

Sessão — dia 02/08/77

1. Introdução

2. Trabalhos executados e resultados obtidos

3. Metodologia de Solófer

4. Geologia econômica dos pegmatitos

4.1. Estruturas Internas dos Pegmatitos

4.2. Esquemas de Evolução do Processo Pegmatítico

5. Geologia Geral

6. **“ATIVIDADES DE PROSPECÇÃO DE PEGMATITOS
NO MÉDIO VALE RIO DOCE/MG”**

6.1. Pegmatitos Homogêneos

6.2. Pegmatitos Heterogêneos

6.3. Pegmatitos Híbridos

7. **Prospecção, exploração e lavra de pegmatitos** **MG**

7.1. Prospecção Indireta: Geofísica e Geoquímica

7.2. Prospecção Direta: Guias Mineralógicas

8. Considerações econômicas

Geol. EDIR EDEMIR ARIOLI
Metais de Minas Gerais S.A.

SUMÁRIO

1. **Introdução**
2. **Trabalhos executados e resultados obtidos**
3. **Metodologia de Solodov**
4. **Geologia econômica dos pegmatitos**
 - 4.1. Estruturas Internas dos Pegmatitos
 - 4.2. Esquema de Evolução do Processo Pegmatítico
5. **Geologia Geral**
6. **Classificação preliminar dos pegmatitos do Vale Médio Rio Doce**
 - 6.1. Pegmatitos Homogêneos
 - 6.2. Pegmatitos Heterogêneos
 - 6.3. Pegmatitos Híbridos
7. **Prospecção, exploração e lavra de pegmatitos**
 - 7.1. Prospecção Indireta: Geofísica e Geoquímica
 - 7.2. Prospecção Direta: Guias Mineralógicos
8. **Considerações econômicas**

1. INTRODUÇÃO

Das províncias do Brasil, o Estado de Minas Gerais engloba quase completamente a mais extensa, denominada PROVÍNCIA ORIENTAL, cujo extremo setentrional invade o Estado da Bahia e pequena porção sudoriental excede os limites com o Espírito Santo. As demais províncias pegmatíticas brasileiras são a NORDESTINA (Ceará, Rio Grande do Norte e Paraíba) e a MERIDIONAL (São Paulo).

No que se refere à Província Pegmatítica Oriental, seu interesse econômico remonta aos fins do Século XVI, no início do Ciclo das Bandeiras, quando os exploradores paulistas demandavam ao interior de Minas Gerais em busca de ouro e pedras preciosas, especialmente esmeraldas e diamantes. A partir já daquela época, desenvolveu-se nos vales dos Rios Jequitinhonha e Doce uma intensa atividade garimpeira, com centros principais de comércio estabelecidos em Teófilo Otoni e Governador Valadares, respectivamente.

À exceção de raras empresas estabelecidas com lavras semimecanizadas (em quase totalidade de capital norte-americano e voltadas para a extração do berilo, muscovita, feldspato e minerais de lítio), a exploração dos depósitos desta província tem sido desenvolvida através dos séculos de forma rudimentar e predatória. Durante a Segunda Guerra Mundial, a região de Governador Valadares supriu o maior volume dos estoques estratégicos norte-americanos de berilo e muscovita. Da mesma forma, atualmente a produção de minerais de lítio (espodumênio e amblygonita, principalmente) serve totalmente às necessidades daquele país.

Não existindo no Brasil nenhuma espécie de beneficiamento para os minérios de pegmatitos, à exceção de muscovita e britagem de feldspato para cerâmica, implantou a METAMIG um projeto de pesquisa com o objetivo final de definir as potencialidades econômicas da província e, se possível, estabelecer reservas mínimas de berilo para o planejamento de sua industrialização dentro de nosso país. De uma maneira mais ampla, o projeto visa fundamentalmente os seguintes objetivos:

- Reconhecimento e cadastramento dos pegmatitos da Província Oriental, dentro do Estado de Minas Gerais.
- Definição de distritos pegmatíticos de acordo com suas respectivas vocações minerais.

- Desenvolvimento de técnicas de prospecção e lavra de corpos pegmatíticos.
- Desenvolvimento de técnicas para aproveitamento integral dos pegmatitos, justificando se possível a implantação de outras indústrias de processamento dos produtos minerais, especialmente lítio.
- Estabelecer um controle sobre a produção de pedras coradas.
- Estabelecer parâmetros que sirvam de suporte à penetração da iniciativa privada na região.
- Desenvolvimento de estudos de mercado para colocação dos produtos a serem extraídos e beneficiados.

2. TRABALHOS EXECUTADOS E RESULTADOS OBTIDOS

Durante a fase preliminar do projeto, até fins de 1975, foram desenvolvidas as seguintes atividades pela equipe da METAMIG:

- Cadastramento preliminar de pegmatitos na região de Araçuaí-Itinga, no Vale do Rio Jequitinhonha.
- Cadastramento preliminar de pegmatitos na região de Galiléia-Conselheiro Pena, no vale do Médio Rio Doce.
- Desenvolvimento de pesquisa específica dentro de uma área selecionada no município de Galiléia. Esta pesquisa está sendo concluída na fase atual do projeto, com abertura de galerias, poços e trincheiras de exploração.
- Instalação de residência em Galiléia, para suprimento de apoio logístico à segunda fase do projeto.

Destas atividades desenvolvidas, obtivemos fundamentalmente os seguintes resultados:

- Seleção de áreas para execução de trabalhos de detalhe. A região de Galiléia-Conselheiro Pena foi então escolhida como área-piloto para a aplicação dos métodos de trabalho a serem testados. Dentro desta área, módulos de interesse foram individualizados para fins de detalhamento das pesquisas.
- Estabelecimento preliminar da vocação mineral de distritos pegmatíticos específicos. Pode-se dizer, sumariamente, que os pegmatitos do Jequitinhonha têm vocação predominantemente litinífera, enquanto os do Rio Doce são mais berilíferos. Ressalve-se, contudo, que esta diferenciação é preliminar e não exclusiva, pois o que parece

haver (faltam dados mais específicos para a definição desta questão) é apenas a predominância de Li ou Be em cada uma das regiões.

A segunda fase do projeto teve seu início em janeiro deste ano e envolveu a execução das seguintes atividades:

- Revisão parcial do mapeamento geológico executado por A.L.M. de Barbosa e colaboradores (1964), em escala 1:40.000, nas folhas de Barra do Cuieté e Conselheiro Pena.
- Confecção de base planimétrica, em escala de 1:60.000, de uma área de 1.134 km² na folha de Governador Valadares, entre Galiléia e Mendes Pimentel.
- Execução do mapa geológico preliminar da mesma área e na mesma área e na mesma escala.
- Cadastramento e descrição geológica de 133 pegmatitos distribuídos nas folhas de Barra do Cuieté, Conselheiro Pena e Governador Valadares.
- Amostragem específica de 22 corpos pegmatíticos para análise geoquímica de elementos menores (B, Be, Ce, Cs, Li, Rb, Sn e Y) nos feldspatos, quartzos, micas, turmalinas e amblygonita.
- Seleção de 4 pegmatitos para lavra experimental.
- Pesquisa bibliográfica sobre geologia, geoquímica e lavra de pegmatitos da União Soviética, Europa, Ásia, África, América do Norte e Austrália.

O desenvolvimento destas atividades, que ocupou o primeiro semestre deste ano, procurou dar ênfase especial ao conhecimento geológico geral da província pegmatítica, ao comportamento geoestrutural de seus depósitos de minério e à obtenção de dados preliminares sobre a geoquímica de elementos menores, indispensável à prospecção de pegmatitos.

Dos 4 corpos apresentados para fins de lavra experimental, foi selecionado o que preenchia mais convenientemente os seguintes critérios:

- Representatividade regional, isto é, o corpo a ser lavrado deveria funcionar como uma amostra representativa de pelo menos um tipo econômico de pegmatito da província.
- Localização topográfica favorável a uma lavra a céu aberto, a fim de que a dissecação completa do pegmatito permitisse o estudo de toda sua estrutura interna e o conhecimento detalhado da distribuição de seus minerais econômicos.

- Facilidade de acesso, a fim de minimizar os custos da pesquisa.
- Índícios geológicos de interesse econômico, tais como fenômenos de substituição pneumatolítica, forte diferenciação interna e minerais exploráveis (arrojadita, por exemplo, é um fosfato complexo que indica presença de berilo).
- Volume de corpo razoavelmente avaliado, a fim de evitar o desenvolvimento da pesquisa sobre um corpo insuficientemente conhecido.

Evidentemente, antes de iniciarmos a lavra propriamente dita, procedemos uma exploração através de galerias, que está ainda em andamento, para determinação mais precisa do comportamento geoestrutural do pegmatito. Os trabalhos de lavra experimental deverão iniciar em janeiro de 1977.

Paralelamente a esta pesquisa, estamos iniciando a aplicação também experimental, de um método de pesquisa geoquímica, bastante promissor, desenvolvido na União Soviética pelo acadêmico N. A. SOLODOV e cujos resultados foram publicados no periódico GEOCHEMISTRY entre 1958 e 1960.

3. METODOLOGIA DE SOLODOV

Como resultado de cerca de 10 anos de pesquisas geológicas e geoquímicas desenvolvidas nas províncias pegmatíticas da Península de Kola e dos Montes Altai, Solodov estabeleceu uma metodologia de trabalho para a caracterização das potencialidades econômicas dos depósitos de metais raros nos pegmatitos. O primeiro fator de importância desta pesquisa é representado pela semelhança geológica entre a Província de Kola e a Província Pegmatítica Oriental Brasileira. Assim como em nossa província, na Península de Kola os pegmatitos ocorrem encaixados em xistos biotíticos, com anfibolitos subordinados, dentro de uma faixa de 2 a 8 km de largura que se estende por centenas de km, com direção geral NW, entre corpos sintectônicos-sinmetamórficos de rochas granitóides estruturalmente gnáissicas.

As investigações de Solodov levaram à caracterização de 4 tipos de pegmatitos, feita em função de seus minerais essenciais, isto é, os que compõem com o quartzo nunca menos de 90-95% do volume dos corpos: microclíneo, albita e espodumênio. Sua classificação inclui desta maneira, os seguintes tipos de pegmatitos:

Tipo I — Pegmatitos a Microclíneo

Tipo II — Pegmatitos a Albita-Microclíneo

Tipo III — Pegmatitos a Albita

Tipo IV — Pegmatitos a Albita-Espodumênio

Cada um dos tipos caracteriza-se por uma zonalidade mineralógica própria e, principalmente por categorias específicas de mineralizações a metais raros. Da mesma forma, cada um deles pode ser identificado por um comportamento geoquímico específico.

Assim, os corpos do Tipo I incluem pequenos teores do berilo, mas concentrados em grandes cristais na zona de microclíneo maciço que apresentam em torno do núcleo de quartzo leitoso, o que permite o desenvolvimento de pequenas lavras semimecanizadas com separação manual de berilo.

Nos pegmatitos do segundo tipo, o berilo aparece em depósitos complexos e disseminados em várias zonas, com espodumênio, polucita e tantalita, podendo ser aproveitado como subproduto da lavra de feldspato.

Os pegmatitos a albita, do Tipo III, representam as fontes mais importantes de berilo e columbita-tantalita, estando estes minerais concentrados nas zonas de albitização secundária, que constituem o maior volume dos corpos.

Dos pegmatitos do quarto tipo se extraem as maiores produções de minerais litiníferos, principalmente espodumênio, mas não são importantes como fontes de berilo.

O aspecto mais importante dos trabalhos de Solodov consiste na definição de parâmetros geoquímicos e mineralógicos específicos para cada tipo de pegmatito, o que aliado à zonalidade característica de cada um, permite a avaliação de suas potencialidades econômicas sem a necessidade de extensos trabalhos de exploração geológica. As investigações de Solodov provaram em outras palavras, que as mineralizações pegmatíticas obedecem a leis geoquímicas e geológicas perfeitamente determináveis para cada província e que é possível a sua prospecção racional pelos métodos convencionais da ciência geológica. Isso contradiz a opinião generalizada, pelo menos em nosso país, de que pegmatito é depósito para garimpo e que uma lavra racional não tem condições para ser planejada sobre um corpo deste tipo.

A metodologia de estudo que estamos testando, inclui de maneira sumária, as seguintes etapas de trabalho:

Descrição petrográfica detalhada das estruturas internas do pegmatito.

Avaliação da composição mineralógica percentual de cada unidade estrutural (zona, preenchimento de fratura ou corpo de substituição).

Avaliação do volume relativo de cada unidade dentro do corpo.

Amostragem dos minerais essenciais de cada zona para determinação de elementos-traços, com coleta de cerca de 10 amostras de cada mineral por unidade estrutural.

Análise de metais raros em cada fração monominerálica. Quando necessário, as frações monominerálicas são separadas sob lupa binocular.

Cálculo das médias ponderadas de metais raros em cada unidade do pegmatito, utilizando como pesos as percentagens de cada mineral dentro da unidade analisada.

Cálculo das médias ponderadas de metais raros no pegmatito, empregando como pesos as percentagens volumétricas das unidades estruturais.

Classificação do corpo dentro do esquema de Solodov ou estabelecimento de uma tipologia própria à nossa província.

Esta seqüência de pesquisa será aplicada sobre os corpos mais representativos e geologicamente conhecidos da província, de modo a se chegar a parâmetros mineralógicos e geoquímicos generalizáveis aos depósitos da região. Evidentemente, a aplicação desta metodologia de trabalho será acompanhada de um confronto contínuo como os conhecimentos adquiridos através de outros pesquisadores, principalmente Fersman, Ginsburg e Cameron, utilizados pelo próprio Solodov.

Em relação a esta pesquisa, é importante que se ressalte o seguinte: ela oferece não apenas uma classificação petrográfica ou geoquímica dos pegmatitos, mas define uma metodologia de trabalho a ser aplicada. Isto é, mais importante do que a própria tipologia de Solodov, é a especificação de métodos de descrição, amostragem, análise e interpretação dos pegmatitos e seus minérios exploráveis.

4. GEOLOGIA ECONÔMICA DOS PEGMATITOS

Pegmatitos são corpos de rochas com feições tão peculiares que qualquer discussão a respeito de sua economia exige considerações preliminares, a título de revisão, sobre pelo menos os seguintes aspectos:

estruturas internas e esquema de evolução geoquímica. Definidos tais elementos de sua geologia, podemos abordar as questões relativas a mineralizações econômicas e sua distribuição dentro dos corpos.

4.1 Estruturas Internas dos Pegmatitos

A feição mais característica de um corpo pegmatítico é, sem dúvida sua constituição interna em forma de unidades petrográficas mais ou menos concêntricas, isto é, um zoneamento que reflete as peculiares condições de cristalização do pegmatito. Cameron e colaboradores (1949) estabeleceram uma classificação muito prática para as unidades estruturais destes corpos, de aplicação generalizada no mundo inteiro e plenamente aplicável às nossas províncias.

Distinguem-se fundamentalmente três categorias de unidades estruturais, dentro de um pegmatito:

4.1.1. Preenchimento de Fraturas

Unidades geralmente tabulares, formadas pela cristalização de minerais em fraturas abertas de pegmatitos já consolidados. Quartzo é o mineral de preenchimento mais comum, mas aparecem também cleavelandita, albita, pertita, microclíneo, muscovita e flogopita. Os minerais acessórios são os normalmente encontrados nas zonas dos pegmatitos, principalmente nas intermediárias: berilo, espodumênio, columbitantalita, cassiterita, etc. Sua composição normalmente reflete a composição da zona em que se inclui.

4.1.2. Corpos de Substituição

Formados pela substituição pneumatolítica de minerais previamente cristalizados nos pegmatitos, com ou sem controle estrutural evidente. Podem restringir-se aos limites de um único cristal (substituição isomorfa de afrita por biotita, por exemplo) ou formarem bolsões de formas diversas (bolsões lenticulares ou irregulares de muscovita, cleavelandita e quartzo em substituição ao feldspato).

4.1.3. Zonas

Envoltórios concêntricos, completos ou não, que refletem em vários graus a forma e/ou estrutura do próprio corpo. Algumas unidades concêntricas, entretanto não são zonas propriamente ditas mas pertencem às outras categorias. A distinção entre zonas e corpos e substituição nem sempre pode ser feita com facilidade, embora difiram fundamentalmente em origem e significância. Existem quatro tipos de zonas, denominadas dos

contatos para o centro: zona de contato, zona de parede, zonas intermediárias e núcleo. A distinção entre elas pode ser feita em função de variações texturais e/ou mineralógicas dos pegmatitos.

4.1.3.1. Zona de Contato

A zona de contato forma uma auréola em torno das zonas internas do pegmatito, com uma textura geralmente aplítica ou pegmatítica muito fina (menos de 0,5 cm de diâmetro). Sua espessura é comumente inferior a 7-8 cm e raramente excede meio metro, podendo manter-se constante, irregular ou descontínua em torno do corpo. Seus limites com a encaixante são geralmente nítidos, mas mostram-se caracteristicamente gradacionais em pegmatitos formados dentro de granitos e gnaisses ou por substituição parcial ou total das encaixantes.

Seus minerais essenciais são normalmente feldspato, quartzo e muscovita. Os acessórios podem incluir quaisquer minerais das outras zonas, mas afrisita, berilo e granada são os mais freqüentes. As proporções entre esses minerais variam grandemente de pegmatito para pegmatito. É comum que esta zona contenha os mesmos minerais da zona de parede, diferindo nas proporções entre eles e na textura caracteristicamente mais fina.

Mudanças na concentração de mineral ao longo da direção ou mergulho de uma zona de contato são acompanhadas por variações semelhantes dentro da zona de parede adjacente. Estas variações podem ser vistas em certos pegmatitos como reflexos de mudanças na composição das rochas encaixantes. Algumas zonas de contato, ainda, parecem ter uma composição global do pegmatito e podem ser então interpretadas como "margens congeladas". Muitos pegmatitos mostram os minerais de suas zonas de contato, mais visivelmente as micas e minerais prismáticos, em arranjos perpendiculares às encaixantes, mas não são raros os corpos em que este arranjo é paralelo aos contatos.

4.1.3.2. Zona de Parede

Geralmente mais grosseira e espessa do que a zona de contato adjacente, ela representa uma graduação textural e mineralógica entre esta e as zonas intermediárias. Embora sua espessura possa constituir uma pequena fração do corpo total, ela reflete de modo geral o comportamento espacial do pegmatito. Pode ser contínua e simétrica em relação ao núcleo, bem como descontínua e assimétrica.

Nos pegmatitos homogêneos, além de uma fina zona de contato a massa total dos corpos é geralmente formada por uma zona de parede com ou sem núcleo quartzoso. O interesse econômico desta unidade reside na eventual presença de muscovita e berilo, comumente concentrados em por-

ções dilatadas da zona. Além destes minerais e da afrista, que pode atingir dimensões bem maiores do que os demais constituintes, a zona de parede contém plagioclásio, pertita, quartzo e menos comumente biotita, apatita e outros fosfatos, columbita-tanalita e granadas. As paragéneses mistípicas são: plagioclásio-quartzo, plagioclásio-quartzo-muscovita, plagioclásio-quartzo, pertita-quartzo e plagiocásico-pertita-quartzo-muscovita.

Segundo Cameron e colaboradores (1949), os pegmatitos ricos em muscovita na zona de parede geralmente contêm quartzo com plagioclásio (andesina e albita), os pegmatitos produtores de minerais de lítio têm zonas de parede com quartzo e albita, com ou sem muscovita, e os pegmatitos fornecedores de feldspato comercial têm estas zonas constituídas por plagioclásio-quartzo, pertita-quartzo ou pertita-quartzo-plagioclásio.

4.1.3.3. Zonas Intermediárias

São todas as zonas compreendidas entre a zona de parede e o núcleo. São menos comuns que as demais, pois a maioria dos pegmatitos têm apenas zona de contato e núcleo ou zona de contato, zona de parede e núcleo. Muitos corpos, por outro lado, apresentam até 4 ou 5 zonas intermediárias. São também comuns os casos de zonas intermediárias individualizadas que se aglutinam em certas porções do pegmatito, formando unidades texturais e petrográficas híbridas entre as zonas combinadas.

Sua espessura depende em grande parte das dimensões do próprio corpo e da espessura da zona de parede. Elas podem aparecer como simples faixas nominerálicas (de pertita ou muscovita, por exemplo) ou formarem unidades espessas e mineralogicamente complexas.

Podem envolver completamente o núcleo ou formarem capas incompletas, simétricas ou não ao núcleo.

Nos pegmatitos dotados de 3 ou mais zonas intermediárias é comum que as externas sejam completas e as internas envolvam uma pequena porção do núcleo.

Seus contatos com as zonas mais externas são geralmente nítidos e com as mais internas, nítidos ou gradacionais. As composições mineralógicas variam mais do que nas zonas de parede. Nos pegmatitos sem lítio elas raramente são mais do que três, formadas por pertita ou combinações de plagioclásio, pertita, quartzo, muscovita e biotita.

Nos pegmatitos litiníferos acrescentam-se a estes minerais ambligonita, espodumênio e/ou lepidolita.

As texturas são normalmente muito grosseiras (0,30 a 1,00 m) ou maciças (acima de 1,00 m de diâmetro). Grandes bolsões de muscovita e cleavelandita, formados pela substituição dos feldspatos por soluções pneumatolíticas residuais, podem atingir vários metros de diâmetro.

4.1.3.4. Núcleo

O núcleo de um pegmatito é geralmente simétrico aos seus contatos laterais, mas assimétrico aos contatos superiores e inferiores. As irregularidades de espessura do corpo são refletidas pelo comportamento do núcleo. Desta maneira, ele pode desaparecer nas porções adelgaçadas do pegmatito e se desenvolver nas dilatações, à semelhança do que ocorre com as zonas intermediárias.

Núcleos simétricos são mais comuns em pegmatitos de estrutura simples e com pequenas quantidades de minerais litiníferos, quando existentes. Quando há várias zonas intermediárias, eles tendem a diferir morfológicamente do corpo total. Nos pegmatitos tabulares os sinuosos o núcleo é representado por uma série de lentes de quartzo leitoso alinhadas segundo seu plano de simetria.

As composições mais comuns dos núcleos incluem quartzo maciço, pertita maciça ou ambos em intercrescimento gigantescos. Os núcleos maciços são mais comuns nos pegmatitos polizonados, enquanto que nos corpos estruturalmente simples a sua textura é apenas ligeiramente mais grosseira do que nas zonas circundantes.

A figura nº 1 ilustra em bloco-diagrama o comportamento espacial das zonas típicas de um pegmatito fusiforme, segundo concepção de Cameron e colaboradores (1949).

4.2. Esquema de Evolução do Processo Pegmatítico

Apoiado nos estudos teóricos de Niggli (1920) sobre a evolução do processo pegmatítico e nas suas próprias observações das províncias européias e asiáticas, Fersman (1931) estabeleceu um esquema de fases de cristalização que se correlaciona em linhas gerais com a morfologia estrutural descrita anteriormente. Nem sempre é possível estabelecer com clareza esta correlação, mas ela funciona como elemento de informação sobre o comportamento das mineralizações pegmatíticas.

A tabela nº 1 resume as características do esquema de Fersman, indicando os tipos de texturas e unidades estruturais mais comumente associadas.

Cabe observar que as fases magmática, epimagmática e pegmatítica apresentam todas as características de uma cristalização ígnea normal, enquanto as fases pegmatóide e pneumatolítica são tipicamente resultantes de fenômenos de reação entre fluídos hipercríticos residuais e minerais já formados. A fase hidrotermal, por seu lado, corresponde a deposição tranqüila e ordenada de minerais sob temperaturas sucessivamente mais baixa, a partir de soluções aquosas.

5. GEOLOGIA GERAL

A região de Galiléia — Mendes Pimentel, caracteriza-se em primeira mão por apresentar um seqüência de rochas metamórficas cortadas atualmente por um estágio de erosão do nível em a endo-batolítico.

Caracteriza-se por uma seqüência de epimetamorfitos de alto grau, fácies anfibolítica, onde aparecem quartzo-biotita-xisto com granada e estauroлита a uma seqüência de rochas granitóides de composição variável desde quartzo-diorito atonalito passando por granodioritos até granitos verdadeiros.

O pacote de mica-mixto foi denominado de Formação São Tomé, enquanto que as rochas granulares receberam várias denominações baseadas em sua composição e local de ocorrências.

Com relação à composição média os mica-xistos apresentam:

- quartzo
- biotita
- muscovita
- plagioclásio
- granada
- estauroлита

As rochas granulares apresentam uma composição dada por:

- quartzo
- plagioclásio
- feldspato
- biotita

- muscovita
- granada

que variam em proporções diversas acarretando a formação de uma série de tipos petrográficos de rochas granitóides.

Estruturalmente as rochas exibem um padrão complexo de dobramentos sendo possível reconhecer nos mica-xistos um mínimo de três planos de xistosidade.

Os tipos de dobras mais comum são insoclinais de flancos longos e charneiras curtas com atitude preferencial em N30 - 40W e mergulhos acentuados de 75° - 85° NE.

As relações de contato xisto/rocha granular são variáveis observando-se:

- passagem gradacional de um tipo para outro
- relictos de xistos na forma de blocos com até 3 m de diâmetros e paralelos à orientação das rochas granitóides
- contato brusco sem manifestação de metamorfismo de contato
- autólitos de biotita-xistos perfeitamente orientados e parcialmente feldspatizados
- intercalação mica-xisto e rocha granular que atinge largura superior a 1 km, constituindo praticamente uma unidade mapeável.

Os pegmatitos se localizam preferencialmente no mica-xisto e na região do contato xisto/rocha granitóide. Alguns também são encontrados nas rochas granulares sendo em geral destituídos de interesse econômico.

Sem querermos discutir o problema genético, pensamos ser possível explicar a situação geológica da área, conforme dito no início, unicamente através do nível de erosão a que está submetida.

6. CLASSIFICAÇÃO PRELIMINAR DOS PEGMATITOS DO VALE MÉDIO RIO DOCE

Toda classificação economicamente útil que se pretenda estabelecer para os depósitos minerais, especialmente pegmatitos, deve basear-se em parâmetros estruturais, mineralógicos, petrográficos e/ou geoquímicos.

Divisões parciais, isto é, fundamentadas em um ou dois destes critérios, serão sempre incompletas e de escasso valor prático.

Por outro lado, as informações registradas e aplicadas à classificação dos depósitos minerais deverão ser estatisticamente abundantes e solidamente fidedignas. Depreende-se disto que qualquer sistematização pretendida exige extensos trabalhos de mapeamento geológico, prospecção e exploração, executados por uma equipe técnica suficientemente treinada. No caso específico da Província Pegmatítica Oriental, avaliamos que resultados desta natureza exigirão pesquisas geológicas durante pelo menos 3 anos, com a descrição petrográfica detalhada de centenas de corpos, amostragem geoquímica de suas unidades estruturais, centenas de medidas estruturais de encaixantes, etc.

Por estes motivos, não dispomos atualmente das informações necessárias a sua classificação objetiva e econômica dos pegmatitos do Vale do Médio Rio Doce. Apresentamos, entretanto, uma divisão preliminar e sumária, baseada exclusivamente em observações de campo, desligadas de análises estatísticas e métodos de laboratório, com o propósito de ilustrar os tipos mais característicos dos pegmatitos já pesquisados dentro da área-piloto do Projeto Berilo.

Distinguimos basicamente três tipos de corpos: pegmáticos homogêneos, pegmatitos heterogêneos e pegmatitos híbridos.

6.1. Pegmatitos Homogêneos

São corpos via de regra tabulares ou ramificados (denominados "complexos"), constituídos por zonas de contato e de parede, com ou sem núcleo. As zonas de contato, se individualizadas são milimétricas e aplíticas, com a mesma composição da zona parede, que é uma mistura pegmatóide de feldspato alcalino, quartzo, muscovita e afrisita. Os acessórios são berilo, granadas, biotita, flogopita, vermiculita, apatita, etc. O núcleo, se existente, é representado por lentes irregulares de quartzo leitoso, alinhadas segundo o plano mediano do corpo. Em pegmatitos pequenos foram descritos núcleos formados por faixas de muscovita e/ou afrisita mais grosseiras do que os minerais da zona de parede e disposta subperpendicularmente aos contatos.

Estes corpos podem ser concordantes ou não com a folheação principal dos xistos encaixantes. Dentro das rochas granitóides, geralmente preenchem fraturas sub-horizontais e raramente são concordantes com sua estrutura gnaissóidica.

Este tipo de pegmático não tem posição estratigráfica preferencial, ou pelo menos ela não foi ainda identificada, mas aqueles que ocorrem mais

próximos aos contatos dos xistos com as rochas granitóides parecem ser produtores de turmalinas, concentradas em bolsões cuja posição dentro dos corpos ainda não pudemos verificar.

Algum berilo pequeno e de valor exclusivamente industrial pode aparecer disseminado e é explorado pelos garimpeiros em certos locais. Mas os teores são muito baixos e, a rigor, não têm interesse econômico estes corpos.

6.2. Pegmatitos Heterogêneos

São corpos que, além das zonas normais dos pegmatitos homogêneos, apresentam zonas intermediárias e corpos de substituição. As zonas intermediárias são geralmente 2 ou 3, raramente 1 ou 4, com textura muito grosseira a maciça. Sua composição é formada à base de feldspato (microclíneo, pertita e/ou albita), com muscovita, quartzo, afrisita, berilo, espodumênio, ambligonita, lepidolita, arrojadita, trifilita, minerais de urânio, columbita-tantalita, etc.

Aparentemente, as zonas intermediárias internas são mineralogicamente mais complexas e incluem maior número de corpos de substituição do que as externas. Os minerais de metais raros (Be, Li, Nb, Ta, Rb, Cs, etc.) concentram-se preferencialmente nas zonas que envolvem o núcleo e alguns deles, como o berilo e o espodumênio, penetram-no parcialmente.

Dentro destas zonas distribuem-se os corpos de substituição pneumatolítica, que são bolsões grosseiramente lenticulares, com diâmetros de decímetros até 3-5 metros, textura geralmente fina a média e composição que normalmente inclui vários destes minerais: muscovita, quartzo, albita (clevenladita), lepidolita, cassiterita, berilo, pedras coradas em geral, etc.

São estas unidades (zonas intermediárias e corpos de substituição) que tornam os pegmatitos heterogêneos economicamente importantes, por suas concentrações de minerais raros e/ou gigantesco cristais de feldspatos comerciáveis.

6.3. Pegmatitos Híbridos

Esta denominação é provisória e representa uma tentativa de classificar pegmatitos que incluem indícios de diferenciação petrográfica e geoquímica, sem apresentarem, no entanto, uma zonalidade definida. Não podem ser considerados homogêneos porque revelam fenômenos de diferenciação pegmatítica e não são heterogêneos por causa da ausência das zonas típicas destes corpos.

São pegmatitos formados essencialmente por uma zona de parede de textura muito variada, de muito fina a média, que envolve blocos dispersos e caoticamente distribuídos, aparentemente pertencentes a um zoneamento anterior. A zona de parede é uma massa pegmatóide à base de quartzo, microclíneo (ou pertita), muscovita e abundante afrisita fina. Os bolsões são decimétricos, formados por granito gráfico (raramente encontrado nos outros tipos de pegmatitos, mas sempre presente nestes), albita, quartzo leitoso, microclíneo de zona intermediária (grosseiro e puro, sem inclusões), etc.

A impressão que se tem, ao examinar um corpo deste tipo, é de que um zoneamento pré-existente foi mecanicamente destruído e sucedido por recristalização de uma matriz pegmatítica sob novas condições termodinâmicas. Possivelmente, estes corpos formaram-se sob condições de instabilidade tectônica.

7. PROSPECÇÃO EXPLORAÇÃO E LAVRA DE PEGMATITOS

Como ilustração final do tema, fornecemos aqui algumas informações sobre os métodos e guias adotados na pesquisa e lavra de pegmatitos.

7.1. **Prospecção Indireta: Geofísica e Geoquímica**

Métodos de prospecção geofísica já foram testados na pesquisa de corpos pegmatíticos, especialmente eletro-resistividade e cintilometria. Segundo as informações de que dispomos, os perfis de eletro-resistividade não foram satisfatoriamente interpretados. A cintilometria revelou-se totalmente incapaz de apontar anomalias sobre os pegmatitos pesquisados por nossa equipe, apesar da concentração natural de elementos radiativos na cristalização destes corpos. Os halos de dispersão secundária que esperávamos detectar nas encaixantes e cobertura de solo não foram registrados.

Talvez os métodos sísmicos possam ser utilizados na delimitação de corpos em subsuperfície e pretendemos testá-los nos próximos meses.

A prospecção geoquímica funciona perfeitamente como método indireto de localização de pegmatitos e já foi empregada em praticamente todas as províncias do mundo. Ela envolve determinações de elementos-traços em rochas ou sedimentos, dependendo das condições regionais de clima, cobertura de solo, nível de erosão, etc. Os elementos utilizados como guias são: B, Be, Li, Rb, Cs, Nb, Ta, Y, U, Th, Sn, etc.

Estes mesmos elementos são analisados nos minerais de pegmatitos nas pesquisas de comportamento geoquímico do processo pegmatítico e,

conseqüentemente, classificação dos corpos de uma província, como fez N.A. Solodov na União Soviética.

7.2. **Prospecção Direta: Guias Mineralógicos**

Existem critérios de prospecção utilizados pelos garimpeiros na avaliação das potencialidades dos pegmatitos que são plenamente confirmados pela bibliografia especializada. Citamos os mais importantes.

Arrojadita: é indício de berilo e água-marinha.

Quartzo facetado (bipiramidado): também é indício de berilo.

Lepidolita: indica a culminância da fase lítica isto é, dos processos de substituição pneumatolítica e, conseqüentemente, corpos altamente mineralizados.

Turmalinas: agulhas de turmalinas translúcidas (a afrisita normalmente não o é) indicam bolsões de rubelita, acroíta, elbaíta, etc. Os garimpeiros seguem as fraturas preenchidas pelas agulhas até os bolsões.

Albita (clevelandita): os corpos albitizados são os que mais produzem berilo e columbita.

8. CONSIDERAÇÕES ECONÔMICAS

Os pegmatitos da área apresentam dimensões que variam desde centímetros até mais de centenas de metros. As três dimensões reais nos pegmatitos maiores são difíceis de estabelecer devido as exposições serem insuficientes ou então por terem sido trabalhados apenas superficialmente.

Deve ser levado em conta também que apesar dos trabalhos garimpeiros executados a maioria dos pegmatitos foi apenas tocado superficialmente, em parte os mais alterados, sendo que os inalterados praticamente permanecem virgens.

Procuramos demonstrar com números a rentabilidade de um pegmatito, desde que houvesse um mercado para as matérias-primas produzidas.

O exemplo é verídico e trata-se de uma área pesquisada através de poços, trincheiras e galerias, o que permitiu a medição de 100.000 m³ de rocha pegmatítica.

Nesta área durante os trabalhos de pesquisa observou-se os minerais produzidos e seus percentuais, a saber:

- Feldspato: 200 kg/m³
- Berilo: 5,4 kg/m³
- Quartzo: 0,10 kg/m³
- Mica: 10 mg/k³
- Lítio (espodumênio): Não computado
- Pedras coradas: Não computado
- Peças de coleção: Não computado

Estes percentuais indicam a seguinte reserva por substância:

- Feldspato: 20.000 t
- Berilo: 540 t
- Quartzo: 10 t
- Mica: 1.000 t

O custo de lavra calculado para desmonte diário de 144 m para um turno de 8 horas e depreciação para 5 (cinco) anos apresentou a seguinte composição de custo por m³:

• Perfuratrizes:	Cr\$ 0,31
• Ar comprimido:	Cr\$ 2,73
• Brocas integrais:	Cr\$ 5,95
• Explosivos e Acessórios:	Cr\$ 3,66
• Mão-de-Obra:	Cr\$ 5,74
• Transporte:	Cr\$ 3,07
	<hr/>
• SUBTOTAL:	Cr\$ 21,46
• Administração 35%:	Cr\$ 7,51
	<hr/>
• TOTAL:	Cr\$ 28,97

Considerando-se uma operação de 250 dias anuais teremos a seguinte produção e custo operacional:

$P = 144 \times 250 = 36.000$ m de rocha pegmatítica que forneceria:

- Feldspato = 7.200 t
- Berilo = 194,4 t
- Mica = 360 t

Custo operacional = $36.000 \times 28,97 = \text{Cr\$ } 1.042.920,00$.

Com relação ao preço de venda na boca da mina das substâncias, o feldspato é o que mostra maior variação desde um mínimo de Cr\$ 50,00/t até o máximo de Cr\$ 180,00/t. O berilo mantém preço em alta estando cotado desde Cr\$ 2,70 até acima de Cr\$ 3,00/kg enquanto que a mica mantém um preço mínimo de Cr\$ 20,00 até acima de Cr\$ 100,00/kg.

Com estes dados poderemos calcular o resultado operacional e lucro anual considerando um preço médio para feldspato de Cr\$ 100,00/t, berilo de Cr\$ 2,70/kg e mica Cr\$ 35,00/kg. Assim teremos:

• Feldspato	$= 7.200 \times 100 =$	720.000,00
• Berilo	$= 195 \times 2.700 =$	526.500,00
• Mica	$= 320 \times 35.000 =$	11.200.000,00
	<hr/>	
	TOTAL	$= 12.446.500,00$ (1)
• Extração	=	1.042.920,00 (2)
• Resultado Operacional 1-2	=	11.403.580,00 (3)
• IUM + Royalties (15% + 2%) 0,17 \times 12.466.500,00	=	2.155.950,00 (4)
• Lucro antes do Imposto de Renda 3-4	=	9.287.630,00 (5)
• Imposto de Renda 0,30 \times 9.287.630,00	=	2.786.289,00 (6)
• Lucro líquido anual 5-6	=	$6.501.341,00$

Deve ser lembrado que não foram computados: pedras coradas e gemas, peças de coleção, quartzo, columbita e lítio que pesarão consideravelmente na rentabilidade da lavra.

Por outro lado, praticamente o feldspato sozinho pagaria o custo de extração.

Todo o problema reside exatamente na certeza de se obter a produção de substâncias apontadas o que em última análise é risco a recorrer.

Desta forma temos procurado esgotar todas as indicações possíveis de mineralização o que irá certamente solucionar todas as questões até agora encontradas.

“PANORAMA DE MINERAÇÃO NA REGIÃO METROPOLITANA
DA GRANDE SÃO PAULO”

Geol. RICARDO MOTTA SIKJEDER,
ROBERTO MAMITI AKINAGA
Eng. MILTON AKIRA KIOTANI
DNPM -- 2ª Divisão