

MARTIM PORTUGAL V. FERREIRA  
Coordenação

# A Geologia de Engenharia e os Recursos Geológicos

VOL. 2 • RECURSOS GEOLÓGICOS E FORMAÇÃO



Coimbra • Imprensa da Universidade

## O PAPEL DOS FENÓMENOS DE EVOLUÇÃO TARDIA NA GÊNESE DE GEMAS PEGMATÍTIAS - ILAÇÕES DA ANÁLISE PARAGENÉTICA EM PEGMATITOS LCT DO ALTO LIGONHA (MOÇAMBIQUE)

C. LEAL GOMES <sup>1</sup>

**PALAVRAS-CHAVE:** pegmatito, LCT, NYF, unidades tardias, gema.

**KEY WORDS:** pegmatite, LCT, NYF, late units, gemstone.

### RESUMO

Através da análise paragenética de estilos contrastantes de mineralizações em gemas, em pegmatitos LCT do Alto Ligonha, é possível deduzir as condições de enclausuramento de fluidos e da deposição das gemas e alcançar a determinação de guias de prospecção para a presença de minerais nobres. Os berilos gema azuis podem formar-se durante a cristalização precoce, mas o berilo alcalino, as turmalinas coloridas claras (elbaito-lidicoatites), a kunzite (espodumena) e a hidroxil-herderite são típicas das unidades de baixa temperatura, produzidas pela alteração hidrotermal tardia das zonas intermédias ou então resultam de fraccionamento culminante em ambiente miarolítico nos núcleos dos pegmatitos. As altas concentrações de Cs na rocha e de Ta nos nióbio-tantalatos, a abundância de B-cockeite e a proliferação de cavidades controladas por estruturas tardias são bons indicadores de "gem-shoots" e da mineralização em gemas.

---

<sup>1</sup> Universidade do Minho – EC-DCT – 4710-057 Braga.

**ABSTRACT: The role of late evolution in the genesis of pegmatite gemstones – Paragenetic guidelines for Alto Ligonha pegmatites (Mozambique)**

Through the paragenetic analysis of contrasting styles of gem mineralization in LCT granitic pegmatites of Alto Ligonha it is possible to deduce conditions of fluids entrapment and gems deposition and achieve the determination of some exploration guides to the presence of gemstones. Blue gem beryl may form through early crystallisation, but alkaline beryl, light coloured elbaite-liddicoatite, kunzite and OH-hercynite are typical at low temperature units, produced by late hydrothermal alteration of intermediate zones or strong differentiation in miarolitic environment at the pegmatite core. High Cs concentrations, high Ta at Nb-Ta minerals, B-cookeite abundance and proliferation of cavities controlled by later structures are good indicators of gem-shoots and gem mineralization.

## **1. INTRODUÇÃO**

O distrito pegmatítico do Alto-Ligonha situa-se na província pegmatítica da Zambézia e representa o fulcro da Cintura Monapo-Mocuba cujos lineamentos principais são grosseiramente sub-paralelos aos do “Mozambique belt” (fig.1). Na zonografia da província metalogénica a esta área geográfica correspondem pegmatitos com estruturas internas e associações mineralógicas muito diversificadas, observando-se todos os termos extremos da variabilidade paragenética própria da classe de elementos raros (NUNES, 1973). A mineralização em gemas e espécimes, é ubíqua mas os corpos mais produtivos, que são alvo de lavra mineira, correspondem à linhagem petrogenética especializada em Li, Cs e Ta.

O grupo pegmatítico de Nahipa é considerado representativo desta linhagem. Nesta jazida datações Ar/Ar e K/Ar sobre micas e Pb/Pb, U/Pb sobre zircão-hafnion e zircão, proporcionaram idades situadas de 407 MA a 482 MA ( $\pm 20$ ). Também estão datados eventos térmicos posteriores que se correlacionam com episódios de desequilíbrio metassomático das paragéneses pegmatíticas (390 – 355 MA – substituições sódio-líticas mais extensivas; 226 MA – episienitização). Assim, pelo menos na instalação e evolução principal, os corpos de tipo LCT estariam relacionados com a estruturação do Orógeno Pan-Africano (AFONSO, 1976).

Recorrendo à análise estrutural e paragenética, coadjuvadas por análise química de minerais e unidades internas, identificação difractiva de fases separadas, petrologia de minérios e microtermometria de inclusões fluidas (LEAL GOMES, 1998, 1999 c, 2000 a, 2000 b) foi possível sintetizar a variabilidade paragenética em quatro tipos contrastantes de corpos com gemas, representados nas jazidas, Ferreiro (Nahipa), Iaia (Nahia), Nahipa e Namacotche.

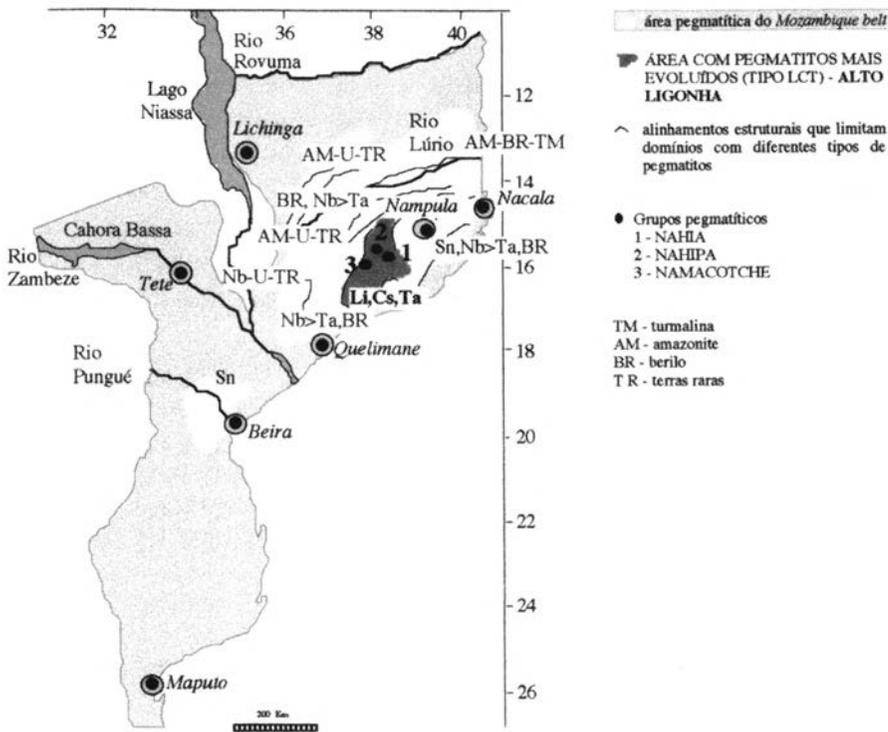


Fig. 1 - Localização dos grupos pegmatíticos de Nahia, Nahipa e Namacotche no distrito do Alto Ligonha.

Em geral as unidades caracterizadas pelos índices mais elevados de fraccionamento interna são as mais ricas. Nelas é possível discriminar vários dispositivos estruturais com concentração anómala de minerais ornamentais.

Procura-se explicar a sua natureza e posição na estrutura interna dos pegmatitos hospedeiros invocando a fraccionamento primária, afectada ou não, quer em geometria quer em composição, por aberturas cíclicas dos respectivos ambientes de cristalização. Desta abordagem extrai-se uma classificação e os principais padrões de tendência e de desenvolvimento dos "gem-shoots", bem como mecanismos essenciais geradores de concentrações de gemas.

## 2. PADRÕES DE MINERALIZAÇÃO – ANÁLISE DOS LOCAIS CHAVE, NAHIA, NAHIPA E NAMACOTCHE

Na figura 2 estão esquematizados os principais padrões geométricos das mineralizações (estrutura e mecanismo) obtidos a partir da análise paragenética dos dispositivos e corpos portadores de minerais nobres.

## 2.1. PEGMATITOS PERCURSORES – OCORRÊNCIA DO FERREIRO (NAHIPA)

A ocorrência do Ferreiro (Nahipa) corresponde a uma massa pegmatítica de grandes dimensões da qual emanam como extensões apicais alguns corpos LCT (com mineralização culminante em Li, Cs, Ta) de paroxismo de fraccionação pegmatítica. Verifica-se uma transição gradual a muro desta massa, para uma intrusão granítica Pan-Africana do tipo Entata (granito grosseiro biotítico). A estrutura interna é homogênea a heterogênea com massas de substituição pequenas e localizadas. As paragéneses predominantes são típicas dos estados menos evoluídos da fraccionação pegmatítica:

- intercrescimento gráfico Mn-almândina – Mn-columbite;
- Nb-tantalatos do termo columbite a Mn-columbite com padrões de zonalidade oscilatórios normais;
- conteúdo médio de Cs para amostras em canal da zona mural, 125 ppm;
- temperatura de referência para as mineralizações em granada deduzidas das paragéneses com sulfuretos e sulfossais, 430°C) (LEAL GOMES, 1998).

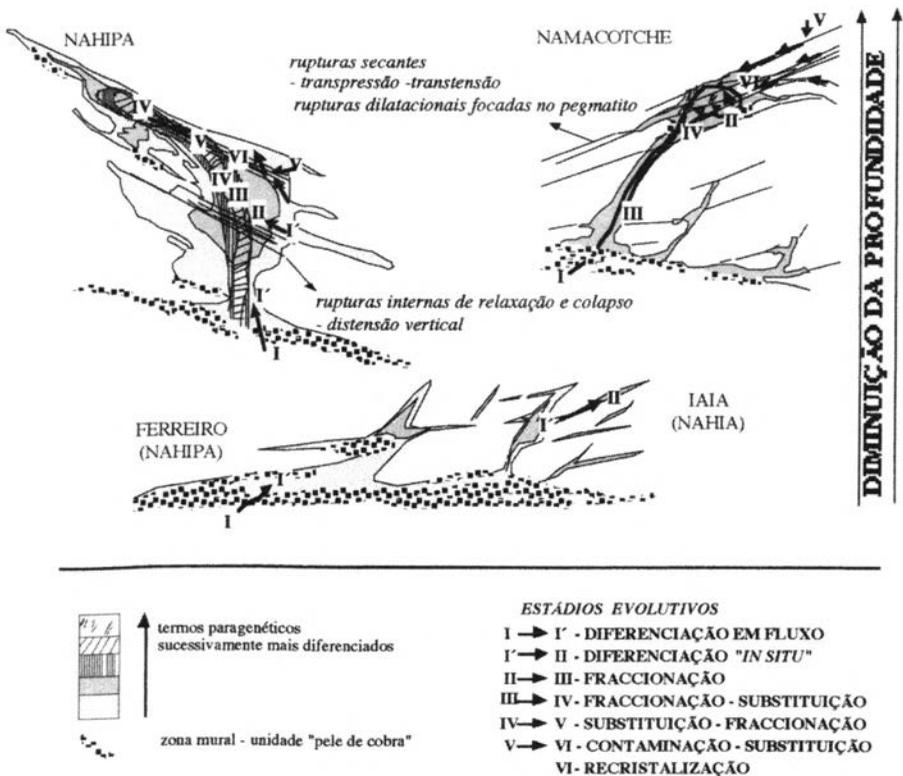


Fig. 2 – Generalização geométrica da estrutura e padrões de mineralização.

As gemas (granada Mn-almândina e berilo de variedades azuis) ocorrem em disseminação na zona intermédia feldspática. Resultam de cristalização primária precoce em unidades periféricas dos pegmatitos. O berilo gema ocorre em esferóides relíquia no núcleo transparente e intacto de cristais deformados.

## 2.2. PEGMATITO DE INÍCIO DE FRACCIÓNAMENTO – OCORRÊNCIA DE IAIA (NAHIA) – AFINIDADE NYF (MINERALIZAÇÃO OCASIONAL DE TI, SN, NB, Y, T.R.)

O índice Iaia (Nahia) é constituído por um grupo de pegmatitos graníticos filonianos, N80°W, sem unidades especializadas em Li. A estrutura interna é heterogénea, miarolítica com pequena expressão da substituição albítica. Está encaixado em gnaisses anfibólicos e xistos, com intercalações de rochas calcossilicatadas com sulfuremos (LEAL GOMES, 1999 c).

As paragénese portadoras de minerais nobres são miarolíticas:

- os Nb-tantalatos situam-se no domínio da Fe-columbite com padrões de zonalidade progressiva normal;
- o conteúdo médio de Cs na zona mural é de 80 ppm;
- a partir das inclusões fluidas, as temperaturas de referência para as mineralizações de quartzo hialino com inclusões de rútilo e turmalina, situam-se entre 420° e 330°C.

No núcleo, em revestimentos miarolíticos, ocorrem cristal de rocha com inclusões, berilo, espessartite, apatite, euclase e topázio com ocasional qualidade geológica (fig. 3). Algumas unidades clevelandíticas vacuolares comportam “pedra de sol” e peristerite.

## 2.3. PEGMATITOS COMPLEXOS – GRUPO DE NAHIPA – AFINIDADE LCT

A mina de Nahipa incide sobre um grupo pegmatítico granítico LCT. Várias apófises pouco inclinadas de direcção N80°E, emanam de volumosas chaminés inclinadas para Sul (LEAL GOMES, 1999 a). A estrutura interna é heterogénea com mais de 40 % de massas de substituição policíclica sódio-lítica. Está encaixado em gnaisses mais ou menos anfibólicos e xistos verdes por vezes com turmalinização nos contactos (LEAL GOMES, 1998).

### *Unidades de bordadura – “pele de cobra”*

As unidades aplíticas bandadas de bordadura (“unidades pele de cobra”) apresentam teores médios de Cs de 182 ppm e ferrocolumbite com zonalidade em retalhos; do equilíbrio de fases deduzem-se temperaturas de formação superiores a 450° C. O conteúdo gemológico resume-se a Mn-almândina agregada em rosário.

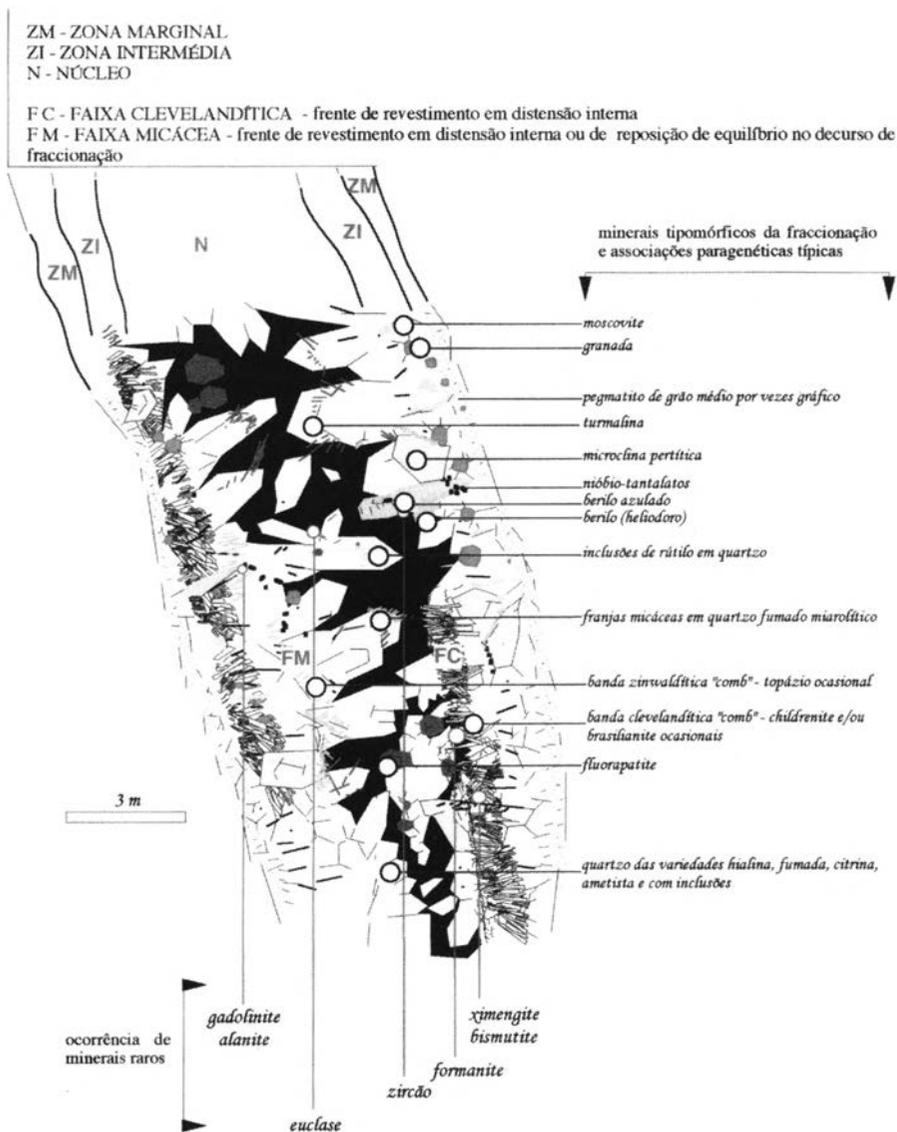


Fig. 3 – Anatomia do pegmatito laia – modelo geométrico da estrutura interna e da paragénesis – localização dos minerais úteis.

#### Unidades primárias por vezes miarolíticas

As unidades miarolíticas de fraccionação primária são nucleares apresentam Mn-columbitas e microlites normais (Ca) (LEAL GOMES 1999 b). As temperaturas de referência obtidas para inclusões fluidas de turmalinas (elbaites a lidicoatites)

situam-se entre 320° e 260°C. O cortejo de gemas inclui berilos alcalinos (morganite), turmalinas elbaíticas (“water-mellon”), topázio azul, OH-herderites e microlites (Ca, Na, F).

#### *Unidades de substituição por vezes vacuolares*

As unidades vacuolares e venulares que se sucedem aos diferentes ciclos de desequilíbrio e substituição mostram Sb-tantalite, Mn-tantalite, U-Pb-microlite. Os teores de Cs situam-se entre 311 e 1202 ppm e as temperaturas de referência para a reprecipitação das gemas nos dispositivos vacuolares variam entre 286° e 151°C. As F-elbaites do tipo gemológico indicolite (azul) são características da mina de Nahipa e ocorrem em rosários de vacúolos nestas unidades (fig. 4).

#### **2.4. PEGMATITO DE CULMINAÇÃO EVOLUTIVA LCT – MASSA NE DO CORPO PRINCIPAL DE NAMACOTCHE**

A mina de Namacotche lavra numa massa de culminação evolutiva de uma sequência LCT, situada numa geometria “pull-a-part” e na terminação apical de um corpo filoniano N30-40°E. Quanto à estrutura interna, este corpo é heterogéneo zonado com mais de 50 % de unidades de substituição policíclica sódio-lítica a céσιο-lítica (fig. 5). O pegmatito está encaixado numa zona de cisalhamento polifásico e carreamento, em anfíbolitos com intercalações meta-ultramáficas, extraordinariamente enriquecidas em ilmenite, magnetite, martite e ocasionalmente cromite. A faixa metassomática em exo-contacto pode mostrar holmquistite ou crisoberilo (LEAL GOMES, 2000 a, b).

#### *Zona mural preservada*

A zona mural (equivalente à “unidade pele de cobra” de Nahipa) apresenta teores médios de Cs de 267ppm e além da típica granada Mn-almandina, apresenta ganite-hercinite, martite, ilmenorútilo e ferrocolumbite com zonalidade em retalhos. As temperaturas de início de cristalização devem situar-se próximo dos 600°C (equilíbrio entre espinelas e crisoberilo).

#### *Unidades primárias substituídas*

A estrutura das unidades de fraccionação primária está obliterada pela magnitude anormal dos fenómenos de alteração deutérica - lixiviação e redeposição policíclicas, determinadas pelo cisalhamento polifásico, bombagem tectónica e focagem hidrotermal. São frequentes as pseudomorfoses de coockeite e B-coockeite ± esmectite-ilite-lepidolite ± goethite ± caulinite após giga-espodumenas e/ou giga-berilos.

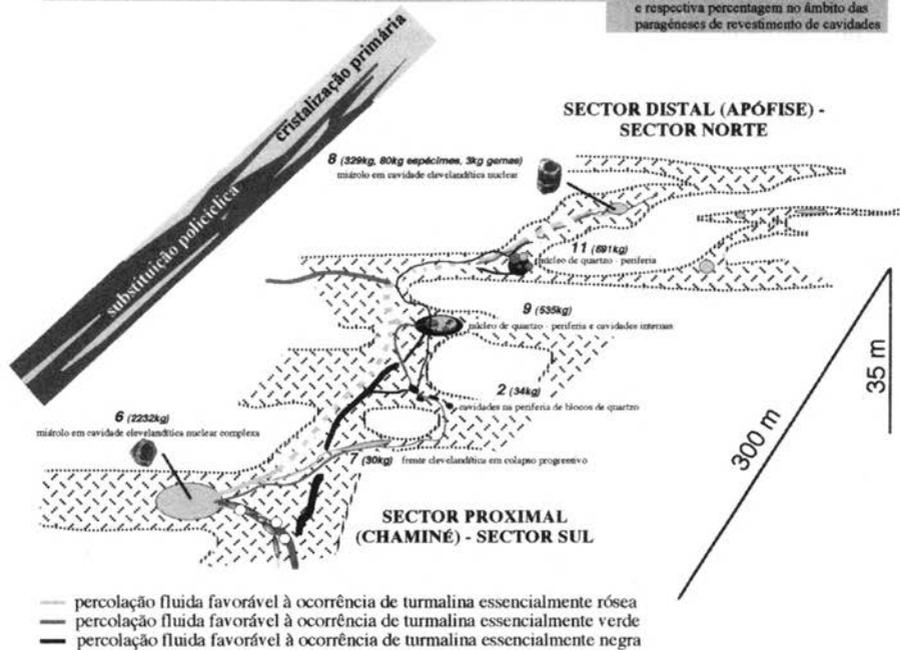
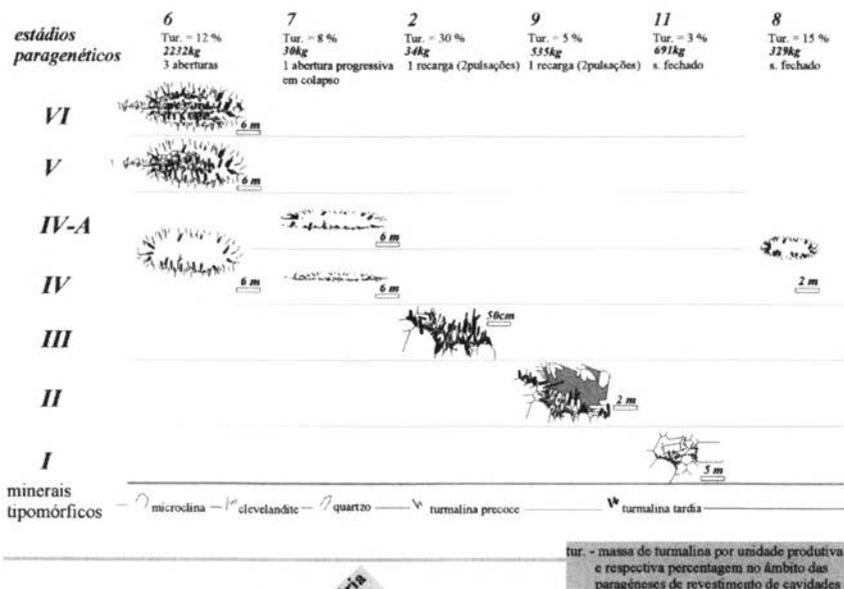


Fig. 4 – Mina Naipa (Alto Ligonha - Zambézia - Moçâmbique) – Generalização sistemática e cinemática da estruturação dos sistemas turmaliníferos.

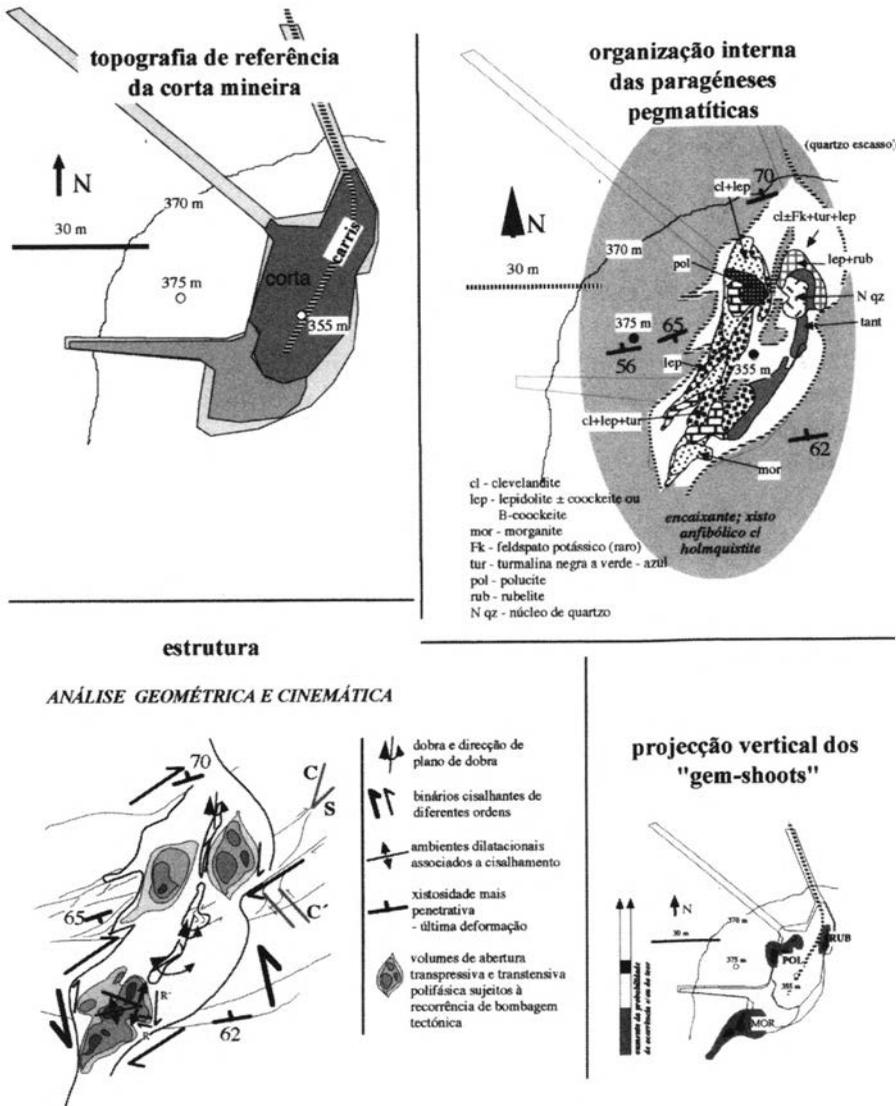


Fig. 5 – Anatomia da massa NE de expansão lateral do pegmatito principal de Namacotche. Modelo geométrico da estrutura interna e da paragénesis e cinemática de suporte à localização dos minerais úteis.

Nestas unidades pseudomórficas recristalizam a baixa temperatura (260° - 150°C) e em ambiente vacuolar, as gemas principais: kunzite, morganite, berilo azul alcalino e elbaites acróicas (não policróicas das variedades, verdelite, indicolite, rubelite, acroite e turmalina citrina).



Em análises de rocha total (amostra em canal), as unidades com vacúolos produtivos apresentam teores de Cs superiores a 1200 ppm (valor indicativo) e mostram Nb-tantalatos do domínio composicional Mn-tantalite, associados a microlites ricas em Sb, Bi, Na e F (LEAL GOMES, 1999 b). Formam-se principalmente em ambientes dilatacionais associados a desligamento ou carreamento e representam o clímax evolutivo da precipitação dos fluidos tardios que estavam em desequilíbrio com as paragénese primárias.

Os minerais tipomórficos das unidades com gemas são a clevelandite, boro-cockeite, e celadonite. Nos casos de paroxismo evolutivo LCT, observa-se a associação, *cleavelandite + cockeite ± B-cockeite ± lepidolite ± polucite ± microclina máxima ± kunzite*, a qual do ponto de vista estritamente composicional (descritivo) pode ser classificada como um sienito feldspatóidico (polucítico).

A lixiviação da sílica é um dos fenómenos determinantes do aparecimento destas massas. As texturas mais frequentes são típicas de hidrólise, solubilização, substituição, corrosão, pseudomorfose e precipitação em ambiente livre. Os preenchimentos argilosos são constituídos por caulinite de alta cristalinidade ou esmectite-ilite-lepidolite.

Invariavelmente, as unidades originais, que foram submetidas a alteração deutérica, eram já portadoras das variedades primárias e de alta temperatura dos mesmos minerais que aparecem com qualidade nobre nos vacúolos tardios. O mecanismo promotor da ocorrência de gemas é afinal a precipitação / recristalização a baixa temperatura dos minerais primitivos ou de alguns dos seus constituintes, a partir de fluidos reactivos que podem ser diferenciados “in situ” ou alóctones (não necessariamente derivados da evolução pegmatítica).

O alto teor de Cs em rocha total, a presença de B-cockeite, o padrão evoluído dos Nb-tantalatos e o carácter vacuolar ou brechóide das unidades tardias, são indicadores de presença das gemas.

## BIBLIOGRAFIA

- AFONSO, R. S. (1976) – A geologia de Moçambique (Notícia explicativa da carta geológica de Moçambique à escala 1:200 000). *Direcção dos Serviços de Geologia e Minas, Maputo*, 175 p.
- LEAL GOMES, C. (1998) – Caracterização do Jazigo pegmatítico de Naípa - Fundamentos do Plano de Pesquisa, Preparação e Exploração do Jazigo. *Relatório inédito da Direcção Nacional de Minas de Moçambique* (empresa EuroExport Lda, sediada em Nampula), 26p. + 10 Folios.
- LEAL GOMES, C. (1999a) – Indicadores paragenéticos das mineralizações pegmatíticas na área da concessão Naípa - Zambézia - Moçambique. *Actas do II Congresso Ibérico de Geoquímica e XI Semana de Geoquímica*, Lisboa, pp. 121-124.

- LEAL GOMES, C. (1999b) – Diferenciação paragenética e fraccionação dos nióbio-tantalatos do grupo pegmatítico de Naipa - Zambézia - Moçambique. *Actas do II Congresso Ibérico de Geoquímica e XI Semana de Geoquímica*, Lisboa, pp. 81-85.
- LEAL GOMES, C. (1999c) – Investigação e prospecção geológica na Área de Nahia - notícia de progresso da prospecção e pesquisa - Província da Zambézia, Distrito do Gilé. *Relatório inédito da Direcção Nacional de Minas de Moçambique* (empresa EuroExport Lda, sediada em Nampula), 24p.
- LEAL GOMES, C. (2000a) – Fundamentos geológicos do pedido de licença de exploração mineira da área atribuível ao jazigo de Namacotche – Mutala - Alto Molocué – Zambézia (título mineiro nº 682/L/99). *Relatório inédito da Direcção Nacional de Minas de Moçambique* (empresa EuroExport Lda com sede em Nampula) 48p.
- LEAL GOMES, C. (2000b) – E.V.E. Namacotche (Estudo de Viabilidade Económica) – Mutala - Alto Molocué – Zambézia (título mineiro nº 682/L/99). *Relatório inédito da Direcção Nacional de Minas de Moçambique* (empresa EuroExport Lda com sede em Nampula) 22p.
- NUNES, J. L. (1973) – Contribution à l'étude minéralogique et géochimique des pegmatites du Mozambique. *Sciences de la Terre*, Mem. 26, Nancy, 261p.