

Artigo REF: 09A012

ANÁLISE DESCRITIVA DAS UNIDADES PORTADORAS DE MINERALIZAÇÃO TANTALÍFERA EM PEGMATITOS DO SUL DA PROVÍNCIA ZAMBEZIANA (MOÇAMBIQUE)

Carlos Leal Gomes¹, João Marques^{2(*)}, Patrícia Dias¹ e João Carlos Costa³¹CIG-R, Escola de Ciências – Gualtar, 4710-057 BRAGA, Portugal²Gondwana, Limitada – Caixa Postal 832 - Maputo – Moçambique³GGC l.da, Rua Cunha Júnior, 55, Sala 1.6, 4050 PORTO, Portugal(*)Email: gondwana@tvocabo.co.mz

ABSTRACT

Descriptive analysis of tantalum paragenesis and tantalum pegmatites from the South Pegmatite District of Zambebian Province (Mozambique)

The differences between NYF and LCT pegmatite evolution and regional distribution in Zambézia Pegmatite Province are the main determinants of its tantalum potentiality. Alto Ligonha District in Central Zambézia holds important Ta resources in relation to LCT giant pegmatites, which have been mined for decades and are reasonably known. Minor attention was dedicated since now to the South District. Recent studies dedicated to this domain revealed several pegmatite fields with a great diversity of Ta mineralization: M'Luma – Nicula - low Ta NYF pegmatites, with high Sc, Y, Ti, R.E. and ixiolite-cheralite dominant ores; Rio Licungo - low Ta NYF and beryl pegmatites, with high Bi, W and struverite dominant ores; Rio Namivo - low to high Ta NYF to LCT pegmatites, beryl rich with petalite and spodumene as high temperature remnants and tantalite-tapiolite-microlite dominant ores. Regional distribution and paragenetic analysis of some key pegmatites suggest that South District reveals a more proximal and sub-autochthonous emplacement of the pegmatite bodies in tangential ruptures under the cover terrenes of Mamala to Morrua Formations, which undergone a different evolution since Pan-African event to uplifting an exhumation. In what concerns the strategic stage of exploration, such a pattern of emplacement and evolution, suggests the possibility of future detection of unknown high Ta pegmatites at the South District.

1. INTRODUÇÃO

A Província Pegmatítica Zambeziana tal como está representada na figura 1 comporta um cortejo vasto de recursos base e potenciais que se incluem em várias categorias da classificação das matérias primas minerais (Fig.2). Entre as substância não metálicas contam-se os minerais industriais que estão representados por diferentes tipos de argilas, feldspatos alcalinos, micas, petalite, espodumena, ambliogonite-montebrazite, quartzo, berilo, turmalina schorl e granada. As gemas predominantes são variedades ornamentais de quartzo, feldspato, berilo, turmalina, lepidolite, granada, topázio, F-apatite, OH-herderite, escapolite, fenacite, euclase e crisoberilo. Os minérios metálicos incluem os metais Sn, Be, Li, Ta, Nb, Cs, Bi, Mo, W, Y, Sc e Ti (Fig. 2). Todos estes elementos e ainda Th, U e Terras Raras (T.R.) podem estar contidos nos concentrados de minerais densos que se podem apurar por separação hidrogravítica em materiais pegmatíticos. Na maioria dos casos estes concentrados

dos pegmatitos em diferentes níveis estruturais (diferentes profundidades nas várias unidades orogénicas e diferentes graus de metamorfismo regional).

A compartimentação dos tipos pegmatíticos, entre classes LCT (com expressão dominante do Li, Cs e Ta) e classes NYF (com expressão dominante do Nb, Y e F) (Cerny, 1989), é determinante de uma parte importante das diferenças composicionais entre minérios de Ta de distintas proveniências. Adicionalmente, proporções diferentes de fácies pegmatíticas LCT e NYF nas várias subdivisões regionais dos pegmatitos – enxames, campos e distritos – e as peculiaridades paragenéticas próprias de cada corpo pegmatítico individual devem explicar as diferenças mais significativas observadas.

Assim, os aspectos típicos da distribuição espacial dos pegmatitos na Província Zambeziana, especialmente no que diz respeito aos agrupamentos distrito e campo (Figuras 1 e 3), incluem também as características da mineralização tantalífera.

A variedade de paragéneses portadoras de Ta, as condições da sua distribuição e a grandeza das concentrações alcançadas aconselham a que as abordagens analíticas sejam seleccionadas em função das características de cada campo pegmatítico.

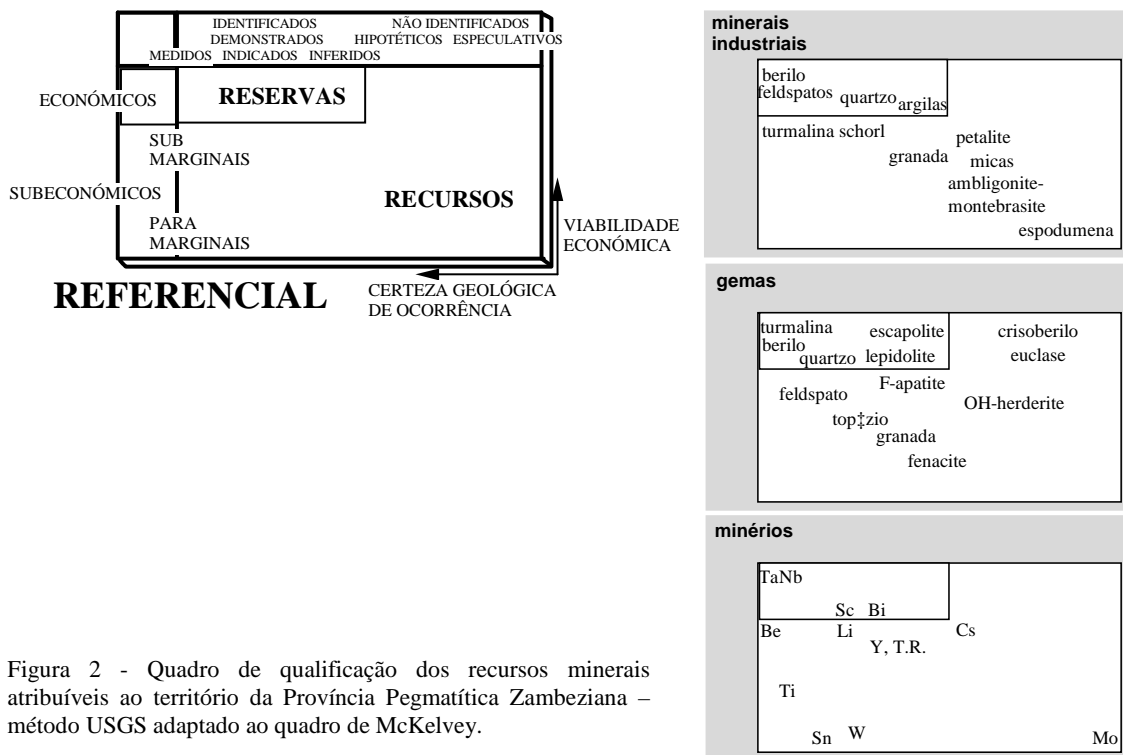


Figura 2 - Quadro de qualificação dos recursos minerais atribuíveis ao território da Província Pegmatítica Zambeziana – método USGS adaptado ao quadro de McKelvey.

Para cada unidade de distribuição regional é de esperar que seja possível estabelecer assinaturas tantalíferas específicas em termos de fases portadoras de Ta, relações teor/tonelagem próprias de cada jazigo, tipologia dos concentrados tantalíferos (paragéneses portadora e associação tantalífera), e níveis estruturais de instalação dos jazigos de Ta deduzidos do equilíbrio de fases.

Para isso a análise descritiva desta mineralização é aqui encarada a vários níveis e escalas que envolvem diferentes aproximações metodológicas:

- pegmatitos, unidades internas e suas paragéneses - análise paragenética (petrologia de minérios) de amostras seleccionadas em microscopia óptica de luz transmitida (MOLT) e de luz reflectida (MOLR); análise química de rocha total por ICP-MS, absorção atómica

- e fluorescência de RX, com especial incidência no caso dos elementos vestigiais relevantes para a prospecção do Ta;
- b) cristais individualizados e compósitos cristalinos de óxidos de Ta - determinação mineralógica e caracterização mineraloquímica por difractometria de Rx, microscopia electrónica de varrimento em modo dispersão de energias (MEV-DE) e em modo electrões retrodifundidos (MEV-ER) - estudo de imagens de contraste de número atómico aplicado à petrologia de minérios e análise química pontual em microsonda electrónica;
- c) concentrados impuros de Nb-tantalatos obtidos por concentração hidro-gravítica de fácies pegmatíticas friáveis ou produtos de cominuição (amostras colhidas em canais transversos aos pegmatitos ou em unidades paragenéticas individualizadas e seleccionadas) - mineralometria dos constituintes em microscópio estereoscópico e determinação de fases seleccionadas conforme está descrito em b.

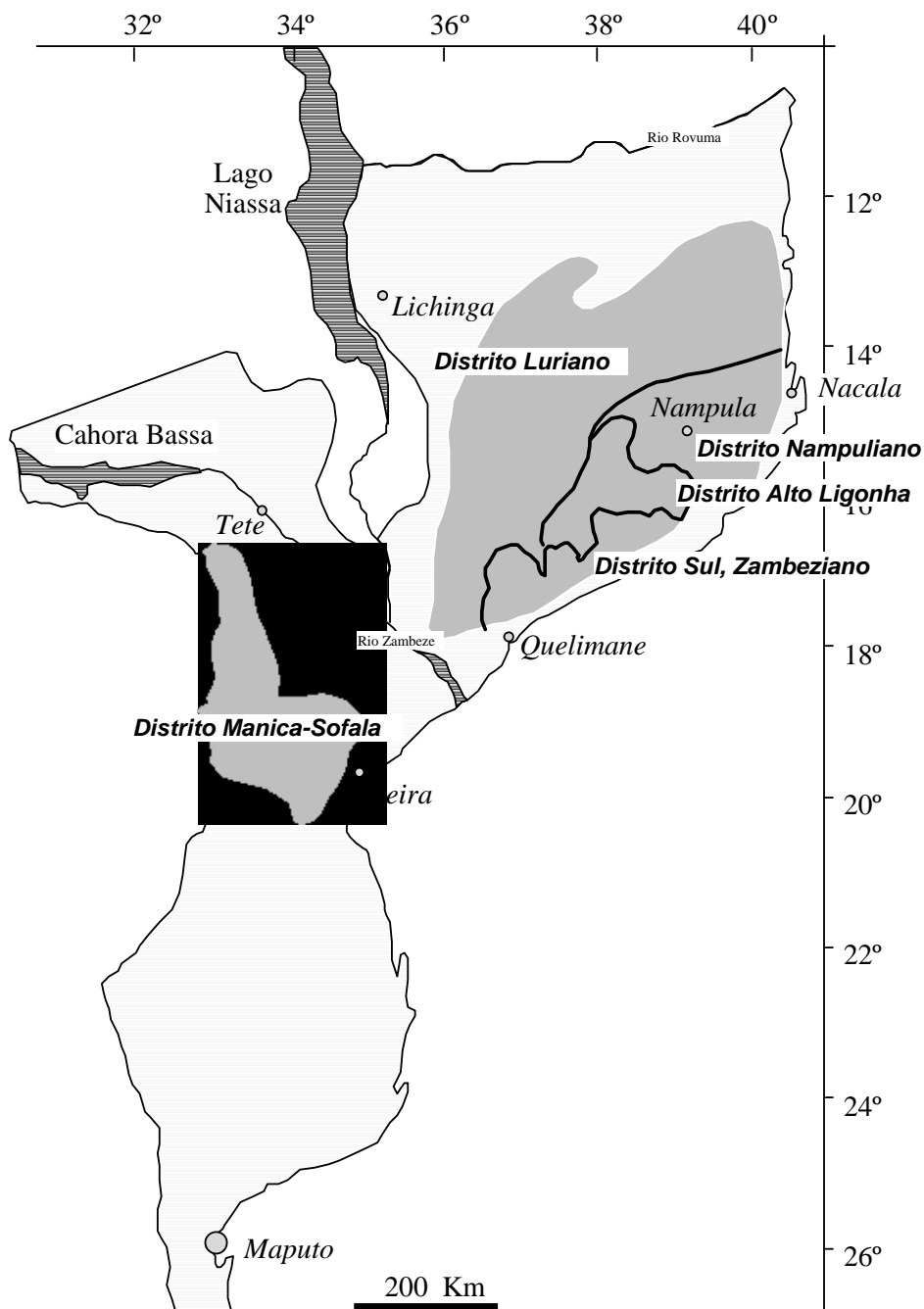


Figura 3 - Divisões regionais maiores atribuíveis à Província – compartimentação em distritos pegmatíticos.

Os resultados que foram sendo obtidos ao longo do tempo a respeito da caracterização dos conteúdos de Ta em pegmatitos Zambebianos tipologicamente variados (Knorring e Fadipe, 1981; Leal Gomes, 1998, 1999a, b, c, d, 2000a, b; Leal Gomes *et al.*, 2005; Dias *et al.*, 2006b; Leal Gomes e Dias, 2007a, b) sugerem que os campos pegmatíticos e os pegmatitos graníticos individuais que ocorrem no Sul da Zambézia são menos especializados e mineralizados em Nb-tantalatos que aqueles que afloram no sector Alto Ligonha - Alto Molócuè - Gilé, desde Muiane, Naípa e Mutala até Morrua e Marropino (Fig.4). Este último sector na classificação de Cerny (1982, 1989) pode ser encarado como um distrito pegmatítico altamente tantalífero (Fig. 5). Apresenta pegmatitos por vezes de grandes dimensões (1Gt a 15Gt de material indiferenciado) e uma especialização LCT muito evoluída com teores culminantes de Li (<15500 ppm), Cs (<6000 ppm) e Ta (<2100 ppm). Os valores referidos são alcançados em unidades tardias onde ocorrem minerais tipomórficos tais como, abundante lepidolite, ocasional polucite, frequentes Mn-tantalite, várias microlites e mesmo estibio-tantalite.

Os conteúdos médios de Ta dos jazigos LCT mais mineralizados situam-se no intervalo 125 - 300 ppm (as médias incluem todas as unidades de estrutura interna). Nestes pegmatitos os silicatos anidros de Li são instáveis.

A escassa petalite observada corresponde a formas de equilíbrio a baixa temperatura na presença de lepidolite e muito raramente eucryptite, em associação com albite II.

Só no pegmatito Ilodo (junto a Mocubela na figura 4) foi identificada petalite precoce de alta temperatura e ao mesmo tempo espodumena primária e espodumena secundária resultante do decaimento da petalite.

Generalizadamente a espodumena evoluiu em *subsolidus* para associações hidrotermais pseudomórficas também de baixa temperatura, constituídas por lepidolite, cookeite (Gomes, 1967; Sahama *et al.*, 1968) e mais raramente zinwaldite as quais podem comportar alguma kunzite (espodumena II de recristalização) (Leal Gomes, 2003).

2. QUADRO GEOESTRUTURAL E METALOGENÉTICO DOS PEGMATITOS SUL ZAMBEZIANOS

Em termos de enquadramento geológico e estrutural os pegmatitos Sul Zambebianos que são considerados no presente estudo distribuem-se por três campos pegmatíticos principais (Quadro 1).

Atendendo aos aspectos essenciais da litoestratigrafia, tectonoestratigrafia e metamorfismo para esta região (Afonso, 1976; Barros, 1983) a generalidade da petrogénese pegmatítica desenvolve-se em corpos filonianos implantados em rochas regionais de tipo gnáissico a migmatítico, mais ou menos anfibólico, muitas vezes com a feição de fácies “xistos-verdes” (Bandy, 1951; Claus e Hutchinson, 1956; Coteló Neiva e Correia Neves, 1960; Barros e Vicente, 1963; Correia Neves *et al.*, 1971; Lopes Nunes, 1973; Barros, 1983). No seu conjunto estas rochas evoluíram até condições de metamorfismo de médio-alto grau a partir de protólitos paleozóicos e anteriores, de natureza muito variada, sedimentar a vulcanogénica polimodal. Correspondem-lhes os terrenos referidos no quadro 2 os quais estão ordenados segundo a sucessão tectonoestratigráfica.

Na sua maioria, os pegmatitos observados estão encaixados em rochas filíticas, anfibolíticas, gnaissicas ou migmatíticas e muito em especial situam-se nas fronteiras dos terrenos de cobertura e também em volta de “klippen” do Complexo Base Luriano como é o caso do “Klippe” de Mugeba. Com base nas relações espaciais determinadas no terreno (ver síntese na figura 5) só muito raramente (para alguns pegmatitos do campo M'Luma-Nicula) é possível estabelecer uma ligação genética credível dos pegmatitos com granitos tardios.

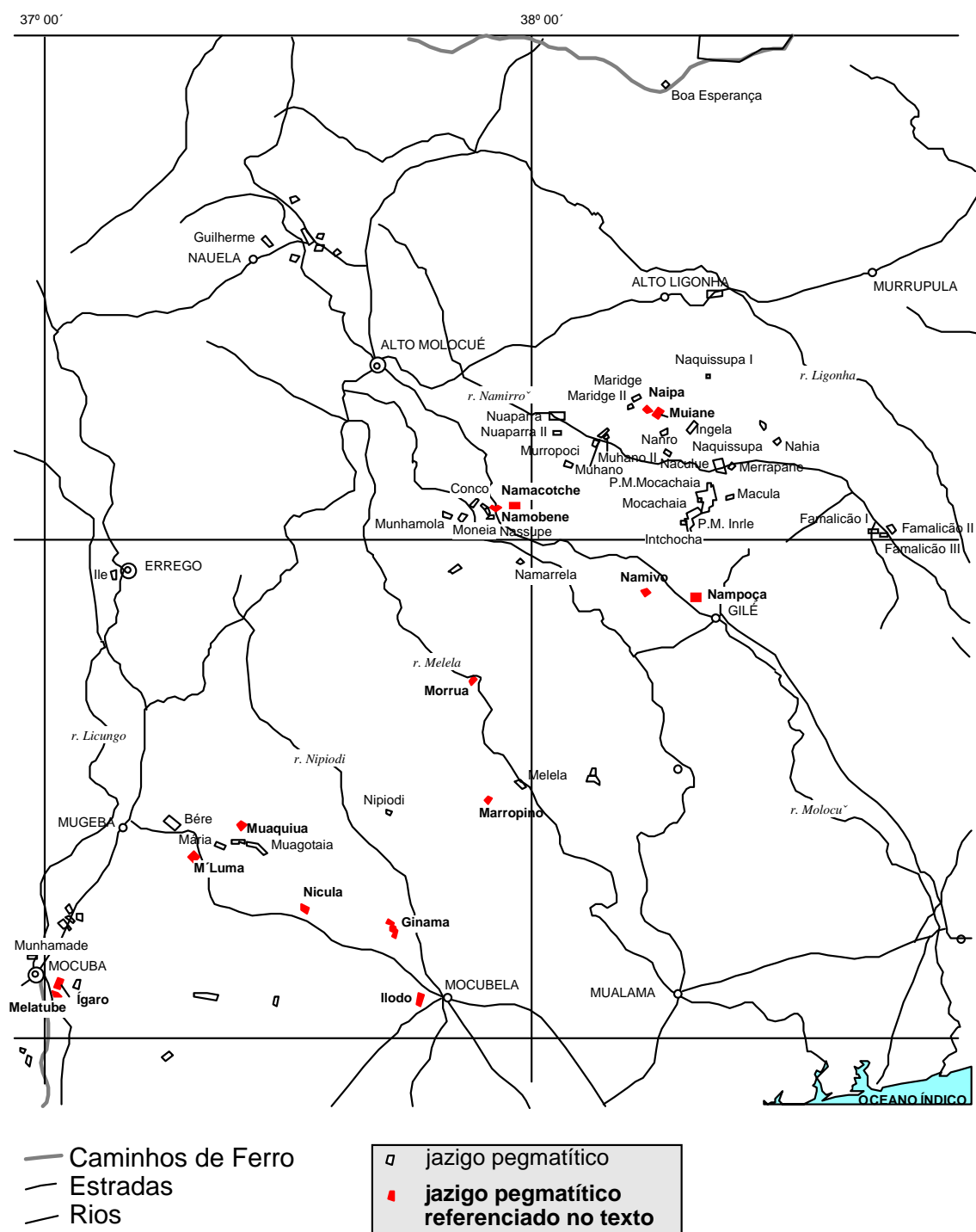


Figura 4 - Localização de jazigos pegmatíticos com mineralização de Ta na porção mais central da Província Zambeziã (Barros e Vicente, 1963). Escala gráfica: 1° = ±110km.

Em todos os casos a distensão apical e a que se relaciona com cisalhamentos transcorrentes tardios e sobretudo a tectónica tangencial precoce – deslocamentos por carreamento de muito baixo ângulo – proporcionaram os volumes dilatacionais e em “pull-apart” que acolheram os compósitos magmático-pegmatíticos.

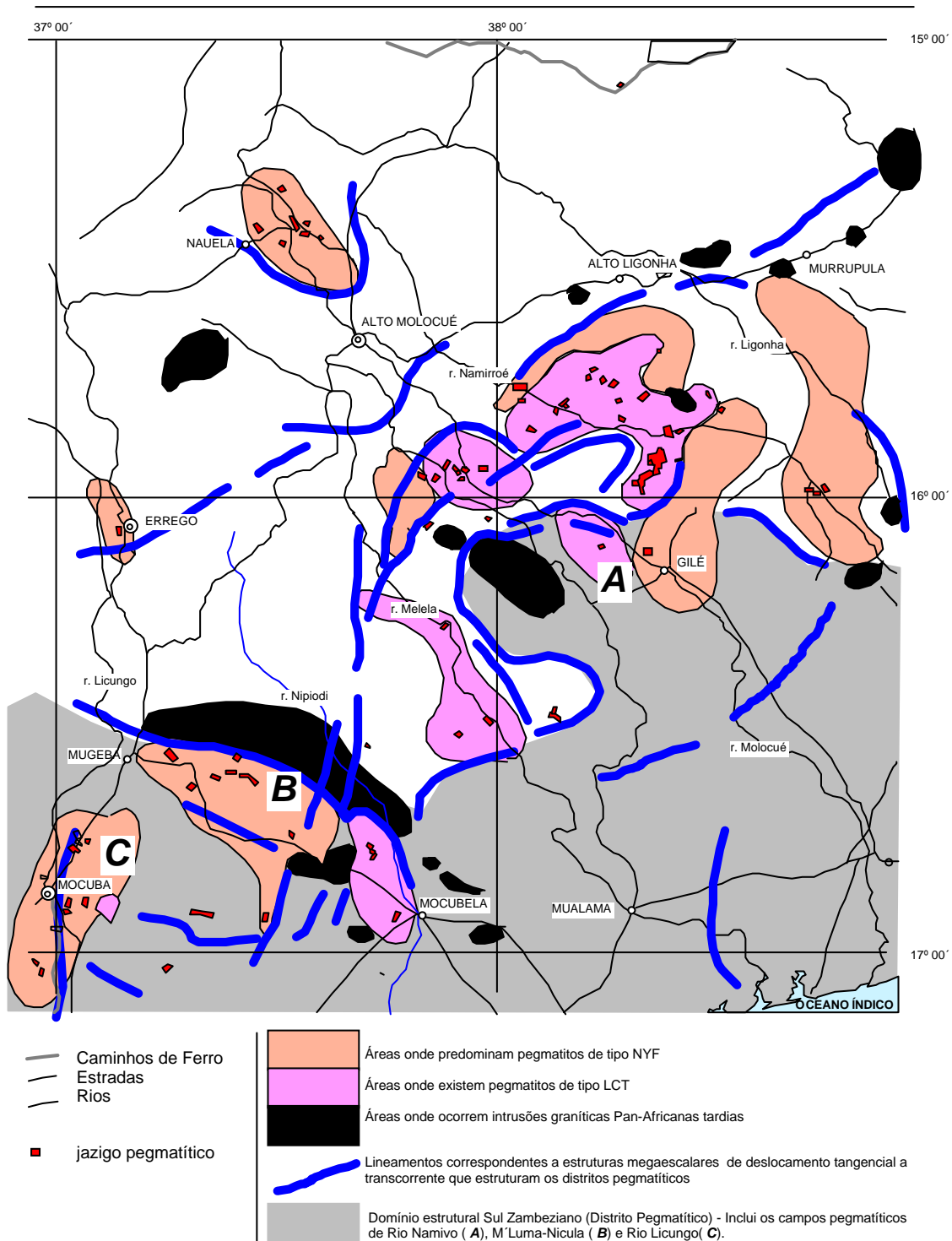


Figura 5 - Estruturação metalogenética da Província Zambesiana (área correspondente à figura 4) e delimitação do Distrito Sul relativamente ao Distrito Alto Ligonha (ver figura 3 atrás). Escala gráfica: 1° = ±110km.

Posteriormente as mesmas estruturas sofreram reactivação cisalhante e/ou relaxação e controlaram sucessivas aberturas dos sistemas que permitiram a compressão/descompressão e a evolução hidrotermal sobreposta (por exemplo no caso Namivo). Em algumas situações também facultaram a miscigenação de constituintes lixiviados a partir das rochas regionais, de natureza vulcanogénica (polimodal/exalítica) a metacarbonatada. Por este processo os diferenciados residuais graníticos seriam contaminados, com consequências sobre a diversidade paragenética interna (em especial nos campos Licungo e Namivo). No âmbito dos

Nb-tantalatos a generalizada associação metalífera Bi - Mo - Ta - Nb, a ocasional associação Sc - Ta - Nb e o enriquecimento tardio em Fe podem, pelo menos em parte, estar relacionados com este facto. No campo Licungo a ocasional mineralização scheelítica também pode dever-se originalmente a uma introdução de W a partir do encaixante (Dias *et al.*, 2006a, b).

Campos pegmatíticos	Corposparadigmáticos - locais chave	Minerais tipomórficos	Especialização metalogénica
<i>M'Luma - Nicula</i>	1 - Trincheira Principal da SOMIPE	cheralite, ixiolite, xenotima, monazite	NYF>>LCT , Na>K,
	2 - Cota 257	cheralite, ixiolite, xenotima, monazite	T.R.>Y>U,
	3 - Corpo E-10	berilo policromático, fosfatos, ixiolite	Ti>Nb>Ta>Sc,
	4 - Macacane	schorl, monazite, xenotima, zircão, ilmenorútilo	B>F, Be>Li
	5 - Turmalina	schorl	
	6 - Pinheiro 1	berilo policromático, lepidolite, microlite, Mn-tantalite	
	7 - Munhetua	berilo, lepidolite, Mn-tantalite	
<i>Rio Namivo</i>	1 - M'Bauane	turmalina, berilo	NYF≥LCT , Na≥K,
	2 - Hialino	ganite, quartzo hialino	Ta≥Nb>Ti>U>
	3 - Namivo	berilo policromático, espodumena, taeneolite a lepidolite, microlite, tapiolite, Mn-tantalite	Th>T.R.>Bi>
	4 - Quinquim	berilo, Fe-columbite, struverite, elbaite	W,
	5 - Nassoque	berilo, ilmenorútilo, ilmenite, magnetite, monazite	F≥B, Be≥Li
<i>Rio Licungo</i>	1 - Ígaro	berilo azul	NYF>LCT , K>Na,
	2 - Melatube	berilo azul, ganite, quartzo, bismutinite, Ti-wodginite, struverite, Ti-ixiolite	Ta≥Nb>Ti>Sc>
	3 - Vila Maior	berilo policromático, ganite, lepidolite, columbite	Bi>W>Sn,
	4 - Ethabo	amazonite, berilo, Fe-columbite e struverite	F>B, Be>>Li
	5 - Bismuto	berilo, ilmenorútilo, ilmenite, magnetite, monazite, bismutite	
	6 - Vieira	berilo azul	
	7 - Scheelite	berilo azul	

Quadro 1 - Tipologia geológica dos pegmatitos chave considerados na análise descritiva das mineralizações de referência.

Terrenos	Posição	Complexos	Grupos	Formações
Intrusivos	Tardi-Kibariano a Pan-Africano			Granitóides
Cobertura	Mantos transportados	"Klippe"		de Morrua
				do Rio Molócuè
				de Mamala
			Supergrupo do Lúrio	
Soco	Basal	Base de Mocuba		Gnaisses e migmatitos

Quadro 2 - Sequência tectonoestratigráfica geral para as rochas regionais do distrito pegmatítico Sul Zambeziano - confrontar com a figura 5.

Também decorre das observações de terreno que alguns pegmatitos precoces poderão ter sido sujeitos a deformação sobreposta determinada por deslocamentos tangenciais. Portanto a sobreposição de mantos de carreamento pode ter influenciado as condições termodinâmicas que prevaleceram aquando da cristalização primária e também posteriormente aquando das evoluções paragenéticas secundárias desde situações *subsolvus* a *subsolidus*.

Uma primeira aproximação a este contexto evolutivo procura situar as mineralizações pegmatíticas de Ta dos diferentes campos em grelhas petrogenéticas estabelecidas para algumas fases indicadoras que normalmente acompanham os minerais de Ta.

A localização dos pegmatitos nestas grelhas pode sugerir a profundidade de formação e evolução e eventualmente poderá permitir alguma especulação pertinente a respeito dos níveis estruturais produtivos em pegmatitos tantalíferos o que seria de grande interesse pelo menos para a fase estratégica da prospecção.

2. 1. Grelhas petrogenéticas

Foram utilizadas várias grelhas petrogenéticas para localizar os episódios de transição paragenética em termos de cronologia relativa e condições de evolução - sistema BASH (BeO-Al₂O₃-SiO₂-H₂O - Franz e Morteani, 1981; Barton, 1986) e sistema LASH (Li₂O-Al₂O₃-SiO₂-H₂O ou LiAlSiO₄-SiO₂-H₂O; London e Burt, 1982; London, 1984; 1986). Procurou-se estabelecer sempre uma correspondência entre a localização termodinâmica das derivas paragenéticas e os aspectos texturais determinados em microanálise de superfície (MEV-ER) nos nióbio-tantalatos. Algumas correspondências que é possível discernir deste modo permitem reconstituir os trajectos paragenéticos formulados após a cristalização primária dos pegmatitos e permitem posicionar no tempo e no espaço os surtos tantalíferos mais significativos.

2.1.1. Sistema BASH

Deste sistema foram identificados os minerais indicadores, berilo e crisoberilo. Alguma euclase, bertrandite e fenacite também estão presentes mas resultam essencialmente da transformação hidrotermal do berilo a baixa temperatura.

O crisoberilo aparece principalmente em veios de remobilização de leucossoma muito relacionados com a migmatitização de componentes protolíticos ultra-aluminosos. Os óxidos típicos dessas fácies são essencialmente a magnetite, a hematite, a ilmenite e o ilmenorútilo. O carácter NYF é extremo e a concentração do Ta é muito baixa. A génese destes veios terá acontecido a altas pressões e altas temperaturas. Na figura 6 está marcada uma curva de equilíbrio berilo/crisoberilo perante quartzo e silimanite ou distena (Al₂SiO₅) (Franz e Morteani, 1981). Esta, delimita o campo de segregação metamórfica e cristalização do neossoma favorável ao aparecimento de crisoberilo precoce. Provavelmente o pegmatitos mais tantalíferos formaram-se a temperaturas e pressões bem mais baixas.

Excluem-se deste raciocínio as ocorrências de fenacite, crisoberilo e berilo crómio-vanadífero (esmeralda) em cuja génese há que considerar a influência de outras variáveis dependentes de cisalhamento recorrente (refracção local dos campos de tensões) e metassomatismo. Mas essas ocorrências não são caracteristicamente tantalíferas nem sequer tipicamente pegmatíticas.

2.1.2. Sistema LASH

A grelha petrogenética de London (1984), que invoca os domínios de estabilidade dos silicatos de Li tipomórficos, permite comparar condições de formação e evolução de corpos LCT situados em diferentes contextos tectonoestratigráficos da Província. No Distrito Sul os pegmatitos com esta tipologia são invulgares, mas a mineralização Li sob a forma de silicato está bem representada pelo menos em alguns corpos do campo do Rio Namivo, em poucas ocorrências do campo M'Luma-Nicula (Pinheiro 1, Munhetua e Nicula) e no pegmatito Ilodo que se localiza nas proximidades de Mocubela também bordejando o "Klippe" de Mugeba (Figuras 3, 4 e 5). É neste último pegmatito que se identifica a única situação clara de texturas relíquia da transformação isoquímica, PET. => ESP. + 2QZ (Fig. 6). É também aqui, e no pegmatito Namivo, que se encontra intacta alguma espodumena primária a qual persistiu sem ser totalmente dissipada por desequilíbrio aloquímico e em *subsolidus*, no decurso do *metassomatismo sódico* (Li/Na) e no decurso do *metassomatismo potássico tardio* segundo a reacção generalizada $3ESP + K^+ + 2H^+ \rightleftharpoons MO + 3QZ + 3Li^+$ (London e Burt, 1982). Por

outro lado, o pegmatito Ilodo mostra os melhores exemplos de pseudomorfose de albite e lepidolite após microclina, como expressão textural do *metassomatismo precoce sodolítico* [K/(Na+Li)]. Estas pseudomorfose localizam-se nas proximidades dos enxames de grandes cristais de espodumena.

Tanto neste pegmatito como no pegmatito Namivo os gigacristais de espodumena, que marcam a frente litínifera da fraccionação pegmatítica entre a zona intermédia interna e o núcleo de quartzo, mantêm uma fracção da sua fase primária preservada.

Estes aspectos paragenéticos inscritos no sistema LASH distinguem muito nitidamente as condições de cristalização e evolução dos corpos LCT do Distrito Sul relativamente às condições que se deduzem para os outros distritos da Província Zambeziana (Fig.6).

O colapso generalizado da espodumena que é próprio do Distrito Alto Ligonha nos pegmatitos LCT do Distrito Sul não tem a mesma expressão.

Possivelmente a Sul subsiste um nível estrutural e a uma taxa de exumação no contexto do "uplifting" pós-Pan-Africano que são distintos dos que se observam no Alto Ligonha - trata-se provavelmente de corpos de implantação primordial mais profunda na sequência da estruturação dos mantos transportados típicos das fácies de Cobertura.

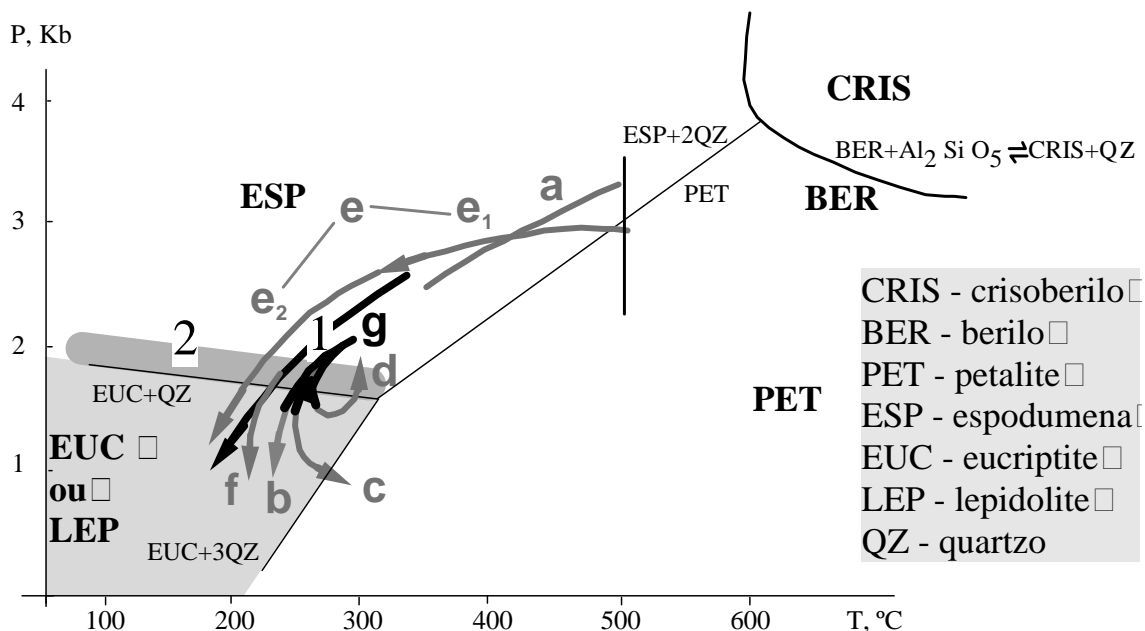


Figura 6 - Sistema LASH – Representação dos domínios de estabilidade termodinâmica dos aluminossilicatos de Li (London, 1984) – Evolução paragenética provável de alguns pegmatitos da Província Zambeziana incluindo os do Distrito Sul. Nota: DISCRIMINAÇÃO DAS TRAJECTÓRIAS DE EVOLUÇÃO - **a** - formação de espodumena I entre a zona intermédia interna clelandítica e o núcleo quartzoso (a espodumena primordial I é totalmente transformada em *subsolidus*) - situação paragenética mais típica dos pegmatitos LCT de Muiane e Naípa onde se observa a pseudomorfose completa da espodumena; **b** - colapso da espodumena para cookeite ± lepidolite ± esmectite - observa-se em Marropino, Morrua, Muiane, Naípa; **c** - lepidolitização maciça e co-precipitação de petalite de baixa temperatura - ocorrência ocasional em paragéneses LCT mais tardias de Namobene, região de Mutala; **d** - lepidolitização, cookeitização e precipitação hidrotermal de kunzite (espodumena II de reprecipitação) - situação paragenética mais típica dos pegmatitos LCT muito especializados quando sujeitos a focagem hidrotermal policíclica em "seismic pumping" (por cisalhamento recorrente) - exemplo de Namacotche; **e** - formação e persistência da espodumena primária como relíquia mesmo após a lepidolitização - situação paragenética mais típica dos pegmatitos LCT sujeitos a menor descompressão - **e₁**- exemplo de alguns domínios do pegmatito Ilodo com petalite preservada e transformação isoquímica de petalite para espodumena e quartzo (2SiO₂), **e₂** - exemplo de alguns domínios do pegmatito Namivo com pseudomorfose incompleta da espodumena; **f** - precipitação directa de micas líticas com estágio espoduménico desconhecido - situação paragenética mais típica de alguns raros pegmatitos LCT do campo M'Luma - Nicula (exemplo-Pinheiro) e Rio Licungo (possível Vilamaior); **g** - intervalos de referência para as condições de pseudomorfose: espodumena=>lepidolite±cookeite±esmectite; 1 - trajetória hipotética de "uplifting" que terá controlado a evolução dos pegmatitos NYF mais típicos do campo Licungo; 2 - faixa de transição para estágio paragenético hidrotermal onde se expandem as condições de troca catiónica Na/Li e K/Li, complementadas com H/Li, que se inicia como uma hidrólise dos silicatos de Li anidros particularmente a espodumena.

3. EQUILÍBRIO E EVOLUÇÃO DOS NIÓBIO-TANTALATOS - MINERALIZAÇÃO TANTALÍFERA

Os padrões de zonalidade composicional observados em imagens MEV-ER de superfície nos Nb-tantalatos do Distrito Sul são extremamente variados. Os padrões progressivos normais e as superfícies homogêneas que indiciam estabilidade no ambiente de cristalização e equilíbrio durante os sucessivos estádios evolutivos são raros e estão presentes nos corpos e unidades internas de mais alto teor tantalífero.

Os zonamentos em retalhos que indicam a maior perturbação dos meios de crescimento e denunciam fenómenos de substituição recorrentes são mais frequentes em pegmatitos caracterizados por menores teores e menores tonelagens de Ta - em geral também se verifica que estes pegmatitos têm menores dimensões. Alguns dos corpos de menores dimensões, que foram sujeitos a incremento P,T por metamorfismo mostram uma consistente obliteração do zonamento primário das columbites-tantalites em especial o zonamento de tipo oscilatório. Adicionalmente também se observa nestas condições uma redução do espectro de variabilidade composicional (homogeneização) e aumento do ordenamento.

Em síntese, para o Sul Zambeziano, existe um cenário de equilíbrio e evolução dos Nb-tantalatos que é compatível com a situação geotectónica deduzida a partir dos aluminossilicatos - instalação mais “profunda” que no Distrito Alto Ligonha.

Algumas especificidades dos campos de referência do Distrito Sul merecem alguma atenção, muito em especial no caso dos pegmatitos de mais marcado cariz NYF, cuja potencialidade tantalífera não é tão generalizada nem consistente como aquela que caracteriza os pegmatitos LCT.

3.1. Nióbio-tantalatos do Campo M'Luma-Nicula

Os pegmatitos deste conjunto filoniano comportam em geral Nb-tantalatos com baixo conteúdo de Ta (Quadro 3) o que era de esperar em paragénese de afinidade NYF. As fases tantalíferas predominantes nos concentrados de minerais densos são as ixiolites e em especial as Ti-Sc-ixiolites. Em alguns casos o conteúdo de Sc é superior ao conteúdo de Ti, facto que se pode considerar uma peculiaridade das ixiolites da Província Zambeziana (Knorring *et al.*, 1969; Leal Gomes *et al.*, 2005; Dias *et al.*, 2006a).

Na figura 7 estão projectadas algumas variações conjugadas de números de catiões calculados para a fórmulas unitárias das ixiolites. Essas relações mostram aspectos composicionais e paragenéticos que individualizam o cortejo de Nb-tantalatos deste campo pegmatítico. Alguns estádios de evolução paragenética distinguem-se pelas tendências de fraccionação expressas nos declives das derivas composicionais em que intervêm Sc/Ti, Mn/Fe e Ta/Nb (Fig.7).

O diagrama Ta/Nb mostra que as relações catiónicas se afastam do somatório Ta+Nb = 2. Portanto, tal como a difractometria de Rx já tinha mostrado, confirma-se o facto de se estar perante verdadeiras ixiolites. A variação mais descontínua e que sugere a existência de várias populações composicionais é aquela que diz respeito ao Sc. Sc/Ti e bem assim as projecções no quadrilátero das columbites mostram um paralelismo de trajectórias consistente e ainda alguma continuidade entre nuvens de projecções. Estas correspondem a níveis topográficos diferenciados na implantação e fraccionação dos pegmatitos ou representam surtos de concentração crescente no contexto de uma mineralização intermitente. É preciso notar que o conjunto pegmatítico amostrado tem atitude subhorizontal e que os corpos situados a cota mais baixa são os que apresentam cristais de ixiolite com menos Ta. De resto as tendências de evolução geoquímica definidas na figura 7, mostram os seguintes percursos e estádios essenciais:

1º - fraccionação pegmatítica primária normal com enriquecimento em Ta e Ti – corresponde a um estado precoce da fraccionação pegmatítica NYF, generalizado;

2º - abertura do sistema filoniano, fraccionação terminal e reacção generalizada com fluidos evoluídos, ricos em Sc e em metais alcalinos.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
CaO	0.00	0.00	0.01	0.00	0.04	0.04	0.03	0.05	0.02	0.02	0.05	0.00
FeO	8.46	10.06	11.21	11.02	8.62	9.08	13.58	9.4	15.16	14.48	13.68	15.05
MnO	3.00	1.93	2.24	1.71	5.99	5.47	5.28	10.31	3.78	4.62	4.93	4.29
MgO	0.01	0.01	0.34	0.12	0.20	0.20	0.18	0.04	0.28	0.23	0.15	0.21
TiO ₂	3.34	3.39	6.97	8.02	7.92	5.83	4.12	2.18	1.42	3.64	3.90	3.28
Nb ₂ O ₅	31.30	30.68	27.52	26.73	43.32	38.40	70.93	68.64	73.57	72.26	71.27	72.26
Ta ₂ O ₅	32.35	32.39	32.21	35.39	27.36	36.02	2.93	7.47	3.69	3.08	2.61	2.72
SnO ₂	6.83	5.69	4.69	6.25	0.92	0.54	0.00	0.00	0.00	0.08	0.11	0.02
WO ₃	4.98	4.44	6.25	2.91	1.03	2.33	1.32	1.85	0.96	1.00	0.96	0.78
PbO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sc ₂ O ₃	9.69	10.06	8.27	6.80	4.93	1.28	0.78	0.13	0.22	0.91	0.80	0.82
Y ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	0.73	0.28
Total	99.97	98.64	99.71	98.96	100.3	99.28	99.14	100.1	99.16	100.6	99.19	99.71
6 oxigénios por fórmula (±3 catiões)												
Fe	0.45	0.54	0.59	0.59	0.43	0.49	0.64	0.45	0.72	0.67	0.64	0.71
Mn	0.16	0.11	0.12	0.09	0.30	0.30	0.25	0.50	0.18	0.22	0.24	0.20
Mg	0.00	0.00	0.03	0.01	0.02	0.02	0.02	0.00	0.02	0.02	0.01	0.02
Ti	0.16	0.16	0.33	0.39	0.36	0.28	0.17	0.09	0.06	0.15	0.17	0.14
Nb	0.90	0.90	0.79	0.78	1.17	1.12	1.81	1.77	1.89	1.82	1.81	1.84
Ta	0.56	0.57	0.56	0.62	0.45	0.63	0.05	0.12	0.06	0.05	0.04	0.04
Sn	0.17	0.15	0.12	0.16	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
W	0.08	0.07	0.10	0.05	0.02	0.04	0.02	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01
Sc	0.54	0.56	0.46	0.38	0.26	0.07	0.04	0.01	0.01	0.04	0.04	0.04
Y	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.01	0.02	0.01
4 catiões por fórmula												
Fe	0.6	0.71	0.76	0.77	0.57	0.66	0.85	0.61	0.97	0.9	0.86	0.94
Mn	0.21	0.14	0.15	0.12	0.4	0.41	0.33	0.67	0.24	0.29	0.32	0.27
Mg	0.00	0.00	0.04	0.01	0.03	0.03	0.03	0.00	0.03	0.03	0.01	0.03
Ti	0.21	0.21	0.43	0.51	0.48	0.38	0.23	0.12	0.08	0.20	0.23	0.19
Nb	1.19	1.18	1.02	1.02	1.54	1.51	2.41	2.38	2.54	2.43	2.43	2.45
Ta	0.74	0.75	0.72	0.81	0.59	0.85	0.07	0.16	0.08	0.07	0.05	0.05
Sn	0.23	0.20	0.15	0.21	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
W	0.11	0.09	0.13	0.07	0.03	0.05	0.03	0.04	0.01	0.01	0.01	0.01
Sc	0.72	0.73	0.59	0.5	0.34	0.09	0.05	0.01	0.01	0.05	0.05	0.05
Y	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.01	0.03	0.01

1 a 4 $\dot{\text{S}}$ ixiolites de unidades metassomáticas com mica arborescente; \square

5 e 6 $\dot{\text{S}}$ ixiolites em periferias de nucleos quartzosos; \square

7 a 12 $\dot{\text{S}}$ ixiolites dispersas em unidades mais ou menos metassomáticas situadas nas zonas intermédias $\dot{\text{S}}$ populações mais numerosas.

Quadro 3 - Selecção de composições pontuais (% peso) obtidas em microsonda electrónica em algumas ixiolites de pegmatitos do Campo M'Luma-Nicula colhidas na região de Muaquiua.

Alguns agregados hemisféricos de cristais de ixiolite situados em unidades miarolíticas tardias ou reacionais acomodam três populações composicionais - ver a variação do Sc em relação com Ta/(Ta+Nb), na figura 7. Combinando este facto com a geometria das tendências evolutivas já referidas é possível deduzir a seguinte sequência de fraccionação conjugada:

1ª população de Nb-tantalatos - fraccionação precoce com pouco Sc (conteúdo de Ti aumenta; o conteúdo de Sc também se dilui na thortveitite contemporânea) => hiato paragenético longo em que o Sc não se expressa mineralogicamente mas aumenta nos diferenciados fluidais => 2ª população - reaccional com conteúdos variáveis mas intermédios de Sc => 3ª população - fraccionação tardia pós reaccional com conteúdos crescentes de Sc mas decrescentes de Ti.

Os diferenciados pegmatíticos primordiais eram à partida enriquecidos em Sc. A variação do Sc ao longo da fraccionação dos pegmatitos está sujeita a surtos cíclicos de hiperconcentração, que nas etapas paragenéticas tardias, à falta de melhor hospedeiro (condições desfavoráveis à deposição de thortveitite) se expressam na ixiolite.

A estrutura cristalina das ixiolites pode acomodar conteúdos de Sc₂O₃ que ultrapassam os 10% em peso, particularmente em paragénese sem thortveitite.

Neste ambiente pegmatítico a ixiolite constitui um contentor eficiente de Sc facto que tem interesse económico dada a alta proporção desta fase.

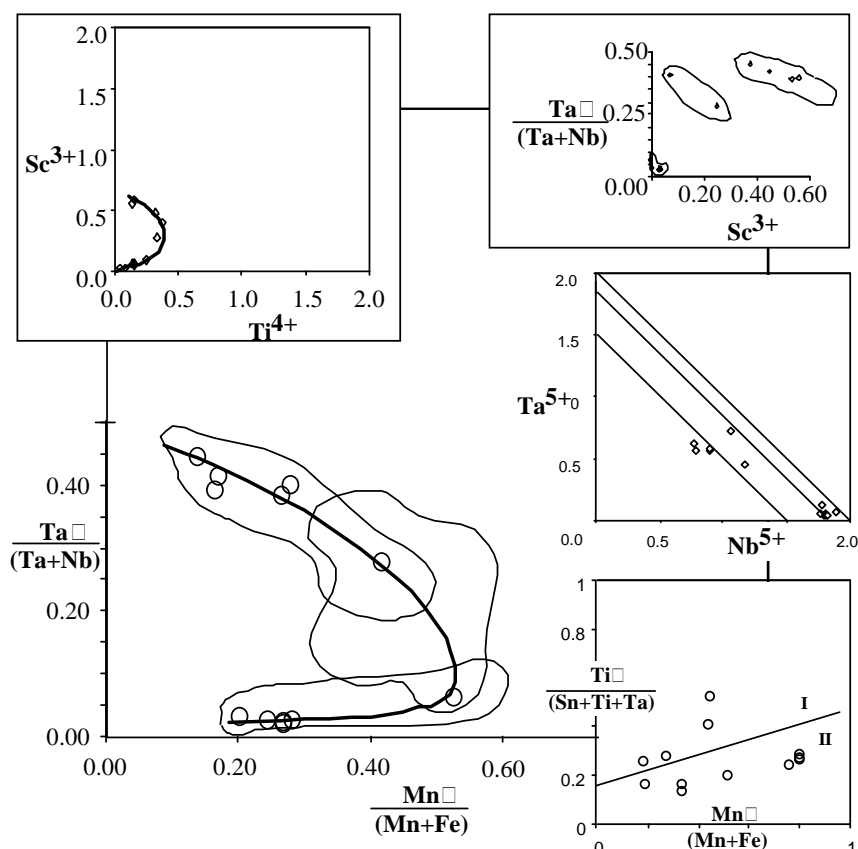


Figura 7 - Representação do posicionamento mineraloquímico das ixiolites de Muaquiua (M'Luma-Nicula) no quadrilátero das columbitas e realce dos caracteres geoquímicos individualizantes.

3.2. Propriedades da mineralização tantalífera no campo pegmatítico M'Luma-Nicula

Da análise paragenética efectuada (ausência de fases litíferas típicas) conclui-se que o Li deverá estar exclusivamente na estrutura das micas, especialmente biotite, moscovite e muito raramente zinwaldite. Não se detectaram evidências nem relíquias texturais da existência de aluminossilicatos de Li anidros. De forma coerente os Nb-tantalatos com altos conteúdos de Ta são raros - como atrás ficou expresso predominam as fases mais ricas em Nb.

As amostras de rocha total extraídas na maioria dos pegmatitos mostram conteúdos de terras raras e Y que são relativamente altos o que está de acordo com a identificação de cheralite, monazite e xenotima em muitos concentrados de minerais densos.

Caracteristicamente as terras raras atingem os valores mais elevados em algumas amostras que simultaneamente mostram os mais altos conteúdos de Ta e de Nb (Quadro 4).

Este esboço de correlação sobressai da projecção de composições patente nos diagramas da figura 8. De uma forma bastante consistente as fácies com mais Nb têm mais Ta, mais T.R. e Y e simultaneamente apresentam as maiores massas de concentrado denso por massa de material pegmatítico sujeito a concentração. A concomitância entre a mineralização de Ta e de T.R. também é sugerida pela definição de nuvens de projecções separadas, situadas ao longo das trajectórias de fraccionação (Fig. 8), evidenciando assim uma geometria similar à que havia sido observada na evolução mineraloquímica do Sc em ixiolites (Fig. 7, atrás).

Em termos gerais os conteúdos de Ta conhecidos são baixos e situados abaixo dos limiares económicos. Não obstante, os conteúdos altos de Nb, T.R. e Y poderiam viabilizar o aproveitamento sucedâneo de Ta em pelo menos alguns corpos de grandes dimensões (grande tonelagem), os quais são muito característicos deste campo pegmatítico particularmente na região de Muaquiua.

	Ta	Nb	Ce	Ti	Sn	Y	La	Zr
1	36	60	14	402	26	8	16	8
2	7	30	1	120	1	1	1	1
3	26	38	29	312	20	12	26	10
4	188	223	310	1961	12	114	281	59
5	19	312	79	596	1	27	89	32
6	39	416	94	2101	14	171	108	26
7	56	129	19	712	2	14	25	8
8	626	1500	520	1912	17	901	527	17
9	32	117	194	812	12	23	220	1
10	52	118	21	317	26	1	16	4
11	79	106	6	1	1	1	1	1
12	6	32	86	275	6	27	79	7
13	100	210	99	741	18	42	61	29
14	23	34	71	532	21	23	18	26
15	18	127	190	1000	101	97	208	14
16	79	193	18	3403	1	40	30	26
17	76	201	112	1027	16	220	129	76

Quadro 4 - Resultados seleccionados de análise química de amostras obtidas em canal transversal a corpos pegmatíticos representativos da área de M'Luma - Nicula, na região de Muaquiua. Notas: composições em ppm; valores de 1 a 4 ppm são considerados apenas aproximativos.

	Ta+Nb	Ce+La	Ta/(Ta+Nb)	(Ta+Nb)/(Ce+La)	Ta/Nb	Y/(Ce+La)	Y/(Ta+Nb)
1	96	30	0.38	3.20	0.60	0.27	0.08
2	37	2	0.19	18.50	0.23	0.50	0.03
3	64	55	0.41	1.16	0.68	0.22	0.19
4	411	591	0.46	0.70	0.84	0.19	0.28
5	331	168	0.06	1.97	0.06	0.16	0.08
6	455	202	0.09	2.25	0.09	0.85	0.38
7	185	44	0.30	4.20	0.43	0.32	0.08
8	2126	1047	0.29	2.03	0.42	0.86	0.42
9	149	414	0.21	0.36	0.27	0.06	0.15
10	170	37	0.31	4.59	0.44	0.03	0.01
11	185	7	0.43	26.43	0.75	0.14	0.01
12	38	165	0.16	0.23	0.19	0.16	0.71
13	310	160	0.32	1.94	0.48	0.26	0.14
14	57	89	0.40	0.64	0.68	0.26	0.40
15	145	398	0.12	0.36	0.14	0.24	0.67
16	272	48	0.29	5.67	0.41	0.83	0.15
17	277	241	0.27	1.15	0.38	0.91	0.79

3.3. Nióbio-tantalatos do Campo Pegmatítico do Rio Licungo

Nos pegmatitos do Rio Licungo a mineralização de Ta é escassa e de distribuição muito irregular. As percentagens de Nb-tantalatos nos concentrados são baixas. Um dos pegmatitos com conteúdos de minerais de Ta mais significativos é o pegmatito de Melatube (Dias *et al.*, 2006b). Trata-se de um corpo NYF boudinado e mineralizado com berilo (por vezes com qualidade gema - variedade água-marinha). Tem marcada tendência potássica (microclina > albite) e raramente apresenta domínios friáveis (relacionados com a presença de albitização seguida de argilização). Em algumas frentes paragenéticas de fraccionamento tardia ou substituição (ricas em zinwaldite e albite e situadas nas proximidades do núcleo quartzoso) a petrografia (MOLR e MEV-ER) mostrou que os portadores de Ta mais frequentes são a struverite, Fe-tantalite e microlite. Identificaram-se também 3 gerações de Fe-columbite (referidas como I, II e III). Estes minerais apresentam-se ocasionalmente intercrescidos com monazite e sulfuretos, sulfossais e carbonatos de Bi, Cu, Pb, Sb, Mo e Ag (Dias *et al.*, 2006a).

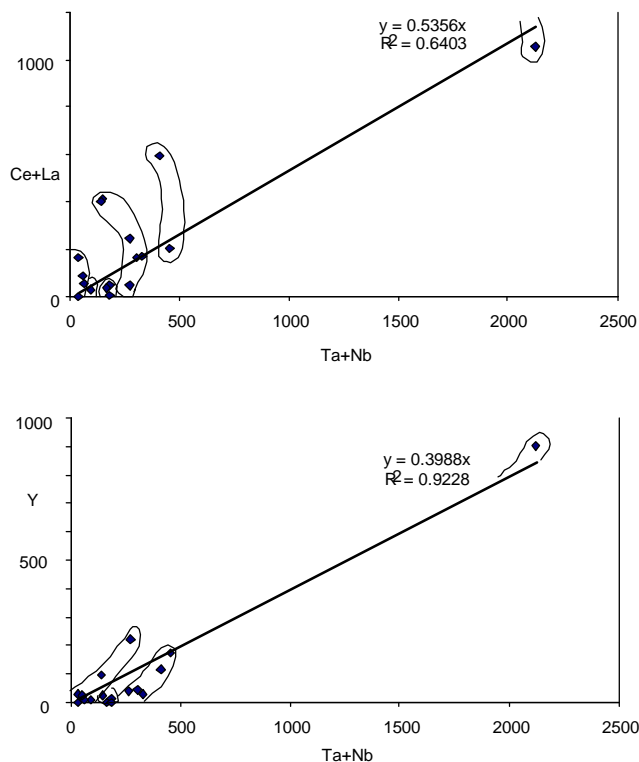


Figura 8 - Projecção das correlações dos conteúdos de Y e Terras Raras representativas com os conteúdos de Nb-Ta.

A struverite automórfica ocorre sob a forma de grãos individualizados mas compósitos em par com Fe-columbite I, sugerindo uma cristalização em equilíbrio. Em MEV-ER as duas fases apresentam uma marcada homogeneidade interna. Também se observa Tiwodginite com o mesmo posicionamento paragenético.

A Fe-columbite (II) e a Fe-tantalite formam intercrescimentos lamelares. A Fe-columbite III ocorre com aspecto vermiforme no interior da Fe-tantalite ou apresenta zonamento oscilatório juntamente com a Fe-tantalite. Nos cristais zonados a Fe-columbite III desenvolve-se em auréola sobre a Fe-tantalite, por sobrecrecimento epitáxico. A zonalidade embora de cariz oscilatório é de tipo inverso ($[Ta]_{\text{bordo}} < [Ta]_{\text{núcleo}}$; $[Mn]_{\text{bordo}} < [Mn]_{\text{núcleo}}$) geometricamente semelhante à que é referida por Tindle *et al.* (1998), Tindle e Breaks (1998) e por Breurlen *et al.* (2003).

A microlite é secundária e ocorre a substituir os Nb-tantalatos mais precoces.

A caracterização química incidiu em especial sobre as fases predominantes em Melatube (Campo Licungo).

A partir dos resultados de análise pontual em microsonda electrónica (Dias *et al.*, 2006b), deduziram-se as composições representativas que constam do quadro 5.

Os aspectos mais relevantes da variabilidade composicional dos Nb-tantalatos estão resumidos no quadro 6.

Às análises de Fe-columbite III correspondem simultaneamente os mais altos conteúdos de Nb_2O_5 e os mais baixos de Ta_2O_5 , estando $Ta/(Ta+Nb)$ no intervalo 0.19 - 0.22%. As maiores percentagens de MnO estão associadas à Fe-columbite vermiforme. À Fe-columbite epitáxica associam-se conteúdos invulgares de Sc_2O_3 (1.1 - 1.2%) e WO_3 (2.0 - 2.1%).

A composição global dos Nb-tantalatos situados no domínio das Fe-tantalites não varia significativamente, estando os conteúdos de Nb_2O_5 situados entre 22.3 - 26.4% e os de Ta_2O_5 entre 52.4 - 57.2%. As percentagens de TiO_2 variam entre 1.9 e 2.5%.

A microlite tem tendência cálcica e valores de TiO_2 relativamente altos situados entre 4.6 e 5.1% ; FeO e MnO são constituintes menores.

Wt. %	Struverite		Microlite		Fe-columbite I		Fe-columbite II		Fe-columbite III		Fe-tantalite	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Nb ₂ O ₅	12,26	10,55	15,25	14,24	46,42	48,15	45,55	48,87	53,20	22,48	26,36	25,02
Ta ₂ O ₅	23,38	24,63	52,72	52,71	25,84	24,78	31,73	22,80	20,60	57,18	53,38	53,69
CaO	0,01	0,01	13,27	13,97	0,01	0,00	0,02	0,01	0,05	0,01	0,00	0,03
Sc ₂ O ₃	0,06	0,11	0,00	0,00	0,53	0,56	0,69	0,97	1,16	0,21	0,11	0,09
TiO ₂	52,05	52,78	4,60	5,08	5,67	6,15	2,31	5,04	3,69	2,41	1,92	2,24
MnO	0,02	0,00	0,03	0,02	0,67	0,23	5,69	5,68	6,35	6,23	6,62	6,15
FeO	10,13	10,01	0,06	0,10	17,35	17,96	10,16	11,32	10,62	9,28	8,95	8,89
SnO	0,00	0,16	0,10	0,12	0,15	0,12	0,00	0,15	0,04	0,05	0,14	0,19
WO ₃	0,17	0,06	0,54	0,93	1,59	0,88	0,79	1,89	1,98	0,80	0,57	0,96
Bi ₂ O ₃	0,06	0,08	n.a.	n.a.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04
Na ₂ O	n.a.	n.a.	3,36	3,28	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
U ₃ O ₈	n.a.	n.a.	0,86	2,46	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
F	n.a.	n.a.	1,78	1,79	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
total	98,13	98,38	92,58	94,70	98,23	98,82	96,95	96,71	97,68	98,65	98,05	97,31

n° de cátions por fórmula unitária

Nb	0,28	0,25	0,53	0,48	1,32	1,34	1,35	1,39	1,49	0,74	0,86	0,83
Ta	0,33	0,34	1,10	1,07	0,44	0,42	0,57	0,39	0,35	1,14	1,05	1,07
Ca	0,00	0,00	1,07	1,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sc	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,03	0,04	0,05	0,06	0,01	0,01	0,01
Ti	2,01	2,04	0,26	0,29	0,27	0,29	0,11	0,24	0,17	0,13	0,10	0,12
Mn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,01	0,32	0,30	0,33	0,39	0,41	0,38
Fe ²⁺	0,44	0,43	0,00	0,02	0,91	0,93	0,56	0,60	0,55	0,57	0,54	0,55
Sn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
W	0,00	0,00	0,01	0,02	0,03	0,01	0,01	0,03	0,03	0,02	0,01	0,02
Na	—	—	0,50	0,48	—	—	—	—	—	—	—	—
U	—	—	0,01	0,04	—	—	—	—	—	—	—	—

Quadro 5 - Seleção de composições químicas de Nb-tantalatos do Pegmatito de Melatube - Campo pegmatítico do Licungo.

3.4. Propriedades da mineralização tantalífera no Campo Pegmatítico do Rio Licungo

No campo pegmatítico do Rio Licungo predominam os corpos de tipo NYF e só ocasionalmente aparece uma expressão tantalífera muito fraccionada como acontece no pegmatito de Melatube. Por outro lado quando se verifica alguma diversidade de mineralização tantalífera, ou as paragêneses portadoras têm expressão volumétrica diminuta ou então os corpos hospedeiros são de muito pequenas dimensões. Não se verifica portanto uma potencialidade significativa.

	Struverite	Microlite	Fe-columbite I	Fe-columbite II	Fe-columbite III	Fe-tantalite
Ta/(Nb+Ta)	0.45 – 0.58	0.68 – 0.69	0.24 – 0.25	0.22 – 0.30	0.19 – 0.22	0.55 – 0.60
Mn/(Mn+Ta)	0.00	0.35 – 0.13	0.01 – 0.04	0.34 – 0.35	0.38 – 0.41	0.37 – 0.44
Ti/(Sn+Ti+Ta)	0.83 – 0.86	0.19 – 0.21	0.38 – 0.40	0.17 – 0.38	0.26 – 0.34	0.09 – 0.11

Quadro 6 - Parâmetros indicadores de fraccionamento calculados para os Nb-tantalatos de ocorrência mais constante.

Do ponto de vista metalogenético a expressão multifásica do Ta manifesta algumas peculiaridades:

- A epitaxia de Fe-columbite III corresponde a uma tendência invulgar de aumento de Nb durante o crescimento cristalino da Fe-tantalite;

b) Observa-se fraccionação culminante com saturação em F da qual depende a formação de microlite em substituição dos Nb-tantalatos precoces. Este tipo de paroxismo evolutivo é poucas vezes observado mas é previsível atendendo a que as linhagens NYF tendem a concentrar tardiamente o flúor. Possivelmente, a escassez de constituintes capazes de viabilizarem outras fases portadoras de F e Ta terá sido responsável pelo aparecimento desta microlite que, sublinhe-se, não é muito habitual em corpos NYF;

c) A formação de struverite como fase tantalífera bastante persistente é interpretada invocando processos de contaminação dos diferenciados pegmatíticos por transferência de Ti e Fe a partir das rochas máficas encaixantes (Dias *et al.*, 2006b);

d) Ta/(Ta+Nb) cresce para valores constantes de Mn/(Mn+Fe). A cristalização de granada (Mn-almândina a espessartite) concomitante com a formação de Nb-tantalatos pode impor um decréscimo da incorporação de Mn nas estruturas destes óxidos. Mulja *et al.* (1996) referem-se a este comportamento do Mn. Padrão evolutivo similar havia sido detectado na composição de columbites da unidade granatífera bandada (zona mural) do pegmatito de Naípa (Alto Ligonha) - conhecida como “unidade pele de cobra” - e também na paragénese da ocorrência Ferreiro da mesma concessão de Naípa (Leal Gomes, 1998, 1999a, b, c, 2003). Ora, no caso do grande corpo LCT de Naípa esta situação paragenética verifica-se na bordadura e no início do enriquecimento em Ta que caracteriza a metalogénese daquele pegmatito - início da fraccionação. Em antítese a coexistência, Nb-tantalato/granada, no caso de Melatube tem uma localização quase nuclear - próxima do termo da fraccionação. Por isso não é de esperar que neste pegmatito se atinjam concentrações de Ta significativas do ponto de vista económico.

As constatações acima expostas são coerentes entre si e põem em evidência ou explicam as baixas concentrações de Ta alcançadas pela mineralização do campo pegmatítico do Rio Licungo.

3.5. Propriedades da Mineralização Tantalífera no Campo Pegmatítico do Rio Namivo

Em afloramentos e em pequenos trabalhos de pesquisa do campo pegmatítico do Rio Namivo foram obtidos concentrados de minerais densos em canais escavados transversalmente aos contactos dos filões pegmatíticos em especial nas suas porções mais friáveis. Os pegmatitos com concentrados mais significativos, pela sua massa e conteúdo de Nb-tantalatos, são os de tipo LCT entre os quais se destacam o corpo Namivo e o grupo Nassoque que foram objecto de lavra mineira no passado. Nestas duas ocorrências representativas foram identificados (por DRX e SEM-DE) os minerais densos que a seguir são listados por ordem decrescente de abundância:

- Namivo - granada, espodumena, columbite-tantalite > mangano-tantalite > microlite, U-Pb-microlite, tapiolite, pirocloro, euxenite, samarskite, betafite, rútilo, cassiterite, Ti-ixiolite, Ti-wodginite, OH-herderite, turmalina (elbaite), vigezzite;

- Nassoque - columbite-tantalite > microlite, cassiterite, Ta-aeschnite, brabantite, zircão, uraninite, thorianite, cassiterite, xenotima, monazite, rútilo, granada, turmalina (schorl), hidróxidos de Fé, anfíbola (contaminação do encaixante?), magnetite, ilmenite.

No quadro 7 estão presentes os resultados de algumas análises químicas efectuadas sobre concentrados representativos destas ocorrências (amostra total - ICP, fluorescência de RX e absorção atómica).

	Namivo			Nassoque		
	1	2	3	4	5	6
Ta ₂ O ₅	29.53	66.11	28.00	42.86	15.50	35.55
Nb ₂ O ₅	11.24	9.03	26.12	6.25	15.32	18.20
FeO	4.33	1.99	8.11	5.00	14.23	12.55
MnO	0.90	9.09	3.15	2.37	8.79	7.49
U ₃ O ₈	0.11	0.04	0.61	1.22	0.81	0.32
Sb ₂ O ₃	0.00	0.11	0.18	0.96	1.12	0.88
SnO ₂	3.01	3.41	1.08	0.76	19.20	3.20
TiO ₂	12.01	8.98	8.77	0.89	12.01	4.28
ThO ₂	0.00	0.00	0.00	0.06	0.72	0.35

Quadro 7 - Composições químicas seleccionadas de concentrados de minerais densos ($d > 2.89$) obtidos por separação de amostras em canal transversal em pegmatito friável - campo do Rio Namivo. Nota - apenas são apresentados os óxidos significativos do ponto de vista do processamento metalúrgico (metais úteis e penalizantes da produção e mercado); valores em % peso.

No pegmatito LCT mais evoluído deste campo, conhecido como pegmatito Namivo, os valores mais frequentes estão situados entre as análises 1 e 2.

No mesmo campo e no grupo pegmatítico de Nassoque, que representa a tipologia LCT mais vulgar, os valores mais frequentes deverão ser idênticos a 6 mas a relação entre a massa de concentrado e a massa de rocha submetida a concentração é muito pequena e vários ensaios de separação deram resultados negativos no que respeita à presença de óxidos de Nb-Ta. Assumida como certa a produtividade tantalífera (Leal Gomes e Dias, 2007b), sobretudo no caso do pegmatito Namivo, procurou-se com estas análises caracterizar os concentrados potenciais com vista à sua eventual inserção no mercado.

Estão em curso análises pontuais em microsonda electrónica das fases com Ta e Nb, mas alguns resultados de difractometria de Rx e de análise química em MEV-DE, permitem já uma primeira classificação e projecção de composições médias e representativas no diagrama da columbite-tantalite (Fig. 9).

Nesse diagrama é de realçar a frequência de composições tapiolíticas em muitos grãos dos concentrados. Foram também identificados como tapiolite (por DRX) alguns cristais presentes em unidades tardias sobretudo relacionadas com episódios de alteração associada a cataclase.

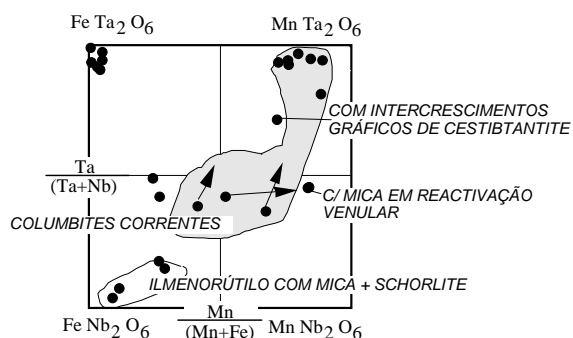


Figura 9 - Projecção de composições de Nb-tantalatos do pegmatito Namivo no quadrilátero columbite-tantalite / tapiolite. Notas: as projecções pontuais representam composições médias de 2 a 5 análises pontuais em MEV-DE e por dispersão de comprimentos de onda (erro - 2% relativo); as composições foram normalizadas ao número de átomos por fórmula $(Fe,Mn)(Ta,Nb)_2O_6$; as variáveis dizem respeito ao número de cátions calculados; as setas indicam tendências de variação composicional estabelecidas ao nível de cada cristal, individualizado morfológicamente.

Como se referiu atrás, o colapso e substituição da espodumena primária do Namivo tem características paragenéticas peculiares - não se verifica pseudomorfose completa persistindo abundante espodumena primária restítica. Esta peculiaridade da evolução em *subsolidus* é acompanhada de uma outra singularidade agora ao nível da mineralização tantalífera. De facto uma microlite simples (típica), cor de palha, ocorre em poalhas cristalinas muito finas retidas sob a forma de disseminação e em associação com os filossilicatos

secundários nas pseudomorfoses espoduménicas incompletas. Esta população microlítica distingue-se das U-Pb-microlites mais tardias que parecem concomitantes das tapiolites também tardias e de algumas fases metamórficas que as acompanham - formanite, euxenite, fersmite, samarskite, Ta-aeshynite e betafite.

Na evolução paragenética do pegmatito Namivo verifica-se um enriquecimento em Fe perceptível na composição dos concentrados que pode estar relacionado com a formação tardia de tapiolite em unidades de substituição. Este comportamento pouco habitual da fraccionação dos Nb-tantalatos parece resultar essencialmente da abertura do sistema a soluções hidrotermais provenientes das rochas encaixantes cujos protólitos são hiperferríferos. Nota-se que alguns quartzitos ferralíticos e meta-“banded iron formations” afloram perto do contacto do pegmatito e em especial perto de domínios internos onde se situam as paragénese que simultaneamente evidenciam maior alteração, cisalhamento (cataclase) e maior quantidade de tapiolite. Valores idênticos de Ta/(Ta+Nb) em Nb-tantalatos primários e secundários são consistentes com a baixa mobilidade do Nb e Ta nos episódios hidrotermais tardios. Reciprocamente, estas relações sugerem que os processos de fraccionação de natureza magmática são mais eficientes para a fraccionação do Ta e do Nb.

4. CONCLUSÕES

O Sector Sul Zambeziano da província pegmatítica pode ser encarado como um distrito pegmatítico com características próprias e uma situação tectonoestratigráfica comum possivelmente alojado num nível estrutural mais basal relativamente ao complexo de mantos transportados (Morrua, Molócuè e Mamala - quadro 2). Os respectivos pegmatitos asseguram a continuidade para Sul de um arco cartográfico (cintura, no contexto da hierarquização das distribuições regionais de Cerny, 1982) que grosseiramente envolve os campos pegmatíticos do Alto Ligonha. Hipoteticamente, esta disposição regional poderá ser o resultado de diferentes taxas de conjugação entre o progresso dos últimos ciclos erosivos e as taxas de “uplifting” a que terão estado sujeitos de forma diferenciada alguns níveis estruturais estabelecidos na evolução dos orógenos Kibariano a Pan-Africano.

4.1. Feição NYF

Os pegmatitos NYF são muito frequentes, e predominantes em afloramento. As suas anatomias revelam os seguintes aspectos essenciais:

- *dimensões e atitudes muito variadas;*
- *massas indiferenciadas totais em cada jazigo individual < 3 Gt (na grande maioria dos casos os pegmatitos são muito pequenos);*
- *estrutura interna simples;*
- *corpos maiores têm estrutura complexa com pequenos e raros domínios de paragénese LCT por evolução hidrotermal de fluidos tardios alóctones;*
- *marcado carácter berilífero;*
- *ocorrência de micas líticas primárias (biotite e moscovite) em unidades de bordadura;*
- *teor médio de Ta < 150 ppm (valor artificialmente enviado - excessivo - pelo facto de serem sobrevalorizadas as raras paragénese internas mais litiníferas);*
- *Li médio < 230 ppm;*
- *Cs médio < 1219 ppm (corpos amazoníticos);*
- *Ta culminante < 445 ppm.*

O Ta atinge os mais altos teores em unidades albítico-micáceas situadas em periferias de núcleos quartzosos, com struverite, Ti-wodginite, columbite-tantalite, pirocloro, monazite e cheralite.

O Li é escasso e está expresso como zinwaldite em unidades miarolíticas ou de substituição interna circunscrita, às quais se associam bismutinite, sulfossais de bismuto, cobre, chumbo e bismutite (gerada num ciclo hidrotermal tardio de carbonatização em condições oxidantes).

Feição LCT

São muito raros os afloramentos de pegmatitos LCT. As características essenciais dos pegmatitos e unidades pegmatíticas desta índole são as seguintes:

- ocorrem em corpos de grandes dimensões com possanças afluantes decamétricas;
- as atitudes pouco inclinadas são frequentes;
- massas indiferenciadas totais em cada jazigo individual >100Kt (os corpos verdadeiramente LCT são muito grandes (Ex.: Namivo > 759Kt) e poderão existir corpos e unidades não afluantes com massas significativamente maiores);
- marcado carácter berilífero;
- ocorrência de ganite e granada em unidades de bordadura;
- teor médio de Ta < 200 ppm;
- Li culminante < 10230 ppm;
- Cs culminante < 2112 ppm (corpos com lepidolite ± espodumena);
- Ta culminante < 834 ppm.

A especialização tantalífera das unidades lepidolíticas é bastante marcada. O Ta atinge os mais altos teores nas paragénese com tapiolite e microlite (ocasionalmente também Mn-tantalite).

A polucite é rara, mesmo nas zonas mais ricas em Li, Cs e Ta e apenas foi identificada no pegmatito Namivo.

As micas são composicionalmente muito variadas incluindo os extremos seguintes (caso Namivo):

- biotite e taeniolite de bordadura;
- moscovites líticas e lepidolites de unidades de substituição tardia.

Algum Li está expresso como espodumena primária restítica após a evolução pseudomórfica incompleta em *subsolidus*.

4.3. Mineralização tantalífera do Sul Zambeziano

Em termos gerais deduz-se que no caso dos pegmatitos do Sul da Zambézia a variação do potencial tantalífero dos diferentes pegmatitos depende mais do tipo e volume de algumas unidades internas mineralizadas e parageneticamente individualizáveis do que da geoquímica e especialização atribuível aos corpos totais e seus conjuntos. Isto sucede em resposta à recarga fluidal a que estiveram sujeitos alguns corpos instalados em carreamentos com deslocamento tangencial e transcorrente polifásicos, em especial aqueles que estão mais próximos do acesso a influxos LCT mais típicos da parte central da Província Pegmatítica - Distrito Alto Ligonha.

A variação interna dos teores de Ta nos diversos pegmatitos é em primeiro lugar um efeito da evolução primária - progressiva e oscilatória - e geometricamente assume o aspecto de uma fraccionação centrípeta *in situ* bem marcada na tendência mineroquímica, Fe-columbite – Mn-columbite – Ti,Sc-ixiolite.

Em segundo lugar, algum enriquecimento em Ta no estado *subsolidus*, resulta de um primeiro ciclo de endometassomatismo sódico-lítico em unidades LCT ou apenas sódico em unidades NYF, os quais são acompanhados do aumento do conteúdo modal de albite /lepidolite ou paragonite/albite + minerais de Y e T. R. (xenotima, cheralite, monazite), respectivamente.

O incremento de conteúdo de Ta e algum Ta remobilizado são fraccionados de Fe-columbitas para Mn-tantalites ou tapiolites. Struverites, Ti-wodginites, microlites, pirocloros, aeschynites, formanite, euxenite, fersmite e vigezzite formam-se ocasionalmente a expensas das ixiolites em sistemas NYF.

Um segundo ciclo de alteração lítio-césica, só presente em corpos de carácter LCT muito marcado (Rio Namivo), produz abundante mica lítica mas os óxidos de Ta anteriores permanecem estáveis, limitando-se a sofrer pequenas remobilizações intracristalinas de dispersão espacial limitada. Em algumas unidades que sofrem instabilização selectiva neste ciclo, tal como sucede com as frentes espoduménicas na periferia de núcleos quartzosos, pode ocorrer um primeiro estágio de mineralização microlítica fina que expressa um “stock” Ta adicional acrescentado centripetamente a partir de fluidos exógenos.

A alteração deutérica de baixa temperatura e a meteorização - cockeização, argilização (esmectitização, caulínização) - não afectam o potencial tantalífero expresso nos óxidos anidros simples mas remobilizam parcialmente os minerais do grupo do pirocloro e em especial as microlites. O Ta não lixiviado acaba sequestrado em U, Pb- microlites.

Os raros corpos LCT que se observam no Sul Zambeziano e que apresentam os conteúdos mais altos de Ta diferem parageneticamente dos que, com a mesma feição, caracterizam o Distrito Alto Ligonha. De facto, apresentam minerais de Li primários e de alta temperatura preservados em equilíbrio, pelo menos parcialmente. A análise descritiva das suas paragéneses (equilíbrio de fases) e a distribuição geológica regional que manifestam sugerem que estes pegmatitos constituem intrusões na base dos complexos de mantos carregados, situados em auréola à volta do Distrito Alto Ligonha. Verticalmente correspondem-lhes uma posição mais proximal em relação a uma faixa onde podem estar mais representados os granitóides parentais (Pan-Africanos) cujas cúpulas não afloram. Este horizonte pegmatítico LCT basal, perante o actual ciclo erosivo (relevo actual), apenas assoma em alguns pontos do Distrito Sul (Ilodo, Ginama, Namivo). Este facto deveria ser tido em maior consideração nas fases estratégicas de prospecção do Ta deslocando o esforço que actualmente se concentra no Distrito Alto Ligonha para o Distrito Sul. Aqui, as ocorrências pegmatíticas tantalíferas não serão talvez tão evidentes nem facilmente detectáveis à superfície mas os indicadores geotectónicos e metalogenéticos sugerem a possibilidade de existência de pegmatitos LCT tantalíferos ocultos e de grande dimensão. Salienta-se uma vez mais que estes factos justificariam uma maior concentração dos esforços de prospecção estratégica do Ta no Distrito Pegmatítico Sul Zambeziano.

BIBLIOGRAFIA

- ABELLA, P. A.; CORBELLA CORDOMÍ, M.; MELGAREJO DRAPER, J. C. (1995) - Nb-Ta minerals from the Cap de Creus pegmatite field, eastern Pyrenees: distribution and geochemical trends. *Mineral. Petrol.* **55**, pp. 53-69.
- AFONSO, R. S. (1976) - A Geologia de Moçambique (Notícia Explicativa da Carta Geológica de Moçambique à escala 1:2 000 000). *Direcção dos Serviços de Geologia e Minas, Maputo*, 175 p.
- BANDY, M. C. (1951) - The Ribáuè - Alto Ligonha pegmatite district, Portuguese East Africa. *Rocks and minerals, Peekskill, N. Y.*, **26**, pp. 512-521.
- BARROS, A. F.; VICENTE, C. M. (1963) - Estudo dos Campos Pegmatíticos da Zambézia. *Relatório Interno da Comissão de Energia Nuclear (Portugal)*, 127 p.
- BARROS, R. (1983) - Classificação dos pegmatitos da Zambézia. *Bol. Soc. Geol. de Portugal*, **22**, pp. 299-305.
- BARTON, M. D. (1986) - Phase equilibria and thermodynamic properties of minerals in the system BeO-Al₂O₃-SiO₂-H₂O, with petrologic applications. *Amer. Mineral.*, **71**, pp. 277-300.

- BREURLIN, H.; SOARES, D. R., BORGES, E. P.; LEO, H. S. V.; SILVA, M. R. R. (2003) - Análise de mecanismos de substituição em tantalato exótico: provável titano-ixiolita na província pegmatítica da Borborema. *Revista de Geologia*, **16**, nº 2, pp.7-18.
- CERNY, P. (1982) - Anatomy and classification of granitic pegmatites. *MACshort Course Handbook*, **8**, pp. 1-39.
- CERNY, P. (1989) - Characteristics of Pegmatite Deposits of Tantalum. In: *Lanthanides Tantalum and Niobium* (Möller, P.; Cerny, P. Saupé, F.-eds.) Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- CLAUS R. J.; HUTCHINSON R. W. (1956) - Pegmatite deposits, Alto Ligonha, Portuguese East Africa. *Econ. Geol.*, **51**, pp. 708-721.
- CORREIA NEVES, J. M.; LOPES NUNES, J. E.; LUCAS, D. B. (1971) - Mineralogy and geochemistry of pegmatites from Mozambique (P.E.A.). *Rev. Ciênc. Geol. Lourenço Marques*, **4**, Sér. A, pp. 1-11.
- COTELO NEIVA, J. M.; CORREIA NEVES, J. M. (1960) - Pegmatites of Alto Ligonha (Mozambique - Portuguese East Africa). *XXI Int. Geol. Cong. Section*, **17**, pp. 35-62.
- DIAS, P. A.; LEAL GOMES, C.; GUIMARÃES, F.; MARQUES, J. (2006a) - Estilos contrastantes da mineralização bismutífera - equilíbrio e evolução na Província Pegmatítica da Zambézia, Moçambique. *Livro de Actas, VII Congresso Nacional de Geologia. Simpósio sobre pegmatitos graníticos*. pp. 1161-1164.
- DIAS, P. A.; LEAL GOMES, C.; MARQUES, J.; GUIMARÃES, F. (2006b) - A fraccionação de Bi-Ti-Nb-Ta em pegmatitos graníticos como indicador paragenético para a detecção de água-marinha - Aplicação ao caso de Melatube (Mocuba, Moçambique). *Livro de Actas, VII Congresso Nacional de Geologia. Simpósio sobre pegmatitos graníticos*. pp. 1157-1161.
- FRANZ, G.; MORTEANI, G. (1981) - The System BeO-Al₂O₃-SiO₂-H₂O: Hydrothermal investigation of the stability of beryl and euclase in the range from 1 to 6 Kb and 400 to 800°C. *Neues Jahrbuch für Mineralogie Abhandlungen*, **140**, pp.273-299.
- GOMES, C. F. (1967) - Alteration of spodumene and lepidolite with formation of dioctahedral chlorite plus dioctahedral chlorite-dioctahedral montmorillonite interstratifications. *Memórias e Notícias, Publ. Mus. Lab. Mineral. Geol. Univ. Coimbra*, **64**, pp. 32-57.
- KNORRING, O. V.; SAHAMA, TH. G.; LEHTINEN, M. (1969) - Scandian ixiolite from Mozambique and Madagascar. *Bull. Geol. Soc. Finland*, **41**, pp. 75-77.
- KNORRING, O. V.; FADIPE, A. (1981) - On the mineralogy and geochemistry of niobium and tantalum in some granite pegmatites and alkali granites of Africa, *Bull. Minéral.*, **104**, pp. 496-507.
- LEAL GOMES, C. (1998) - Caracterização do jazigo pegmatítico de Naípa - fundamentos do plano de pesquisa, preparação e exploração do jazigo. *Relatório inédito arquivado na Direcção Nacional de Minas de Moçambique (empresa EuroExport, Lda., sediada em Nampula)*, 26p.+10 fólios.
- 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 Naípa - Zambézia - Moçambique. *Actas do II Congresso Ibérico de Geoquímica e XI Semana de Geoquímica, Lisboa*, pp. 81-85.
- LEAL GOMES, C. (1999c) - Notícia da prospecção geológica e lavra mineira na área da concessão Naípa - Zambézia - Moçambique (Concessão nº. 23/C/96) - *Relatório inédito arquivado na Direcção Nacional de Minas de Moçambique (empresa EuroExport, Lda., sediada em Nampula)*, 52 p.

- LEAL GOMES, C. (1999d) - Investigação e prospecção geológica na Área de Nahia - notícia de progresso da prospecção e pesquisa - Província da Zambézia, Distrito do Gilé. *Relatório inédito arquivado na Direcção Nacional de Minas de Moçambique (empresa EuroExport, Lda., sediada em Nampula), 24 p.*
- 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 arquivado na Direcção Nacional de Minas de Moçambique (empresa EuroExport, Lda., sediada em Nampula), 48 p.*
- LEAL GOMES, C. (2000b) - E.V.E. Namacotche (Estudo de Viabilidade Económica) – Mutala-Alto Molocué – Zambézia (Título Mineiro nº. 682/L/99). *Relatório inédito arquivado na Direcção Nacional de Minas de Moçambique (empresa EuroExport, Lda., sediada em Nampula), 22 p.*
- LEAL GOMES, C. (2003) - O papel dos fenómenos de evolução tardia na génese de gemas pegmatíticas - ilações da análise paragenética em pegmatitos LCT do Alto Ligonha (Moçambique). *A Geologia e os Recursos Geológicos. Coimbra, Imprensa da Universidade, v. II, pp. 217-228.*
- LEAL GOMES, C.; DIAS, P. (2007a) - Diagnóstico de potencialidades para a valorização da área mineira do Licungo - Zambézia, Moçambique. *Relatório Inédito para AGS - Prospecção e pesquisa mineral, Mocuba, Moçambique, 6p.+ 2 fólhos.*
- LEAL GOMES, C.; DIAS, P. (2007b) - Recomendações para as fases de prospecção e pesquisa na área do Campo pegmatítico do Rio Namivo, Zambézia, Moçambique. *Relatório Inédito para AGS - Prospecção e pesquisa mineral, Mocuba, Moçambique, 11p.+7 fólhos.*
- LEAL GOMES, C.; GUIMARÃES, F.; MARQUES, J. (2005) - Caracterização composicional e paragéneses das Sc, Ti-ixiolites de Muaquiua - Zambézia Sul, Moçambique. *Actas do VIII Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa, Aveiro, pp. 323-326.*
- LONDON, D. (1984) - Experimental phase equilibria in the system Li Al SiO₄-SiO₂-H₂O: a petrogenetic grid for the lithium-rich pegmatites. *Amer. Mineral.*, **69**, pp. 995-1004.
- LONDON, D. (1986) - Magmatic - Hydrothermal transition in the Tanco rare - element pegmatite: evidence from fluid inclusions and phase - equilibrium experiments. *Amer. Mineral.*, **71**, pp. 376-395.
- LONDON, D.; BURT, D. M. (1982) - Chemical models for lithium aluminosilicate stabilities in pegmatites and granites. *Amer. Mineral.*, **67**, pp. 494-509.
- LOPES NUNES, J. E. (1973) - Contribution à l'étude minéralogique et géochimique des pegmatites du Mozambique. *Sciences de la Terre, Mem. 26, Nancy, 261 p.*
- MULJA, T.; WILLIAMS-JONES, A. E.; MARTIN, R. F.; WOOD, S. A. (1996) - Compositional variation and structural state of columbite-tantalite in rare-element granitic pegmatites of the Preissac-Lacorne batholit, Quebec, Canada. *Am. Min.*, **81**, pp. 146-157.
- SAHAMA TH. G., KNORRING, O. V. & LEHTINEN, M. (1968) - Cookeite from the Muiane pegmatite, Zambézia, Mozambique. *Lithos*, **1**, pp. 12-17.
- TINDLE, A. G.; BREAKS, F. W.; WEBB, P. C. (1998) - Wodginite-group minerals from the Separation Rapids rare-element granitic pegmatite group, northwestern Ontario. *Can. Min.*, **36**, pp. 637-658.
- TINDLE, A.; BREAKS, F. W. (1998) - Oxide minerals of the separation rapid rare-element granitic pegmatite group, northwestern Ontario. *Can. Min.*, **36**, part 2, pp. 609-635.