

DOI: <http://dx.doi.org/10.18265/1517-0306a2021id5506>

ARTIGO ORIGINAL

SUBMETIDO 02/03/2021


APROVADO 05/05/2021

PUBLICADO ON-LINE 19/08/2021

PUBLICADO 30/12/2022


EDITOR ASSOCIADO
Manoel Barbosa Dantas

Mapeamento geológico do Pegmatito Alto do Calango, Província Pegmatítica da Borborema

 João Victor Dantas de Oliveira ^[1]

 Aísla Thayná Araújo Azevedo ^[2]

 Vinícius Anselmo Carvalho Lisboa ^[3] *

 Nálisson Iesley França de Vasconcelos ^[4]

 José Ramilson dos Santos Oliveira ^[5]

 Carlos Dinges Marques de Sá ^[6]

[1] victorjoao_geo@outlook.com.br

[2] aíslathayna@gmail.com. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB), Campus Picuí, Brasil

[3] vinicius.lisboa@ifpb.edu.br

[5] jramilsonsantos@gmail.com. Núcleo de Estudos em Geologia e Geofísica Aplicada do Semiárido (NUGGAP), Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB), Campus Picuí, Brasil

[4] nalisson.academico@gmail.com. Universidade Federal de Sergipe (UFS), Brasil

[6] dingesster@gmail.com. Grupo de Pesquisa em Recursos Minerais, Universidade Federal de Sergipe (UFS), Brasil

RESUMO: A Província Pegmatítica da Borborema está inserida dentro do contexto da Faixa Seridó, abrangendo uma área de 75 km² por 150 km² entre os estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte. É mundialmente conhecida por seus pegmatitos mineralizados em Ta-Nb, Be, Sn, Li e gemas. Esses pegmatitos possuem idade Cambriana e a sua mineralogia e estrutura interna vêm sendo estudadas há mais de meio século. O presente trabalho tem foco no mapeamento geológico de detalhe do Pegmatito Alto do Calango (PAC). Na região estudada ocorrem os litotipos das formações Jucurutu e Seridó, além de granitos com textura pegmatítica e diques pegmatíticos. O granito pegmatítico é do tipo homogêneo e intrude os mármore da Formação Jucurutu, estando orientado na direção NE/SW. Os corpos pegmatíticos são do tipo heterogêneo e apresentam comprimento variando entre 58 m e 36 m, com espessura máxima de 15 m, orientados segundo as direções NE/SW, E/W e NW/SE. O PAC possui uma mineralogia composta por espodumênio, feldspato alcalino, plagioclásio, quartzo, muscovita, apatita e granada. A identificação dessa mineralogia permitiu classificá-lo como um pegmatito da família LCT, da classe dos pegmatitos ricos em elementos raros (ELR), subclasse ELR-Li, tipo complexo, subtipo espodumênio.

Palavras-chave: espodumênio; faixa Seridó; pegmatito.

Geological mapping of Pegmatite Alto do Calango, Pegmatitic Province of Borborema

ABSTRACT: The Borborema Pegmatitic Province, is inserted within the context of the Seridó Belt, covering an area of 75 by 150 km² between the states of Paraíba and Rio Grande do Norte. It is world-renowned for its Ta-Nb, Be, Sn, Li and gems mineralized pegmatites. These pegmatites are of Cambrian age and their mineralogy and internal structure have been studied for more than half a century. The present work focuses on the geological mapping of Alto do

*Autor para correspondência.

Calango Pegmatite (ACP). In the studied region, the lithotypes of the Jucurutu and Seridó formations occur, in addition to granites with pegmatitic texture and pegmatitic dikes. The pegmatitic granite is of the homogeneous type and intrudes the marbles of the Jucurutu Formation, being oriented in the NE/SW direction. The pegmatitic bodies are heterogeneous and have a length varying between 58 and 36m, with a maximum thickness of 15m, oriented according to NE/SW, E/W and NW/SE directions. The ACP has a mineralogy composed of spodumene, alkaline feldspar, plagioclase, quartz, muscovite, apatite and garnet. This mineralogy allowed to classify it as a pegmatite of the LCT family, of the class of pegmatites rich in rare elements (REL), subclass REL-Li, complex type, subtype spodumene.

.....
Keywords: *pegmatite; Seridó belt; spodumene.*

1 Introdução

O estudo de pegmatitos apresenta grande importância, devido à presença de minerais raros, que usualmente são explorados como gema, e pela abundância de elementos incompatíveis, como elementos terras-raras (ETR), ítrio (Y), urânio (U), tório (Th), lítio (Li), nióbio (Nb), tântalo (Ta) e berílio (Be), que possuem grande valor econômico (DUURING, 2020; LONDON, 1996, 2018). Além disso, são igualmente importantes por registrarem diferentes processos ígneos e fornecerem informações sobre o comportamento e a concentração de metais estratégicos e raros na crosta terrestre (LINNEN; VAN LICHTERVELDE; ČERNÝ, 2012; LONDON, 2008).

O Nordeste do Brasil apresenta abundantes ocorrências de pegmatitos hospedados em rochas gnáissico-migmatíticas do embasamento, sequências supracrustais e/ou granitoides que compõem o mosaico geológico da Província Borborema (SOUZA *et al.*, 2020). Essa região contém uma das maiores províncias pegmatíticas do mundo, a Província Pegmatítica da Borborema (PPB), denominação sugerida por Scorza (1944).

A PPB tem destaque na exploração de pegmatitos desde as primeiras grandes guerras (SILVA; DANTAS, 1997), sendo a mica o foco exploratório durante a 1ª Guerra Mundial, enquanto durante a 2ª Guerra Mundial as atenções se voltaram para a exploração da tantalita e do berilo. O potencial econômico dessa província inclui ainda a produção de rochas ornamentais, minerais raros e gemas, em especial a Turmalina Paraíba, de singular cor azul.

Recentemente, Beurlen *et al.* (2014) chamaram a atenção para a ocorrência de Li e elementos associados (e.g. Ta, Nb e Sn) nos corpos pegmatíticos graníticos da PPB. Ocorrências de minerais de Li como o espodumênio, a petalita e a ambligonita são registradas em importantes corpos pegmatíticos da região de Picuí, Frei Martinho e Pedra Lavrada (PAES *et al.*, 2016), mas sem estudos de detalhe para avaliar o seu potencial econômico.

Ante isso, este trabalho concentra-se no Pegmatito litinífero Alto do Calango e apresenta dados do mapeamento geológico de detalhe desenvolvido na área. Neste trabalho descreveu-se os diferentes tipos de rochas que afloram na região do pegmatito estudado. Além disso, fez-se uma caracterização detalhada da mineralogia do pegmatito

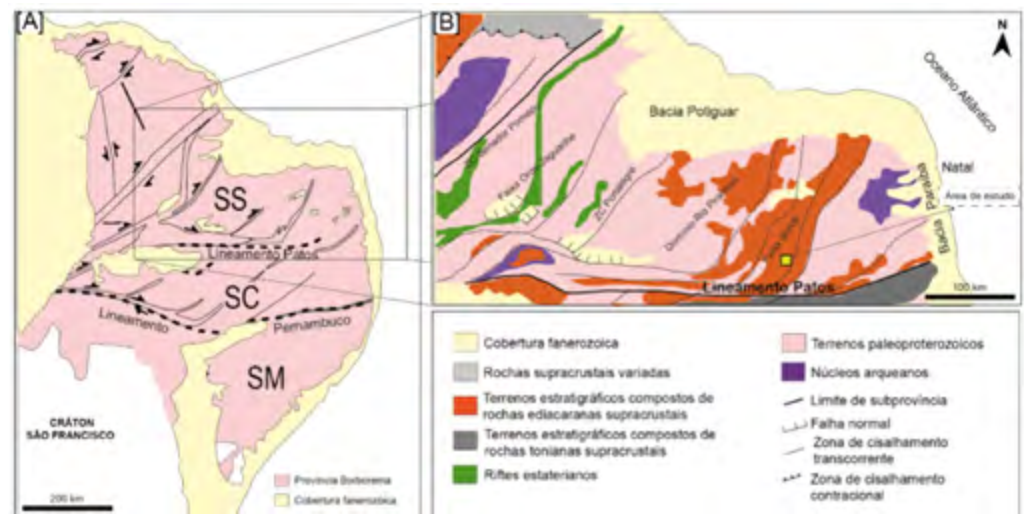
e das fácies reconhecidas no granito pegmatítico, sempre comparando com os trabalhos de referência (ČERNÝ; ERCIT 2005; BEURLEN *et al.*, 2009). Diante disso, foi possível propor uma atualização na classificação do Pegmatito Alto do Calango.

2 Contexto geológico

A Província Borborema (PB), definida por Almeida *et al.* (1977), é constituída de um embasamento paleoproterozoico, que compreende complexos gnáissico-migmatíticos, com pequenos núcleos arqueanos (DANTAS *et al.*, 2013), parcialmente cobertos por rochas supracrustais com idade de deposição variando de Paleo- a Neoproterozoica (NEVES; SANTOS; VAN SCHMUS, 2000; VAN SCHMUS *et al.*, 1995). A estruturação atual da província é resultado da orogênese Brasiliana–Pan-Africana (VAN SCHMUS *et al.*, 2008), caracterizada por intenso magmatismo granítico que está associado, em grande parte, a um sistema de zonas de cisalhamento transcorrentes dextrais, com direção E-W, e ramificações sinistras, com direção NE-SW (NEVES; MARIANO, 1999; NEVES; SANTOS; VAN SCHMUS, 2000; SOUZA *et al.*, 2020). A PB foi dividida em três subprovíncias ou setores (Figura 1a): Setentrional, compreendendo os domínios Médio Coreaú, Ceará Central e Rio Grande do Norte; Central, limitada pelas zonas de cisalhamento Patos e Pernambuco; e Meridional, definida entre a Subprovíncia Central e o Cráton São Francisco (NEVES; SANTOS; VAN SCHMUS, 2000; VAN SCHMUS; KOZUCH; NEVES, 2011).

Figura 1 ►

Divisão tectônica da Província Borborema (a) e esboço geológico simplificado do Domínio Rio Grande do Norte (b). Subprovíncia Setentrional (SS); Subprovíncia Central (SC); Subprovíncia Meridional (SM).
Fonte: adaptada de Souza *et al.* (2020)



A área de estudo está inserida na Faixa Seridó (FS), localizada na porção central do Domínio Rio Grande do Norte (Figura 1b). A FS é composta por um embasamento gnáissico-migmatítico de idade paleoproterozoica, denominado de Complexo Caicó. Sobreposta a esse embasamento, repousa a seqüência de rochas metassupracrustais do Grupo Seridó. Segundo a proposta de Sá (1994), esse grupo é dividido, da base para o topo, nas formações: (i) Jucurutu, basal, constituída predominantemente por biotita ± epidoto paragnaisses, contendo intercalações de mármore e rochas calciossilicáticas, micaxistos, quartzitos, formações ferríferas e metavulcânicas; (ii) Equador, intermediária e lateralmente descontínua, composta por quartzitos e metaconglomerados mono- e

polimíticos, além de raras intercalações de micaxistos e rochas calciossilicáticas; e (iii) Seridó, no topo, constituída predominantemente por micaxistos feldspáticos ou aluminosos, com intercalações subordinadas de mármore, rochas calciossilicáticas, paragneisses, metavulcânicas, quartzitos e metaconglomerados.

2.1 Pegmatitos da Província Borborema

A PPB estende-se por uma área de aproximadamente 75×150 km², abrangendo partes dos estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte (BEURLEN *et al.*, 2014; SCORZA, 1944; SOARES *et al.*, 2007), ao longo da porção oriental da FS. De acordo com Beurlen *et al.* (2011), existem mais de 750 pegmatitos mineralizados em Be-Li-Ta na PPB, além de milhares de outros pegmatitos estéreis. Outros trabalhos (SILVA, 1993; SILVA; HOLL; BEURLEN, 1995) estimam mais de 1.500 pegmatitos mineralizados e produtores de Ta-Nb, Sn, Be, Li, minerais industriais (quartzo e feldspato cerâmico) e portadores de gemas na PPB.

Estudos geocronológicos realizados por diversos pesquisadores (ALMEIDA *et al.*, 1968; ARAÚJO *et al.*, 2005; BAUMGARTNER *et al.*, 2006; BEURLEN *et al.*, 2009; DIRAC; EBERT, 1967; EBERT, 1969; EBERT; CLARO, 1970) têm revelado idades entre 450 Ma e 553 Ma para a formação desses pegmatitos, relacionando-os com o final do Ciclo Brasileiro.

A maioria das contribuições técnicas (SILVA, 1993) assume a origem desses pegmatitos a partir de uma fonte granítica. Entretanto, em vez de uma única fonte granítica, como se tem observado em várias províncias pegmatíticas clássicas no mundo (ex.: Dakota do Sul, Estados Unidos), tem-se na região quatro subtipos de intrusões graníticas, que ocorrem como intrusões independentes, com distribuição casual (SÁ, 1994). Mais recentemente, Nascimento, Galindo e Medeiros (2015) definem seis suítes magmáticas na região. A falta de uma ligação genética entre os pegmatitos mineralizados e a intrusão de um corpo granítico levou alguns autores (EBERT, 1969; EBERT; CLARO, 1970) a postularem que a fusão parcial dos quartzitos da Formação Equador poderia dar origem aos corpos mineralizados da PPB. Legrand *et al.* (1993) atribuem ao plutonismo granítico e às zonas de cisalhamento regionais o papel de agentes importantes na geração de fluidos para as mineralizações de Ta, Nb, Be e Li nos pegmatitos da PPB. Sallet *et al.* (2015), com base em estudos experimentais e isotópicos, concluíram que tanto a fusão do embasamento (Complexo Caicó) quanto as rochas metassedimentares (Grupo Seridó) podem ser a fonte dos pegmatitos.

3 Metodologia

Para o desenvolvimento do presente trabalho, foi seguida a sistemática básica para o mapeamento geológico de detalhe. A metodologia empregada foi dividida em três etapas, iniciando-se com o levantamento bibliográfico, seguido da realização das missões de campo e, por fim, das atividades pós-campo.

Na etapa preparatória para as missões de campo, quando se fez o levantamento bibliográfico e cartográfico sobre a região, foram consultadas teses, dissertações, monografias, artigos científicos e anais de congressos. Como base cartográfica utilizou-se a Carta Geológica Picuí (Folha Picuí SB.24-Z-B-VI) – Escala 1:100.000.

A etapa de campo consistiu em um trabalho *in loco*, realizado em março de 2020, na região estudada. Em cada afloramento foi coletada sua coordenada UTM, com auxílio do

GPS GARMIN modelo GPSMAP 64s, tendo como *datum* WGS-1984. Também foram descritas as principais feições (cor, textura, mineralogia etc.) das rochas aflorantes. Com o auxílio da bússola geológica do tipo Brunton, foi possível realizar medidas estruturais (direção e mergulho).

Na última etapa foi feita a confecção do mapa geológico de detalhe da área de estudo. Para tal, foi feito o tratamento das imagens, precedidos do seu georreferenciamento, com os dados obtidos em campo sendo tratados em softwares de geoprocessamento gratuitos. A finalização das imagens foi feita no software Adobe Illustrator.

4 Resultados e discussão

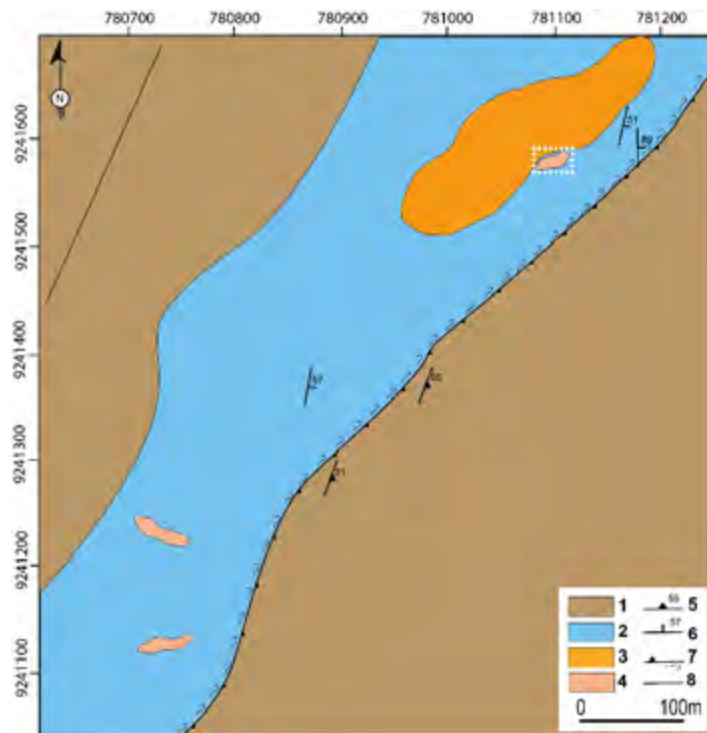
Na área de estudo ocorrem os litotipos das formações Jucurutu e Seridó, além de diques pegmatíticos heterogêneos e granitos com textura pegmatítica (Figura 2).

Figura 2 ►

Mapa geológico simplificado da área de estudo. O quadrado branco refere-se à área do Pegmatito Alto do Calango.

- 1 – Formação Seridó;
- 2 – Formação Jucurutu;
- 3 – Granito pegmatítico;
- 4 – Pegmatitos;
- 5 – Foliação com mergulho medido;
- 6 – Acamamento;
- 7 – Zona de cisalhamento compressional;
- 8 – Linhas de foliação regional.

Fonte: elaborada pelos autores



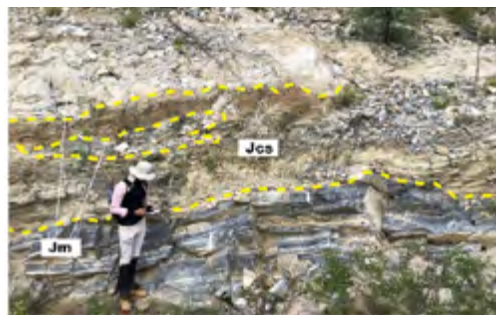
A Formação Jucurutu (FJu) é constituída por biotita \pm epídoto \pm anfibólio paragneisses, com intercalações de mármore, rochas calciossilicáticas, micaxistos, metavulcânicas e formações ferríferas (BEZERRA *et al.*, 2009; EBERT, 1969; FERREIRA; ALBUQUERQUE, 1969; NASCIMENTO; MEDEIROS, 2008). Os mármore intercalados na FJu estão amplamente distribuídos pela Faixa Seridó (SÁ, 1994).

Na região estudada, a FJu é representada por mármore de cor cinza azulada (Figura 3a), textura granoblástica, granulação fina a média, contendo bandamentos composicionais definidos pela alternância de níveis centimétricos (± 2 cm) de cores cinza escuro e branca (Figura 3b). As bandas de coloração mais clara, constituídas basicamente por calcita, reagem mais fortemente ao ácido clorídrico, em relação às bandas de cor mais escura, nas quais a reação ao ácido clorídrico não ocorre de forma tão expressiva.

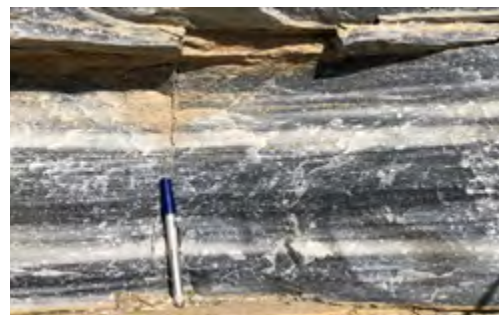
Figura 3 ►

Aspecto de campo das rochas estudadas. (a) Visão geral do afloramento dos mármore da Formação Jucurutu (Jm) com lentes de rochas cálciossilicáticas (Jcs). (b) Aspecto geral do mármore da Formação Jucurutu, onde se observa a alternância entre níveis claros (calcíticos) e escuros (dolomíticos). (c) Cristais romboédricos de calcita. (d) Veio com cristais de calcita (branco) e epidoto (verde escuro). (e) Aspecto geral do biotita xisto da Formação Seridó, rocha de coloração cinza escura, em que é possível identificar faixas ora mais ricas em biotita ora em quartzo-feldspáticas. (f) Detalhe do sigmoide de quartzo.

Fonte: arquivo dos autores



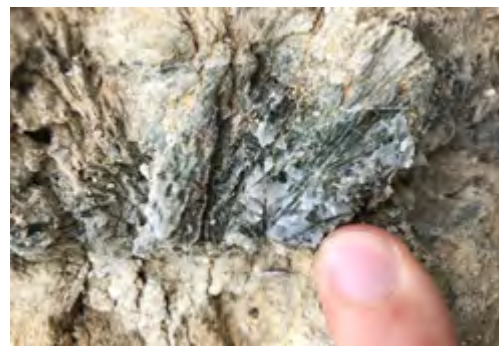
(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Dominantemente calcítica, a mineralogia acessória é constituída por cristais de dolomita, muscovita, epidoto, quartzo e magnetita. Nascimento (2002) observou que o percentual de calcita e dolomita variam no decorrer do perfil da FJu: os cristais de dolomita tendem a ser mais abundantes na base e tornam-se mais escassos em direção ao topo dessa formação.

Dois tipos texturais de calcita foram observados: (i) pequenos cristais xenomórficos e (ii) cristais maiores hipidiomórficos (Figura 3c) com tamanhos variados. Ambos exibem contatos retos a irregulares. É comum a ocorrência de veios de calcita e epidoto centimétricos cortando o mármore (Figura 3d). As rochas calciossilicáticas ocorrem como lentes (± 50 cm) nos mármore (Figura 3a), apresentam coloração cinza esverdeada, textura granonematoblástica e granulação fina a média, por vezes com fenocristais de epidoto.

Bezerra *et al.* (2009), com base no conteúdo mineralógico, identificaram três fácies principais nos xistos da Formação Seridó (FSe), a saber: i) biotita xistos; ii) granada biotita xistos; iii) cordierita andaluzita estauroilita \pm silimanita xistos com granada.

Os xistos que ocorrem na área de estudo pertencem a fácies granada biotita xisto e apresentam coloração cinza escura, granulação fina a média e textura lepidonematoblástica (Figura 3e). Possuem xistosidade, foliação penetrativa bem definida em níveis milimétricos a centimétricos com alternância de faixas biotíticas (cinza escura) e faixas quartzo-feldspáticas, possivelmente representando a variação composicional do protólito. É comum se observar sigmoides e veios de quartzo, na maioria das vezes, paralelos à foliação (Figura 3f).

A mineralogia dessas rochas é composta por quartzo, feldspato, biotita e muscovita, com raros porfiroblastos de granada. A identificação dessa assembleia mineral pode indicar que as condições metamórficas atingiram pelo menos a isógrada da biotita, na fácies xisto verde superior.

O corpo granítico pegmatítico que aflora na área de estudo é, segundo a classificação de Johnston Jr. (1945), um pegmatito homogêneo. O corpo possui cerca de 250 m de extensão por 70 m de largura e está orientado segundo a direção NE/SW, intrudindo os mármore da Formação Jucurutu (Figura 2). Esse corpo apresenta composição granítica, possui caráter leucocrático a hololeucocrático, exibindo granulação grossa a muito grossa, sendo composto essencialmente por feldspato alcalino, plagioclásio e quartzo, com muscovita, granada e turmalina como minerais acessórios. Uma foliação incipiente, marcada pelo alinhamento dos cristais de feldspato alcalino, pode ser observada.

Algumas das fácies descritas por Černý e Ercit (2005) e por Beurlen *et al.* (2009) para os granitos pegmatíticos do campo pegmatítico de Cat Lake-Winnipeg River (Manitoba, Canadá) e para os granitos pegmatíticos da Borborema, respectivamente, puderam ser identificadas, sendo detalhadas a seguir:

Fácies leucogranito fino: corresponde a um granito leucocrático equigranular, cujos cristais atingem dimensões de até 3 cm (Figura 4), composta essencialmente por feldspato alcalino, plagioclásio, quartzo e, de forma subordinada, muscovita e biotita. A biotita é frequentemente cloritizada. A granada aparece como a principal fase acessória, seguida da turmalina e da magnetita;

Fácies leucogranítica pegmatítica: corresponde a um leucogranito inequigranular de granulação muito grossa (Figura 4), com cristais maiores que 10 cm. É possível observar cristais que estão orientados perpendicularmente à direção geral da fácies, definindo a textura UST (*unidirectional solidification texture*) descrita por London (2018). Alguns cristais mostram evidências de crescimento blástico. Sua mineralogia é composta por feldspato alcalino perítico (Figura 5a), plagioclásio, quartzo e muscovita. Por vezes, os cristais de feldspato alcalino mostram um zoneamento (Figura 5b) definido pelas variações na cor creme (no centro dos cristais) até branco (nas bordas). A presença de textura gráfica é uma característica marcante dessa fácies. O intercrescimento gráfico é o resultado do crescimento simultâneo entre o feldspato e o quartzo (BEURLEN *et al.*, 2009);

Fácies sódica aplítica: é a fácies menos expressiva. É composta por um leucogranito equigranular com granulação fina a muito fina (Figura 4), sendo composta por plagioclásio, feldspato alcalino, quartzo e uma quantidade relativamente elevada de granada (~ 30%). Fácies aplíticas ricas em granada também podem ser observadas nas zonas de borda de pegmatitos mineralizados da PPB (BEURLEN *et al.*, 2007);

Fácies pegmatítica: ocorre de forma localizada sob a forma de bolsões ou veios discordantes. A principal característica dessa fácies é a presença de megacristais de feldspato alcalino envolvendo uma massa central de quartzo. Os contatos com as outras fácies são difusos (Figura 4).

Figura 4 ►

Visão geral da textura e das fácies observadas no granito pegmatítico aflorante na área: (i) fácies leucogranito fino; (ii) fácies leucogranítica pegmatítica; (iii) fácies aplítica; e (iv) fácies pegmatítica. Cristais com textura UST (seta branca).
Fonte: arquivo dos autores



Figura 5 ►

Aspectos texturais da Fácies leucogranítica pegmatítica.
(a) Cristal de feldspato alcalino pertítico;
(b) cristal zonado de feldspato alcalino (seta branca).
Fonte: arquivo dos autores



(a)



(b)

Na área estudada afloram três corpos pegmatíticos classificados – com base nos seus aspectos texturais e de morfologia interna (classificação proposta por Johnston Jr. em 1945) – como pegmatitos do tipo heterogêneo. Os pegmatitos apresentam comprimento variando entre 58 m e 36 m, com espessura máxima de 15 m, apresentando-se orientados segundo as direções NE/SW, E/W e NW/SE (Figura 2).

O Pegmatito Alto do Calango (PAC) intrude os mármore da FJu (Figura 2). As fases minerais possíveis de serem identificadas a olho nu são espodumênio, feldspato alcalino, plagioclásio, quartzo, muscovita, apatita e granada. O espodumênio compõe cerca de 20% do PAC; os feldspatos (feldspato alcalino e albita), cerca de 45%; o quartzo, aproximadamente, 25%; e muscovita e apatita, os 10% restantes. Estudos recentes realizados por Figur *et al.* (2019) e por Rodrigues *et al.* (2020) identificaram, a partir de análises de difratometria de raios-X, cookeíta ($\text{LiAl}_4(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$) e pirofilita ($\text{Al}_4(\text{Si}_8\text{O}_{20})(\text{OH})_4$) como fases acessórias. Em pegmatitos ricos em lítio, a cookeíta ocorre como produto de alteração nos estágios finais da cristalização, estando frequentemente associada aos minerais de lítio (SAHAMA; KNORRING; LEHTINEN, 1968). No PAC, essa fase mineral está relacionada com os cristais de espodumênio.

Segundo Knoll *et al.* (2018), pegmatitos ricos em espodumênio podem ser subdivididos em uma zona de borda e quatro zonas internas. A zona interna 1 é composta por quartzo, plagioclásio, cristais de feldspato alcalino de tamanhos variados e muscovita subordinada. Nessa zona, podem ocorrer megacristais de feldspato alcalinos com alguns decímetros de tamanho. A zona interna 2 é similar à zona 1, contendo, adicionalmente, cristais de espodumênio centimétricos, euédricos a subédricos. Dentro dessas duas zonas podem aparecer camadas ricas em turmalina e/ou granada, com alguns centímetros de largura. A zona interna 3 apresenta uma granulação grossa, sendo constituída por quartzo, espodumênio, feldspato alcalino, plagioclásio e muscovita. A zona interna 4 corresponde a um núcleo de quartzo que pode conter alguns cristais de espodumênio e feldspato originados da zona 3.

Soares *et al.* (2018) e Knoll *et al.* (2018) destacam que, na maioria dos casos, nem todas as zonas internas dos pegmatitos estarão presentes, ou, ainda, que apenas uma única zona pode ser dominante. Dessa forma, esses autores ressaltam a importância do conhecimento de um corpo pegmatítico em suas três dimensões.

No PAC é possível identificar uma fina zona de borda, com alguns centímetros de espessura. A zona 2 é composta por megacristais de feldspato; além destes também se observa quartzo, muscovita e raros cristais de espodumênio (Figura 6a). Nota-se, nessa zona, camadas ricas em granada (Figuras 6b e 6c). A zona 3 é composta essencialmente por cristais de espodumênio, quartzo, apatita e muscovita como fase acessória (Figura 7a).

Os cristais de espodumênio exibem uma coloração esbranquiçada e são, em sua maioria, euédricos com tamanhos variando entre 1 cm e 30 cm, sendo possível observar megacristais com até 50 cm de comprimento e 8 cm de largura (Figura 7b). Geralmente estão associados com cristais de quartzo de cor cinza claro, cristais de apatita de coloração azulada (Figura 7c) e, por vezes, muscovita (Figura 7d).

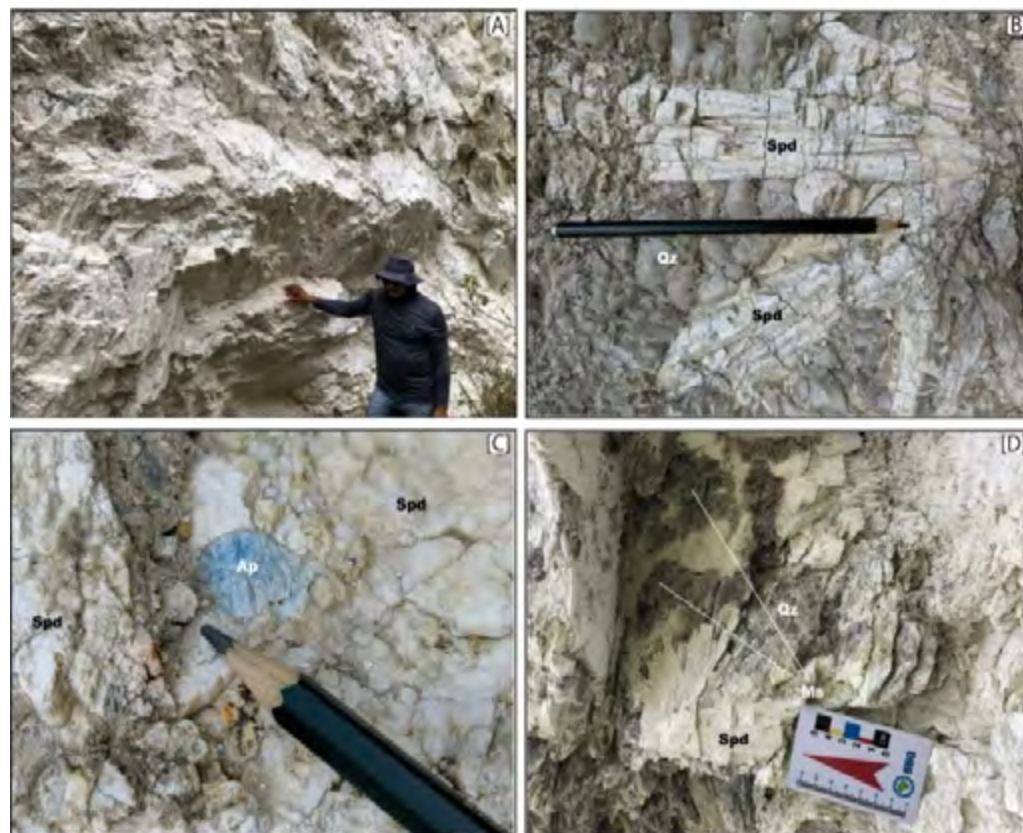
Figura 6 ▶

Aspectos texturais do Pegmatito Alto do Calango.
(a) Textura representativa da zona 2. (b) Detalhe das camadas da zona 2, ricas em granada. (c) Cristais euédricos a subédricos de granada associados a cristais de feldspato e quartzo da zona 2.
Fonte: arquivo dos autores



Figura 7 ▶

Aspectos texturais do Pegmatito Alto do Calango.
(a) Textura representativa da zona 3; (b) cristais prismáticos de espodumênio (Spd) associados a cristais de quartzo (Qz); (c) cristal de apatita (Ap) associado com cristais de espodumênio; (d) cristais de espodumênio associados a cristais de quartzo e muscovita (Ms).
Fonte: arquivo dos autores



A variação de granulação observada nos cristais de espodumênio pode, segundo Romeiro e Pedrosa-Soares (2005), estar relacionada à diminuição de viscosidade da fusão silicatada nas porções mais próximas ao topo do corpo ou em porções onde o pegmatito apresenta mergulho baixo.

A diminuição na viscosidade pode ser promovida pelo acúmulo de fluidos aquosos durante a cristalização primária do pegmatito e, conseqüentemente, a diminuição da densidade de nucleação na fusão silicatada. O resultado disso é a cristalização de um número menor de cristais, mas com dimensões maiores (ROMEIRO, 1998; ROMEIRO; PEDROSA-SOARES, 2005).

Tomando como base a mineralogia identificada e os critérios propostos por Černý e Ercit (2005), o PAC pode ser enquadrado nos pegmatitos da família LCT, da classe dos pegmatitos ricos em elementos raros (ELR), subclasse ELR-Li, tipo complexo, subtipo espodumênio.

A classe dos pegmatitos ELR engloba corpos gerados pela diferenciação de plútons graníticos, em geral posicionados a profundidades intermediárias a rasas e marcados por uma tendência a acumular concentrações econômicas de elementos litófilos raros nos tipos mais fracionados (ČERNÝ; ERCIT, 2005).

Os pegmatitos da subclasse ELR-Li abrangem pegmatitos intrudidos em rochas encaixantes cujo metamorfismo atingiu a fácies xisto verde superior à anfíbolito. Ademais, os corpos pegmatitos dessa subclasse representam magmas diferenciados a partir de granitos peraluminosos sin- a tardi-orogênicos. Tais pegmatitos são os mais afastados de sua fonte termal ou magmática (ČERNÝ, 1982).

O subtipo espodumênio é a categoria mais comum dos pegmatitos complexos cristalizados a pressões relativamente altas (ČERNÝ; ERCIT, 2005; DIAS, 2015). A paragênese espodumênio + quartzo, identificada no PAC, confirma a necessidade de altas condições de pressão, necessárias para estabilizar o alumínio silicato de lítio (LONDON, 2008).

5 Conclusões

A PPB ainda apresenta um grande potencial para a extração de recursos minerais, em especial Li, Ta, Nb e Sn. Ocorrências de minerais de Li como o espodumênio, a petalita e a ambligonita são registradas em importantes corpos pegmatíticos da região.

Na área estudada foi possível identificar a ocorrência dos litotipos das formações Jucurutu e Seridó. Os mármore da FJu apresentam-se bandados, com níveis mais ricos em calcita e outros enriquecidos em dolomita. Além da calcita, observa-se quartzo, muscovita, epidoto e magnetita como minerais acessórios nessas rochas. Os xistos da FSe, na área, são compostos por quartzo, feldspato, biotita e muscovita, com raros porfiroblastos de granada.

O corpo granito pegmatítico identificado na região é do tipo homogêneo e intrude os mármore da Formação Jucurutu, possuindo cerca de 250 m de extensão por 70 m de largura e orientado na direção NE/SW. Possui quatro fácies texturais: leucogranito fino; leucogranítica pegmatítica; sódica aplítica e pegmatítica.

O Pegmatito Alto do Calango é intrusivo nos mármore da FJu. Apresenta uma assembleia mineral composta por espodumênio, feldspato alcalino, plagioclásio, quartzo, muscovita, apatita e granada. Esses minerais distribuem-se de forma heterogênea ao

longo do corpo pegmatítico, nas zonas: de borda, zona 2 e zona 3. Nesta última ocorre a maior quantidade de espodumênio.

Trabalhos mais detalhados podem ser realizados na região, sobretudo pela escassez de informações, principalmente no que se refere ao detalhamento da mineralogia do pegmatito (petrografia microscópica, difratometria de raios X etc.) e de sua geoquímica.

Financiamento

O presente trabalho foi realizado com suporte financeiro do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB), através do edital Chamada Interconecta IFPB N° 01/2020. Aísla Thayná de Araújo Azevedo agradece ao IFPB sua bolsa de pesquisa.

Referências

ALMEIDA, F. F. M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B. B.; FUCK, R. Províncias estruturais brasileiras. *In*: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 8., 1977, Campina Grande. **Anais** [...]. Campina Grande: SBG – Núcleo Nordeste, 1977. p. 382-384. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/284664191_Provincias_estruturais_brasileiras_Actas. Acesso em: 21 jun. 2022.

ALMEIDA, F. F. M.; MELCHER, G. C.; CORDANI, U. G.; KAWASHITA, K.; VANDOROS, P. Radiometric age determinations from Northern Brazil. **Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia**, v. 17, n. 1, p. 3-15, 1968. Disponível em: <https://pgegeo.igc.usp.br/index.php/BSBG/article/view/12778>. Acesso em: 21 jun. 2022.

ARAÚJO, M. N. C.; VASCONCELOS, P. M.; SILVA, F. C. A.; SÁ, E. F. J.; SÁ, J. M. ⁴⁰Ar/³⁹Ar geochronology of gold mineralization in Brasiliano strike-slip shear zones in the Borborema province, NE Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 19, n. 4, p. 445-460, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2005.06.009>.

BAUMGARTNER, R.; ROMER, R. L.; MORITZ, R.; SALLET, R.; CHIARADIA, M. Columbite-tantalite-bearing granitic pegmatites from the Seridó Belt, Northeastern Brazil: genetic constraints from U-Pb dating and Pb isotopes. **The Canadian Mineralogist**, v. 44, n. 1, p. 69-86, 2006. DOI: <https://doi.org/10.2113/gscanmin.44.1.69>.

BEURLLEN, H.; BARRETO, S. B.; MARTIN, R. F.; MELGAREJO, J.; RHEDE, D.; DA SILVA, M. R. R.; SOUZA NETO, J. A. The Borborema Pegmatitic Province in Northeast Brazil: the state of the art. *In*: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON GRANITIC PEGMATITES: THE STATE OF THE ART, 6., 2007, Porto. **Proceedings** [...]. Porto: Organigráfica, 2007. p. 32-33. Disponível em: <https://www.fc.up.pt/peg2007/files/beurlen.pdf>. Acesso em: 21 jun. 2022.

BEURLLEN, H.; MOURA, O. J. M.; SOARES, D. R.; SILVA, M. R. R.; RHEDE, D. Geochemical and geological controls on the genesis of gem-quality “Paraíba Tourmaline” in granitic pegmatites from northeastern Brazil. **The Canadian Mineralogist**, v. 49, n. 1, p. 277-300, 2011. DOI: <https://doi.org/10.3749/canmin.49.1.277>.

BEURLLEN, H.; RHEDE, D.; SILVA, M. R. R.; THOMAS, R.; GUIMARÃES, I. P. Petrography, geochemistry and chemical electron microprobe U-Pb-Th dating of

pegmatitic granites in the Borborema Pegmatite Province, North-Eastern Brazil: a possible source of the rare-element granitic pegmatites. *Terra*, v. 6, n. 1, p. 59-71, 2009. Disponível em: <https://www.ige.unicamp.br/terrae/V6/PDF-N6/T-a6i.pdf>. Acesso em: 21 jun. 2022.

BEURLEN, H.; THOMAS, R.; SILVA, M. R. R.; MÜLLER, A.; RHEDE, D.; SOARES, D. R. Perspectives for Li- and Ta-mineralization in the Borborema Pegmatite Province, NE-Brazil: a review. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 56, p. 110-127, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2014.08.007>.

BEZERRA, F. H. R.; AMARAL, R. F.; SILVA, F. O.; SOUSA, M. O. L.; LEGRAND, J. M.; SÁ, J. M.; MAIA, H. N.; FONSECA, V. P.; VIEIRA, M. M.; SOUZA, L. C. Nota explicativa da folha Jardim do Seridó, SB.24-Z-B-V. Brasília, DF: CPRM, 2009. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/18296>. Acesso em: 21 jun. 2022.

ČERNÝ, P. **Granitic pegmatites in science and industry**. Toronto: Mineralogical Association of Canada, 1982. 555 p. (Short Course Handbook, v. 8).

ČERNÝ, P.; ERCIT, T. S. The Classification of granitic pegmatites revisited. *The Canadian Mineralogist*, v. 43, n. 6, p. 2005-2026, 2005. DOI: <https://doi.org/10.2113/gscanmin.43.6.2005>.

DANTAS, E. L.; SOUZA, Z. S.; WERNICK, E.; HACKSPACHER, P. C.; MARTIN, H.; XIAODONG, D.; LI, J.-W. Crustal growth in the 3.4-2.7 Ga São José de Campestre Massif, Borborema Province, NE Brazil. *Precambrian Research*, v. 227, p. 120-156, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2012.08.006>.

DIAS, C. H. **Mineralogia, tipologia e causas de cor de espodumênios da Província Pegmatítica Oriental do Brasil e química mineral de Nb-tantalatos da mina da Cachoeira (Minas Gerais)**. 2015. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/BUBD-9ZWPNA>. Acesso em: 21 jun. 2022.

DIRAC, F. M.; EBERT, H. Isotopic ages from the pegmatite provinces of Eastern Brazil. *Nature*, v. 215, p. 948-949, 1967. DOI: <https://doi.org/10.1038/215948a0>.

DUURING, P. **Rare-element pegmatites: a mineral systems analysis**. Record 2020/7. East Perth: Geological Survey of Western Australia, 2020. Disponível em: <https://nla.gov.au/nla.obj-2792967663/view>. Acesso em: 21 jun. 2022.

EBERT, H. **Geologia do Alto Seridó**. Recife: SUDENE, 1969. 120 p.

EBERT, H.; CLARO, R. The Precambrian geology of the “Borborema”-belt (States of Paraíba and Rio Grande do Norte; northeastern Brazil) and the origin of its mineral provinces. *Geologische Rundschau*, v. 59, p. 1292-1326, 1970. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02042293>.

FERREIRA, J. A. M.; ALBUQUERQUE, J. P. T. **Sinopse da geologia da Folha Seridó**. Recife: SUDENE, 1969. 52 p.

FIGUR, A. S.; LISBOA, V. A. C.; SÁ, C. D. M.; BOBOS, I. Espodumênio do Alto do Calango, PB. *In*: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 28., 2019, Aracaju. **Anais** [...]. Aracaju: SBG – Núcleo Nordeste, 2019. p. 336-336. Disponível em: http://sbgeo.org.br/assets/admin/imgCk/files/Anais/Anais_28o_Simpósio_de_Geologia_do_Nordeste-ISBN.pdf. Acesso em: 21 jun. 2022.

JOHNSTON JUNIOR, W. D. **Os pegmatitos berilo-tantalíferos da Paraíba e Rio Grande do Norte, no Nordeste do Brasil**. Rio de Janeiro: DNPM, 1945. 85 p.

KNOLL, T.; SCHUSTER, R.; HUET, B.; MALI, H.; ONUK, P.; HORSCHINEGG, M.; ERTL, A.; GIESTER, G. Spodumene pegmatites and related leucogranites from the Austroalpine Unit (eastern Alps, central Europe): field relations, petrography, geochemistry, and geochronology. **The Canadian Mineralogist**, v. 56, n. 4, p. 489-528, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.3749/canmin.1700092>.

LEGRAND, J. M.; MELO JUNIOR, M. G.; ARCHANJO, C. J.; SALIM, J.; SOUZA, L. C.; MAIA, H. N. Mineralizações na Faixa Seridó: um processo hidrotermal do fenômeno tectono-magmático Brasileiro. *In*: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 15., 1993, Natal. **Anais** [...]. Natal: SBG – Núcleo Nordeste, 1993. p. 185-188. Disponível em: https://igeo.ufrj.br/inc/isc/5/5_7.pdf. Acesso em: 21 jun. 2022.

LINNEN R. L.; VAN LICHTERVELDE, M.; ČERNÝ, P. Granitic pegmatites as sources of strategic metals. **Elements**, v. 8, n. 4, p. 275-280, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.2113/gselements.8.4.275>.

LONDON, D. Granitic pegmatites. **Transactions of the Royal Society of Edinburgh-Earth Sciences**, v. 87, n. 1-2, p. 305-320, 1996. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0263593300006702>.

LONDON, D. Ore-forming processes within granitic pegmatites. **Ore Geology Reviews**, v. 101, p. 349-383, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.OREGEOREV.2018.04.020>.

LONDON, D. **Pegmatites**. Quebec: Mineralogical Association of Canada, 2008. 347 p. (The Canadian Mineralogist, Special Publication 10). DOI: <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.103.8.1730>.

NASCIMENTO, M. A. L.; GALINDO, A. C.; MEDEIROS, V. C. Ediacaran to Cambrian magmatic suites in the Rio Grande do Norte domain, extreme Northeastern Borborema Province (NE of Brazil): current knowledge. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 58, p. 281-299, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2014.09.008>.

NASCIMENTO, M. A. L. D.; MEDEIROS, V. C. Litofácies da formação Jucurutu (porção basal do Grupo Seridó) na folha Currais Novos (SB-24-ZB-II), domínio Rio Grande do Norte (Província Borborema, NE do Brasil). *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 44., 2008, Curitiba. **Anais** [...]. Curitiba: SBG, 2008. p. 91-91. Disponível em: <http://www.sbgeo.org.br/home/pages/44#Simp%C3%B3sios%20Regionais>. Acesso em: 21 jun. 2022.

NASCIMENTO, R. S. C. **Químioestratigrafia de $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$ e $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ aplicada a mármores da Faixa Seridó, Província Borborema, NE do Brasil**: implicações geotectônicas e paleoambientais. 2002. Tese (Doutorado em Geociências) – Universidade

Federal de Pernambuco, Recife, 2002. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/6595>. Acesso em: 21 jun. 2022.

NEVES, S. P.; MARIANO, G. Assessing the tectonic significance of a large-scale transcurrent shear zone system: the Pernambuco lineament, northeastern Brazil. **Journal of Structural Geology**, v. 21, n. 10, p. 1369-1383, 1999. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0191-8141\(99\)00097-8](https://doi.org/10.1016/S0191-8141(99)00097-8).

NEVES, B. B. B.; SANTOS, E. J.; VAN SCHMUS, W. R. Tectonic history of the Borborema Province, northeastern Brazil. *In*: INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, 31., 2000, Rio de Janeiro. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: IUGS, 2000. p. 151-182. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/19419>. Acesso em: 21 jun. 2022.

PAES, V. J. C.; SANTOS, L. D.; TEDESCHI, M. F.; BETIOLLO, L. M. (org.). **Avaliação do potencial do lítio no Brasil: área do Médio Rio Jequitinhonha, nordeste de Minas Gerais**. Belo Horizonte: CPRM, 2016. DOI: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/17451>.

RODRIGUES, C. M.; LISBOA, V. A. C.; SÁ, C. D. M.; BOBOS, I. Pegmatitos do Alto do Calango e do Alto da Morada Nova, Província Pegmatítica da Borborema – PB. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 50., 2020, Brasília. **Anais [...]**. Brasília: SBG, 2020. p. 256-256. Disponível em: https://50cbg.com/wp-content/uploads/2021/07/50%C2%BACBG_Anais-Volume-1.pdf. Acesso em: 21 jun. 2022.

ROMEIRO, J. C. P. **Controle da mineralização de lítio em pegmatitos da Mina da Cachoeira, Companhia Brasileira de Lítio, Araçuaí, MG**. 1998. 94 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1998. Disponível em: <https://catalogobiblioteca.ufmg.br/pergamum/biblioteca/index.php>. Acesso em: 21 jun. 2022.

ROMEIRO, J. C. P.; PEDROSA-SOARES, A. C. Controle do minério de espodumênio em pegmatitos da Mina da Cachoeira, Araçuaí, MG. **Geonomos**, v. 13, n. 1-2, p. 75-81, 2005. DOI: <https://doi.org/10.18285/geonomos.v13i1e2.137>.

SÁ, E. F. J. **A faixa Seridó (Província Borborema, NE do Brasil) e o seu significado geodinâmico na cadeia Brasileira/Pan-Africana**. 1994. 803 f. Tese (Doutorado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 1994. Disponível em: <https://mw.eco.br/ig/posg/dout/dout003.htm>. Acesso em: 21 jun. 2022.

SAHAMA, T. G.; KNORRING, O.; LEHTINEN, M. Cookeite from the Muiane pegmatite, Zambezia, Mozambique. **Lithos**, v. 1, n. 1, p. 12-19, 1968. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0024-4937\(68\)80031-3](https://doi.org/10.1016/S0024-4937(68)80031-3).

SALLET, R.; PRICE, J. D.; BABINSKI, M.; MORITZ, R.; SOUZA, Z. S.; CHIARADIA, M. Experimental anatexis, fluorine geochemistry and lead-isotope constraints on granite petrogenesis in the Seridó Belt, Borborema Province, northeastern Brazil. **Chemical Geology**, v. 400, p. 122-148, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2015.02.011>.

SCORZA, E. P. **Província Pegmatítica da Borborema**. Rio de Janeiro: DNPM, 1944.

SILVA, M. R. R. **Petrographical and geochemical investigations of pegmatites in the Borborema Pegmatitic Province of Northeastern Brasil**. 1993. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) – Ludwig-Maximilians-Universität München, Munique, 1993.

SILVA, M. R.; DANTAS, J. R. A. Província Pegmatítica da Borborema – Seridó, Paraíba e Rio Grande do Norte. *In*: SCHOBENHAUS, C. (ed.). **Principais depósitos minerais do Brasil**. Brasília, DF: DNPM/CVRD, 1997. v. 1, p. 441-467.

SILVA, M. R. R.; HOLL, R.; BEURLIN, H. Borborema Pegmatitic Province: geological and geochemical characteristics. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 8, n. 3-4, p. 355-364, 1995. DOI: [https://doi.org/10.1016/0895-9811\(95\)00019-C](https://doi.org/10.1016/0895-9811(95)00019-C).

SOARES, D. R.; BEURLIN, H.; FERREIRA, A. C. M.; SILVA, M. R. R. Chemical composition of gahnite and degree of pegmatite fractionation in the Borborema Pegmatitic Province, northeastern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 79, n. 3, p. 395-404, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0001-37652007000300005>.

SOARES, D. R.; BEURLIN, H.; SILVA, M. R. R.; GONZAGA, F. A. S.; SANTOS FILHO, J. I.; OLIVEIRA, H. L. Variedades gemológicas de minerais da província pegmatítica da Borborema, NE do Brasil: uma síntese. **Estudos Geológicos**, v. 28, n. 1, p. 56-71, 2018. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/estudosgeologicos/article/view/237958>. Acesso em: 21 jun. 2022.

SOUZA, I. M. B. A.; BARRETO, S. B.; SANTOS, G. L.; ARAÚJO NETO, J. F.; GUIMARÃES, I. P. A mineralogia acessória do Amazonita Pegmatito Serra Branca: classificação de um pegmatito NYF na Província Borborema, Nordeste do Brasil. **Geologia USP. Série Científica**, v. 20, n. 3, p. 47-61, 2020. DOI: <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9095.v20-162199>.

VAN SCHMUS, W. R.; KOZUCH, M.; NEVES, B. B. B. Precambrian history of the Zona Transversal of the Borborema Province, NE Brazil: Insights from Sm-Nd and U-Pb geochronology. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 31, n. 2-3, p. 227-252, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2011.02.010>.

VAN SCHMUS, W. R.; NEVES, B. B. B.; HACKSPACHER, P. C.; BABINSKI, M. U/Pb and Sm/Nd geochronologic studies of the eastern Borborema Province, Northeastern Brazil: initial conclusions. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 8, n. 3-4, p. 267-288, 1995. DOI: [https://doi.org/10.1016/0895-9811\(95\)00013-6](https://doi.org/10.1016/0895-9811(95)00013-6).

VAN SCHMUS, W. R.; OLIVEIRA, E. P.; SILVA FILHO, A. F.; TOTEU, S. F.; PENAYE, J.; GUIMARÃES, I. P. Proterozoic links between the Borborema Province, NE Brazil, and the Central African fold belt. **Geological Society Special Publications**, v. 294, p. 69-99, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1144/SP294.5>.