



MINISTERIO DA EDUCACAO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIENCIAS
PROGRAMA DE POS-GRADUACAO EM ENGENHARIA MINERAL
PPGEMinas – UFPE

BRUNA MARCELA SOARES DE ARAÚJO

**“CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DOS CONCENTRADOS
METÁLICOS DE ROCHAS PEGMATÍTIAS E SUA EXTRAÇÃO NO
SEMIÁRIDO NORDESTINO”**

RECIFE - PE

2016

BRUNA MARCELA SOARES DE ARAÚJO

**“CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DOS CONCENTRADOS
METÁLICOS DE ROCHAS PEGMATÍTICAS E SUA EXTRAÇÃO NO
SEMIÁRIDO NORDESTINO”**

Dissertação apresentada como requisito
parcial para obtenção do Título de Mestre
em Engenharia Mineral na área de
concentração de Minerais Industriais.

Orientador: Prof. Dr. Belarmino B. Lira
Co-Orientadora: Prof^a. Dr^a. Kenia V. Correia

RECIFE - PE
2016

Catálogo na fonte
Bibliotecária Maria Luiza de Moura Ferreira, CRB-4 / 1469

A663c Araújo,Bruna Marcela Soares de.
Caracterização tecnológica dos concentrados metálicos de rochas
pegmatíticas e sua extração no semiárido nordestino /Bruna Marcela
Soares de Araújo. - Recife: O Autor, 2016.
85 folhas, il.

Orientador:Prof. Dr.Belarmino B. Lira.
Coorientadora: Profa. Dra. Kenia V. Correia.
Dissertação(Mestrado) ï Universidade Federal de Pernambuco.
CTG.Programa de Pós-graduação emEngenharia Mineral, 2016.
Inclui Referências e apêndices.

1. EngenhariaMineral. 2. Província Pegmatítica da Borborema.3.
Pegmatito. 4.Caracterização tecnológica.5. Semiárido. 6.
Mineração.I.Lira,Belarmino B. (Orientador). II.Correia, Kenia
V.(Coorientadora). III. Título.

622.35 CDD (22. ed.)

UFPE/BCTG/2016-149



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MINERAL

PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA
DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ENGENHARIA MINERAL

“CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DOS CONCENTRADOS
METÁLICOS DE ROCHAS PEGMATÍTICAS E SUA EXTRAÇÃO NO
SEMIÁRIDO NORDESTINO”

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: MINERAIS INDUSTRIAIS

A Comissão Examinadora composta pelos Professores abaixo, sob a Presidência do
Prof. Dr. Belarmino Barbosa Lira, considera a aluna
BRUNA MARCELA SOARES DE ARAÚJO, Aprovada.

Recife, 29 de Fevereiro de 2016.

Prof. Dr. Belarmino Barbosa Lira
Presidente - Orientador (UFPB)

Profa. Dra. Kênia Valença Correia
Examinadora - Co-Orientadora (UFPE)

Prof. Dr. Mário Tavares de Oliveira Cavalcanti Neto
Examinador (IFRN)

Profa. Dra. Lucila Ester Prado Borges
Examinadora (UFPE)

Dedico:

Ào povo Nordestino e sua "força que nunca seca..."

(Chico César)

AGRADECIMENTOS

À Luzete, minha mãe, incentivadora maior de todos os meus passos na vida.

Ao meu Pai, Gedinilson, pela insistência para que eu ingressasse como estudante de Mineração e Geologia na antiga ETERN (hoje IFRN).

À Luiza, minha pequena, pelos abraços, beijinhos e carinhos sem ter fim.

Ao meu maridão (literalmente) Luiz Fernando, por mais uma conquista juntos.

Ao meu irmão Bruno que, junto com sua Família, cuidou de Luiza para que pudéssemos ir a Recife assistir às aulas do Mestrado.

Aos queridos amigos João e Isis, pela hospedagem em Recife na época em que estávamos cursando as disciplinas; e as Amigas Ellem e Luciana pelo apoio na composição desta pesquisa;

À Prof^a. Dr^a. Kenia Valença, que foi mais que uma Professora, foi e sempre será uma Grande Amiga e exemplo de força feminina.

Ao Prof. Dr. Belarmino Barbosa Lira pelo apoio, incentivo, Amizade, Sabedoria e pela Grande Experiência nas Minerações do Mundo repassadas.

A TODOS os que foram meus Professores no Curso Técnico em Mineração e Geologia do IFRN (onde tudo começou...).

Ao Prof. Dr. Mário Tavares Oliveira Cavalcanti Neto pela Amizade, compreensão, paciência e incentivo na pesquisa científica sempre.

Ao Prof. Dr. Dwight Rodrigues Soares pela colaboração técnica espetacular nesta pesquisa.

Aos professores do PPGEMinas cujas experiências e didática possibilitaram a realização desta pesquisa.

Aos Profissionais do Centro de Tecnologia do Gás, especialmente à Angélica, pela ajuda nas primeiras análises, colaborando nas descobertas iniciais desta pesquisa.

Ao amigo Eugênio Teixeira (NUP-ER - UFRN) pela paciência e valiosa ajuda nas análises de DRX e FRX.

À empresa MINEGRAN pelas informações do relatório de pesquisa mineral de sua área e por ceder amostras para esta pesquisa.

Aos trabalhadores Brasileiros, os verdadeiros patrocinadores das pesquisas científica e acadêmica no País.

QUE A VIDA LHES DEVOLVA TODO BEM QUE FIZEREM!

RESUMO

A análise dos concentrados metálicos originários de rochas pegmatíticas contribui com o conhecimento acerca das características físico-químicas desses minerais e com a avaliação da eficiência do processo de separação gravimétrica realizado para obtenção dos concentrados. Além disso, a confirmação da presença de elementos raros nestas rochas é fator positivo para a melhoria das condições socioeconômicas das populações do semiárido nordestino, além de colaborar com as pesquisas de viabilidade para uma posterior extração metalúrgica e com uma exploração mineral planejada e integral. Para caracterizar os concentrados metálicos dos pegmatitos Facheiro I e Mina Velha, foram analisadas amostras por difratometria de Raios-X, fluorescência de Raios-X, microscopia eletrônica de varredura e espectrometria por energia dispersiva. O trabalho apresenta e discute os resultados obtidos, que confirmaram a presença significativa de grupos minerais importantes como o grupo-columbita, além de apontar a possível presença de metais de aplicação nobre e Elementos Terras Raras. Foi proposta a discussão, em breve panorama, acerca dos impactos socioeconômicos e ambientais das atividades de mineração no semiárido, ressaltando a necessidade de um desenvolvimento nas dimensões da sustentabilidade econômica, social e ambiental.

Palavras chave: Província Pegmatítica da Borborema. Pegmatito. Caracterização Tecnológica. Semiárido. Mineração.

ABSTRACT

The analysis of the concentrated metals originated from pegmatitic rocks contributes with the knowledge about the physico-chemical characteristics of these minerals and with the evaluation of the effectiveness of the gravimetric separation process carried out to obtain them. In addition, the confirmation of the presence of rare elements in these rocks is a positive factor for improving the socioeconomic conditions of populations in the northeastern semiarid, as well as for collaborating with feasibility studies for subsequent metallurgical extraction and with a planned and integral mineral exploration. For characterizing the concentrated metals of Facheiro I and Mina Velha pegmatites, it has been analyzed samples by X-ray diffraction, X-ray fluorescence, scanning electron microscopy and energy dispersive spectrometry. The research shows and discusses the obtained results which have confirmed the significant presence of important mineral groups such as the columbite-group, besides indicating the possible presence of noble metals and Rare Earth Elements. It has been proposed, in brief overview, the discussion about the socioeconomic and environmental impacts of mining activities in the semiarid region, emphasizing the need for a further development of economic sustainability, social and environmental dimensions.

Keywords: Borborema Pegmatitic Province. Pegmatite. Technological characterization. Semiarid. Mining.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Pegmatitos pesquisados inseridos na Geologia Regional.	15
Figura 2	Classificação estrutural dos pegmatitos conforme Johnston Jr. (1945) & Rolff (1945).	18
Figura 3	Posição relativa dos minerais nas zonas de pegmatitos baseada em Rolff (1946).	19
Figura 4	Mapa de localização da área pegmatítica nos Estados do RN e PB.	21
Figura 5	Mapa de localização dos pegmatitos pesquisados.	23
Figura 6	Imagem de satélite georreferenciada dos pegmatitos pesquisados.	24
Figura 7	Vista do Pegmatito Facheiro I – Acesso ao corpo mineralizado.	25
Figura 8	Vista do Pegmatito Facheiro I – Galeria.	25
Figura 9	Ilustração tridimensional - Pegmatito Facheiro I.	26
Figura 10	Ilustração tridimensional - Pegmatito Mina Velha.	26
Figura 11	Pegmatito Facheiro I com indicação de minerais do grupo-columbita.	28
Figura 12	Rocha mineralizada (biotita-xisto).	28
Figura 13	Trincheira 1 - Bolsões de quartzo e rejeitos de escavações.	29
Figura 14	Bolsões de quartzo na Trincheira 1 - Pegmatito Mina Velha.	30
Figura 15	Detalhes da ocorrência de veios de quartzo na Trincheira 3 - Pegmatito Mina Velha.	30
Figura 16	Trincheira 5 escavada em um bolsão de quartzo - Pegmatito Mina Velha.	30
Figura 17	Nova delimitação do semiárido.	41
Figura 18	Jigue e Mesas para concentração gravimétrica - Planta Piloto da Fazenda Primavera.	45
Figura 19	Difratograma de Raios-X - Concentrado metálico do pegmatito Facheiro I	50
Figura 20	Difratograma de Raios-X - Concentrado metálico do pegmatito Mina Velha	51
Figura 21	Apontamento dos espectros nos grãos selecionados - Concentrado metálico do pegmatito Facheiro I.	53
Figura 22	Espectros dos grãos - Concentrado metálico do pegmatito Facheiro I.	54

Figura 23	Espectro 20 da amostra do concentrado metálico - Pegmatito Facheiro I	55
Figura 24	Espectro 23 da amostra do concentrado metálico - Pegmatito Facheiro I	56
Figura 25	Espectro 24 da amostra do concentrado metálico - Pegmatito Facheiro I	56
Figura 26	Apontamento dos espectros nos grãos selecionados - Concentrado metálico do pegmatito Mina Velha.	57
Figura 27	Espectro 25 da amostra do concentrado metálico - Pegmatito Mina Velha.	58
Figura 28	Espectro 26 da amostra do concentrado metálico - Pegmatito Mina Velha.	58
Figura 29	Espectros dos grãos - Concentrado metálico do pegmatito Mina Velha.	59
Figura 30	Espectro 30 da amostra do concentrado metálico - Pegmatito Mina Velha.	60
Figura 31	Espectro 33 da amostra do concentrado metálico - Pegmatito Mina Velha.	61
Figura 32	Grãos selecionados para análise de contraste - Concentrado metálico do pegmatito Facheiro I	62
Figura 33	Localização dos espectros nos grãos - Concentrado metálico do pegmatito Facheiro I	64
Figura 34	Localização dos espectros no grão 6 (figura 32) - Concentrado metálico pegmatito Facheiro I	65
Figura 35	Localização dos espectros no grão 7 (figura 32) - Concentrado metálico do pegmatito Facheiro I	66
Figura 36	Grãos selecionados para análise de contraste - Concentrado metálico do pegmatito Mina Velha	68
Figura 37	Localização dos espectros nos grãos - Concentrado metálico do pegmatito Mina Velha.	69
Figura 38	Localização dos espectros nos grãos (indicação de Pt) - Concentrado metálico do pegmatito Mina Velha.	72

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Características das zonas de mineralização dos pegmatitos heterogêneos e mistos.	20
Quadro 2	Localização e ocorrências na trincheira 1 - Pegmatito Facheiro I.	29
Quadro 3	Localização e ocorrências nas trincheiras - Pegmatito Mina Velha.	31
Quadro 4	Aplicações de alguns constituintes minerais dos pegmatitos.	37
Quadro 5	Minerais importantes de nióbio e tântalo - Grupo-columbita.	49
Quadro 6	Análise química semiquantitativa - Concentrado metálico do pegmatito Facheiro I.	52
Quadro 7	Análise química semiquantitativa - Concentrado metálico do pegmatito Mina Velha.	52
Quadro 8	Composição química dos grãos das figuras 32 e 33 - Concentrado metálico do pegmatito Facheiro I.	63
Quadro 9	Composição química do grão 6 (figura 34) - Concentrado metálico do pegmatito Facheiro I.	65
Quadro 10	Composição química do grão 7 (figura 35) - Concentrado metálico do pegmatito Facheiro I.	67
Quadro 11	Composição química dos grãos (figura 37) - Concentrado metálico do pegmatito Mina Velha.	71
Quadro 12	Composição química dos grãos (figura 38) - Concentrado metálico do pegmatito Mina Velha.	72

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS	13
2.1	OBJETIVO GERAL	13
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3	FUNDAMENTACAO TEÓRICA	14
3.1	MAPEAMENTO GEOLÓGICO: INSERÇÃO NA GEOLOGIA REGIONAL	14
3.2	GEOLOGIA DOS PEGMATITOS: UMA ABORDAGEM GERAL	16
3.3	PEGMATITOS DA PROVÍNCIA BORBOREMA: LOCALIZAÇÃO E BREVE HISTÓRICO DE EXPLORAÇÃO MINERAL	20
3.4	PEGMATITOS DA FAZENDA PRIMAVERA: CONSIDERAÇÕES GERAIS DE PESQUISA E EXPLORAÇÃO	22
3.4.1	Pegmatito Facheiro I	27
3.4.2	Pegmatito Mina Velha	29
3.4.3	Minerais essenciais dos Pegmatitos: Quartzo, Feldspatos e Micas	31
3.4.4	Amostragem nas rochas pegmatíticas	33
3.4.5	Concentração de minerais metálicos	34
3.5	CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA: DRX, FRX, MEV (BSE) E EDS	35
3.6	APLICAÇÕES INDUSTRIAIS IMPORTANTES DE ALGUNS DOS CONSTITUINTES MINERAIS DOS PEGMATITOS	36
3.7	AS ATIVIDADES DE MINERAÇÃO NA REGIÃO SEMIÁRIDA NORDESTINA: UM BREVE PANORAMA SOCIOAMBIENTAL	39
4	METODOLOGIA E MATERIAIS	44
4.1	METODOLOGIA DE TRABALHO	44
4.2	MATERIAIS UTILIZADOS	47
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
6	CONCLUSÕES	75
7	RECOMENDAÇÕES	77
	REFERÊNCIAS	78

1 INTRODUÇÃO

A Província Pegmatítica da Borborema - PPB, que está inserida em partes dos Estados do Rio Grande do Norte e Paraíba, foi assim denominada por Scorza (1944), sendo uma província metalogenética definida por rochas pegmatíticas. A PPB está compreendida, de forma aproximada, pelas seguintes coordenadas geodésicas: 06°45' e 07°15' de latitude sul e 36°20' e 36°50' de longitude oeste, pertencendo à parte oriental da faixa de dobramentos Seridó (DA SILVA *et al*, 2010).

Esta Província Pegmatítica tem sido alvo de estudos há décadas pelos mais variados motivos: o aspecto econômico; o conhecimento das correlações entre granitos parentais e composição do magma primário e a compreensão das mineralizações de elementos raros e/ou de minerais específicos como a Turmalina Paraíba, entre outros.

Conforme o Plano de Desenvolvimento Preliminar – PDP, para elaboração do Arranjo Produtivo Local – APL, de minerais de pegmatito do Rio Grande do Norte e Paraíba, as atividades de mineração nestas rochas na Mesorregião do Seridó, cujo auge ocorreu na década de 1940, durante a Segunda Guerra Mundial, incentivaram, principalmente, a produção de minerais de berílio, de lítio e de tântalo. Mesmo com o fim da Guerra e a queda da demanda, firmou-se na região uma cultura de mineração ainda atual. (BRASIL, 2009, p.04)

Segundo Johnston Jr. (1945), a composição mineralógica essencial dos pegmatitos é de quartzo, feldspatos e micas, já os minerais acessórios, comumente, seriam pequenas inclusões de apatita, zircão e rutilo em quartzos ou feldspatos. Nos pegmatitos nordestinos, os minerais essenciais podem chegar a vários metros de tamanho e os acessórios seguem este mesmo padrão de escala.

As rochas pegmatíticas são ricas em minerais industriais, minerais metálicos e gemas; em alguns casos, há presença de elementos raros de significativo valor econômico para a indústria. Estas rochas apresentam, nas composições químicas de seus concentrados metálicos, elementos como Nióbio, Tântalo, Manganês, Ferro, Alumínio, Fósforo, Tungstênio, entre outros, além de Elementos de Terras Raras - ETR. O crescimento da demanda por estes metais e pela extrema importância deles para as indústrias de alta tecnologia, em especial,

pelas Terras Raras (LAPIDO-LOUREIRO, 2013) vem aumentando o interesse pelas rochas pegmatíticas.

Por todas as informações apresentadas acima, e pela quantidade de pesquisas executadas ao longo de décadas (JOHNSTON JR, 1945; DA SILVA & DANTAS, 1984; ERCIT, 1994; SOARES, 2004; COSTA-DE-MOURA, 2013) é possível afirmar que existe material disponível para conhecimento geológico, de nível estrutural e mineralógico dos pegmatitos.

A caracterização tecnológica dos minerais metálicos dos pegmatitos tem como principal finalidade o conhecimento sobre as composições químicas dos grãos dos concentrados gravimétricos, apontando a presença de metais e elementos importantes para produção industrial e tecnológica.

Além disso, as informações desta caracterização contribuem para o planejamento de uma separação eficaz dos metais contidos nos minerais, bem como para projeção de uma planta de beneficiamento mineral e uma posterior extração metalúrgica. Podendo também servir como parâmetros para estudos em outras rochas pegmatíticas.

As atividades de mineração no semiárido podem gerar ganhos exponenciais aos mineradores desta região, bem como melhorias socioeconômicas para a população, desde que sejam respeitados os padrões de eficiência produtiva, da lavra à separação/concentração de minerais metálicos, sem perder de vista as dimensões da sustentabilidade consequentes destas atividades.

Agregar valor aos minerais metálicos possibilita fomentar melhorias para as populações da região semiárida nordestina, cuja participação efetiva na extração destas rochas já é uma realidade, ainda que de forma ineficiente.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar as composições químicas dos concentrados metálicos contidos em duas rochas pegmatíticas, especialmente, dos minerais metálicos e seus elementos raros, levando em conta as dimensões do desenvolvimento sustentável (social, econômico, ambiental e tecnológico).

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar a composição química dos concentrados metálicos contidos nos pegmatitos eleitos para o estudo;
- Verificar a importância de uma separação/concentração eficaz dos metais e elementos raros da composição química;
- Contribuir com o planejamento das atividades de mineração na área pesquisada;
- Contribuir com a pesquisa para posterior extração metalúrgica;
- Discutir sobre a importância das atividades de mineração no semiárido nordestino ter enfoque social e ambiental, além de produtivo, considerando as necessidades de melhoria de vida das sociedades locais e da conservação ambiental.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 MAPEAMENTO GEOLÓGICO: INSERÇÃO NA GEOLOGIA REGIONAL

Os pegmatitos graníticos de idade Brasileira, (Neoproterozóico) estão encaixados, principalmente, em biotita-xistos da Formação Seridó e em quartzitos e metaconglomerados da Formação Equador. Na geologia, na estrutura interna e na mineralogia destas rochas continuam sendo observadas novas espécies minerais. (SOARES, 2004, p. 06)

Segundo Cavalcanti (2009) os principais depósitos minerais de pegmatitos no semiárido brasileiro estão distribuídos nas seguintes províncias pegmatíticas: oriental do Brasil, onde a porção norte abrange o nordeste de Minas Gerais e o sudeste da Bahia; Solonópole-Quixeramobim, no centro-leste do Estado do Ceará e Borborema-Seridó, na região limítrofe dos estados do Rio Grande do Norte e Paraíba.

Conforme Ferreira e Albuquerque (1969 *apud* SOUZA, 1998) a PPB está inserida em parte da Formação Seridó. As rochas predominantes nesta formação são biotita-xistos granatíferos, muscovita-xistos, xistos filitosos e clorita-sericita-xistos, com intrusões pegmatíticas, especialmente na sua porção leste.

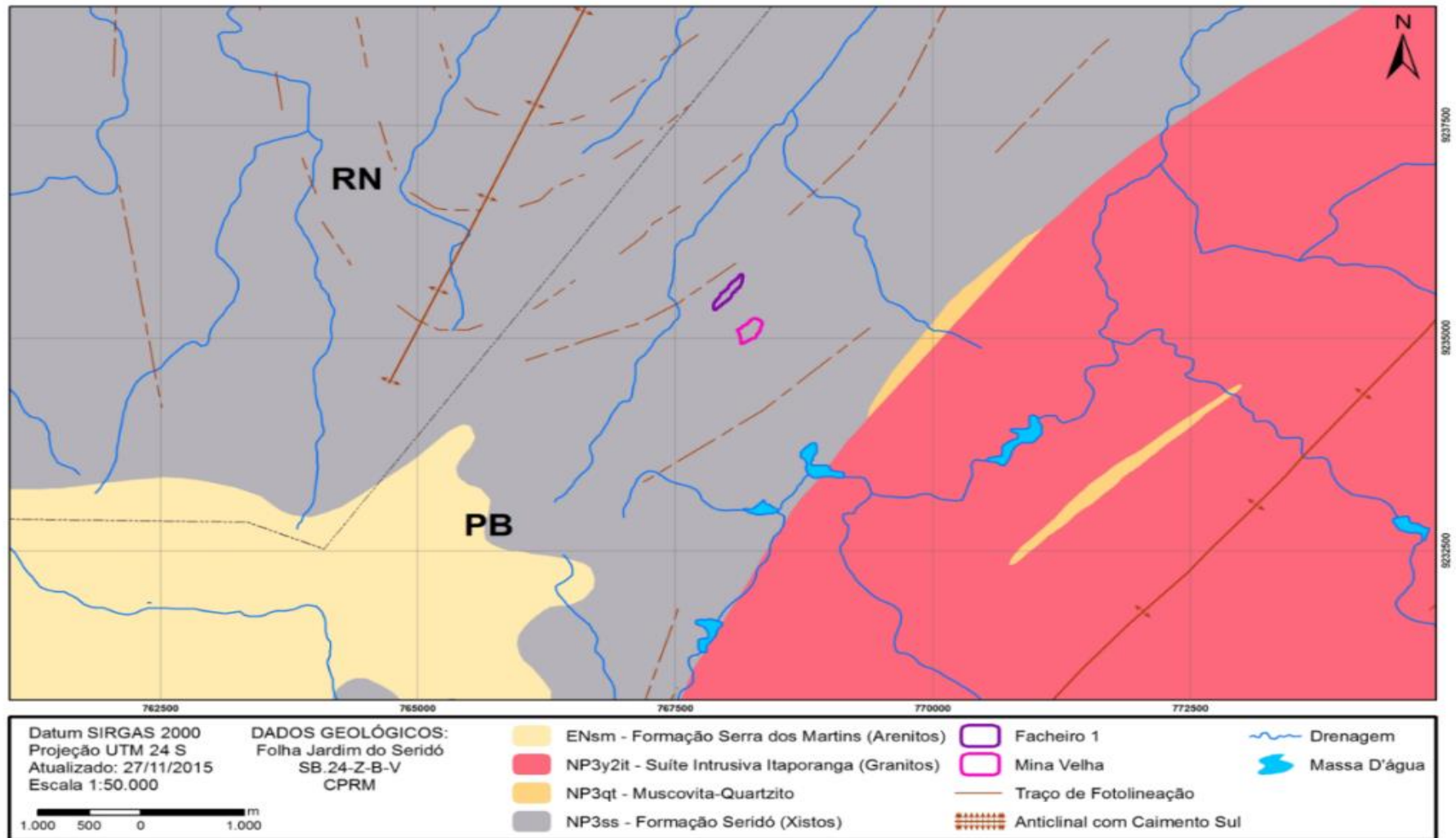
Segundo Soares (2013) existe presença notável de pegmatitos graníticos em toda a Faixa de dobramentos Seridó, onde está compreendida a área desta pesquisa, com pegmatitos graníticos demonstrando vários níveis de evolução geoquímica, mineralizados principalmente em Berilo, Tântalo-Nióbio, Estanho e Lítio.

De acordo com Lira (2014) os pegmatitos pesquisados apresentam a mesma orientação e comportamento com relação a sua geologia estrutural e estão encaixados na Formação Seridó. As duas rochas pegmatíticas têm mergulho aproximado entre 60° a 80° a Sudeste e na direção Nordeste, estando encaixados em biotita-xistos.

Ainda de acordo com observações de campo realizadas por Lira (2014) os pegmatitos mineralizados apresentam falhas e os planos destas apontam uma transição entre a parte mineralizada e a não mineralizada.

A figura 1 mostra um mapa geológico onde é possível observar os pegmatitos estudados nesta pesquisa inseridos na geologia regional.

Figura 1 – Pegmatitos pesquisados inseridos na Geologia Regional.



Fonte: Parcialmente compilado da CPRM e da UFRN (2015).

3.2 GEOLOGIA DOS PEGMATITOS: UMA ABORDAGEM GERAL

Os primeiros trabalhos sobre os pegmatitos da PPB se devem a Johnston Jr. (1945, p.17), que afirmou: “as rochas da região da PPB são, principalmente, gnaisses e micaxistos pré-cambrianos com intrusões de granitos cortados por pegmatitos e veios de quartzo”. Por serem rochas mais resistentes à erosão do que os xistos, os pegmatitos permanecem mais aparentes. Por isso são conhecidos como “altos”.

Outro pesquisador pioneiro foi Jahns (1955), que conceituou os pegmatitos como rochas de textura holocristalina (rocha composta inteiramente de cristais - o prefixo *holo* significa *totalmente* - sendo a maior parte das rochas ígneas classificadas neste tipo) que apresentam, em parte, uma granulação muito grosseira (pegmatítica) contendo, como maiores constituintes minerais, os encontrados tipicamente em rochas ígneas, plutônicas (intrusivas), mas caracterizando-se por muitas variações no que se refere ao tamanho dos grãos. Normalmente o tamanho dos grãos aumenta da borda para as porções centrais. Estas rochas apresentam-se em formato de diques e com massas e comprimento muito variáveis, indo de alguns metros até quilômetros. A forma destes corpos é influenciada pela rocha encaixante.

Segundo Vidal & Nogueira Neto (2005), o termo “pegmatito” pode ser usado para identificar corpos rochosos e, em situações específicas, indica a composição mineralógica destes ao denominá-los de *pegmatito granítico* e *pegmatito granodiorítico*. A diferença entre os dois, em linhas bastante gerais, é a relação quantitativa entre quartzo, feldspatos potássicos e plagioclásios. No *granítico* a diferença se dá, basicamente, pela presença mais significativa de feldspatos potássicos e, no *granodiorítico*, a predominância é de plagioclásios.

Vidal & Nogueira Neto (2005) fazem o seguinte apontamento sobre a composição dos pegmatitos graníticos:

Um pegmatito de composição granítica é constituído essencialmente por elementos como Si, Al, K, Na e Ca. Entretanto, certos elementos que estão dispersos nas rochas graníticas podem se concentrar nos pegmatitos sob a forma de minerais particulares, tais como berilo (Be), amblygonita e espodumênio (Li), tantalita-columbita (Nb-Ta), apatita e monazita (P, terras raras, Zr, Th, U, etc.). A possibilidade de tais concentrações torna os pegmatitos fontes naturais importantes de elementos químicos aplicáveis a vários processos de beneficiamento industrial. (VIDAL & NOGUEIRA NETO, 2005, p.68)

Segundo Dana (1978, p. 578), os depósitos minerais econômicos são relacionados com pegmatitos graníticos, cujos diques geralmente se originam em um processo residual de magmas com constituintes voláteis. A presença destes voláteis diminui a viscosidade e a temperatura do magma, facilitando a formação de grandes cristais. O produto desta cristalização se enriquece em elementos raros que estavam distribuídos no magma. Quando esta solução residual penetra nas rochas vizinhas, que estão em temperaturas mais baixas, cristaliza das margens para o interior, gerando, normalmente, uma distribuição em zonas, deixando um núcleo maciço de quartzo.

A presença de diversidade mineralógica dos pegmatitos pode ser explicada pela cristalização dos elementos residuais na fase volátil, sendo alguns destes: lítio (Li), berílio (Be), nióbio (Nb), tântalo (Ta), estanho (Sn) e urânio (U) (CAVALCANTI Nt. & ROCHA DA ROCHA, 2010).

A formação dos pegmatitos se dá conforme explicação a seguir:

A formação dos pegmatitos se dá na fase final de resfriamento do magma, através da percolação de soluções ricas em sílica, água e, ocasionalmente, em alguns íons que não entraram na estrutura cristalina dos minerais até então formados. A partir destas soluções hidrotermais são gerados os pegmatitos, constituídos principalmente por quartzo e feldspato potássico. No entanto, em alguns casos, estas soluções hidrotermais podem estar enriquecidas por elementos químicos de importância econômica fazendo com que os pegmatitos sejam mineralizados a tungstênio, uraninita, estanho, turmalina, topázio, etc. (CAVALCANTI Nt. & ROCHA DA ROCHA, 2010, p. 37)

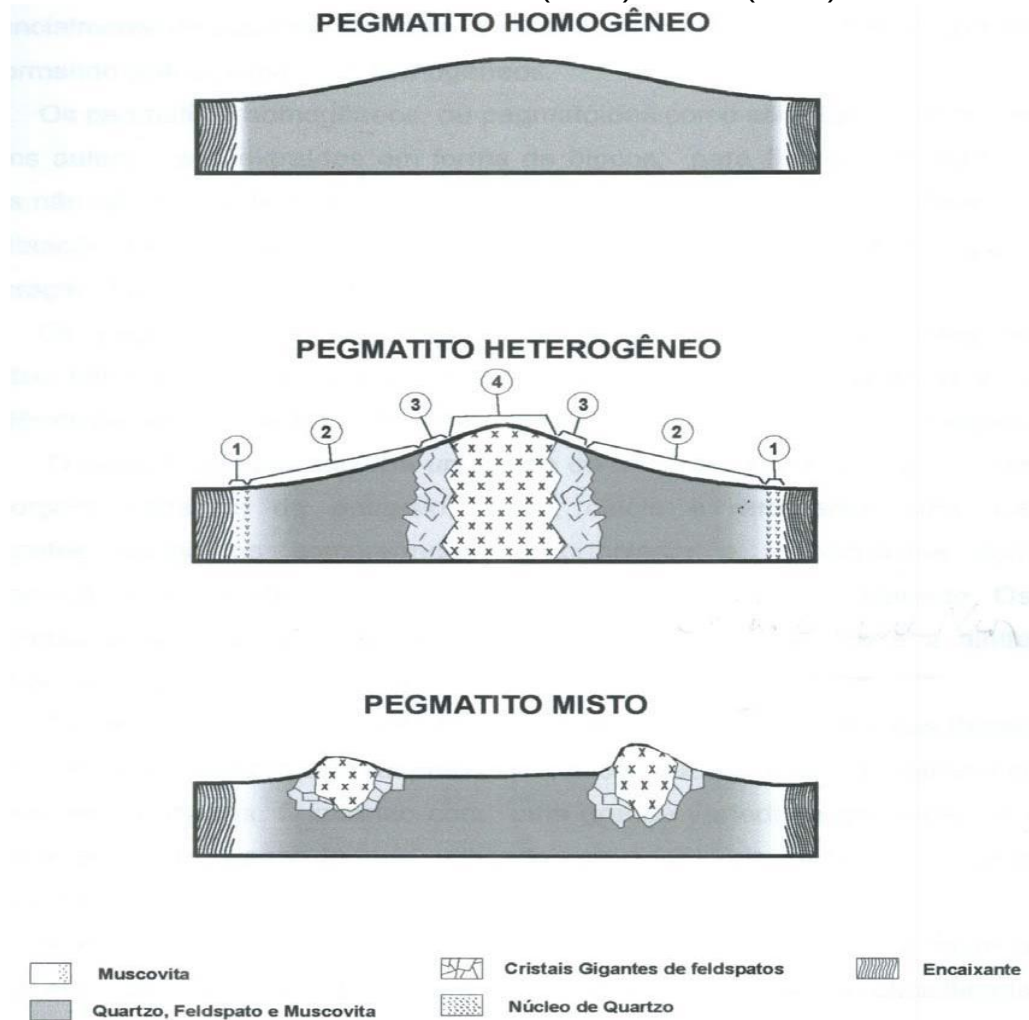
Johnston Jr. (1945) e Rolff (1945), considerando a formação estrutural e a ocorrência destes corpos rochosos, classificaram os pegmatitos da PPB em três tipos (figura 2): homogêneos, heterogêneos e mistos. Rolff (1946) propôs a localização dos minerais acessórios dos heterogêneos, que ocorrem em grande variedade, distribuídos dentro das zonas deste tipo de pegmatito (figura 3).

Cavalcanti Nt. & Rocha da Rocha (2010) afirmam que estas rochas podem ser classificadas também de acordo com sua mineralogia, podendo ser *pegmatitos simples* (plagioclásio, quartzo e mica não zonados) e *pegmatitos complexos* (maior variedade de minerais e fortemente zonados).

A caracterização dos pegmatitos homogêneos se dá pela distribuição regular de seus minerais essenciais (quartzo, feldspatos e micas) ao longo do corpo rochoso, onde a granulometria apresenta variação de centímetros a decímetros, com intercrescimento gráfico entre quartzo e feldspatos que geralmente ocorre na zona III.

Os corpos pegmatíticos podem atingir quilômetros de extensão, mantendo espessuras métricas e contatos bruscos com as rochas encaixantes. (VIDAL & NOGUEIRA NETO, 2005).

Figura 2 – Classificação estrutural dos pegmatitos conforme Johnston Jr. (1945) & Rolff (1945).

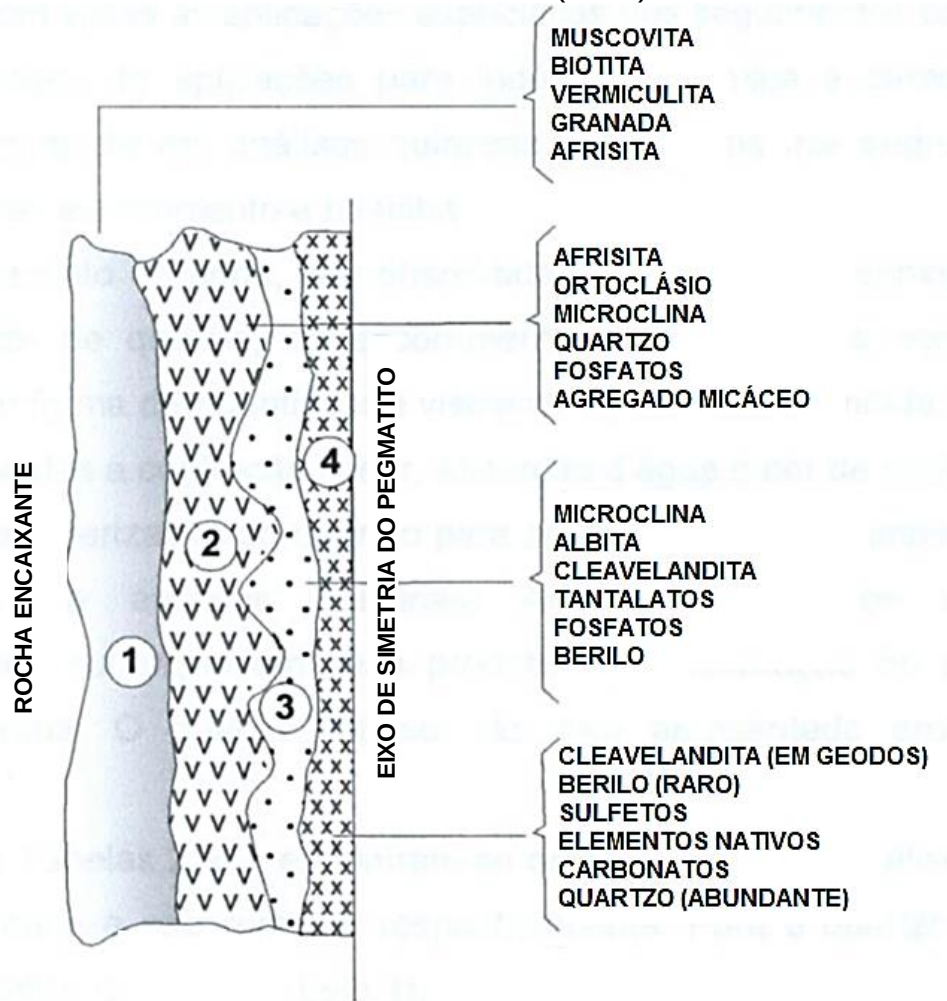


Fonte: VIDAL & NOGUEIRA Nt, (2005).

Nos pegmatitos heterogêneos os minerais se apresentam preferencialmente em cada uma das quatro zonas distintas, dispostas em relação ao centro do pegmatito, descritas como Zona I, Zona II, Zona III e Zona IV, propostas por Johnston Jr. (1945), sendo uma classificação similar à de Cameron et al. (1949), onde a zona I é *border zone*, a zona II é *wall zone*, a zona III é *intermediate zone* e a zona IV é *core zone*. Nos pegmatitos heterogêneos, a zona III de Johnston Jr. (1945) - *intermediate zone* de Cameron et al. (1949) - é a unidade econômica e nela estão berilos, tântalos, turmalinas, entre outros.

Na concepção de Rolff (1946 *apud* VIDAL & NOGUEIRA Nt, 2005, p.70) os pegmatitos mistos seguem as seguintes características: são intermediários entre os homogêneos e os heterogêneos; apresentam bolsões de quartzo, localizados na massa pegmatítica semelhante à Zona II dos pegmatitos heterogêneos; em torno desses bolsões existe uma zona semelhante à Zona III dos pegmatitos heterogêneos; e as mineralizações econômicas, nestes locais, são geralmente disseminadas.

Figura 3 – Posição relativa dos minerais nas zonas de pegmatitos baseada em Rolff (1946).



Fonte: Adaptada de LIMA (2002) *apud* VIDAL & NOGUEIRA Nt, (2005).

Em conformidade com a divisão proposta por Johnston Jr. (1945) e Rolff (1946), o quadro 1 demonstra as principais características das zonas dos pegmatitos heterogêneos e mistos.

Quadro 1 – Características das zonas de mineralização dos pegmatitos heterogêneos e mistos

ZONA	CARACTERÍSTICAS
I	Localizada na marginal, espessura fina, variando de alguns centímetros até aproximadamente um metro e apresenta descontinuidade. De difícil reconhecimento, pelo caráter transicional entre as rochas encaixantes e as zonas mais externas dos pegmatitos. A textura é aplítica, constituída por feldspato, quartzo e placas bem desenvolvidas de muscovita. Os minerais acessórios são comumente afrisita, cassiterita, e mais raramente, granada. Em algumas ocorrências essa zona é mais desenvolvida quando o pegmatito está alojado em xisto. Em alguns pegmatitos, principalmente encaixados em xistos.
II	Denominada mural ou parede, pode ser bem desenvolvida em muitos pegmatitos e ausente em outros. Assemelha-se a um pegmatito homogêneo em sua granulação, composição e estrutura, ocupando o maior volume do corpo, passando gradativamente para Zona 3.
III	Intermediária, notável pela sua variedade mineralógica, caracterizada pela presença de feldspatos em cristais gigantes, e diversificados minerais minérios como amblygonita, berilo, columbita-tantalita, espodumênio, turmalinas e outros minerais acessórios.
IV	Ocupa a porção axial do pegmatítico, constituída por um núcleo de quartzo de cores variadas, disposto simetricamente ou não em relação às outras zonas. O quartzo pode ocorrer de forma regular, irregular, ou fragmentado em grandes blocos, devido principalmente à tectônica local. O quartzo pode ocorrer nas variedades róseo, fumê ou leitoso em grandes blocos. Os minerais acessórios são, em sua maioria, encontrados no núcleo ou no contato com a Zona 3.

Fonte: Adaptado de VIDAL & NOGUEIRA Nt, (2005).

A presença de diversidade mineral torna os pegmatitos rochas importantes como fontes de matéria prima para vários processamentos industriais. Alguns minerais ocorrem predominantemente em pegmatitos como a tantalita-(Fe), tantalita-(Mn), euclásio, entre outras ocorrências (SOARES, 2004).

3.3 PEGMATITOS DA PROVÍNCIA BORBOREMA: LOCALIZAÇÃO E BREVE HISTÓRICO DE EXPLORAÇÃO MINERAL

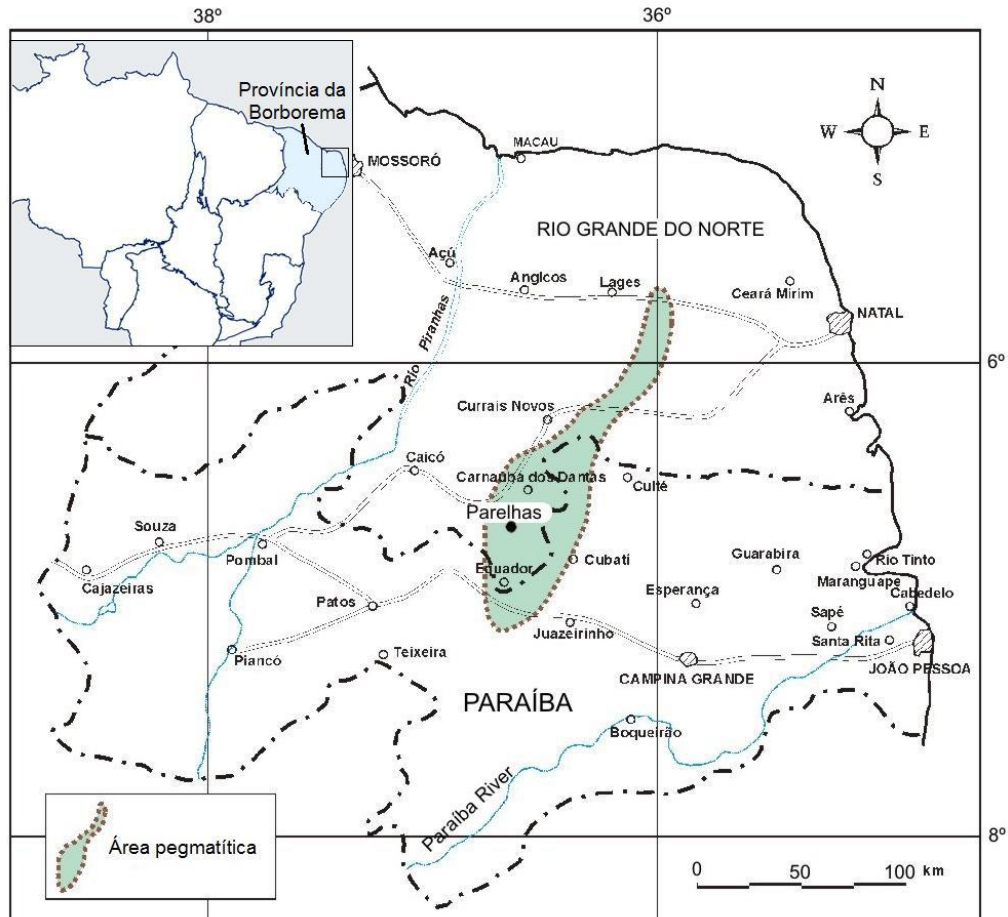
A PPB é uma província metalogenética, ou seja, um segmento crustal com o mesmo tipo de mineralização e, normalmente, seus pegmatitos graníticos são mineralizados em elementos raros, enriquecidos principalmente em Be, Nb-Ta, Sn, Li e Bi. (SOARES, 2004, p. 06).

Conforme Da Silva et al. (1995) a área aproximada de concentração dos pegmatitos da PPB é de 75 x 150 km², no Sudeste da Faixa de dobramentos Seridó, localizada entre os estados do RN e da PB, sendo estas rochas, majoritariamente, encaixadas em micaxistos, quartzitos e gnaisses do Grupo Seridó e, em número menor, nos gnaisses e migmatitos do Complexo Gnáissico-Migmatítico (LUZ et al, 2003).

Segundo Silva e Crósta (2011) e Silva et al. (2010), na Formação Seridó existem mais de 1.500 pegmatitos produtores de metais raros (Be, Ta-Nb, Li e Sn), de

gemas e de minerais industriais (feldspato, caulim e quartzo), em uma área de ocorrência de cerca de 10.000 km². A figura 4 mostra a área pegmatítica da PPB.

Figura 4 – Mapa de localização da área pegmatítica nos Estados do RN e PB.



Fonte: CPRM (2013) *apud* COSTA-DE-MOURA (2013, p. 04).

Segundo Luz et al. (2002) e Da Silva e Dantas (1984), as atividades de mineração em seus primeiros registros na lavra de pegmatitos na PPB ocorreram na época da I Guerra Mundial, objetivando a produção de mica.

A partir da segunda metade da década de 1930 intensificou-se a busca por minerais de tântalo e nióbio, desencadeando o aumento da exploração de pegmatitos, que atingiu seu nível máximo durante a II Guerra Mundial. A figura 3 mostra a área Pegmatítica da PPB.

Sobre a qualidade e os rumos da produção mineral da região na época:

Em razão das demandas do esforço de guerra, a prioridade era produzir a qualquer custo, induzindo na região uma cultura de lavra ambiciosa e predatória, em muito facilitada pelo grande número de pegmatitos aflorantes na Província, o que perdura até hoje. Após a guerra, o aproveitamento de minerais de pegmatitos tornou-se uma atividade sazonal, comandada, seja pela busca de meios de sobrevivência pelos sertanejos, em épocas de secas prolongadas, seja por eventuais episódios de melhoria de preços no mercado internacional para os minerais metalíferos (LUZ et al. 2002, p. 03).

Ainda de acordo com Luz et. al (2002), o conhecimento econômico e científico adquirido ao longo de anos de estudos não foram aplicados para promover melhorias nas metodologias de extração e beneficiamento, uma vez que as mesmas continuam reproduzindo práticas das primeiras décadas de atividades extrativas na PPB.

Desde a II Guerra Mundial até os dias atuais, os pegmatitos são trabalhados do mesmo modo: nos homogêneos realiza-se a extração de todo o corpo (desmonte integral); nos pegmatitos heterogêneos a extração se processa na zona III (zona intermediária), onde estão presentes os minerais de interesse econômico – berilo, óxidos de Nb-Ta, turmalinas (normalmente elbaítas), e outros (SOARES, 2004).

Além disso, é preciso observar as relações entre a exploração mineral no semiárido e a problemática ambiental, para perceber os impactos gerados pela lavra predatória e desmontes parciais, realizados de forma rudimentar, sem aproveitar de maneira racional os pegmatitos da região, já que uma lavra carente de tecnologia deixa cavas irrecuperáveis para trabalhos futuros ou com fortes implicações de ordem econômica para um aproveitamento posterior.

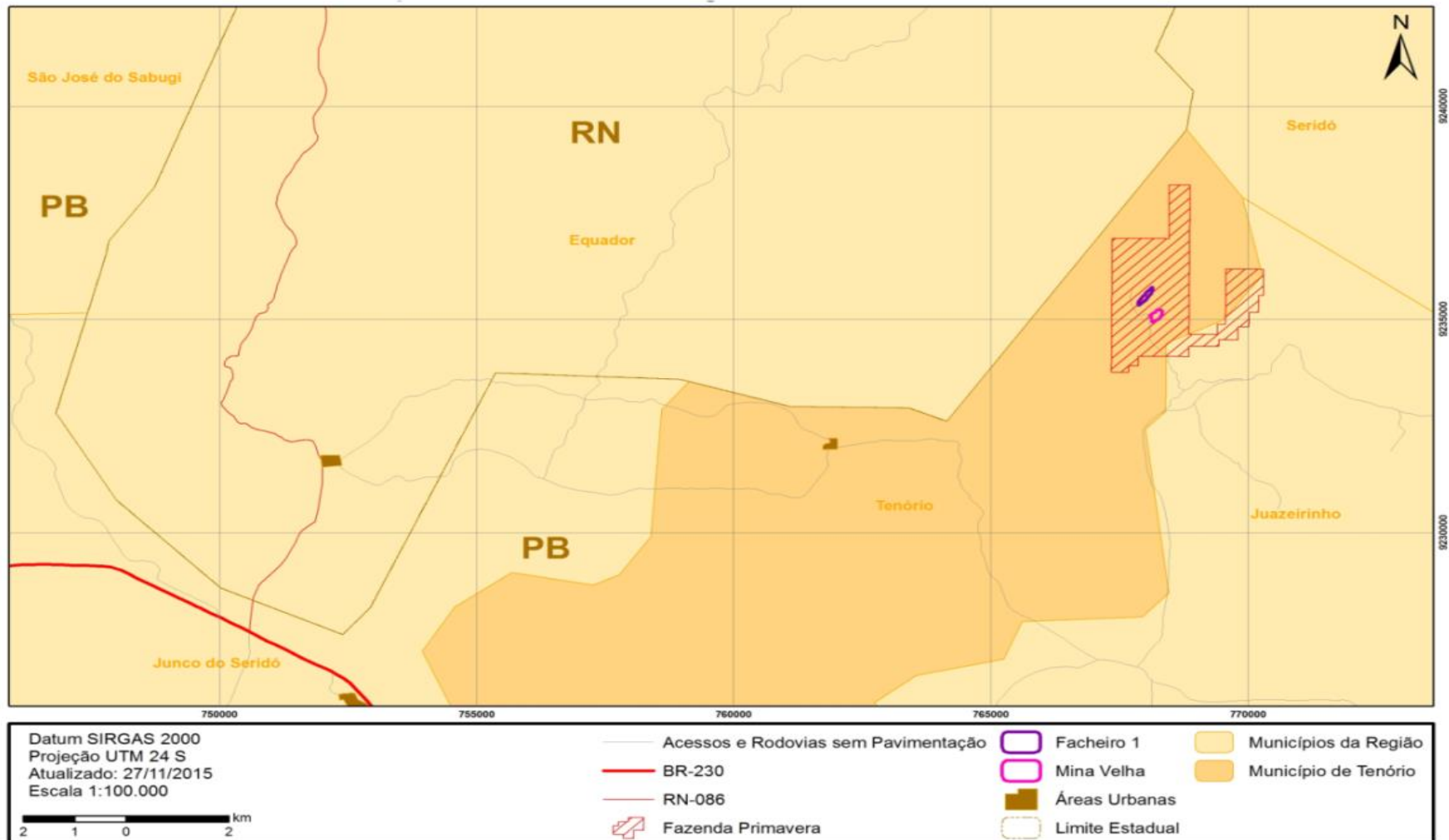
Outro setor impactado pela lavra desordenada é a socioeconômica local, já que ainda se utilizam metodologias ineficazes de extração mineral, especialmente na separação/concentração dos minerais metálicos dos pegmatitos, onde há pouco ou nenhum conhecimento entre os mineradores, sobre a qualificação e quantificação das composições físico-químicas destes, obtidos principalmente por concentração gravimétrica.

3.4 PEGMATITOS DA FAZENDA PRIMAVERA: CONSIDERAÇÕES GERAIS DE PESQUISA E EXPLORAÇÃO

Conforme Lira (2014) a área final de pesquisa dos pegmatitos da Fazenda Primavera é de 451 hectares, resultantes de uma área requerida no DNPM (inicialmente de 1.999 hectares, protocolada sob número de registro 846344/2010).

Na figura 5, é mostrado um mapa onde estão localizados os pegmatitos na área final e, na figura 6, é apresentada uma imagem georreferenciada da região dos pegmatitos pesquisados. Foi utilizado o repositório do Google® como fonte, através do *plugin OpenLayers Plugin* desenvolvido para o Quantum GIS.

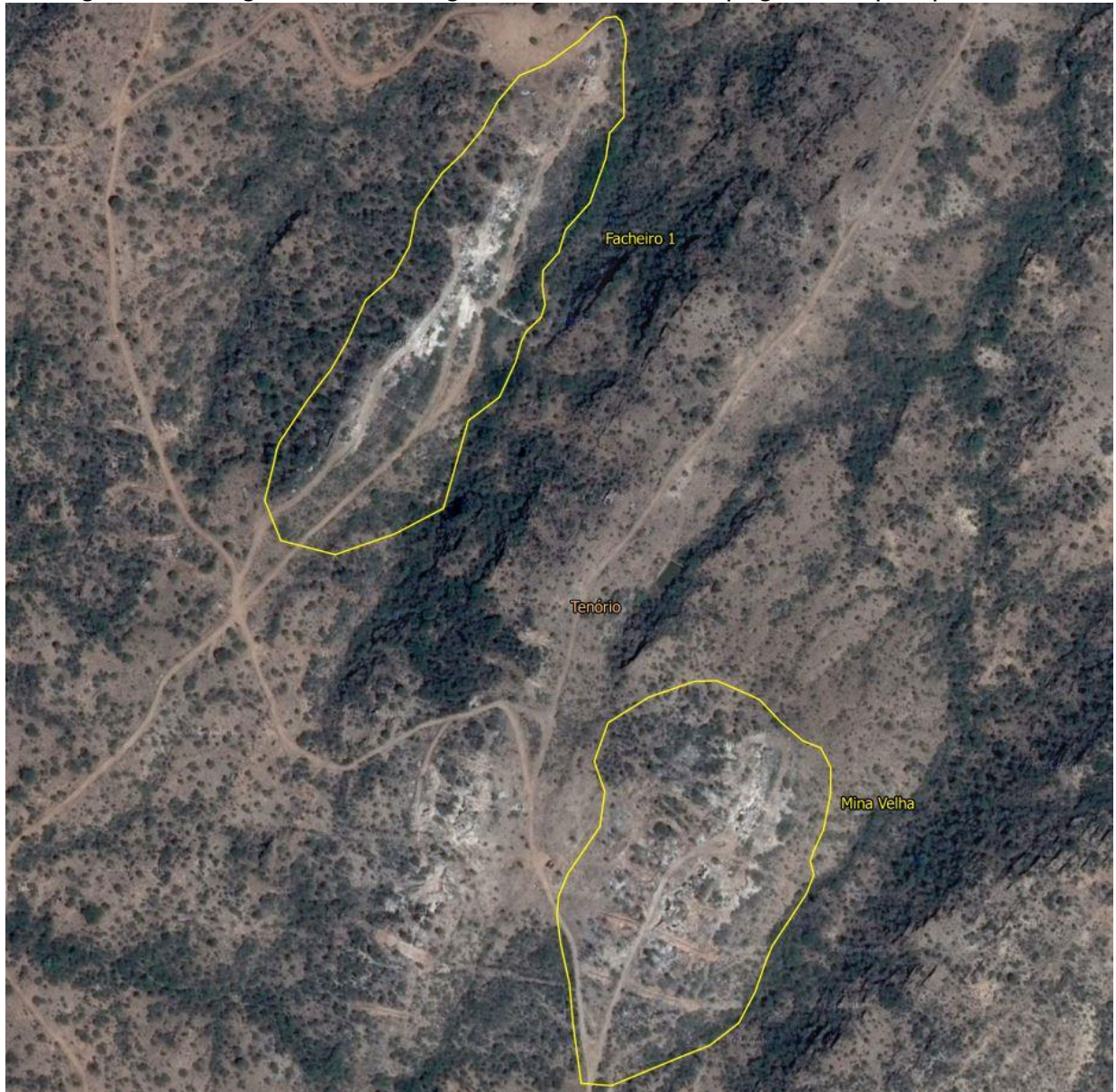
Figura 5 – Mapa de localização dos pegmatitos pesquisados.



Fonte: Elaborado pela autora deste trabalho, baseada em imagens de satélite e dados da CPRM e IBGE (2015).

Esta área final de pesquisa, dentro dos limites da Fazenda Primavera, está inserida na PPB no estado da Paraíba. As coordenadas geográficas no sistema de referência (Datum) SIRGAS 2000, do centro dos corpos hospedeiros da mineralização são: latitude 06°54'37,76" S e longitude 36°34'29,06" W para o pegmatito Facheiro I e latitude 6°54'53,21" S e longitude 36°34'23,34" W para o pegmatito Mina Velha (LIRA, 2014).

Figura 6 – Imagem de satélite georreferenciada dos pegmatitos pesquisados.



Fonte: Elaborado pela autora com base em imagens de satélite e dados do CPRM e IBGE (2015).

É possível observar nas figuras 7 e 8 que foram realizados trabalhos de acessibilidade nos pegmatitos pesquisados. Estas figuras são referentes ao pegmatito Facheiro I, e evidenciam que o mesmo foi explorado por mineradores artesanais com acesso ao corpo mineralizado e galeria já abertos.

Segundo Lira (2014), a figura 7 ilustra o acesso à rocha mineralizada como evidência de atividades de mineração, expondo os cristais de feldspato e quartzo notáveis. A figura 8 demonstra a galeria subterrânea deste mesmo pegmatito, que foi utilizada para obter dados de cubagem da jazida, através de sondagens e análises de ocorrência na rocha encaixante.

Figura 7 – Vista do Pegmatito Facheiro I – Acesso ao corpo mineralizado



Fonte: LIRA (2014).

Figura 8 – Vista do Pegmatito Facheiro I – Galeria

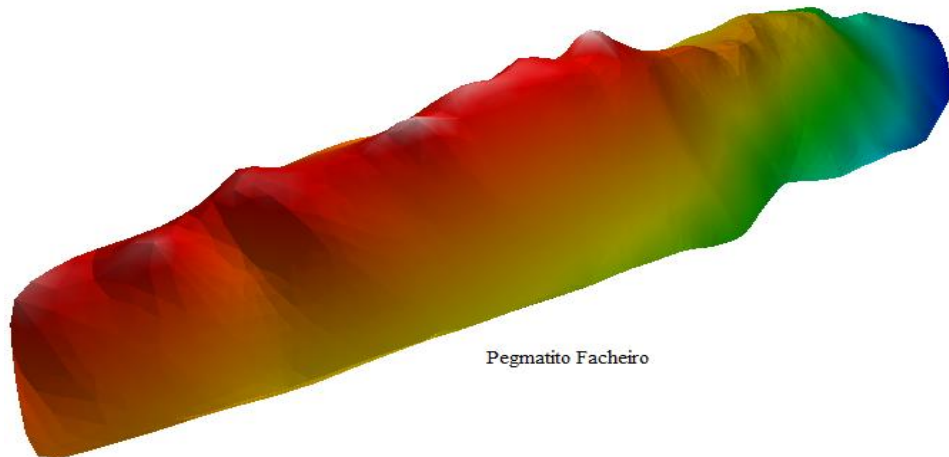


Fonte: LIRA (2014).

As figuras 9 e 10, com as ilustrações tridimensionais, evidenciam as diferentes formas dos dois corpos rochosos pesquisados, além de apontar suas cotas máximas representadas na cor vermelha e as bases superficiais na cor azul.

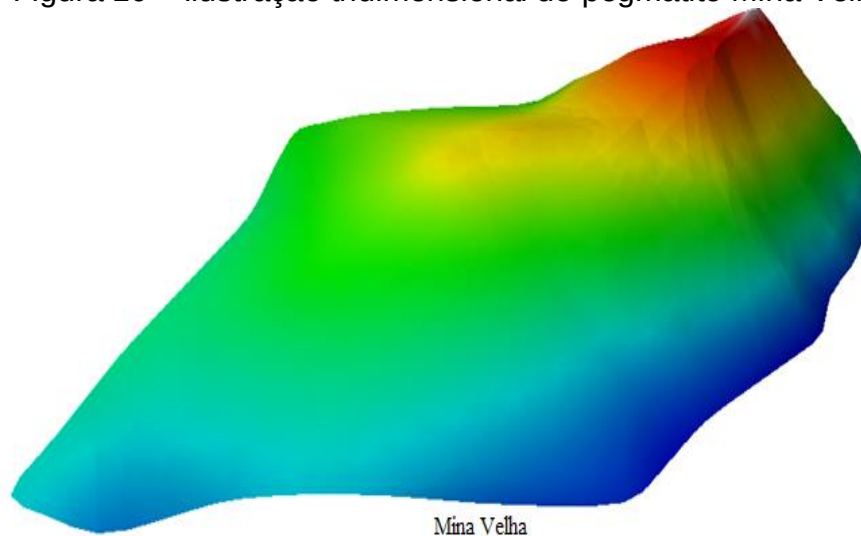
Conforme informações de Lira (2014) a cota máxima do pegmatito Facheiro I é de 522 metros e do pegmatito Mina Velha é de 574 metros. As imagens abaixo (figuras 9 e 10) são para ilustrar em 3 dimensões as formas percebidas na figura 6.

Figura 9 – Ilustração tridimensional do pegmatito Facheiro I



Fonte: Elaborada por LIRA (2014) em software *Data GEOSIS*.

Figura 10 – Ilustração tridimensional do pegmatito Mina Velha.



Fonte: Elaborada por LIRA (2014) em software *Data GEOSIS*.

Os pegmatitos desta pesquisa, Facheiro I e Mina Velha, são estruturalmente heterogêneos e de mineralogia classificada no tipo complexo, o que significa diversidade mineralógica, e conforme dados que serão apresentados no capítulo 5, são mineralizados em minerais metálicos.

Para o entendimento da escolha das rochas pegmatíticas a serem pesquisadas e exploradas, é preciso considerar alguns fatores. Sobre o ponto de vista econômico para esta escolha, que é bastante paradoxal, existe uma cultura de “preconceito” por parte dos pesquisadores e mineradores locais:

Do ponto de vista econômico, os pegmatitos heterogêneos, ou zonados, são os que historicamente registram, de longe, na Província, o maior volume de produção de minerais metalíferos, micas e pedras coradas e também de feldspatos nobres para fins cerâmicos e indústria de vidros. No entanto, zonas de dominância de pegmatitos homogêneos e mistos (por exemplo, Seridozinho, Tara e Pedras Pretas, PB), têm registros históricos de alta produção de tantalita, cassiterita, espodumênio e berilo, a partir de mineralização disseminada, de baixo atrativo para a técnica usada pelos garimpeiros, porém ideal para operações mecanizadas de desmonte integral em grandes volumes. A notória ausência de pesquisas sistemáticas na Província Seridó-Borborema tem privilegiado a exploração dos pegmatitos heterogêneos, em razão dos mesmos, via de regra, se destacarem como “altos”, ou ressaltos topográficos mais resistentes à erosão, sendo, portanto, de fácil localização pelos garimpeiros e prospectores (LUZ et al. 2002, p.644).

Conforme Luz et al. (2002), há uma tendência de classificar os pegmatitos simples/homogêneos como estéreis, ideia considerada por estes autores como *“resultado de uma abordagem simplista, empírica e sem base científica provada”*.

Portanto, considerando a formação estrutural e mineralogia, os pegmatitos pesquisados apresentam características ideais, sob o ponto de vista tradicional de escolha para pesquisa e exploração. Ainda que estas não devam ser condições primordiais para as escolhas, já que na maior parte das pesquisas as rochas eleitas são pegmatitos do tipo granítico, que podem apresentar zoneamentos internos ou não; assim, ambos os tipos de pegmatito, tanto em relação à estrutura quanto à mineralogia, têm potencial econômico para os minerais essenciais como quartzo, feldspatos e micas, além dos minerais acessórios como o grupo-columbita e outros.

3.4.1 Pegmatito Facheiro I

Conforme Lira (2014), no pegmatito Facheiro I foi observada a indicação de presença da columbita-tantalita, conforme ilustram as figuras 11 e 12. Neste pegmatito, a feição feldspática apresenta-se friável com a presença, em alguns pontos, de formação de caulinita pela decomposição química do feldspato, além de ser uma rocha mineralizada em minerais metálicos.

Ainda de acordo com Lira (2014), a figura 11 evidencia um indicador inicial para a necessidade da separação/concentração dos minerais metálicos e

para a realização de caracterização tecnológica, visando identificar a composição química dos concentrados metálicos desta rocha.

Figura 11 – Pegmatito Facheiro I com indicação de Columbíta-Tantalita



Fonte: LIRA (2014).

Figura 12 – Rocha mineralizada (biotita-xisto)



Fonte: LIRA (2014).

A figura 13 mostra bolsões de quartzo no pegmatito Facheiro I, além de rejeito de material beneficiado e escavações realizadas por mineradores nas proximidades da rocha. No quadro 2 são destacadas as ocorrências da trincheira 1 deste pegmatito, bem como a presença de bolsões e veios de quartzo. (LIRA, 2014).

Figura 13 – Trincheira 1 - Bolsões de quartzo e rejeitos de escavações



Fonte: LIRA (2014).

Quadro 2 - Localização e ocorrências da trincheira 1 - Pegmatito Facheiro I.

Trincheira	Latitude	Longitude	Ocorrências
1	-06° 54' 50,93"	-36° 34' 33,00"	Medidas: comprimento 13,10 m x largura 1,20 m x altura 1,70 m; Encaixante: Xisto apresentando veios de quartzo.
	-06° 54' 50,82"	-36° 34' 33,30"	

Fonte: LIRA (2014).

3.4.2 Pegmatito Mina Velha

O pegmatito Mina Velha, estruturalmente heterogêneo, e de acordo com sua mineralogia, é complexo, apresentando características conforme ilustrado nas figuras 14, 15 e 16. São detalhes observados nas trincheiras 1, 3 e 5, onde é possível perceber bolsões de quartzo na trincheira 1, veios deste mesmo mineral na trincheira 3 e a escavação da trincheira 5 atravessando outro bolsão de quartzo.

Figura 14 – Bolsões de quartzo na Trincheira 1 do pegmatito Mina Velha.



Fonte: LIRA (2014).

Figura 15 – Detalhes da ocorrência de veios de quartzo na Trincheira 3 do pegmatito Mina Velha



Fonte: LIRA (2014).

Figura 16 – Trincheira 5 do pegmatito Mina Velha escavada em um bolsão de quartzo.



Fonte: LIRA (2014).

Outras observações de destaque realizadas nas trincheiras deste pegmatito foram à presença de veios de quartzo de largura aproximada de 1,80m (metros), além de veios de turmalina preta (conhecida como “carvão” pelos mineradores artesanais) e coleta de amostras de minerais conforme os dados contidos no quadro 3.

Quadro 3 – Localização e ocorrências das trincheiras - Pegmatito Mina Velha.

Trincheira	Latitude	Longitude	Ocorrências
1	-06° 54' 35,09"	-36° 33' 34,47"	Medidas: Comprimento 91,4m x Largura 1,20m e Altura (em média) 1,50m; Veios: Quartzo/Coordenadas: S 06° 54' 53" e W 36° 34' 22"; 1,80m de largura.
	-06° 54' 34,89"	-36° 33' 36,37"	
3	-06°54'35,81"	-36° 33' 7,13"	Medidas: Comprimento 94,7m x Largura 1,20m x Altura 1,50m; Veios: Quartzo/Coordenadas 06° 54' 52" e W 36° 34' 23", com 1,50m, intercalado com veio de “carvão” (turmalina preta) de coordenadas S 06° 54' 53" e W 36° 34' 22"
	-06° 54' 36,85"	-36° 33' 6,66"	
	-06° 54' 56,17"	-36° 34' 23,05"	
5	-06° 54' 54,87"	-36° 34' 22,79"	Medidas: Comprimento 40,9 m x largura 1,20m x altura 6m; Veio de quartzo: 10m de diâmetro. Nesta trincheira foi coletada amostra de mão para minerais não metálicos e de canal para metálicos.
	-06° 54' 51,21"	-36° 34' 22,83"	

Fonte: LIRA (2014).

3.4.3 Minerais essenciais dos Pegmatitos: Quartzo, Feldspatos e Micas.

Os pegmatitos Facheiro I e Mina Velha são graníticos, compostos por quartzos leitosos, K-feldspatos, plagioclásios e muscovita predominantemente, conforme observações de campo. (LIRA, 2014)

Os pegmatitos graníticos são considerados importantes fontes de minerais para base industrial. O quartzo hialino, a forma de cristalização mais livre de impurezas deste mineral, é usado na indústria de eletrônicos, sendo encontrado apenas em depósito pegmatíticos e veios, cujas condições geológicas são raras e

em proporções reduzidas considerando o todo da jazida (VIDAL & NOGUEIRA NETO, 2005).

Conforme Vidal e Nogueira Neto (2005) o quartzo leitoso, proveniente dos depósitos pegmatíticos, corresponde à produção total deste mineral e sua aplicação se dá nas indústrias de vidro, de fundição e cerâmica.

De acordo com observações de Lira (2014), nos pegmatitos Facheiro I e Mina Velha existem três tipos de quartzo e estes foram denominados, para efeito de identificação, como: tipo A, que não demonstra nenhuma inclusão de minerais associados; tipo B, onde nota-se alguma inclusão de tantalita; e, por fim, tipo C, que não é aproveitado economicamente e constitui os rejeitos.

Conforme Moraes e Hecht (1997), os principais minerais do grupo dos feldspatos são ortoclásio/microclínio (K-feldspatos), albita e anortita (plagioclásios).

A indústria cerâmica utiliza o feldspato potássico (K-feldspatos) como fundente, já que seu ponto de fusão é menor que o da maioria dos outros componentes, atuando na cimentação das partículas cristalinas, além de ser aplicado na produção de porcelana, na indústria vidreira, na fabricação de esmaltes, de azulejos, de papel, entre outras aplicações (MORAES & HECHT, 1997).

Segundo Lira e Neves (2013) os feldspatos alcalinos são mais comercializáveis do que os feldspatos plagioclásios (albita e anortita) e Motter (2000 *apud* LUZ & COELHO, 2005) informa que na indústria cerâmica o grupo dos feldspatos é representado por duas séries de minerais, sendo eles a albita (feldspato sódico) e o ortoclásio ou o microclínio (feldspatos potássicos). A anortita (feldspato cálcico) é usada raramente na indústria cerâmica, por se tratar de um mineral muito refratário.

Nesta indústria, os feldspatos potássicos e sódicos têm comportamentos diferenciados durante a queima. Os sódicos são caracterizados por apresentar baixo ponto de fusão (algo próximo de 1.170°C) além de fusão abrupta, bem como retração e fusibilidade que dependem da temperatura. Além disso, a massa fundida utilizando os feldspatos sódicos apresenta viscosidade mais baixa, motivo pelo qual na indústria cerâmica, este feldspato é mais propenso à formação de peças deformadas ou empenadas, já que os limites térmicos para trabalhar são menores (MOTTER, 2000 *apud* LUZ & COELHO, 2005).

Os feldspatos potássicos, por outro lado, têm ponto de fusão mais elevado (cerca de 1.500°C) e seu comportamento cerâmico é mais progressivo. Em relação à massa fundida utilizando o feldspato potássico, esta apresenta maior viscosidade e os limites térmicos de trabalho são mais amplos. (MOTTER, 2000 *apud* LUZ & COELHO, 2005).

Nos pegmatitos Facheiro I e Mina Velha, a predominância é de Feldspatos potássicos, com presença menos significativa de Feldspatos albiticos.

As micas, segundo Vidal e Nogueira Neto (2005), formam um grupo de alumino silicatos potássicos hidratados, com arranjo cristalográfico em folhas (filossilicatos). Os tipos de minerais mais importantes do grupo das micas são a muscovita, a flogopita, a biotita, a vermiculita, a lepidolita e a zinvaldita.

Conforme Lira (2014), as micas encontradas nos pegmatitos Facheiro I e Mina Velha são predominantemente aquelas do tipo muscovita, classificadas comercialmente como *scrap* (mica lixo) ou de imperfeições de estrutura e tipo *flake* (de corte em padrões retangulares).

O teste realizado por Lira (2014) para atender ao propósito de um desmonte integral destas rochas para a empresa MINEGRAN teve como objetivo avaliar a qualidade dos constituintes essenciais das rochas pesquisadas, já que os mesmos compõem algo próximo de 95 a 97% dos pegmatitos.

3.4.4 Amostragem nas rochas pegmatíticas

Segundo Lira (2014), em seu relatório de pesquisa mineral para exploração destes pegmatitos, as amostragens devem ser realizadas ao longo de toda a rocha pegmatítica.

Ainda conforme relatos de Lira (2014), para obter minerais do grupo columbita nos pegmatitos e ampliar as margens de segurança no que se refere à medição do teor de minério, o método a ser utilizado é o de amostragem de volume, obtido através de amostragens de canal. Este trabalho de amostragem pode ser realizado nos pisos expostos pelas trincheiras executadas, através de canal escavado, atravessando e envolvendo os dois lados do núcleo de quartzo existente nos pegmatitos.

Lira (2014) afirma que, para abertura do canal de amostragem, deve-se considerar a largura da rocha exposta pelas trincheiras, as paredes de galerias e

os túneis, onde devem ser coletadas amostras em vários pontos ao longo dos pegmatitos, identificando em relação ao pegmatito de origem e encaminhando, na sua totalidade, para o pátio de estocagem, armazenando em pilhas individuais para cada pegmatito, para posterior cominuição e classificação. Ressaltando que, para realização das amostragens, podem ser aproveitados locais que sofreram escavações durante trabalhos anteriores de mineração.

3.4.5 Concentração de Minerais Metálicos

A obtenção de um concentrado mineral passa por etapas prévias de tratamento. Estas etapas são denominadas de cominuição e classificação, onde a primeira tem como objetivo fragmentar a rocha, separando fisicamente o mineral minério do mineral sem interesse econômico, preparando-o para a etapa posterior, que é a de classificar em tamanhos adequados para concentrar o minério.

A concentração mineral é realizada para separar os minerais de interesse daqueles que não o são. Para isso, é necessário que o mineral ou minerais minério não estejam agregados fisicamente aos que não têm valor econômico. Por esse motivo, é preciso eficiência nas etapas de fragmentação e classificação, já que elas são responsáveis pela separação e pelo seu monitoramento, respectivamente.

Para uma etapa de concentração eficaz do ponto de vista de custo operacional e produtivo, é utilizado o método de concentração gravimétrica, onde esta concentração/separação é realizada com base na diferença de densidade (minerais com densidade maior que $2,85 \text{ kg/m}^3$ são considerados pesados), forma e tamanho existente entre os minerais. (LOPES, 2015)

O método de concentração por gravidade (gravimétrica) é bastante consolidado na identificação de minérios, e é utilizado na mineração desde o princípio de suas atividades, até os dias de hoje.

Neste processo, são utilizadas forças centrífugas, por meio fluido, ar ou água, para concentrar/separar os minerais minério e a “ganga” (minerais sem interesse econômico). Os equipamentos utilizados para realizar a concentração/separação de minerais são jigues, mesas vibratórias, classificadores espirais, entre outros. (LOPES, 2015)

Nos jigues a separação dos minerais de diferentes densidades é realizada em um leito dilatado por uma corrente pulsante de água, separando os minerais leves e os pesados. Nas mesas vibratórias a separação é por meio de um mecanismo que provoca o aumento da velocidade no sentido da descarga do concentrado e uma reversão súbita no sentido oposto. A separação nos classificadores espirais ocorre quando a espiral é alimentada e esta alimentação resulta em uma variação de velocidade causada pela trajetória helicoidal, esta variação é menor na trajetória dos minerais pesados e bem maior na dos minerais leves. (LOPES, 2015)

3.5 CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA: DRX, FRX, MEV (BSE) E EDS

As técnicas de Difractometria de Raios-X (DRX), Fluorescência de Raios-X (FRX), Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e identificação de composição química pontual via espectrômetro por dispersão de energia (EDS) são bastante difundidas na caracterização tecnológica de minerais e materiais.

Segundo Neumamm et al. (2002, p. 66) a Difração de Raios-X é uma ferramenta básica para caracterização tecnológica de minérios, já que a mesma consiste, em linhas muito gerais, na leitura da interação entre ondas na frequência de Raios-X (normalmente entre 0,70 e 2,30 Å) com os planos de repetição sistemática do retículo cristalino.

A Fluorescência de Raios-X é outra técnica bastante difundida por seu caráter semiquantitativo na indicação da composição química dos minerais. Esta técnica realiza análises para obter resultados qualitativos e semiquantitativos se baseando na medição das intensidades dos Raios-X característicos, emitidos pelos elementos que constituem as amostras, quando excitados por elétrons, prótons ou íons produzidos em aceleradores de partículas ou ondas eletromagnéticas, além do processo mais comum, que é através de tubos de Raios-X (MELO Jr., 2007, p.47).

O MEV é um equipamento imprescindível à caracterização de minérios e materiais, especialmente se contar com um espectrômetro de dispersão de energia acoplado (EDS) o que permitirá a determinação dos elementos químicos de forma pontual em área de até 2 µm de diâmetro. Este equipamento tem seu

princípio de funcionamento baseado na interação entre um feixe de elétrons e a superfície da amostra (NEUMAMM *et al*, 2002, p. 69 e 70).

Neumamm *et al* (2002) destacam sobre a utilização do detector de elétrons retroespalhados do MEV, para a tecnologia mineral:

Em tecnologia mineral, as imagens mais importantes são as de elétrons retroespalhados (no inglês *backscattered electrons* - *BSE*), que são os elétrons do feixe que se choca com as eletrosferas dos átomos e são arremessadas de volta, e detectados num detector que circunda a abertura inferior da coluna de elétrons. Nestas imagens, o nível de cinza é proporcional ao número de elétrons, e consequentemente ao peso atômico médio em cada *pixel* da imagem, o que a torna, de maneira indireta, uma imagem composicional. A importância destas imagens para caracterização de minérios e materiais é exatamente esta, uma vez que é possível separar as fases pela resposta do detector, o seu nível de cinza (NEUMAMM *et al.*, 2002, p.70)

3.6 APLICAÇÕES INDUSTRIAIS IMPORTANTES DE ALGUNS DOS CONSTITUINTES MINERAIS DOS PEGMATITOS

Conforme Lira (2014), os pegmatitos são modelos de depósitos minerais extremamente erráticos na sua distribuição mineralógica, sendo menor a mineralização do grupo-columbita na Zona I, em relação à Zona III.

Ainda conforme estes autores, na zona III os minerais do grupo columbita são encontrados em quantidades significativas e formato de blocos e chapas bem desenvolvidos, por isso a execução de amostragens pontuais do corpo pegmatítico pode se revelar ineficiente para identificação da composição mineral contida nesta massa rochosa.

Sobre a importância dos pegmatitos graníticos, destaca-se o seguinte:

Os Pegmatitos graníticos são importantes fontes de minerais econômicos, tais como quartzo, feldspatos, caulim, micas e gemas (...). São também fontes principais ou exclusivas de alguns metais raros como Ta, Li e Cs (...), podendo produzir Sn, W, ETR, como subprodutos. (SOARES, 2004, p.16)

Os minerais constituintes, tanto os essenciais (quartzo, feldspatos e mica) quanto os encontrados de forma disseminada nos pegmatitos (grupo columbita, Elementos de Terras Raras - ETR, entre outros), são base para a indústria e, em alguns casos como os ETR, estas indústrias são de alto nível tecnológico.

Considerando as características e particularidades físico-químicas destes minerais, observamos no quadro 4 algumas das aplicações industriais de seus produtos.

Quadro 4 – Aplicações de alguns constituintes minerais dos pegmatitos.

Mineral	Produto	Aplicação
Columbita-tantalita	Nióbio	Pela sua alta afinidade com o carbono e o nitrogênio, o nióbio forma com estes carbonetos e carbonitretos. Para obter propriedades específicas, ajustam-se os níveis de carbono e nióbio e as condições de processamento. Na indústria do aço, o nióbio é adicionado na forma de ferro-nióbio e encontra sua aplicação principal em produtos de aço microligado (aços contendo pequenas adições de Nb, Ti ou V, normalmente menores que 0,10%) e em aços inoxidáveis.
Columbita-tantalita	Tântalo	Produção de eletroeletrônicos para fabricação de equipamentos de tecnologia como capacitores, placas e circuitos de computadores, computadores quânticos, submarino atômico, foguetes, celulares, componentes e peças para automóveis de última geração, além de turbinas de aviação, usinas geradoras de energia em geral, instrumentos cirúrgicos, próteses para implantes, equipamentos de grande desempenho para o uso de energias limpas, etc.
Feldspato	Feldspato	Base da produção das indústrias de vidros planos e de cerâmicas para porcelanato; na fabricação de azulejos para revestimento de pisos e paredes, louça sanitária, porcelana elétrica, etc. Tem a função de formar uma fase vítrea, promovendo uma vitrificação e transluzimento. Os feldspatos são usados no vidro vitrificado como fonte de álcalis e alumínio, tanto para o vidro quanto para cerâmica, contribui como fonte de SiO ₂ ; outra aplicação do feldspato é como carga funcional e extensor, nas indústrias de tintas, plásticos e borrachas.
Quartzo	Silício	Base nas usinas metalúrgicas, produção de fibras óticas e a produção de Silício Grau Metalúrgico (SGM), Silício Grau Solar (SGS) e Silício Grau Eletrônico (SGE).
Micas		
Revestimento		Produção de janelas e protetores, de filtros ópticos, fornos micro-ondas, janelas de alto forno, placas de retardo em lasers de hélio-neon, vidro de proteção em vaporizadores de alta pressão, condensadores, transformadores, reostatos, fusíveis e bulbos incandescentes. Placas de mica com espessura de 20-100 µm e metalizadas com uma pasta de prata são usadas para formar eletrodos com espessura menor que 3 mm e de capacitância controlada (vidro é usado como agente de fusão). A liga metalizada entre esses dois elementos permite difusão de calor sobre ampla superfície.
Cimento		Ao adicionar 4-20% de mica ao cimento, diminui-se a viscosidade aparente e a razão cimento/água, além de melhorar a resistência à corrosão por ácido clorídrico e sulfúrico. Reduz, também, a penetração em superfícies porosas, melhorando a massa do cimento usado para preencher vãos. Assim é usado em placas de gesso, à prova de fogo, e painéis pré-fabricados.
Tinta e papel		A mica (entre 100 – 325 mesh) é usada em tintas de emulsão, pintura de revestimento, tintas texturizadas e tintas anticorrosivas; Em quantidades entre 20% e 40%, a mica age como reforço para prevenir contra escorrimto e como uma barreira contra raios UV e calor.
Plásticos		A Mica contribui para estabilidade dimensional, proteção contra o calor, impermeabilidade, isola gases e aumenta resistência a raios UV. São usadas em termoplásticos, partes automotivas de polipropileno e compostos para moldes de metais.
Lama de perfuração		Usa-se mica como material de circulação, selando aberturas e fraturas encontradas durante a perfuração em formações rochosas muito porosas ou fraturadas, além de ser usada para suspender outros sólidos. Sua estrutura facilita o envolvimento de partículas para formar uma camada que irá agir como selante nas aberturas e fraturas, garantindo a circulação e mantendo os sólidos em suspensão. Além dos usos citados acima, as Micas ainda são usadas em compostos para hastes de solda, revestimento de papel de parede, telhas, neve artificial, explosivos e desinfetantes.
Moscovita moída a úmido		A moscovita moída a úmido é utilizada devido a suas propriedades de brilho, deslizamento e alta razão de aspecto.

Pigmento perolizado	A moscovita é usada como substrato no recobrimento de vários metais para obter o efeito perolizado. Em certos tipos de plásticos o recobrimento com moscovita é utilizado como agente corante.
Pintura externa	A moscovita atua como reforço do pigmento, para reduzir trincas e a penetração nas superfícies porosas e fornece excelente adesão.
Tintas aluminadas	A moscovita substitui o alumínio em até 25% e é utilizada como uma medida econômica a este tipo de tinta. Além disso, a moscovita é inerte e protege o alumínio reativo de atmosferas corrosivas, promovendo a manutenção do brilho da tinta.
Plásticos	É usada como carga para melhorar a qualidade de resistência térmica e elétrica e sua qualidade isolante. Embora também seja usada a moscovita moída a seco para este tipo de aplicação, a moscovita moída a úmido possui maior aceitação neste tipo de mercado devido à sua propriedade de extrusão.
Moscovita micronizada	A Moscovita micronizada é aquela composta de partículas muito finas, abaixo de 40 um. Esse produto é usado, para substituir a moscovita moída a úmida em certos tipos de tintas. Além disso, a moscovita micronizada, de preferência calcinada, é também usada em aplicações cosméticas como esmaltes de unha, batons, sombras e cremes, em decorrência da sua elevada luz ultravioleta, excelente lubricidade, adesão à pele e compressibilidade; É coberta por alguns metais como o dióxido de titânio, para produzir esse efeito perolizante.
Alguns Elementos de Terras Raras - ETR	
Neodímio	É um elemento extremamente magnético que permite a fabricação de alto-falantes em tamanhos cada vez menores, contendo alta potência de som. Ocorre o mesmo na fabricação de HDs, para que sejam ainda menores e mais rápidos em velocidade de transferência de dados. O neodímio é utilizado ainda na produção do ímã com maior poder no mundo. Em celulares, sua aplicação é o que possibilita que esses aparelhos possam vibrar. Duas toneladas desta terra rara são necessárias para construir uma unidade de turbina eólica – importante geradora de energia sustentável. O elemento é necessário já que esta turbina necessita do seu magnetismo.
Lantânio	É um minério utilizado em lentes de câmeras e de telescópios, para melhorar a acuidade visual. É importante no refinamento de petróleo, durante o processo de craqueamento. Promove a quebra de moléculas de peso elevado cuja presença é de baixo valor comercial no combustível, transformando-as em moléculas leves e com valor mais elevado.
Praseodímio	É utilizado na fabricação de metais de alta resistência, cuja aplicação se dá em motores de aeronaves.
Cério	É utilizado em conversores catalíticos que reduzem a toxicidade dos gases liberados por motores de combustão interna.
Gadolínio	É um elemento utilizado em instrumentos que contam com o uso de Raios-X e ressonância magnética.
Samário	É utilizado na indústria de cinema, nas lâmpadas de eletrodos de carbono.
Érbio	Utilizado em Cerâmicas, na indústria de vidros para coloração, fabricação de fibras óticas, de lasers e em aplicações nucleares.

Fonte: Adaptado de CBMM (2015); LIRA (2014); LOBATO (2009); LOPES (2015) e LAPIDO-LOUREIRO (2013).

A extração de minerais para aplicação de seus produtos em processos industriais gera impactos socioeconômicos e ambientais negativos para as sociedades locais, entre outros aspectos pela falta de planejamento e monitoramento dessas atividades.

3.7 AS ATIVIDADES DE MINERAÇÃO NA REGIÃO SEMIÁRIDA NORDESTINA: UM BREVE PANORAMA SOCIOAMBIENTAL

É de conhecimento geral que as atividades de mineração são causadoras de impactos ambientais negativos bastante significativos. Contudo, se estas atividades forem planejadas e monitoradas, os impactos positivos podem ser relevantes, especialmente no âmbito social.

Segundo Medeiros et al. (2012), em documento elaborado para o Instituto Nacional do Semiárido (INSA), os 1.135 municípios que estão inseridos oficialmente no semiárido Brasileiro, totalizam uma área de 980.133 km², aproximadamente. Esta área está compreendida, quase que em totalidade, nos estados do nordeste do país.

Conforme Perlatti (2009, p.06), em diagnóstico realizado pelo DNPM sobre a Mineração no Semiárido, a estimativa é de que vivam mais de vinte milhões de pessoas nas regiões semiáridas brasileiras, ou seja, aproximadamente 47% das pessoas que vivem no nordeste.

Os estados do RN e PB compreendem a área da PPB, onde está contida a pesquisa deste estudo, por isso é necessário contextualizá-los na região semiárida.

De acordo com Sinopse do Censo Demográfico para o Semiárido Brasileiro, realizado para o INSA (MEDEIROS et al., 2012), usando dados de 2010 do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), dos 223 municípios do estado da Paraíba, 170 estão nesta região, o que representa 15% do total da região semiárida no país e 76,23% do estado.

Ainda em conformidade com o levantamento realizado para o INSA, dos 56.469,466 km² do estado da Paraíba, 48.676,947 km² estão no semiárido, representando 86,20% do estado. A população Paraibana é estimada em 3.766.528 habitantes; destes, 2.092,400 vivem na região semiárida, representando 55,55% da população total do estado. (BRASIL, 2010; MEDEIROS et al., 2012)

As informações desta mesma fonte para o estado do Rio Grande do Norte revelam que, dos 167 municípios, 147 estão na região semiárida, o que representa 13% do total da região semiárida no país e 88,60% do estado. Na área de 52.810,699 km² do estado, 49.097,482 km² estão inseridos no semiárido, representando 92,97% do mesmo. (BRASIL, 2010)

A população do RN é estimada em 3.168.027 habitantes, sendo 1.764.735 habitantes da região em questão, representando 55,70% da população do estado vivendo em regiões semiáridas. (BRASIL, 2010)

Estas informações comprovam que quantidades populacionais significativas habitam esta região, havendo, portanto, urgência de melhorias na estrutura socioeconômica dos seus municípios, fortemente castigados pelo clima predominantemente seco, o que dificulta e até impossibilita as atividades de agricultura.

Neste contexto, a mineração se apresenta como alternativa de renda, nascendo, nesta relação entre clima seco e sobrevivência, a personagem do minerador-agricultor.

A melhoria das condições de trabalho e de renda, além da redução dos impactos ambientais nesta região, são fatores que apontam para a necessidade de discutir a importância das atividades de mineração nestes Estados, já que seus limites compreendem a PPB, localidade rica em recursos minerais.

A figura 17 demonstra a nova delimitação do semiárido de acordo com a Portaria Interministerial nº06 do Ministério da Integração Nacional (BRASIL, 2005), onde é possível observar a inserção quase total dos estados do Rio Grande do Norte e da Paraíba dentro dos limites estabelecidos pela linha que marca a abrangência da região semiárida Brasileira.

Figura 17 - Nova delimitação do semiárido



Fonte: Ministério da Integração Nacional (2005).

A presença de minerações artesanais na PPB, funcionando de modo inseguro, sem fiscalização e promovendo uma forma predatória de lavra, tem sido motivo para a implantação de uma cultura que promova condições de trabalho mais seguras, de aproveitamento máximo na extração mineral e da eficiência na recuperação de seus constituintes metálicos, com planejamento para mitigação dos impactos ambientais e recuperando as áreas degradadas.

As atividades de mineração em pegmatitos no semiárido nordestino são caracterizadas pelo uso intenso de mão-de-obra, pelo nível de mecanização ausente ou extremamente reduzido, pelos padrões de segurança inexistentes ou insatisfatórios, pela produtividade e recuperação mineral baixa, pela informalidade e, por fim, pelo nível mínimo ou inexistente de preocupação com implicações ambientais (BARRETO, 2001).

Conforme Tabarelli (2000), percebe-se que a região semiárida do Brasil vem sofrendo muitas alterações provocadas pela ação antrópica. Estas provocam a diminuição da população de espécies vegetais nativas para substituição por pastagens e culturas agrícolas, sendo as atividades de mineração mais um fator para contribuir com a degradação local.

Assim sendo, podemos avaliar o quanto é significativo o planejamento das atividades de mineração nesta região, além da consolidação de ações necessárias para a condução destas atividades voltadas para a promoção do desenvolvimento econômico e sustentável.

Conforme Parahyba (2009), os motivos mais apontados para o abandono de algumas áreas de atividade mineral, notadamente no município de Juazeirinho – PB foram as dificuldades dos mineradores artesanais para obter recursos objetivando a aquisição de equipamentos.

Na ausência de recursos para realizar os investimentos em tecnologia e equipamentos de mineração para produzir de forma mais eficiente e atenuar a degradação ambiental, os mineradores artesanais se lançam em métodos inadequados de extração e processamento mineral, o que gera desperdício de mais de 50%, de acordo com contabilização realizada por Cavalcanti Nt. e Brito (2009, p. 26).

A falta de recursos financeiros e tecnológicos, além da insuficiência de conhecimento na aplicação de técnicas para recuperar elementos raros, especialmente em pegmatitos mineralizados em minerais metálicos, tem por

consequência perdas econômicas incalculáveis e interrupção das atividades, já que, sem tecnologia e retorno financeiro, torna-se inviável a recuperação ambiental.

Para Barreto (2001), as minerações consideradas artesanais merecem destaque pela sua importância permanente no contexto social e da produção mineral brasileira, mas são carentes de tecnologia apropriada e conhecimento. Sobre isso aponta:

A mineração é hoje uma das mais importantes atividades econômicas do Brasil, inegavelmente dela decorreram impactos sociais, econômicos e ambientais negativos. Entretanto, esses impactos podem ser minimizados, se a atividade for planejada e executada dentro do conceito de sustentabilidade. (BARRETO, 2001, p. 81)

Tratar o segmento da mineração como os demais, no que tange à relação com o meio ambiente, sem observar suas particularidades, é complexo, já que esta atividade depende da extração de recursos naturais em locais determinados e imutáveis, normalmente remotos, virgens da presença humana e, por isso, os impactos negativos são maiores. Não deixando de ressaltar que, de fato, a mineração é agente de degradação, mas os impactos positivos existem e devem ser considerados com todos os seus fatores medidos, desde a fase pré-lavra até o fechamento das atividades de mineração e após estas. (BARRETO, 2001)

É importante destacar que a recuperação de minas não deve ser encarada como um evento isolado, pertencente a apenas uma determinada época de um empreendimento mineiro, neste caso o fechamento ou finalização. É preciso iniciar as ações para esta recuperação na fase do planejamento e terminar pós-lavra, sendo integrado ao processamento mineral, já que o estudo para recuperar as áreas degradadas não pode ser pensado para depois de encerrada a fase de lavra, já que isto pode significar custos altos e degradação ambiental inaceitável. (BARTH, 1989)

Portanto, desenvolver uma região tão rica em recursos naturais é necessário, contudo é preciso avaliar as dimensões de desenvolvimento em seus mais variados aspectos, especialmente os da sustentabilidade, para promoção de melhorias socioeconômicas associadas à mínima degradação ambiental. Lembrando que a solução não são mais minerações, e sim mais pesquisa e planejamento, para empreendimentos que desenvolvam o semiárido nordestino, com o mínimo de degradação.

4 METODOLOGIA E MATERIAIS

4.1 METODOLOGIAS DE TRABALHO

Na primeira etapa foi realizada revisão bibliográfica acerca da geologia, composição mineralógica e classificações dos pegmatitos, bem como sobre a existência de técnicas propostas para exploração integral dos mesmos, desde seus minerais essenciais até os acessórios, em especial os concentrados de minerais metálicos, alvo da caracterização tecnológica desta pesquisa.

Foram disponibilizadas informações do Relatório de Pesquisa Mineral da área estudada, elaborado por Lira (2014), para composição de quadros informativos sobre dados dos pegmatitos pesquisados, bem como confecção de mapas de localização e geológico, além de informações gerais sobre as rochas pesquisadas.

Os mapas foram elaborados a partir de carta do Serviço Geológico do Brasil e dados de satélite, e confeccionados em software específico para esta finalidade (especificações na seção 4.2).

Além disso, foi pesquisado sobre as implicações ambientais geradas pelas atividades de mineração no semiárido nordestino, observando-se os impactos socioeconômicos e ambientais, positivos e negativos, para as sociedades do entorno.

Para a obtenção dos concentrados metálicos desta pesquisa, foram realizados em circuito descontínuo, conforme relatos e execução de Lira (2014), os ensaios de fragmentação, classificação e concentração nos pegmatitos, de acordo com as seguintes etapas:

1. Amostragem de canal;
2. Britagem das amostras dos pegmatitos em britador de mandíbulas;
3. Material processado em Jigue;
4. Moagem realizada utilizando um moinho de martelo;
5. Separação/concentração gravimétrica do produto da moagem, usando mesas vibratórias;
6. Limpeza de concentrado em separador magnético.

A figura 18 ilustra o jigue e as mesas vibratórias cujos produtos foram os concentrados metálicos pesquisados. Estes equipamentos foram montados em galpão da Fazenda Primavera e constituem a planta piloto para testes de beneficiamento mineral.

Figura 18 – Jigue e Mesas para concentração gravimétrica da Planta Piloto na Fazenda Primavera.



Fonte: LIRA (2014).

Na segunda etapa, em metodologia baseada em Oliveira & Aquino (2007), foram obtidas 2 amostras. A primeira com peso de 2.123,5g do pegmatito Facheiro I (mesa 1 = 1.008,2g e mesa 2 = 1.115,3g) e a segunda com peso de 2.124,1g do pegmatito Mina Velha (mesa 1 = 1.087,7g e mesa 2 = 1.036,4g).

Estas amostras são concentrados de minerais metálicos separados gravimetricamente (previamente fragmentados e classificados), por vez, Jigue e mesas vibratórias, e limpas em separador magnético, onde os procedimentos para cada pegmatito foram em conformidade com a descrição a seguir:

1. Foram homogeneizadas na totalidade as amostras coletadas, oriundas das duas mesas vibratórias para garantia da homogeneidade;
2. Em sequência foram pesados 2 Kg da amostra global coletada;
3. A amostra totalizando 2 Kg foi homogeneizada e quarteada, ficando 1 Kg para reserva técnica;

4. O 1 Kg restante foi homogeneizado e quarteado, duas vezes, até uma alíquota de 250g;
5. Estes 250g foram homogeneizados e quarteados, onde 125g foram reservados e os outros 125g foram para redução granulométrica;
6. Foram reduzidos granulometricamente 125g para uma alíquota de 120g com partículas de aproximadamente, 74 μ m (micrometros), sendo enviadas duas amostras, de 25g cada, para análises de DRX e FRX, e 10g para análises em MEV e EDS.

Os procedimentos acima, bem como o preparo das amostras para as análises de Difratomia e Fluorescência de Raios-X foram executados no Laboratório de Laminação e Preparo de amostras do Grupo de Pesquisa Mineral (LAPRAM - GPM) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do RN (IFRN).

No LAPRAM foram realizadas as homogeneizações em lonas, com 20 repetições cíclicas de levantamento das bordas, para que os grãos dos concentrados minerais deslizassem uns sobre os outros garantindo a homogeneidade das amostras.

Os quarteamentos foram realizados utilizando o método de formação de pilha cônica, onde forma-se uma pilha cuja segregação do material deve ser simétrica ao vértice do cone, sendo ele achatado para dividir o material em quatro partes. Duas partes em diagonal são selecionadas e unidas, e outras duas descartadas, seguindo este procedimento até obter as amostras nas alíquotas desejadas (OLIVEIRA & AQUINO, 2007).

Ainda no LAPRAM, as amostras foram reduzidas granulometricamente (redução manual) para obter a granulometria necessária à realização das análises de difração de Raios-X (DRX), fluorescência de Raios-X (FRX) que é de menor/igual a 74 μ m.

As 4 amostras de 25g cada (2 para DRX e 2 para FRX referente a cada pegmatito) de concentrados de minerais metálicos, obtidos por concentração gravimétrica, foram embaladas individualmente e enviadas ao laboratório de caracterização tecnológica do Núcleo de Estudos em Petróleo e Energias Renováveis (NUP-ER) da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) onde foram realizadas as análises no Difrátômetro de Raios-X e na Fluorescência de Raios-X.

Para análises de FRX não foi realizada a perda ao fogo prévia, por se tratar de material com quantidades de componentes orgânicos insignificantes, já que é oriundo de processos de separação e concentração bastante expressivos.

Para as primeiras análises qualitativas em MEV e EDS, 2 amostras de 10g cada (1 em referência a cada pegmatito), foram enviadas para o Laboratório de Ensaio de Materiais do Centro de Tecnologia do Gás (CT Gás), e foram previamente postas em porta amostras individuais, fixadas em fita dupla face de carbono e metalizadas em ouro para condução elétrica.

No MEV, as amostras foram analisadas no detector de elétrons secundários para obtenção de imagens e, por EDS, para primeira leitura de dados acerca da composição química.

Posteriormente, para confirmação dos dados obtidos na análise anterior e para uma leitura mais detalhada, foram enviadas 2 amostras de 10g cada (1 em referência a cada pegmatito) para o Laboratório de Caracterização de Minerais/Materiais (LACAMM) do IFRN.

Estas foram analisadas em MEV e EDS, utilizando o detector de elétrons retro espalhados (no inglês *backscattered electrons* - *BSD*) para a geração de imagens, visualização de contrastes de cinza entre grãos e composição química dos dois concentrados de minerais metálicos, sob condições prévias idênticas às realizadas no CT Gás.

4.2 MATERIAIS UTILIZADOS

O mapa com os pegmatitos pesquisados inseridos na geologia regional (Figura 1 desta pesquisa) foi construído no software ArcGis versão 10.1, a partir de dados da carta Jardim do Seridó SB.24-Z-B-V da CPRM. Neste mesmo software também foi executado o mapa de localização das rochas pesquisadas (Figura 5), com base em informações da área colhidas no site do IBGE. Já a imagem satelital georreferenciada dos dois pegmatitos foi obtida via Google Satellite (Figura 6).

As homogeneizações dos concentrados metálicos (pegmatitos Facheiro I e Mina Velha) foram executadas usando duas lonas: uma de 250 cm² para as amostras entre 2000 e 1000g e outra com 90 cm² para amostras entre 500 e 125g.

O quarteamento foi realizado usando instrumento manual (quarteador manual) de aço inox em formato de lâmina, com 15 cm de altura e 20 cm de largura,

para divisão das alíquotas. As reduções da granulometria das amostras foram realizadas utilizando almofariz e pistilo de porcelana. As classificações foram executadas em peneira padrão Tyler, com abertura de 74 μm (ou 200 mesh; #200) e aparador, ambos de aço inox.

Os Difractogramas foram obtidos em um equipamento Shimadzu XRD 6000, onde as condições de operação para obtenção dos mesmos foi a seguinte: radiação Cu K α (40 kV/40 mA); velocidade do goniômetro de 0,02° 2 θ por passo, com tempo de contagem de 0,5 segundo por passo e no intervalo de 10° a 80° em 2 θ .

As interpretações qualitativas de espectro foram efetuadas por comparação com padrões contidos no banco de dados do Internacional Center for Diffraction Data (ICDD, 2003), em software Philips X-perting plus.

O equipamento de Fluorescência de Raios-X utilizado para conhecimento semiquantitativo da composição química das duas amostras de concentrado mineral foi um Shimadzu XRF 1800, sequencial.

As amostras para análises de Microscopia eletrônica e espectrometria de energia dispersiva foram metalizadas em ouro usando um equipamento Shimadzu IC 50. As micrografias foram realizadas em um MEV Shimadzu SSX 550 e as leituras de EDS em um detector X act (Oxford Microanalyses Group) acoplado ao MEV, para interpretação de dados acerca da composição química obtida por EDS foi usado o software AZtec.

No LACAMM do IFRN, as análises foram em um MEV TESCAN (VEGA3-LMU) e detector EDS X act (Oxford Microanalyses Group) acoplado, e a metalização prévia ocorreu em um equipamento QUORUM Q150R ES, utilizando ouro.

5 RESULTADOS E DISCUSÕES

Conforme Costa-de-Moura (2013), a Columbita e a Tantalita, de forma pura, são desconhecidas na natureza, pois são membros de uma série em solução sólida do grupo-columbita e na literatura científica anglicana, o termo técnico desses membros é *Columbite-Group Minerals*, cuja sigla é CGM (POHL, 2013 *apud* COSTA-DE-MOURA, 2013).

Costa-de-Moura (2013) informa ainda que houve uma modificação dos nomes e fórmulas químicas em meados de 2000, aprovada pela CNMMN/IMA (*Commission on New Minerals, Nomenclature and Classification of the International Mineralogical Association*, 2013).

Portanto, segundo a nomenclatura que define o CGM, onde há preponderância de Fe ou Mn, esta é indicada por um sufixo. A ferrocolumbita agora é columbita-(Fe) e manganotantalita é tantalita-(Mn). Nas figuras 19 e 20, as nomenclaturas foram substituídas para manter a coerência com a norma atualizada, podendo ser consideradas em conformidade com as cartas de interpretação referentes aos minerais deste grupo, de acordo com o quadro abaixo:

Quadro 5 - Minerais importantes de nióbio e tântalo - Grupo-columbita

Nome aprovado pela IMA	Fórmula aprovada pela CNMNC/IMA	Nome antigo (brasileiro)
Columbite-(Fe)	$(\text{Fe}^{2+}, \text{Mn}^{2+}) (\text{Nb}, \text{Ta})_2\text{O}_6$	Ferrocolumbita
Columbite-(Mn)	$(\text{Mn}^{2+}, \text{Fe}^{2+}) (\text{Nb}, \text{Ta})_2\text{O}_6$	Manganocolumbita
Tantalite-(Fe)	$(\text{Fe}^{2+}, \text{Mn}^{2+}) (\text{Ta}, \text{Nb})_2\text{O}_6$	Ferrotantalita
Tantalite-(Mn)	$(\text{Mn}^{2+}, \text{Fe}^{2+}) (\text{Ta}, \text{Nb})_2\text{O}_6$	Manganotantalita

Fonte: Adaptado de COSTA-DE-MOURA (2013, p. 25).

A Columbita-(Fe) forma duas séries, com a tantalita-(Fe) e com a columbita-(Mn); a Columbita-(Mn) forma duas séries, com a columbita-(Fe) e a tantalita-(Mn); a Tantalita-(Fe) forma duas séries, com a tantalita-(Mn) e com a columbita-(Fe); e, por fim, a Tantalita-(Mn) forma duas séries com a columbita-(Mn) e a tantalita-(Fe) (COSTA-DE-MOURA, 2013).

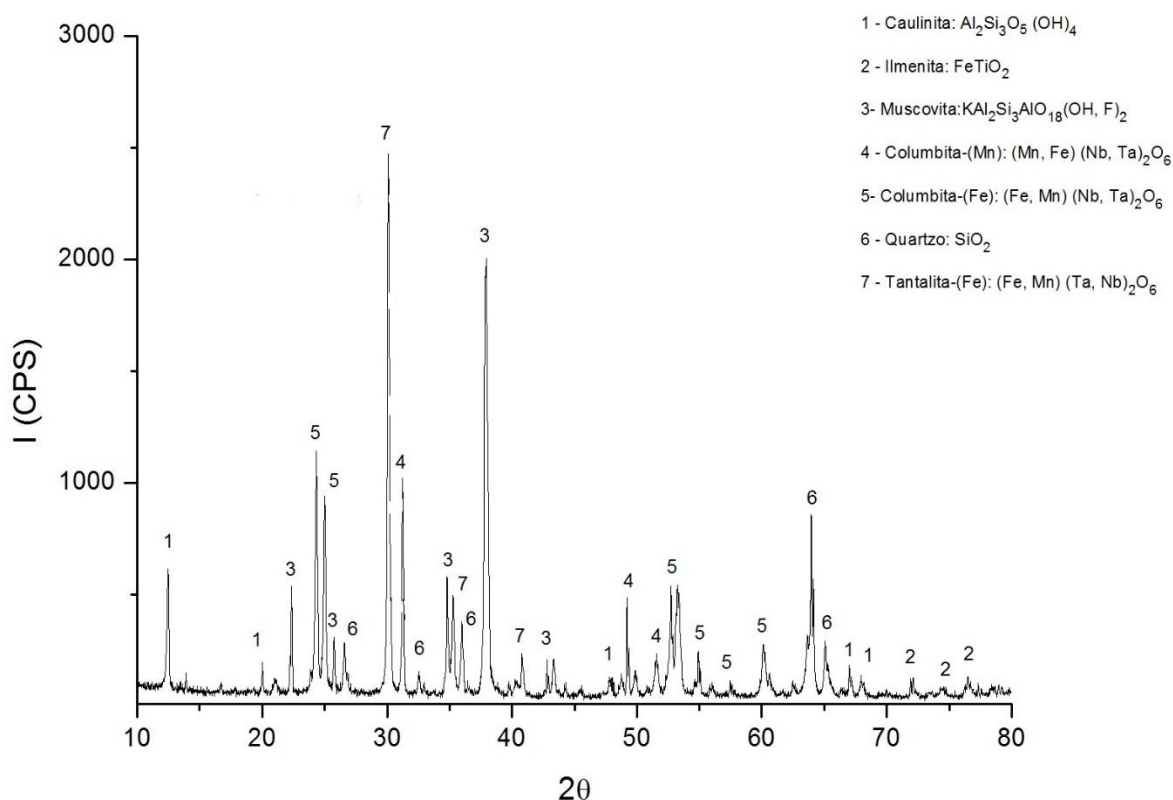
Segundo Ercit (1994), o mineral denominado columbita-(Mg) não faz parte do grupo columbita-tantalita e não existe em pegmatitos. Quem pode fazer parte das séries é a tapiolita- (Fe, Mn), de fórmula idêntica à da tantalita- (Fe, Mn), mas com estrutura tetragonal.

As amostras dos concentrados de minerais metálicos dos pegmatitos Facheiro I e Mina Velha foram analisadas conforme a técnica de difratometria de Raios-X.

Nesta análise foi indicado, conforme a figura 19, que a amostra do concentrado mineral do pegmatito Facheiro I tem como constituintes minerais a caulinita, Ilmenita, muscovita, além de minerais da série isomórfica *columbita-tantalita* (CGM) de acordo com informações que foram mensuradas pela presença de picos das fases destes minerais nos difratogramas gerados.

A presença da caulinita na composição do pegmatito Facheiro I indica conformidade com a composição geral da rocha, o que pode ser confirmado pela presença de intemperismos de feldspatos, formando caulim (LIRA, 2014).

Figura 19 — Difratograma de Raios-X - Concentrado metálico do pegmatito Facheiro I

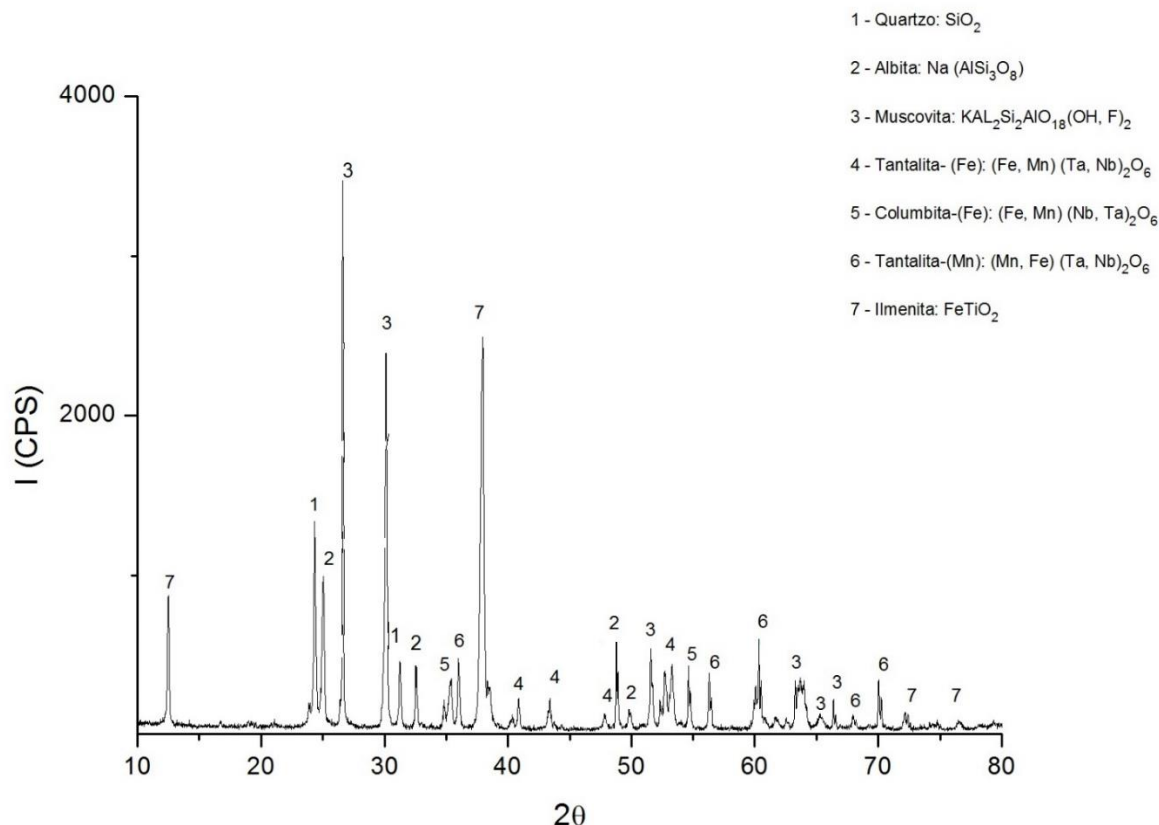


Fonte: Dados desta pesquisa (2015).

Já a análise da amostra do concentrado de minerais metálicos do pegmatito Mina Velha, também usando a técnica de difratometria de Raios – X aponta picos que indicam fases de minerais como quartzo, albita, muscovita, tantalita (na solução sólida dos minerais do grupo-columbita), columbita-(Fe), tantalita-(Mn) e ilmenita, de acordo com a figura 20. Assim como no caso do pegmatito Facheiro I, repete-se a tendência

de composição química prevista pelas observações de campo para esta rocha (LIRA, 2014).

Figura 20 – Difratoograma de Raios-X - Concentrado metálico do pegmatito Mina



Fonte: Dados desta pesquisa (2015).

A análise química pela técnica de Fluorescência de Raios-X na amostra do concentrado de minerais metálicos do pegmatito Facheiro I, apresentada no quadro 6, indica que o teor de nióbio (Nb) é bastante significativo, em conformidade com o observado no gráfico resultante das análises de DRX (figura 19), já que o mesmo aponta fases (picos) que indicam a presença de minerais cujo nióbio (Nb) está em sua composição química, sendo a percentagem deste elemento de 44,86% apontada pela análise de FRX.

Além disso, aponta a presença de outros metais de aplicação industrial nobre como o tântalo (Ta) em 16,67%, e ainda indica traços de tungstênio (W) em 0,13%, além de ferro (Fe) com 16,99%, titânio (Ti) com 5,38% e manganês (Mn) com 5,93%, e dos constituintes substanciais característicos destas rochas: silício (Si) com 4,38%, alumínio (Al) com 3,55%, potássio (K) com 0,42% e sódio (Na) com 0,22%.

Quadro 6 — Análise química semiquantitativa - Concentrado metálico do pegmatito Facheiro I

Pegmatito Facheiro I								
Elemento	Nb	Fe	Ta	Mn	Ti	Si	Al	Mg
(%)	44,86	16,99	16,67	5,93	5,38	4,38	3,55	0,52
Elemento	Ca	K	Na	P	Sn	W	S	Zn
(%)	0,46	0,42	0,22	0,19	0,16	0,13	0,074	0,066

Fonte: Dados desta pesquisa (2015).

Na análise química por FRX, da amostra do concentrado de minerais metálicos do pegmatito Mina Velha apresentada no quadro 7, mais uma vez o teor de nióbio (Nb) é superior, sendo de 41,53%, o que indica a presença deste elemento nos concentrados dos dois pegmatitos analisados, apontando a possibilidade de aplicação de técnicas metalúrgicas para sua separação.

É possível observar a presença de tântalo (Ta) com 14,45%, em menor quantidade que no Facheiro I e de tungstênio (W) com 0,20% em uma quantidade maior, além de um teor aproximado de 17,02% de titânio (Ti) na amostra, maior que os 5,38% do Facheiro I.

A presença de titânio (Ti) com 17,02% em teor mais elevado que no pegmatito Facheiro I pode ser pela indicação da presença de substituições em minerais do grupo-columbita, em acordo com as fases indicadas na análise de DRX (figura 20), cuja composição química contém frequentemente tanto o titânio (Ti) quanto o manganês (Mn), por substituição, além da Ilmenita que dá significado à presença próxima entre titânio (Ti), ferro (Fe), e tântalo (Ta).

Destaque para a indicação da presença de cério (Ce) em 0,44%, o que aponta para utilização de metodologias de pesquisa específicas para identificação de ETR neste pegmatito. Poderíamos pensar tratar-se do mineral monazita, mas é preciso lembrar que, segundo Deer et al. (1966), a presença deste mineral é rara em pegmatitos graníticos e, quando ocorre, é como mineral acessório, podendo ser o caso.

Quadro 7 – Análise química semiquantitativa - Concentrado metálico do pegmatito Mina Velha

Pegmatito Mina Velha								
Elemento	Nb	Ti	Fe	Ta	Mn	Si	Al	Ce
(%)	41,53	17,02	16,76	14,15	5,31	1,83	1,66	0,44
Elemento	Sn	W	Zr	Mg	K	P	Ca	Na
(%)	0,38	0,20	0,16	0,16	0,14	0,12	0,09	0,06

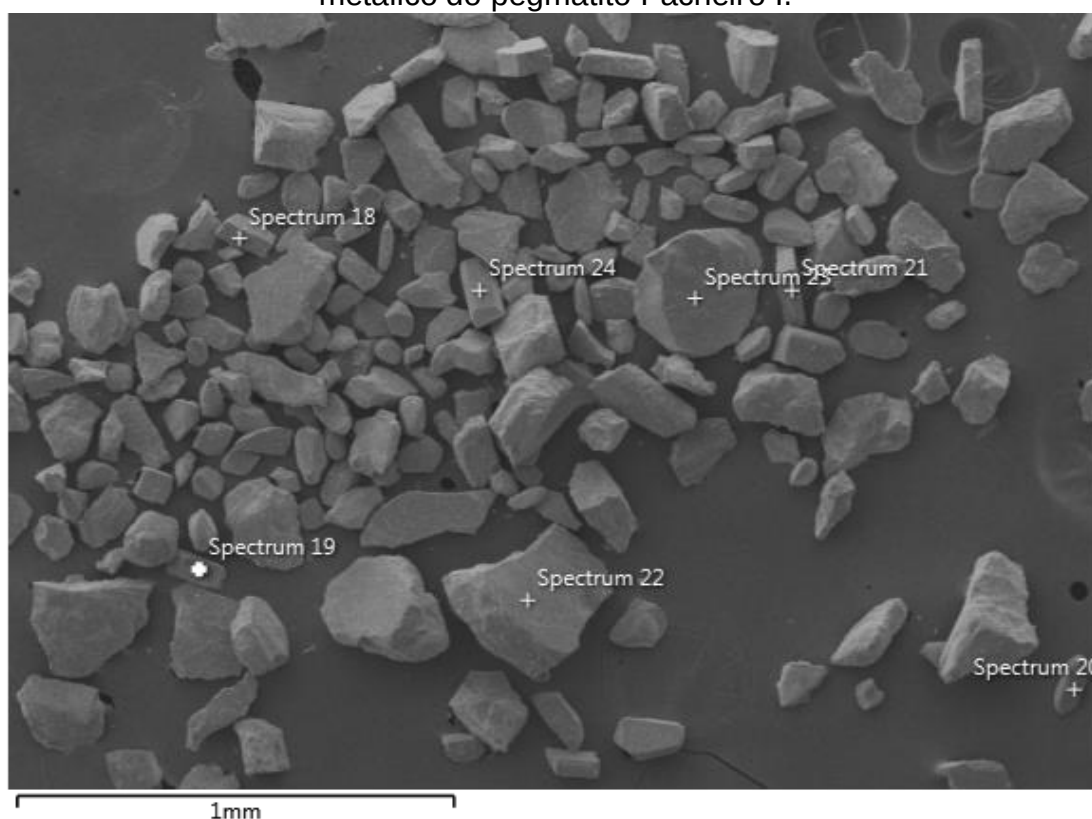
Fonte: Dados desta pesquisa (2015).

Nos dois pegmatitos, a presença de pequenas quantidades de estanho (Sn) e tungstênio (W) pode ser de minerais do grupo-columbita (DANA, 1978). Os dados são importantes indicadores da presença de minerais, cuja extração e beneficiamento são base para indústrias produtoras de ligas metálicas de aplicação nobre.

As imagens obtidas no MEV, apresentadas na figura 21, mostraram que a amostra do concentrado de minerais metálicos do pegmatito Facheiro I é constituída de grãos minerais com hábitos variados, alguns irregulares e outros tendendo a prismáticos, além de romboédricos, ortorrômbicos e granulares, o que leva a crer tratar-se, respectivamente, de columbita-tantalita e ilmenitas, principalmente.

Esta figura aponta ainda os grãos selecionados para obtenção de espectro para análise química por EDS.

Figura 21 – Apontamento dos espectros nos grãos selecionados - Concentrado metálico do pegmatito Facheiro I.



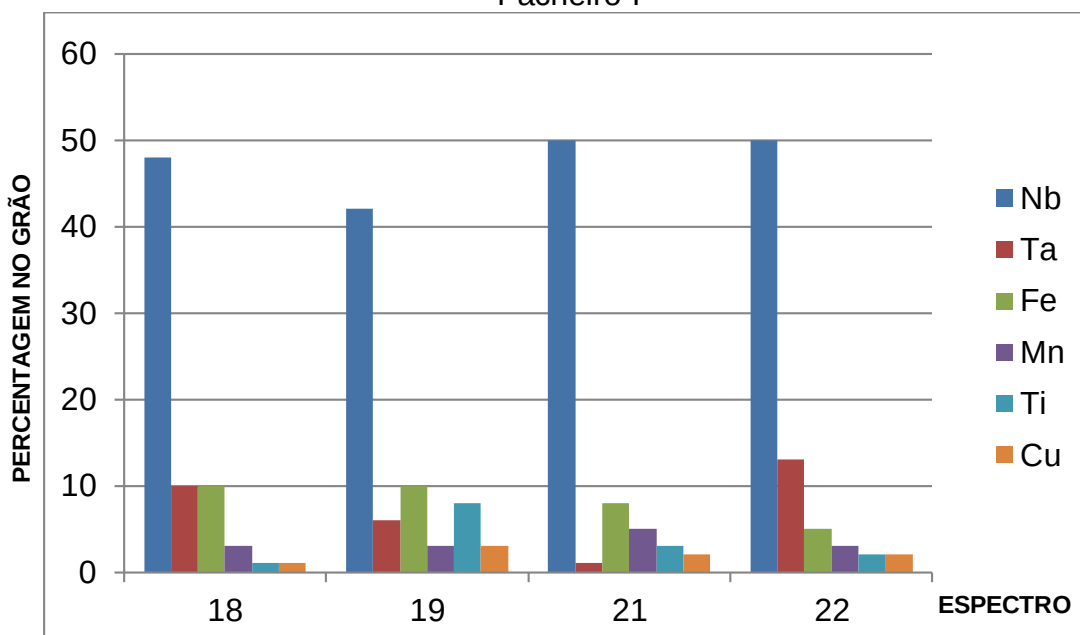
Fonte: Dados desta pesquisa (2015).

Na figura 22 são apresentados os espectros obtidos por EDS de grãos da amostra de concentrados metálicos do pegmatito Facheiro I, usando detector de elétrons secundários, onde a composição química está em concordância com as análises de FRX, acrescido de indicação da presença de provável traço de cobre (Cu) em todos os espectros de grãos analisados.

Conforme Deer *et al.* (1966), o mineral pirrotita cuja composição química contém cobre (Cu) é um mineral que pode ocorrer em pegmatitos, e este elemento e o manganês (Mn) podem substituir o ferro (Fe), sendo a pirrotita também um possível produtor natural, em sua alteração por oxidação, da calcopirita. Este autor afirma ainda que a calcopirita, intercrescida frequentemente com sulfetos de cobre (Cu) e ferro (Fe) podem apresentar proporções atômicas de ouro (Au), platina (Pt), estanho (Sn), entre outros.

Os elementos detectados por EDS e apresentados na figura 22 em gráfico de porcentagem no grão por espectro, apontam conformidade com o que já é conhecido em pesquisas anteriores, acerca da composição química encontrada nos minerais metálicos de pegmatitos. Foram destacados os elementos comuns a todos os grãos analisados, destacando presença significativa de nióbio (Nb), variações entre tântalo (Ta) e ferro (Fe) e presença próxima entre manganês (Mn), titânio (Ti) e cobre (Cu).

Figura 22 – Espectros dos grãos - Concentrado metálico do pegmatito Facheiro I



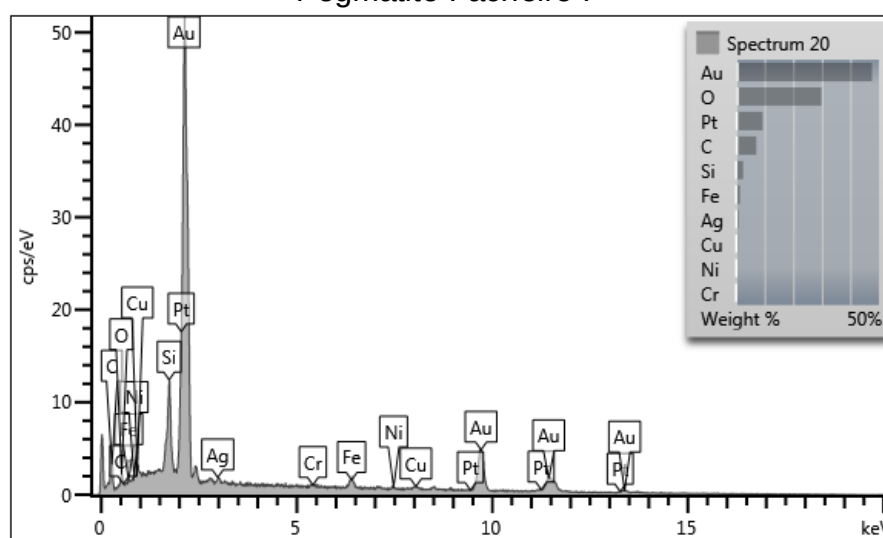
Fonte: Dados desta pesquisa (2015).

Porém na figura 23, espectro 20, o pico que deveria ser de indicação da presença de nióbio (Nb) é apontado como de ouro (Au) e o nióbio não é indicado. Outro fator importante e que merece observações mais contundentes em pesquisas futuras é o apontamento, por meio da técnica utilizada, da presença de ouro (Au), prata (Ag) e platina (Pt), na mesma amostra; contudo deve-se considerar que a

metalização das amostras foi com recobrimento superficial de ouro (Au) e que a platina (Pt) e o ouro têm energias de detecção muito próximas, o que impossibilita a determinação deste elemento por esta técnica.

Ainda na figura 23, é notado o pico pouco significativo de cromo (Cr) em provável substituição do ferro (Fe), alumínio (Al) ou magnésio na composição de um mineral do grupo das micas, considerando os resultados de DRX, podemos supor ser muscovita (DEER *et al*, 1966). Ou ainda pode ser uma sobreposição de picos em decorrência das energias próximas entre estes elementos.

Figura 23 — Espectro 20 da amostra do concentrado metálico - Pegmatito Facheiro I

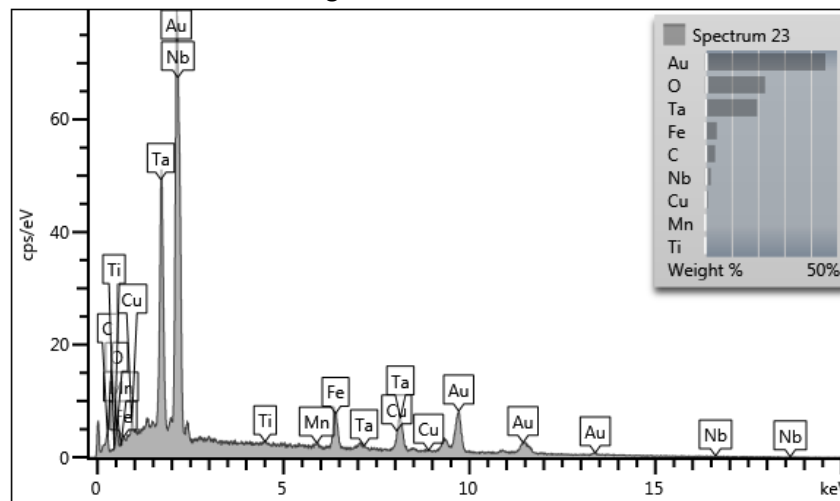


Fonte: Dados desta pesquisa (2015).

Na figura 24 os dois elementos (nióbio e ouro) aparecem no mesmo pico indicativo, o que nos leva a crer tratar-se de nióbio, por não termos, por meio da aplicação desta técnica, como apontar a presença de ouro na amostra, mesmo com indicações de outros picos caracterizando fases diferentes de nióbio (Nb) e ouro (Au). Já na figura 25, o ouro volta a aparecer em possível substituição ao nióbio (Nb), já que o recobrimento superficial com ouro impossibilita a confirmação da presença deste elemento.

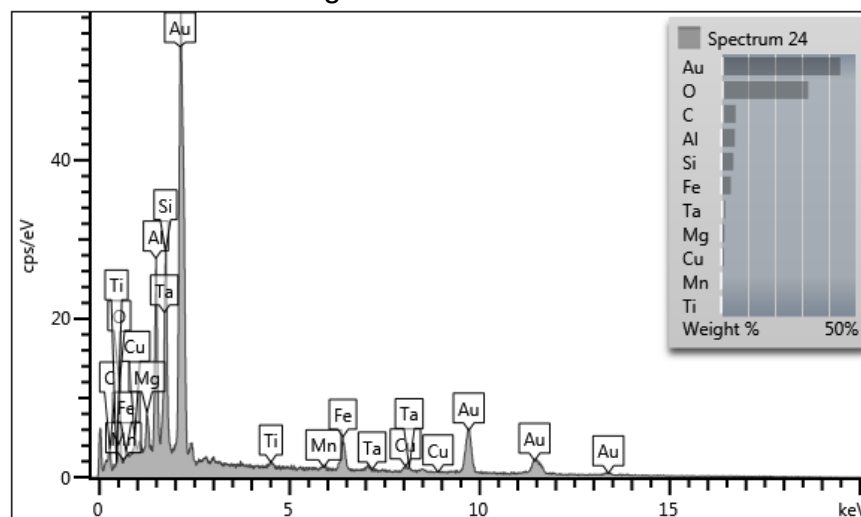
Estas informações nos inclinam ao aprofundamento da pesquisa com aplicação de técnicas específicas para identificação deste metal. Seria indicada a realização de análises por Espectrometria de absorção atômica e/ou Análise por ativação de bombardeio neutrônico (CAVALCANTI Nt e ROCHA DA ROCHA, 2010, p. 24).

Figura 24 – Espectro 23 da amostra do concentrado metálico - Pegmatito Facheiro I



Fonte: Dados desta pesquisa (2015).

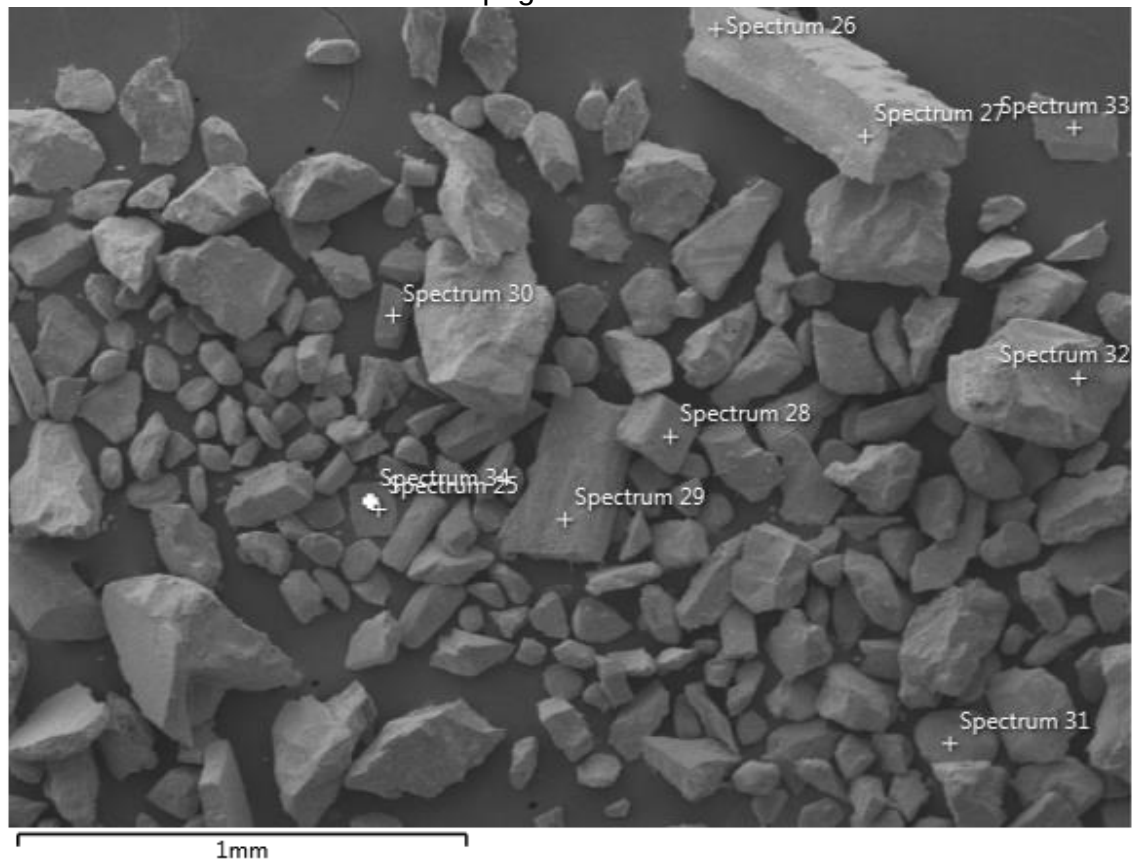
Figura 25 – Espectro 24 da amostra do concentrado metálico - Pegmatito Facheiro I



Fonte: Dados desta pesquisa (2015).

As imagens obtidas no MEV, conforme a figura 26, demonstram que a amostra do concentrado mineral do pegmatito Mina Velha, é constituída por grãos minerais cujos hábitos granulares, ortorrômbicos, romboédricos e colunares ou prismáticos indicam ser ilmenita e minerais do grupo columbita, o que explicaria a significativa presença, respectivamente, de nióbio (Nb), tântalo (Ta), ferro (Fe), titânio (Ti), e manganês (Mn).

Figura 26 – Apontamento dos espectros nos grãos selecionados - Concentrado metálico do pegmatito Mina Velha

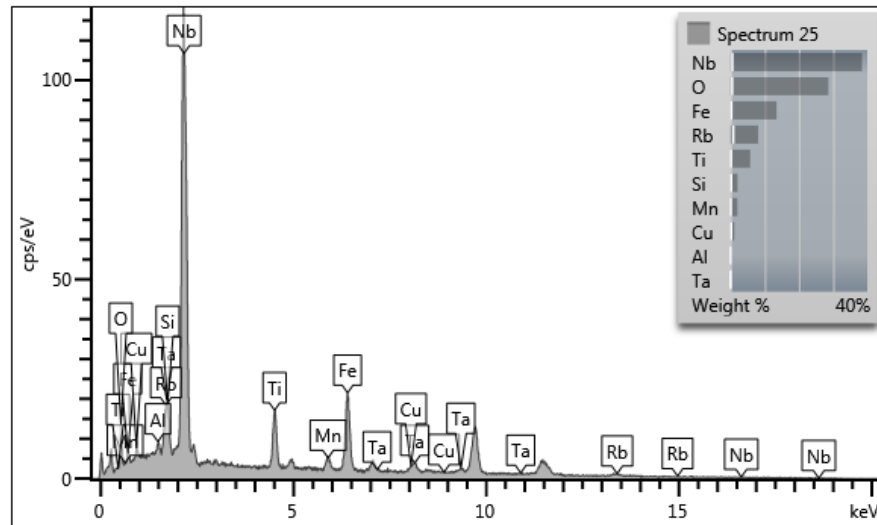


Fonte: Dados da pesquisa, (2015).

Nas figuras 27, 28 e 29 são apresentados os espectros de EDS da amostra do concentrado metálico do pegmatito Mina Velha, concordando com a composição química apontada nas análises de FRX, e ainda é apontada presença de cobre, rubídio, prata e cromo (Cu, Rb, Ag e Cr).

Na figura 27 aparecem picos indicativos de rubídio (Rb) e cobre (Cu), este último de forma menos significativa. De acordo com Deer et al. (1966), o rubídio (Rb) aparece como substituição ao potássio (K) na série isomórfica das micas, sendo uma das principais substituições na muscovita.

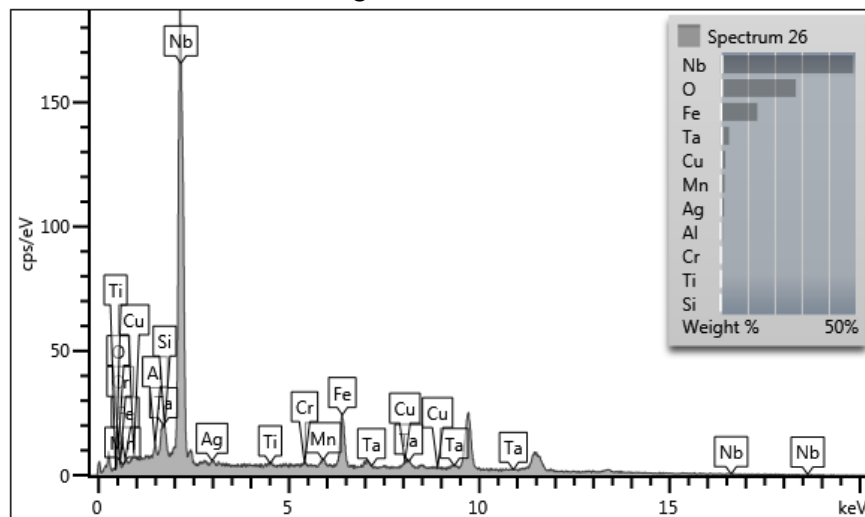
Figura 27 – Espectro 25 da amostra do concentrado metálico - Pegmatito Mina Velha



Fonte: Dados desta pesquisa (2015).

Na figura 28, ocorrem indicações de cromo (Cr) e prata (Ag). O cromo (Cr), possivelmente, indica ser da composição química da muscovita, apontada no resultado gerado pela análise de DRX. Já a prata (Ag) pode ser da composição da pirrotita alterada para calcopirita. (DEER et al, 1966). Além disso, o pico principal indica presença significativa de nióbio (Nb).

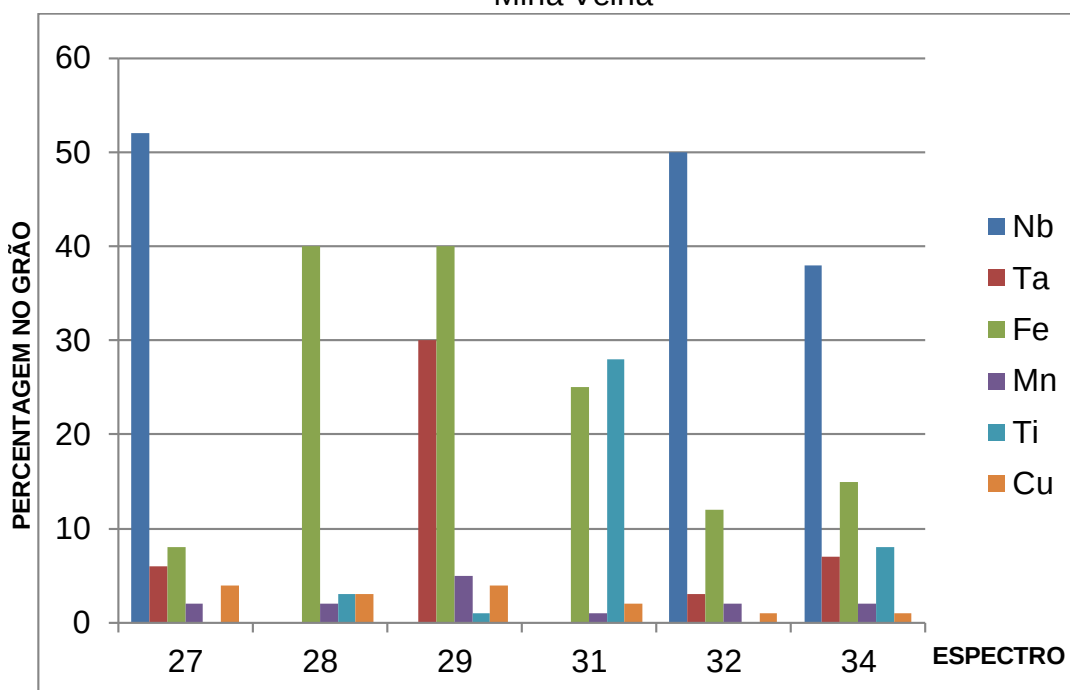
Figura 28 – Espectro 26 da amostra do concentrado metálico - Pegmatito Mina Velha



Fonte: Dados desta pesquisa (2015).

A figura 29 indica as demais composições químicas dos grãos da amostra do concentrado metálico do pegmatito Mina Velha, apontando para elementos sem grandes destaques no que se refere ao esperado para este tipo de rocha, diferenciando-se das análises de DRX e FRX apenas pela presença de cobre (Cu), mesmo que este apareça no EDS com indicação maior que a de manganês (Mn), sendo este elemento indicado no FRX e o cobre (Cu) não. Isto pode ocorrer pelo fato das análises por EDS serem executadas nos grãos de forma pontual com diâmetro de 2 μm .

Figura 29 – Espectros dos grãos - Concentrado metálico do pegmatito Mina Velha



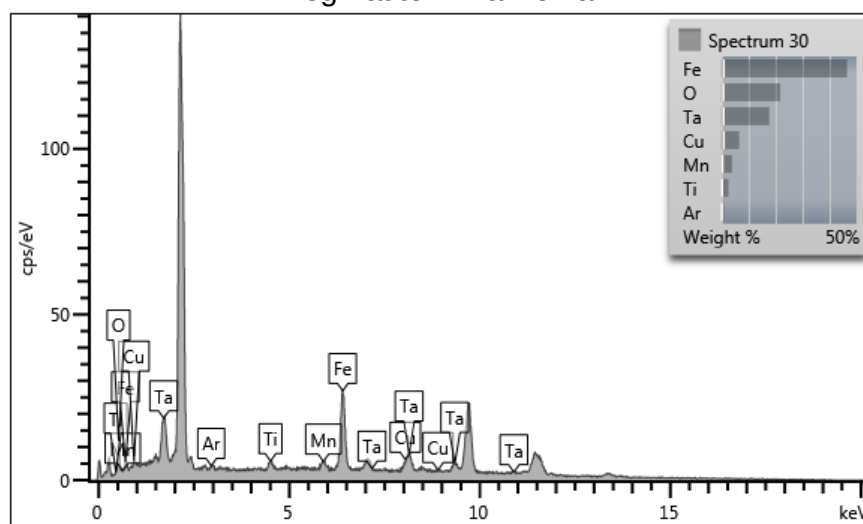
Fonte: Dados desta pesquisa (2015).

Nos espectros 27, 32 e 34 da figura 29, aparecem picos indicativos da presença de nióbio (Nb), e ausência de titânio (Ti) nos espectros 27 e 32. Já no espectro 34, o titânio (Ti) aparece em algo próximo de 10%. O cobre está em todos os espectros com variações bem próximas; o ferro (Fe) também aparece em todos os espectros, sendo sua presença mais notável nos espectros 28, 29 e 31 onde há ausência de nióbio (Nb), destacando a ausência de tântalo (Ta) nos espectros 28 e 31. Portanto, em coerência com as análises de DRX e FRX, temos minerais ricos em nióbio (Nb), tântalo (Ta), titânio (Ti) e ferro (Fe), indicações do grupo-columbita (CGM), de presença de ilmenita e do grupo das Micas.

Na figura 30 (espectro 30), o nióbio não é detectado, a indicação de ferro (Fe) é significativa e há presença de picos para o cobre (Cu). A particularidade deste espectro é uma indicação, ainda que mínima, de argônio (Ar) que pode ter ocorrido no momento em que o feixe aqueceu a superfície da amostra ou ainda pode ser indicação de potássio, já que ambos têm energias de detecção próximas.

O argônio é um gás que migra lentamente das rochas, provindo de minerais, especialmente da série dos feldspatos potássicos, cuja composição pode ter potássio-40, que é um isótopo do potássio. O argônio é formado pela decomposição (decaimento) radioativo deste isótopo (PEIXOTO, 2003).

Figura 30 – Espectro 30 da amostra do concentrado metálico - Pegmatito Mina Velha.

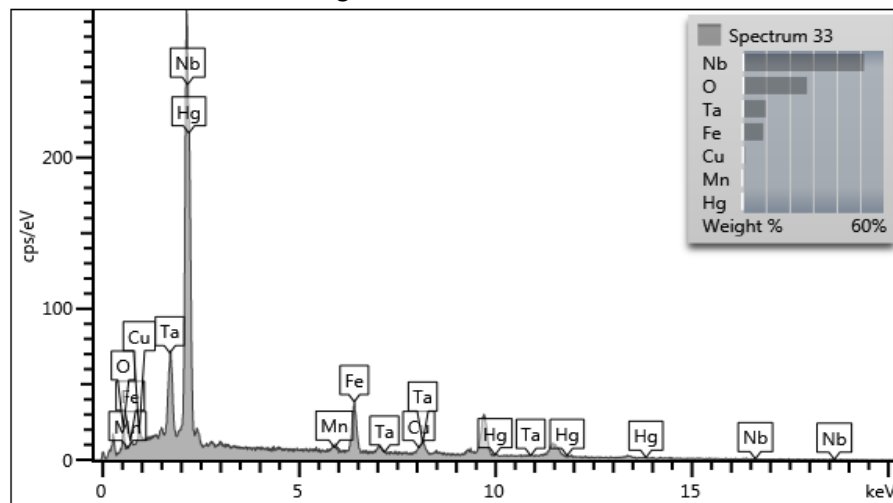


Fonte: Dados desta pesquisa (2015).

A figura 31 aponta picos indicativos de presença de mercúrio (Hg) provavelmente pela concentração de minerais metálicos por atividades de mineração ou pela proximidade de energias de detecção em EDS entre mercúrio (Hg), ouro (Au) e platina (Pt).

Segundo Azevedo (2003), as fontes de mercúrio (Hg) são depósitos em locais de atividade vulcânica recente, em veios e fraturas minerais, próximos a fontes de águas termais. Este elemento é encontrado em, pelo menos, 25 minerais, mas a única forma economicamente explorada é o Cinábrio.

Figura 31 – Espectro 33 da amostra do concentrado metálico - Pegmatito Mina Velha.

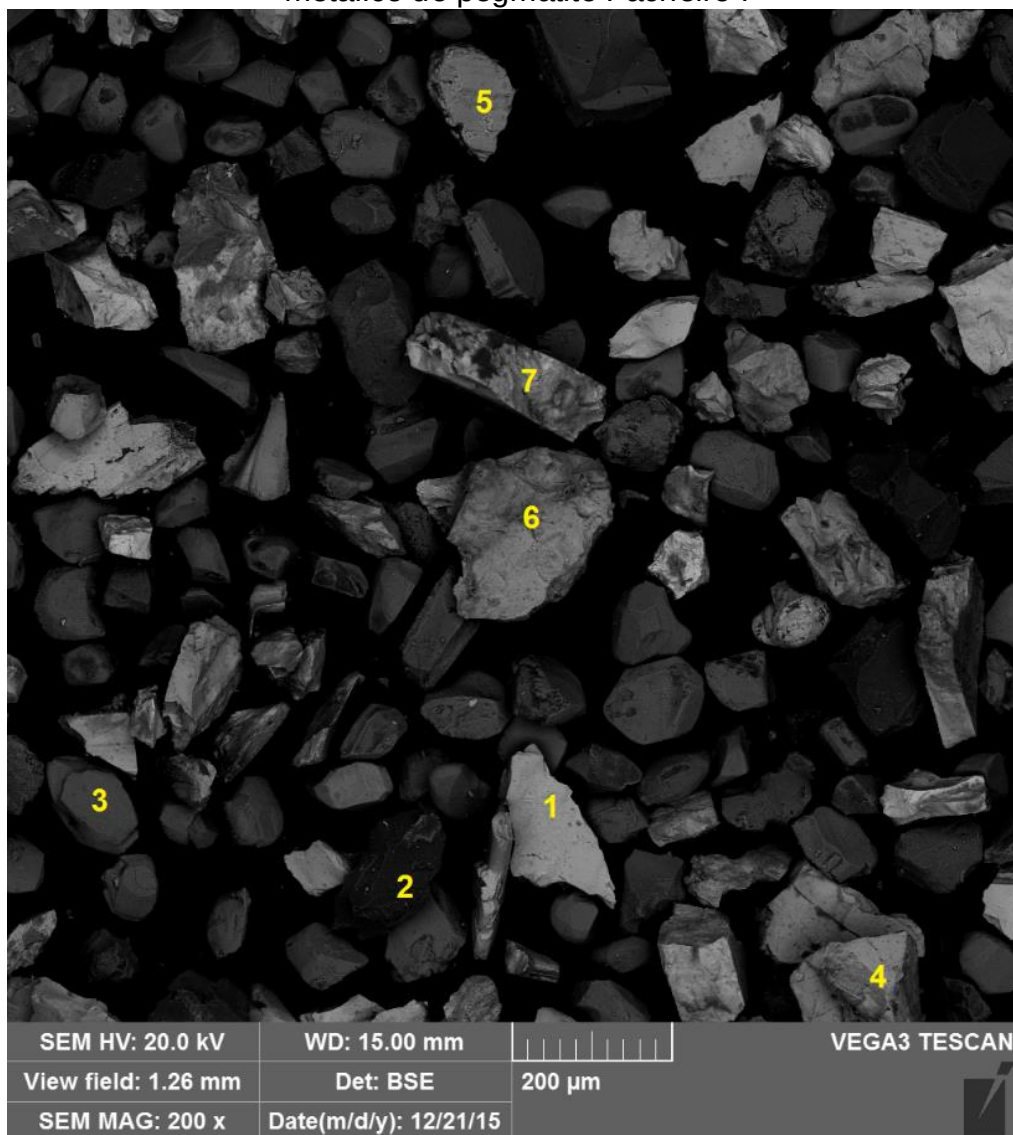


Fonte: Dados desta pesquisa (2015).

A figura 32 demonstra os contrastes entre os tons de cinza dos grãos nas amostras dos concentrados de minerais metálicos, usando o detector de elétrons retroespalhados (BSE). Esta análise foi realizada em associação ao EDS acoplado ao MEV, onde cada nível de cinza é proporcional ao número de elétrons, consequentemente ao peso atômico médio por *pixel* da imagem (NEUMAMM *et al*, 2002).

No caso abaixo, trata-se do concentrado de minerais metálicos do pegmatito Facheiro I, onde podemos perceber 7 fases diferentes de acordo com os tons de cinza contidos nos grãos. Nesta análise foi considerado local do porta amostras do MEV (*stub*), com a amostra onde havia maior concentração de grãos para efeito de comparação em ambos os pegmatitos.

Figura 32 – Grãos selecionados para análise de contraste - Concentrado metálico do pegmatito Facheiro I



Fonte: Dados desta pesquisa (2015).

Na figura 33 estão apontados os grãos selecionados para conhecimento de composição química por EDS, utilizando detector de BSE, para diferenciar quimicamente as fases apontadas na figura 32.

O quadro 8 mostra as composições químicas dos grãos das figuras 32 (contrastes de fases) e 33 (grãos selecionados para análise química por EDS) em porcentagens referentes às quantidades por elemento de cada ponto analisado nos grãos e em referência ao tom de cinza que difere as fases. Os grãos 6 e 7 (figura 32) foram analisados separadamente por conter contrastes de cinza muito acentuados no mesmo grão.

As análises por EDS realizadas em grãos contendo tonalidades de cinza diferentes objetivou reconhecer, pela composição química e pelas fases composicionais, se este é uma solução sólida de columbita-tantalita.

Para os grãos 1 e 4 da figura 32, cujos espectros na figura 33 são, respectivamente, 1 e 5 (quadro 8), as relações semiquantitativas entre nióbio-tântalo-ferro, principalmente, os classifica como cristais de columbita (PEREIRA et al., 2008).

No grão 1 a coloração é mais homogênea, já o grão 4 apresenta variação de tonalidade de cinza, o que pode ser explicado pela proporção entre nióbio (Nb) e tântalo (Ta) diferentes nestes grãos, sendo maior no grão com maior variação de tonalidade.

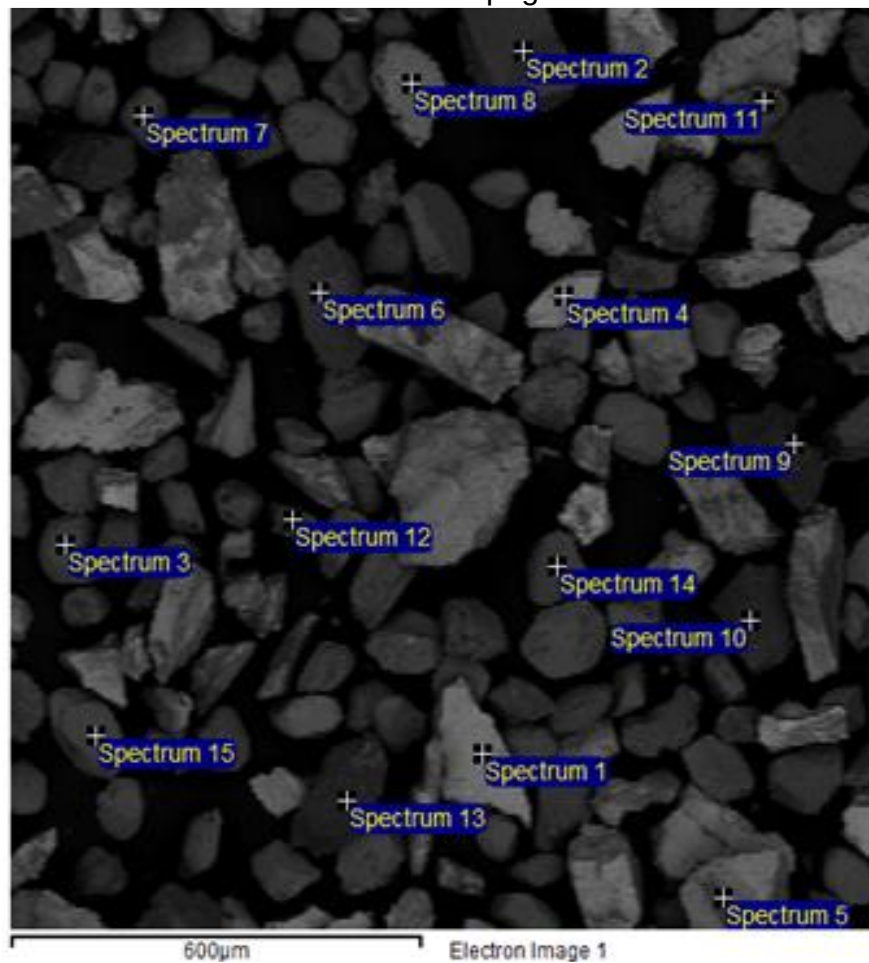
Os grãos 2, 3 e 5 (figura 32, quadro 8) apontam composição significativa de ferro (Fe) (acima de 30%) como característica comum. As particularidades estão nos diferentes teores de silício (Si), alumínio (Al) e titânio (Ti), além das presenças de sódio (Na), potássio (K) e magnésio (Mg) no grão 2; de manganês nos grãos 3 e 5 com teores bem diferentes, e de teor de tântalo no grão 5. Todas estas diferenças de composição explicam as diferentes tonalidades de cinza.

Quadro 8 – Composição química dos grãos das figuras 32 e 33 - Concentrado metálico do pegmatito Facheiro I

Espectro	Grão	Na (%)	Mg (%)	Al (%)	Si (%)	K (%)	Ti (%)	Mn (%)	Fe (%)	Nb (%)	Ta (%)	Total (%)
1	1	0	0	0	0	0	0,68	4,38	14,25	49,91	30,79	100
2	-	0	0,95	19,82	34,58	0	0,43	18,49	25,73	0	0	100
3	-	0	0	1,55	1,63	0	46,66	4,33	45,83	0	0	100
4	-	0	0	0,72	0	0	1,06	5,14	20,93	34,38	37,77	100
5	4	0	0	0	0	0	0,53	5,77	17,25	66,20	10,25	100
6	-	0,73	1,32	16,68	28,92	0,29	0,85	13,91	37,30	0	0	100
7	-	0	0,19	1,71	1,88	0	47,72	4,35	44,16	0	0	100
8	5	0	0	10,97	16,45	0	13,76	9,67	41,77	0	7,38	100
9	-	2,69	4,13	34,64	44,03	0	0,39	0	14,11	0	0	100
10	-	0,85	2,39	20,16	26,04	0	2,64	0	47,93	0	0	100
11	-	0	0,75	28,81	42,80	0,57	1,49	0	25,57	0	0	100
12	-	0	0,81	23,96	32,81	1,75	2,32	0,69	37,67	0	0	100
13	2	1,16	2,87	28,26	35,37	0,75	0,95	0	30,65	0	0	100
14	-	0	0	0,68	0,60	0	55,45	3,11	40,15	0	0	100
15	3	0	0	0,72	0,49	0	45,91	1,45	51,42	0	0	100

Fonte: Dados desta pesquisa (2015).

Figura 33 - Localização dos espectros nos grãos -
Concentrado metálico do pegmatito Facheiro I



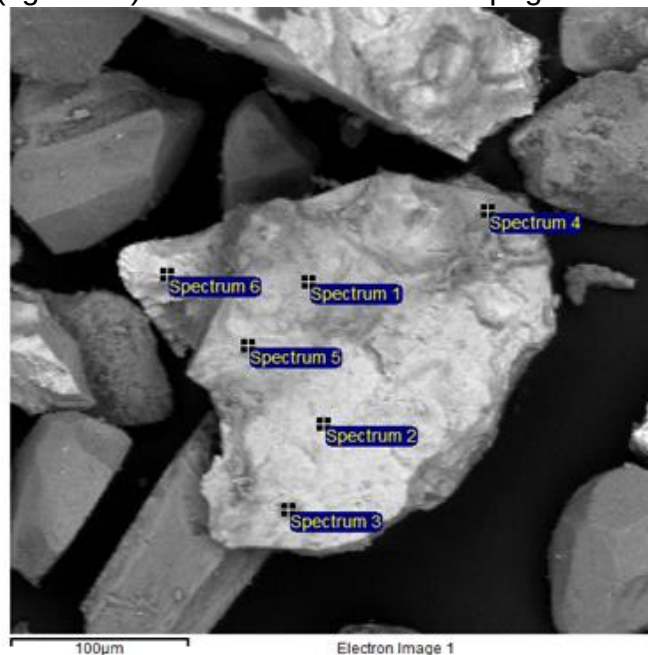
Fonte: Dados desta pesquisa (2015).

Os demais grãos analisados da figura 33 (quadro 8), têm composição química bastante semelhante entre si. A exemplo disso, os resultados demonstrados nos espectros 2, 6, 9, 10, 11 e 12 são predominantemente composições de silício (Si), ferro (Fe), alumínio (Al) e manganês (Mn).

Já os espectros 3, 7 e 14, apresentam altos teores de titânio (Ti) e ferro (Fe), nos inclinando a composição da Ilmenita. E, por fim, o espectro que apresenta uma particularidade é o 4, com composição tendendo à Tantalita-(Fe).

O grão 6 da figura 32, é uma solução sólida do grupo-columbita, onde os espectros 1, 2, 3, 5 e 6, do quadro 10, apontam para a série formada pela Columbita-(Fe) e a Tantalita-(Fe). O espectro 4 apresenta de titânio (Ti) na composição total deste grão mineral, além de uma maior distribuição entre alumínio (Al) e silício (Si).

Figura 34 – Localização dos espectros no grão 6 (figura 32) - Concentrado metálico pegmatito Facheiro I



Fonte: Dados desta pesquisa (2015).

Quadro 9 – Composição química do grão 6 (figura 34) - Concentrado metálico do pegmatito Facheiro I

Espectro	Al (%)	Si (%)	Ti (%)	Mn (%)	Fe (%)	Nb (%)	Ta (%)	Total (%)
1	0,33	0	0,97	6,62	24,91	54,54	12,63	100
2	1,05	0	1,31	6,55	12,83	63,09	15,16	100
3	1,91	3,66	0,88	4,52	37,86	42,78	8,40	100
4	6,10	9,35	22,66	4,63	39,15	18,11	0	100
5	0,41	0,84	0	3,39	82,05	11,68	1,64	100
6	0	0	2,04	1,10	15,77	8,16	72,94	100

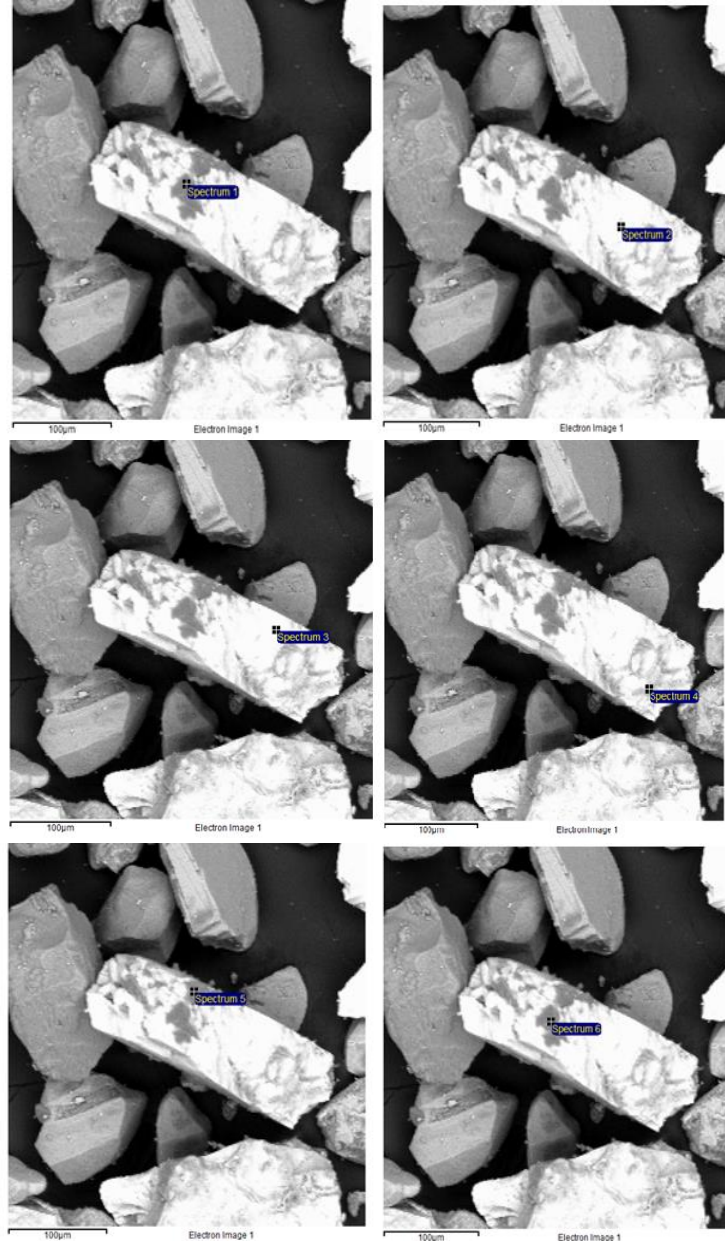
Fonte: Dados desta pesquisa (2015).

Para o grão 7 da figura 32 (quadro 10), o resultado da análise química por EDS aponta a ausência de nióbio (Nb) nas fases mais escuras do grão (espectros 1, 5 e 6), mas apontam presença de tântalo mantendo valores próximos de 5% (espectros 1 e 5).

Além disso, a presença de manganês (Mn) fica na ordem máxima de 4,33% e mínima de 1,92%, sempre com valores próximos entre si deste elemento. O alumínio (Al) é mais presente nos espectros 1 e 6, embora no 5 apareça em algo próximo de 5%, bem aproximado do valor para este elemento no espectro 4. Para todos os espectros deste grão, o ferro (Fe) aparece em teores que vão de 29,18% a 70,30%.

Nas fases mais claras do grão (espectros 2, 3 e 4) apresentam proporção de nióbio-tântalo com forte presença de ferro (Fe) em todos os espectros (quadro 9) e alguma presença de manganês (Mn). De acordo com a composição química, este grão pode tratar-se de um mineral do grupo-columbita, sendo mais próximo da série Tantalita-(Fe) e Tantalita-(Mn).

Figura 35 - Localização dos espectros no grão 7
(figura 32) - Concentrado metálico do pegmatito Facheiro I



Fonte: Dados desta pesquisa (2015).

Quadro 10 – Composição química do grão 7 (figura 35) - Concentrado metálico do pegmatito Facheiro I

Espectro	Al (%)	Si (%)	K (%)	Ti (%)	Mn (%)	Fe (%)	Nb (%)	Ta (%)	Total (%)
1	16,26	20,39	5,47	1,46	2,20	49,84	0	4,39	100
2	1,29	0	0	2,96	12,47	38,11	18,55	26,62	100
3	1,35	0	0	2,43	14,86	45,04	16,20	20,12	100
4	5,48	8,29	0	16,52	1,92	29,18	20,21	18,41	100
5	7,13	8,40	2,51	1,94	4,33	70,30	0	5,39	100
6	17,05	25,16	7,27	1,49	1,97	47,06	0	0	100

Fonte: Dados desta pesquisa (2015).

Observando as proporções dos elementos apontados, pelos resultados das análises químicas por EDS em detetor BSE para o pegmatito Facheiro I, é perceptível a presença de minerais cujas composições químicas estão em acordo com a Série isomórfica *columbita-tantalita*.

Nesta, nióbio (Nb) e tântalo (Ta), substituem-se em todas as proporções e formam columbita-(Fe), tantalita-(Fe), columbita-(Mn) e tantalita-(Mn). É importante mencionar que as proporções de nióbio e/ou tântalo na composição química destes minerais podem estar na ordem de 78.72 % de Nb₂O₅ ou Ta₂O₅ e 21.28 % de FeO (UNESP, 2015).

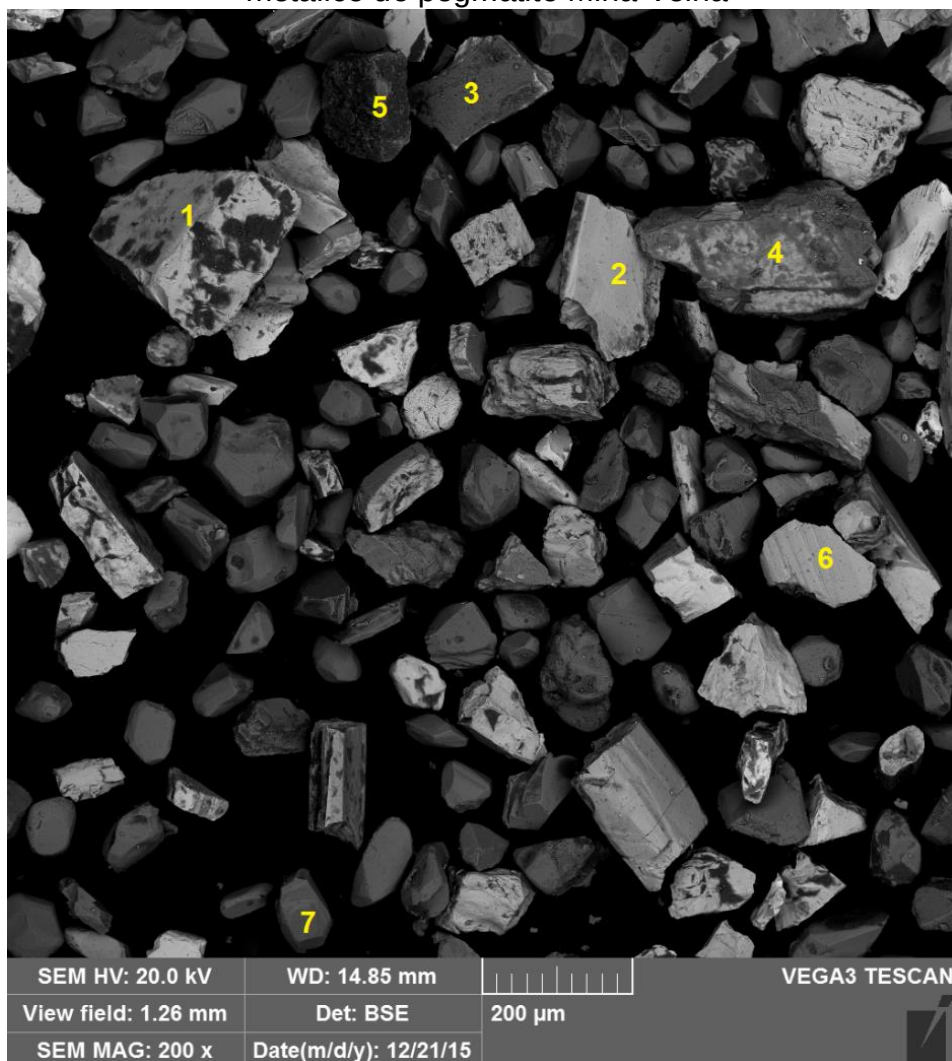
Para o pegmatito Mina Velha foram realizadas as mesmas análises e observações do pegmatito Facheiro I quanto às fases composicionais por contraste de cinza e composição química por EDS, objetivando, além da caracterização, apontar diferenças entre os concentrados metálicos das duas rochas desta pesquisa.

Na figura 36, podemos observar, no concentrado de minerais metálicos do pegmatito Mina Velha, 7 fases em diferentes contrastes de cinza entre os grãos da amostra e, assim como no concentrado do pegmatito Facheiro I, dois grãos se destacam.

Os grãos 1 e 4 têm presença de diferentes tons de cinza no mesmo grão, contudo, para este pegmatito, estes grãos minerais foram analisados junto com os demais grãos, cujos espectros estão no quadro 11.

Para os grãos 1 e 4 da figura 36, cujos espectros na figura 37 são 1 e 2 para o grão 1 e, 7 e 8 para o grão 4 (quadro 11), apresentou na fase mais escura do grão 1 (espectro 1) presença predominante de silício (Si), alumínio (Al) e ferro (Fe), ausentes o nióbio (Nb) e o tântalo (Ta). Já nas partes mais claras (espectro 2) deste mesmo grão existem teores de nióbio (Nb), tântalo (Ta), ferro (Fe) e manganês (Mn) que apontam para a série Columbita-(Fe).

Figura 36 - Grãos selecionados para análise de contraste - Concentrado metálico do pegmatito Mina Velha



Fonte: Dados desta pesquisa (2015).

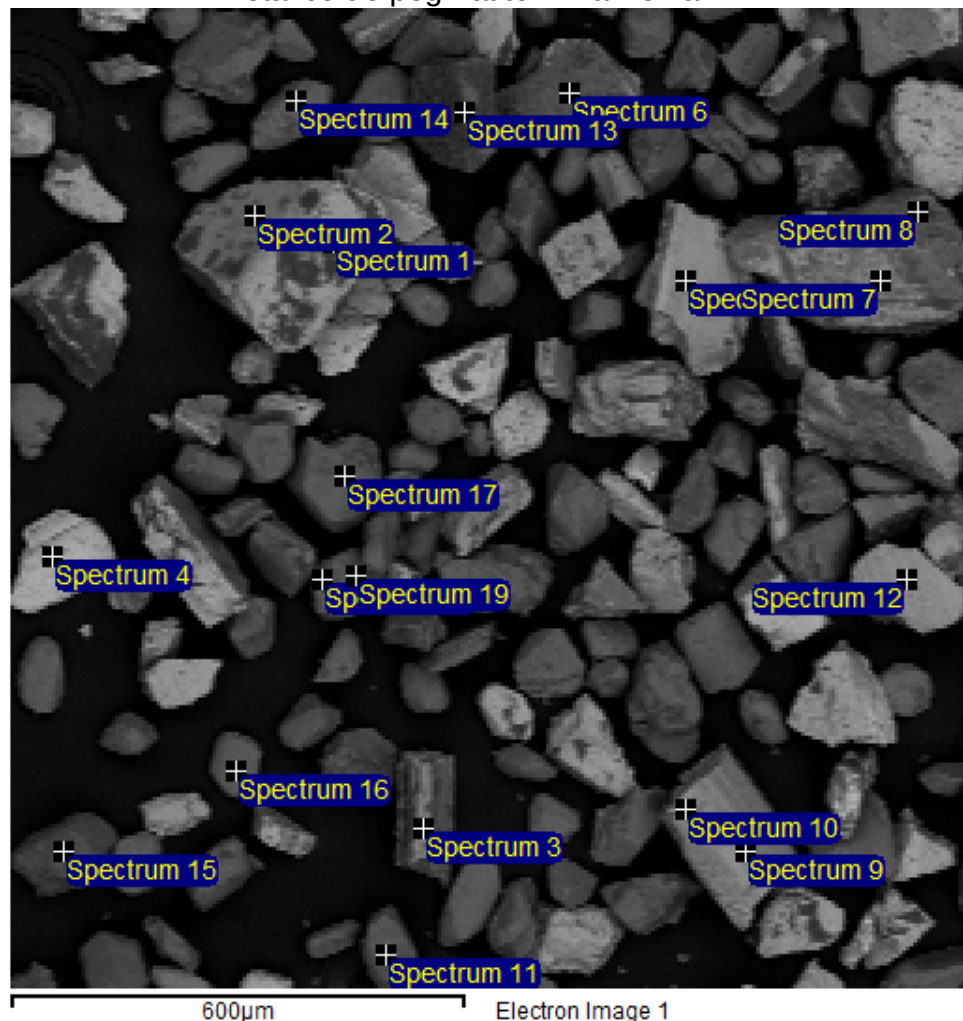
No grão 4 a fase mais clara (espectro 7) apresenta composição química também em nióbio (Nb), tântalo (Ta), ferro (Fe) e manganês (Mn), já na fase mais escura do grão 4 (espectro 8) a composição é de silício (Si) e alumínio (Al) com ausência de ferro (Fe) e presença de tântalo (Ta), o que ainda lhe confere a classificação de mineral da série Columbita-(Fe). Portanto, os grãos com tonalidades distintas de cinza apontam para minerais do grupo-columbita, demonstrando suas substituições.

Os grãos 2 e 6 (figura 36, quadro 11, espectros 5 e 12, respectivamente) demonstram composição química com relação Nb-Ta apontando mais uma vez para minerais do grupo-columbita, ambos indicando a série Columbita-(Fe).

O grão 3 (espectro 6) aponta uma composição com alto teor de ferro (Fe) e junto aos baixos teores de magnésio (Mg) e cálcio (Ca) apresenta algo em 0,5% de zinco (Zn).

O grão 5 (espectro 13) apresenta uma composição química predominantemente de ferro (Fe), com 11,95% de silício (Si) e 8,07% de alumínio (Al). Por fim, o grão 7 (espectro 11) com altos teores de titânio (Ti) e ferro (Fe), além de 3,18% de nióbio (Nb) e 1,43% de vanádio (V).

Figura 37 - Localização dos espectros nos grãos - Concentrado metálico do pegmatito Mina Velha.



Fonte: Dados desta pesquisa (2015).

Os demais grãos analisados da figura 37 (quadro 11) têm composição química que repete as mencionadas até aqui e, no caso do concentrado metálico do pegmatito Mina Velha, houve maior presença de minerais do grupo-columbita.

A exemplo disso, temos os resultados apresentados nos espectros 3, 4, 9 e 10 com predominância composicional de nióbio (Nb), ferro (Fe), tântalo (Ta) e manganês (Mn). Nos espectros 3, 9 e 10 o mineral é a série Columbita-(Fe) e no espectro 4 é a série Tantalita-(Fe). O espectro 15 aponta para um grão com composição de silício (Si), ferro (Fe), manganês (Mn) e alumínio (Al).

Já os espectros 14, 16, 17, 18 e 19, apresentam altos teores de titânio (Ti) e ferro (Fe) com a particularidade da presença de vanádio (V) no espectro 18, assim como no espectro 11 do grão 7, podendo significar uma substituição na estrutura da muscovita.

Quadro 11 – Composição química dos grãos (figura 37) - Concentrado metálico do pegmatito Mina Velha.

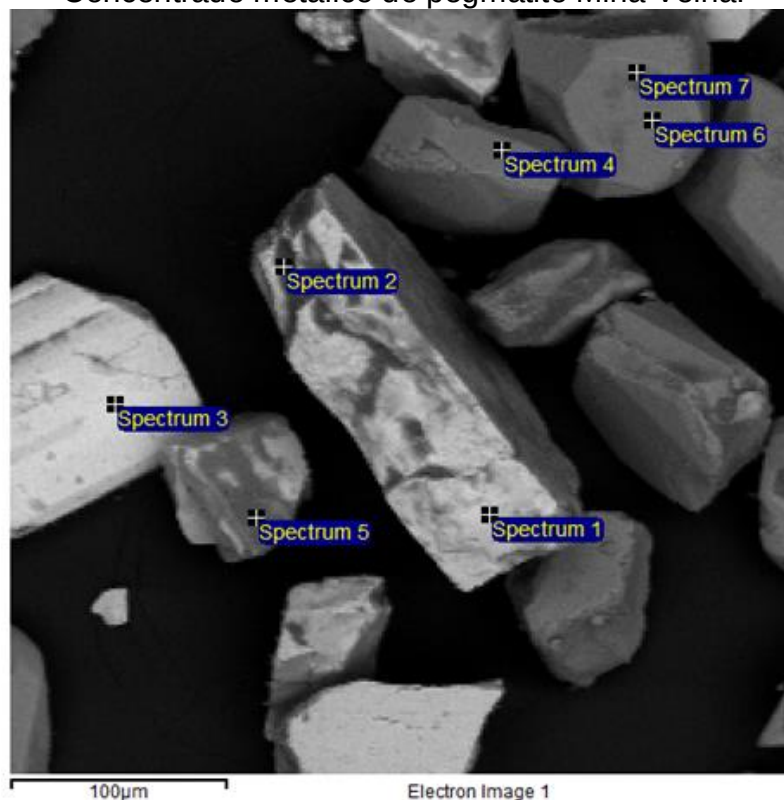
Espectro	Grão	Na (%)	Mg (%)	Al (%)	Ca (%)	Si (%)	K (%)	Ti (%)	V (%)	Mn (%)	Fe (%)	Zn (%)	Nb (%)	Ta (%)	Total (%)
1	1	0	0	32,24	0	48,56	3,63	0,71	0	0,55	14,31	0	0	0	100
2	1	0	0	0,42	0	0	0	1,12	0	4,99	11,09	0	57,43	24,95	100
3	-	0	0	1,33	0	2,08	0	4,46	0	14,24	34,78	0	39,76	3,36	100
4	-	0	0	1,77	0	0,68	0	0,68	0	4,95	12,43	0	33,78	46,38	100
5	2	0	0	2,75	0	3,71	0	1,33	0	9,98	27,95	0	38,44	15,83	100
6	3	0	0,77	7,14	0,29	14,40	0	0,46	0	1,73	74,64	0,56	0	0	100
7	4	0,38	0	1,55	0	4,79	0	0,65	0	6,67	37,77	0	37,88	10,31	100
8	4	0	0	18,75	1,79	37,54	0	0	0	38,10	0	0	0	3,82	100
9	-	0	0	0,64	0	0	0	2,24	0	4,05	19,85	0	57,48	15,74	100
10	-	0	0	1	0	2,08	0	1,11	0	5,78	18,61	0	63,96	7,47	100
11	7	0,53	0	0	0	0,99	0	48,17	1,43	2,80	42,90	0	3,18	0	100
12	6	0	0	0	0	0	0	0	0	10,71	10,04	0	65,51	13,74	100
13	5	0	0	8,07	0	11,95	1,36	1,24	0	2,96	74,41	0	0	0	100
14	-	0	0	0,60	0	0,39	0	49,78	0	2,66	46,58	0	0	0	100
15	-	0	0,45	17,24	0	30,65	0	0,30	0	23,12	28,23	0	0	0	100
16	-	0	0	0	0	0	0	49,16	0	3,53	47,31	0	0	0	100
17	-	0	0	0,85	0	0,72	0	45,79	0	4,04	48,60	0	0	0	100
18	-	0	0	1,79	0	2,52	0	48,56	2,76	2,78	36,28	0	5,30	0	100
19	-	0	0	1,32	0	1,58	0	45,24	0	4,07	47,78	0	0	0	100

Fonte: Dados desta pesquisa (2015).

A figura 38 apresenta a análise de 5 grãos para mais uma comprovação da composição química rica em substituições nos minerais do grupo-columbita, importantes fontes de nióbio-tântalo, em um mesmo grão com tons de cinza diferentes, apontada nos espectros 1, 2, 3 e 5, do quadro 12.

No espectro 4 é demonstrada uma composição química rica em titânio (Ti) e ferro (Fe). Os espectros 6 e 7 apontam para a presença quantitativa de platina (Pt) no pegmatito Mina Velha, assim como apontou qualitativamente nos primeiros testes de EDS, para o pegmatito Facheiro I, contudo podem ser tanto substituições raras como contaminações da metalização, demandando pesquisas específicas.

Figura 38 - Localização dos espectros nos grãos (indicação de Pt) – Concentrado metálico do pegmatito Mina Velha.



Fonte: Dados desta pesquisa (2015).

Quadro 12 – Composição química dos grãos (figura 38) - Concentrado metálico do pegmatito Mina Velha.

Espectro	Na (%)	Mg (%)	Al (%)	Si (%)	K (%)	Ti (%)	Mn (%)	Fe (%)	Nb (%)	Ta (%)	Pt (%)	Total (%)
1	0	0	0,36	0	0	1,15	8,89	14,83	43,75	30,93	0	100
2	0,44	1,69	27,10	42,57	4,77	1,22	0,98	15,66	0	5,57	0	100
3	0	0	0	0	0	1,11	5,38	9,25	32,87	51,39	0	100
4	0	0	0,54	0,48	0	49,28	2,36	47,35	0	0	0	100
5	0	0	15,39	20,38	0,29	0	2,46	43,41	14,17	3,91	0	100
6	0	0	0,82	2,25	0	0	3,19	44,29	0	0	5,54	100
7	0	0	5,95	8,61	0	36,43	2,61	40,05	0	0	6,35	100

Fonte: Dados desta pesquisa (2015).

Os resultados das análises físico-químicas das amostras de concentrados minerais, tanto do pegmatito Facheiro I quanto do Mina Velha, apontam indicações da presença significativa de elementos metálicos nestas rochas.

Foram constatadas as presenças de 4 grupos distintos de minerais: o grupo-columbita (composição com significativa relação Nb-Ta e Mn-Fe); o grupo dos feldspatos (plagioclásios e k-feldspatos comuns em rochas graníticas, com quantificação de elementos como Si, Al e Fe variando entre si); o grupo das micas representado pela muscovita; e, por fim, minerais com altos teores de Ti e Fe.

Estas informações nos levam à percepção da importância de uma separação/concentração dos minerais metálicos executada com eficiência, já que um aproveitamento insuficiente dos bens minerais contidos nos pegmatitos, visando uma extração apenas em níveis superficiais, tem como consequência perdas financeiras incalculáveis.

Outro aspecto negativo de uma concentração de minerais metálicos sem conhecimento e tecnologia é que, mesmo quando existe a possibilidade de executar uma separação/concentração gravimétrica destes, esta é realizada de modo limitado não separando os elementos raros e de altíssimo valor mercadológico.

Além disso, sem avaliações ambientais prévias, com extrações limitadas e superficiais e com perdas financeiras irreparáveis, as consequências são, muitas vezes, a interrupção das atividades por falta retorno financeiro e por ausência de tecnologia, inviabilizando a recuperação da área degradada.

O desenvolvimento das atividades de mineração no semiárido nordestino precisa ser planejado e monitorado para uma extração mineral, com a mínima geração de rejeitos, aproveitando todos os minerais contidos nas rochas pegmatíticas.

A caatinga, por sua vegetação rasteira e simples, não oferece grandes dificuldades no processo de reflorestamento. Conforme indicadores de sustentabilidade no setor da mineração, proposto e aplicado por Ferreira *et al.* (2010, p. 377), denominado de PEIR (Pressão-Impacto-Estado-Resposta), foram identificados fatores que avaliaram o desempenho de uma empresa de extração mineral, e analisaram as atividades desta empresa de forma sistêmica, para facilitar a identificação dos impactos positivos e negativos deste setor e, com isso, propor soluções.

Um exemplo real de uns dos aspectos/impactos positivos das atividades de mineração no semiárido é a criação de postos de trabalho para promover melhorias socioeconômicas para as populações, tanto do entorno quanto de estados vizinhos, dependendo do alcance e sucesso do projeto.

Para todo processo de implantação de empreendimentos de mineração no Brasil, existem normas legislativas vigentes, tanto para prever os danos ao ecossistema afetado, quanto ao início efetivo das atividades de mineração.

Para Villas Bôas e Barreto (2000), o principal desafio para as atividades de mineração no Brasil não é só recuperar áreas degradadas, mas sim a incorporação da questão social, além da ambiental, especialmente o fechamento de minas e o redimensionamento da questão ambiental dentro de uma nova concepção, que é a do desenvolvimento sustentável.

6 CONCLUSÕES

As análises realizadas nesta pesquisa comprovam a existência de elementos do grupo dos minerais de nióbio e tântalo nos pegmatitos pesquisados, além de minerais contendo metais raros e possivelmente ETR, elementos já consagrados na literatura como constituintes das rochas pegmatíticas.

Já são realizados estudos ao longo de 50 anos, aproximadamente, onde já foram pesquisadas diversas localidades da PPB e seus pegmatitos, portanto já existe aparato técnico e conhecimento acerca destas rochas, tão ricas em diversos elementos importantes para a indústria e para a sociedade, conforme demonstram os dados contidos nas análises e apontamentos deste trabalho.

Contudo, estes estudos ainda permanecem como teóricos, já que a condução das atividades de mineração no semiárido continuam sob condições ineficientes de execução, tanto do ponto de vista produtivo quanto econômico, onde os mineradores não têm conhecimento efetivo das potencialidades das rochas pegmatíticas.

Mesmo com a implantação de um arranjo produtivo local (APL) para desenvolvimento de pesquisas e execução de atividades, especificamente para os pegmatitos, pouca coisa mudou efetivamente.

A caracterização tecnológica realizada neste trabalho se mostrou importante, na contribuição para um planejamento de exploração integral dos pegmatitos, uma vez que apontou indicações de grupos minerais em coerência com as informações de estudos prévios sobre os pegmatitos pesquisados. Além disso, pode contribuir com a ampliação de volume de pesquisas que contemplem avaliações quantitativas dos concentrados metálicos, para aplicações de técnicas metalúrgicas de extração dos metais raros.

Para tanto, são necessárias mais caracterizações tecnológicas, mais testes experimentando diferentes rotas de amostragem, inserindo mais equipamentos e técnicas de avaliação físico-química destes concentrados, visando o conhecimento mais abrangente da composição química dos grãos minerais que os compõe, gerando mais informações que possam fomentar interesse em explorar estas rochas.

Tudo isso sem esquecer-se da necessidade de planejamento e monitoramento das atividades de mineração para o desenvolvimento econômico aliado ao desenvolvimento sustentável.

É preciso viabilizar uma exploração destes corpos minerais, se valendo de tecnologia e soluções de engenharia, além da aplicação da legislação vigente, tanto para início quanto para finalização destas atividades.

Não se pode perder de vista os danos que elas causam ao meio ambiente, danos estes que não são apenas à fauna e flora, mas também às populações do entorno.

Para exemplificar a importância de planejamento e monitoramento das atividades de mineração no semiárido, podemos pensar nas consequências do assoreamento de rios pelas pilhas geradas nestas atividades; em uma região onde a escassez de água é uma realidade, isto se tornaria uma verdadeira catástrofe.

Atender a demanda industrial é preciso, levando em conta as reais necessidades de se produzir exaustivamente, já que muitos recursos naturais não são renováveis e outros podem deixar de ser necessários desde que não haja aplicação.

A mineração no semiárido pode configurar impactos socioeconômicos positivos, melhorando as condições de vida destas populações, mas considerando: a realidade local; a fragilidade do bioma caatinga; o planejamento das atividades; a fomentação de conhecimento e tecnologias para que estas atividades sejam vetores de ganhos financeiros e saiam da informalidade; além de pesquisas para inovação no uso sustentável da água e para desenvolvimento de tecnologias, objetivando um beneficiamento mineral com uso mínimo deste recurso.

7 RECOMENDAÇÕES

Para uma avaliação mais detalhada das análises realizadas nesta pesquisa, seria importante a repetição desta caracterização tecnológica, utilizando os mesmos equipamentos e inserindo a absorção atômica para detecção de ouro, ou mesmo nas análises por EDS no MEV, recobrindo os grãos dos concentrados com carbono para este mesmo fim. Outro equipamento que poderia auxiliar na confirmação de elementos raros seria a Microsonda.

Assim, seria avaliado se a presença e quantificações dos grupos minerais, ETR e metais nobres apresentados nos resultados, se confirmam, além da possibilidade de indicações de novos elementos.

No caso da detecção da presença de ETR's, é importante executar uma pesquisa mais detalhada utilizando equipamentos e testes de laboratório bastante específicos.

Seria importante a repetição desta mesma caracterização tecnológica utilizando amostras das micas geradas como rejeito das mesas vibratórias da planta piloto (montada para testes de beneficiamento mineral na Fazenda Primavera), pois neste pode conter elementos de importância mercadológica significativa sendo preciso quantificá-los, além do objetivo de dar destino a um material de descarte das atividades de mineração, o que tornaria a pesquisa forte agente de contribuição para diminuir a degradação ambiental.

Outro aspecto que deve ser aprofundado, em acordo com proposta de Lira (2014), é a exploração integral dos pegmatitos utilizando a rota a seguir: "O beneficiamento poderia ser executado utilizando britadores semi-autógenos e moagem a seco, cujo meio moedor seja bolas de calcedônia ou sílex. O material deverá passar por concentrações gravimétrica, magnética e eletrostática para agrupar os minerais metálicos, como a columbita-tantalita, entre outros constituintes dos pegmatitos. A Hidrociclonagem seria uma opção para separar as micas do feldspato e quartzo. Nestes minerais poderia ser realizada uma separação reversa por meio de flotação, cujos parâmetros deveriam ser ajustados para este fim. Sempre avaliando a questão do uso da água no processo, já que é recurso escasso na região semiárida, podendo ser transportado o material a ser separado para localidades de mais abundância deste recurso" (LIRA, comunicação pessoal).

REFERÊNCIAS

AZEVEDO, F. A. de. **Toxicologia do mercúrio**. São Paulo: Editora Rima, 2003. p. 272.

BARRETO, M. L. (Ed.). **Mineração e Desenvolvimento Sustentável: Desafios para o Brasil**. CETEM/ MCTI. Rio de Janeiro, 2001. p. 215.

BARTH, R. 1989. Avaliação da recuperação de áreas mineradas no Brasil. In: **Brasil Mineral**. Especial: Meio Ambiente. São Paulo: Signus, out., p. 60-72.

BRASIL, **CENSO IBGE 2010**.

Disponível em <<http://www.censo2010.ibge.gov.br>> Acesso em 29 dez. 2015.

BRASIL. **Plano de desenvolvimento preliminar**. Arranjo Produtivo Local de Minerais de Pegmatito do Rio Grande do Norte e Paraíba. MDIC. Brasília, 2009. p. 30.

BRASIL. **Portaria Interministerial nº 06, 2005**. MIN/MMA.

Disponível em: < http://www.mi.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=0aa2b9b5-aa4d-4b55-a6e1-82faf0762763&groupId=24915> Acesso em 15 dez. 2015

CAMERON, E. N. et al, 1949. Internal structure of granitic pegmatites. **Economic Geology** (Monography 2). p. 115.

CAVALCANTI Nt., M. T. de O. & BRITO, J. V. de S. Depósitos Minerais Antropogênicos: uma síntese preliminar dos trabalhos de Pesquisa Mineral nos rejeitos das Minas Cafuca, Bodó/RN e Barra Verde, Currais Novos/RN. **HOLOS – Revista Eletrônica de divulgação da Produção Científica dos Pesquisadores do IFRN**, Natal, 2009, Ano 25, v.2, p. 21–38.

CAVALCANTI Nt, M. T. de O.; ROCHA DA ROCHA, A. M. **Noções de Prospecção e Pesquisa Mineral para técnicos de Geologia e Mineração**. Editora do IFRN, Natal, 2010, p. 267.

CBMM – **Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração**

Disponível em <<http://www.cbmm.com.br>> Acesso em 29 dez. 2015.

COSTA-DE-MOURA, J. **Assinatura Geoquímica de columbita-tantalita e Levantamento Radiométrico de Pegmatitos Radioativos da região de Parelhas, Rio Grande do Norte, Brasil**. p. 128. Tese (Doutorado em Geologia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

CPRM – **Serviço Geológico do Brasil**

Disponível em <<http://geobank.cprm.gov.br/>> Acesso em 27 nov. de 2015.

DANA, J. D.; **Manual de Mineralogia**. In: Revisão de HURLBUT Jr., C. S.; Rio de Janeiro. Ed. Livros Técnicos e Científicos, 1978. p. 595.

DA SILVA, M. R. R. & DANTAS, J. R. A. A Província Pegmatítica da Borborema-Seridó nos Estados da Paraíba e Rio Grande do Norte. In: **Principais Depósitos Minerais do Nordeste Oriental** - Série Geologia. Nº 04. DNPM, Brasília, 1984.

DA SILVA, M.R.R., et al. Borborema Pegmatitic Province: geological and geochemical characteristics. **Journal of South American Earth Sciences**, 8(3-4). 1995. p. 355-364.

DA SILVA, S. M. P. et al.; Espectrometria de raios gama de granitos pegmatíticos da Província Pegmatítica da Borborema (PPB), nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geofísica**, São Paulo, 2010, v.28 no.4.

DEER, W. A. et al; **Minerais Constituintes das Rochas**: uma introdução. Tradução. Ed. Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa. 1966. p. 547.

ERCIT, T.S. The Geochemistry and Crystal Chemistry of Columbite-Group Minerals from Granitic Pegmatites, South Western Grenville Province Canadian Shield. **The Canadian Mineralogist**, v. 32, 1994. p.421-438.

FERREIRA, E. da S. et al.; Sustentabilidade no setor de Mineração: Uma aplicação do modelo Pressão-Estado-Impacto-Resposta. In: CÂNDICO, Gesivaldo Ataíde (org.). **Desenvolvimento Sustentável e Sistemas de Indicadores de Sustentabilidade**: Formas e aplicações em contextos geográficos diversos e contingências específicas. Campina Grande. EDUFCG, 2010. p. 377-399.

JAHNS, R. H. **The study of pegmatites**: economic geology, 1955, 50th Anniver. p.1025-1130.

JOHNSTON Jr., W. D. **Pegmatitos ambligonita-berilo-tantalíferos do Ceará, Nordeste do Brasil**. Rio de Janeiro: DNPM/ Divisão de Fomento da Produção Mineral, 1945. (Avulso, 66).

LAPIDO-LOUREIRO, Francisco Eduardo. **O Brasil e a Reglobalização da Indústria das Terras Raras**. CETEM/ MCTI. Rio de Janeiro, 2013. p. 216.

LIMA, M. P. **Aspectos da lavra de feldspato em pegmatitos da Província da Borborema**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas) – Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2002. p. 91.

LIRA, Belarmino Barbosa. **Relatório de Pesquisa Mineral para o DNPM**: Empresa MINEGRAN - Minerais e granitos do Nordeste LTDA. João Pessoa, 2014.

LIRA, H. L. & NEVES, G. A. Feldspatos: conceitos, estrutura cristalina, Propriedades físicas, origem e ocorrências, aplicações, reservas e produção. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**. v. 8.3, Campina Grande, 2013. p. 110-117.

LOBATO, E. **Relatório 51: A Mineração Brasileira - Perfil da Mica**. Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. Brasília, 2009. p.30. Disponível em:

http://www.mme.gov.br/documents/1138775/1256650/P28_RT51_Perfil_da_Mica.pdf
Acesso em 10 nov.2015.

LUZ, A. B. et al. **Aproveitamento Integral dos Pegmatitos do Nordeste**: um tema recorrente. In: Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa, XIX, 2002, Recife, p. 642-650.

LUZ, A. B. et al. Pegmatitos do nordeste: diagnóstico sobre o aproveitamento racional e integrado. **Série Rochas e Minerais Industriais**, CETEM/MCT, Rio de Janeiro. 2003. p. 96.

LUZ, A. B. & COELHO, J. M. Feldspato. In: LUZ, A. B. et al. (org.). **Rochas e Minerais Industriais**. CETEM. Rio de Janeiro, 2005. p. 413- 429.

MELO JÚNIOR, A. da S. **Análise Quantitativa do material particulado na região de Campinas através das técnicas de Microfluorescência de raios x e Reflexão total usando Radiação Sincrotron**. p. 279. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

MEDEIROS, S. de S. et al.; **Sinopse do Censo Demográfico para o Semiárido Brasileiro**. Instituto Nacional do Semiárido. Campina Grande. 2012. p. 103.

MORAES, R. O. & HECHT, C. Geologia do Feldspato. **Principais Depósitos Minerais do Brasil**. DNPM/CPRM, v. 4b, Brasília,1997. p.319-326.

NEUMANN, R. et al.; Caracterização Tecnológica de Minérios. In: LUZ, A. B. et al. (org.). **Tratamento de Minérios**. CETEM, Rio de Janeiro. 2002. p. 55 -109.

OLIVEIRA, M. L. M. de & AQUINO, J. A. de; Amostragem. In: SAMPAIO, J. A. et al. (Ed.) **Tratamento de Minérios: Práticas Laboratoriais**. Rio de Janeiro. CETEM/MCT, 2007. p. 03-33.

PARAHYBA, R. E. R.; CAVALCANTI, V. M. M. & PERLATTI, F. **Mineração no Semiárido Brasileiro**. Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. Brasília. 2009. p. 179. Disponível em: <<http://docslide.com.br/documents/mineracao-no-semiarido-brasileiro-56290a31828a0.html>> Acesso em 23 dez. 2015.

PEIXOTO, E. M. A.; Elemento químico: Argônio. **Revista Química Nova na Escola**. n.18. São Paulo, nov. 2003. p.55.

PEREIRA, R. M. et al; Determinação da gênese da cassiterita com base na sua composição química e inclusões minerais: ocorrências no sul e sudeste brasileiro. **Revista Brasileira de Geociências**. São Paulo. v.38 n.2 . jun. 2008.

LOPES, M.; **Portal do Técnico em Mineração**. Disponível em:
<<http://tecnicoemineracao.com.br/o-mercado-dos-elementos-terras-raras-e-suas-aplicacoes/>> Acesso em 29 dez.2015.

ROLFF, P. A. M. A. **Contribuição ao estudo de cassiterita no Nordeste**. Rio de Janeiro: DNPM, 1945.

ROLFF, P. A. M. A. **Minerais de pegmatitos da Borborema**. Rio de Janeiro: DNPM, 1946.

SCORZA, E.P. **Província Pegmatítica da Borborema**. DNPM/DGM (Boletim 112). Rio de Janeiro, 55p. 1944.

SILVA, S. M. P. & CRÓSTA, A. P. **Mapeamento de pegmatitos da Faixa Seridó (FSe) com base na análise por componentes principais de imagens TM/Landsat-5 e Terra/ASTER e o apoio da espectroscopia de reflectância**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, XV, Curitiba, INPE, p. 3597. 2011.

SILVA, S. M. P. et al.; **Espectrometria de raios gama de granitos pegmatíticos da Província Pegmatítica da Borborema (PPB), nordeste do Brasil**. *Revista Brasileira de Geofísica*. v. 28, n. 4. São Paulo, 2010.

SOARES, D. R. Crisoberilo: primeira ocorrência na Província Pegmatítica da Borborema, NE do Brasil. **Revista Princípios** - Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB, João Pessoa, 2013, no.22, v.28, p. 40-44.

SOARES, D. R. **Contribuição à Petrologia de Pegmatitos Mineralizados em Elementos Raros e Elbaítas Gemológicas da Província Pegmatítica da Borborema, Nordeste do Brasil**. p. 158. Tese (Doutorado em Geociências) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2004.

SOUSA Jr., M. de A. **Sensoriamento remoto aplicado no estudo de estruturas geológicas com ocorrências de depósitos minerais, na porção centro-norte do estado da Paraíba**. p. 122 . Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1998.

Streckeisen, A. L.; To each plutonic rock its proper name. **Earth-Science Reviews**, 12(1). 1976. p. 01-13.

TABARELLI, M. et al.; Análise de representatividade das unidades de conservação de uso direto e indireto no bioma Caatinga. Documento Temático. In: **Seminário Biodiversidade da Caatinga**. 2000. Disponível em:
<<http://www.biodiversitas.org/caatinga>>

UNESP - **Universidade Estadual Paulista**

Disponível em: < <http://www.rc.unesp.br/museudpm/banco/oxidos/columbita-tantalita.html>> Acesso em 15 dez. 2015

VIDAL, F. W. H. & NOGUEIRA NETO, J. A. Minerais de Pegmatitos. In: VIDAL, F.W.H.; SALES, F.A.C.B.; ROBERTO, F.A.C.; SOUZA, J.F. & MATTOS, I.C. (Org.). **Rochas e Minerais Industriais do Estado do Ceará**. 1º ed., Fortaleza. Realce Editora & Ind. Gráfica Ltda., 2005, p. 67-81.

VILAS BÔAS, R. C. & BARRETO, M.L. **Cierre de Minas**: experiências em Iberoamerica. Rio de Janeiro, CYTED/IMAAC, 2000.