

são notadamente distintos. Nesta última área, além dos corpos em geral serem menores, apresentam certas espécies fosfáticas ausentes ou raríssimas em Galiléia, como brazilianita, scorzalita e, recentemente, foi descrita em um pegmatito de Linópolis a burangaíta (Bermanec et al., 2004). Essa assembléia mineralógica, incluindo a série childrenita-eosforita, é bastante similar com aquela do Pegmatito Buranga, de Ruanda (Fransolet, 1980), enquanto as presenças exclusivas de espodumênio, stokesita e sulfetos, e também uma diversidade muito maior de fosfatos secundários, tipificam os depósitos de Galiléia. Em suma, com o estudo da mineralogia fosfática primária e secundária, bem como seus relacionamentos, permitiu-se a identificação de diversos tipos de pegmatitos com base na constituição mineralógica, além de possibilitar a caracterização de modo integrado, das assembléias e paragêneses minerais raras envolvidas. A descrição de sete minerais somente nesses pegmatitos, e tal diversidade demonstrada, abre um campo largamente potencial para a descoberta de novos minerais na região.

A partir da classificação apresentada neste estudo, optou-se por estudar detalhadamente os pegmatitos mineralizados a montebrasita primária.

O anexo III apresenta estudo sobre ambligonita-montebrasita e suas paragêneses de alteração. A partir de análises químicas e da caracterização das ocorrências e suas associações, foram identificados três tipos de ambligonita-montebrasita. O primeiro tipo corresponde a montebrasita rica em flúor de origem primária. Esta ocorre associada a outros minerais primários do corpo pegmatítico, como microclina, quartzo e muscovita. O segundo tipo corresponde a montebrasita de origem secundária, produzida por dissolução da montebrasita primária em um estágio metassomático. Ocorre em corpos de substituição/cristalização tardia associada a fluorapatita, muscovita e albita. O terceiro tipo, também de origem secundária, ocorre em corpos de substituição/cristalização tardia, com cristalização relacionada a processos hidrotermais.

Considerando a mineralogia dos pegmatitos estudados e as paragêneses identificadas, é apresentado um esquema de evolução mineralógica/composicional para a região de Divino das Laranjeiras - Mendes Pimentel.

O trabalho apresentado no anexo IV corresponde a um estudo sistemático dos minerais da série childrenita-eosforita e da ernstita. O estudo trata de uma comparação entre amostras provenientes de pegmatitos de Divino das Laranjeiras, da Lavra da Ilha em Itinga e do pegmatito do Alto Redondo, Paraíba. Estudos por Espectroscopia Mössbauer sugerem a presença do cátion Fe(III) na sítio octahédrico do Al(III) para a ernstita, além disto propõe-se uma nova fórmula química para este mineral sendo dada por:  $(\text{Mn}^{2+}, \text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+})(\text{Al}^{3+}, \text{Fe}^{3+})\text{PO}_4(\text{OH})_{2-x}\text{O}_x$ .

Em algumas amostras de childrenita-eosforita foi identificada a presença de Fe(III). Este se deve à presença de pequenas quantidades de ernstita associada à childrenita-eosforita, o que ocorre devido a oxidação parcial destes minerais.

## CAPÍTULO 4 – DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A evolução da mineralogia fosfática em pegmatitos está subdividida em 3 fases distintas, que serão responsáveis pela formação de paragêneses específicas, ocorrendo em função da composição/temperatura do meio. Esta evolução será função tanto de fatores internos, como a composição e mineralogia do ambiente primário, quanto de fatores externos, como a entrada de água meteórica.

As fases fosfáticas de origem primária podem ser submetidas a processos de alteração com intensidade variável. Processos mais intensos são capazes de substituir completamente a mineralogia primária do corpo, enquanto os de menor intensidade irão substituir parcialmente, possibilitando uma melhor interpretação da evolução química do pegmatito.

A grande variedade de fosfatos existentes no Distrito Pegmatítico de Conselheiro Pena, e em alguns casos a presença de mais de 20 minerais diferentes em um só corpo pegmatítico, possibilitou a formação de complexas e variadas paragêneses minerais.

A partir do cadastramento dos pegmatitos do Distrito Pegmatítico de Conselheiro Pena, cujas localizações são apresentadas no Anexo I, foram selecionados e estudados os corpos mais significativos, portadores de minerais fosfatos.

O anexo II apresenta um estudo das paragêneses e associações minerais no Distrito Pegmatítico de Conselheiro Pena. Tal estudo foi baseado no levantamento mineralógico de 13 corpos pegmatíticos, classificando-os em cinco tipos quanto à origem da mineralização e/ou suas paragêneses e associações fosfáticas. Os cinco tipos são listados a seguir:

- I - Pegmatitos ricos em lítio, com montebrasita primária;
- II - Pegmatitos ricos em lítio, com trifilita primária;
- III - Pegmatitos com apatitas primária e secundária;
- IV - Pegmatitos não portadores de fosfatos primários, com paragêneses de alteração da montebrasita;
- V - Pegmatitos não portadores de fosfatos primários, com paragêneses de alteração da trifilita.

Demonstrou-se que os pegmatitos da região de Galiléia são corpos em geral potentes, principalmente de dois tipos: (a) com trifilita primária e seus fosfatos de alteração e, (b) com apatitas primária e secundária. O primeiro tipo relacionado inclui as lavras Boca Rica, Sapucaia (agrupamento Sapucaia do Norte) e Boa Vista 1/Ênio (agrupamento Fazenda Boa Vista). O pegmatito da Lavra da Cigana (ou João), revelou também, conforme caracterizado, grandes semelhanças com esse tipo. No segundo tipo, incluem-se as lavras Urucum-GEOMETA e a Lavra do Orozimbo Coelho, do agrupamento da Serra do Urucum. Ao que parece, nessas últimas a proximidade com a intrusão granítica fonte da mineralização (Granito Urucum), propiciou apenas o aparecimento da apatita primária, e uma fase de alteração metassomática posterior gerou as apatitas secundárias. Nos exemplos mostrados, nas lavras Boca Rica, Sapucaia, Boa Vista/Ênio e Cigana, os corpos pegmatíticos estão associados à Formação São Tomé, denotando certo distanciamento do magma primário gerador. Nesses corpos aparecem principalmente a trifilita (primária) e abundantes fosfatos secundários gerados a partir de um estágio hidrotermal e/ou metassomático posterior.

Interessante ainda observar que, embora os pegmatitos de Galiléia estejam localizados bastante próximos daqueles de Divino das Laranjeiras (Linópolis) – Mendes Pimentel, seus aspectos mineralógicos

Tabela 4 - Alteração hidrotermal em fosfatos pegmatíticos primários. Modificado de Moore (1973).

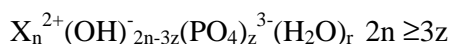
Primário	Ambligonita-Montebrasita	Íons adicionados ou subtraídos	Trifilita - litiofilita		Íons adicionados ou subtraídos
Metassomático	Fremontita	- Li <sup>+</sup> ↓ + OH <sup>-</sup> + Na <sup>+</sup> + Al <sup>3+</sup> + Ca <sup>2+</sup>	Sem Oxidação	Oxidação	- Li <sup>+</sup> ↓ + Na <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup> + OH <sup>-</sup> , + H <sub>2</sub> O
			Triploidita-wolfeita Natrofilita Grifita, scorzalita Whitlockita	Ferrisicklerita-sicklerita Heterosita-purpurita Alluaudita	
Inicial	Apatita	+ OH <sup>-</sup> , + H <sub>2</sub> O			
Hidrotermal	Lacroixita Morinita Wardita Brasilianita	+ Na <sup>+</sup>	Fosfoferita Roeddingita	Tavorita Kryzhanovskita Rockbridgeita Frondelita Dufrenita Laubmannita Azovskita Clinostrengita Strengita Bemanita Laueita Pseudolaueita Stewartita Strunzita Xanthoxenita Cacoxenita Mitridatita Leucofosfita Avelinoita Faheita	
	Bertossaita Apatita Palemoita	+ Zn <sup>2+</sup> + Ca <sup>2+</sup> + Al <sup>3+</sup> + Ba <sup>2+</sup> , Sr <sup>2+</sup>	Ludlamita Hureaulita Fosfofilita Scholzita Fairfieldita Messelita Eosforita Childrenita Bjarebyita Goyazita Roscherita Moraesita Switzelita Vivianita		
Tardio	Augelita Litiofosfatita Crandalita Montgomeryita	+ Be <sup>2+</sup>			+ Ca <sup>2+</sup> + K <sup>+</sup> + Na <sup>+</sup> + Be <sup>2+</sup>
			Resíduos: Carbonato-apatita Crandalita	Resíduos: Carbonato-apatita Crandalita Fe <sup>3+</sup> , Mn <sup>2+,3+</sup> (hidróxidos)	

### 3.1 - Estrutura dos Minerais Fosfatos

Os fosfatos freqüentemente possuem estrutura química análoga aos silicatos, organizada a partir de tetraedros fosfato  $(\text{PO}_4)^{3-}$ . Fisher (1958) subdivide este grupo segundo sua relação com a estrutura dos silicatos, entretanto é dada atenção especial aos ortofosfatos por ser o único sub-grupo que ocorre na natureza na forma de minerais. Moore (1980) estabelece uma classificação para os fosfatos, baseado na polimerização de metais de coordenação octaédrica e com carga 2+ e 3+.

Os ortofosfatos possuem estrutura equivalente aos nesosilicatos, com os tetraedros  $\text{PO}_4$  unidos por cátions  $\text{M}^{1+}$ ,  $\text{M}^{2+}$ ,  $\text{M}^{3+}$  e  $\text{M}^{2+} + \text{M}^{3+}$  com coordenação octaédrica. Moore (1980) lista 118 espécimes minerais que envolvem a presença de cátions  $\text{M}^{3+}$  em coordenação octaédrica. Geralmente os elementos presentes na posição M são o  $\text{Al}^{3+}$  e o  $\text{Fe}^{3+}$ .

Segundo Moore (1965), para metais com carga 2+, a fórmula geral é dada por:



Onde,

x = metal

n = número de octaedros

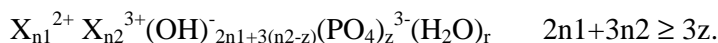
z = número de tetraedros

r = moléculas de  $\text{H}_2\text{O}$  com coordenação octahédrica

para metais com carga 3+, tem-se:



e para minerais que contém metais com carga 2+ e 3+ a fórmula geral é dada por:



Exemplos de isotipo entre ortofosfatos e nesosilicatos são o xenotímio-zircão, monazita-huttonita e trifilita-olivina. Esta semelhança estrutural possibilita a substituição parcial do fósforo por silício. Também são conhecidas relações estruturais entre fosfatos e arsenatos, e mais raramente com os sulfatos.

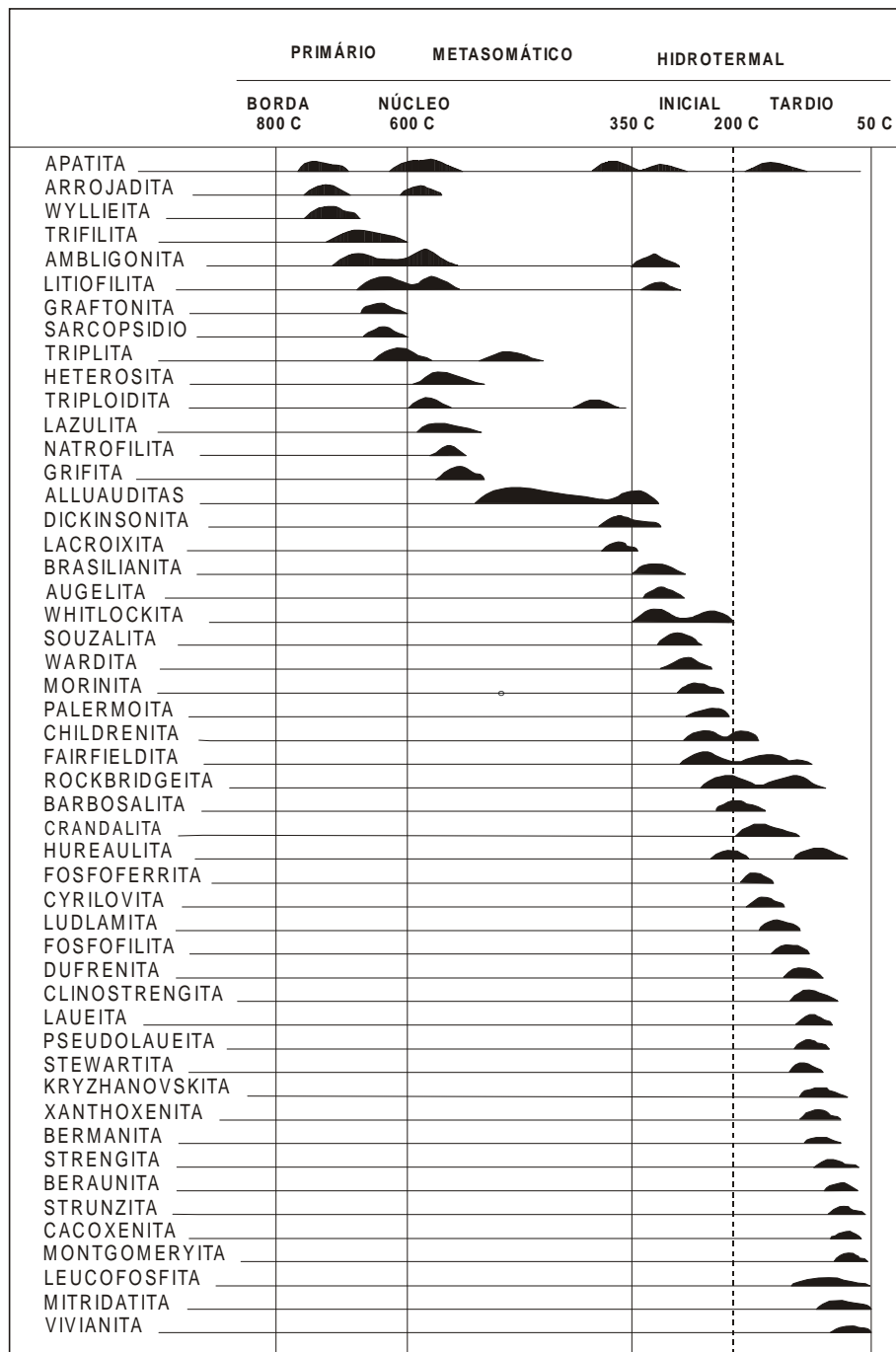


Figura 5 – Paragênese mineralógica fosfática em pegmatitos (Moore 1973).

Os fosfatos primários mais comuns em pegmatitos são a trifilita-litiofilita e a ambligonita-montebrazita. Estes minerais estão também associados a pegmatitos diferenciados e enriquecidos em lítio. Moore (1973) apresenta um esquema de alteração/substituição para estes minerais, mostrado na tabela 4.

Tabela 3 - Fosfatos pegmatíticos de origem supergênica (Fisher 1958).							
	Mn <sup>2+</sup> -Fe <sup>3+</sup>	Mn <sup>3+</sup> -Fe <sup>3+</sup>	Zn	Fe <sup>3+</sup>	Al	Pb, Zn	U
<b>Li</b>	Sicklerita Ferrisicklerita	-	-	-	-	-	-
<b>Na</b>	-	-	-	Wardita Millisita		-	-
<b>Ca</b>	-	-	Scholzita	-	Goyazita	Parahopeita	Torbenita Fosfuranilita
<b>Fe<sup>2+</sup></b>	-	-	-	Frondelita Rockbridgeita Vivianita	-		-
<b>Mg</b>	-	Bermanita	-	-	-	-	-
<b>Outro elemento</b>	-	-	Fosfofilita	Paravauxita Konockita Leucophosphita	Paravauxita Goyazita Wavellita	Piromorfita	Metatorbenita Torbenita
<b>Nenhum outro elemento</b>	Kryzhanovskita Landesita Pseudolaueita Salmonsita Stewartita Xanthoxenita	Heterosita Purpurita	-	Beraunita Cacoxenita Metavariscita Variscita	Evansita Vashegyita	Parsonita Hopeita	Parsonita

A primeira tentativa de se organizar a seqüência paragenética dos fosfatos pegmatíticos deve-se a Fisher (1958), enfatizando a correlação entre a posição na seqüência paragenética e o conteúdo em H<sub>2</sub>O na fórmula do mineral. Moore (1973) inclui as temperaturas estimadas a este diagrama, descrevendo as paragêneses fosfáticas em função das fases de cristalização (figura 5).

graníticos bem zonados e de grão muito grosso, onde os fosfatos primários cristalizam-se no núcleo ou nas proximidades deste.

Fisher (1958) propõe uma primeira classificação dos fosfatos presentes em pegmatitos em termos genéticos, separando-os com relação à composição química. Neste esquema não são consideradas as relações paragenéticas. Na tabela 1 são apresentados os minerais relacionados à fase primária de cristalização.

	<b>Fe<sup>2+</sup> - Mn<sup>2+</sup></b>	<b>Al<sup>3+</sup> - Fe<sup>3+</sup></b>	<b>Be</b>	<b>Outro Elemento</b>
<b>Li</b>	Natrofilita Trifilita	Amblygonita Montebrasita	-	Monazita Xenotímio
<b>Na</b>	Alluaudita Ferroalluaudita Dickinsonitas	Bøggildita	Berilonita	Nagatilita <sup>1</sup> Lomonosovita
<b>Ca</b>	Griphita Graftonita	-	-	Fluorapatita
<b>Outros Elementos</b>	Triplita Triplidita	Lazulita Scorzalita	-	-

Uma fase de cristalização tardia (Fisher, 1958), que corresponde às fases metasomática e hidrotermal de Moore (1973), é demonstrada na tabela 2, na qual é apresentada a mineralogia desta fase, relacionada à composição química.

	<b>Fe<sup>2+</sup> - Mn<sup>2+</sup></b>	<b>Al</b>	<b>Be</b>	<b>Nenhum Elemento</b>
<b>Li</b>	-	Palermoita	-	Litiofosfita <sup>2</sup>
<b>Na</b>	Fillowita Fairfieldita Collinsita Sarcopsídio	Brazilianita Morinita	-	-
<b>Ca</b>		Lacroixita Roscherita	Herderita Hidroxilherderita Hurlbutita	Whitlockita
<b>Mg</b>	Ludlamita	Souzalita	-	Isokita (F)
<b>Outros Elementos</b>	Reddingita Hureaulita	Augelita	Moraesita Väyrynenita Faheita	-
	Childrenita Eosforita		-	-

Para a fase supergênica a mineralogia é apresentada na tabela 3, que inclui fosfatos exclusivos ou não a pegmatitos.

<sup>1</sup> Não aprovado pela IMA.

<sup>2</sup> Não aprovado pela IMA

### CAPÍTULO 3 – FOSFATOS EM PEGMATÍTICOS

A maior parte das espécimes minerais fosfáticas é encontrada em pegmatitos ou em depósitos minerais magmáticos de derivação granítica ou sienítica. Entretanto, a complexidade das rochas pegmatíticas em termos genéticos, estruturais e composicionais as tornam susceptíveis a uma enorme gama de reações químicas que abrangem seus estágios de cristalização primária (800-600°C), metassomático (600-350°C), hidrotermal (350-50°C) (Moore 1973) e ainda a alterações supergênicas (Fisher 1958). Estes processos possibilitam a nucleação de fases minerais durante a cristalização primária e a posterior substituição da mineralogia primária durante episódios posteriores de alteração. Esta complexidade de reações deve-se ao fato de após a consolidação dos fosfatos primários, estes minerais permanecem inseridos em um fluido aquoso, resultando em extensivas reações de oxidação e substituição/troca de elementos. Tais reações geram uma série de minerais de maior complexidade química e estrutural em função da diminuição da temperatura (Howthorne 1998).

A complexidade dos fosfatos é evidenciada em termos estruturais pela childrenita, que apresenta estrutura ortorrômbica e ótica monoclinica ou triclinica (*e.g.* Bermanec *et al.* 1995; Karfunkel *et al.* 1997) e pela berilonita, que apresenta estrutura monoclinica e ótica ortorrômbica, enquanto quimicamente, a apatita  $A_5(XO_4)_3Z$  pode mostrar variações de três formas: 1) em termos catiônicos, A; 2) em termos de  $Z = F, Cl, OH, O$ ; e (3) em relação a X, onde o grupo tetraédrico pode ser ocupado parcialmente por Al, As, B, C, Ga, Si, S e V.

O fósforo é o décimo primeiro elemento em abundância em massa na crosta terrestre. Estima-se que 95% do fósforo existente nas rochas ígneas está contido na apatita, e além disso, em pegmatitos ricos em fósforo e lítio, a ambligonita-montebrazita e a trifilita-litiofilita são minerais comuns. Quantitativamente falando, sabe-se que os pegmatitos representam uma parte insignificante da litosfera, e os fosfatos compreendem um volume modesto dentro dos pegmatitos.

O grande número de espécimes minerais fosfáticas ocorrendo em certos pegmatitos, assim como a raridade de alguns destes, é um fator complicante para o seu estudo. Em certos casos podem ser encontrados até mais de cinquenta fosfatos diferentes em um só corpo pegmatítico como no pegmatito Tip Top em Black Hills, Dakota do Sul, Estados Unidos (Campbell & Roberts 1986). Este número elevado de minerais indica uma faixa de estabilidade relativamente limitada para cada um destes fosfatos. Muitos destes podem ser considerados como delicados indicadores de condições particulares presentes durante o momento de sua formação (Howthorne 1998).

Os fosfatos ocorrem em todas as zonas dos pegmatitos, mas geralmente aparecem em quantidade maior na zona intermediária ou nos corpos de substituição. De acordo com observações de Howthorne (1998), os fosfatos pegmatíticos estão usualmente relacionados a pegmatitos



Os únicos fosfatos observados são a fluorapatita e a autunita. O primeiro está presente em 3 dos cinco corpos amostrados, e o segundo apenas foi observado em um corpo, preenchendo planos de fratura da rocha.

corpos na sua maioria zonados encaixados segundo a xistosidade principal ou segundo o fraturamento regional.

A maior parte destes pegmatitos apresenta-se com mineralogia característica a corpos diferenciados, estando enriquecidos em elbaita, lepidolita, espodumênio, cassiterita, mangano-tantalita e albita. O zonamento geralmente está bem marcado.

A mineralogia principal inclui microclínio, quartzo, muscovita e albita. Em corpos de substituição/cristalização tardia ocorrem a turmalina, albita, cassiterita, lepidolita, muscovita, espodumênio, espessartita e apatita. A turmalina é o principal mineral gemológico produzido nos pegmatitos deste campo, destacando-se a Lavra do Itatiaia, ao sul de Conselheiro Pena, responsável pela produção de amostras conhecidas internacionalmente (Dietrich 1985). A mineralogia fosfática restringe-se a apatita e autunita, sendo este último produto da alteração da uraninita.

#### **2.1.4 - Pegmatitos do Campo Pegmatítico Alvarenga-Itanhomi**

Os pegmatitos deste Campo encontram-se encaixados, na maioria das vezes, em biotita gnaisse bandado do Complexo Pocrane, geralmente de forma concordante, podendo apresentar veios de tamanho reduzido no Tonalito Galiléia. Eventualmente apresentam-se zonados.

Em geral, são corpos com dimensão variando entre 1 e 5m de espessura, com mineralogia característica a pegmatitos pouco diferenciados, sendo a mineralogia principal formada por quartzo, microclínio, muscovita, e a acessória composta por albita, berilo, schorlita, almandina, columbita e biotita.

Os fosfatos correspondem a fluorapatita, presente na maior parte dos corpos amostrados, e a fosfossiderita e a leucofosfita, que ocorrem em abundância no pegmatito Morro do Cascalho, localizado a norte de Alvarenga.

#### **2.1.5 - Pegmatitos do Campo Pegmatítico Resplendor**

Os pegmatitos do Campo resplendor encontram-se encaixados nas rochas da Formação São Tomé e no Tonalito Galiléia, sendo os corpos, na maioria das vezes, pequenos com forma lenticular ou tabular e, concordantes com a xistosidade ou com o bandamento gnáissico. Alguns corpos apresentam espessura variando entre 10 e 30m, sendo estes os que apresentam zonamento mais pronunciado.

A mineralogia principal constitui-se de quartzo, microclínio, muscovita, e em alguns casos o espodumênio, sendo a mineralogia acessória composta por albita, berilo, schorlita, almandina, espessartita, columbita, tantalita, cassiterita e em alguns casos, espodumênio e elbaita.

Os principais constituintes minerais são: quartzo, microclínio, albita, muscovita, minerais de lítio como a lepidolita, ambligonita-montebrazita, trifilita-litiofilita e mais raramente espodumênio. Minerais do grupo das turmalinas são comuns, sendo que ocasionalmente a schorlita faz parte da mineralogia principal (Addad *et al.* 2000 e 2001). A mineralogia acessória é representada por um grande número de fosfatos de origem tardia e/ou hidrotermal como a roscherita, brazilianita, childrenita-eosforita, tavorita, jahnsita, barbosalita, crandalita, fosfossiderita, moraesita, gormanita, souzalita-lazulita, berilonita, herderita-hidroxiherderita, vivianita, frondelita-rockbridgeita, autunita, zanaziita, arrojadita, berlinita, bermanita, cyrilovita, purpurita-heterosita, dufrenita e hureaulita. Além destes, ocorrem carbonatos como manganossiderita, calcita, sulfetos como pirita, arsenopirita e calcopirita e outros minerais de Be, Ta, Nb, U e Sn.

### **2.1.2 - Pegmatitos do Campo Pegmatítico de Goiabeira**

Os pegmatitos da região de Goiabeira encontram-se encaixados nos biotita-quartzo xistos da Formação São Tomé e no Tonalito Galiléia. São corpos na sua maioria zonados encaixados segundo a xistosidade principal. Os pegmatitos localizados a leste deste campo exibem mineralogia simples, pobres em minerais portadores de elementos raros, indicando para um baixo grau de fracionamento. Entretanto, os corpos localizados a oeste, entre Goiabeira e Ferruginha (Figura 1) estão enriquecidos em minerais portadores de elementos raros, como lepidolita, elbaita, cassiterita, tantalita e hidroxil-herderita.

Foram cadastrados aproximadamente 15 corpos pegmatíticos, estando incluídos os pegmatitos de Aldeia-Cuparaque (Figura 1). Os principais constituintes minerais são: quartzo, microclínio, albita, muscovita e como mineral de lítio ocorre apenas a lepidolita. A elbaita é um mineral comum em alguns corpos, como as lavras do Sapo e Formiga. Os fosfatos ocorrem em quantidade apreciável, entretanto apenas a apatita e a hidroxilherderita foram descritas. Na Lavra da Aldeia a apatita forma agregados com muscovita e microclínio de até 1000 kg. Na Lavra do Sapo foram descritas associações de apatita, muscovita, microclínio e turmalina azul e cristais de hidroxilherderita com até 5kg.

Nas décadas de 1970 e 1980, a Lavra da Formiga tornou-se conhecida devido à produção de uma quantidade apreciável de turmalina, e no final da década de 1990 a Lavra do Sapo produziu cristais de quartzo de até 20 ton e cristais de turmalina bicolor de aproximadamente 5 kg (Steger 1999)

### **2.1.3 - Pegmatitos do Campo Pegmatítico de Itatiaia-Barra do Cuieté**

Os pegmatitos deste Campo Pegmatítico encontram-se encaixados, na maioria das vezes, nos biotita-quartzo xistos da Formação São Tomé e mais raramente nos Tonalitos Galiléia. São

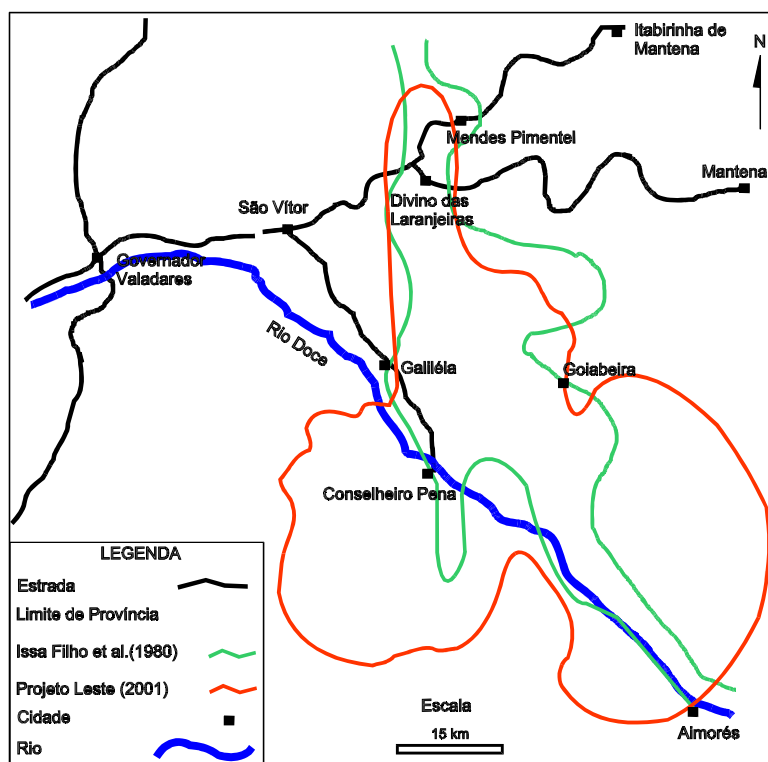


Figura 4 – Distrito Pegmatítico de Conselheiro Pena. Issa Filho *et al.* (1980) e Netto *et al.* (1998).

O Distrito Pegmatítico Conselheiro Pena é caracterizado pela presença de grande variedade de fosfatos. Recentemente, vários trabalhos mostram esta relação regional com minerais do grupo dos fosfatos (*e.g.* Ribeiro 1996; Bilal *et al.* 1998; Alves & Atencio 1998; Horvath & Atencio 1998; Karfunkel *et al.* 1999).

### 2.1.1 - Pegmatitos do Campo Pegmatítico de Galiléia-Mendes Pimentel

Os pegmatitos do Campo de Galiléia-Mendes Pimentel encontram-se encaixados nos biotita-quartzo xistos da Formação São Tomé ( $\approx 85\%$ ) e mais raramente nos Tonalitos Galiléia ( $\approx 5\%$ ) e nos Granitos Urucum ( $\approx 10\%$ ). Geralmente encontram-se encaixados concordantemente com a xistosidade principal dos biotita xistos ou condicionados segundo o fraturamento regional (Karfunkel *et al.* 1999). A maior parte destes pegmatitos graníticos possui mineralogia característica a corpos diferenciados. O zonamento raramente está bem marcado sendo, geralmente, inexistente.

Na região de Divino das Laranjeiras-Mendes Pimentel são conhecidos mais de 60 corpos pegmatíticos em um quadrilátero de aproximadamente 400 km<sup>2</sup>. Na região da Serra do Urucum são conhecidos aproximadamente 20 corpos pegmatíticos, alguns destes encaixados nos Granitos Urucum. Apresentam-se sem zonamento característico, entretanto possuem zonas em menor escala com variação textural e composicional.

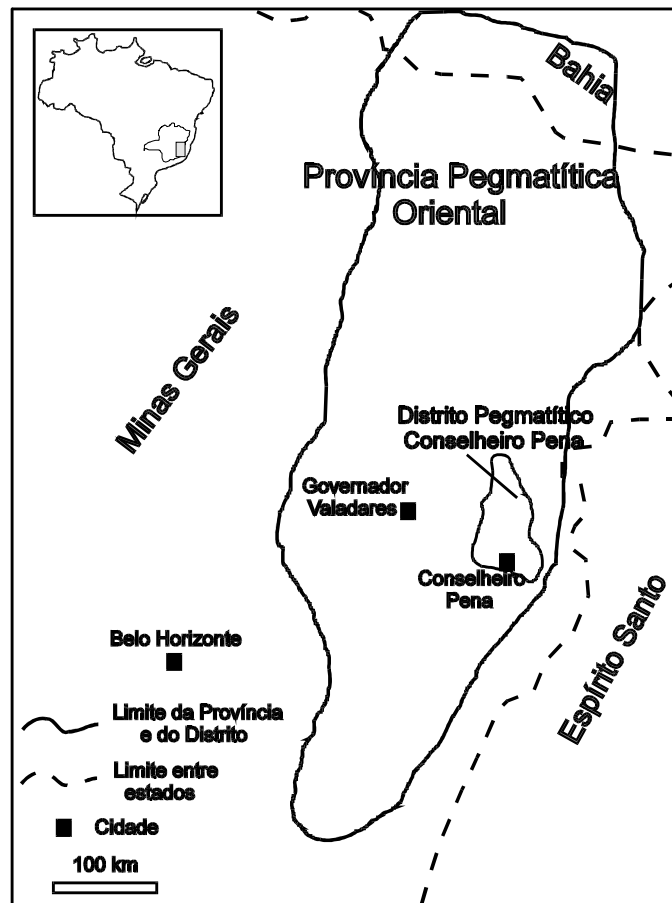


Figura 3 – Província Pegmatítica Oriental. Modificado de Paiva (1946).

Issa Filho *et al.* (1980) apresentam uma proposta de subdivisão da Província Pegmatítica Oriental, na região do Vale do Rio Doce entre Aimorés e Itambacuri, em dois Distritos Pegmatíticos:

- Distrito Governador Valadares, compreendendo a região entre Baguari, Frei Inocêncio, Conceição de Tronqueiras e Itambacuri;
- Distrito Conselheiro Pena, região que inclui as cidades de Aimorés, Conselheiro Pena, Galiléia, Goiabeira e Mendes Pimentel.

A primeira proposta de subdivisão sistemática da Província Pegmatítica deve-se a Correia Neves *et al.* (1986), em estudo sobre a porção setentrional e centro-oriental. Estes autores agrupam os pegmatitos do Vale do Jequitinhonha no Distrito Pegmatítico de Araçuaí, e os pegmatitos do Vale do Rio Doce no Distrito Pegmatítico de Governador Valadares.

Pedrosa Soares *et al.* (1990) dividem a Província Pegmatítica Oriental em 5 Distritos Pegmatíticos:

- Distrito Pegmatítico de Araçuaí.
- Distrito Pegmatítico de Governador Valadares.
- Distrito Pegmatítico de Santa Maria de Itabira.
- Distrito Pegmatítico do Caparaó.
- Distrito Pegmatítico de Juiz de Fora.

Netto *et al.* (1998) dividem a Província Pegmatítica Oriental em 7 Distritos e 21 Campos Pegmatíticos:

- Distrito São José da Safira: Campos Pegmatíticos Serra do Cruzeiro, Santa Rosa, Poté-Ladainha, Golconda, Marilac e Nacip Raydan;
- Distrito Conselheiro Pena: Campos Pegmatíticos Itatiaia-Barra do Cuieté, Alvarenga-Itanhomi, Resplendor, Goiabeira e Galiléia-Mendes Pimentel;
- Distrito Araçuaí: Campos Pegmatíticos Lufa e Neves;
- Distrito Padre Paraíso: Campos Pegmatíticos Padre Paraíso, Faisca e Novo Oriente;
- Distrito Ataléia: Campo Pegmatítico Ataléia-Fidelândia;
- Distrito Santa Maria de Itabira: Campos Pegmatíticos Itabira-Ferros e São Domingos do Prata;
- Distrito Caratinga-Vargem Alegre: Campos Pegmatíticos Caratinga e Vargem Alegre.

Neste trabalho será adotada a subdivisão metalogenética proposta por Netto *et al.* (1998), por apresentar limites bem relacionados à distribuição espacial. Esta subdivisão inclui os pegmatitos de Conselheiro Pena, Goiabeira, Galiléia, Divino das Laranjeiras e Mendes Pimentel no Distrito Pegmatítico Conselheiro Pena (figura 4).

## **2 - PEGMATITOS DO DISTRITO DE CONSELHEIRO PENA**

Com o objetivo de compreender o contexto metalogenético dos pegmatitos da região entre Itabirinha de Mantena e Conselheiro Pena, será abordada neste capítulo, a Província Pegmatítica Oriental e suas subdivisões, enfatizando a descrição dos pegmatitos da região estudada.

### **2.1 – A Província Pegmatítica Oriental e suas Subdivisões Metalogenéticas**

A Província Pegmatítica Oriental foi nomeada e delimitada na década de 1940 por Paiva (1946) e está apresentada na figura 3. Ocorre em uma faixa com aproximadamente 800 km de extensão por 100 a 150 km de largura (Correia Neves 1981) e estende-se de NNE para SSW, incluindo a região sul do estado da Bahia e a parte oriental do estado de Minas Gerais. Orcioli *et al.* (1978, *in* Netto 1998) incluem nesta província os pegmatitos do Espírito Santo e Siga Jr. (1982, *in* Netto 1998) englobam os pegmatitos da Serra do Mar, no Rio de Janeiro. Em sua extremidade Nordeste, no estado da Bahia, Misi & Azevedo (1971) a denominam como Província Pegmatítica de Itambé, enquanto Barbosa & Grossi Sad (1983), utilizam o termo Província Pegmatítica da Zona da Mata para os pegmatitos do sul de Minas Gerais.

Suszczynski (1975, *in* Delaney 1996) inclui os pegmatitos dos estados de São Paulo e Rio de Janeiro nesta província e a denomina Província Pegmatítica Atlântica, dispondo-a em uma extensão de 950 km por 270 km de largura.

Para um melhor entendimento da hierarquia metalogenética das regiões portadoras de corpos pegmatíticos, serão considerados os parâmetros de subdivisão propostos por Cerný (1982b), que são listados a seguir:

1 – Província Pegmatítica – Unidade geológica ampla, que apresenta feições comuns de evolução geológica e de estilo de mineralização;

2 – Cinturão Pegmatítico – Compõe-se de campos pegmatíticos que estão vinculados a estruturas lineares em escala ampla;

3 – Distrito Pegmatítico – É uma porção de uma província que engloba diversos campos pegmatíticos associados, separados uns dos outros territorial ou geologicamente;

4 – Campo Pegmatítico – Formado por um território, geralmente inferior a 10 km<sup>2</sup>, sendo composto por grupos de pegmatitos que apresentam em comum um extenso ambiente estrutural e geológico, sendo gerados durante um único estágio termo-magmático de evolução regional. São oriundos do mesmo tipo de fonte granítica, não sendo necessariamente provenientes de uma única intrusão granítica, e apresentam idades semelhantes;

5 – Grupo Pegmatítico - É uma porção territorial constituída por um conjunto de corpos pegmatíticos de um único tipo, estreitamente espaçados, tendo em comum um mesmo posicionamento geológico-estrutural. São derivados de um único granito intrusivo.

Estudos geológicos detalhados da área podem ser encontrados nos relatórios do Projeto Leste, realizado em convênio entre a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) e a Companhia Mineradora de Minas Gerais (COMIG), folhas Itabirinha de Mantena e Conselheiro Pena, na escala 1:100.000.

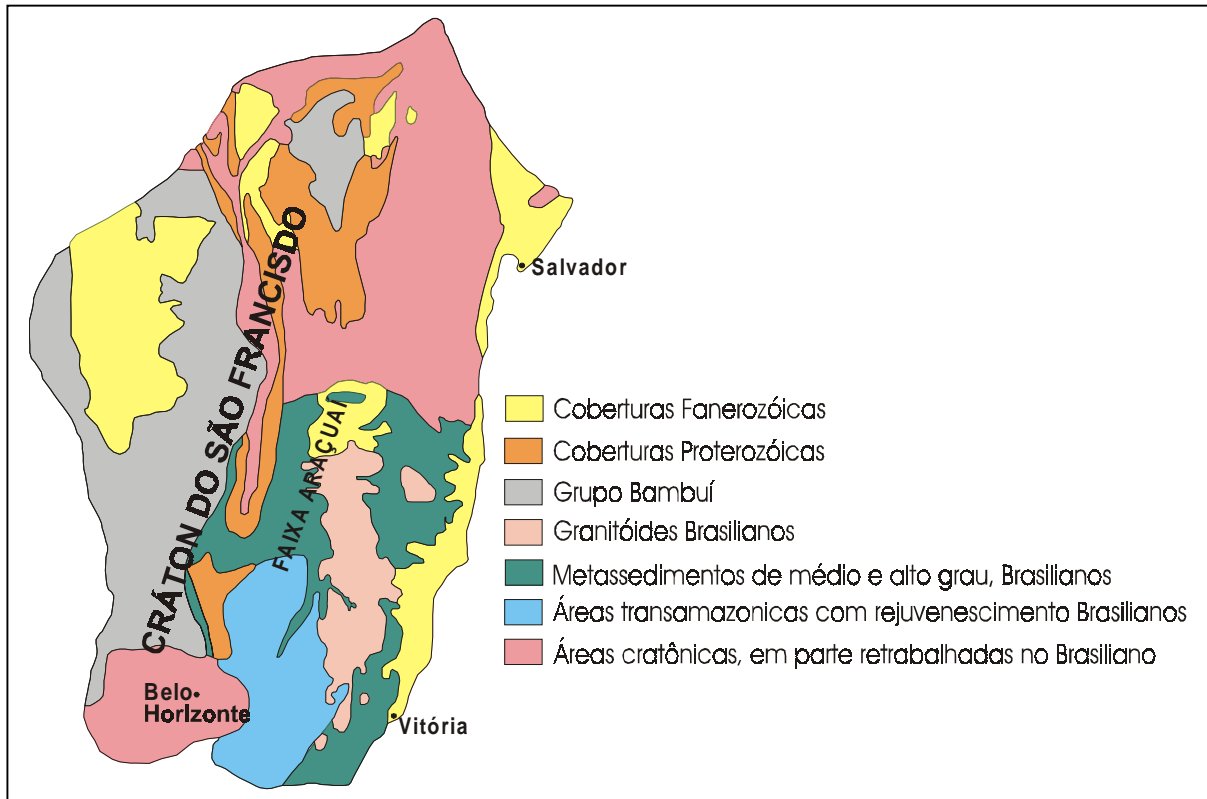


Figura 2 – Mapa geológico e geotectônico simplificado da Faixa Araçuaí e do Cráton do São Francisco (Modificado de Netto *et al.* 1998).



- Espectroscopia Mössbauer – os espectros foram obtidos no Laboratório do Departamento de Química do Instituto de Ciências Exatas e Biológicas (ICEB-II) da Universidade Federal de Ouro Preto.

### **1.5 – Contexto Geológico Regional**

As unidades litológicas que compõem a área em estudo são o Complexo Gnáissico Kinzigítico, as Formações Tumiritinga e São Tomé, os Granitos Nanuque e Ataléia, os Leucogranitos Carlos Chagas, os Tonalitos São Vítor e Galiléia, o Charnockito Padre Paraíso, o Granito Caladão, Granodiorito Palmital, Granito Urucum e as Coberturas Sedimentares Tércio/Quaternárias. Estas unidades estão situadas na Faixa de Dobramentos Araçuaí, na porção centro-setentrional da Província Estrutural Mantiqueira e sudeste do cráton do São Francisco (Almeida 1981). O mapa geológico da região entre Itabirinha de Mantena e Conselheiro Pena é apresentado no Anexo I (Modificado de Netto *et al.* 1998).

A região do Médio Rio Doce é constituída principalmente por rochas granitóides, xistosas e quartzíticas de idade pré-Cambriana. Estruturalmente, assemelha-se a um sinclinório basicamente de direção N-S, onde os metassedimentos são encontrados nos sinclinais dessa megaestrutura, sendo os anticlinais adjacentes ocupados pelas rochas granitóides (Barbosa *et al.* 1966).

A Faixa Araçuaí (Almeida *et al.* 1977), é uma Faixa Móvel que se estende pela região leste do cráton do São Francisco, tendo como seu prolongamento ao sul, a Faixa Ribeira. A correlação entre a Faixa Araçuaí e Faixa Weste-Congo é freqüentemente observada na literatura geológica (*e.g.* Brito Neves & Cordani 1991; Pedrosa Soares *et al.* 2001). Estruturalmente, a Faixa Araçuaí possui *trend* N-S, passando a ter direção E-W na região sul da Bahia (figura 2).

- Caracterização mineralógica e química de alguns minerais fosfatos, utilizando-se a difratometria de raios X, espectroscopia de absorção no infravermelho, microsonda eletrônica por EDS e WDS, microscopia eletrônica de varredura, Espectroscopia Mössbauer;
- Comparação dos resultados das análises realizadas nas amostras da região em estudo com minerais de procedências diversas;
- Estudo das paragêneses minerais fosfáticas;

#### 1.4 – Métodos de Trabalho

Em uma etapa inicial, foi realizado levantamento bibliográfico sobre as rochas pegmatíticas, ocorrência de pegmatitos na região entre Itabirinha de Mantena e Conselheiro Pena, minerais fosfatos e sobre a caracterização gemológica destes minerais.

Durante os trabalhos de campo foram cadastrados os corpos pegmatíticos produtores de minerais ornamentais e gemológicos. Foram coletados minerais para análise nos corpos pegmatíticos e nos depósitos de rejeito de lavra, além da aquisição no comércio local, incluindo minerais de diversas procedências conhecidas para comparação.

A caracterização dos fosfatos foi realizada utilizando-se as seguintes técnicas analíticas:

- Espectroscopia de absorção no infravermelho (**Fourier Transform Infrared - FTIR**) - foi realizado no laboratório de FTIR do Centro de Conservação e Restauração da Escola de Belas Artes (CECOR/EBA/UFG), em um aparelho **BOMEM/HARTMANN & BRAUN**, modelo **MB100C23**, utilizando-se célula de diamante, modelo **SPG466**. Os espectros foram coletados no intervalo  $4000\text{ cm}^{-1} - 400\text{ cm}^{-1}$ , com uma resolução de  $4\text{ cm}^{-1}$ . A leitura dos espectros foi feita com a utilização do *software Win-Bomen Easy*, versão 3.01C.
- Difratometria de raios X - as análises foram realizadas nos laboratórios de DRX do Institute for Mineralogy and Petrology da Universidade de Zagreb, Croácia e no Departamento de Química do Instituto de Ciências Exatas e Biológicas da Universidade Federal de Ouro Preto. Foi utilizado o seguinte aparelho: Shimadzu XRD-6000 equipado com tudo de Co e filtro de Fe. A varredura foi tomada entre  $13-70^\circ (2\theta)$  a  $0.25^\circ/\text{min}$  utilizando sílica como padrão interno.
- Microsonda eletrônica - as análises químicas foram realizadas no Laboratório de Microanálises da Universidade Federal de Minas Gerais. Foi utilizado um aparelho **JEOL-JXA8900R**, nos modos EDS e WDS, sob as seguintes condições de: tensão de aceleração = 15 kV, corrente na amostra =  $2,00 \times 10^{-8}$  A.
- Microscopia Eletrônica de Varredura - as imagens foram feitas no Laboratório de Microanálises da Universidade Federal de Minas Gerais. Foi utilizado um aparelho **JEOL-JSM840A** sob condições variáveis de corrente e tensão.

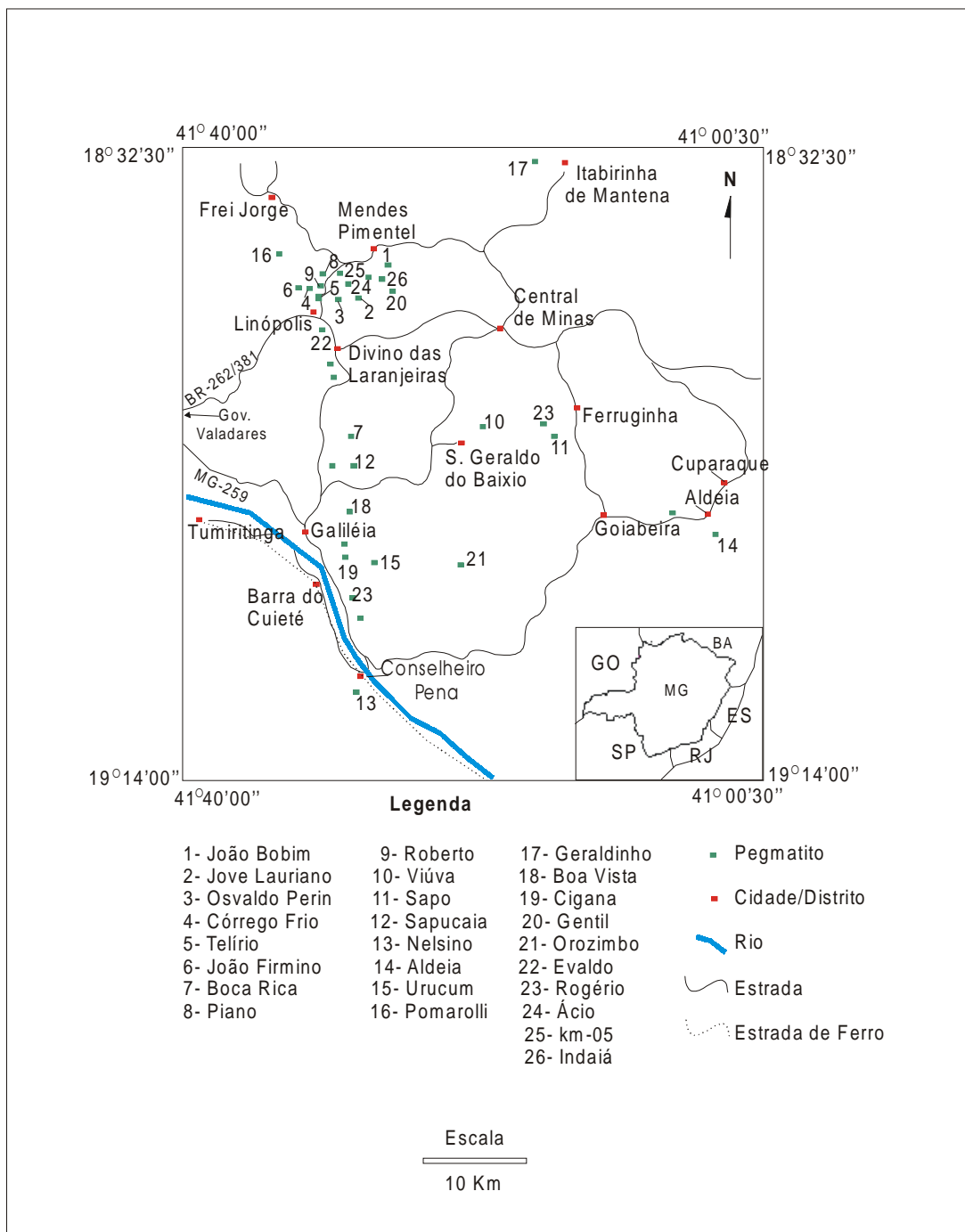


Figura 1 – Mapa de localização da região entre Itabirinha de Mantena e Conselheiro Pena.

### 1.3 – Objetivos

Os objetivos do presente trabalho são:

- A partir do recadastramento dos corpos pegmatíticos portadores de fosfatos realizado por Cipriano (2002), estabelecer critérios para uma classificação destes pegmatitos com base na mineralogia fosfática presente;

A mineração sob a forma de garimpos representa uma das principais atividades econômicas desta região. Os minerais gemológicos mais importantes produzidos são: turmalinas, berilo, quartzo, espodumênio e, em menor quantidade, brazilianita, ambligonita/montebrasita, apatitas e eosforita. Alguns destes minerais freqüentemente sofrem processos de tratamento, visando a melhoria de suas qualidades gemológicas (e.g. tratamento térmico de berilos e turmalinas e tratamento por irradiação e térmico de quartzo).

A grande variedade de minerais raros e suas complexas associações e paragêneses, motivaram o presente trabalho, enfocando sua caracterização mineralógica e química.

## **1.2 – Localização e Acesso**

O Distrito Pegmatítico de Conselheiro Pena localiza-se na região leste de Minas Gerais, estando limitada pelos paralelos 18° 32' 30" e 19° 14' 00" e pelos meridianos 41° 03' 29" e 41° 40' 00". A área é apresentada na figura 1, a qual se enquadra nas folhas topográficas SE-24-Y-A e SE-24-Y-C em escala 1:250.000 (IBGE 1979a e b). Politicamente, engloba os municípios de Itabirinha de Mantena, Mendes Pimentel, Central de Minas, Mantena, Divino das Laranjeiras, Cuparaque, Tumiritinga, Galiléia e Conselheiro Pena em Minas Gerais e Mantenópolis, no Espírito Santo. A área em estudo corresponde a um quadrilátero de 4220,0 km<sup>2</sup> de superfície, e foi estudada entre outros, por Moura *et al.* (1978).

O acesso, a partir de Belo Horizonte, é feito utilizando-se as rodovias federais BR-262 e BR-381 até o distrito de São Vítor, município de Governador Valadares em um percurso de aproximadamente 360 km. A parte sul da área, é acessada a partir da rodovia estadual MG-259, até o município de Conselheiro Pena, sendo o acesso até a parte norte feito utilizando-se a rodovia federal BR-381 até Divino das Laranjeiras.

Outra forma de acesso à área é utilizando a estrada de ferro Vitória-Minas de propriedade da Companhia Vale do Rio Doce (CVRD), a partir de Belo Horizonte até a cidade de Conselheiro Pena, sendo o acesso ao restante da área feito a partir de estradas não pavimentadas, ou da rodovia estadual MG-259. Grande parte dos garimpos é de fácil acesso a partir da sede dos municípios ou das zonas urbanas distritais. As lavras mais isoladas ou em terreno mais acidentado podem ser atingidas por estradas secundárias não pavimentadas.

## 1 - INTRODUÇÃO

Este volume corresponde a um dos pré-requisitos para a defesa da Tese de Doutorado em Geologia no curso de pós-graduação do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais.

A estrutura deste volume é baseada na apresentação dos resultados obtidos sob a forma de artigos publicados e/ou aceitos para publicação em periódicos nacionais e internacionais, incorporados ao texto como anexos. Além deste, são apresentadas as principais publicações em congressos e simpósios cujo tema abordado está relacionado ao trabalho desenvolvido. Os resultados obtidos são precedidos de um amplo levantamento bibliográfico a respeito do tema proposto para Tese – Estudo da mineralogia fosfática do Distrito Pegmatítico de Conselheiro Pena, Minas Gerais.

Além dos fosfatos do Distrito de Conselheiro Pena, para efeito comparativo, foram estudados minerais de outras regiões, como Araçuaí - MG, Ipirá – BA, e provenientes de pegmatitos da Paraíba e do Rio Grande do Norte.

### 1.1 – Histórico Sobre os Pegmatitos do Distrito Pegmatítico de Conselheiro Pena

Os pegmatitos da região entre Conselheiro Pena e Itabirinha de Mantena tornaram-se mundialmente conhecidos na década de 1940 devido à produção de minerais gemológicos e de ornamentação em quantidade, qualidade e tamanho apreciável, como a turmalina do pegmatito do Itatiaia e as morganitas e espodumênios do pegmatito do Urucum. Ocorre ainda um grande número de fosfatos raros, incluindo a descoberta de novas espécies minerais, como a brazilianita, a scorzalita e a souzalita do pegmatito Córrego Frio em Divino das Laranjeiras (Pough & Henderson 1945 e 1946; Pecora & Fahey 1949), a matioliita do pegmatito Gentil, em Mendes Pimentel, a moraesita, a barbosalita, a faheyita, a frondelita, a lipscombite e a tavorita do pegmatito Sapucaia, a coutinhoita da lavra do Urucum, e a lindbergita da lavra da Boca Rica, no município de Galiléia (Cassedanne 1983, Atencio *et al.* 2004 a e b).

Os pegmatitos da área estudada que ainda se encontram em produção, são lavrados à procura de tais minerais (*e.g.* turmalinas, brazilianita, kunzita) além de minerais industriais como microclínio, albita e ambligonita/montebrasita.

A importância dos pegmatitos desta região foi motivo da realização de diversos estudos das reservas de minerais gemológicos e industriais, durante a década de 1970, por projetos de pesquisa da companhia Metais de Minas Gerais S/A (METAMIG) e mais recentemente com a realização do Projeto Leste, por convênio entre a Companhia Mineradora de Minas Gerais (COMIG) e a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), com o objetivo de cadastramento e reavaliação das reservas .