

LÍTIO

Mario Luiz de Sá Carneiro Chaves

Geólogo, Prof. Titular, CPMTC-IGC/UFMG
mchaves@geol.igc.ufmg.br

Coralie Heinis Dias

Eng. de Minas, Doutoranda em Geologia Econômica no IGC/UFMG
co.dias.minas@gmail.com

Daniel Kroeling Rodrigues Cardoso

Graduando em Eng. de Minas no IGC/UFMG
dkrc@eng-min.grad.ufmg.br

SUMÁRIO

1. ASPECTOS GERAIS.....	1
2. MINERAIS DE LÍTIO	2
2.1. ESPODUMÊNIO.....	2
2.2. LEPIDOLITA.....	3
2.3. PETALITA.....	4
2.4. AMBLIGONITA.....	4
3. RESERVAS.....	6
3.1. DISTRITO PEGMATÍTICO DE ARAQUAÍ.....	9
3.2. LESTE DE MINAS GERAIS.....	12
3.3. DISTRITO PEGMATÍTICO DE SÃO JOÃO DEL REI	13
4. APLICAÇÕES.....	15
5. ASPECTOS ECONÔMICOS.....	16
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	18

1. ASPECTOS GERAIS

O lítio é o mais leve dos metais, apresentando número atômico 3, massa atômica de 6,939 e com abundância na crosta terrestre de 12 ppm (Alecgrim 1982). Constitui o único elemento químico que teve um brasileiro envolvido em sua descoberta: José Bonifácio de Andrada e Silva. Conhecido como o "Patriarca da Independência", foi mineralogista, estadista e poeta, trabalhando ainda como ministro de D. Pedro I e tutor de D. Pedro II até este atingir sua maioridade.

José Bonifácio realizou trabalhos sobre os mais variados assuntos científicos, entre os quais, o mais importante, e que lhe trouxe renome internacional, foi aquele que publicou em alemão, na revista *Allgemeines Journal der Chemie*, de Leipzig. O artigo, oriundo de suas pesquisas realizadas na Escandinávia, descrevia a química e mineralogia de doze minerais, sendo quatro deles absolutamente inéditos, enquanto os outros eram novas variedades de minerais já conhecidos. Entre os quatro novos minerais havia dois, a petalita e o espodumênio, que começaram a ser pesquisados em vários países, resultando na descoberta de um novo elemento químico alcalino. O químico inglês Sir Humphry Davy (1778-1829) cunhou para esse elemento o nome "lítio", do grego "pedra", lembrando sua origem mineral (Marques & Lombardi 2009).

À medida em que as propriedades do metal lítio e de seus subprodutos foram sendo descobertas, a busca pela produção desse metal se intensificou com o passar dos anos, influenciando sua exploração, beneficiamento e transformação. É um elemento de grande importância nas indústrias de cerâmica e vidro, e de interesse cada vez maior na produção de baterias mais compactas.

2. MINERAIS DE LÍTIO

Existem diversos minerais que possuem o lítio em sua composição química; a Tabela 1 mostra os principais. Dentre esses, os mais importantes são espodumênio, lepidolita, petalita e amblygonita. No Brasil, eles ocorrem em pegmatitos graníticos diferenciados e são explotados para aplicações industriais, sendo que o único que atualmente possui uma rota economicamente viável para extração do lítio é o espodumênio.

Tabela 1. Principais minerais contendo lítio em sua estrutura (Braga & Sampaio 2008).

Minerais	Fórmula	Densidade	Dureza	% Li ₂ O	
				Teórica	Típica
Amblygonita	LiAl(PO ₄)F	3,0 - 3,1	5,5 - 6,0	11,9	5,0
Eucryptita	LiAlSiO ₄	2,66	6,5	11,9	5,0
Lepidolita	K(Li,Al ₃)(Si,Al) ₄ O ₁₀ (F,OH) ₂	2,8 - 2,9	2,5 - 3,5	3,3 - 7,8	3,0 - 4,0
Montebrasita	LiAl(PO ₄)(OH)	3,0	5,5 - 6,0	7,0	
Petalita	LiAlSi ₄ O ₁₀	2,4	6,5	4,9	3,0 - 4,5
Espodumênio	LiAlSi ₂ O ₆	3,1 - 3,2	6,5 - 7,0	8,0	1,5 - 7,0
Zinnwaldita	KLiFe ²⁺ Al(AlSi ₃ O ₁₀)(F,OH) ₂	2,9 - 3,0	2,5 - 4,0	5,6	2,0 - 5,0
Hectorita	Na _{0,3} (Mg,Li) ₃ (Si ₄ O ₁₀)(F,OH) ₂	2,3	1,0 - 2,0	1,22	1,12
Trifilita	LiFe ²⁺ PO ₄	3,4 - 3,6	4,0	9,47	8,91

2.1. Espodumênio

O espodumênio (Figura 1), de composição química LiAlSi₂O₆, é um aluminossilicato de lítio. Pertence ao grupo dos piroxênios, porém não forma séries isomórficas com as outras espécies desse grupo (Alecric 1982). Cristaliza-se no sistema monoclinico e apresenta clivagem perfeita em duas direções paralelas às faces do prisma e quase perpendiculares entre si. Sua dureza está entre 6,5 e 7; usualmente apresenta estrias bem marcadas no sentido vertical (Klein & Dutrow 2012).

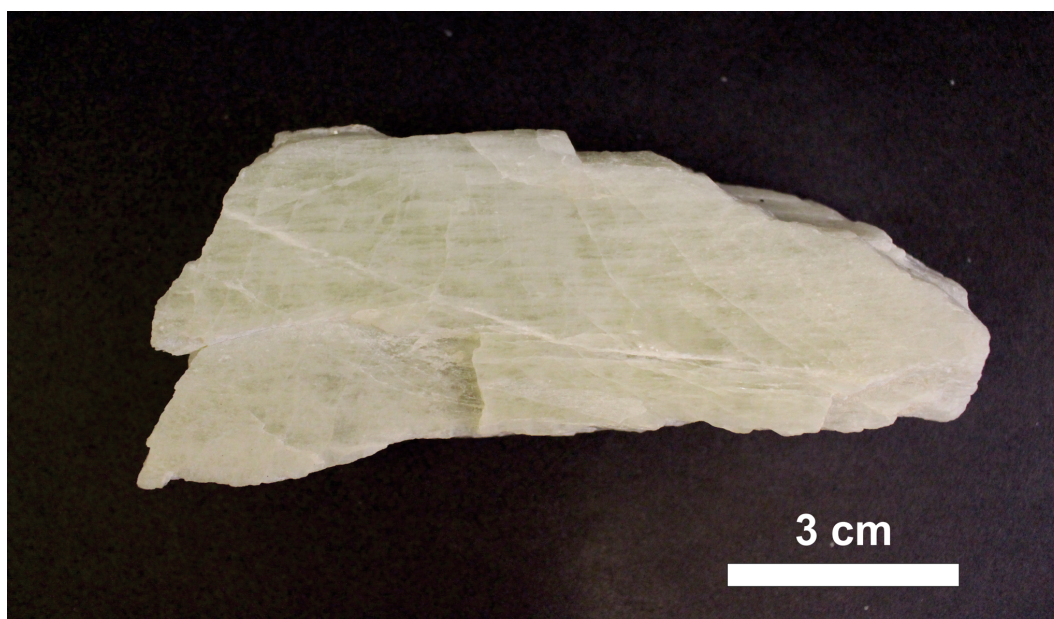


Figura 1. Amostra de espodumênio da Mina da Cachoeira, Araçuaí-Itinga.

O mineral é incolor em seu estado puro, apesar de existirem variedades coloridas, gemológicas, das quais as mais conhecidas são kunzita (rosa) e hiddenita (verde-esmeralda). A variedade gemológica amarela ou amarelo-esverdeada é por vezes denominada trifana, sendo erroneamente chamada de hiddenita no mercado brasileiro. Pode ainda ser branco ou cinza, normalmente translúcido, com brilho vítreo, mostrando cristais bem desenvolvidos, grossos e com faces corroídas, mas também em massas amorfas (Alecgrim 1982).

As variedades do espodumênio de qualidade de gema, hiddenita e kunzita, fornecem gemas muito bonitas, mas ocorrem limitadamente. Assim, o mineral constitui principalmente um minério para a extração de lítio, tendo como mais importante jazida no Brasil a Mina da Cachoeira, explorada pela Companhia Brasileira de Lítio (CBL) em Araçuaí, onde o mineral ocorre associado a potentes corpos pegmatíticos.

2.2. Lepidolita

Este mineral (Figura 2), que pertence ao grupo das micas, possui clivagem perfeita, hábito foliáceo e composição química $K(Li,Al)_3(Si,Al)_4O_{10}(F,OH)_2$. Cristaliza-se no sistema monoclinico, apresentando cristais usualmente em placas pequenas ou prismas com contorno hexagonal (Alecgrim 1982). Sua cor característica vai do lilás ao róseo e sua dureza está entre 2,5 e 3,5. É encontrado em veios pegmatíticos comumente associado com outros minerais de lítio, como a turmalina elbaíta rósea ou verde, a amblygonita e o espodumênio (Klein & Dutrow 2012).



Figura 2. Amostra de lepidolita botrioidal da Lavra Zé de Linto, Itinga.

Para distingui-la da muscovita rósea, é necessário fazer o ensaio da chama. A lepidolita produz uma chama carmesim, devido à presença do próprio lítio.

2.3. Petalita

A petalita (Figura 3) é um silicato de alumínio e lítio, de composição química $\text{LiAlSi}_4\text{O}_{10}$. É quebradiça, de clivagem perfeita, brilho vítreo e dureza 6. Pode ser incolor, branca ou cinzenta, transparente ou translúcida (Klein & Dutrow 2012). Caracteriza-se por seu hábito em placas, distinguindo-se do espodumênio por sua clivagem e sua densidade relativa menor. A petalita também se encontra em pegmatitos, nos quais está associada ao quartzo, feldspatos e outros minerais de lítio. Até a metade do século XX, foi considerada um mineral bem raro, mas descobertas na Rodésia do Sul (atual Zimbábue) e no sudoeste africano tornaram-na um mineral abundante.

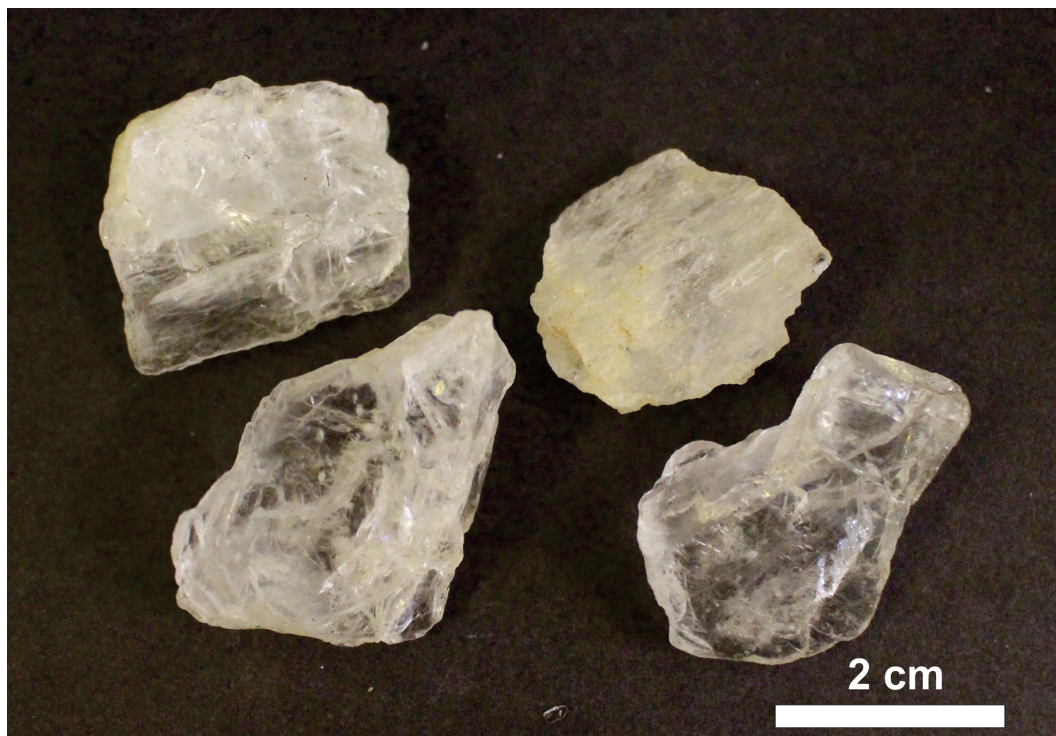


Figura 3. Amostras de petalita da Lavra do Barreiro, Itinga.

2.4. Amblygonita

É um mineral comumente maciço (Figura 4), de cristais raros, aproximadamente equidimensionais e quase sempre malformados quando grandes, cristalizando-se no sistema triclinico e apresentando clivagem perfeita.

É um fluorofosfato de lítio e alumínio, LiAlPO_4F , de dureza entre 5,5 e 6. Devido aos fragmentos da clivagem podem ser confundidos com o feldspato, mas são fusíveis com muito mais facilidade e produzem chama vermelha. É um mineral relativamente raro, encontrado em pegmatitos graníticos com espodumênio, turmalinas, lepidolita e apatita. Seu nome provém de duas palavras gregas, significando "obtuso" e "ângulo", em alusão ao ângulo entre suas clivagens (Klein & Dutrow 2012).



Figura 4. Amostras de amblygonita da Lavra do Urubu, Itinga.

3. RESERVAS

Em Minas Gerais, os minerais de lítio ocorrem principalmente em pegmatitos graníticos da Província Pegmatítica Oriental do Brasil (Figura 5), definida por [Paiva \(1946\)](#). Essa província pegmatítica abrange ainda os estados da Bahia, Espírito Santo e Rio de Janeiro, em uma superfície de aproximadamente 150.000 km². No entanto, mais de 90% dessa área está localizada na parte leste do estado de Minas Gerais, especificamente na unidade geotectônica denominada Orógeno Araçuai. Rochas graníticas, de idades que variam do final do Neoproterozoico até o Cambro-Ordoviciano, incluindo pegmatitos associados, cobrem em torno de 1/3 dessa região ([Pedrosa-Soares et al. 2009, 2011](#)).

Entre os trabalhos que levantaram as ocorrências de minerais de lítio nessa província, destacam-se os seguintes projetos, que serviram como base para a tabulação dos dados dos pegmatitos da região (Figura 6, Tabela 2): “Recursos Minerais do Estado de Minas Gerais”, realizado pela extinta METAMIG ([Alecrim 1982](#)); o “Projeto Leste”, executado pela CPRM ([Netto et al. 1998](#); pontos 044 a 054 da Tabela 2); além do recente projeto “Avaliação do Potencial do Lítio no Brasil: Área do Médio Rio Jequitinhonha, Nordeste de Minas Gerais”, também conduzido pela CPRM ([Paes et al. 2016](#); pontos 001 a 043 da Tabela 2).



Figura 5. Mapa de Minas Gerais mostrando a distribuição das áreas com jazidas ou ocorrências de minerais de lítio em Minas Gerais: **1)** Araçuai-Itinga; **2)** Conselheiro Pena-Divino das Laranjeiras; **3)** Santa Maria do Suaçuí; **4)** São João del Rei.

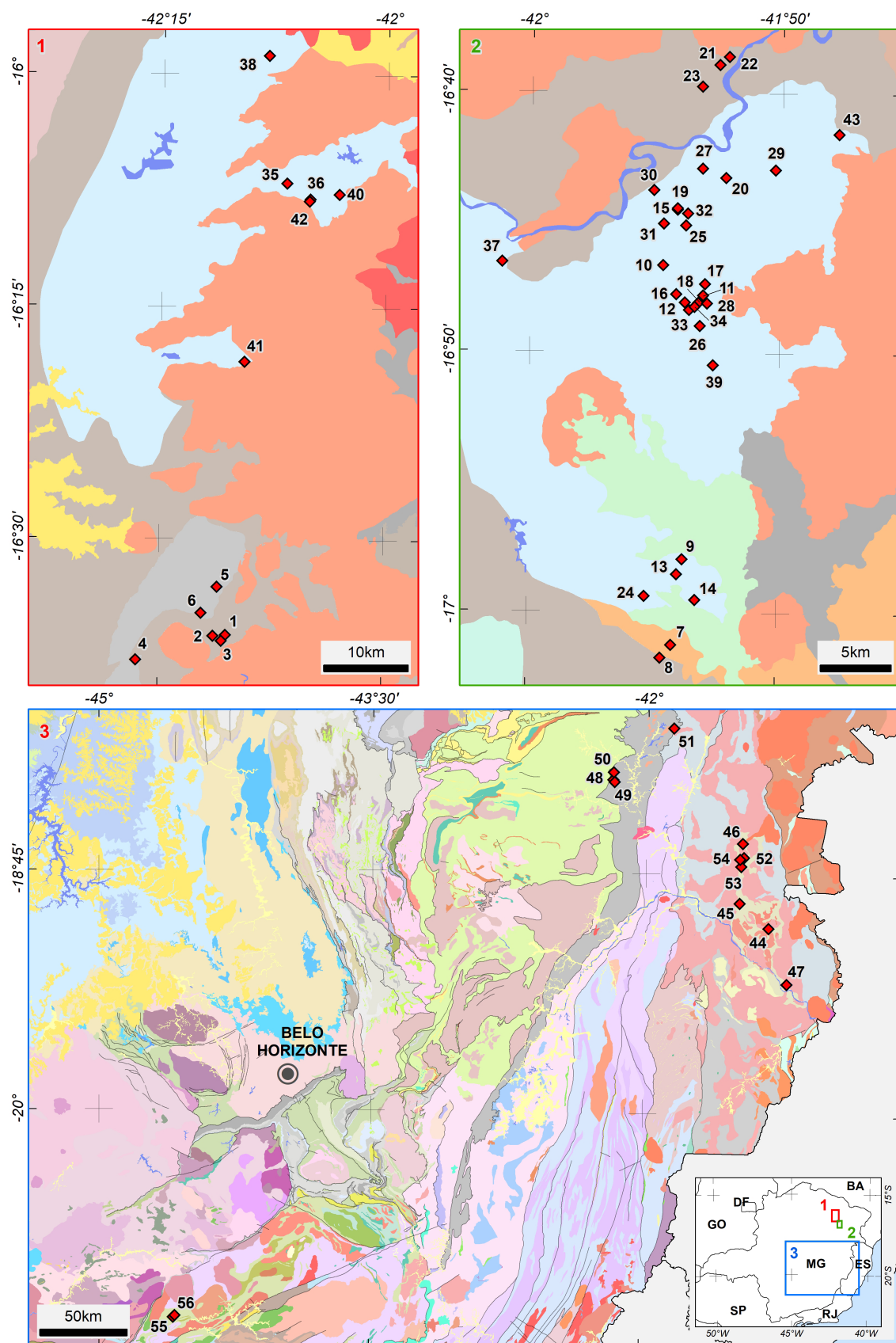


Figura 6. Principais ocorrências de lítio no estado de Minas Gerais. A numeração se refere aos itens da Tabela 2. Mapa geológico modificado de Pinto & Silva 2014.

Tabela 2. Principais ocorrências de lítio no estado de Minas Gerais.

	Status	Situação	Toponímia	Município	Latitude	Longitude
1	Garimpo	Ativa	Lavra do Nim	Coronel Murta	-16,6032422	-42,17445275
2	Garimpo	Intermitente	Lavra do Nequinho/Palmeira	Coronel Murta	-16,60437389	-42,18864393
3	Garimpo	Inativa	Lavra do Carlau	Coronel Murta	-16,60953599	-42,17906236
4	Garimpo	Ativa	Lavra da Paineira	Coronel Murta	-16,63098486	-42,27440743
5	Garimpo	Ativa	Lavra do Pau Alto 1	Coronel Murta	-16,55163361	-42,18457871
6	Garimpo	Inativa	Lavra da Chapadinha	Coronel Murta	-16,57992145	-42,20225039
7	Garimpo	Inativa	Lavra do Severino	Araçuaí	-17,02097251	-41,90327539
8	Garimpo	Inativa	Fazenda Antônio Luis	Araçuaí	-17,02918782	-41,91034786
9	Mina	Inativa	Lavra do Lucas/Ventania	Araçuaí	-16,96602945	-41,89666803
10	Mina	Ativa	Mina da Cachoeira - CBL	Araçuaí-Itinga	-16,77756674	-41,91186724
11	Mina	Inativa	Lavra do Meio	Itinga	-16,79678328	-41,88489912
12	Mina	Inativa	Lavra do Algodão	Itinga	-16,80130847	-41,89702358
13	Mina	Inativa	Mina da Tesoura	Araçuaí	-16,97553446	-41,90008872
14	Mina	Paralisada	Lavra Manoel do PT	Araçuaí	-16,99201974	-41,88761716
15	Mina	Inativa	Lavra da Xuxa	Itinga	-16,74192013	-41,90263694
16	Mina	Paralisada	Lavra do Barreiro	Itinga	-16,79606073	-41,90287796
17	Mina	Inativa	Lavra do Marial	Itinga	-16,78946775	-41,88369175
18	Mina	Exaurida	Lavra Tamburil e Acari	Itinga	-16,80150569	-41,88813923
19	Mina	Paralisada	Lavra do Carlito	Itinga	-16,74097086	-41,90271627
20	Mina	Paralisada	Lavra do Costelão	Itinga	-16,7211377	-41,87064843
21	Mina	Exaurida	Lavra do Jenipapo (Lavra Velha)	Itinga	-16,64879757	-41,87575058
22	Garimpo	Ativa	Lavra da Maricota	Itinga	-16,64344616	-41,86962885
23	Garimpo	Ativa	Lavra da Pueira	Itinga	-16,66287218	-41,88704327
24	Mina	Inativa	Mina da Samambaia	Araçuaí	-16,98977528	-41,92151567
25	Mina	Exaurida	Lavra do Pedro Telvino	Itinga	-16,75195986	-41,89697834
26	Mina	Inativa	Lavra do Valdívio	Araçuaí	-16,81623498	-41,8867685
27	Mina	Inativa	Lavra do Urubu	Itinga	-16,71542045	-41,8862775
28	Garimpo	Inativa	Fazenda Santa Maria - Zé de Linto	Itinga	-16,80180523	-41,88223758
29	Garimpo	Ativa	Lavra do Baixão	Itinga	-16,71581369	-41,83769568
30	Garimpo	Intermitente	Lavra do Alair	Araçuaí	-16,72956053	-41,91846499
31	Mina	Inativa	Lavra Maravilha 1	Araçuaí	-16,75090448	-41,91163931
32	Garimpo	Intermitente	Lavra da Generosa	Itinga	-16,74426469	-41,89580284
33	Mina	Inativa	Lavra de Nezinho de Chicão	Itinga	-16,80606075	-41,89428325
34	Mina	Inativa	Lavra do Maxixe	Itinga	-16,80408019	-41,89064383
35	Garimpo	Intermitente	Lavra do Zué/Dim	Salinas	-16,11699651	-42,11170692
36	Garimpo	Ativa	Lavra Monte Alto 1	Salinas	-16,13405362	-42,0857208
37	Garimpo	Inativa	Fazenda Bananal	Araçuaí	-16,77635419	-42,01918313
38	Garimpo	Paralisada	Lavra do Pau Preto	Salinas	-15,97993684	-42,13310108
39	Garimpo	Inativa	Elvira	Araçuaí	-16,84142088	-41,87769842
40	Garimpo	Ativa	Lavra do Oscar	Salinas	-16,12838832	-42,05329314
41	Garimpo	Inativa	Lavra Luís Rocha - Caraíbas	Rubelita	-16,30910178	-42,15694137
42	Garimpo	Inativa	Lavra Monte Alto 2	Salinas	-16,13603282	-42,0864953
43	Garimpo	Ativa	Lavra do Paulo	Itinga	-16,69251081	-41,7955704
44	Garimpo	Ativo	Lavra Azarias	Goiabeira	-19,02817057	-41,3243444
45	Garimpo	Ativo	Lavra Proberil	Galiléia	-18,90003226	-41,4844111
46	Garimpo	Ativo	Pires	Itabirinha	-18,58765734	-41,47316668
47	Mina	Ativa	Mineração Vala Danta	Resplendor	-19,31868593	-41,21820902
48	Mina	Ativa	Mina do Cruzeiro	São José da Safira	-18,26481744	-42,18823398
49	Mina	Ativa	Mineração Aricanga	São José da Safira	-18,27628324	-42,18014746
50	Mina	Ativa	Pederneira I	São José da Safira	-18,22621186	-42,18611497
51	Garimpo	Ativo	Lavra do Tolentino	Malacacheta	-17,99294021	-41,86003193
52	Garimpo	Ativo	São Fidelis III	Divino das Laranjeiras	-18,66136059	-41,46570569
53	Garimpo	Ativo	Luiz Pacheco I	Divino das Laranjeiras	-18,7086118	-41,48011355
54	Garimpo	Ativo	Edio Pomarolli	Divino das Laranjeiras	-18,67146959	-41,48669832
55	Mina	Ativa	Pegmatito Volta Grande	Nazareno	-21,08656213	-44,588416
56	Mina	Ativa	Pegmatito Minas Brasil	São Tiago	-21,07813943	-44,58033342

3.1. Distrito Pegmatítico de Araçuaí

Os registros de reservas de lítio em Minas Gerais ocorrem principalmente na região de Araçuaí/Itinga, onde a Companhia Brasileira de Lítio (CBL) explora o espodumênio na Mina da Cachoeira (Figura 7A). O Campo Pegmatítico de Itinga - um dos três campos do Distrito Pegmatítico de Araçuaí - é formado por pegmatitos graníticos simples e complexos, sendo os complexos caracterizados por grande abundância de metais raros, incluindo o lítio. Sá (1977) apresenta estudos detalhados dos pegmatitos litiníferos desse campo, no vale do Ribeirão Piauí, que divide os dois supracitados municípios.

Esse campo detém 100% das reservas oficiais de lítio do Brasil, nos municípios de Itinga e Araçuaí, sendo o espodumênio e a petalita os minerais de minério. Segundo Afgouni & Marques (1997), os corpos pegmatíticos encaixados em xistos que compõem a região da Mina da Cachoeira tinham, àquela época, uma reserva medida de espodumênio da ordem de 127.874 m³ ou 409.197 t. Os autores salientam que a atividade da CBL nesse grupo de pegmatitos é um dos poucos exemplos mundiais de mineração subterrânea em pegmatitos altamente organizada (Paes *et al.* 2016).

De acordo com Alecrim (1982), os pegmatitos complexos do Campo de Itinga mostram preferência por um determinado mineral específico de lítio, com zonamento distinto e localização espacial definida. Segundo esse autor os pegmatitos com petalita situam-se próximos aos contatos entre xistos e granitos, apresentando zonamento interno bem definido e concentram petalita e microclínio na zona central; os que contêm espodumênio são tabulares sem zonamento interno, constituídos de microclínio, quartzo, albita, muscovita e espodumênio, e localizam-se em posição intermediária em relação ao contato xisto-granito. Os pegmatitos com lepidolita apresentam elevado grau de diferenciação e zonamento, com lepidolita ocorrendo na zona intermediária associada à albita, situando-se mais afastados dos granitos. A amblygonita, por sua vez, ocorre como mineral acessório comum associado aos três minerais anteriores nos pegmatitos complexos, especialmente em granitos albitizados.

Com base na mineralogia, nos principais minerais de lítio presentes, e na estrutura e textura internas, Paes *et al.* (2016) refinaram esta classificação e dividiram os pegmatitos estudados em oito tipologias, totalizando o cadastro de 45 ocorrências/depósitos, ativos ou inativos. As tipologias são as seguintes:

1. Pegmatitos com espodumênio disseminado, homogêneos;
2. Pegmatitos com espodumênio disseminado e com zonamento mineralógico nas bordas;
3. Pegmatitos com espodumênio disseminado, homogêneos ou zonados e com alta proporção de albita;
4. Pegmatitos com petalita na zona intermediária;
5. Pegmatitos com petalita na zona intermediária e com alta proporção de albita;
6. Pegmatitos com petalita e espodumênio na zona intermediária;
7. Pegmatitos com lepidolita e amblygonita, zonados;
8. Pegmatitos com espodumênio no núcleo de quartzo e no seu entorno, zonados.

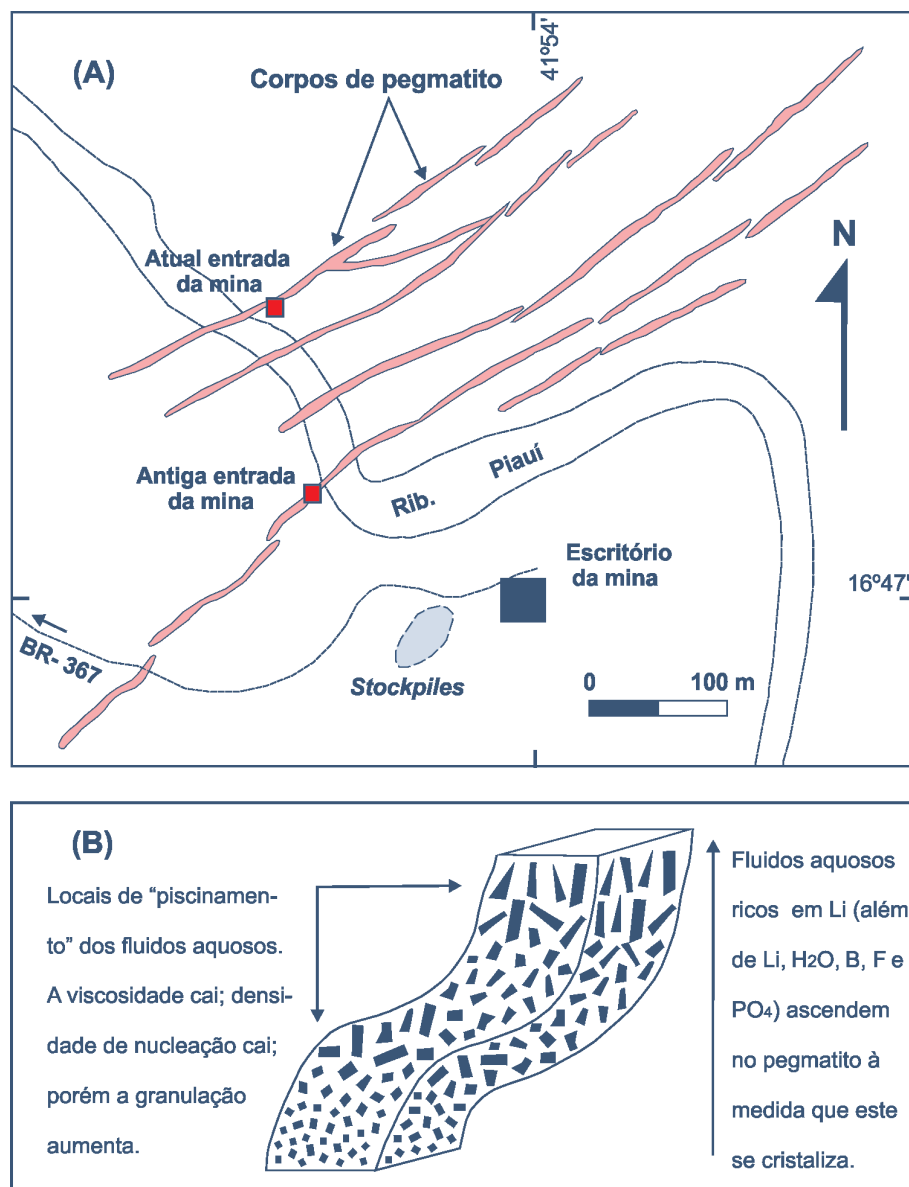


Figura 7. A) Mapa esquemático mostrando o alinhamento dos cinco principais corpos de pegmatito da Mina da Cachoeira (Araçuaí-Itinga). **B)** Esquema mostrando a tendência de crescimento dos cristais de espodumênio para o topo do corpo e o fenômeno de “piscinamento” de fluido aquoso na porção de menor mergulho (desenho fora de escala conforme Romeiro 1998).

Ao contrário da maioria dos pegmatitos conhecidos no Campo Pegmatítico de Itinga, que apresentam zonamento mineralógico interno, os corpos da Mina da Cachoeira são homogêneos, e se enquadram na tipologia 1 de Paes *et al.* (2016). Esses corpos foram anteriormente descritos por Sá (1977) e estudados em maior detalhe por Romeiro (1998). Segundo este último autor, a mineralogia principal dos pegmatitos da mina é constituída por albita e feldspato potássico (40-45%), quartzo (25%), espodumênio (20%) e muscovita (<10%).

Apesar da persistência das características mineralógicas, foi observada uma variação na granulação do espodumênio em diversos corpos em função da profundidade ou mergulho (Figura 7B). Romeiro (1998) interpreta que a concentração de espodumênio com granulação mais grossa ocorre devido ao acúmulo de fluidos aquosos no topo do corpo, ou em porções onde o pegmatito apresenta mergulho baixo. Para esse autor, a retenção de

fluidos aquosos ascendentes, fenômeno denominado de “piscinamento” de fluido, é responsável pela diminuição da viscosidade e, conseqüentemente, diminuição da densidade da nucleação na fusão silicatada, resultando no aumento da granulação do mineral. A Figura 8A/B ilustra a presença de megacristais de espodumênio presentes na Mina da Cachoeira.

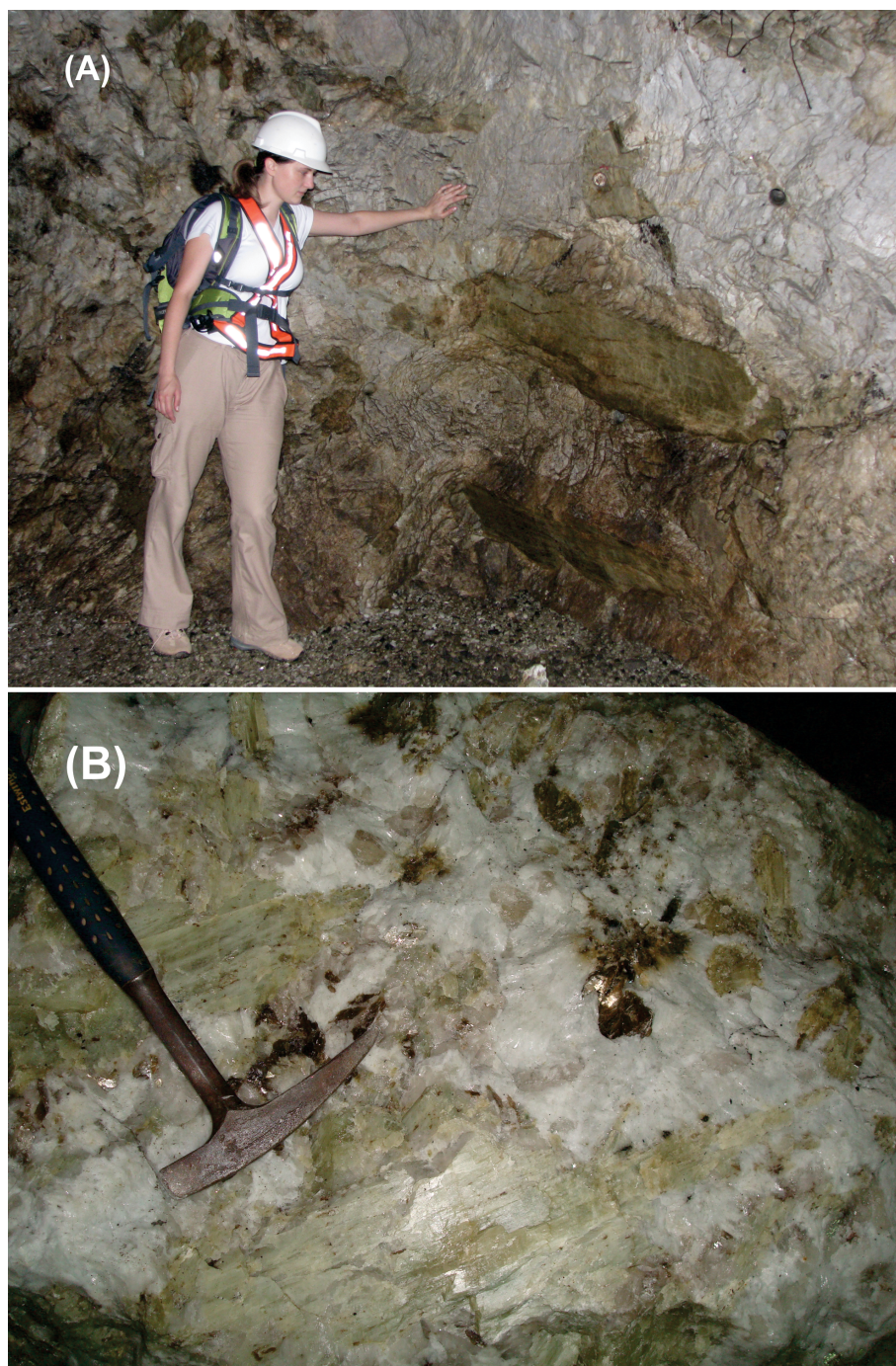


Figura 8. A) Visualização do pegmatito no interior da Mina da Cachoeira, mostrando cristais métricos de espodumênio. **B)** Detalhe da mineralogia principal dos corpos, compreendendo feldspatos, quartzo, espodumênio e muscovita. Mina subterrânea, coordenadas do escritório: latitude -16,780085°, longitude - 47,910929°; Datum WGS84.

Os outros dois campos são chamados de Campo Pegmatítico de Virgem da Lapa - Coronel Murta - Rubelita e Campo Pegmatítico de Curralinho. O primeiro é caracterizado por alta atividade garimpeira de gemas e peças de coleção, especialmente para produção de turmalinas. Existe uma variação cíclica em função da descoberta de grandes depósitos de

espécies minerais, motivados pelas grandes descobertas que são sucedidas por intervalos de estagnação longos. Há registro de ocorrências de espodumênio e amblygonita, mas esses não são explorados como minerais de minério para lítio (Paes *et al.* 2016). Pedrosa-Soares *et al.* (2009) apresentam um modelo para a distribuição e mineralogia dos pegmatitos desse campo em função de sua distância com relação ao granito fonte (Figura 9).

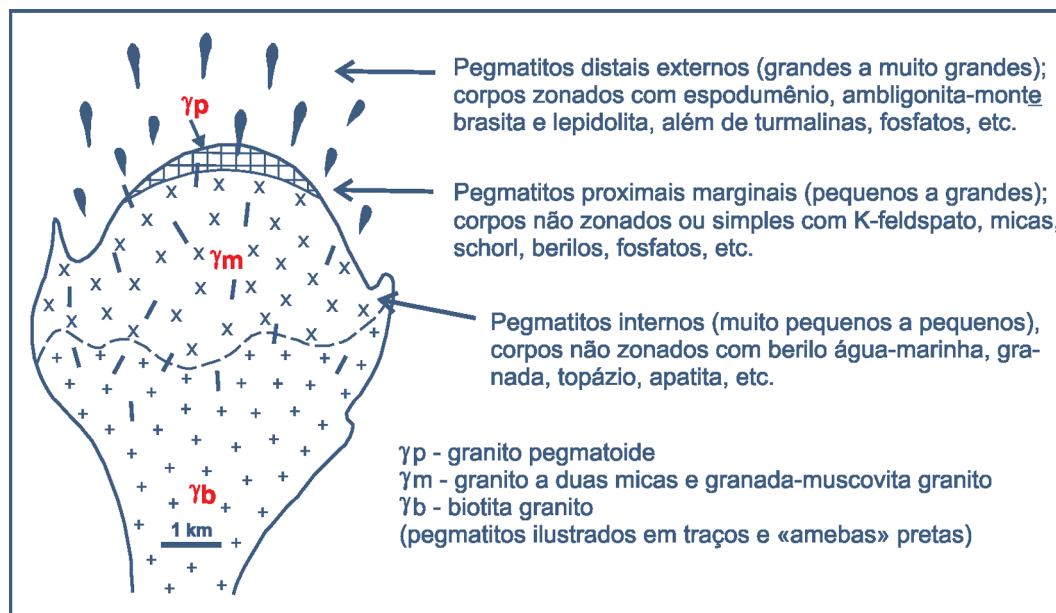


Figura 9. Modelo esquemático para o sistema granito-pegmatítico no Campo Pegmatítico de Coronel Murta (modificado de Pedrosa-Soares *et al.* 2009).

O Campo de Curralinho tem essa denominação devida à localidade de Curralinho, um distrito de Salinas situado a cerca de 23 km a NE dessa cidade, onde em suas redondezas ocorrem quatro lavras. Tomando-se por base o precário conhecimento da atividade de mineração nesse campo pegmatítico, apurado com garimpeiros, pode-se inferir uma produção histórica voltada preferencialmente para columbita-tantalita e gemas de turmalina. A grande concentração de minerais de lítio, particularmente espodumênio, somada à ocorrência de pegmatitos de outras tipologias contendo minerais de lítio, aponta para uma concentração importante desse metal nos corpos pegmatíticos da região (Paes *et al.* 2016).

3.2. Leste de Minas Gerais

Segundo Netto *et al.* (1998), na região do vale do Rio Doce (leste de Minas Gerais), ocorrem pegmatitos que produzem minerais de lítio. Os municípios de Governador Valadares, Santa Maria do Suaçuí, Galiléia, Conselheiro Pena, Resplendor, Divino das Laranjeiras e Mendes Pimentel são produtores de amblygonita, lepidolita e espodumênio com aplicações industriais e gemológicas, no caso das variedades de espodumênio, kunzita e trifana. Ainda de acordo com esses autores, amblygonita gemológica é encontrada em Linópolis, na região de Divino das Laranjeiras. Essa região abrange os distritos pegmatíticos de Conselheiro Pena e Santa Maria do Suaçuí (Figura 5).

Foi observado por Paes *et al.* (2016), com base no mapa integrado do Projeto Leste (Pinto *et al.* 2000), que os pegmatitos de lítio se encontram concentrados basicamente em

duas regiões. A primeira ao longo de uma faixa de direção aproximada norte-sul, na sua porção sudoeste, englobando as seguintes folhas mapeadas no âmbito do projeto: Teófilo Otoni (Paes 1997), Itambacuri (Signorelli 1997), Santa Maria do Suaçuí (Silva 1997) e Marilac (Ribeiro 1997), essencialmente encaixados nas rochas do Grupo Rio Doce, em suas formações Tumiritinga e São Tomé. A outra região localiza-se na porção sudeste do mapa, onde esses também estão distribuídos ao longo de uma faixa aproximadamente norte-sul, acompanhando, assim, principalmente a distribuição da Formação São Tomé e sua estruturação, nas folhas Itabirinha de Mantena (Vieira 1997) e Conselheiro Pena (Oliveira 2000).

O Campo Pegmatítico da Serra do Cruzeiro está localizado na Folha Santa Maria do Suaçuí, e teve cinquenta e seis garimpos ou lavras cadastrados por Netto *et al.* (1998). Apesar de não serem comuns os registros de exploração de minerais de lítio, ocorrem lepidolita, espodumênio e amblygonita em alguns corpos zonados, geralmente na sua zona intermediária (Paes *et al.* 2016).

O Campo Pegmatítico de Santa Rosa se localiza entre o sul das folhas Teófilo Otoni e Malacacheta e o norte das folhas Santa Maria do Suaçuí e Itambacuri, sendo reconhecido pela excelente qualidade das turmalinas que produz (Netto *et al.* 1998). Esses autores registraram vinte e seis lavras ou garimpos nesse campo, sendo que dez exibem minerais de lítio em sua associação mineral, porém em nenhuma delas há registros do seu aproveitamento econômico. Há relatos da produção de amblygonita como mineral de coleção, entretanto não existem registros detalhados dessa atividade (Paes *et al.* 2016).

O Campo Pegmatítico de Resplendor se situa na Folha Conselheiro Pena. Netto *et al.* (1998) realizaram vinte e um cadastros, dos quais apenas a Mineração Vala Danta apresenta lepidolita e espodumênio em sua mineralogia e tem como minerais de lítio aproveitados economicamente a kunzita e trifana, como gemas, e o espodumênio, de utilização industrial (Paes *et al.* 2016).

O Campo Pegmatítico de Goiabeira localiza-se nas folhas Itabirinha de Mantena e Conselheiro Pena. Nesse campo, foram cadastradas por Netto *et al.* (1998) vinte e oito lavras, dentre elas seis pegmatitos exibem minerais de lítio em sua associação mineralógica e, em três destes, como bens de aproveitamento econômico. Espodumênio e lepidolita são os minerais de lítio presentes (Paes *et al.* 2016).

O Campo Pegmatítico de Galiléia – Mendes Pimentel situa-se na Folha Itabirinha de Mantena, onde foram cadastradas por Netto *et al.* (1998) oitenta e quatro lavras. Dessas, quatorze exibem minerais de lítio em sua associação mineral, das quais quatro os são aproveitadas economicamente. Espodumênio, kunzita e amblygonita são descritos nesse campo (Paes *et al.* 2016).

3.3. Distrito Pegmatítico de São João del Rei

O Distrito Pegmatítico de São João del Rei (designado como “província” por Francesconi 1972) engloba uma área de cerca de 1.400 km² situada na porção centro-sul do estado de Minas Gerais (Figura 5). Abrange os municípios de Nazareno, São Tiago, Resende Costa, Cassiterita (atual Conceição da Barra de Minas), São João del Rei, Ritópolis e Coronel

Xavier Chaves, cujos pegmatitos são minerados principalmente para cassiterita e columbita-tantalita.

Paes *et al.* (2016) ressaltam a diferença de idade e mineralizações dessa região com a Província Pegmatítica Oriental do Brasil. Ávila (2000, *in* Pereira *et al.* 2007) fornece uma idade paleoproterozoica de 2.121 ± 7 Ma para o corpo granitoide Ritápolis, o provável responsável pela geração dos pegmatitos.

A pesquisa na base de dados de recursos minerais da CPRM (CPRM 2018) levou à identificação de quatro pontos de exploração de lítio relacionados a pegmatitos, distribuídos nos municípios de São Tiago e Nazareno, a oeste de São João del Rei. Quéménéur *et al.* (2003) salientam que outros numerosos corpos pegmatíticos ocorrem ao longo do vale do Rio das Mortes, entre o limite leste da Folha Lavras e Volta Grande, subdividindo as ocorrências em dois campos: o de Volta Grande e o da Barra.

O Campo de Volta Grande (Figura 10) é caracterizado por corpos de grandes dimensões, ricos em espodumênio, enquanto o da Barra compreende veios irregulares de pequena espessura formando um reticulado nos anfibolitos encaixantes (Paes *et al.* 2016). Dos corpos pegmatíticos desse campo, o principal corpo lavrado é o pegmatito Minas-Brasil. De acordo com Quéménéur *et al.* (2003), o espodumênio constitui entre 10-15% dos minerais nesses pegmatitos, sendo a maior reserva desse mineral no país. Ainda conforme tais autores, o mesmo não é recuperado devido ao tamanho muito irregular dos cristais, o que demandaria a implantação de uma unidade de flotação especial, que seria de alto custo financeiro.



Figura 10. Imagem do Campo Pegmatítico de Volta Grande, destacando os pegmatitos Volta Grande (Nazareno) e Minas Brasil (São Tiago), lavrados pela empresa AMG Mineração S.A. e margeados pelo Rio das Mortes, que faz a divisa entre os dois municípios (Fonte: Google Earth, acesso em 26/1/2018).

4. APLICAÇÕES

Em termos mundiais, a principal aplicação do lítio é no setor de baterias (Braga & França 2013), devido à proliferação de equipamentos eletroeletrônicos portáteis, particularmente os telefones celulares, graças ao seu alto potencial químico. Entre seus derivados, o hidróxido e o carbonato de lítio figuram entre os mais utilizados industrialmente, servindo também de insumo para a obtenção de outros compostos e do metal (Braga & Sampaio 2008). Ambos são empregados na fabricação de baterias secundárias e em sistemas de tratamento de ar (Braga & França 2013).

A maior aplicação industrial do hidróxido de lítio é na produção de graxas de lubrificantes, conferindo-lhes elevada resistência à umidade e à alta temperatura. O carbonato de lítio, por sua vez, também é utilizado na eletrólise do alumínio, diminuindo a temperatura necessária e assim gerando uma redução no consumo de energia (Braga & Sampaio 2008). Compostos de lítio são ainda aplicados na indústria cerâmica e de vidros, melhorando a viscosidade e resistência, e na indústria farmacêutica, em remédios para o tratamento psiquiátrico de distúrbios bipolares, entre outros (Braga & França 2013).

5. ASPECTOS ECONÔMICOS

De acordo com os dados apresentados por Garcia (2016), a produção mundial de concentrados de lítio (fora a Bolívia, que não disponibiliza dados oficiais) atingiu, em óxido de lítio contido (Li_2O), 35.822 t em 2014, representando um leve crescimento de 5,5% em relação a 2013. Os principais produtores foram Austrália (36,3%), Chile (36%) e China (13,9%). No Brasil, a produção de concentrados de Li_2O cresceu 8,6% na comparação com 2013, bem acima da média mundial, porém contribuindo com somente 1,3% da produção global (Tabela 3).

Tabela 3. Reservas e produção mundial (Garcia 2016). Dados em óxido de lítio (Li_2O) contido.

Discriminação Países	Reservas (10^3 t) ⁽¹⁾⁽²⁾	Produção (t) ⁽²⁾		
	2014	2013	2014	(%)
Brasil	48	416	452	1,3
Austrália	1.500	13.000	13.000	36,3
Chile	7.500	12.900	12.900	36,0
China	3.500	5.000	5.000	13,9
Argentina	850	2.900	2.900	8,1
Zimbábue	23	1.000	1.000	2,8
Portugal	60	570	570	1,6
EUA	38	870	nd	nd
Bolívia	nd	nd	nd	nd
TOTAL	13.519	33.956(3)	35.822(3)(4)	100

(1) A partir de 2009, a USGS passou a apresentar dados de "reserva", e não mais "reserva-base" - por essa razão, o DNPM passou a informar a reserva lavrável (conceito mais próximo do critério do USGS), presente em Relatórios Anuais de Lavra (RAL) e relatórios Finais de Pesquisa ou Reavaliação de Reservas aprovados; (2) Estimativas do USGS, exceto Brasil (dados preliminares); (3) não inclui produção da Bolívia; (4) não inclui produção dos EUA; (nd) dado não disponível.

O total da produção brasileira nesse período é oriundo exclusivamente de Minas Gerais, região de Araçuaí-Itinga, e o espodumênio respondeu por 96,4% do valor da produção mineral comercializada, em reais (R\$). A CBL - Companhia Brasileira de Lítio foi responsável por 93,92% do valor total da produção comercializada e o restante coube à empresa Arqueana de Minérios e Metais.

Entre os atuais titulares de concessões de lavra de lítio no Brasil, a CBL informou que espera um crescimento da cadeia produtiva no Brasil em decorrência da entrada crescente no mercado de carros elétricos e híbridos (Garcia 2016); desde 2012, a empresa vem conduzindo experiências com vistas a atender o mercado de lítio com grau eletroquímico. Segundo este autor, a CBL beneficiou, em sua Unidade de Meio Denso, 8.519 t de espodumênio (6,7% a mais do que em 2013), extraído na lavra dos pegmatitos da Mina da Cachoeira, com teor médio de 5,3% (452 t de Li_2O contido). Deste total, 387 t (20,5 t de Li_2O contido) foram vendidas diretamente, principalmente para fabricantes de lubrificantes e cerâmicas de São Paulo e Minas Gerais.

Segundo Garcia (2016), a Sigma Mineração, outra produtora de concentrados de Li_2O no Brasil, desenvolveu o "Projeto Opco", que visa a reavaliação de reservas e a implantação de um complexo mineiro-metalúrgico para o aproveitamento em larga escala de reservas presentes em suas áreas de Itinga e Araçuaí (MG). A empresa se associou a um grupo de

investimentos representado pelas empresas RI-X Mineração e Consultoria, Araçuaí Holding e Araçuaí Mineração. Caso os dados preliminares de reavaliação informados até o momento pelas empresas participantes sejam confirmados, as reservas lavráveis brasileiras poderão, nos próximos anos, ser profundamente revistas para um patamar acima de 1 milhão de t de Li_2O contido, tornando o Brasil detentor da 3ª maior reserva mundial desse elemento químico (cerca de 8,0% do total, desconsiderando a Bolívia, que não fornece dados a respeito).

No momento, porém, a produção brasileira continua a ser direcionada para usos convencionais (graxas e lubrificantes). Usos secundários estão nas indústrias metalúrgica (alumínio primário), cerâmica e nuclear (selante de reatores). Esse perfil de utilização do lítio no Brasil tende a condicionar as variações do consumo aparente de Li_2O . Há apenas um fabricante de compostos químicos instalado no país; seu beneficiamento de concentrados e produção de compostos químicos parece dar conta da demanda interna, com pouca geração de estoques, eliminando a necessidade de grandes importações para atender o mercado brasileiro. Ao mesmo tempo, não há demanda externa expressiva de concentrados ou compostos de lítio brasileiros, porque o produto nacional ainda é apropriado apenas aos usos convencionais (Tabela 4).

Tabela 4. Principais estatísticas – Brasil (Garcia 2016).

	DISCRIMINAÇÃO	UNIDADE	2012 ^(rv)	2013 ^(rv)	2014 ^(p)
Produção	Concentrado ^{(1)/Contido⁽²⁾}	(t)	7.084 / 390	7.982 / 416	8.519 / 452
	Comp. Químicos ⁽³⁾	(t)	649	655	619
Importação	Concentrado	(t)	-	-	-
		(US\$-FOB)	-	-	-
	Comp. Químicos	(t)	<1	3	1
		(US\$-FOB)	60.000	106.000	27.000
Exportação	Concentrado	(t)	7	43	<1
		(US\$-FOB)	1.000	160.000	<1.000
	Comp. Químicos	(t)	<1	<1	<1
		(US\$-FOB)	6.000	<1.0000	2.000
Consumo Aparente	Concentrado ⁽⁴⁾	(t)	7.077	7.939	8.519
	Comp. Químicos ⁽⁴⁾⁽⁵⁾	(t)	649	658	620
Preços Médios ⁽⁶⁾	Espodumênio - exportação ⁽⁷⁾	(US\$/kg)	0,14	0,37	-
	Compostos - importação ⁽⁷⁾	(US\$/kg)	-	35,33	27,00

(1) Inclui ambligonita, espodumênio, petalita e lepidolita, transferidos para industrialização de sais de lítio (carbonato e hidróxido) ou vendidos moídos; (2) contido em óxido de lítio; (3) produção de sais de lítio (carbonato e hidróxido); (4) produção + importação - exportação; (5) consumo de sais de lítio no mercado interno; (6) preço médio exportação ou importação; (7) quando quantidades ou preços totais são menores do que 1 t ou US\$ 1.000, a SECEX (MDIC 2018) informa quantidades ou preços como zero, impossibilitando o cálculo das médias; (-) dado nulo; (rv) revisado; (p) preliminar.

O Brasil importou, em 2014, apenas 1 t de compostos químicos de lítio, com valor de US\$ 27 mil, sendo US\$ 8 mil de sulfato, US\$ 4 mil de hidróxido, US\$ 4 mil de nitrato e US\$ 2 mil de carbonatos (Tabela 4). Segundo dados da SECEX - Secretaria de Comércio Exterior (MDIC 2018), as principais origens foram a Alemanha (83%), os EUA (15%), a Suíça (1%) e a Rússia (1%). Ainda em 2014, as exportações de compostos químicos ficaram abaixo de 1 t de nitrato de lítio, que rendeu cerca de US\$ 2 mil, embora a SECEX não forneça dados mais

detalhados. Nos concentrados de Li_2O , foi vendida menos de 1 t de espodumênio, com valor abaixo de US\$ 1 mil, sendo os principais compradores a Alemanha (85%) e a China (15%).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Afgouni K. & Marques F.F. 1997. Depósito de lítio, berílio e cério de Araçuaí/Itinga, Minas Gerais. In: Schobbenhaus C., Queiroz E.T., Coelho C.E.S. (coords.). *Principais Depósitos Minerais do Brasil*. Brasília, DNPM/CPRM, v. 4, parte B, p. 373-388.
- Alecrim J.D. 1982. *Recursos Minerais do Estado de Minas Gerais*. Belo Horizonte, Metamig, 298 p.
- Braga P.F.A. & Sampaio J.A. 2008. Lítio. In: Luz A.B. & Lins F.A.F. (eds.). *Rochas e Minerais Industriais: usos e especificações*. 2ª.ed. Rio de Janeiro, CETEM/MCT, p. 585-603.
- Braga P.F.A. & França S.C.A. 2013. *Lítio: um mineral estratégico*. Rio de Janeiro, CETEM/MCTI, Série Estudos e Documentos, 81. 41p.
- CPRM - Serviço Geológico do Brasil. 2018. *GeoSGB - Sistema de Geociências do Serviço Geológico do Brasil – CPRM*. Serviço Geológico do Brasil -SGB - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM. Disponível em <http://geosgb.cprm.gov.br/>. Acesso em 3/1/2018.
- Francesconi R. 1972. *Pegmatitos da região de São João del Rey, MG*. Tese de doutorado, Programa de Pós-graduação em Geologia. Universidade de São Paulo, São Paulo, 170 p.
- Garcia I.J. 2016. Lítio. In: Lima T.M. & Neves C.A.R. (coords.). *Sumário Mineral - 2015*. Brasília, Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), v. 35, p. 76-77. ISSN: 01012053.
- Klein C. & Dutrow B. 2012. *Manual de ciência dos minerais*. Traduzido por Rualdo Menegat. Porto Alegre: Bookman, 23ª ed., 724 p. ISBN: 9788540700857
- Marques A.D. & Lombardi C.A. 2009. Uma família de químicos unindo Brasil e Portugal: Domingos Vandelli, José Bonifácio de Andrada e Silva e Alexandre Vandelli. *Química Nova na Escola*, **31**(4):251-256.
- MDIC - Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços, SECEX - Secretaria de Comércio Exterior. 2018. *Sistema de Análise das Informações de Comércio Exterior*. Disponível em <http://comexstat.mdic.gov.br/pt/home/>. Acesso em 17/7/2018.
- Netto C., Araújo M.C., Pinto C.P., Drumond J.B. 1998. *Projeto Leste: Cadastramento de Recursos Minerais - Pegmatitos*. Belo Horizonte: SEME/COMIG/MME/CPRM, v. 1, 210 p.
- Oliveira M.J.R. 2000. Folha SE.24-Y-C-II, Conselheiro Pena / Folha SE.24-Y-C-III, São Gabriel da Palha (parte), Estado de Minas Gerais, escala 1:100.000. In: *Projeto Leste, texto e mapa geológico*. Belo Horizonte: SEME/COMIG/CPRM.
- Paes V.J.C. 1997. Folha SE.24-V-C-IV, Teófilo Otoni, Estado de Minas Gerais, escala 1:100.000. In: *Projeto Leste, texto e mapa geológico*. Belo Horizonte: SEME/COMIG/CPRM.
- Paes V.J.C., Santos L.D., Tedeschi M.F., Betiollo L.M. 2016. *Avaliação do potencial do lítio no Brasil: área do Médio Rio Jequitinhonha, Nordeste de Minas Gerais: texto explicativo e mapas*. Belo Horizonte: CPRM.
- Paiva G. 1946. Províncias Pegmatíticas do Brasil. Rio de Janeiro, *Boletim DNPM/DFPM*, **78**:13-21.
- Pedrosa-Soares A.C., De Campos C.P., Noce C.M., Silva L.C., Novo T., Roncato J., Medeiros S., Castañeda C., Queiroga G., Dantas E., Dussin I., Alkmim F.F. 2011. Late Neoproterozoic-Cambrian Granitic Magmatism in the Araçuaí Orogen (Brazil) the Eastern Brazilian Pegmatite Province and Related Mineral Resources. In: Sial A.N., Bettencourt J.S., De Campos C.P., Ferreira V.P. (eds.). *Granite-Related Ore Deposits*. London, *Geological Society Special Publications*, **350**:25-51. doi: 10.1144/SP350.3
- Pedrosa-Soares A.C., Chaves M.L.S.C., Scholz R. 2009. Field Trip Guide. In: International Symposium on Granitic Pegmatites, 4, 2009, Recife. *Anais...*, Belo Horizonte: PEG2009, 28 p.

- Pereira R.M., Ávila C.A., Neumann R. 2007. Ocorrências de zircão hafnífero no sudeste brasileiro. *Revista Brasileira de Geociências*, **37**(2):215-223. doi: 10.25249/0375-7536.2007373445463215223.
- Pinto C.P., Drumond J.B.V., Féboli W.L. 2000. Geologia: Nota Explicativa do Mapa Geológico Integrado, escala 1:500.000, Folhas SE.24-V, SE.23-Z, SE.24-Y (partes). In: *Projeto Leste*. Belo Horizonte: COMIG/CPRM, 181 p.
- Pinto C.P. & Silva M.A. 2014. *Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais, Escala 1:1.000.000*. Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais, CODEMIG e Serviço Geológico do Brasil, CPRM.
- Quéméneur J.J.G., Ribeiro A., Trouw R.A.J., Paciullo F.V.P., Heilbron M. 2003. Folha SF.23-X-C-I, Lavras, Estado de Minas Gerais, escala 1:100.000. In: *Projeto Sul de Minas*. Belo Horizonte: CODEMIG/UFMG/UFRJ/UERJ, **2**(7):263-316.
- Ribeiro J.H. 1997. Folha SE.23-Z-B-VI Marilac, Estado de Minas Gerais, escala 1:100.000. In: *Projeto Leste, texto e mapa geológico*. Belo Horizonte: COMIG/CPRM. v. 10, 55 p.
- Romeiro J.C.P. 1998. *Controle da mineralização de lítio em pegmatitos da Mina da Cachoeira, Companhia Brasileira de Lítio, Araçuaí, MG*. Dissertação de mestrado em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, 94 p.
- Sá J.H.S. 1977. *Pegmatitos litíferos da região de Itinga-Araçuaí, Minas Gerais*. Tese de doutorado em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 111 p.
- Signorelli N. 1997. Folha SE.24-Y-A-I, Estado de Minas Gerais, Itambacuri, escala 1:100.000. In: *Projeto Leste, texto e mapa geológico*. Belo Horizonte: SEME/COMIG/CPRM.
- Silva S.L. 1997. Folha SE.23-Z-B-III, Santa Maria do Suaçuí, Estado de Minas Gerais, escala 1:100.000. In: *Projeto Leste, texto e mapa geológico*. Belo Horizonte: SEME/COMIG/CPRM.
- Vieira V.S. 1997. Folha SE.24-Y-A-V, Itabirinha de Mantena, Estado de Minas Gerais, escala 1:100.000. In: *Projeto Leste, texto e mapa geológico*. Belo Horizonte: SEME/COMIG/CPRM.