruanda-Urundi; proposition d'une classification des pegmatites du Congo Belge et du Ruanda-Urundi* - Ann.Soc.Géologique de Belgique, Tome LXXVII, pp.B245-B267
- VARLAMOFF, N.-1960- *Relations spatiales entre les granites et les pegmatites en Afrique Centrale* - Ann.Soc. Géologique de Belgique, Tome LXXXIV, n°2, pp.153-162
- VORONTSOV, A.Ye. & LIN, N.G.-1966- *Rubidium and Lithium in the granitoids of the Bugul'min Complex (Eastern Sayans)* - Geocemistry International, v.3, n°6, pp.1108-1116
- WEDEPOHL, K.H.- editor -1972- *Handbook of Geochemistry* - v. II/3, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York
- WINKLER, H.G.G.-1967- *Petrogenesis of metamorphic rocks* - 2nd edition, Springer-Verlag, New York, Inc.

ANEXOS

MAPAS DE ALGUNS DOS PEGMATITOS COMPLEXOS

CONVENÇÕES UTILIZADAS NOS MAPAS DOS PEGMATITOS

ZONA DA PAREDE (PREDOMINÂNCIA DE QUARTZO E MUSCOVITA; GRANULAÇÃO MILIMÉTRICA)

PEGMATITO SIMPLES (FELDSPATO, QUARTZO E MUSCOVITA; GRANULAÇÃO CENTÍMETRICA)

FELDSPATO (CRISTAIS COM DIMENSÕES DE DEZENAS DE CENTÍMETROS)

PETALITA

ESPODUMÊNIO

NÚCLEO DE QUARTZO

MUSCOVITA (PLACAS COM DIMENSÕES DE ATÉ DEZENAS DE CENTÍMETROS)

LEPIDOLITA (GERALMENTE DE GRÃO FINA)

ALBITA

AMBLICHRITA

TURMALINAS (GERALMENTE COLORIDAS)

CONTATO E MERGULHO DO PEGMATITO

XISTO ENCAIXANTE E FOLIAÇÃO

BORDA DE ESCAVAÇÃO

ESCALA HORIZONTAL E VERTICAL

Fig. A.1 - MAPA DO PEGMATITO DA "LAVRA DAS TESOURAS"

Fig. A.2 - MAPA DO PEGMATITO DA "LAVRA DO MAXIXE"

Fig. A.3 - MAPA DO PEGMATITO DA "LAVRA DO MEIO"

FIG. A.4 - MAPA DOS PEGMATITOS DA LAVRA "CACHOEIRA"

Fig. A.5 - MAPA DO PEGMATITO DA "LAVRA DO URUBU"

Foto A.1 - Vista parcial da lavra do "Maxixe", mostrando o lado W do pegmatito e seu contato com o xisto encaixante

Foto A.2 - Vista frontal de um dos corpos da lavra da "Cachoeira", na margem direita do ribeirão Piauí

Foto A.3 - Vista parcial da lavra do "Urubú" mostrando parte da extremidade SW do pegmatito. Nesta secção o corpo mostra o xisto encaixante na capa e na lapa