



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ – CAMPUS CRATEÚS
CURSO DE ENGENHARIA DE MINAS**

JOSÉ CARLOS VIEIRA DE MIRANDA

**CLASSIFICAÇÃO DE PEGMATITO NO DISTRITO DE IPOJUCA
NA CIDADE CRATEÚS-CEARÁ**

CRATEÚS-CEARÁ

2022

JOSÉ CARLOS VIEIRA DE MIRANDA

**CLASSIFICAÇÃO DE PEGMATITO NO DISTRITO DE IPOJUCA
NA CIDADE CRATEÚS-CEARÁ**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia de Minas do Departamento de Engenharia de Minas da Universidade Federal do Ceará-Campos de Crateús, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Minas.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Diones de Oliveira Silva

CRATEÚS-CEARÁ

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- M643c Miranda, José Carlos Vieira de.
Classificação de pegmatito no distrito de Ipojuca na cidade de Crateús-Ceará / José Carlos Vieira de Miranda. – 2022.
63 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Crateús, Curso de Engenharia de Minas, Crateús, 2022.
Orientação: Prof. Dr. Francisco Diones de Oliveira Silva.
1. Pegmatito. 2. Análise Química. 3. Granada. 4. Berilo. I. Título.

CDD 622

JOSÉ CARLOS VIEIRA DE MIRANDA

**CLASSIFICAÇÃO DE PEGMATITO NO DISTRITO DE IPOJUCA
NA CIDADE CRATEÚS-CEARÁ**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia de Minas da Universidade Federal do Ceará, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Minas.

Aprovado em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Francisco Diones Oliveira Silva (Orientador)
Universidade Federal do Ceará – Campus Crateús (UFCE)

Prof. Ms. Kennedy da Silva Ramos
Universidade Federal do Ceará – Campus Crateús (UFCE)

Prof. Dr. José de Araújo Nogueira Neto (Membro Externo)
Universidade Federal de Goiás (UFG)

A Deus.

Aos Meus Pais João Batista de Miranda (*in memoriam*),
minha querida mãe Maria de Nazaré Vieira de Miranda e
meu padrasto Miguel Ferreira Pessoa, que sempre me
incentivaram;

Ao meu tio Dr. Francisco Vieira de Andrade e a minha
querida avó Maria Vieira de Andrade (*in memoriam*);

A minha esposa Valdete Rodrigues Albuquerque;

Aos meus filhos Ruan Thales, Anthony e Lorenzo;

Aos meus irmãos Nazareno, Rogério, Michele e Assis.

AGRADECIMENTOS

A DEUS, por me conceder força e coragem para continuar na minha jornada em busca de conhecimentos;

Aos meus amigos de campo Caçula Aguiar (meu compadre) e José Lins, que categoricamente sagraram em campo junto comigo e nunca mediram esforços para estar ao meu lado. Aos meus amigos Valdenes (o Macarão), Jonas, Edmilson e a Zedequias Portela Machado (Dedê Machado, *in memoriam*);

Ao professor Dr. Francisco Diones de Oliveira Silva que me apoiou no desenvolvimento deste trabalho e ao Prof. Ms. Kennedy Ramos, que sempre proporcionava momentos de discursões fundamentais para nosso conhecimento em mineralogia;

As minhas alunas Raimunda Nubia de Souza Araújo e Antonia Sousa Pereira (Antoniza) e aos amigos Dr. Carlos Felipe e Dr. Saulo (família Bezerra) que gentilmente permitiram que as pesquisas de campo fossem realizadas nas suas propriedades;

Aos professores da Universidade Federal do Ceará (UFCE) do Campos de Crateús, em especial aos professores Sandro Vagner, Marciel Barros, Laise Lima, Emanuel Itaquê, Rafael Chagas, Lisieux Marie, Rodrigo Cortez, Rafael dos Santos, Tiany Guedes e Larissa Granjeiro, meus sinceros agradecimentos ao conhecimento a mim repassados;

Aos meus amigos da Faculdade de Educação de Crateús (FAEC), Marcelo Façanha e Karlo David pela amizade, companheirismo e solidariedade em momentos difíceis e a meus amigos e colegas de curso da Engenharia de Minas construídos durante esta jornada de graduação, em especial Jerfferson Farias, Willian Alves (Pernambuco), Francisco (Chicó), Gildane, Gildário, João Pedro e Vanessa pelo companheirismo e solidariedade sempre presentes;

Ao companheiro de trabalho Prof. Francisco Luan Fonseca da Silva por ter realizado as análises de ICP-OES e os espectros de Infravermelho;

A coordenação do Curso de Engenharia de Minas que sempre me atenderam prontamente;

Enfim, a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

Quando o homem resgatado da cegueira
Vir Deus num simples grão de argila errante,
Terá nascido nesse mesmo instante
A mineralogia derradeira!

A impérvia escuridão obnubilante
Há de cessar! Em sua glória inteira
Deus resplandecerá dentro da poeira
Como um gasofiláceo de diamante!

Nessa última visão já subterrânea,
Um movimento universal de insânia
Arrancará da insciência o homem plecito...

A verdade virá das pedras mortas
E o homem compreenderá todas as portas
Que ele ainda tem de abrir para o infinito!

Última Visio (Augusto dos Anjos)

RESUMO

A localização da área de estudo para a realização deste trabalho situa-se a uma distância de 15 Km da cidade de Crateús e estar delimitada por três falhas geográficas, sendo que, duas estão orientadas no sentido sudoeste (SE) e a terceira orientada no sentido Nordeste (NE). Observa-se que os pegmatitos encontram-se na zona de contato entre o complexo Tamboril Santa Quitéria (NP3ts) e Complexo Canindé do Ceará (PRcn) onde ocorreu falha de contato. Na busca por pegmatitos no distrito de Ipojuca em Crateús-Ceará e sua classificação segundo Johnston, foram observados 4 (quatro) corpos pegmatíticos distintos. Como etapas metodológicas foram realizadas a definição da área de estudo, coleta de amostras com abertura de trincheira e identificação dos principais minerais presentes. Após a coleta de amostras, 3(três) foram escolhidas para análise, de ICP-OES e Espectroscopia de Infravermelho, duas granadas com cores diferentes (vermelho alaranjado e preta) e um berilo objetivando a identificação dos elementos presentes. Foram realizadas nos principais afloramentos pegmatíticos análise de detecção de radiação local com o uso de contador Geiger. Os resultados das medidas, na superfície dos afloramentos, apresentaram níveis baixos de radiação, com valores médios da ordem de 00.150 $\mu\text{Sv/h}$. Os resultados de análise química por ICP-OES identificaram a presença de 13 (treze) elementos presentes Al, B, Ba, Ca, Fe, Pb, Mg, P, Na, K, Se, Mn e Zn nas amostras analisadas de granadas e 8 (oito) elementos na amostra de berilo analisado Al, Be, Ca, Na, Mn, Mg, Fe e K, sendo que, a presença de metais de Mn e Fe são responsáveis pelas cores características das amostras. Os espectros de infravermelho foram comparados para as duas amostras com colorações distintas de granadas, vermelha e preta, constatando que as mesmas possuem estrutura química semelhante conforme sugerido pela literatura $A_3B_2(\text{SiO}_4)_3$ (onde A e B são os elementos substituintes de Ca, Al, Mn, Mg, Fe e Zn). O resultado de espectroscopia de infravermelho para as bandas em 3600 e 3698 cm^{-1} na amostra de berilo foram comparados com dados da literatura e indicam a presença dos íons Na^+ e K^+ interagindo com moléculas de água em seus interstícios. Os corpos pegmatíticos estudados neste trabalho são indicativos de característica heterogênea conforme descrito por Johnston, 1945. Os parâmetros analisados testificam futuras pesquisas e exploração destes minerais presentes no pegmatito Ipojuca.

Palavras-chave: Pegmatito. Análise Química. Granada. Berilo.

ABSTRACT

The location of the study area for this work is located at a distance of 15 km from the city of Crateús and is delimited by three geographic faults, two of which are oriented southwest (SE) and the third oriented towards Northeast (NE). It is observed that the pegmatites are in the contact zone between the Tamboril Santa Quitéria complex (NP3ts) and the Canindé do Ceará Complex (PRcn) where contact failure occurred. In the search for pegmatites in the district of Ipojuca in Crateús-Ceará and their classification according to Johnston, 4 (four) distinct pegmatitic bodies were observed. As methodological steps were carried out the definition of the study area, collection of samples with trench opening and identification of the main minerals present. After the collection of samples, 3 (three) were chosen for analysis of ICP-OES and Infrared Spectroscopy, two garnets with different colors (orange red and black) and a beryl aiming at the identification of the elements present. Local radiation detection analysis was carried out in the main pegmatitic outcrops using a Geiger counter. The results of the measurements, on the surface of the outcrops, showed low levels of radiation, with average values of the order of 00,150 $\mu\text{Sv/h}$. The results of chemical analysis by ICP-OES identified the presence of 13 (thirteen) elements present Al, B, Ba, Ca, Fe, Pb, Mg, P, Na, K, Se, Mn and Zn in the analyzed samples of garnets and 8 (eight) elements in the analyzed beryl sample Al, Be, Ca, Na, Mn, Mg, Fe and K, and the presence of Mn and Fe metals are responsible for the characteristic colors of the samples. The infrared spectra were compared for the two samples with different garnet, red and black colors, noting that they have a similar chemical structure as suggested by the literature $A_3B_2(\text{SiO}_4)_3$ (where A and B are the substituting elements of Ca, Al, Mn, Mg, Fe and Zn). The results of infrared spectroscopy for the bands at 3600 and 3698 cm^{-1} in the beryl sample were compared with data from the literature and indicate the presence of Na^+ and K^+ ions interacting with water molecules in their interstices. The pegmatitic bodies studied in this work are indicative of heterogeneous characteristics as described by Johnston, 1945. The parameters analyzed testify to future research and exploitation of these minerals present in the Ipojuca pegmatite.

Keywords: Pegmatites. Chemical analysis. Grenade. Beryl.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-	Mapa de Localização da poligonal da área de estudo no Município de Crateús-Ceará.....	16
Figura 2-	Área da poligonal (10,23 km ²), com destaque os pontos P ₁ , P ₂ , P ₃ e P ₄	17
Figura 3-	Localização da Folha de Crateús no domínio Ceará Central.....	20
Figura 4-	Mapa Geológico de Crateús da Folha de Crateús SB-24-V-C-III	21
Figura 5-	Classificação dos pegmatitos Homogêneos, Heterogêneos e Mistos segundo Johnston e Rolff	23
Figura 6-	Distribuição de minerais no pegmatito segundo Rolff	24
Figura 7-	Mapa de localização das ocorrências de pegmatito no Estado do Ceará.....	26
Figura 8-	Fluxograma das etapas desenvolvidas para a classificação do pegmatito.....	31
Figura 9-	Mapa Geológico com destaque para a área de estudo delimitada por P ₁ ,P ₂ ,P ₃ e P ₄ . Folha de Crateús SB-24-V-C-III	33
Figura 10-	Afloramento do pegmatito com exposição do mineral quartzo antes da limpeza da área.....	34
Figura 11-	Limpeza da área do pegmatito com retroescavadeira modelo CASE 580L.....	35
Figura 12-	Trincheira com abertura de 2,0 m x 1,7 m x 10 m após a limpeza da área.	35
Figura 13-	Rocha pegmatítica contendo cristais de quartzo, feldspato, granada, mica e shorlita.....	37
Figura 14-	Feldspato com inclusões de shorlita.....	38
Figura 15-	Amostras de shorlita em A e B com tamanhos que variam de 7 a 12 cm e diâmetros de aproximadamente 6 cm.....	38
Figura 16-	Amostra do mineral quartzo em A: contato com feldspato e em B quartzo com tonalidade fumê.....	39
Figura 17-	Amostra de quartzo leitoso.....	39
Figura 18-	Amostras de berilo alojadas em matriz de K-feldspato.....	40
Figura 19-	Amostra de berilo inclusa em matriz de quartzo leitoso.....	40
Figura 20-	Amostras de berilos com diferentes cores, apresentando cores marrom-amarelado, verde-claro, verde e azul.....	41

Figura 21-	Amostras de granadas (almandinas) intercaladas entre a zona de contato de quartzo e K-feldspato.....	42
Figura 22-	Amostras de granadas com cor vermelho-alaranjada tendendo a preto inclusas em matriz de K-feldspato (A) e cristais de granadas (B).....	42
Figura 23-	Amostras de granadas de coloração preta.....	43
Figura 24-	Contador Geiger-Muller Ernest-Rutherford BR-6 utilizado para medidas da radiação em campo.....	47
Figura 25-	Mineral granada A e berilo B de cores vermelho-alaranjada e azul, respectivamente.....	48
Figura 26-	Rochas pegmatíticas com ocorrência de schorlitas, plagioclásio e ortoclásio encaixadas em “A” e “B”.	49
Figura 27-	Espectro vibracional na região do infravermelho da granada (cor vermelho- alaranjada), mineral da Figura 22B, disperso em KBr.....	55
Figura 28-	Espectro vibracional na região do infravermelho da granada (cor preta), mineral da Figura 23, disperso em KBr.....	55
Figura 29-	Espectro vibracional na região do infravermelho do mineral berilo, mineral da Figura 19, disperso em KBr.....	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-	Equipamentos e funções em campo.....	30
Tabela 2-	Parâmetros operacionais Espectrômetro de Emissão Óptica Com Plasma Acoplado Indutivamente.....	45
Tabela 3-	Parâmetros operacionais para os elementos e seus respectivos comprimentos de onda utilizados no ICP-OES.....	45
Tabela 4-	Localização dos pegmatitos estudados com respectivas medidas e médias de radiação observados em campo.....	50
Tabela 5-	Resultados obtidos por ICP-OES de limite de quantificação (LQ), concentração média e desvio padrão (SD) para a granada (vermelho-alaranjada).....	51
Tabela 6-	Resultados obtidos por ICP-OES de limite de quantificação (LQ), concentração média e desvio padrão (SD) para o mineral granada (preta).....	52
Tabela 7-	Resultados obtidos por ICP-OES de limite de quantificação (LQ), concentração média e desvio padrão (SD) para o mineral berilo.....	53
Tabela 8-	Comparativo das principais bandas observadas nos espectros de infravermelhos das granadas apresentadas nas Figuras 27 e 28.....	54
Tabela 9-	Comparações das principais bandas observadas nos berilos de Ipojuca com dados da literatura.....	56

SUMÁRIO

01	INTRODUÇÃO.....	14
02	OBJETIVO GERAL.....	15
2.1	Objetivos Específicos.....	15
03	CARACTERIZAÇÃO, LOCALIZAÇÃO E ACESSO A ÁREA DE ESTUDO....	16
3.1	Geologia Regional	18
04	REVISÃO DA LITERATURA.....	22
4.1	Pegmatitos, seus minerais e classificações.....	22
05	MATERIAIS.....	30
06	MÉTODOS.....	31
6.1	Definição da área de estudo.....	32
6.2	Coleta de amostra em campo.....	34
6.2.1	Limpeza da área.....	34
6.2.2	Coleta das amostras.....	36
6.3	Realização das análises químicas.....	44
6.3.1	Limpeza das vidrarias.....	44
6.3.2	Preparação das amostras.....	44
6.3.3	Digestão das amostras.....	44
6.3.4	Espectrômetro de Emissão Óptica Com Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES).....	45
6.3.5	Espectroscopia vibracional de infravermelho (FT-IR).....	46
6.3.6	Medidas das radiações em campo.....	46
07	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	48
7.1	Descrição dos pegmatitos.....	48
7.2	Medidas de radiação nos corpos pegmatíticos.....	50
7.3	Análise por espectroscopia de emissão óptica com plasma acoplado indutivamente (ICP-OES).....	51
7.4	Caracterização das granadas e berilo por espectroscopia na região do infravermelho (FT-IR).....	53
08	CONCLUSÃO.....	58
09	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	60

1. INTRODUÇÃO

Segundo Cardoso *et al.* (2014, p. 25), os corpos pegmatíticos e a extração de minerais que contém em sua composição química nióbio, tântalo e lítio já são conhecidos desde o século XX, onde devido a Segunda Guerra Mundial teriam sido extraídos, uma vez que, os metais presentes nestes minerais são estratégicos na indústria bélica. Segundo relatado na literatura por Johnston (1945 *apud* VIDAL, 2005, p. 67; SOARES *et al.*, 2016, p. 404), os pegmatitos podem ser classificados em três tipos homogêneos, heterogêneos e mistos o que propicia uma maior compreensão de suas potencialidades econômicas. Para tal fim, avalia-se a gênese, a mineralogia e química dos minerais presentes nessas formações rochosas utilizando análise geofísica e química dos minerais presentes nestas estruturas (CAVALCANTI, 2017, p. 25). Essa classificação tem importância na fase inicial da pesquisa, uma vez que, a partir da mesma, uma tomada de decisão no sentido de exploração de seus minerais pode ser tomada.

O estado do Ceará, especificamente os Distritos de Pegmatítico de Solonópoles, Cristais e Itapiúna já são bastante conhecidos como potenciais produtores de gemas geologicamente reconhecidas como turmalinas e águas marinhas (BEZERRA, 2008, p. 339), mas também existem ocorrências de berilo e outros minerais em pegmatitos na cidade de Crateús que ainda não foram divulgadas na literatura científica e, portanto, foco dessa pesquisa.

A busca por pegmatitos nos sertões de Crateús é almejada, uma vez que, estes sistemas geológicos poderão ser fornecedores de minerais e metais reconhecidos por sua aplicação industrial servindo como fonte econômica para as comunidades locais. É importante salientar que Crateús não tem conhecimento geológico adequado e não tem explorado seu potencial mineiro. Classificar os pegmatitos de acordo com Johnston (1945, p. 85) tornará possível fazer o reconhecimento dessas estruturas, bem como seus potenciais para fins de exploração mineral.

Observada a área onde os pegmatitos estão inseridos será realizado o mapeamento e reconhecimento da geologia local, localização de afloramentos e posteriormente levantamento e coleta dos minerais característicos da rocha pegmatítica. Deste contexto, uma melhor caracterização dos pegmatitos se faz necessário, tendo em vistas o aproveitamento dos materiais ali encontrados, contribuindo para o conhecimento da gênese da ocorrência dos berilos em pegmatitos, granadas, turmalinas, etc. Por fim, a análise química dos minerais

encontrados na área de estudo serão fundamentais para a classificação dos pegmatitos encontrados, bem como o reconhecimento desses minerais presentes na região de Crateús.

2. OBJETIVO GERAL

O objetivo geral para este estudo é classificar pegmatitos localizados no distrito de Ipojuca, município de Crateús, através dos parâmetros apresentados na classificação de Johnston (1945 *apud* VIDAL, 2005, p. 67) e outros autores reportados na literatura.

2.1 Objetivos Específicos

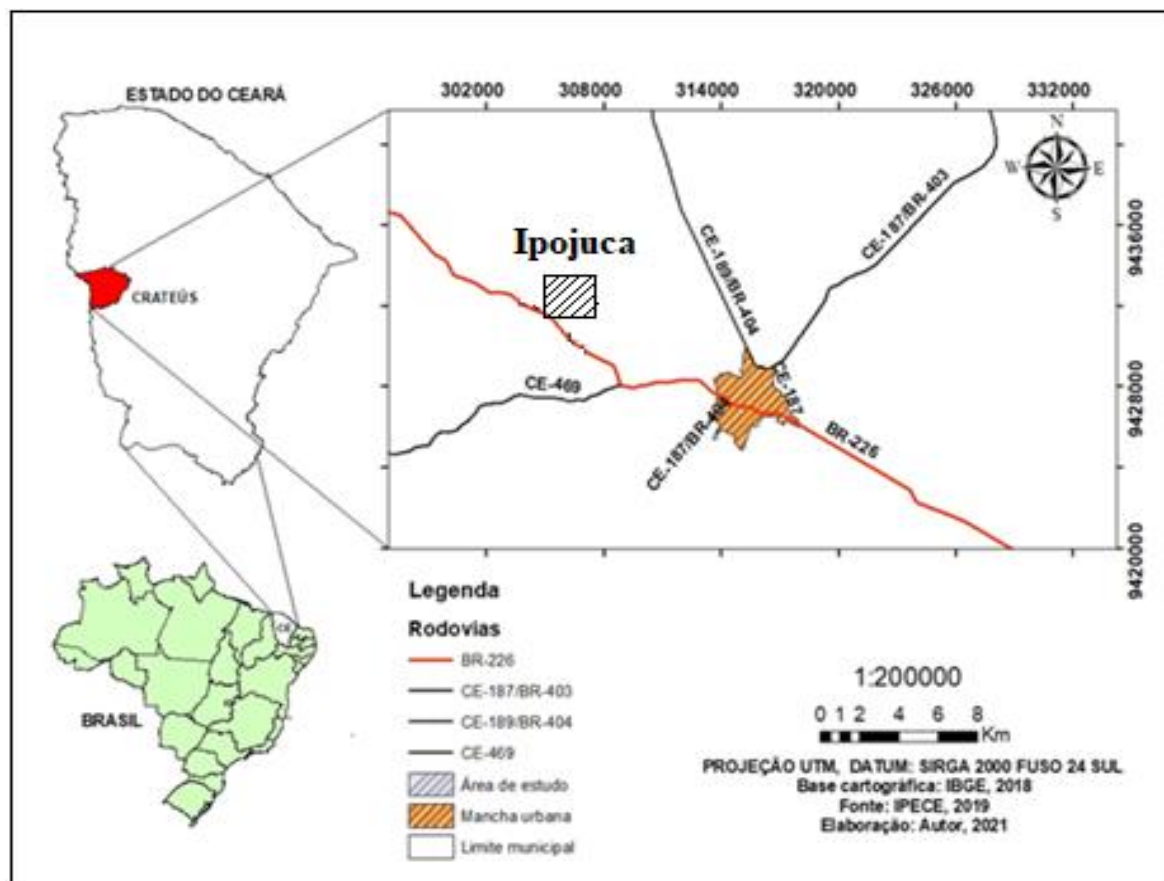
- Definir a área de estudo;
- Identificar a localização dos principais afloramentos dentro da área de estudo;
- Classificar os principais minerais presentes no pegmatito;
- Realizar a coleta de amostras em campo;
- Fazer as análises químicas dos principais minerais.

3. CARACTERIZAÇÃO, LOCALIZAÇÃO E ACESSO A ÁREA DE ESTUDO

Segundo Costa (2017, p. 14), a cidade de Crateús estar localizada na porção centro-oeste do estado do Ceará, folha Crateús, inserida no domínio Ceará-Central pertencendo a Província da Borborema, conforme explica, existem 4 (quatro) caracterizações para o domínio geológico do município de Crateús: Embasamento Arqueano, pertencente ao Complexo Cruzeta; Embasamento Paleoproterozóico, do Complexo Canindé Ceará; Supracrustais Meso-Neoproterozóico, do Complexo Ceará e Neoproterozóico, pertencente ao Complexo Tamboril-Santa Quitéria.

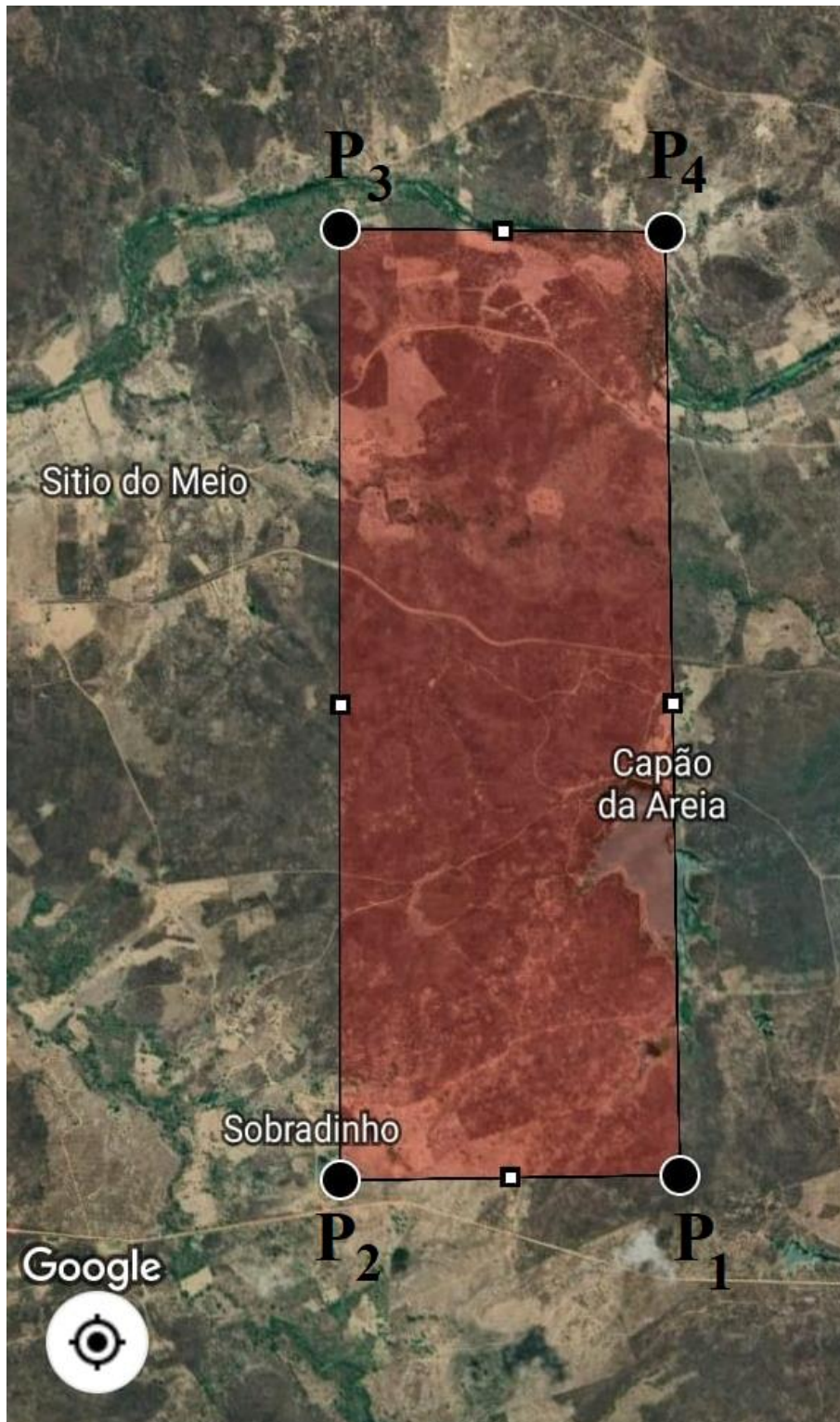
A área onde o(s) pegmatito(s) estão situados, localiza-se no distrito de Ipojuca, da cidade de Crateús-Ceará conforme apresentado na Figura 1. Sua via de acesso se dá a partir da cidade de Crateús-CE pela BR-226 (Sentido NW), a distância de Crateús até a área de estudo é de aproximadamente 15 km seguindo pela BR-226. A área estudada tem aproximadamente 10,23 km², situa-se dentro dos pontos P₁, P₂, P₃ e P₄ conforme se observa na poligonal sugerida da Figura 2.

Figura 1- Mapa de Localização da poligonal área de estudo no Município de Crateús-Ceará.



Fonte: autor.

Figura 2- Área da poligonal (10,23 km²), com destaque os pontos P₁, P₂, P₃ e P₄.



Fonte: autor, modificado do Google Earth.

3.1 Geologia Regional

Segundo Costa (2017, p. 15), a maior parte da área superficial da folha de Crateús está localizada na porção Norte da Província da Borborema. A Província da Borborema, Figura 3, definida por Almeida *et al.* (1981, p. 1) é uma região complexa com domínio tecnoestratigráficos, que se estruturou durante o período Neoproterozóico. A maior parte da Província tem uma área de aproximadamente 450.000 km² do nordeste brasileiro, sendo que sua estrutura final ocorreu a partir das convergências dos crátons Amazônico, São Luis (a partir do Oeste da África) e São Francisco datado de aproximadamente 600 Ma conforme foi apresentado por Brito (1975, p. 188) e Trompette (1994, p. 350) na chamada colagem brasileira. A folha de Crateús localizada na porção centro-oeste do estado do Ceará conforme apresentado na Figura 4 (CAVALCANTE *et al.*, 2003 *apud* COSTA, 2017, p. 14).

As rochas que compõe a porção centro-oeste de Crateús são pertencentes aos complexos Tamboril Santa Quitéria e Canindé Santa Quitéria sendo classificada segundo Costa 2011 para como:

Complexo Tamboril Santa Quitéria.

-Metadiorito Xavier compostas por: Metadioritos a metatonalitos, de granulação média, equigranular, geralmente deformados, com foliação de baixo ângulo, e às vezes com lineação dominante sobre foliação (tectonito-L). Apresentam hornblenda como principal mineral máfico e localmente enclaves magmáticos microgranulares. Têm composição metaluminosa, calcio-alcálica de baixo a médio-K.

-Granitóide Santa Quitéria compostas por: área com predominância de granitóides, variando entre granitos e sienitos. Apresentam-se deformados ou não, geralmente porfiríticos com fenocristais de K-feldspato, hornblenda como mineral máfico dominante, porém fácies ricas em biotita também ocorrem. É comum a presença de diques máficos sinplutônicos e enclaves máficos magmáticos. Os granitóides são metaluminosos, com assinatura shoshonítica, e termos primitivos (enclaves magmáticos) com composição shoshonítica a ultrapotássica.

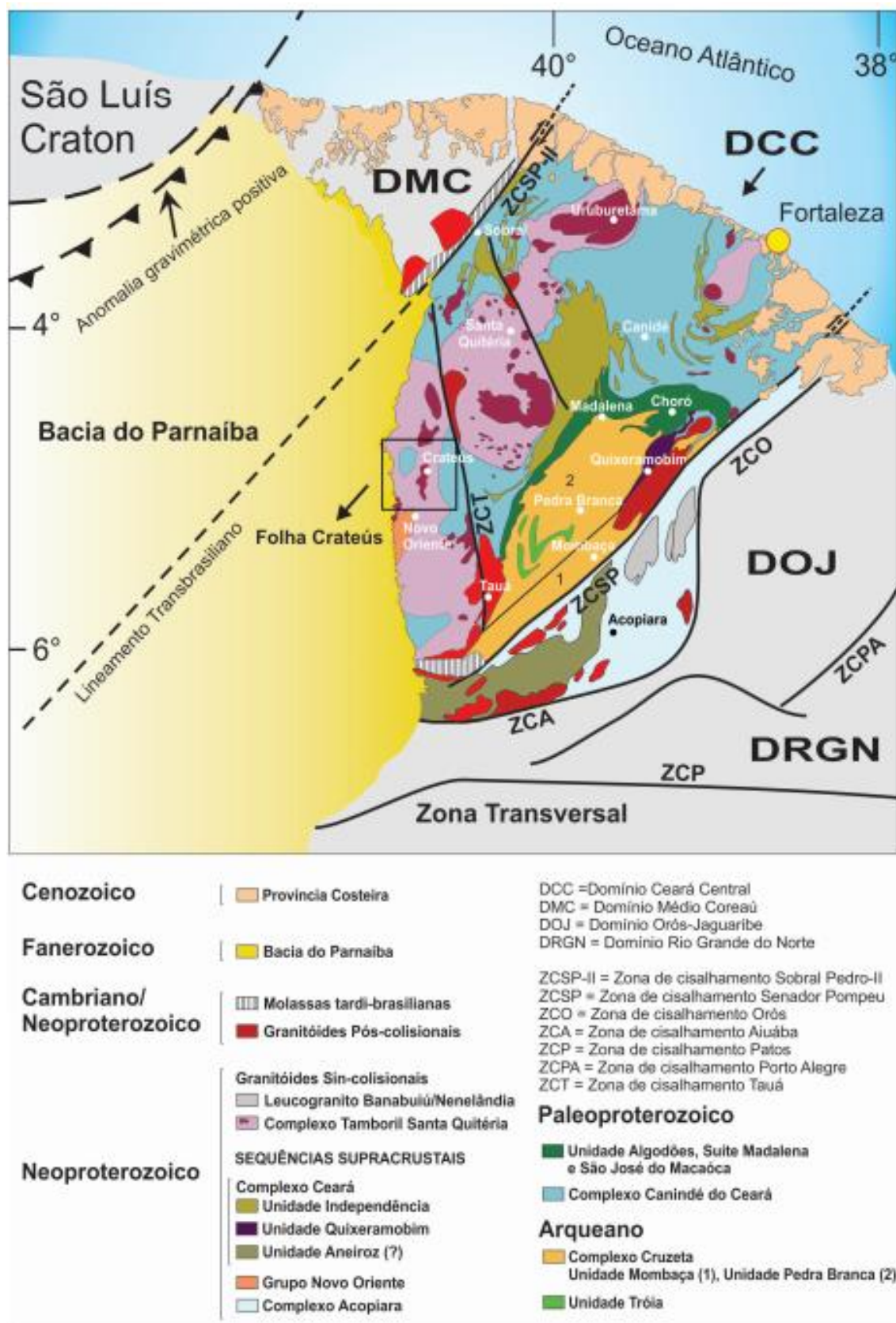
-Diatexito composta por: domínio granítico-migmatítico, com predomínio de fases anatóicas (diatexitos e granitóides) com local participação de metatexitos. Em geral, os diatexitos e granitóides são de composição granítica, apresentam-se deformados ou não, coloração rosa e com biotita como mineral máfico dominante. Os granitóides são equigranulares ou porfiríticos e geralmente ocorrem como “sheets” graníticos. Os metatexitos apresentam geralmente estrutura estromática ou dobrada, neossomas de coloração rosa

(granítico), e paleossoma de composição tonalítica-granodiorítica (gnaiss cinza = ortoderivado).

Complexo Canindé do Ceará

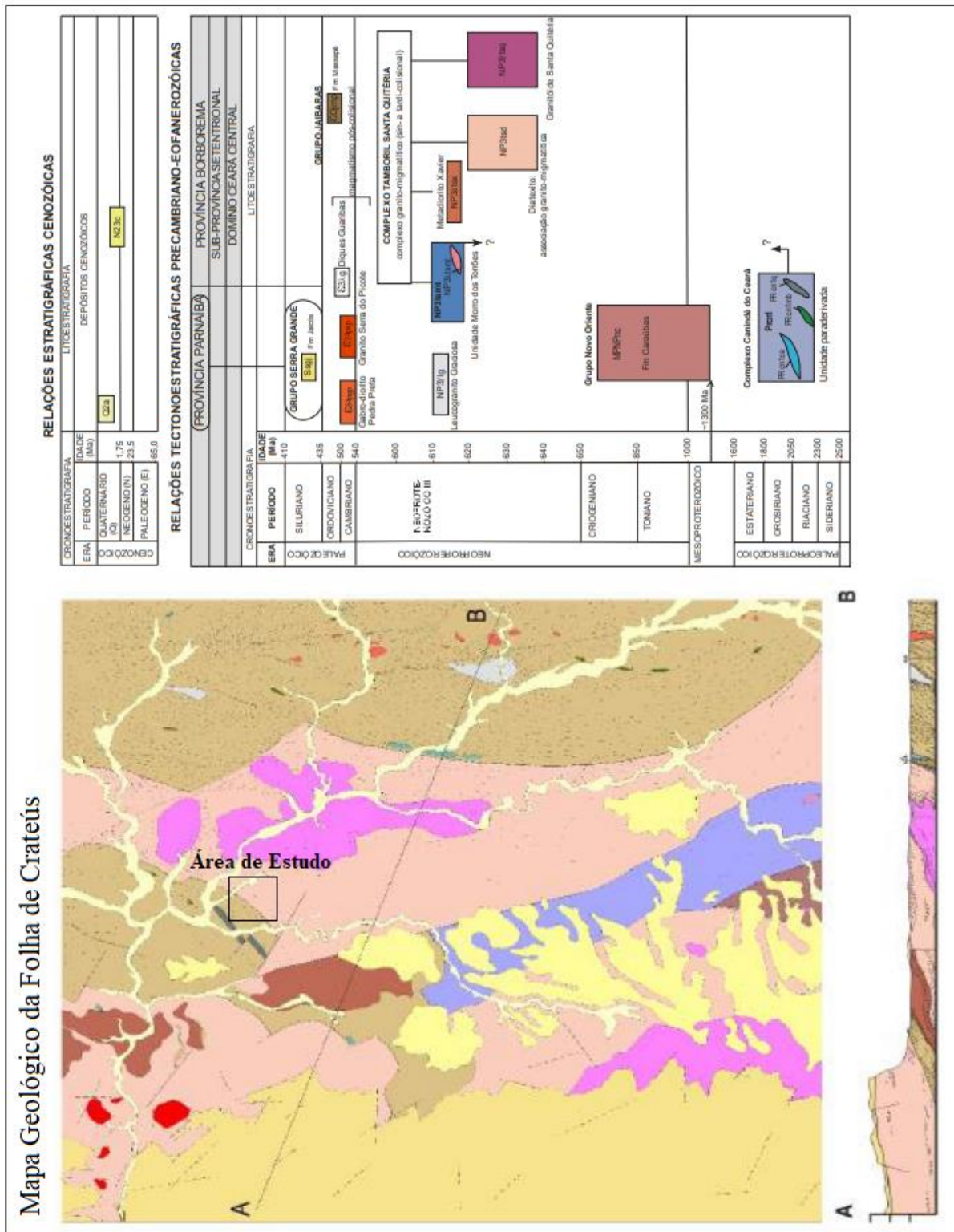
-Biotita-gnaisses e migmatitos predominantemente paraderivados, compostos de quartzo, feldspatos, biotita, e localmente silimanita e granada. Os migmatitos em geral apresentam leucossomas (neosomas) brancos quartzo-feldspáticos e paleossomas cinzas, de composição granodiorítica com biotita como mineral máfico dominante. Apresentam predomínio de textura estromática e também com leucossomas dobrados. A ocorrência de ortognaisses é rara, e são geralmente constituídos de hornblenda-biotita gnaisses, localmente migmatizados. Metacalcários ocorrem na forma de lentes encaixadas em migmatitos e gnaisses paraderivados, constituídos por mármore puros e mármore cálcio-silicáticos. As rochas metabásicas, ocorrem como lentes encaixadas em gnaisses e migmatitos paraderivados. São representadas por anfibolitos e granulitos máficos, apresentam granulação fina, coloração preta e localmente com textura de descompressão (granadas com auréolas de plagioclásio). A composição química é de basaltos toleíticos. Também tem moscovita-silimanita quartzito, de coloração bege a levemente vermelha, geralmente bastante cisalhados, tendo a moscovita e silimanita como indicadores da direção do estiramento mineral.

Figura 3- Localização da Folha de Crateús no domínio Ceará Central.



Fonte: modificado de Cavalcante *et al.* (2003 *apud* COSTA *et al.*, 2017, p. 14).

Figura 4- Mapa Geológico de Cratéis da Folha de Cratéis SB-24-V-C-III.



Fonte: modificado de Cavalcante *et al.* (2003 *apud* COSTA, 2017, p. 15).

4. REVISÃO DA LITERATURA

4.1 Pegmatitos, seus minerais e classificações

A etimologia da palavra “pegmatito” vem do grego Pegma (significa agregado, unido ou cimentado por uma estrutura de compostos minerais). O termo “pegmatito” já havia sido empregado antes do século XX pelo padre e mineralogista francês Hauy em 1801 para a classificação de rochas graníticas (SOARES *et al.*, 2016, p. 404; SALES, 2020, p. 16). A partir da classificação sugerida por Hauy podemos entender a estrutura dos pegmatitos, bem como compreender o comportamento de cristalização de uma vasta variedade de silicatos, micas, quartzo e feldspatos que formam sua base estrutural, seguida de inclusões de minerais metálicos com potencialidade para aplicações industriais diversas.

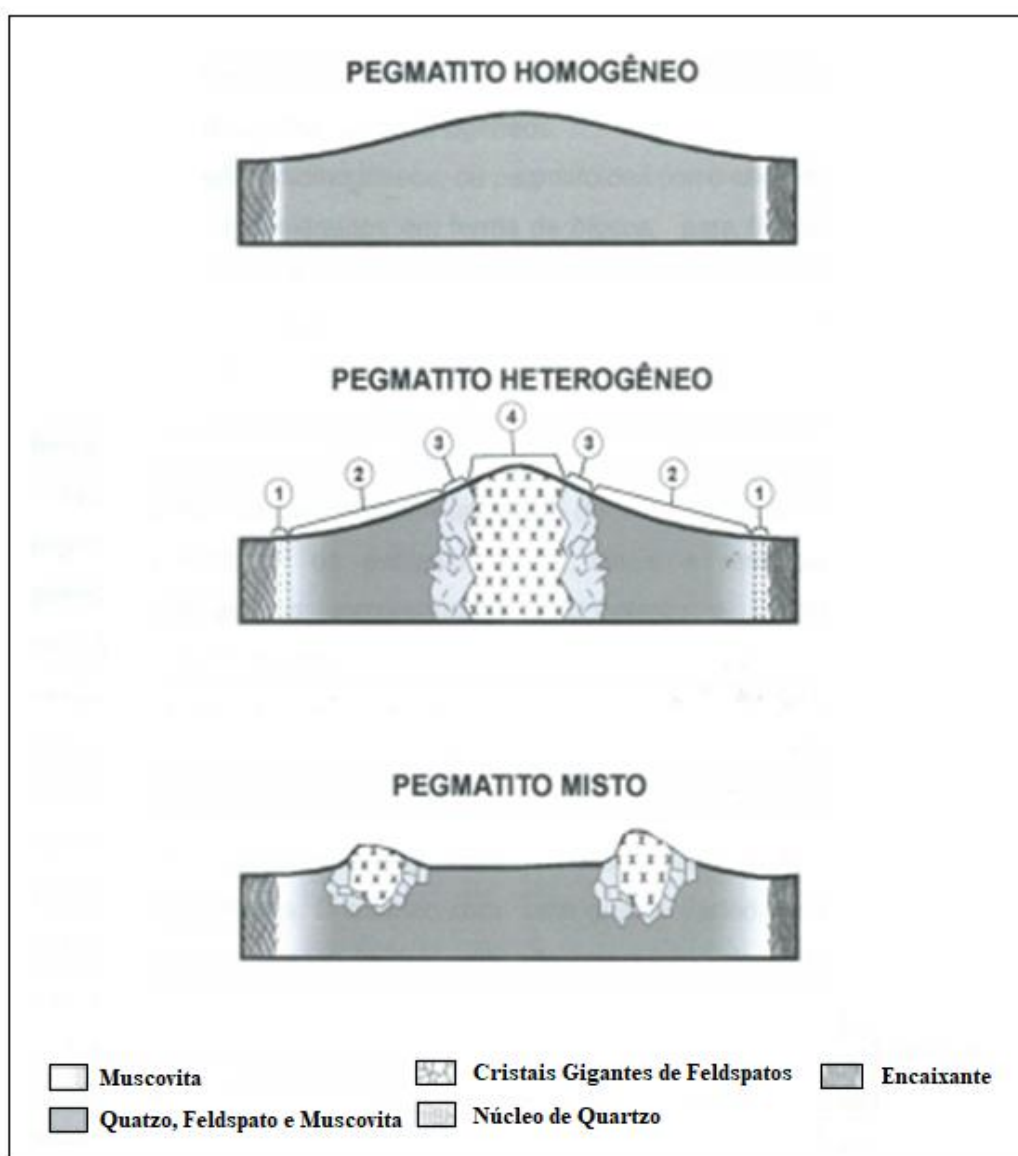
Pegmatitos são rochas intrusivas que possuem uma grande variedade de minerais com interesse econômico. De modo geral, estas rochas tem potencialidades para a extração de metais, rochas ornamentais e gemas com aplicações na área da Química e Metalurgia, indústria de rochas ornamentais e como joias de adorno, respectivamente. No Nordeste Brasileiro, esses corpos mineralizados podem apresentar-se como uma fonte de renda para o nordestino, haja vista, uma grande variedade de minerais com finalidades ornamentais e espécies metálicas com elevado potencial na indústria. Dos variados minerais que são encontrados em pegmatitos podemos destacar espécimes de interesses econômico, tais como lepidolita, espodumênio, turmalina e berilo. Além destes minerais podemos ainda destacar que em pegmatitos são encontradas metais raros de grande importância Be, Li, Mo, W, Th, B, Nb e U, além de feldspatos, quartzos e elementos de terras raras com finalidades industriais diversas (LIRA *et al.*, 2016, p. 113; LEE, 1999, p. 94).

Segundo Vidal (2005, p. 67), um pegmatito granítico tem como composição química elementos essenciais de Si, Al, K, Na e Ca, apresentado a possibilidade de minerais como berilo (fonte de Be), amblygonita e lepidolita (fonte de Li), tantalita-columbita (fonte de Nb-Ta), apatita e monazita (fonte de P, terras raras, Zr, Th, U, etc), característicos com os encontrados no Estado do Ceará.

Existem três diferentes tipos de classificação dos pegmatitos do Nordeste brasileiro segundo Johnston (1945 *apud* VIDAL, 2005, p. 67), homogêneos, heterogêneos e mistos. Os pegmatitos homogêneos tem como característica básica, a presença de quartzo, feldspatos e micas distribuídos de forma regular ao longo do corpo mineralizado, apresentam granulometria que varia de centímetros a decímetro, sendo raramente mineralizados, sendo as

mineralizações quando ocorrem, disseminada. Os pegmatitos heterogêneos segundo Jahns (1955 *apud* VIDAL, 2005 p. 68), seus minerais estão presentes em quatro zonas, sendo classificadas como: Zona 1, Zona 2, Zona 3 e Zona 4 conforme apresentada na Figura 6. Pegmatitos mistos foram classificados de acordo com Rolff (1945 *apud* LIMA, 2002 *apud* VIDAL, 2005, p. 67), sendo estes intermediários entre homogêneos e heterogêneos. Na Figura 5 estar representada as classificações segundo definidas por Johnston e Rolff.

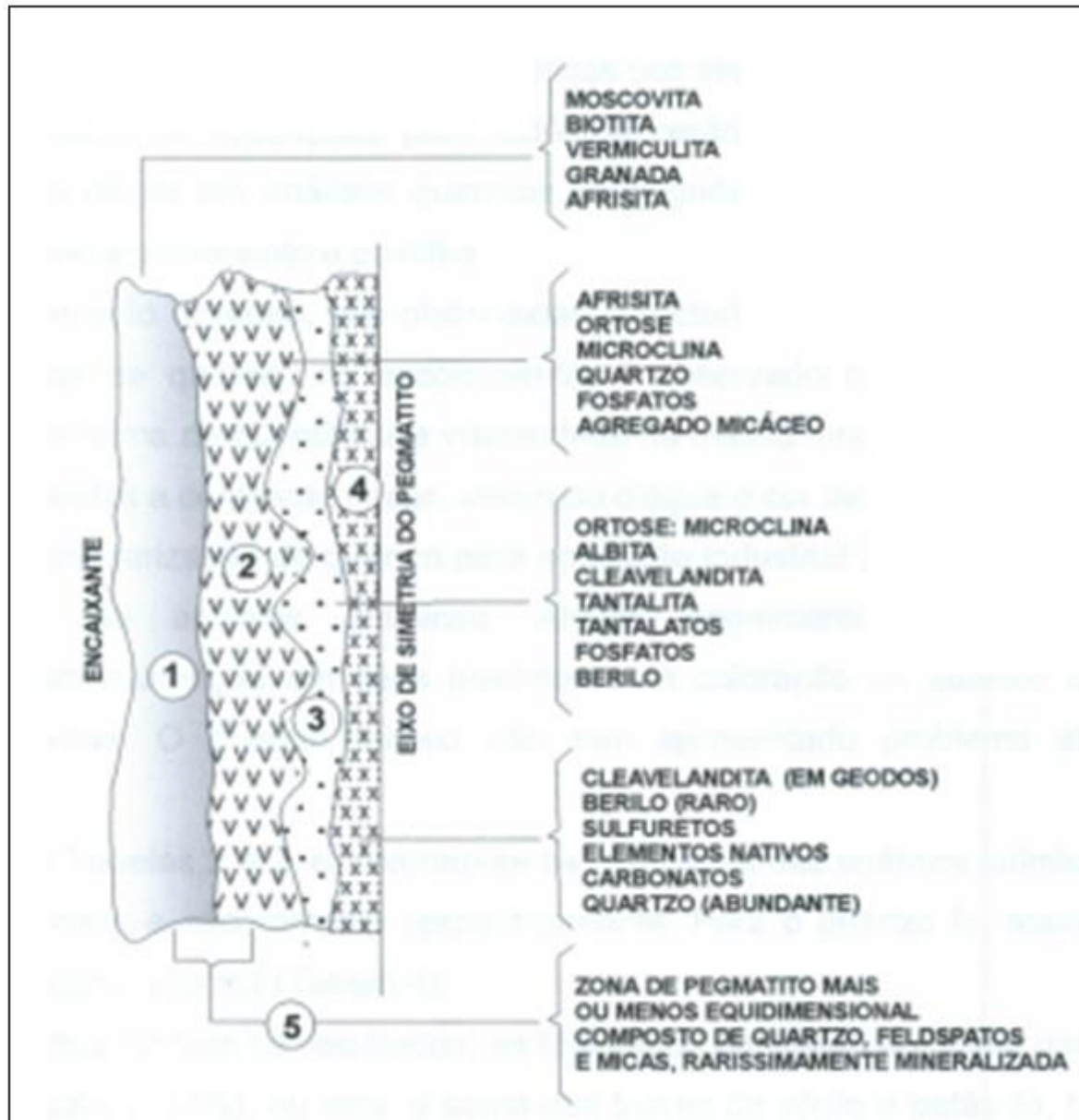
Figura 5- Classificação dos pegmatitos Homogêneos, Heterogêneos e Mistos segundo Johnston e Rolff .



Fonte: Lima (2002 *apud* VIDAL, 2005, p. 70).

Rochas ornamentais e tantalita-columbita juntamente berilo podem ser encontrados em pegmatitos homogêneos e heterogêneos, respectivamente. Pegmatitos mistos são fontes de quartzo, micas e feldspatos com fins de aplicação industrial (VIDAL, 2005, p. 74). Na Figura 6 estar ilustrada os minerais acessórios que ocorrem dentro de pegmatitos segundo a classificação apresentada por Rolff (1946 *apud* VIDAL, 2005).

Figura 6 - Distribuição de minerais no pegmatito segundo Rolff.

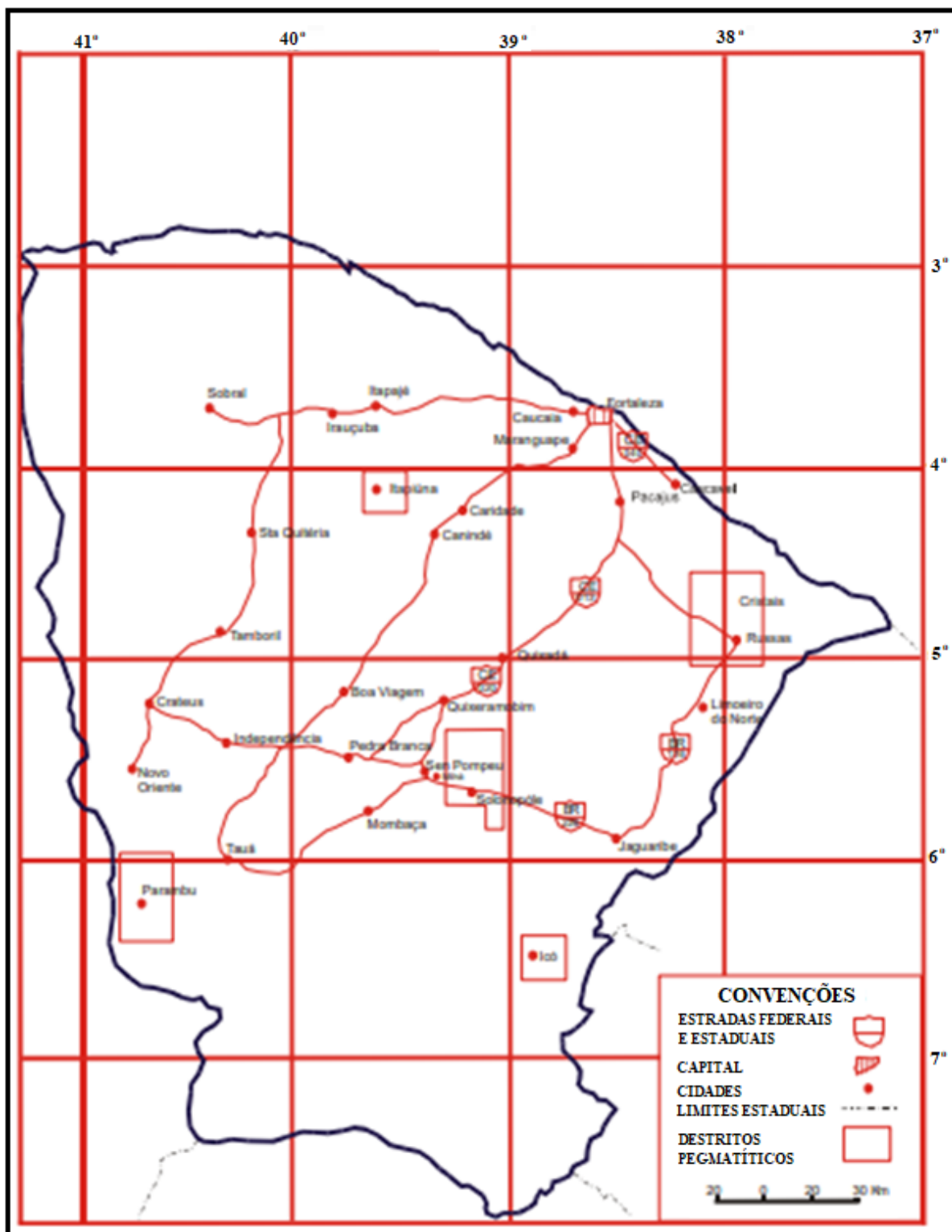


Fonte: Lima (2002 *apud* VIDAL, 2005, p. 73).

Em meados do século XX destacou-se a Província Pegmatítica da Borborema (PPB) como importante fonte de metais como nióbio (Nb), tântalo (Ta) e berilo (Be) (SOARES, *et al.*, 2016, p. 404). Os minerais explorados, berilo e tantalita, são fontes para se obter berilo e tântalo que são utilizados na fabricação de produtos com elevado valor agregado. Berilo é utilizado em reatores nucleares e como ligas para molas de contato elétrico, o tântalo aplicado em capacitores industriais específicos e o nióbio utilizado em ligas metálicas para fabricação de aço inoxidável (LEE, 1999, p. 352).

No Estado do Ceará, três distritos pegmatíticos são conhecidos: Distrito de Cristais-Russas, Distrito de Itapiuna e Distrito de Solonópole-Quixeramobim, estas áreas se destacam pela variedade de minerais gemas com a presença de quartzos, feldspatos, rubelitas, afrisitas, turmalinas, fluoritas, ametistas, água-marinhas (VIDAL, 2005, p. 67). Na Figura 7 estar representada as três principais províncias pegmatíticas do Estado do Ceará.

Figura 7- Mapa de localização das ocorrências de pegmatito no estado do Ceará.



Fonte: Vidal (2005, p. 73).

Dos pegmatitos existentes nos sertões cearenses, muitos minerais de qualidade gemológica tem se destacado, em especial as turmalinas oriundas do distrito pegmatítico de Solonópole-Quixeramobim (OLIVEIRA *et al.*, 2019, p. 207).

Cardoso *et al.* (2014, p. 761), relataram a ocorrência de minerais de fosfato no distrito pegmatítico de Solonópoles-Quixeramobim, encontrado em apenas um único pegmatito associadas ao mineral albite. É importante salientar que as zonas pegmatíticas no Brasil são passivas da descoberta dos mais variados minerais, como por exemplo, a descoberta do mineral helvita de fórmula química $[\text{Mn}^{2+}\text{Be}_3(\text{SiO}_4)_3\text{S}]$ segundo relatado por Chaves (2005, p. 317).

De acordo com Oliveira *et al.* (2020, p. 207), o distrito de Solonópoles-Quixeramobim, destaca-se pela presença de gemas de turmalina nas cores azul, verde e rosa, sendo que as cores observadas foram atribuídas a presença de óxido de ferro(II) (FeO) presentes na estrutura cristalina dos exemplares estudados.

A caracterização química de gemas presentes em pegmatitos podem ser realizadas utilizando técnicas de espectroscópicas de Mossbauer (VIANA; EVANGELISTA; COSTA, 2001, p. 89), Lâmpada de Luz Ultravioleta, Microscópio Gemológico e Espectroscopia de Energia Dispersiva (MEV-EDS) (OLIVEIRA *et al.*, 2020, p. 207).

No estudo de caracterização de turmalinas gemológicas oriundas da província pegmatítica da Borborema no Nordeste do Brasil, Oliveira *et al.* (2017 p. 207), aplicou a técnica de espectroscopia de reflectância em turmalinas elbaíbas de cores verde, azul, verde turquesa (turmalina Paraíba), vermelho púrpura e cinza comprovando a eficácia do método de análise química.

O uso de difratometria de raios-X, uma das técnicas mais versáteis para a determinação de fases presentes em estruturas cristalinas, tem sido utilizadas como método analítico para determinação de minerais presentes em amostras oriundas de pegmatitos (ELIOTÉRIO *et al.*, 2019, p. 1; ARAÚJO, 2016, p. 49). Conforme sugerido por Connoly (2007, p. 1), a técnica de difração de raios-X pode ser empregada na análise dos mais diferentes materiais, sintéticos ou naturais e que possuam uma estrutura cristalina.

O quartzo retirado do núcleo pegmatito, segundo explica Drummond (DRUMMOND; MENDES; LAMEIRAS, 2010, p. 449) não possui interesse gemológico, uma vez que estes não possuem os elementos metálicos dopantes para conferir cor. O desenvolvimento de cor é

realizada nesses sistemas utilizando irradiação gama ou tratamento térmico e as amostras podem ser analisadas utilizando técnicas de Espectoscopia de Infravermelho (FTIR).

A demanda crescente por minerais melhor caracterizados tem sido uma necessidade, Silva (2020, p. 334) tem realizado ensaios tecnológicos em feldspatos oriundos do Alto de Serra Branca – Paraíba. Os estudos apresentados têm se mostrado importante para a aplicação do mineral albita como refratário.

Silveira *et al.* (2013, p. 302), realizaram o mapeamento e caracterização química de pegmatitos básicos e ultrabásicos da Paraíba e Rio Grande do Norte com a finalidade do uso dessas matérias-primas para a indústria cerâmica. Luz *et al.* (2003, p. 50), destaca os principais setores consumidores de minerais industriais presentes em pegmatito com ênfase no uso de berilo, caulim, espodumênio, feldspato, mica, quartzo e tantalita columbita. Esses minerais são de sumária importância para a indústria do vidro, automobilista e de eletrônicos.

Nas classificações de pegmatitos, vários trabalhos podem ser citados Fersman (1931, p. 675), Solodov (1959, p. 778), Černý (1982a, p. 2005), Zagorsky *et al.* (1999, p. 800) e Hanson *et al.* (1999, p. 849) que propuseram teorias evolutiva na formação dos pegmatitos. Os autores desses trabalhos levaram em consideração várias fatores distintos para a classificação dos pegmatitos, dentre as quais destacam-se:

- I) Fersman (1931, p. 676), considerou o efeito da contaminação como fator principal na distinção das classes de pegmatitos. Pegmatitos que não são contaminados pela encaixante foram classificados como de “Linha Pura”. Pegmatitos que contém minerais presentes nas encaixantes, foram classificadas como “Pegmatitos de Contato” e aqueles que se diferenciam dos pegmatitos de composição granítica devido a reações que ocorrem com as encaixante como “Pegmatitos de Linha Cruzada”.
- II) Solodov (1959, p. 780), levou em consideração fatores químicos e mineralógicos dividindo-os em quatro tipos:
 - Tipo I: para aqueles que contém os elementos químicos K e Be, pegmatitos microclínio;
 - Tipo II: pegmatitos albita-microclina contendo os elementos K, Na, Ta, Be, Cs, Rb, Tl e Li;
 - Tipo III: pegmatitos albita, como aqueles que contém os elementos químicos Na, Li, Be, Ta, Nb e Sn;

Tipo IV: pegmatitos albita-espodumênio Tipo IV, aqueles que contém os elementos químicos Na e Li com traços de Nb e Sn.

- III) Černý (1982, p. 1), levou em consideração a profundidade de alojamento, a mineralogia e a intensidade do metamorfismo existente nas rochas encaixantes. Pegmatito granítico abissal, contendo típicas mineralizações de U, Th, Zr, Nb, Ti, Y e elementos de terras raras (ETR) com pobre a moderada mineralização. Pegmatito granítico muscovítico contendo os elementos Li, Be, Y, ETR, Ti, U, Th e Nb>Ta com pobre a moderada mineralização, micas e minerais cerâmicos. Pegmatitos graníticos de Elementos Raros contendo Li, Rb, Cs, Be, Ga, Sn, Hf, Nb, P, Ta, B e F com pobre a abundante mineralização, contendo gemas e minerais industriais. Pegmatitos graníticos miarolíticos contendo os elementos Be, Y, ETR, Ti, U, Th, Zr, Nb>Ta, F com pobre mineralização e minerais gemas.
- IV) Zagorsky *et al.* (1999, p. 800), levaram em consideração a pressão de cristalização observando ambiente de baixa pressão, moderada pressão e alta pressão.
- V) Hanson *et al.* (1999, p. 849), estudando pegmatitos no Colorado e Wisconsin reclassificaram os pegmatitos denominado NYF (pegmatitos empobrecidos de Nb-Y-F) por NY (pegmatitos com Nb e Y empobrecidos de fluor) anteriormente denominados por Černý (1991b, p. 49).

Atualmente a classificação de Černý e Ercit é a mais recente, pois engloba cinco classes, dez subclasses, quatorze tipos e sete subtipos, considerando aspectos petrológicos dos pegmatitos derivados e com gêneses de plútons graníticos (Dias *et al.*, 2013, p. 731).

05. MATERIAIS

Os equipamentos utilizados para coleta em campo dos principais minerais apresentados neste trabalho e localizados dentro da poligonal apresentada na Figura 2, estão apresentados na Tabela 1 com suas respectivas funções.

Tabela 1- Equipamentos e funções em campo.

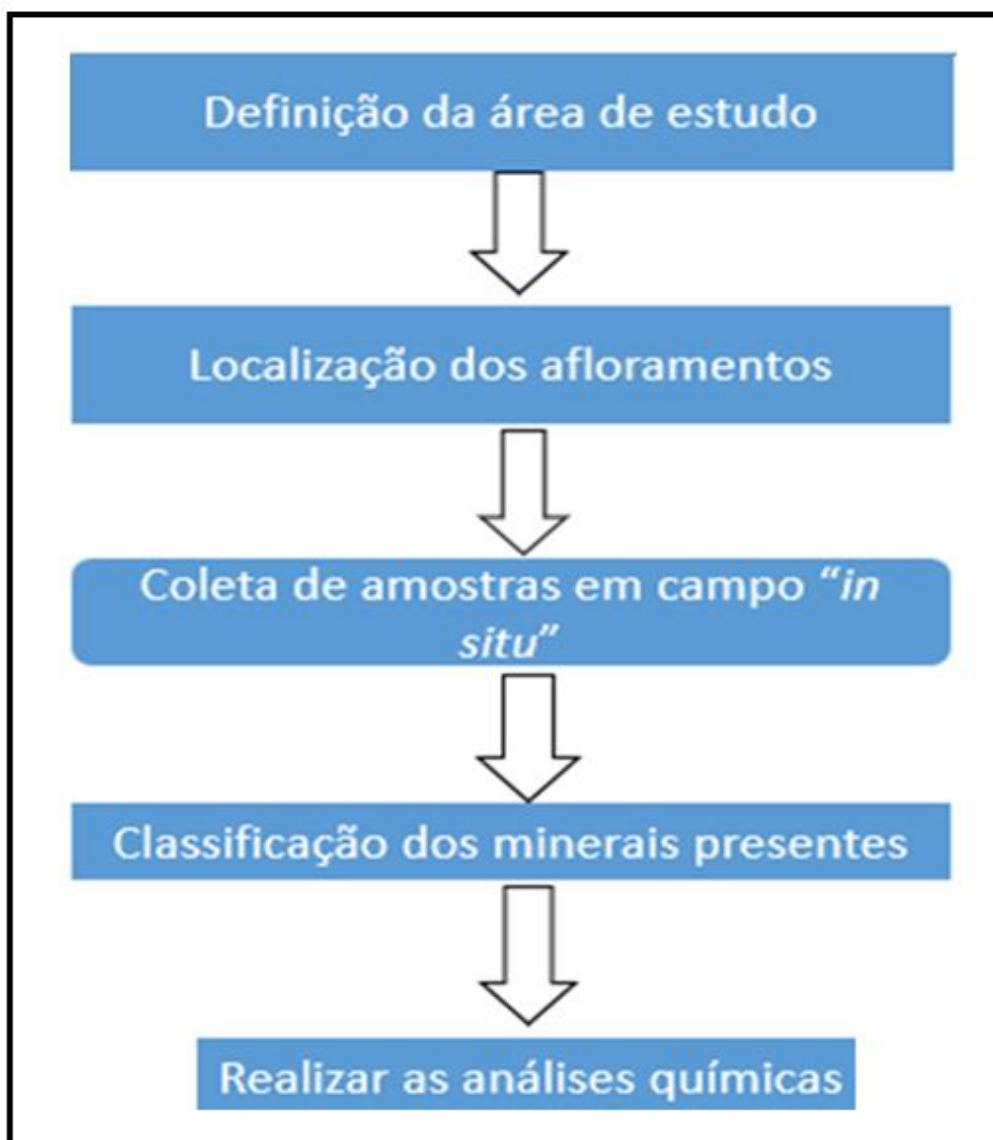
Equipamentos	Funções
Trena de 10 m	Medida de abertura de trincheira e profundidade
Martelo Geológico marca Estwing	Quebra de rochas em minerais
Lupa de Bolso Ampliação 40X	Análise de minerais e rochas
Retroescavadeira CASE 580L 4x4, ano 2018	Limpeza da área estudada e realizar abertura de trincheira
Detector de Radiação Geiger Muller Modelo BR-6 versão número: v3.0	Medida de radiação nos corpos pegmatíticos
Ponteiros e Marreta de 4Kg	Perfurar e abrir rochas
Peróxido de hidrogênio (H ₂ O ₂) 10 volumes, FARMAX	Comprovação de manganês nas rochas
Balança hidrostática	Determinação da densidade das amostras em laboratório

Fonte: autor.

06. MÉTODOS

Objetivando analisar e classificar o(s) pegmatito(s) conforme sugerido por Johnston Rolff presentes na área de estudo delimitada neste trabalho, as etapas foram desenvolvidas segundo sugerido no fluxograma representado na Figura 8. Em uma primeira etapa foi definida a área de estudo, posteriormente a localização dos afloramentos dentro da poligonal selecionada e realizada abertura de trincheira com retroescavadeira modelo CASE 360L, ano 2018, além de medir as radiações nos afloramentos com contador Geiger Muller Modelo BR-6. As amostras foram coletadas dentro da área delimitada para o estudo de caso, sendo 3(três) selecionadas para análise de Espectroscopia de Emissão Óptica com Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES) e Infravermelho.

Figura 8- Fluxograma das etapas desenvolvidas para a classificação do pegmatito.



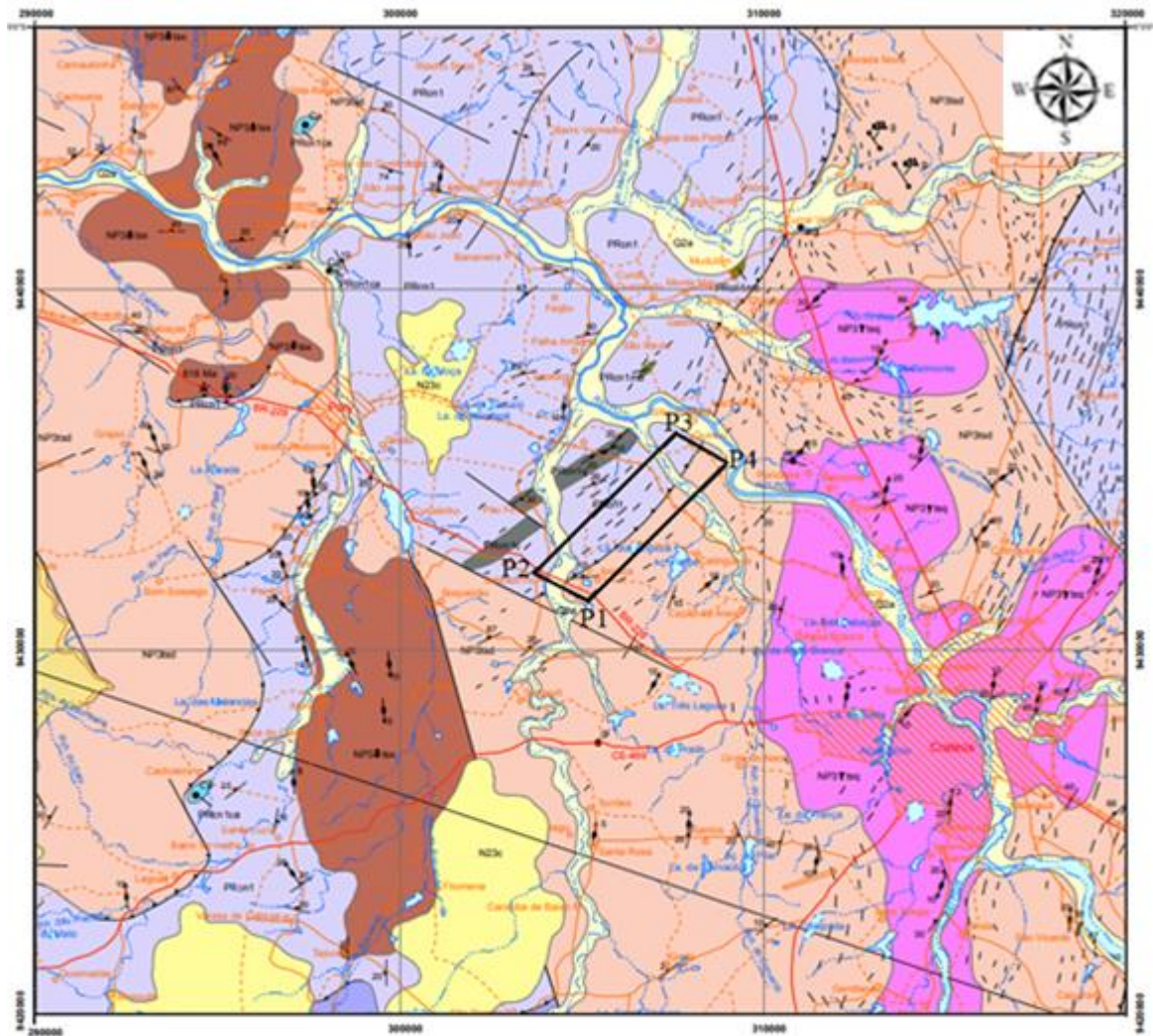
Fonte: autor.

6.1 Definição da área de estudo

O local escolhido para o mapeamento e onde ocorram as atividades de estudo dos pegmatitos, consiste na zona de contato entre o Complexo Tamboril Santa Quitéria (NP3ts) e Complexo Canindé do Ceará (PRcn) conforme observado no Mapa Geológico da Folha de Crateús, SB-24-V-C-III, Figura 9.

A área selecionada foi delimitada considerando a zona contato PRcn e NP3ts. Foi construída uma poligonal ao longo do contato de falha entre as zonas PRcn e NP3ts de 10,23 km² com a utilização do Google Earth Pro, versão 7.3, 2021. Na área selecionada foram coletadas amostras de minerais e rochas presentes. Na Figura 9, está representada a área de estudo com destaque para a zona de contato entre os complexos Tamboril Santa Quitéria e Canindé do Ceará com fratura orientada para Nordeste (NE) ao longo da falha.

Figura 9- Mapa Geológico com destaque para a área de estudo delimitada por P1,P2,P3 e P4. Folha de Crateús SB-24-V-C-III.



Legenda:

- | | |
|--------------|-----------------------------------|
| PRcn | Complexo Canindé do Ceará |
| NP3ts | Complexo Tamboril Santa Quitéria |
| P1, P2 | Área de Estudo do(s) Pegmatito(s) |
| P3, P4 | |

MAPA GEOLÓGICO
ESCALA 1:100.000

Fonte: adaptada de Costa (2011, p. 1).

6.2 Coleta de amostra em campo

6.2.1 Limpeza da área

Com finalidade de coletar os minerais mais representativos nos pegmatitos, na primeira etapa foi escolhido e limpo uma área de aproximadamente 100 m² do afloramento situado na coordenada 5°08'09.5"S e 40°44'58.4W, Figura 10. Posteriormente, realizou-se a abertura de trincheira com 2 m de largura e 1,70 m de profundidade e 10 m de extensão. O tempo para realizar este procedimento, utilizando a retroescavadeira CASE 580L, foi de 8 h (oito horas) e a coleta das amostras se deram durante o período de 6 (seis) meses. As Figuras 11 e 12 ilustram a limpeza da área e abertura de trincheira realizada. As amostras foram coletadas, identificadas e armazenadas em saco plástico, sendo 3 (três) delas, escolhidas por suas características e enviadas para análises específica objetivando a caracterização e identificação dos elementos presentes.

Figura 10- Afloramento do pegmatito com exposição do mineral quartzo antes da limpeza da área.



Fonte: do próprio autor

Figura 11- Limpeza da área do pegmatito com retroscavadeira modelo CASE 580L.



Fonte: autor.

Figura 12- Trincheira com abertura de 2,0 m x 1,7m x 10 m após a limpeza da área.



Fonte: autor.

6.2.2 Coleta das amostras

As amostras foram coletadas em 4 (quatro) afloramentos que ocorrem dentro da poligonal deste estudo (P1. 5° 08' 30,4"S e 40° 44' 42,2"W; P2. 5° 08' 20,4"S e 40° 45' 32,4"W; P3. 5° 05' 44,3"S e 40° 43' 58,"W e P4. 5° 05' 40,0"S e 40° 43' 15,9"W). Nas amostras coletadas foram identificados os minerais nelas presentes, considera-se pegmatitos homogêneos aqueles que possuem em sua estrutura a presença de quartzo, feldspatos e micas distribuídos de forma regular, já os pegmatitos heterogêneos possuem suas mineralizações disseminadas em zonas enquanto os pegmatitos classificados como mistos, são intermediários aos pegmatitos homogêneos e heterogêneos segundo as classificações apresentadas por Rolff (1945 *apud* LIMA, 2002 *apud* VIDAL, 2005, p. 67).

Nas Figuras 13 e 14, estão apresentadas amostras de rochas pegmatíticas contendo schorlitas inclusas em matriz de feldspato, observa-se na Figura 13 contato do feldspato com micas que intercalam granadas de cor preta.

Na Figura 15 podemos observar amostras de schorlita com tamanhos que variam entre 8 a 12 cm de comprimento por 6 a 8 cm de diâmetro, estas ocorrem inclusas no quartzo e/ou feldspatos, nos pegmatitos observados.

Nas Figuras 16 e 17 estão apresentados as amostras de quartzo leitoso, porém nas áreas estudadas observou-se, ainda, a ocorrências de quartzo com tonalidades rosa, fumê e violeta. Conforme se observa na Figura 17, pode-se obter peças desse material com qualidades para lapidação.

Nas Figuras 18 e 19, estão apresentadas amostras de berilo inclusas em matriz de K-feldspato contendo deposição de manganês e quartzo, respectivamente. Os berilos amostrados na área de estudo apresentam colorações marrom-amarelado, verde-claro, verde e azul, na sua maioria contém fraturas preenchidas por espécimes ferruginosas em virtude da exposição ao solo rico em ferro (Figura 20).

As amostras de granadas foram coletadas em dois ambientes distintos de afloramento pegmatítico, as primeiras estão inclusas entre o contato feldspato-quartzo (Figura 21), possuem boa cristalinidade, tem cores que variam do marrom a vermelho alaranjado e tem tamanhos que variam de 1 a 5 mm de diâmetro, aproximadamente. A segunda amostras de granadas (Figura 23), ocorrem alojadas entre as micas que estão em contato com feldspato

(ver Figura 13, amostra de rocha pegmatítica), apresentam tamanhos que variam de 1 a 10 mm e tem cor preta.

Figura 13- Rocha pegmatítica contendo cristais de quartzo, feldspato, granada, mica e schorlita.



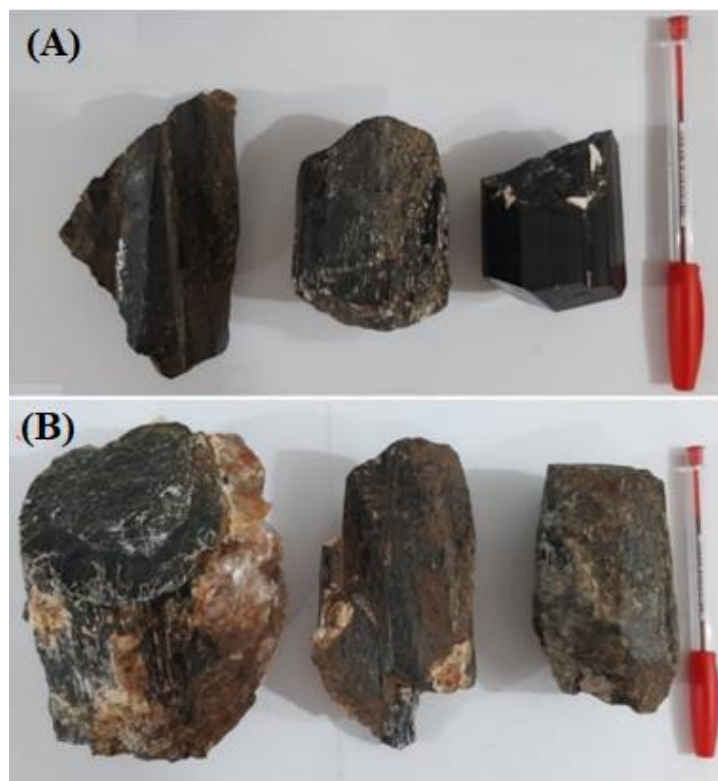
Fonte: autor.

Figura 14. Feldspato com inclusões de shorlita.



Fonte: autor.

Figura 15- Amostras de shorlita em A e B com tamanhos que variam de 7 a 12 cm e diâmetros de aproximadamente 6 cm.



Fonte: autor.

Figura 16- Amostra do mineral quartzo em: contato com feldspato (A) e quartzo com tonalidade fumê (B).



Fonte: autor.

Figura 17. Amostra de quartzo leitoso.



Fonte: autor.

Figura 18- Amostras de berilo alojadas em matriz de K-feldspato.



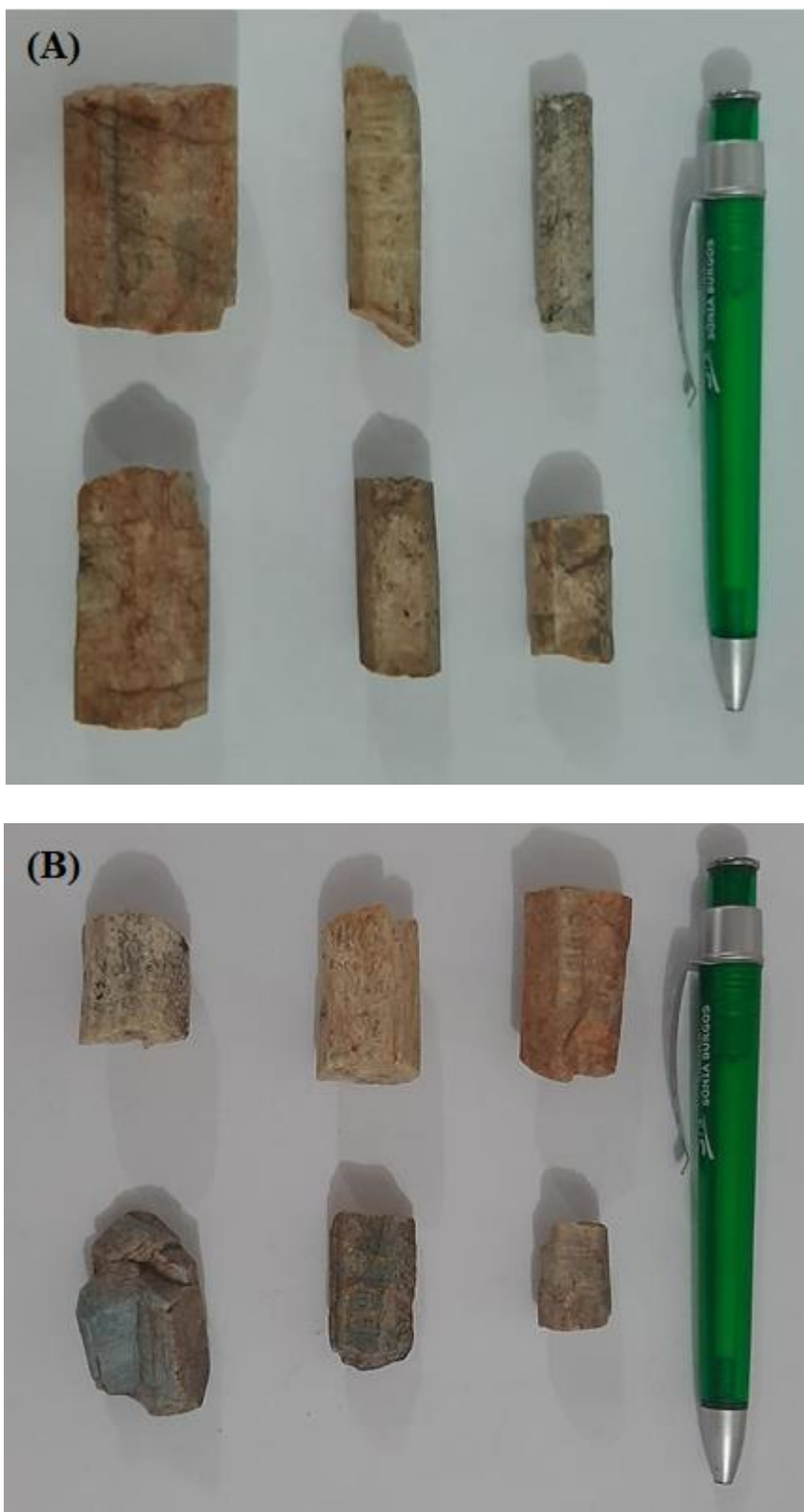
Fonte: autor.

Figura 19- Amostra de berilo inclusa em matriz de quartzo leitoso.



Fonte: autor.

Figura 20- Amostras de berilos com diferentes cores em (A) e (B), apresentando cores marrom-amarelado, verde-claro, verde e azul.



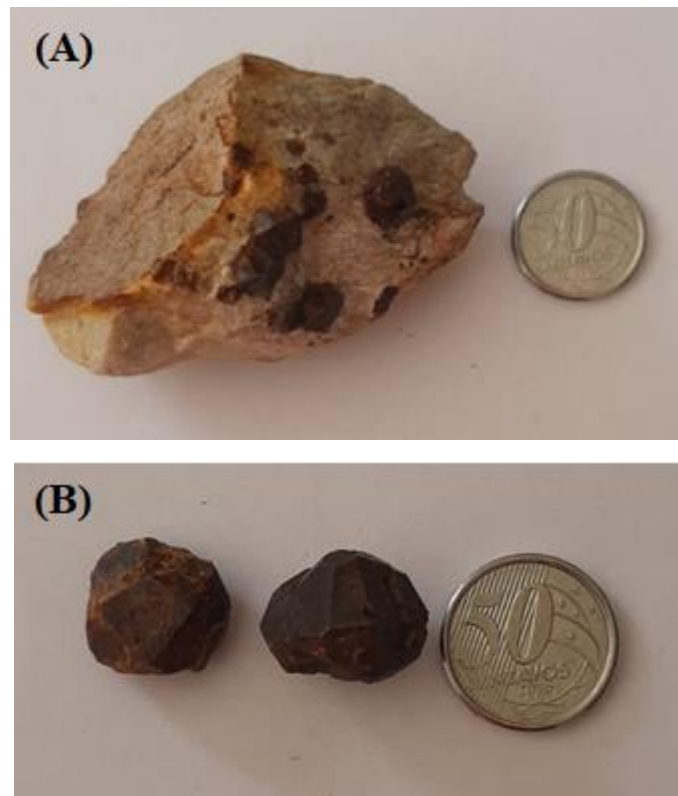
Fonte: autor.

Figura 21- Amostras de granadas (almandinas) intercaladas entre a zona de contato de quartzo e K-feldspato.



Fonte: autor.

Figura 22- Amostras de granadas com cor vermelho-alaranjada tendendo a preto inclusas em matriz de K-feldspato (A) e cristais de granadas (B).



Fonte: autor.

Figura 23- Amostras de granadas de coloração preta.



Fonte: autor.

6.3 Realização das análises químicas

Após a coleta dos minerais, foram selecionadas 3 (três) amostras 1 (uma) de berilo e 2 (duas) de granadas que foram submetidos a análises de ICP-OES e Infravermelho. A análise por ICP-OES empregada permitiu determinar os elementos químicos presentes na(s) amostras encontrada(s) no(s) pegmatito(s) em estudo. Os resultados obtidos por Infravermelho permitiu analisar as principais bandas características desses minerais.

6.3.1 Limpeza das vidrarias

As vidrarias foram limpas previamente com o intuito de não haver contaminação das amostras. Todas as vidrarias foram previamente descontaminadas em banho de ácido nítrico (HNO_3) 10% v/v por um período de tempo de 24h, após este tempo foram enxaguadas com água ultrapura e secas em ambiente descontaminado.

6.3.2 Preparação das amostras

Foram pulverizadas 10 g, aproximadamente, de cada mineral granada e berilo com a finalidade na redução da granulometria e homogeneização utilizando-se de um almofariz (gal) e pistilo. Após a pulverização os pós foram armazenados em recipiente plástico e rotulados para o envio das análises.

6.3.3 Digestão das amostras

Aproximadamente 60 mg da amostra em pó foram pesados em um recipiente de teflon com tampa, posteriormente adicionou-se 5 mL de solução de água-régia 3:1 (3HCl (37% m/m Sigma Aldrich): HNO_3 (65% m/m Sigma Aldrich)), a amostra foi colocada para aquecer em bloco digestor durante o período de 3h a uma temperatura de 120 °C. Após este procedimento, as amostras foram filtradas e diluídas para o volume de 25 mL e levadas para análise de ICP-OES.

6.3.4 Espectrômetro de Emissão Óptica Com Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES).

As análises foram realizadas utilizando um Espectrômetro de Emissão Óptica Com Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES) dual view iCap 6000 (Thermo Scientific) foi utilizado para a determinação dos analitos em amostras de rochas. As análises de ICP-OES foram realizadas no Núcleo de Tecnologia do Ceará (NUTEC). Os dados relacionados aos parâmetros operacionais empregados no ICP-OES estão apresentados nas Tabela 2 e 3.

Tabela 2- Parâmetros operacionais Espectrômetro de Emissão Óptica Com Plasma Acoplado Indutivamente.

Parâmetros operacionais ICP-OES	
Câmara de nebulização	Ciclônica
Nebulizador	Concêntrico
Potência de radiofrequência	1350 W
Taxa de fluxo de argônio para o plasma	12,0 L min ⁻¹
Taxa de fluxo de argônio para o nebulizador	0,45 L min ⁻¹
Taxa de fluxo de gás auxiliar	0,5 L min ⁻¹
Taxa de fluxo de amostra	2,0 L min ⁻¹

Fonte: autor

Tabela 3- Parâmetros operacionais para os elementos e seus respectivos comprimentos de onda utilizados no ICP-OES.

Elementos	Comprimentos de onda (nm)
Al	308,1
B	249,7
Ba	233,5
Ca	317,9
Fe	239,9
K	766,5
Na	588,0
Mg	285,2
Mn	257,6
P	213,6
Pb	217,0
Se	196,0
Zn	206,2

Fonte: autor

6.3.5 Espectroscopia vibracional de infravermelho (FT-IR)

Esta técnica pode ser empregada para exploração de amostras mineral, uma vez que, a mesma requer pequena quantidade de amostra mineral, técnica não destrutiva e que permite analisar as frequências de estiramento numa amostra. As regiões do espectro são divididas em infravermelho longínquo com faixa entre 200 a 10 cm^{-1} , infravermelho próximo com faixa entre 12.800 a 4000 cm^{-1} e infravermelho médio entre 400 a 4000 cm^{-1} (VOGEL, 2002; BARBOSA, 2008). Para amostras de minerais, aquelas correspondentes ao infravermelho médio foram empregadas evidenciando suas frequências de estiramento relacionadas nesta região do espectro.

As análises de espectroscopia de infravermelho (FT-IR) foram realizadas misturando-se as amostras com o sal brometo de potássio (KBr) previamente preparado. O brometo de potássio (KBr) e grau higroscópico, foi seco em estufa à temperatura de $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ por duas horas.

Para a obtenção dos espectros, o pó de cada mineral foi misturado em grau de ágata com brometo de potássio (KBr) e em seguida preparada pastilhas de KBr contendo aproximadamente 1% dos materiais com auxílio de prensa hidráulica. Os espectros foram obtidos na faixa de 400 a 4000 cm^{-1} utilizando espectrofotômetro de infravermelho da marca Perkim Elmer modelo Spectrum 65 FTIR-Spectrometer Nexus 470 FT-IR. Os Infravermelhos foram realizados na Central Analítica em Química da UFCe.

6.3.6 Medidas das radiações em campo

Em pegmatitos podem ocorrer os minerais uranita e torianita, fontes dos elementos radiativos de U e Th conforme descrito por Anthony *et al.*, (2008, p. 20151). Estas ocorrências de minerais radioativos acima do desejado é um dos motivos de preocupação na exploração de minerais com fins industriais, pois dependendo dos níveis de radiação coloca em risco a saúde de trabalhadores.

Para a realização das medidas da radiação em campo, foi utilizado um contador modelo Geiger-Muller Ernest-Rutherford BR-6, dotado de tubo de argônio que se ioniza quando atravessado por radiação α (alfa) e β (beta). Na Figura 24 estar apresentado o contador Geiger utilizado em campo para realização das medidas.

Figura 24- Contador Geiger-Muller Ernest-Rutherford BR-6 utilizado para medidas da radiação em campo.



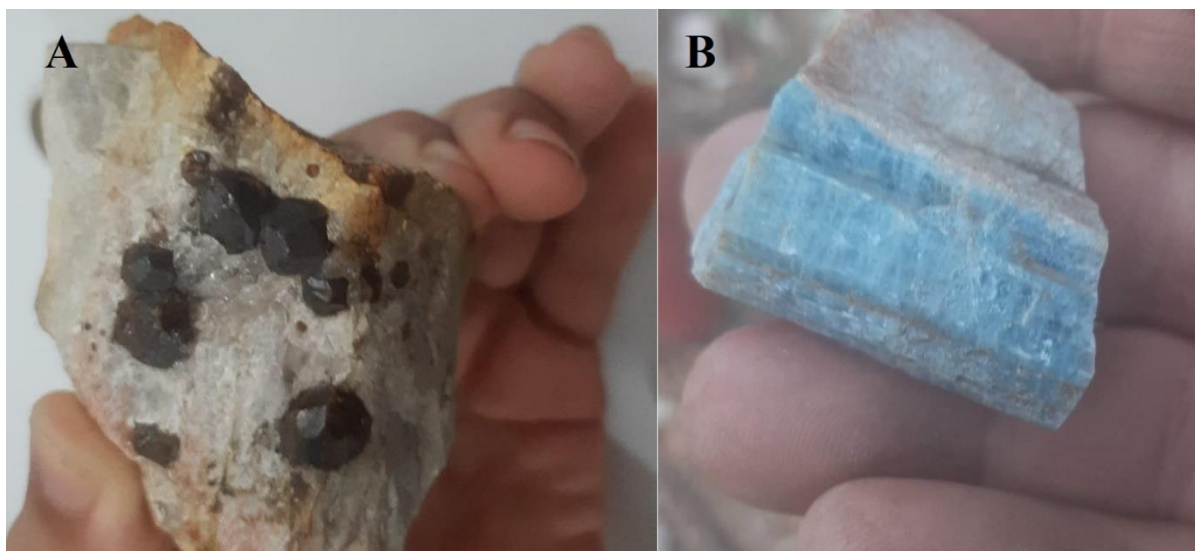
Fonte: autor.

07. RESULTADOS E DISCUSSÕES

7.1 Descrição dos pegmatitos

A ocorrência dos 4 (quatro) pegmatitos aqui estudados situa-se a 20 km, aproximadamente, do município de Crateús-Ceará, sentido noroeste (NW) e não têm sido descrita na literatura, tão pouco é explorada pelos habitantes locais. Nesta área ocorrem a presença de diques com largura que variam de 30 a 80 cm intercalados em xistos e contendo berilo, schorlita, granadas, quartzo leitoso e rosa, micas e feldspatos. A ocorrência de berilo se dá de forma disseminada nas cores amarela, verde claro e azul. As rochas afloradas, feldspáticas de potássio e cálcio, possuem granulações grosseiras e os minerais encontrados, como granadas bem formadas, ocorrem em pequenas dimensões com tamanhos de milimétricos a centimétricos (Figura 25 A). Nas rochas pegmatíticas ocorrem schorlitas, plagioclásio e ortoclásio encaixadas em xisto conforme podemos observar na Figura 26 (A) e (B). A borda núcleo-núcleo tem contato com quartzo-feldspato característico da zona 5 classificada segundo Lima, (2002) *apud* Vidal, (2005, p. 70).

Figura 25- Mineral granadas (A) e berilo (B) de cores vermelho-alaranjada e azul, respectivamente.



Fonte: autor.

Figura 26- Rochas pegmatíticas com ocorrência de schorlitas, plagioclásio e ortoclásio encaixadas em “A” e “B”.



Fonte: autor.

7.2 Medidas de radiação nos corpos pegmatíticos

Com a finalidade de detectar níveis de radiação, foram analisados 5 (cinco) corpos pegmatíticos utilizando o contador Geiger, modelo BR-6 versão 3.0, na Tabela 4 estão apresentados as localizações e os valores encontrados em Sievert (Sv). Nos pontos analisados, a média mínima encontrada foi de 00,128 $\mu\text{Sv/h}$ e a máxima de 00,164 $\mu\text{Sv/h}$ conforme apresentado na Tabela 4. De acordo com as medidas realizadas, não foram observados altas taxas de contagem o que é indicativo da baixa concentração de elementos naturais radioativos.

Tabela 4. Localização dos pegmatitos estudados com respectivas medidas e médias de radiação observados em campo.

Localizações	Medida 1 ($\mu\text{Sv/h}$)	Medida 2 ($\mu\text{Sv/h}$)	Medida 3 ($\mu\text{Sv/h}$)	Medida 4 ($\mu\text{Sv/h}$)	Medida 5 ($\mu\text{Sv/h}$)	Média ($\mu\text{Sv/h}$)
Lat: 5°08'09.5"S Long: 40°44'58.4"W	00.140	00.150	00.140	00.110	00.100	00.128
Lat: 5°08'06.9"S Long: 40°44'57.7"W	00.180	00.150	00.150	00.140	00.200	00.164
Lat: 5° 40' 38" S Long: 40° 40' 44" W	00.150	00.150	00.160	00.140	00.190	00.158
Lat: 5°08'22.4"S Long: 40°45'13.7"W	00.140	00.200	00.140	00.150	00.120	00.150

Fonte: do próprio autor.

A Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) estabelece através da norma técnica CNEN-NN-3.01 de 13/03/2014, que a dosagem a exposição, dose efetiva de indivíduo ocupacionalmente exposto, estar restringida a limites de 20 mSv/ano.

7.3 Análise por espectroscopia de emissão óptica com plasma acoplado indutivamente (ICP-OES).

A técnica de ICP-OES, permitiu analisar simultaneamente os elementos presentes nas amostras estudadas de granada e berilo. Os resultados das análises estão apresentados nas Tabelas 5, 6 e 7. A granada pertence ao grupo dos neossilicatos isoestruturais apresentando fórmula química $A_3B_2(SiO_4)_3$, na estrutura deste mineral a posição em A acomoda íons metálicos de Ca^{2+} , Mg^{2+} e Fe^{2+} ou Mn^{2+} como cátions compensadores da rede cristalina e em B podem alojar Al^{3+} , Fe^{3+} e Cr^{3+} , de onde se originam os membros minerais: piropo ($Mg_3Al_2(SiO_4)_3$), almandina ($Fe_3Al_2(SiO_4)_3$), espessartina ($Mn_3Al_2(SiO_4)_3$), grossulária ($Ca_3Al_2(SiO_4)_3$), andradita ($Ca_3Fe^{3+}_2(SiO_4)_3$) e uvarovita ($Ca_3Cr^{3+}_2(SiO_4)_3$) (ANELLI *et al.*, 2020, p. 104). Os resultados observados são indicativos da presença dos minerais piropo, andradita e almandina, uma vez que ocorrem teores elevados de cálcio ($422,92 \text{ mg.kg}^{-1}$), magnésio ($444,58 \text{ mg.kg}^{-1}$) e ferro ($9654,16 \text{ mg.kg}^{-1}$), conforme podemos observar na Tabela 5. Os elementos que ocorrem em menores concentrações B, Ba, K e Na são indicativos de ambiente félsica-alcálico onde ocorreu a formação desses minerais. Os teores do elemento P, (Tabelas 5 e 6), observados nas granadas analisadas são comumente encontrados em zonas de pegmatitos.

Tabela 5- Resultados obtidos por ICP-OES de limite de quantificação (LQ), concentração média e desvio padrão (SD) para a granada almandina (vermelho-alaranjada).

Elementos	Limite de quantificação (LQ) (mg/L)	Concentração média (mg/kg)	Desvio Padrão (SD)
Al	15,490	6454,17	580,87
B	0,143	59,38	4,75
Ba	0,171	71,13	7,11
Ca	1,015	422,92	29,60
Fe	23,170	9654,16	1061,95
K	0,6208	258,67	23,28
Mg	1,067	444,58	22,23
Na	1,037	432,08	38,88
P	0,5698	237,42	14,24

Fonte: autor.

Na Tabela 6, estão apresentados os resultados obtidos para o mineral observado na Figura 22. Conforme podemos observar, ocorre uma elevada concentração do metal manganês ($7468,80 \text{ mg.kg}^{-1}$) o que sugere a presença do mineral espessartina ($\text{Mn}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$) como mineral majoritário, além dos minerais piropo ($\text{Mg}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$) concentração de Mg ($508,58 \text{ mg.kg}^{-1}$) e andradita ($\text{Ca}_3\text{Fe}^{3+}_2(\text{SiO}_4)_3$) com concentração de Ca ($437,22 \text{ mg.kg}^{-1}$). Foram observados ainda, em baixas concentrações, o elemento selênio ($11,70 \text{ mg.kg}^{-1}$), zinco ($19,50 \text{ mg.kg}^{-1}$) e chumbo ($11,70 \text{ mg.kg}^{-1}$).

Tabela 6- Resultados obtidos por ICP-OES de limite de quantificação (LQ), concentração média e desvio padrão (SD) para o mineral granada (preta).

Elementos	Limite de quantificação (LQ) (mg/L)	Concentração média (mg/kg)	Desvio Padrão (SD)
Al	17,640	6879,88	687,99
B	0,175	68,44	6,16
Ba	0,451	176,05	14,08
Ca	1,121	437,22	43,72
Fe	29,100	11349,45	1134,95
Pb	0,030	11,70	1,17
Mg	1,304	508,58	50,86
Na	1,755	684,48	34,22
P	0,7502	292,59	29,26
Se	0,030	11,70	1,17
Mn	19,150	7468,80	448,13
Zn	0,050	19,50	1,95

Fonte: autor.

Na Tabela 7, estão apresentados os resultados obtidos de ICP-OES para o mineral berilo que tem fórmula geral $\text{Be}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_3)_6$. Podemos observar que a presença dos elementos manganês ($170,78 \text{ mg.kg}^{-1}$) e ferro ($200,29 \text{ mg.kg}^{-1}$) são os responsáveis pela colorações verde-pálido, azul e amarelo-rosado presentes nas amostras coletadas devido as transições eletrônicas nos orbitais d semipreenchidos. Tais resultados são sugestivos da presença de água-marinhas, heliodoro e morganita presente nos pegmatitos estudados.

Tabela 7- Resultados obtidos por ICP-OES de limite de quantificação (LQ), concentração média e desvio padrão (SD) para o mineral berilo.

Elementos	Limite de quantificação (LQ) (mg/L)	Concentração média (mg/kg)	Desvio Padrão(SD)
Al	2,7480	1126,23	112,62
Be	0,3197	131,02	10,48
Ca	0,7697	315,45	34,70
Na	1,565	641,39	76,97
Mn	0,4167	170,78	13,66
Mg	0,2429	99,55	9,95
Fe	0,4887	200,29	20,02
K	0,2719	111,43	11,14

Fonte: autor.

7.4 Caracterização das granadas e berilo por espectroscopia na região do infravermelho (FT-IR)

Na Figura 27, observa-se o espectro vibracional dos minerais granadas das amostras apresentadas nas Figuras 22 e 23, disperso em pastilha de KBr. As principais bandas observadas, em ambas as amostras, estão situadas entre 400-1500 cm^{-1} o que nos permite propor que as substituições ocorridas na estrutura cristalina ($\text{A}_3\text{B}_2(\text{SiO}_4)_3$) pelos íons metálicos observados nas análises de ICP-OES não afetaram a ordem estrutural presente nas granadas. A observação da manutenção na estrutura (SiO_4^{4-}), quando ocorre a acomodação dos íons metálicos observados na análise química o que é indicativo de um elevado grau de cristalinidade das granadas analisadas.

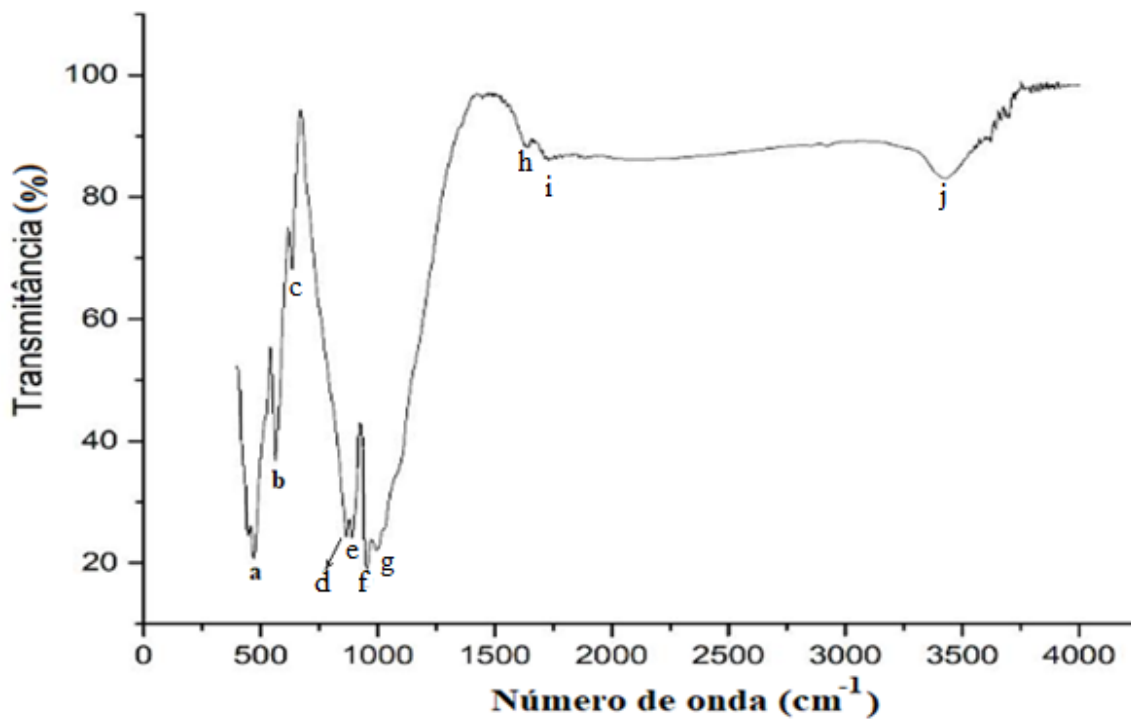
As bandas analisadas entre 420-500 cm^{-1} estão relacionadas as ligações existente entre Al-O, frequências de estiramento simétrico ocorrem entre 650-720 cm^{-1} e estiramentos assimétricos são observadas entre 940-1250 cm^{-1} que comumente ocorrem nos grupos (SiO_4) presentes em zeólitas segundo Byrappa (2007, p. 4933). A banda em 3490 cm^{-1} foi relacionada segundo Pulz *et al.* (2000, p.79) as frequências de deformação da molécula de água presentes nas granadas e berilo analisadas. Na Tabela 8 estão apresentados um comparativo das principais bandas presentes no espectro de infravermelho das granadas analisadas.

Tabela 8- Comparativo das principais bandas observadas nos espectros de infravermelhos das granadas apresentadas nas Figuras 22 (B) e 23.

Bandas observadas em cm^{-1}	
Granada vermelha alaranjada, Figura 22B	Granada preta, Figura 23
479 (a)	482 (a)
575 (b)	563 (b)
616 (c)	636 (c)
863 (d)	865 (d)
893 (e)	897 (e)
958 (f)	961 (f)
1000 (g)	991 (g)
1643 (h)	1637 (h)
1726 (i)	1744 (i)
3424 (j)	3435 (j)

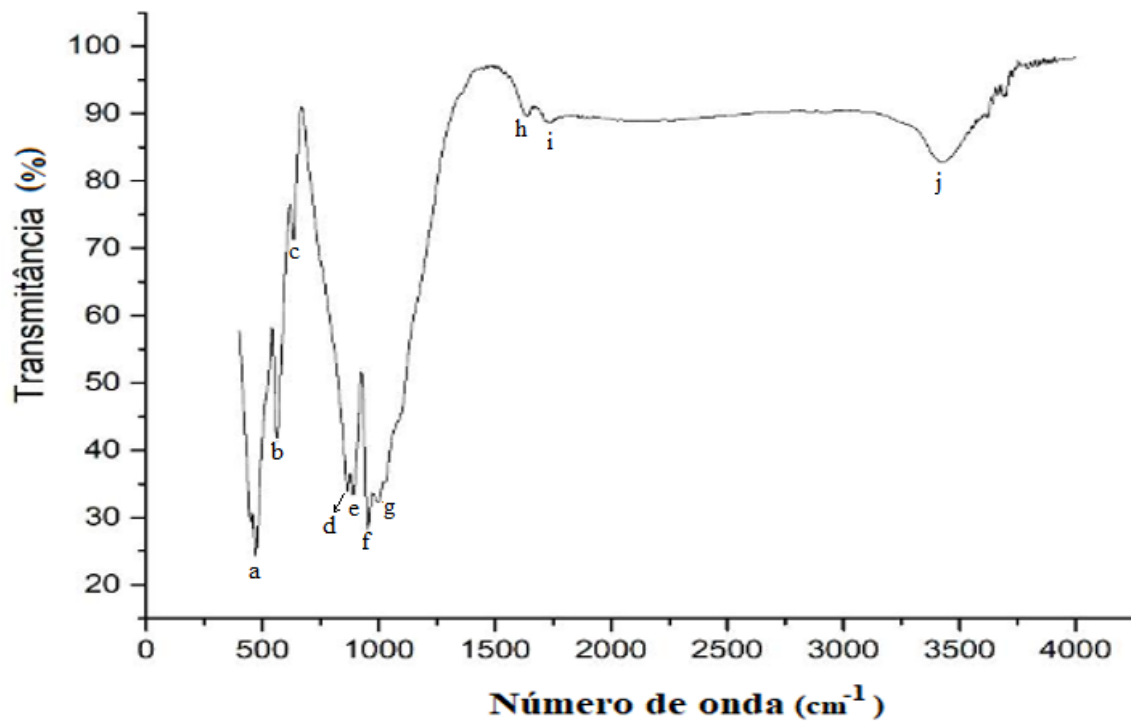
Fonte: autor.

Figura 27- Espectro vibracional na região do infravermelho da granada (cor vermelho alaranjada), mineral da Figura 22 (B) disperso em KBr.



Fonte: autor.

Figura 28- Espectro vibracional na região do infravermelho da granada (cor preta), mineral da Figura 23, disperso em KBr.



Fonte: autor.

O espectro de infravermelho (FT-IR) para amostra de berilo estão apresentados na Figura 25. A partir dos dados obtidos, podemos observar as bandas características das frequências de estiramentos simétricos ($750-820\text{ cm}^{-1}$) e assimétricos ($1050-1250\text{ cm}^{-1}$) referentes as ligações Si-O-Si e Be-O, respectivamente. As vibrações internas dos tetraedros TO_4 , T= Si ou Al são unidades primárias de construção presentes em minerais que contém estes grupos e que não se alteram com modificações estruturais. Podemos considerar que as ligações relacionadas aos grupos de tetraedros do tipo SiO_4 e ligações Be-O estão relacionadas as frequências de vibrações existentes no mineral berilo. As bandas observadas no espectro, situadas entre 1.250 cm^{-1} e 750 cm^{-1} estão diretamente relacionadas aos grupos citados e caracterizam os berilos encontrados nos pegmatitos Ipojuca.

O pico que ocorre em 1637 cm^{-1} estar relacionado a deformações angulares da água, enquanto os estiramentos O-H são observados entre 3450 cm^{-1} .

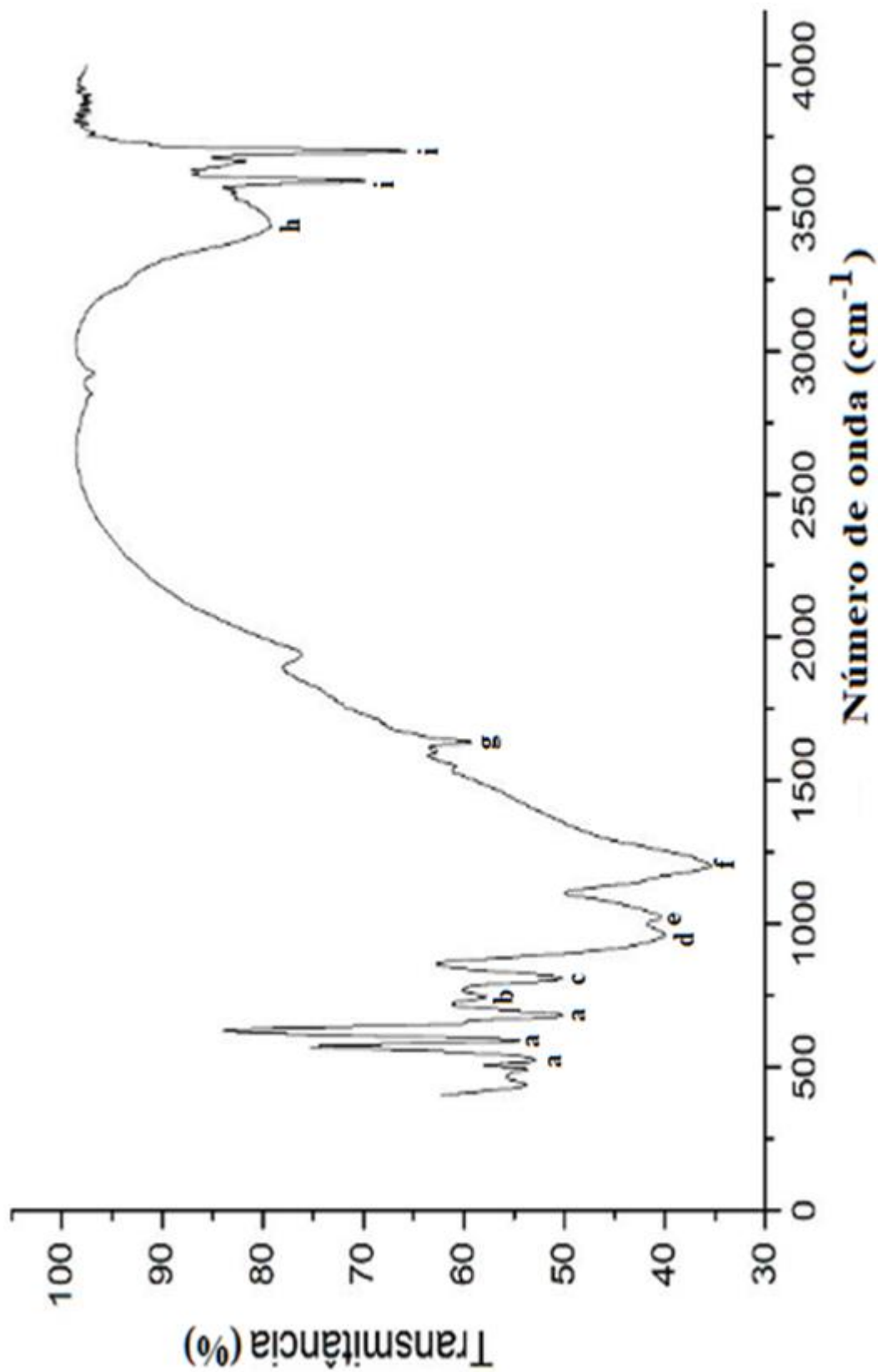
A banda observada em 3300 cm^{-1} estar relacionada a frequência de estiramento da molécula de água, enquanto aquelas observadas em 3600 cm^{-1} e 3700 cm^{-1} é indicativo da presença de íons alcalinos como Na^+ e K^+ presente na estrutura cristalina da amostra analisada. Os dados de caracterização da amostra de berilo e comparativo com dados da literatura estão apresentados na Tabela 9.

Tabela 9- Comparações das principais bandas observadas nos berilos de Ipojuca com dados da literatura.

Tipos de Ligações	Bandas observadas (cm^{-1})	Observadas na literatura (cm^{-1})	Referências
Vibrações distintas confundem-se com Al-O	525, 600 e 675 (a)	513,591 e 647	Hofmeister et al., 1987
Vibração Be-O	750 (b)	752	Hofmeister et al., 1987
Vibrações SiO_4^{4-}	825 (c)	798-799	Plyusmina, 1964
Característicos de berilos	975 (d)	1166	Plyusmina, 1964
Si-O-Be	1025 9 (e)	1018	Gervais, 1972
Si-O-Si	1200 (f)	1200	Plyusmina, 1964
Deformações angulares da água	1637 (g)	1640	Pulz et al., 2000
O-H com ligações de hidrogênio da água	3450 (h)	3300	Donald et al., 2010
Água em canalitos contendo álcalis	3612 e 3700 (i)	3591 e 3656	Aines, 1984 e Pulz et al., 2000

Fonte: autor.

Figura 29. Espectro vibracional na região do infravermelho do mineral berilo, mineral da Figura 19, disperso em KBr.



Fonte: autor.

08. CONCLUSÃO

Nos pegmatitos encontrados na cidade de Crateús, Estado do Ceará, especificamente no distrito de Ipojuca, foi possível observar pelo mapa geológico regional que os mesmos são originados pela falha de contato entre o Complexo Canindé do Ceará (PRcn) e Complexo Tamboril Santa Quitéria (NP3ts). Quatro corpos pegmatíticos foram analisados segundo suas morfologias indicando que os mesmos apresentam características de pegmatito heterogêneo.

Em relação as suas morfologias, são encontrados a baixas profundidades, em terrenos erodidos, encaixados no xisto e na forma de diques que variam de 30 cm a 1 m de diâmetro.

Através dos estudos realizados em campo foi possível coletar e classificar 8 (oito), quartzo, plagioclásio, ortoclásio, shorlita, berilo, granada, micas e pirolusita dos principais minerais existentes na área onde se encontra o pegmatito. Nos corpos pegmatíticos, observa-se variações nas cores dos berilos e granadas indicativos de fracionamento magmático com a existência de rochas félsicas.

Os resultados das análises de radiação em campo, indicam, a princípio, que as rochas nos pegmatitos não possuem concentrações elevadas de minerais como a uraninita e thorianita.

Através das análises de ICP-OES foi possível indicar e determinar os elementos presentes nas 3(três) principais amostras estudadas. Foram encontrados, nas amostras de berilo os elementos Al, Be, Ca, Na, Mn, Mg, Fe e K, sendo Na, K e Ca indicativos que estes minerais se formam em ambiente alcalino. As amostras de berilo apresentam cores verde-pálido, azul e amarelo-rosado indicativo da presença de berilo verde, água-marinha, heliodoro e morganita presente nos pegmatitos estudados.

Análise das granadas de coloração vermelha-alaranjada por ICP-OES revelaram a presença dos metais de Al, B, Ba, Fe, K, Mg e Na, sendo que as cores observadas neste mineral deve-se a presença dos íons Fe^{2+} e Fe^{3+} . Já a presença do elemento fósforo “P” está comumente associada a presença de minerais fosfáticos comuns em pegmatitos.

Análise da granada de cor preta por ICP-OES apresentou 12 (doze) elementos distintos Al, B, Ba, Ca, Fe, Pb, Mg, Na, K, Se, Mn e Zn. Estes resultados são indicativos da presença de granadas espessartina ($Mn_3Al_2(SiO_4)_3$), piropo ($Mg_3Al_2(SiO_4)_3$) concentração de andradita ($Ca_3Fe^{3+}_2(SiO_4)_3$). Os elementos selênio e chumbo (concentrações 11,7 mg.Kg⁻¹) e zinco (concentração 19,50 mg.Kg⁻¹) apresentam concentrações baixas indicativos da

disseminação destes elementos no ambiente de formação. Os resultados de infravermelho (IR-TF) para as amostras apresentadas nas Figuras 22 e 23 indicam que ambas tem a mesma estrutura química do tipo $A_3B_2(SiO_4)_3$ presente no mineral granada.

A classificação do(s) pegmatitos encontrados possibilitará futuras exploração de minerais presentes nestas estruturas, dando ênfase na possibilidade de se encontrar gemas e outros minerais metálicos o que trará oportunidade para a economia local.

Os resultados aqui apresentados irão propiciar a comparação dos dados obtidos com outros pegmatitos encontrados na região Nordeste do Brasil, bem como como fortalecer o conhecimento da geologia regional e futuras exploração desses bens minerais.

09. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AINES, R. D., ROSSMAN, G. R. **The high temperature behavior of water and carbon dioxide in cordierite and beryl.** *American Mineralogist* v. 69, p. 319-327, 1984.

ALMEIDA, F. F. M. HUSUI Y, NEVES, B. B. B., FUCK, R. A. **BRAZILIAN STRUCTURAL PROVINCES: AN INTRODUCTION.** *Earth Science Reviews*, n. 17, p. 1-29, 1981.

ANELLI, L.E., LEME, J.M., OLIVEIRA, P.E., FAIRCHILD, T.R. **Paleontologia. Guia de aulas práticas, uma introdução ao estudo dos fósseis.** Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, 8a ed., p. 104, 2020.

ANTHONY, J. W., BIDEAUX, R. A., BLADH, K. W. AND NICHOLS, M. C. **“Handbook of Mineralogy”**, Mineralogical Society of America, Chantilly, VA 20151-21110, USA. Disponível em: <http://www.handbookofmineralogy.org/> . Acesso em: 22/04/2022.

ARAÚJO, B. M. S. **Caracterização Tecnológica dos Concentrados Metálicos de Rochas Pegmatíticas e Sua Extração no Semiárido Nordestino.** Dissertação de Mestrado, p. 49-74, 2016.

BARBOSA, L. C. A. **Espectroscopia de Infravermelho na Caracterização de Compostos Orgânicos.** 1 ed., Viçosa, Editora UFV, 2008.

BEZERRA, M. S., NESI, J. R. **Rochas e Minerais Industriais.** CETEM, 2a Edição, p. 339-359, 2008.

BRITO NEVES, B.B. **Regionalização geotectônica do Pre-cambriano Nordestino.** p. 188, 1975. Tese (Doutorado em Geociências)-Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 1975.

BYRAPPA, K., KUMAR, B. V. S. **Characterization of Zeolites by Infrared Spectroscopy.** v.19, n° 6, p.4933-4935, 2007.

CARDOSO, T., PEIXOTO, A. M., MAIA, A. O., FILHO, A. F. F., SANTOS, T. R. S., SOUSA J. P., NETO, J. A. N. **Novas Ocorrências de Fosfatos em Pegmatitos do Ceará.** *Comunicações Geológicas*, Especial II, p. 761-763, 2014.

CAVALCANTE, J. C., VASCONCELOS A. M., MEDEIROS M. F., PAIVA I. G. **Atlas digital de geologia e recursos minerais do Ceará. Fortaleza: CPRM, 1 CD Rom. Escala 1:500.000.** 2003.

CAVALCANTI, D. E. **Caracterização cristaloquímica, mineralógica e gemológica do berilo do pegmatito mendonça, distrito de Berilândia, Quixeramobim/ce.** Dissertação de Mestrado, Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará, Universidade Federal do Ceará (UFCe). p. 25-38, 2017.

CERNÝ, P. & ERCIT, T. S. **The classification of granitic pegmatites revisited.** *Canadian Mineralogist*, v. 43, p. 2005-2026, 2005.

ČERNÝ, P. **Anatomy and classification of granitic pegmatites.** In: **Granitic Pegmatites in Science and Industry.** Mineralogical Association of Canada. **Schort Course Handbook.** v. 8, p.1-39, 1982a.

ČERNÝ, P. **Anatomy and classification of granitic pegmatites**. In: Granitic Pegmatites in Science and Industry. Mineralogical Association of Canada. Short Course Handbook. v. 8, p.1-39, 1982a.

ČERNÝ, P. **Rare-element granitic pegmatites. Part I: Anatomy and internal evolution of pegmatite deposits**. Geoscience Canada. v. 18, p.49-67, 1991b.

CHAVES, M. L. S. C. **Helvita [Mn²⁺Be₃(SiO₄)₃S]: primeira ocorrência brasileira do mineral**. Geociências: Comunicação Científica, v. 58(4), p. 317-319, 2005.

CONNOLLY, J. R. **Introduction to X-ray Powder Diffraction**. Material in this document is borrowed from many sources. p. 1-9, 2007.

COSTA, F. G. **GEOLOGIA E RECURSOS MINERAIS DA FOLHA CRATEÚS – SB.24-V-C-III: ESTADOS DO CEARÁ E PIAUÍ ESCALA 1:100.000**. CPRM, Serviço Geológico do Brasil, p. 14-28, 2017.

COSTA, F.G. **MAPA GEOLÓGICO, 1:100.000**. Serviço Geológico do Brasil, CPRM, 2011.

DIAS, C. A. T., JUNIOR, W. B. L., MUZZOLON, R., BETTENCOURT, J. S. **Geologia e Mineralogia dos Pegmatito Estanífero Cascavel, Mina Bom Futuro, Rondônia**. Geociências, v. 32, n^o. 4, p. 731-745, 2013.

DONALD L. PAVIA, GARY M. LAMPMAN, GEARGE S. KRIZ, JAMES R. VYVYAN, **“Introdução a Espectroscopia”**, Tradução da 4^a ed. Americana, Editora Cengage Learning, p.48, 2010.

DRUMMOND, N. F., MENDES, J. C, LAMEIRAS, F. S. **Caracterização de Quartzo Para Obtenção de Suas Variedades Gemológicas Por Irradiação Gama e/ou Tratamento Térmico**. Geociências, v. 63(3), p. 449-456, 2010.

ELIOTÉRIO A. A., GONSALVES, F. M., PAULINO, G. M, ALEXANDRINO, J. S. **Caracterização mineralógica de pegmatitos litiníferos da região de Araçuaí – MG**. Revista Eletrônica Engenharia de Interesse Social, v. 1, n. 4, p. 1-14, 2019.

FERSMAN, A.E. **Les pegmatites leus importance scientifique et pratique**. Acadeia de Ciências da URSS (tradução para o francês em 1951 por R. de Trien e Terdonck & Trounean, Univ. de Louvain Bélgica) v. 3 p.675.

GERVAIS, F., PIRIOU, B. **Étude des spectres de reflexion infrarouge du béryl dans la région 280-1400 cm⁻¹**. Comptes Rendus de L’Académie dès Sciences de Paris B: 274, p.252-255, 1972.

Google Earth Website. <https://earth.google.com/>, 2022.

HANSON, S. L., SIMMONS, W. B., WEBBER K. L., FALTER, A. U., BOCHOLZ, T. **Trace elements chemistry of micas in “NYF” and “NY” pegmatites**. The Canadian Mineralogist, v. 37, p. 849-852, 1999.

HOFMEISTER, A. M., HOERING, T. C., VIRGO, D. **Vibrational spectroscopy of beryllium aluminosilicates heat capacity calculation from band assignments**. Physics and Chemistry Minerals v. 14, p. 205-224, 1987.

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

LEE, J.D. **Química inorgânica não tão concisa**. Tradução da 5ª ed. inglesa. Editora Edgard Blücher Ltda. pp. 24, 217, 360-370. 1999.

LIRA, B. B, RODRIGUES, G., FILHO, L. L. C., MADEIRA, V. S., COMBOIM, J. E. L. **ESTUDO DOS PEGMATITOS DA PROVÍNCIA DA BORBOREMA – PARAÍBA: MINERAIS E MINÉRIOS DE INTERESSE TECNOLÓGICO**. *Tecnol. Metal. Mater. Miner.*, v. 13, n. 1, p. 113-119, 2016.

LUZ, A. D. **Série Rochas e Minerais Industriais – Pegmatitos do Nordeste: diagnóstico sobre o aproveitamento racional e integrado**. CETEM/MCT, p. 50-81, 2003.

NORMA TÉCNICA CNEN – NN – 3.01 “**Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica**” de 13/03/2014.

Disponível em: <https://www.sapralandauer.com.br/atendimento/perguntas-frequentes/13-quais-sao-os-limites-de-dose-para-trabalhadores-ocupacionalmente-expostos-a-radiacao/>

OLIVEIRA P. J. A., BARRETO, S. B., CARRINO, T. A., CORREIA, A. M. L. **Espectroscopia de Reflectância Aplicada à Caracterização de Turmalinas Gemológicas Proveniente da Província da Borborema, Nordeste do Brasil**. *Anais d XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR*, p. 1754-1761, 2017.

OLIVEIRA, I. G., CARNEIRO, L. S., SARAIVA, C. E. R, MATOS, I. C., NERI, T. F. O. **Caracterização Gemológica das Turmalinas de Quixeramobim**. *Anuário do Instituto de Geociência -UFRN*, v.43, p. 207-2017, 2020.

PLYUSMINA, I. I. **Infrared absorption spectra of beryls**. *Geochemistry* p. 13-22, 1964.

PULZ, G. M., BARBOZA, E. S., BRUM, T. M. M., FISCHER, A., JUCHEM, P. L., BENVENUTTI, E. V. **Caracterização da esmeralda de Pirenópolis (Goiás, Brasil Central) por espectroscopia no infravermelho (Ftir)**. *Pesquisas em Geociências*, v. 27(2), p. 79-85, 2000.

SALES, M. C. C. **Considerações Sobre os Granitos Pegmatíticos da Província Pegmatítica do Seridó: Mapeamento Geológico e Geoquímica**. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), p.16, 2020.

SILVA, G. F., VIEIRA, E. V. **Caracterização Tecnológica do Feldspato Pegmatítico do Depósito Alto da Serra Branca/Pb**. *Revista Tecnológica*, v. 29(2), p.334-347, 2020.

SILVEIRA, G. C. L., ACCHAR, W., GOMES, U. U., SILVEIRA, R. V. L., SOUSA, M. R. **Mapeamento e Caracterização Química de Matérias-primas do Rio Grande do Norte Para Uso na Indústria Cerâmica**. *57º Congresso Brasileiro de Cerâmica, 5º Congresso Iberoamericano de Cerâmica*, p. 302 -301, 2013.

SOARES, D. R., GONZAGA, F. A. S., FERREIRA, A. C. M., CAITANO, H. K. C., FARIAS, A. B., SOUSA, D. B. **Aspectos técnicos da lavra do pegmatito “Alto” feio, Pedra Lavrada, Paraíba**. *HOLOS*, V.1, Ano 32, p.404-412, 2016.

SOLODOV, N. A. **Geochemistry of Rare Metal Granitite Pegmatite**. *Geochemistry*, v.7, p.778-792, 1959.

TROMPPETE, R. **Geology of Western Gondwana (2000 - 500ma): pan - african - brasileiro aggregation of south america and Africa**. Rotterdam: Balkema, p. 350, 1994.

VIANA, R. R., EVANGELISTA, H. J., COSTA, G. M. **Caracterização Química-Mineralógica Espectroscopia Mossbauer de Água-Marinha da Região de Pedra Azul, Nordeste de Minas Gerais**. Revista Brasileira de Geociências, v. 31(1), p. 89-94, 2001.

VIDAL, F. W. H., NETO, J. A. N. **ROCHAS E MINERAIS DO CEARÁ (MINERAIS DE PEGMATITO)**. v. 1, p. 67-82, 2005.

VOGEL, A. I. **Análise Química Quantitativa** . 6ed. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, 2002.

ZAGORSKY, V. Y., MAKAGON, V. M., SHMAKIN, B. M. **The Systematis of Granitic Pegmatites**. The Canadian Mineralogist, v.37, p. 800-802, 1999.