



**PEGMATITOS DO ALBITA GRANITO MADEIRA: CARACTERIZAÇÃO DO
MINÉRIO PARA FINS DE BENEFICIAMENTO DE ETR**

Porto Alegre, 2016

HELENA FONTANELLA LENGLER

**PEGMATITOS DO ALBITA GRANITO MADEIRA: CARACTERIZAÇÃO DO
MINÉRIO PARA FINS DE BENEFICIAMENTO DE ETR**

Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Apresentado na forma de monografia, junto à disciplina Projeto Temático em Geologia III, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Artur Cezar Bastos Neto

Co-orientador: Prof. Dr. Vitor Paulo Pereira

Supervisor: Prof. Dr. Egydio Menegotto

Porto Alegre, 2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Rui Vicente Oppermann

Vice-Reitora: Jane Tutikian

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Diretor: André Sampaio Mexias

Vice-Diretor: Nelson Luiz Sambaqui Gruber

Lengler, Helena Fontanella
Pegmatitos do albita granito Madeira: caracterização do minério
para fins de beneficiamento de ETR. / Helena Fontanella Lengler. -
Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2016.
[114 f.] il.

Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso).- Universidade
Federal do Rio Grande do Sul. Graduação em Geologia. Instituto de
Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2016.

Orientador(es): Artur Cezar Bastos Neto

Coorientador(es): Vitor Paulo Pereira

1. Elementos terras raras 2. Xenotima 3. Pitinga 4. Pegmatito
I. Título.

CDU 55

Catálogo na Publicação
Biblioteca Instituto de Geociências - UFRGS
Sibila F. T. Binotto CRB 10/1743

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o Trabalho de Conclusão de Curso **“PEGMATITOS DO ALBITA GRANITO MADEIRA: CARACTERIZAÇÃO DO MINÉRIO PARA FINS DE BENEFICIAMENTO DE ETR”** elaborado por **“HELENA FONTANELLA LENGLER”**, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Comissão Examinadora:

Profa. Dra. Marcia Elisa Boscato Gomes

Prof. Dr. Pedro Luiz Juchen

Prof. Dr. Rommulo V. Conceição

Para meus pais,
Céliamar e Helio Lengler

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente aos meus pais, pelo amor incondicional, por me proporcionarem ao longo desses anos todo suporte necessário, financeiro e emocional. Ao meu pai, por me mostrar essa profissão maravilhosa e por todos os ensinamentos, dicas, reclamações, ou seja, por tudo. Espero que ainda possamos fazer muitos campos juntos, ou pelo menos visitar alguns dos milhares de lugares mágicos, aqueles no qual a geologia nos surpreende em cada detalhe. Tal pai, tal filha. A minha mãe, por me aguentar por horas no telefone durante todo o ano, ouvindo as minhas histórias, problemas e dúvidas.

Agradeço ao Professor Artur, por ter me dado a oportunidade de fazer parte deste projeto, como também pela possibilidade de estágio na empresa Mineração TABOCA. Ao Professor Vitor por todos os ensinamentos, e principalmente ao Egydio por ter me acompanhado todo o ano durante a execução desse trabalho, por toda ajuda, preocupação e calma.

Ao CNPq, por ter possibilitado e financiado esta pesquisa.

As amigas maravilhosas que a geologia me proporcionou, que estiveram sempre ao meu lado, nos altos e baixos, companheiras de festas, principalmente das horas felizes, trabalhos de campo, e que sempre arranjaram alguns minutos do dia para me acompanhar no RU, ou ficar na escadinha conversando entre uma aula e outra. Amigas que espero levar para a vida toda: Bárbara, Bruna, Gaia, Larissa, Letícia e Thaysa.

Agradeço também a todos meus amigos, principalmente aqueles os quais tive a chance de me reaproximar neste último ano, e que me aguentaram muito nos últimos meses. A todas novas amigas que este ano me presenteou. Amo vocês.

RESUMO

O depósito Madeira (Sn, Nb, Ta) na Mina de Pitinga está associado com a fácies albita granito do Granito Madeira (~1,83 Ga), e tem conhecido potencial em subprodutos como o flúor (criolita), Y, ETR, Li, Zr e Th. A fácies albita granito foi subdividido em albita granito de núcleo (AGN) e albita granito de borda (AGB). O albita granito possui diversos corpos pegmatíticos com composições químicas e mineralógicas heterogêneas. Objetiva-se, com esse trabalho, descrever e comparar os corpos pegmatíticos do AGN e os que ocorrem na borda externa do AGB. Os pegmatitos do AGN são portadores de minerais específicos de ETR, como xenotima e gagarinita. Os pegmatitos do AGB não contêm esses minerais. O furo de sondagem RS-078 tem uma zona pegmatítica inclusa no AGN, que contém concentrações de xenotima, na forma de pequenos cristais prismáticos euédricos, sem inclusões, fazendo parte da matriz, e/ou como fenocristais (até 5 cm), com grande quantidade de inclusões de minerais da matriz, principalmente albita. A xenotima desta porção pegmatítica não apresenta grandes variações de seus componentes P, Y e ETR, com alta substituição do Y por ETRP, especialmente Yb, Er, Dy e Ho, tendo a fórmula média: $(Y_{0,46} Yb_{0,20} Er_{0,13} Dy_{0,09} Ho_{0,05} Tm_{0,03} Lu_{0,03} Gd_{0,01} Tb_{0,01} Sr_{0,01} Zr_{0,01})[P_{0,97} (O_{3,99} F_{0,05})]$. Os Cálculos cristalquímicos dos parâmetros da cela unitária obtiveram os seguintes valores: **a** = 6,8914 Å; **c** = 6,03046 Å; **volume** = 286,6232 Å³. Suas características indicam origem ígnea, principalmente em função de apresentar alto conteúdo de Yb e baixo conteúdo de Eu e Gd. A presença de flúor na estrutura cristalina, aliada ao baixo conteúdo de U, sugere a formação de xenotima com participação de um fluido rico em voláteis. O AGB contém pegmatitos situados na sua periferia, no contato com o biotita K-feldspato granito e com o anfibólio biotita sienogranito. Este estudo mostra que são constituídos essencialmente por K-feldspato e quartzo, com proporções significativas de zircão, pirocloro e outros acessórios, mas sem presença de minerais específicos de ETR. Os dados geoquímicos indicam que estes pegmatitos têm poucas diferenças composicionais em relação às rochas que os contêm, mas seu maior grau de semelhança é com o AGB, especialmente no que diz respeito à distribuição dos ETR. Pela sua localização e pela composição, os corpos existentes na periferia do AGB, até aqui referidos como "greisens", também são porções pegmatíticas associadas com fraturamento e alteração dos minerais primários pela ação de fluidos que acompanharam a sua formação. A presença de minerais de ETR nas porções de pegmatito do AGN, ausente nos do AGB, é característica e fundamental na possibilidade de utilização como minério no futuro. As porções pegmatíticas do AGN, devido ao fato de formarem corpos com dimensões métricas e possuírem minerais centimétricos, são propícios ao beneficiamento de ETR. Quando forem expostas pelo aprofundamento da mina, são passíveis de serem exploradas por lavra seletiva para ETR. Ao contrário, as porções pegmatíticas de borda do AGB não possuem potencial metalogenético com vistas aos ETR.

Palavras-Chave: Elementos terras raras. Xenotima. Pitinga.

ABSTRACT

The Madeira deposit (Sn, Nb, Ta) at Pitinga mine is associated with the albite-enriched facies of the Madeira Granite (~1.83 Ga), and has known potential by-products such as fluorine (cryolite), Y, REE, Li, Zr and Th. The albite-enriched facies was subdivided into core albite-enriched granite (CAG) and border albite-enriched granite (BAG). The albite-enriched granite has several pegmatite bodies with heterogeneous chemical and mineralogical compositions. The purpose of this work, is to describe and to compare the pegmatite bodies of CAG and those occurring at the outer border of the BAG. The CAG pegmatites are carriers of specific REE minerals, such as xenotime and gagarinita. The pegmatites of the outer border of the BAG do not contain these minerals. The RS-078 borehole has a pegmatitic body included in CAG, which contain xenotime concentrations as small euhedral prismatic crystals, without inclusions, and or like phenocrysts (up to 5 cm). The xenotime concentrations are found with large amounts of matrix mineral inclusions, mainly albite. The xenotime of this pegmatitic body does not present great variations of its main components (P, Y and REE, with high replacement of Y by HREE), having the formula: $(Y_{0,46} Yb_{0,20} Er_{0,13} Dy_{0,09} Ho_{0,05} Tm_{0,03} Lu_{0,03} Gd_{0,01} Tb_{0,01} Sr_{0,01} Zr_{0,01})[P_{0,97} (O_{3,99} F_{0,05})]$. The crystallochemical calculations of the unit cell parameters reached to the following values: $a = 6.8914 \text{ \AA}$; $c = 6.03046 \text{ \AA}$; volume = 286.6232 \AA^3 . These values suggest the samples are of igneous origin, mainly due to the high content of Yb and the low content of Eu and Gd. The presence of fluorine in the crystal structure and the low content of U suggests the formation of xenotime with participation of a volatile rich fluid. The BAG contains pegmatites located on its periphery in contact with the biotite K-feldspar granite and the amphibole biotite syenogranite. This study shows that the border pegmatites are mainly made up by K-feldspar and quartz, with significant proportions of zircon, pyrochlore and other minerals, but without specific minerals of REE. The geochemical data indicate that there are small compositional differences within the rocks containing the pegmatites. The greatest degree of similarity is with BAG, especially with regard to the REE distribution. Due to its location and composition, bodies that exist in the periphery of the BAG, referred to as "greisens", are also pegmatitic and are associated with fracturing and alteration of primary minerals by the action of fluids that accompanied BAG formation. The presence of REE minerals in the CAG pegmatite, absent in BAG's border pegmatites, is characteristic and essential for possible future use as an ore. As CAG pegmatites are exposed by deepening of the mine they, can to be exploited by selective mining for REE. The BAG's border pegmatites have no metallogenic potential for REE.

Keywords: Rare earth elements. Xenotime. Albite-enriched granite. Pegmatite. Pitinga.

LISTA DE FIGURAS	P.
Figura 1. Mapa de localização da área de Pitinga	19
Figura 2. Mapa geológico da área desenvolvido no quadro do projeto “Caracterização de Depósitos minerais em distritos mineiros da Amazônia”.	21
Figura 3. Mapa do Granito Madeira e suas fácies.	24
Figura 4. Representação esquemática do segmento do furo de sondagem RS 078.	38
Figura 5. Fotografias de amostras do furo RS 078.	40
Figura 6. Microfotografias em amostras do Furo RS 078.	41
Figura 7. Imagem ao MEV de cristal de U-Pb-Pirocloro, em AGN no segmento posterior ao pegmatito. Furo RS 078. Am16	42
Figura 8. Representação do segmento do furo de sondagem CD 002.	43
Figura 9. Fotografias de amostras do pegmatito de borda do AGB: Amostras do furo CD 002.	44
Figura 10. Representação do segmento do furo de sondagem CD 003.	45
Figura 11. Fotografias de amostras do pegmatito de borda do AGB. Furo de sondagem CD 003	46
Figura 12. Imagens ao MEV em amostras do segmento pegmatítico do furo de sondagem CD 003.	46
Figura 13. Teores em percentagem dos principais elementos maiores, representados em óxidos. Amostras analisadas do furo RS-78.	48
Figura 14. Teores em percentagem de F (fluoreto), S (sulfeto) e P ₂ O ₅ , responsáveis pela formação de minerais não silicatados. Amostras analisadas do furo RS-78.	49
Figura 15. Teores dos metais que constituem o principal produto (Sn), mineração. Amostras analisadas do furo RS-78.	51
Figura 16. Teores de alguns metais significativos e que poderão ter importância para a mineração. Amostras analisadas do furo RS-78.	52
Figura 17. Teores de elementos significativos e importantes para o entendimento da química mineral. A mostras analisadas do furo RS-78.	53
Figura 18. Teores de elementos traços com menor abundância. Amostras analisadas do furo RS-78.	53
Figura 19. Comparação entre os teores de Y e os somatórios de elementos terras raras leves (ETRL), pesados (ETRP) e totais (ETR-TOTAL). Amostras analisadas do furo RS-78.	55

Figura 20. Gráfico de ETR das amostras do furo RS 78, normalizados pelo meteorito Anders & Greves (1989).	55
Figura 21. Principais elementos maiores nas amostras analisadas do furo CD 002.	57
Figura 22. Principais elementos maiores nas amostras do furo CD 003.	58
Figura 23. Teores dos metais que constituem o principal produto (Sn), subproduto (Nb) e alguns outros metais com teores significativos e que poderão ter importância para a mineração. Furo de sondagem CD 002.	61
Figura 24. Teores dos metais que constituem o principal produto (Sn), subproduto (Nb) e alguns outros metais com teores significativos e que poderão ter importância para a mineração. Furo de sondagem CD 003.	61
Figura 25. Elementos com teores significativos e importantes para o entendimento da química mineral da rocha. Furo de sondagem CD 002.	62
Figura 26. Elementos com teores significativos e importantes para o entendimento da química mineral da rocha. Furo de sondagem CD 003.	62
Figura 27. Teores de elementos traços com menor abundância. Furo CD 002.	63
Figura 28. Teores de elementos traços com menor abundância. Furo CD 003.	63
Figura 29. Comparação entre os teores de Y e os somatórios de elementos terras raras leves (ETRL), pesados (ETRP) e totais (ETR-TOTAL). Furo CD 002.	67
Figura 30. Comparação entre os teores de Y e os somatórios de elementos terras raras leves (ETRL), pesados (ETRP) e totais (ETR-TOTAL). Furo CD 003.	67
Figura 31. Gráfico de ETR das amostras do furo CD 002, normalizados pelo meteorito Anders & Greves (1989).	68
Figura 32. Gráfico de ETR das amostras do furo CD 003, normalizados pelo meteorito Anders & Greves (1989).	68
Figura 33. Difratoograma de um concentrado da amostra 09 do furo RS 78, mostrando associação de xenotima com albita.	70
Figura 34. Difratoograma de um concentrado da amostra PEG 19, de pegmatito coletado a céu aberto.	71
Figura 35. Composição da xenotima no furo RS 078. Teores de P_2O_5 , Y_2O_3 e ETR_2O_3 nos 10 pontos analisados da amostra 09B, dados em percentagem.	77
Figura 36. Composição da xenotima no furo RS 078. Teores de P_2O_5 , Y_2O_3 e ETR_2O_3 nos 10 pontos analisados da amostra 10A, dados em percentagem.	78
Figura 37. Distribuição dos teores médios de ETR, normalizados pelo condrito (Anders & Greves, 1989) em escala logarítmica, na xenotima das amostras 09B e 10A do furo de sondagem RS 078. Média de 10 pontos em cada amostra.	78

Figura 38. Comparação entre a distribuição dos teores médios dos ETR, normalizados pelo condrito (Anders & Greves, 1989) em escala logarítmica, nas amostras de pegmatito do furo RS 078, com a média dos pegmatitos do furo RS 038 e com a média de amostras dos pegmatitos superficiais.	80
Figura 39. Comparação entre os padrões de distribuição dos teores médios de ETR, normalizados pelo condrito (Anders & Greves, 1989), em escala logarítmica, da xenotima analisada neste trabalho (furo RS 078) com: a xenotima do furo RS 038 (Stolnik, 2015), a xenotima de pegmatitos coletados a céu aberto (Paludo, 2015) e a xenotima em AGN normal, AGN pegmatítico e albita granito transicional (Bastos Neto <i>et al.</i> , 2012).	83
Figura 40. Furos de sondagem F3 e F4, situados na borda leste do AGB, segundo Ferreira (2008).	85
Figura 41. Comparação dos teores de ETR, normalizados pelo condrito (Anders & Greves, 1989), em escala logarítmica, nas amostras dos pegmatitos dos furos CD 002 e CD 003.	88
Figura 42. Comparação em escala logarítmica dos teores médios (em $\mu\text{g/g}$) de ETRL, ETRP e Y nas amostras dos pegmatitos dos furos CD 002 e CD 003.	89
Figura 43. Comparação das razões ETRL / ETRP nas amostras dos pegmatitos dos furos CD 002 e CD 003.	89
Figura 44. Comparação dos teores médios (em $\mu\text{g/g}$) de ETR Total e Y nas amostras dos pegmatitos dos furos CD 002 e CD 003.	90

LISTA DE QUADROS

	P.
Quadro 1: Elementos menores e elementos traços e respectivos limites de detecção (ppm) determinados através do método 4Litho (Fusão + ICP)	35
Quadro 2: Padrões utilizados nas análises de xenotima por microsonda	36

LISTA DE TABELAS

	P.
Tabela 1. Furos de sondagem - Localização e características.	37
Tabela 2. Elementos maiores nas amostras analisadas do furo de sondagem RS 078.	48
Tabela 3. Elementos menores e elementos traços nas amostras analisadas do furo de sondagem RS 078.	50
Tabela 4. Elementos terras raras (ETR) nas amostras analisadas do furo de sondagem RS 078.	54
Tabela 5. Elementos maiores nas amostras analisadas do furo de sondagem CD 002.	57
Tabela 6. Elementos maiores nas amostras analisadas do furo de sondagem CD 003.	58
Tabela 7. Elementos menores e elementos traços nas amostras analisadas do furo de sondagem CD 002.	59
Tabela 8. Elementos menores e elementos traços nas amostras analisadas do furo de sondagem CD 003.	60
Tabela 9. Elementos terras raras (ETR) nas amostras analisadas do furo de sondagem CD 002.	65
Tabela 10. Elementos terras raras (ETR) nas amostras analisadas do furo de sondagem CD 003.	66
Tabela 11. Picos observados, plano (hkl), valores do parâmetro "d" e respectiva intensidade de difração. Organizada pela ordem de intensidade dos picos. Amostra 09 do furo RS 78.	70
Tabela 12. Picos observados, plano (hkl), valores do parâmetro "d" e respectiva intensidade de difração. Organizada pela ordem de intensidade dos picos. Amostra de pegmatito coletado a céu aberto PEG-19.	71
Tabela 13. Composição química da Xenotima da amostra 09B do furo RS 078	73
Tabela 14. Composição química da Xenotima da amostra 10A do furo RS 078	74

Tabela 15. Fórmulas da xenotima nos pontos analisados na amostra 09B do furo RS 078.	75
Tabela 16. Fórmulas da xenotima nos pontos analisados na amostra 10A do furo RS 078.	76
Tabela 17. Comparação entre os parâmetros da cela unitária da xenotima das amostras analisadas com dados bibliográficos.	82

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

Ab	Albita
Am	Amostra
AGN	Albita granito de núcleo
AGB	Albita granito de borda
AGT	Albita granito transicional
AM	Estado do Amazonas
Arg	Argilominerais
BG	Biotita-feldspato alcalino granito
Bt	Biotita
CME	Centro de Microscopia Eletrônica
CPGq	Centro de pesquisa em geoquímica
d (hkl)	Distância entre os planos atômicos
DCM	Depósito criolítico maciço
DRX	Difratometria de raios x
EDS	<i>Energy Dispersive Spectroscopy</i>
ETR	Elementos terras raras
ETRL	Elementos terras raras leves
ETRP	Elementos terras raras pesados
Fl	Fluorita
Ga	Bilhões de anos
Gag	Gagarinita
(hkl)	Plano atômico da estrutura cristalina
km	Quilômetro
kV	Quilovolt
Mc	Microclínio
Ma	Milhões de anos
MEV	Microscópio eletrônico de varredura
MSE	Microsonda eletrônica
nA	Nano Ampère
pmm	partes por milhão = µg/g
Poli	Polilithionita
Qtz	Quartzo
REE	<i>Rare Earth Elements</i>
SEM	<i>Scanning Electron Microscope</i>
SHRIMP	<i>Sensitive High Resolution Ion MicroProbe</i>
WDS	<i>Wavelength Dispersive Spectroscopy</i>
Xtm	Xenotima
Å	Angstrom = 10 ⁻⁷ milímetro
%	Porcentagem = g/100g
µm	Micrômetro = 10 ⁻³ milímetro
2θ	Ângulo de difração de raios X na equação de Bragg
Σ	Somatório

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
2. JUSTIFICATIVA.....	16
3. OBJETIVOS.....	17
4. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	18
5. ESTADO DA ARTE.....	19
5.2. GRANITO MADEIRA E SUA MINERALIZAÇÃO.....	22
5.3. DEPÓSITO CRIOLÍTICO MACIÇO E CRIOLITA DISSEMINADA.....	24
5.4. CORPOS PEGMATÍTIOS DO ALBITA GRANITO MADEIRA.....	26
5.5. OS ETR NO ALBITA GRANITO MADEIRA.....	26
5.5.1. ELEMENTOS TERRAS RARAS – propriedades e usos.....	26
5.5.2. Principais minerais de ETR do albita granito Madeira.....	28
5.5.2.1. Xenotima.....	28
5.5.2.2. Gagarinita – Fluocerita.....	29
5.5.2.3. Pirocloro – Columbita.....	29
6. METODOLOGIA.....	30
6.1. Descrição de amostras dos testemunhos de sondagem e amostras dos pegmatitos de superfície.....	31
6.2. Descrição de lâminas petrográficas.....	32
6.3. Preparação de separações minerais com líquidos pesados.....	32
6.4. Separador magnético e isodinâmico Frantz.....	33
6.5. Difratomia de Raios-X.....	33
6.6. Microscopia eletrônica de varredura (EDS/MEV).....	33
6.7. Análise química de rocha total.....	34
6.8. Microsonda Eletrônica.....	36
7. RESULTADOS.....	37
7.1. Mineralogia.....	38
7.1.1. AGN pegmatítico - furo de sondagem RS 078.....	38
7.1.2. Pegmatito de borda do AGB - sondagens CD 002 e CD 003.....	42
7.2. Geoquímica - rocha total.....	46
7.2.1. AGN pegmatítico - furo de sondagem RS 078.....	47
7.2.2. Pegmatito de borda do AGB - sondagens CD 002 e CD 003.....	56
7.3. QUÍMICA MINERAL DA XENOTIMA.....	69
8. DISCUSSÃO.....	79
8.1. Pegmatitos graníticos do AGN.....	79
8.2. Pegmatitos de borda (AGB).....	84

9. CONCLUSÕES	90
REFERÊNCIAS.....	93
APÊNDICE.....	98
APÊNDICE A - DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS DO FURO DE SONDAAGEM RS 078	98
APÊNDICE B - DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS DO FURO DE SONDAAGEM CD 002	105
APÊNDICE C - DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS DO FURO DE SONDAAGEM CD 003	108
APÊNDICE D - ANÁLISES QUÍMICAS - ROCHA TOTAL.....	115
APÊNDICE E - ANÁLISES QUÍMICAS DA XENOTIMA - MICROSSONDA ELETRÔNICA	116

1. INTRODUÇÃO

O depósito Madeira faz parte do Distrito Mineiro de Pitinga, localizado no município de Presidente Figueiredo no Estado do Amazonas. É um depósito de classe mundial (Bastos Neto, *et al.*, 2009) com 164 milhões de toneladas de minério disseminado, com um grau de 0,17% de Sn (cassiterita). Nióbio e Ta (pirocloro e columbita) são explorados como subprodutos. F (da criolita), Y e REE (xenotima e gagarinita), Zr e U (zircão), Th (thorita), e Li (polilithionita) são potenciais subprodutos. O depósito Madeira ocorre associado à fácies albita granito do granito Madeira.

A história do distrito mineiro iniciou com a descoberta de cassiterita aluvionar pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), durante a realização de projeto de mapeamento geológico básico (Veiga Jr. *et al.*, 1979). No mesmo ano, a Paranapanema S.A. iniciou a pesquisa em áreas adquiridas da CPRM e em áreas mais a oeste, até a divisa com a reserva indígena dos índios Waimiri-Atroaris. A produção do estanho aluvionar iniciou em 1980. O minério primário associado a greisen do granito Água Boa foi descoberto em 1982. O depósito Madeira foi descoberto em 1983. A criolita disseminada no albita granito foi identificada em 1986. Em 1989, as sondagens revelaram a ocorrência de corpos de criolita maciça na parte central do albita granito, constituindo o Depósito Criolítico Maciço (DCM)

A mina Pitinga é a maior produtora de cassiterita do Brasil. Esgotadas as reservas dos minérios intemperizado e aluvionar, sem criolita, estão sendo realizadas operações de britagem e moagem de rocha sã, com criolita disseminada. O projeto atual prevê a lavra de cerca de 8,4 milhões de toneladas por ano com teores de 0,175% de Sn; 0,223 de Nb_2O_5 ; 0,028 de Ta_2O_5 e 4,2 % de criolita. O processamento metalúrgico do minério de Nb-Ta já é efetuado em Pitinga sendo o do Sn realizado em São Paulo. A exploração da criolita do DCM ocorrerá quando ele for atingido pela cava da mina.

O albita granito contém uma quantidade significativa de corpos pegmatíticos, muitos deles portadores de altos teores de ETR, associados a minerais como xenotima, gagarinita e fluocerita. Concentram preferencialmente elementos terras

raras pesados (ETRP), que têm maior valor de mercado do que os elementos terras raras leves (ETRL). Ocorrem três tipos de pegmatíticos associados ao albita granito:

- Pegmatitos na forma de veios, comuns na zona central do albita granito;
- Intercalações de albita granito pegmatítico (não se trata de veios e sim de variações texturais), também mais comuns na parte central do albita granito;
- Corpos pegmatíticos (possivelmente veios) localizados na borda do albita granito, no seu contato com as fácies mais antigas do granito Madeira ou muito próximo a este contato.

Os dois primeiros tipos de pegmatitos foram estudados no quadro de 2 trabalhos de conclusão do curso de geologia da UFRGS (Paludo 2015 e Stolnik 2015).

O presente trabalho de conclusão é focado nos pegmatitos da parte mais externa do albita granito, tanto os na periferia do AGN quanto os da borda do AGB, e os resultados deste estudo são comparados com os dois estudos mencionados.

2. JUSTIFICATIVA

A China, que é o principal produtor de ETR e controla 97% da oferta mundial, começou, em 2010, a diminuir a produção destes elementos e criou uma política de cotas para a sua exportação. Com isso, muitos países, incluindo o Brasil, começaram a procurar por novos depósitos de ETR e a avaliar a viabilidade da exploração destes elementos como subprodutos de depósitos de outros elementos, mas já em produção. Atualmente, há uma crescente demanda de ETR. O problema é maior no que tange aos ETRP, os de maior importância tecnológica, os menos disponíveis no mercado mundial e, conseqüentemente, os mais caros.

No Brasil, excluindo os depósitos em areias de praia (como as areias monazíticas do Espírito Santo), cuja lavra é problemática devido a questões ambientais, as melhores perspectivas para prospecção de depósitos de ETRP estão relacionadas a rochas graníticas, mais particularmente aos granitos de tipo-A estaníferos, como os da Província Estanífera de Goiás e o granito Madeira (Formoso et al. 2016).

Os trabalhos anteriores realizados pelo grupo de pesquisa da UFRGS no granito Madeira verificaram que os dois outros tipos de pegmatitos (veios pegmatíticos na zona central do corpo e intercalações de albita granito pegmatítico) são bem mais ricos em ETR (e Sn) do que o albita granito comum, justificando a operação de lavras seletivas naqueles corpos. Com a caracterização detalhada dos minérios, podemos determinar os pegmatitos da borda do albita granito que tem maior potencial para exploração por lavra seletiva. O estudo cristalquímico da xenotima possibilitará obter informações significativas, que auxiliam nos processos de beneficiamento destes minerais de minério.

Do ponto de vista científico, os pegmatitos da borda do albita granito são uma incógnita. Sua posição na evolução do sistema albita granito não é conhecida. É possível que sejam corpos correlacionados aos que ocorrem na parte central do albita granito, mas que se posicionaram na sua borda, aproveitando a interface representada pelo contato do albita granito com as fácies mais precoces. Mas isto é apenas uma suposição. A presença de xenotima foi identificada apenas macroscopicamente, de modo que não se base se este mineral é rico em flúor e, conseqüentemente, excepcionalmente rico em ETRP, como a xenotima dos demais pegmatitos.

Assim, o estudo dos pegmatitos da borda do albita granito deverá prover subsídios, tanto para a lavra dos ETR, quanto para a compreensão dos processos geoquímicos envolvidos na gênese destes corpos e do granito Madeira.

3. OBJETIVOS

Os estudos que têm sido realizados no distrito mineiro de Pitinga tornaram possível a caracterização dos granitos que compõem a Suíte Madeira bem como a obtenção de dados sobre as mineralizações neles contidas.

O objetivo geral do trabalho é estudar os pegmatitos que ocorrem na zona de contato entre o albita granito e as fácies mais precoces do granito Madeira, a fim de definir o potencial destes corpos para sua exploração por lavra seletiva visando à produção de ETR.

Como objetivos específicos, tem-se:

- Identificação da mineralogia e da ordem de cristalização das paragêneses existentes nos corpos pegmatíticos estudados;
- Determinação da composição química dos elementos maiores, menores e traço nas amostras de diferentes corpos pegmatíticos;
- Comparação dos teores de ETR e Y e seus padrões de distribuição em diferentes amostras de corpos pegmatíticos, que ocorrem no albita granito, com os das rochas não pegmatíticas que os contêm;
- Determinação da composição química da xenotima e verificar os seus padrões de distribuição de ETR em amostras pegmatíticas do albita granito.
- Contribuir para o entendimento da evolução do sistema albita granito e pegmatitos associados e entendimento do papel exercido pelo flúor na evolução geoquímica e mineralógica.

4. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A mina Pitinga localiza-se no Estado do Amazonas, a 325 km a norte de Manaus, próximo à divisa com o Estado de Roraima, no município de Presidente Figueiredo (Fig. 1). O distrito mineiro faz parte das Folhas SA.20-X-B (Rio Alalaú), SA.20-X-D (Rio Curiaú), SA. 21-V-A (Rio Pitinga ou Jatapu) e SA.21-V-C (Rio Capucapu), e se situa entre as coordenadas geográficas 0°30' S a 0°51' S e 60°15' W a 59°47' W.

O acesso rodoviário a partir de Manaus ocorre através da BR-174 (rodovia Manaus - Boa Vista) até o km 259, após esse ponto, segue-se por uma estrada secundária, para leste, por cerca de 42 km, até o início da área de domínio da Mineração Taboca S.A, e por mais 24 km em estradas internas até alcançar a Vila Pitinga e a mina a céu aberto.

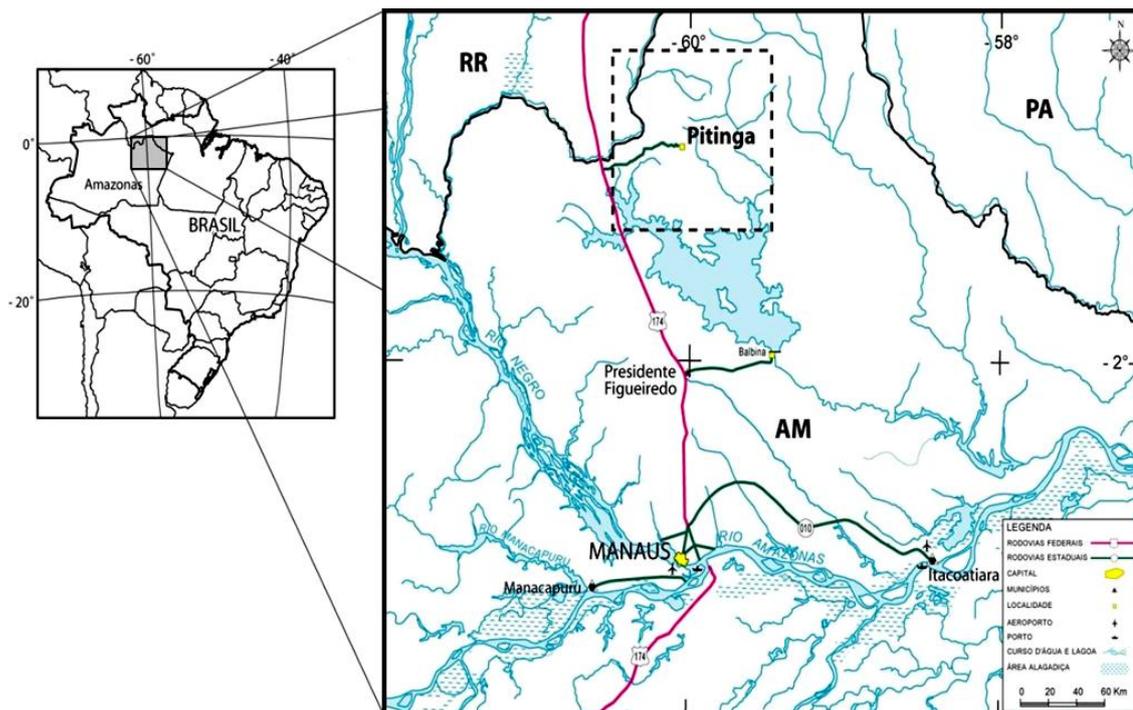


Figura 1 - Mapa de localização e acesso da área de Pitinga (FERRON *et al.*, 2008).

5. ESTADO DA ARTE

5.1. GEOLOGIA REGIONAL

O Cráton Amazônico situa-se na parte norte da Plataforma Sul-Americana (Almeida *et al.* 1981). É uma das maiores áreas cratônicas do mundo, formada por dois escudos pré-cambrianos, escudo das Guianas e escudo Guaporé, geograficamente separados pelas bacias paleozoicas do Amazonas e Solimões (Gibbs, Barron 1983; Tassinari *et al.*, 2000).

Modelos diversos têm sido aplicados para o entendimento de sua evolução geológica englobando eventos ocorridos entre 3,10 e 0,99 Ga. Costa e Hasui (1997) subdividem o Cráton Amazônico em 12 paleoplacas arqueano-paleoproterozóicas, circundadas por cinturões móveis submetidos a reativações cíclicas até o Fanerozoico. O modelo de Tassinari e Macambira (1999) divide o Cráton Amazônico em 6 províncias principais, onde um núcleo de idade arqueana (>2,3 Ga), representado pela Província Amazônia Central, agrega cinturões móveis de idades decrescentes até 1,00 Ga. Neste modelo, a região de Pitinga insere-se na Província Ventuari-Tapajós (1,95-1,80 Ga). Santos *et al.* (2000) subdividem o Cráton

Amazônico em 7 províncias e um cinturão de cisalhamento, envolvendo eventos tectônicos ocorridos desde 3,10 a 0,99 Ga. Neste modelo, a área de Pitinga localiza-se no limite entre as províncias Parima-Tapajós (2,10-1,87Ga) e Amazônia Central (1,88-1,70 Ga).

O Escudo das Guianas é composto pelas seguintes unidades, da mais antiga para a mais recente (Fig. 2): Complexo Guianense (Issler *et al.*, 1974), Suíte Intrusiva Água Branca, Supergrupo Uatumã (o qual engloba o Grupo Iricoumé e a Suíte Intrusiva Mapuera), Formação Urupi, Suíte Madeira, Formação Quarenta Ilhas e Formação Seringa. A região de Pitinga está localizada na porção sul do Escudo das Guianas e faz parte da Suíte Madeira (Fig. 2).

O Complexo Guianense, termo definido por Issler *et al.* (1974), caracteriza um conjunto de rochas submetidas a metamorfismo mesozonal a catazonal (fácies anfibolito e piroxênio-granulito), parcialmente granitizadas. Veiga Jr. *et al.* (1979) reconheceram, como as rochas mais antigas da região de Pitinga, granitos de composição predominantemente monzogranítica, apresentando efeitos cisalhantes superimpostos, os quais denominaram Adamelito Água Branca. A origem dessas rochas foi atribuída aos processos anatéticos do ciclo Orogênico Transamazônico. Oliveira *et al.* (1996) utilizaram para esses granitos o termo Suíte Intrusiva Água Branca (SIAB), em consonância com a recomendação de Le Maitre (1989). Determinações geocronológicas Rb/Sr indicam idades de 1.951 Ma (Santos, Reis Neto 1982) e 1.910 Ma (Jorge João *et al.* 1985). Determinações Pb- Pb em zircão (Almeida *et al.* 1997) forneceram 1.960 Ma e 1.938 Ma como idades mínimas de cristalização.

O Supergrupo Uatumã, termo proposto por Melo *et al.* (1978), é constituído por rochas vulcânicas e plutônicas associadas, com composições ácidas a intermediárias, não deformadas, de idades paleoproterozoicas. É dividido em Grupo Iricoumé, Suíte Intrusiva Mapuera e Formação Urupi. O Grupo Iricoumé (Veiga Jr. *et al.* 1979) é constituído, segundo Ferron *et al.* (2006), pela Formação Divisor (rochas vulcânicas intermediárias), Formação Ouro Preto (rochas ácidas efusivas) e Formação Paraíso (ignimbritos ácidos ricos em cristais, depósitos de surge e rochas básicas). A sequência vulcânica é intrudida por granitóides da Suíte Mapuera, representados principalmente por monzogranitos e sienogranitos. A Formação Urupi

(Veiga Jr. *et al.* 1979) corresponde à Formação Pitinga de Mandetta *et al.* (1974) e não tem relações conhecidas com as rochas da Suíte Intrusiva Madeira, portanto, seu posicionamento como parte do Supergrupo Uatumã e sob as rochas da Suíte Madeira é tentativo. Cunha (2001) identificou quatro associações faciológicas (depósito de foreshore, shoreface superior, intramaré/submaré e barras de canal fluvial) de região costeira dominada por ondas e correntes e, subordinadamente, por processos de maré. Segundo o autor, a unidade atingiu até a mesodiagênese.

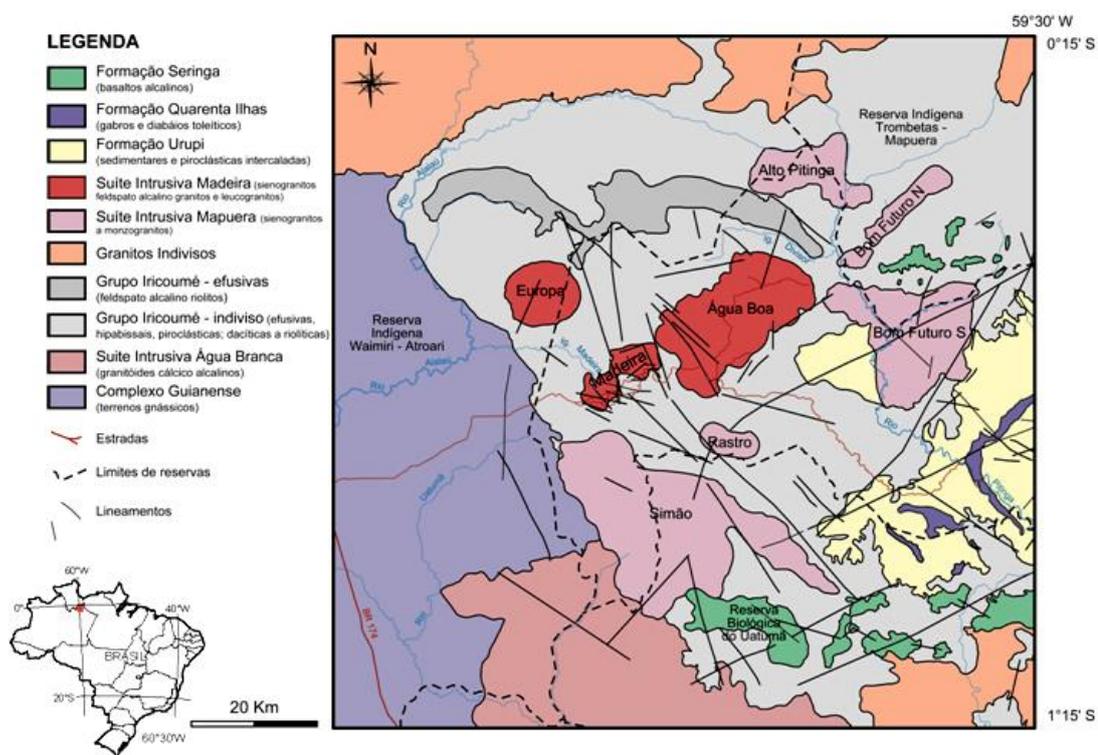


Figura 2 - Mapa geológico da área desenvolvido no quadro do projeto “Caracterização de Depósitos minerais em distritos mineiros da Amazônia”. Modificado de Bastos Neto *et al.* (2003).

A Suíte Madeira é constituída pelos granitos Madeira, Água Boa e Europa. Os granitos estaníferos Madeira e Água Boa foram primeiramente caracterizados por Horbe *et al.* (1985) e Daoud, Antonietto Jr. (1985) como granitoides alcalinos do tipo A, peraluminosos a metaluminosos, raramente peralcalinos e relacionados à Suíte Intrusiva Abonari. Lenharo (1998) sugere o posicionamento dos granitos Madeira e Água Boa na Suíte Intrusiva Mapuera, com base em idades obtidas U/Pb por SHRIMP de 1.810 Ma, para a fácies biotita-granito, e de 1.794 Ma para a fácies

albita granito do granito Madeira e 1.798 Ma para a fácies rapakivi e 1.815 Ma para a fácies topázio granito do granito Água Boa. Costi *et al.* (2000) interpretaram os corpos Madeira, Água Boa e Europa como pertencentes a um mesmo evento magmático de idade paleoproterozóica, propondo sua retirada da Suíte Intrusiva Abonari e sua inclusão em uma nova unidade litoestratigráfica denominada Suíte Madeira. O Granito Europa é pouco estudado, pois está localizado em uma reserva indígena. Foi datado (Pb-Pb em zircão) em 1.829 Ma ((Costi *et al.* 2001). Prado *et al.* (2007) identificaram duas fácies peralcalinas. O granito Boa Água é composto por quatro fácies (Daoud, 1985; Lenharo, 1998): fácies rapakivi, fácies topázio granito, fácies sienogranito, fácies granito equigranular, sendo que as duas, respectivamente, apresentaram idades de 1.798 Ma e 1.815 Ma (SHRIMP U-Pb), não coerentes com as relações observadas em campo.

A Formação Quarenta Ilhas (Veiga Jr. *et al.* 1979) é composta predominantemente por diabásio, gabro e basalto, com suas respectivas variações litológicas, além de rochas diferenciadas (monzonito, diorito e quartzo-monzonito) formando um conjunto predominantemente de afinidade subalcalina e de caráter toleítico. Estas rochas intrudem a Formação Urupi e sua estrutura mais proeminente é um sill (vide parte leste do mapa da figura 2) que marca a braquissinclinal do Rio Ptinga definida por (Veiga Jr. *et al.* 1979). Santos *et al.* (2002) determinaram uma idade de 1.780 Ma indicando, possivelmente, a idade de encerramento das manifestações vulcânicas mesoproterozóicas na região e balizando a idade da Formação Urupi.

A Formação Seringa (Veiga Jr. *et al.* 1979): foi descrita originalmente por Araújo Neto, Moreira (1976) como uma variedade de rocha básica alcalina de natureza sódica composta essencialmente por plagioclásio e olivina, com pouco ou sem piroxênio (troctolito), com idade K/Ar de 1.079 e 1.090 Ma.

5.2. GRANITO MADEIRA E SUA MINERALIZAÇÃO

O granito Madeira, com idade de 1,83Ga, localizado no município de Presidente Figueredo (AM), é o principal corpo mineralizado no distrito de Pitinga e abrange uma superfície de 60 km². Este granito faz parte da Suíte Madeira e intrude as

rochas vulcânicas paleoproterozoicas do Grupo Iricoumé de cerca de 1,88 Ga, no Cráton Amazônico.

- Uma fácies mais precoce de caráter metaluminoso, classificado como anfibólio biotita sienogranito porfirítico, com textura rapakivi;
- Um biotita-feldspato alcalino granito, equigranular de granulação média, de caráter peraluminoso que corta a fácies anfibólio biotita sienogranito;
- Feldspato-alcalino granito hipersolvus;
- Albita granito, que é dividido em subfácies albita granito de núcleo (AGN), magmática, de caráter peralcalino e portadora de criolita, e subfácies albita granito de borda (AGB), peraluminosa, portadora de fluorita.

Determinações geocronológicas Pb-Pb em zircão, obtidas por Costi *et al.* (2000) para as fácies do pluton Madeira, apontam idade de 1.824 Ma para a fácies anfibólio-biotita rapakivi sienogranito, 1.822 Ma para a fácies biotita-feldspato alcalino granito e 1.818 Ma para a fácies feldspato alcalino granito hipersolvus. Essa última determinação foi interpretada pelo autor como sendo, também, a idade da fácies albita granito, uma vez que essas duas fácies são consideradas contemporâneas com base nas relações de campo.

A mineralização está restrita à fácies albita granito. O minério de Sn (cassiterita) ocorre disseminado nas subfácies AGN e AGB. No AGN, o mineral de minério de Nb e Ta é o pirocloro; a criolita ocorre de duas formas: disseminada no AGN e formando os corpos que constituem o DCM. No AGB, o minério de Nb e Ta é representado por columbita e a mineralização de F (subeconômica) por fluorita (Costi 2000). A jazida de Sn representa um depósito de classe mundial, há também Zr, ETR, Y, Li, Th e U em menores quantidades, mas com potencial para serem explorados como subprodutos.

Na parte central do albita granito, em profundidade, ocorre o Depósito Criolítico Maciço (Fig. 3 - perfil), somente conhecido através dos furos de sondagens. A sua exploração ocorrerá nos próximos anos, quando ele for exposto pela cava da mina. Sua exploração é estratégica para o distrito, já que a criolita é utilizada como matéria prima fundamental na metalurgia do alumínio.

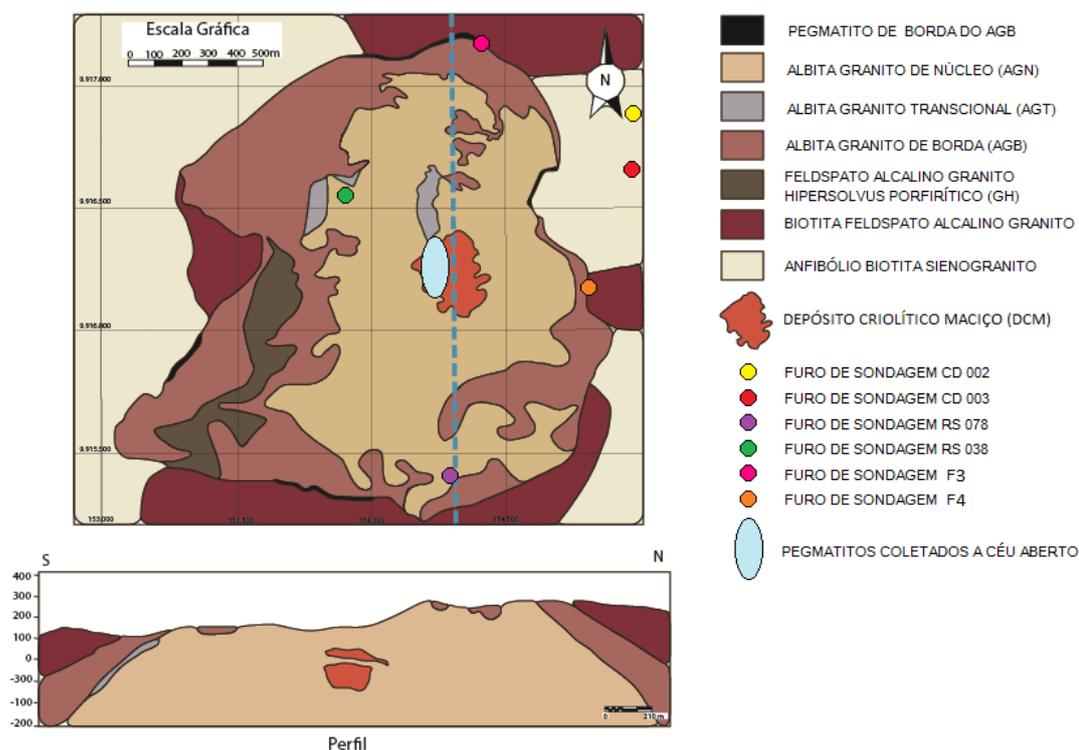


Figura 3 – Mapa do Granito Madeira e suas fácies. Modificado de Minuzzi *et.al.* (2005).

O albita granito contém uma quantidade significativa de corpos pegmatíticos com dimensões variadas, que são portadores de ETR com altos teores nestes elementos. Estes metais estão concentrados principalmente na xenotima, gagarinita e fluocerita. Os dois primeiros concentram elementos terras raras pesados (ETRP), que possuem maior preço no mercado do que os elementos terras raras leves (ETRL). Há três tipos de pegmatitos associados ao albita granito:

- Pegmatitos de dimensões maiores localizados na parte central do AGN;
- Corpos menores de granitos pegmatíticos distribuídos pelo AGN;
- Pequenos corpos pegmatíticos localizados na periferia do AGB.

5.3. DEPÓSITO CRIOLÍTICO MACIÇO E CRIOLITA DISSEMINADA

No que acompanha à formação do depósito de criolita maciça (DCM), tanto Lenharo (1998) como Costi (2000) consideraram a evolução do magma do albita granito para uma fusão residual extremamente enriquecida em F e Na. Entretanto, para Lenharo, o DCM formou-se a partir de uma fusão rica em F que se tornou imiscível na fusão silicatada. Costi (2000) interpreta que, ao atingir o ponto de

saturação de água, o fluido residual extremamente enriquecido em F e Na separou-se em uma porção depletada em água e enriquecida em F, Na e Al, que derivou no DCM, e outra porção rica em água e empobrecida em F, que formou os corpos de quartzo-feldspato-mica pegmatitos associados. Para este autor, o albíta granito com textura fluidal, localmente observado na parte central do AGN, representa o magma residual extremamente rico em F.

A mineralização de criolita disseminada, o DCM e os efeitos do fluido responsável pela sua formação sobre os demais minerais de minério foram estudados por Bastos Neto *et al.*, (2005); Minuzzi (2005); Minuzzi *et al.*, (2006, 2006a e 2008); Pires (2006); Pires *et al.*, (2006); Weber *et al.*, (2007), e integrados por Bastos Neto *et al.* (2009). No AGN existem dois tipos de criolita disseminada. A criolita I é distinguida por seu caráter quase isotrópico e raramente é geminada. Ocorre mais comumente como cristais anédricos a subarredondados em equilíbrio com zircão precoce e com contatos côncavo-convexos com cristais de albíta e de K-feldspato. Também ocorre como inclusões em fenocristais de quartzo formando textura *snowball*. Por causa destas características, a criolita I é considerada magmática. A criolita II é caracterizada por feições de corrosão com a maioria dos minerais com que está em contato. Frequentemente é observada formando auréolas completas ou parciais em torno de cristais magmáticos de zircão, pirocloro ou cassiterita, com bordas reativas com estes minerais. Por causa destas características, a criolita II é considerada hidrotermal. Ela é mais abundante em amostras mais próximas do DCM.

O DCM tem a forma lenticular, formando dois corpos sub-horizontais de criolita (Fig. 3 - perfil). Os corpos são constituídos por criolita (~85%) + quartzo + zircão + K-feldspato + galena. A criolita é maclada e pertence a três gerações: nucleada (precoce), caramelo e branca (tardias). Na parte superior do DCM ocorrem criolita caramelo e subordinadamente nucleada. Na parte intermediária, criolita caramelo e nucleada ocorrem em iguais proporções. Na parte inferior, predomina a criolita nucleada, a criolita caramelo é mais clara e ocorre criolita branca.

5.4. CORPOS PEGMATÍTICOS DO ALBITA GRANITO MADEIRA

O termo "pegmatito" geralmente é empregado no sentido textural, representando rochas holocristalinas que apresentam, pelo menos em parte, granulação muito grossa, contendo como principais constituintes os minerais encontrados tipicamente em rochas ígneas comuns (Jahns, 1955). Além do aspecto textural (granulação muito grossa), a designação pegmatito é aplicada para descrever fusões residuais tardias, que acumulam altas concentrações de fluidos dissolvidos, onde os átomos movem-se facilmente. Nestas condições, podem crescer cristais muito grandes em um magma fluido rico em voláteis, que são excelentes portadores de ETR.

Os principais pegmatitos do albita granito localizam-se na parte central do AGN (Fig.3), formando corpos métricos com orientação preferencial N-S. Estes foram descritos por Costi (2000) como constituindo uma auréola no entorno do depósito criolítico maciço. Em diferentes partes do AGN, ocorrem também corpos pegmatíticos menores (Fig. 3 - furos de sondagem RS 078 e RS 038). Existem ainda pegmatitos de borda, localizados na borda do AGB (Fig. 3 - furos de sondagem CD 002 e CD 003).

As paragêneses dos pegmatitos do AGN são complexas, onde os minerais de minério de ETR e Y são a gagarinita e a xenotima. Considerando que os corpos pegmatíticos do albita granito Madeira possuem como minerais essenciais: quartzo, microclínio, albita, criolita, gagarinita, xenotima, polilithionita, galena, hematita, thorita. Os pegmatitos de borda do AGB são estéreis em minerais de Y e ETR e têm como mineralogia principal microclínio+quartzo, com teores menores de albita, biotita, fluorita, zircão, thorita, pirita.

5.5. OS ETR NO ALBITA GRANITO MADEIRA

5.5.1. ELEMENTOS TERRAS RARAS – propriedades e usos

Os ETR consistem de 15 elementos químicos conhecidos como lantanídeos, que quimicamente são similares ao ítrio e ao escândio. São elementos litófilos (elementos enriquecidos na crosta terrestre), que ocorrem invariavelmente juntos nos sistemas naturais.

Nos minerais eles possuem raio iônico muito similar entre si e tipicamente ocorrem como cátions trivalentes em carbonatos, óxidos, fosfatos e silicatos, embora o Európio e o Cério possam ocorrer também como Eu^{+2} e Ce^{+4} . Caracterizam-se pelo preenchimento do subnível 4f, sendo que as diferenças nas configurações eletrônicas destes elementos são devidas ao número de elétrons deste subnível. Os elétrons exteriores, dos subníveis s, p e às vezes d, das camadas 5 e 6, são envolvidos em ligações químicas com outros átomos. O comportamento geoquímico dos ETR está ligado principalmente aos valores de raios iônicos, que decrescem gradualmente com o aumento do número atômico, em função do acréscimo de carga no núcleo, causando contração dos subníveis eletrônicos.

São divididos em elementos terras raras leves (ETRL) e elementos terras raras pesadas (ETRP). Os ETRL têm números atômicos (Z) de 57 (La) a 63 (Eu), são os mais abundantes que os ETRP, cujos números atômicos (Z) vão de 64 (Gd) a 71 (Lu). Devido ao raio iônico e ao comportamento geoquímico, o Y e o Sc também podem ser considerados como ETRP.

Os minérios de ETR do Brasil estão localizados principalmente em rochas alcalinas e carbonatitos, como no caso de Araxá (MG) e Catalão I (GO), que são concentradores de ETRL. Porém, em Pitinga (AM), no albita granito Madeira existem concentrações significativas de ETRP nos pegmatitos portadores de xenotima. Ainda assim, segundo relatório do Departamento Nacional da Produção Mineral (2011), as reservas brasileiras de ETR representam menos de 1% do total mundial.

Os metais que constituem os ETR possuem ampla gama de aplicações, especialmente na indústria, desde a indústria eletrônica, automotiva, metalúrgica, farmacêutica, cerâmica ou como catalisadores. Também são de fundamental importância na fabricação de alguns itens muito usados em sistemas de defesa, como os ímãs permanentes samário-cobalto (Sm-Co) e neodímio-ferro-boro (Nd-Fe-B), os mais fortes do mundo e com resistência magnética em temperaturas elevadas. Eles têm também aplicação biológica, como traçadores biológicos para acompanhar o caminho percorrido pelos medicamentos em pessoas e em animais; marcadores em imunologia, agentes de contraste em diagnósticos não invasivos de patologias em tecidos por imagem de ressonância magnética nuclear.

5.5.2. Principais minerais de ETR do albita granito Madeira

Existe uma grande gama de minerais conhecidos que contêm lantanídeos ou Y na sua estrutura cristalina e fórmula química. O número cresce constantemente, pois novos minerais de ETR são normalmente descobertos a cada ano. A última descoberta foi a da waimirita-(Y), YF_3 , que ocorre na mina Pitinga, no Estado do Amazonas (Bastos Neto et al. 2014).

Nos pegmatitos associados ao albita granito de Pitinga ocorrem xenotima, gagarinita-(Y), fluocerita-(Ce) (Pires, 2010), gagarinita-(Ce), zajacita e ilmenita (Neumann e Barreto, 2013).

5.5.2.1. Xenotima

A xenotima ocorre em diferentes locais e profundidades no albita granito, sendo mais frequente nas porções de textura mais grossa do granito do que nas porções mais finas, porém é muito mais enriquecida nos pegmatitos, onde também apresenta cristais de dimensões muito maiores. Quase todas as amostras provenientes de furos de sondagem apresentam grãos de xenotima. Quando observados ao microscópio óptico verifica-se que possui grãos com dimensões que variam de 0,05 mm a 0,44 mm, porém, em casos menos comuns, ocorrem grãos que podem ser observados macroscopicamente devido aos tamanhos centimétricos. Todos os cristais têm hábito prismático alongado, sendo incolor em LN e com birrefringência de segunda ordem em LP.

A alta fugacidade de F no ambiente magmático do albita granito implicou a cristalização de xenotima com até 4% de F na estrutura mineral. A incorporação do F na xenotima ocorreu pela substituição de O, com formação de tetraedros de PO_3F , o que acarretou o encurtamento dos parâmetros a e c , e, conseqüentemente, uma cela unitária menor, o que, por sua vez, facilitou a substituição do Y por ETR de raio iônico menor, notadamente o Yb e o Dy. Este último é o mais precioso de todos os ETR. A riqueza em F no sistema foi, portanto, preponderante para a cristalização de xenotima rica em Dy (Bastos Neto et al. 2013).

5.5.2.2. Gagarinita – Fluocerita

A gagarinita é um mineral de rara ocorrência e foi assim denominado em homenagem ao astronauta Yuri Gagarin. A gagarinita foi descrita pela primeira vez em granitos albitizados, associados com veios de quartzo-microclínio, dos maciços Verkhnee Espe e Vent (Cazaquistão), por Stepanov e Severov (1961). Este fluoreto de terras raras também foi encontrado em rochas análogas na Rússia, sendo que posteriormente registrada sua ocorrência no Depósito de Nb-Ta Katungino (Rússia) e em outras localidades, como Shar Tolgoi (Mongólia), Gjerdingselva (Noruega), Washington Pass (USA) e em um depósito de metais raros com criolita do leste da Sibéria.

A gagarinita é um mineral típico de rochas alcalino-metálicas enriquecidas em flúor e formadas a partir de granitos relativamente ricos em álcalis (Prokof'ev & Ryabenko, 1988), ocorrendo frequentemente associada com riebeckita, micas litiníferas e com minerais acessórios como o pirocloro, o zircão e a bastnaesita. Segundo Hughes e Drexler (1994), a fórmula geral da gagarinita é $\text{Nax}(\text{Ca}_x, \text{Y}, \text{ETR}_{2-x})\text{F}_6$, sendo que os ETR ocorrem substituindo parcialmente o Y e os conteúdos de Na e Ca.

Durante o resfriamento do sistema albita granito, em Pitinga, ocorreram modificações na distribuição mineralógica dos ETR, como é o caso das exsoluções de ETRL em fluoreto. Existiu uma gagarinita inicial que continha indistintamente ETRL e ETRP, mas, com a diminuição da temperatura, ocorreu o encurtamento da sua cela unitária, causando a exsolução dos ETR de raio iônico maior do que o do Sm. Formaram-se, assim, uma fluocerita-(Ce), que contem outros ETRL, e uma fase hospedeira de gagarinita-(Y), que contem outros ETRP (Pires *et al.* 2006, Pires 2010, Bastos Neto *et al.* 2005 e 2009).

5.5.2.3. Pirocloro – Columbita

Pirocloro e Columbita, principais minerais de minério de Nb e Ta em Pitinga, também podem conter ETR como elementos traço, especialmente La e Ce (Bastos Neto *et al.* 2009). Assim, estes minerais podem fazer parte das possíveis fontes desses metais de ETR, como subprodutos de Nb e Ta.

No presente trabalho, são identificadas 3 variedades de pirocloro que podem ocorrer individualmente ou num mesmo cristal (ver mais adiante os casos específicos): U-Pb-pirocloro, Pb-U-pirocloro e U-pirocloro. De um modo geral, os 3 tipos não podem ser distinguidos opticamente. O U-Pb-pirocloro ocorre principalmente acima da zona criolítica A. Nas zonas criolíticas A e B, este pirocloro ocorre apenas nas amostras de albita granito intercaladas nas respectivas porções basais. O Pb-U-pirocloro tem uma distribuição mais ampla nas zonas criolíticas. Nas amostras de AGN mais distais, encontra-se apenas Pb-U-pirocloro. O U-pirocloro é observado unicamente na subfácies transicional.

Os grãos de pirocloro são marrons, amarelos ou caramelos, são subédricos a euédricos e têm tamanho variando entre 0,07 mm e 0,41 mm. Os cristais ocorrem principalmente no interstício dos grãos de albita e dos demais minerais acessórios (cassiterita, zircão, micas e anfibólio). Os contatos dos grãos de pirocloro com os de albita e criolita em geral apresentam bordas reativas, especialmente com este último mineral. Os contatos com zircão e quartzo são retilíneos, límpidos, indicando ausência de reação. A transformação de um pirocloro para outro pode iniciar-se segundo planos preferenciais de fratura ou clivagem ou sem controle aparente. Pirocloros com diferentes intensidades de alteração podem ocorrer numa mesma amostra; aqueles em contato com a criolita são sempre os mais alterados.

A columbita ocorre de forma quase generalizada nos furos que atravessam o DCM e nas amostras do albita granito transicional. Entretanto, não é observada nas amostras da AGN dos furos mais distais. Os grãos de columbita possuem formas e dimensões semelhantes às do pirocloro original, podendo conter pirocloro relicto em quantidades variáveis. Os grãos constituídos exclusivamente (ou quase exclusivamente) por columbita tendem a ser isótipos e geralmente subédricos. Nestes, observa-se ao MEV uma distribuição de elementos bastante uniforme, com exceção do Fe mais abundante nas bordas, o que se deve, provavelmente à auréola rica em Fe formada nos estágios mais precoces de alteração (ainda como pirocloro).

6. METODOLOGIA

Para atingir os objetivos propostos, o trabalho foi realizado em quatro etapas: Campo, Revisão bibliográfica, laboratório e relatório final.

O trabalho foi iniciado através de um estágio na Mineração Taboca, em Pitinga, no mês de janeiro de 2014. Nesta etapa, além de tomar contato com a área de estudo, foram realizadas descrições de testemunhos de furos de sondagens e selecionadas as amostras. Após a seleção, as amostras foram fotografadas e catalogadas.

A revisão bibliográfica foi realizada com a finalidade de obter um entendimento mais aprofundado sobre o tema proposto, a área de estudo, as mineralizações envolvendo ETR e Nb, estendendo-se até a etapa de conclusão da monografia para fundamentação dos resultados obtidos.

A etapa de laboratório envolveu as seguintes tarefas:

A etapa de laboratório envolveu as seguintes tarefas:

- Detalhamento das amostras dos testemunhos dos furos de sondagem selecionados na etapa anterior e de amostras de pegmatitos de superfície, com uso de lupa binocular;
- Descrição petrográfica de lâminas delgadas ao microscópio óptico;
- Separação de minerais das amostras estudadas com uso de líquidos pesados;
- Separação de minerais com o separador magnético isodinâmico Frantz;
- Difractometria de Raios-X dos minerais concentrados pelas separações por densidade e magnética;
- Análises por microscopia eletrônica de varredura (EDS/MEV);
- Análise química de rocha total;
- Microsonda eletrônica.

E por fim, na última etapa ocorre a elaboração da monografia, com a compilação dos dados, interpretações, resultados e descobertas obtidos no decorrer do projeto.

6.1. Descrição de amostras dos testemunhos de sondagem e amostras dos pegmatitos de superfície

Foram realizadas descrições macroscópicas de 80 amostras, oriundas dos furos CD-002, CD-003 e RS-078 e de 20 amostras de pegmatitos de superfície, com o auxílio de lupa binocular.

Este método foi aplicado com o objetivo principal de selecionar e identificar as porções pegmatíticas dos furos de sondagem e também para identificar a composição mineralógica, a visualização de estruturas como falhas, fraturas, bandamentos e outras feições perceptíveis macroscopicamente.

6.2. Descrição de lâminas petrográficas

As descrições petrográficas de lâminas delgadas foram realizadas ao microscópio ótico de luz transmitida e de luz refletida. A petrografia ótica detalhada buscou a identificação das espécies minerais, a ordem de cristalização e a caracterização das paragêneses e associações minerais presentes em diferentes porções dos pegmatitos.

Esta etapa contou com o auxílio de um microscópio ótico marca Leica, modelo DMLP, do Instituto de Geociências da UFRGS, que possibilitou análises em luz natural, polarizada, transmitida ou refletida, com aumentos entre 25x e 500x. Este microscópio foi utilizado acoplado a uma câmera digital ligada a um microcomputador. Este estudo teve extrema importância, tendo em vista que direcionou as próximas técnicas utilizadas.

6.3. Preparação de separações minerais com líquidos pesados

Um conjunto de 8 amostras, passaram pelo processo de moagem com o graal de ágata até chegar aproximadamente ao tamanho areia, foram lavadas para retirar a fração argila e passaram por uma peneira de 200 malhas.

O primeiro líquido utilizado foi o Bromofórmio (CHBr_3), que possui a densidade de $2,89 \text{ g/cm}^3$, porém a densidade dos minerais da região se mostrou mais elevada que o esperado, e assim, como grande parte da amostra chegava a decantar, foi utilizado um novo líquido, o Iodeto de Metileno, com $3,32 \text{ g/cm}^3$.

A separação foi feita com o intuito de separar a amostra por densidade, deixando assim porções mais puras, com menos espécies minerais, para uma melhor identificação dos mesmos, com gráficos melhores, quando enviados para a etapa de difratometria de Raios-X.

6.4. Separador magnético e isodinâmico Frantz

As amostras, após passarem pela separação com os líquidos pesados, foram colocadas no magnético isodinâmico Frantz. Segundo Parfenoff (1970) os principais fatores que influenciam na separação magnética dos minerais ao Frantz isodinâmico são a intensidade de corrente e a inclinação lateral. O separador pode gerar uma densidade de fluxo magnético de 0 até 20 KiloGauss, variável sem intervalos, e pode processar com eficiência partículas entre 850 até 74 μ m (20 e 200 malhas).

Quando a quantidade separada era muito pequena, aumentava-se a corrente e a amostra era colocada novamente. Este processo foi realizado com o objetivo de obter uma separação mais completa da amostra, para uma interpretação mais fácil, quando levada para a etapa de difratometria de Raios-X. Isto contribuiu para gráficos mais limpos, às vezes com apenas uma espécie mineral, facilitando o seu estudo, ou auxiliando no reconhecimento de novos minerais.

6.5. Difratometria de Raios-X

Esta é uma técnica de caracterização microestrutural de materiais cristalinos e identificação mineral. O difratômetro gera gráficos (difratogramas) que resultam da maneira como os raios X de comprimentos de onda conhecidos são difratados entre os planos atômicos dos minerais. Os diferentes planos atômicos geram diferentes picos nos gráficos e, assim, podem ser identificados. Com isso, pode-se obter informações como a determinação da espécie mineral, caracterização microestrutural com cálculo dos parâmetros da cela unitária.

As amostras foram pulverizadas previamente e analisadas num difratômetro da marca Siemens, modelo D5000, do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. As análises foram realizadas entre 2 e 70 $^{\circ}$ 2 θ , com passo de 0,02 $^{\circ}$ 2 θ /s. Os gráficos foram tratados e interpretados pelo programa *Match! 3*, desenvolvido pela *Crystal Impact*.

6.6. Microscopia eletrônica de varredura (EDS/MEV)

O Microscópio Eletrônico de Varredura - MEV (*Scanning Electron Microscope - SEM*) é um equipamento versátil, que permite obter imagens e dados

composicionais qualitativos pontuais em minerais, podendo ser assim ser usado como método investigativo anterior às análises por microscopia.

Seu princípio de funcionamento, consiste na emissão de feixes de elétrons por um filamento capilar de tungstênio (eletrodo negativo), mediante a aplicação de uma corrente elétrica. No presente caso, as análises foram realizadas em um microscópio de marca JEOL, modelo 5800, pertencente ao Centro de Microscopia eletrônica (CME) da UFRGS. Para isto, foi utilizada a energia de 15 kV e corrente de 25 nA em amostras metalizadas com carbono.

Ao MEV está acoplado um sistema de Espectroscopia de Energia Dispersiva (EDS), o qual possibilita a determinação da composição qualitativa e semi-quantitativa das amostras, a partir da emissão dos raios X característicos. Com este sistema torna-se viável a realização de perfis químicos na amostra analisada, onde a variação da composição química é detectada ao longo de uma linha. Viabiliza-se também a realização de mapas químicos, onde é feita a identificação da composição química de uma área da amostra analisada exposta ao feixe de elétrons. Permite determinar os locais que concentram maiores quantidades de ETR e as variações nas concentrações destes em um determinado cristal.

6.7. Análise química de rocha total

As amostras dos furos RS078, CD002 e CD003, totalizando dezoito amostras, passaram por processo de moagem no graal de ágata, e em seguida levadas, para o moinho de bolas. Foram encaminhadas para o Laboratório ACTLABS - Activation Laboratories Ltd (Canadá).

No laboratório ACTLABS, as amostras foram submetidas às análises em diferentes pacotes, dependendo dos tipos de abertura e do método de detecção necessários.

Pacote 4 Litho

Consiste numa fusão usando o fundente Metaborato/Tetraborato de Li e leitura por ICP MS (plasma por acoplamento indutivo com espectrometria de massa). Neste pacote foi realizada análise química dos elementos maiores, menores e traços, com exceção do Li, F, S. Os limites de detecção é de 0,001% para MnO e TiO₂ e de 0,01% para os demais para os óxidos de elementos maiores (SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃,

Cr₂O₃, CaO, K₂O, MgO, Na₂O e P₂O₅. Para elementos menores e traços, incluindo os ETR, os limites de detecção constam no quadro 1.

Pacote 1 F2

Este pacote foi utilizado para a determinação do Li. Consta de um ataque ácido, onde a amostra é exposta ao ácido fluorídrico, seguido por uma mistura de ácido nítrico e perclórico, e por último a Água régia (mistura de ácido nítrico e ácido clorídrico concentrados). A determinação do Li é feita por ICP e seus limites de detecção: Limite inferior = 1 ppm e limite superior = 10.000 ppm.

Pacote 4 F – Sulfeto

Consiste num método onde o enxofre (determinado como sulfeto) é calculado a partir da diferença entre as medidas a 550°C e 1450°C usando combustão/IR, perda de enxofre (pirólise) como descrito na norma ASTM E1915. O limite de detecção mínimo é de 0,01%.

Pacote 4 F – FUS – ISE

Este método se resume numa fusão com uma combinação de metaborato e tetraborato de lítio em um forno de indução para libertar os íons de fluoreto da amostra, que são após solubilizados. É medida a quantidade de íons de fluoreto em solução pelo método do Eletrodo Íon Seletivo (ISE). O limite de detecção mínimo é de 0,01%.

Quadro 1: Elementos menores e elementos traços e respectivos limites de detecção (ppm) determinados através do método 4Litho (Fusão + ICP)

Elemento	Limite de detecção	Limite superior	Leitura por:	Elemento	Limite de detecção	Limite superior	Leitura por:
Ag	0.5	100	ICP/MS	Nd	0.1	2,000	ICP/MS
As	5	2,000	ICP/MS	Ni	20	10,000	ICP/MS
Ba	2	500,000	ICP	Pb	5	10,000	ICP/MS
Be	1	-	ICP	Pr	0.05	1,000	ICP/MS
Bi	0.4	2,000	ICP/MS	Rb	2	1,000	ICP/MS
Ce	0.1	3,000	ICP/MS	Sb	0.5	200	ICP/MS
Co	1	1,000	ICP/MS	Sc	1	-	ICP
Cr	20	10,000	ICP/MS	Sm	0.1	1,000	ICP/MS
Cs	0.5	1,000	ICP/MS	Sn	1	1,000	ICP/MS
Cu	10	10,000	ICP/MS	Sr	2	10,000	ICP
Dy	0.1	1,000	ICP/MS	Ta	0.1	500	ICP/MS
Er	0.1	1,000	ICP/MS	Tb	0.1	1,000	ICP/MS
Eu	0.05	1,000	ICP/MS	Th	0.1	2,000	ICP/MS
Ga	1	500	ICP/MS	Tl	0.1	1,000	ICP/MS
Gd	0.1	1,000	ICP/MS	Tm	0.05	1,000	ICP/MS
Ge	1	500	ICP/MS	U	0.1	1,000	ICP/MS
Hf	0.2	1,000	ICP/MS	V	5	10,000	ICP
Ho	0.1	1,000	ICP/MS	W	1	5,000	ICP/MS
In	0.2	200	ICP/MS	Y	1	10,000	ICP
La	0.1	2,000	ICP/MS	Yb	0.1	1,000	ICP/MS
Lu	0.01	1,000	ICP/MS	Zn	30	10,000	ICP/MS
Mo	2	100	ICP/MS	Zr	2	10,000	ICP
Nb	1	1,000	ICP/MS				

6.8. Microsonda Eletrônica

A Microsonda Eletrônica possui um princípio de funcionamento muito semelhante ao do MEV. A amostra (que deve ter o mesmo tipo de preparação utilizada na microscopia eletrônica de varredura) é bombardeada por um feixe eletrônico possibilitando a interação entre a superfície desta com os elétrons. Nesta interação, os raios X emitidos são captados por um sistema WDS (*Wavelength Dispersive Spectroscopy*). Este sistema permite a comparação da intensidade de radiação emitida com a emanada de um material (padrão) viabilizando, assim, uma análise pontual quantitativa. Identificação de forma rápida e precisa dos elementos químicos presentes em determinados minerais.

Neste trabalho, foi realizada a análise química dos cristais de xenotima, para comparar diversos pontos do mesmo cristal, se há zonação desses elementos, e para comparar com diferentes cristais do mesmo mineral e com os de outros trabalhos já publicados.

As análises foram realizadas em uma microsonda de marca JEOL, modelo SX50, com cinco espectrômetros WDS, que pertence ao Laboratório de Microsonda Eletrônica do Departamento de Geologia da Universidade de Brasília - UnB. As condições de análise foram: intensidade da corrente de 20kV, spot size de 1µm, com tempo de leitura. Os padrões utilizados constam no quadro 2.

Quadro 2: Padrões utilizados nas análises de xenotima por microsonda

ELEMENTO	RAIO X	CRISTAL	PADRÃO	ELEMENTO	RAIO X	CRISTAL	PADRÃO
F	K α	LDE1	Topaz	Lu	L α	LIF	REE-2
Na	K α	TAP	albita gaspox	Pb	M β	PETJ	Vanadinite
Al	K α	TAP	Microclinio	Sm	L β	LIF	REE-2
Si	K α	TAP	microclinio	Eu	L α	LIF	REE-1
P	K α	PETJ	Apatita_gaspox	Gd	L α	LIF	REE-1
Ti	K α	LIF	MnTiO3	Tb	L α	LIF	REE-1
Y	L α	PETJ	YFe2O12	Dy	L β	LIF	REE-4
Ca	K β	LIFH	Apatita_gaspox	Th	M α	PETJ	ThO2
Fe	K α	LIFH	Andradite_gaspox	La	L α	LIFH	REE-3
Ho	L β	LIF	REE-4	Ce	L α	LIFH	CeO2
Er	L α	LIF	REE-4	Pr	L β	LIFH	REE-3
Tm	L α	LIF	REE-1	Nd	L α	LIFH	REE-2
Yb	L α	LIF	REE-2				

7. RESULTADOS

Os estudos foram centrados em três furos de sondagem (Fig.3):

- Um furo situado na porção sul do AGN com mergulho para norte-nordeste (RS-078), totalmente perfurado dentro do AGN;
- Dois furos iniciados em rochas da periferia do albita granito (CD 002 e CD 003), mas com mergulho para oeste, que atravessaram a borda com o AGB e alcançaram o AGN.

Aos dados deste estudo foram acrescentados dados de dois estudos anteriores. O primeiro referente ao furo de sondagem RS 038, localizado na parte noroeste do AGN (Fig.3), com mergulho para leste e totalmente perfurado no AGN (Stolnik, 2015). O segundo estudo refere-se a mais de 21 amostras de pegmatitos recolhidas a céu aberto (Fig.3) coletados em campanha de campo realizada anteriormente pelo professor orientador e coordenador do projeto (Paludo, 2015).

A tabela 1 mostra os principais dados dos furos de sondagem, como: localização (coordenadas UTM); cota da boca do furo; a inclinação (dip); sentido (azimute); profundidade programada; profundidade final.

Tabela 1 - Furos de sondagem - Localização e características.

Furo	Coordenadas (UTM)	Azimute	Dip:	Cota (m)	Profundidade Program. (m)	Profundidade Final (m)
CD002	9,916,872.872 822,649.293	270°	61°	217.877	200	200.24
CD003	9,916,675 822,688	250°	75°	238.65	250	221.07
RS038	9,916,680.122 821,756.859	157°	65°	194.361	180	185.63
RS078	9,915,395.209 821,898.174	18°	45°	108.403	160	160.20

7.1. Mineralogia

7.1.1. AGN pegmatítico - furo de sondagem RS 078

A sondagem se estendeu por 160,2 m (Tab.1), mas somente foram recolhidas para este estudo as amostras do intervalo ente 30m e 75m, porque é neste intervalo que se encontra um nível de AGN pegmatítico, situado entre 45 e 49 metros. Acima dos 30m e após os 75m perfurados ocorre AGN típico. A Figura 4 mostra uma representação esquemática do segmento do furo de sondagem RS 078.

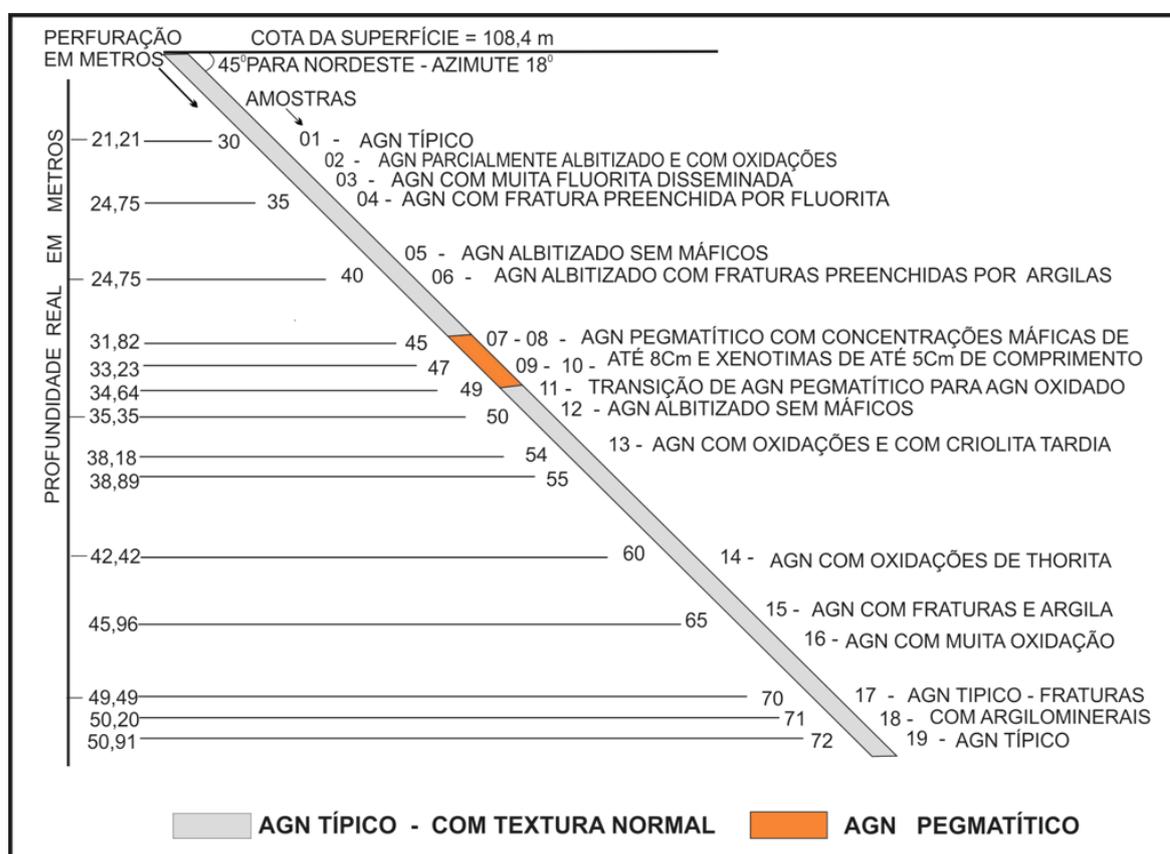


Figura 4 - Representação esquemática do segmento do furo de sondagem RS 078 que foi amostrado para a realização deste trabalho, com posicionamento das amostras descritas.

Nos primeiros 15m (de 30m a 45m) ocorre AGN com variações de grau de albitização, com alguns níveis com oxidação. Neste segmento do furo de sondagem a rocha tem textura inequigranular porfirítica, com matriz quartzo-feldspática (com quartzo<feldspato e albita>microclínio) fina a média e fenocristais de feldspato (albita com até 1,6 mm), corroídos e sericitizados. Ocorrem cristais maiores de

quartzo de segunda geração com até 6 mm, biotita marrom-verde (anita, segundo Schuck, 2015), polilithionita, menor quantidade de riebeckita (azul intenso), criolita intersticial, além de zircão, pirocloro e óxidos de Fe.

No intervalo 34-35,5 m ocorre fluorita secundária, preenchendo fraturas (Fig.5-A), ou espaços deixados pela solubilização de minerais primários (Fig.6-A). Há indícios de alteração hidrotermal, especialmente caracterizada pela sericitização nos feldspatos e principalmente pela formação de argilominerais que se acumulam em fraturas em alguns locais.

No intervalo entre 45 e 49 ocorre um segmento de **AGN pegmatítico** caracterizado por sua textura com granulação grossa (Fig.5-C, D, E, F). A matriz com granulação média é predominantemente albítica com menor proporção de quartzo, contendo também pirocloro, zircão, cassiterita e thorita. Os principais fenocristais são xenotima, que alcança até 5 cm, mica na forma de agregados com até 8 cm. Em pontos localizados ocorrem quartzo anédrico, com bordas irregulares e que inclui a matriz e também fragmentos de polilithionita. Criolita é abundante e incorpora a matriz e também alguns fenocristais, na maior parte das amostras deste intervalo.

Os fenocristais de xenotima (até 5 cm), prismáticos e euédricos, incluem minerais da matriz em grande quantidade (Fig.6 B, C, E), como albita, quartzo e eventualmente zircão. Por outro lado, os cristais muito pequenos de xenotima (<1 mm) não mostram essas inclusões e parecem fazer parte da própria matriz (Fig.6-E).

Os agregados de mica são compostos por biotita verde-marrom (anita) e polilithionita, que parece desenvolver-se a partir da biotita, especialmente nas proximidades da criolita. Os agregados de mica incluem fragmentos de albita, quartzo, além de acessórios como zircão. A biotita apresenta penetração de criolita cristalização de material ferruginoso nas clivagens.

É nítida a associação de quartzo+albita+zircão na paragênese inicial. A xenotima, ao que indica a petrografia, também faz parte da paragênese inicial, especialmente os cristais pequenos sem inclusões. Os cristais grandes de xenotima, com inclusões de cristais da matriz, podem ter evoluído concomitantemente à matriz. A biotita dos agregados veio em um segundo momento, incluindo os anteriores. A

polilithionita é posterior, produto de transformação da biotita, cerca a xenotima sem ser incluída por esta. Por fim, a criolita absorveu e incluiu todos. O quartzo anédrico com bordas irregulares inclui a matriz e também fragmentos de polilithionita indicando ser de segunda geração. Galena foi um produto tardio.

Transição do AGN pegmatito para AGN típico é abrupta. No segmento final do furo (entre 40 m e 75 m) volta a ocorrer o AGN com as características petrográficas do segmento superior (30-45 m), com presença mais significativa de acessórios, como cassiterita, zircão e pirocloro (Fig. 7). Neste segmento ocorrem variações no grau de albitização, oxidação e formação de argilominerais em alguns níveis.

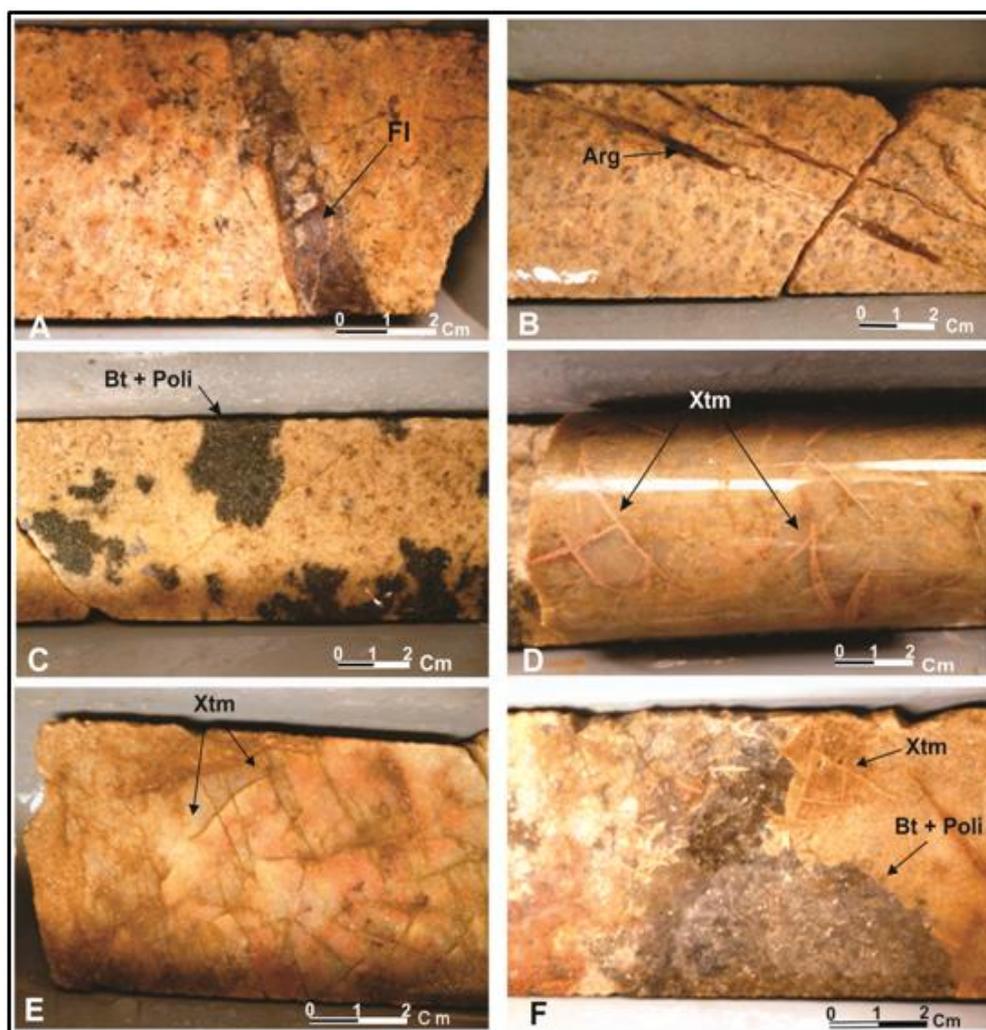


Figura 5 - Fotografias de amostras do furo RS 078: (A) Fluorita preenchendo fratura em AGN, (Am.04); (B) Fraturas no AGN preenchidas por material argiloso secundário, (Am.06); (C) Granito pegmatítico com agregados máficos de biotita+polilithionita, (Am.07); (D) e (E) Granito pegmatítico com xenotimas, (Am.09); (F) Granito pegmatítico com xenotimas e agregados máficos de biotita+polilithionita, (Am.10).

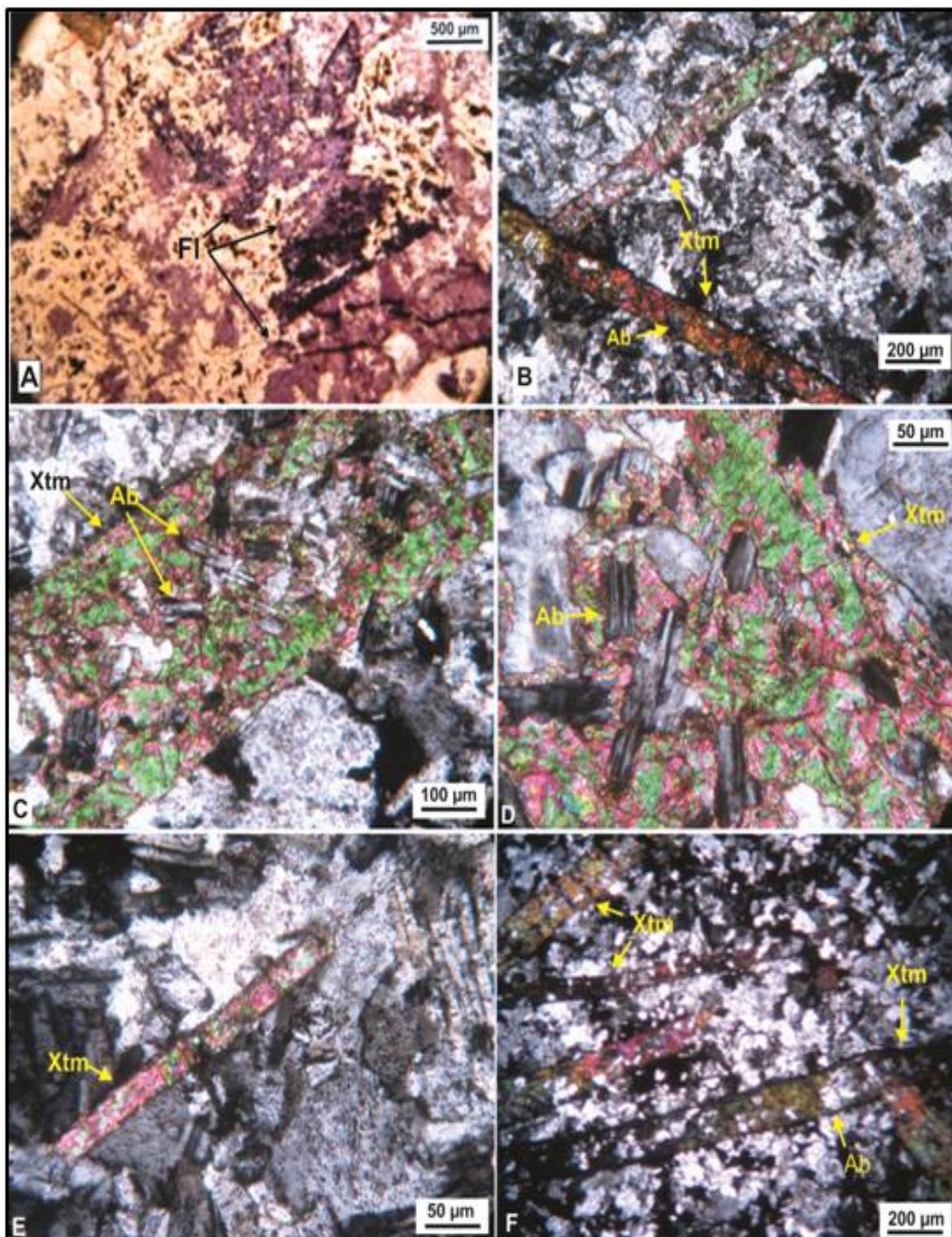


Figura 6 - Microfotografias em amostras do Furo RS 078: (A) Fluorita (FI) disseminada e preenchendo espaços deixados pela solubilização de minerais (Am 03); (B) Xenotima (Xtm) com inclusões de albita (Ab) da matriz (Am. 9); (C) Detalhe da foto anterior, com xenotima e inclusões de albita (Am. 9); (D) Detalhe ampliado da foto anterior com inclusões de albita em xenotima (Am.9); (E) Xenotima (Xtm) de tamanho menor, sem inclusões (Am. 09); (F) Xenotima com inclusões de albita (Am.10).

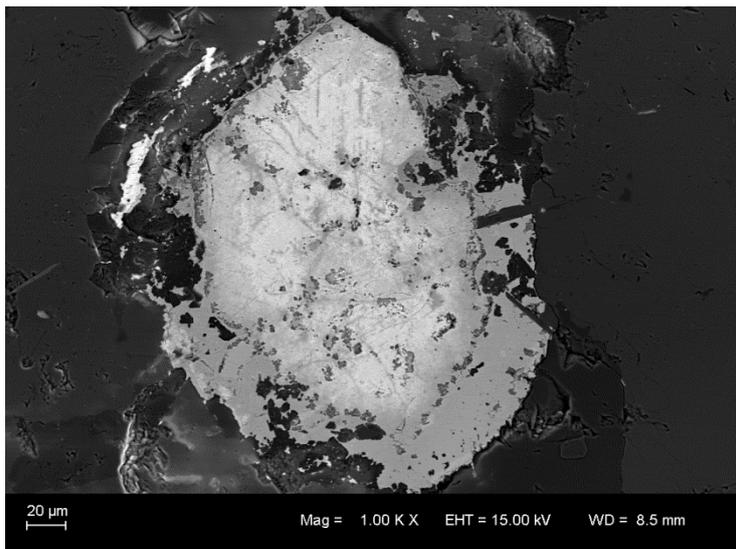


Figura 7 - Imagem ao MEV de cristal de U-Pb-Pirocloro, em AGN no segmento posterior ao pegmatito. Furo RS 078. Am.16.

7.1.2. Pegmatito de borda do AGB - sondagens CD 002 e CD 003

O furo **CD 002** é a uma sondagem de 200,24m, com cota da superfície de 217,8m, localizada na proximidade da borda nordeste do AGN, com mergulho de 61° para oeste (azimute 270°). Para este trabalho, foram selecionadas amostras no intervalo 99 m a 132 m, onde ocorre um segmento pegmatítico (Fig.8).

No segmento entre 99 m e 119 m ocorre biotita feldspato alcalino granito, cinza acastanhado com textura equigranular, em algumas partes porfirítica. Feldspato alcalino peritítico, quartzo, pouco plagioclásio, biotita são os principais minerais. Zircão, fluorita e cassiterita, que em alguns pontos formam bandas de microcristais, são os acessórios.

Ao alcançar 119,8m perfurados, o granito equigranular transiciona de forma abrupta para granito pegmatítico vermelho carne, com megacristais de quartzo e de microclínio (Fig.9 A). A porção pegmatítica apresenta megacristais de quartzo com até 3 cm, microclínio anédrico de até 2 cm, quartzo intersticial de 0,5 cm e mica (biotita) de até 0,4 cm (Fig. 9 B e C). Os acessórios são zircão, pirita e fluorita difusa por toda a rocha ou como microinclusões de outros minerais. Os megacristais de microclínio e quartzo englobam e incluem os minerais menores. Em algumas porções do pegmatito ocorrem fraturas mm espaçados cm e subparalelas entre si,

preenchidas de material esbranquiçado (Fig. 9 D). Nesta parte formam-se massas compostas pelos produtos de alteração, como clorita e óxido de ferro.

Ao alcançar 124 m perfurados o granito pegmatítico passa abruptamente para albíta granito inequigranular (AGB), composto por cristais maiores de quartzo de 2,5 mm, albíta de 1 mm, microclínio de 1,6 mm, biotita e polilithionita, em matriz quartzo feldspática fina. Pirocloro, zircão, thorita e fluorita são os acessórios.

Aos 130 m de perfuração é alcançado o AGN típico, inequigranular de matriz fina e grãos maiores de quartzo posterior de até 4,8 mm. Albíta, microclínio, quartzo, riebeckita e polilithionita são minerais essenciais. Zircão, cassiterita e thorita os principais acessórios. Ocorre criolita intersticial.

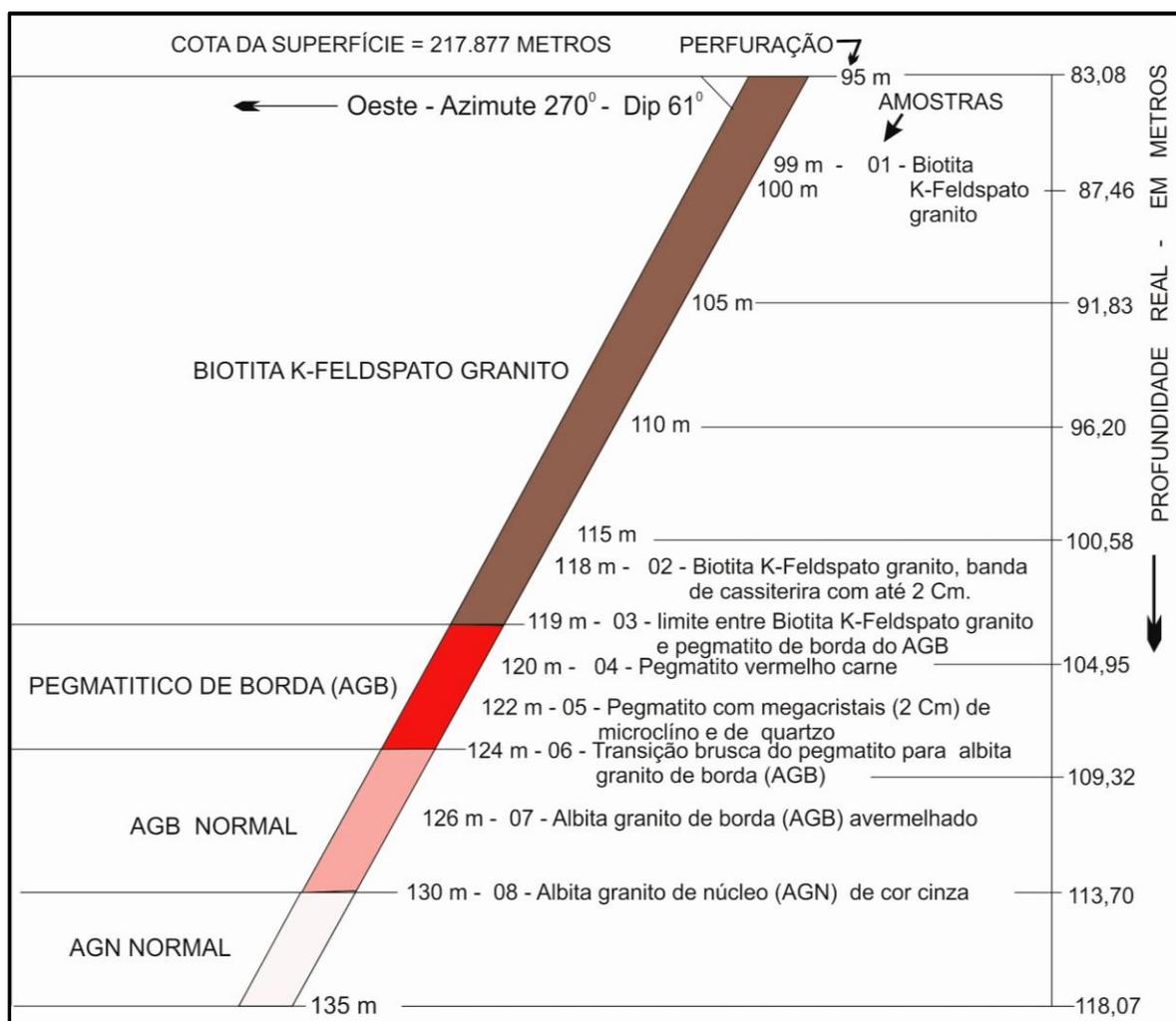


Figura 8 - Representação do segmento do furo de sondagem CD 002 amostrado para a realização deste trabalho, com posicionamento das amostras descritas.

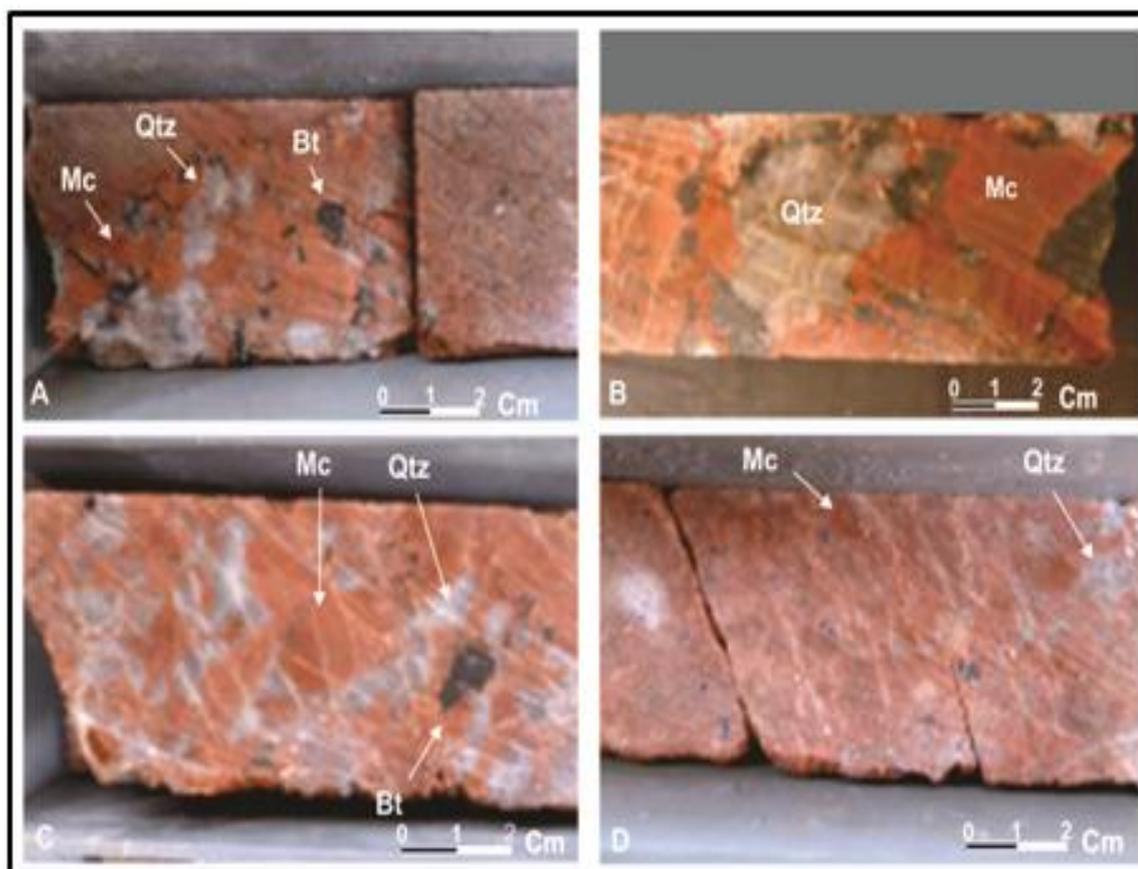


Figura 9 - Fotografias de amostras do pegmatito de borda do AGB: Amostras do furo CD 002. Mc=microclínio, Qtz=quartzo, Bt=biotita.

O **furo CD 003** é a uma sondagem que foi programada para 250 m, mas efetivamente perfurados 221,07 m, cota da superfície é de 238,25 m. Está localizado na proximidade da borda nordeste do AGN, com mergulho de 75° para oeste-sudoeste (azimute 250°). Para este trabalho, foram selecionadas amostras no intervalo 137 m a 172 m, em que ocorre granito pegmatítico (Fig.10).

No início do furo até 146m perfurados ocorre a fácies anfibólio-biotita sienogranito com textura inequigranular porfirítico (rapakivi) com matriz quartzo-feldspática (quartzo>>feldspato – microclínio+albita) fina a média e fenocristais de K-feldspato perítico com até 5 mm e quartzo até 2,4 mm. Os máficos são biotita e anfibólio e os acessórios principalmente zircão, pirocloro, thorita, fluorita, pirita e outros minerais opacos. Apresenta algumas partes com fraturas preenchidas por fluorita e eventualmente pirita.

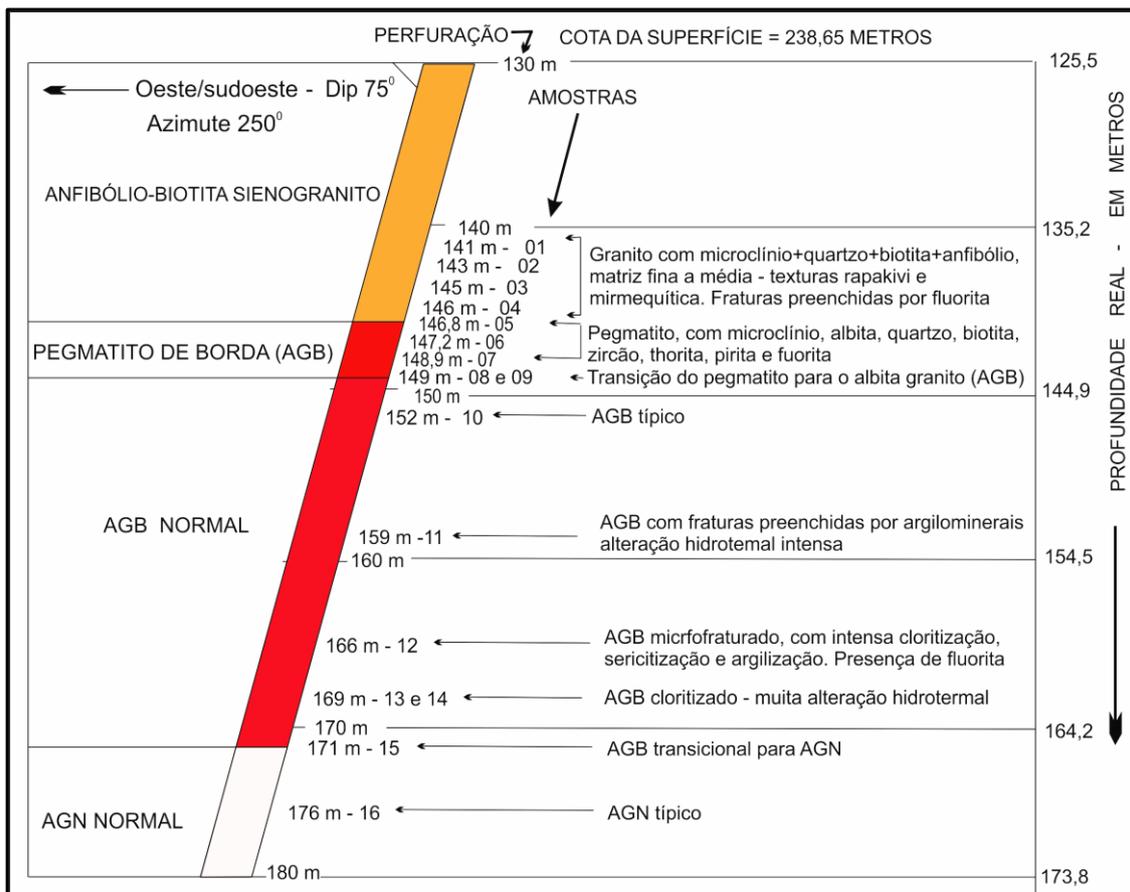


Figura 10 - Representação do segmento do furo de sondagem CD 003 amostrado para a realização deste trabalho, com posicionamento das amostras descritas.

A partir de 146 m de perfuração ocorre um segmento pegmatítico (Fig.11-A, B), com textura inequigranular porfirítica, eventualmente poiquilítica. Apresenta fenocristais de microclínio e albita anédricos (até 4,5 mm) sericitizados, grãos maiores de quartzo anédrico geração tardia (até 15 mm), com inclusões de grãos da matriz e agulhas marrom avermelhado, com composição de óxido de Fe e óxido de Nb, conforme indicam análises ao MEV com EDS (Fig.12-A). A matriz tem granulação grossa composta por quartzo, microclínio, albita, zircão e thorita. Biotita é o máfico presente, mas quase totalmente cloritizada. Pirita e fluorita disseminadas são minerais tardios. A pirita apresenta cristalização de galena e molibdenita nas bordas, segundo análises ao MEV com EDS (Fig.12-B). Alteração hidrotermal intensa indicada pela sericitização do feldspato, cloritização da biotita e disseminação de óxidos ferruginosos.

Ao alcançar 149 m de perfuração, ocorre transição para AGB com textura inequigranular, matriz com microclínio+albita+quartzo de granulação média,

fenocristais de albita e grãos maiores de quartzo (posterior, de até 6 mm irregular). Biotita, em parte alterada para clorita, zircão euédrico abundante, pirocloro, cassiterita, pirita e fluorita completam a mineralogia. Alteração hidrotermal intensa, caracterizada pela cloritização, sericitização e de argilização. Após os 171 m de perfuração passa a ocorrer AGN típico.

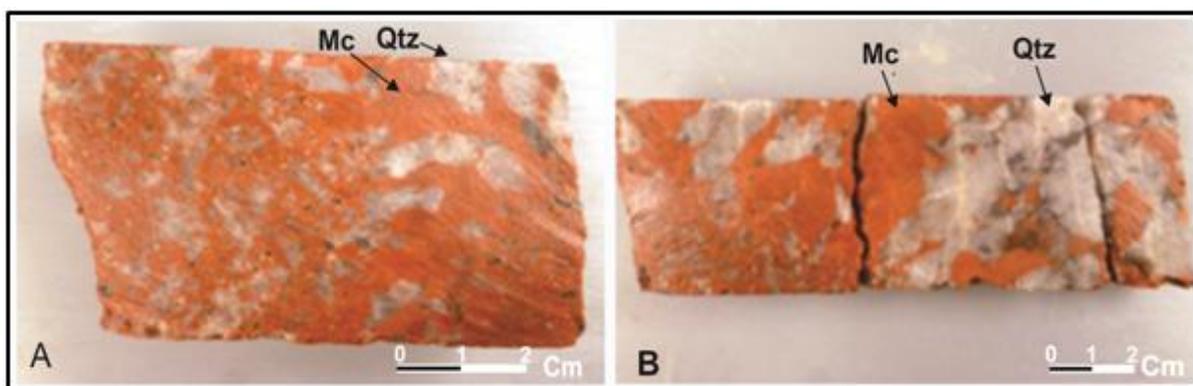


Figura 11 - Fotografias de amostras do pegmatito de borda do AGB. Furo de sondagem CD 003. Mc=microclínio, Qtz=quartz, Bt=biotita.

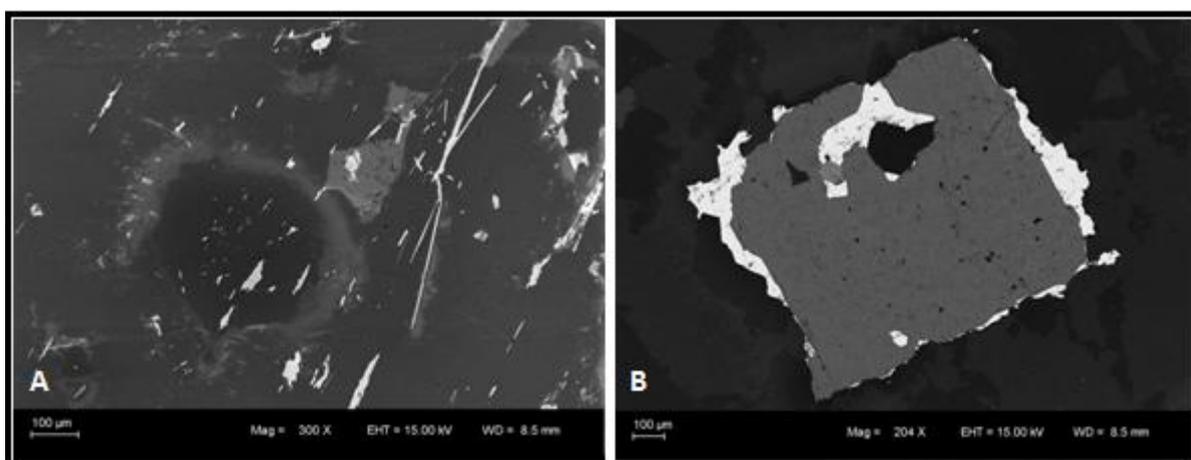


Figura 12 - Imagens ao MEV em amostras do segmento pegmatítico do furo de sondagem CD 003. (A) Minerais aciculares opacos ou translúcidos (brancos), incluídos em quartzo (cinza) - EDS indicou que alguns são óxidos de Fe e outros óxidos de Nb+Mn; (B) Pirita (cinza) com coroa de sobrecrescimento (branco) - Galena, com menores proporções de Molibdenita, de acordo com análise por EDS.

7.2. Geoquímica - rocha total

Para a análise química de rocha total das porções pegmatíticas, entre todas as descritas na petrografia, foram selecionadas seis amostras do furo de sondagem RS 078 (com AGN pegmatítico), seis do furo CD 002 e cinco do furo CD 003 (ambos

com pegmatitos de borda do AGB). Nos três furos de sondagem as amostras para análise química foram selecionadas de maneira a incluir cada segmento pegmatítico e também amostras imediatamente antecedentes e imediatamente posteriores às partes pegmatíticas (Fig. 4, 6 e 10).

Os resultados foram separados em dois tópicos:

1. AGN pegmatítico - furo de sondagem RS 078;
2. Pegmatitos de borda do AGB - furos de sondagem CD 002 e CD 003.

Para facilitar a compreensão, os dados químicos são apresentados em três tópicos:

- Elementos maiores;
- Elementos menores e traços;
- Elementos Terras Raras.

7.2.1. AGN pegmatítico - furo de sondagem RS 078.

Os resultados das análises químicas das amostras do furo de sondagem RS-78 estão apresentados nas tabelas 2, 3 e 4.

7.2.1.1. Elementos maiores

A figura 13 ilustra os teores, em percentagem, dos principais elementos maiores nas amostras analisadas. A figura 14 mostra as proporções de fluoreto (F), sulfeto (S) e fosfato (como P_2O_5). Através dessas figuras e da tabela 2, verifica-se que as amostras analisadas se caracterizam por apresentarem teores relativamente altos de SiO_2 , Al_2O_3 , Na_2O e um pouco mais baixos de F, Fe_2O_3 , K_2O e PF (LOI). P_2O_5 nas amostras do AGN normal tem teor baixo, mas eleva-se no segmento pegmatítico. Os teores de MnO, CaO, MgO, TiO_2 e S são mais baixos (<1%) em algumas amostras quase abaixo do limite de detecção.

Tabela 2 - Elementos maiores nas amostras analisadas do furo de sondagem RS 078. Dados em porcentagem. Amostras com sombreamento = AGN pegmatítico.

	RS078-06x	RS078-09	RS078-10	RS078-11	RS078-14	RS078-17
F	1,3	8,42	8,16	3,55	1,99	6,53
S	< 0,01	< 0,01	0,09	0,02	< 0,01	< 0,01
SiO ₂	70,02	49,44	59,22	69,35	70,17	66,34
Al ₂ O ₃	12,79	17,86	13,81	10,03	12,7	12,27
Fe ₂ O ₃ (T)	2,35	1,39	4,99	7,26	2,13	4,06
MnO	0,038	0,022	0,065	0,12	0,042	0,077
MgO	0,02	0,01	0,01	0,02	< 0,01	0,01
CaO	0,8	0,35	0,87	1,07	0,02	0,03
Na ₂ O	4,2	15,25	10,53	4,88	6,27	8,66
K ₂ O	5,2	0,4	1,16	1,95	4,34	2,87
TiO ₂	0,006	0,025	0,071	0,108	0,033	0,03
P ₂ O ₅	0,04	2,86	0,31	0,01	< 0,01	0,02
LOI	2,37	2,66	3,55	2,61	1,92	3,18

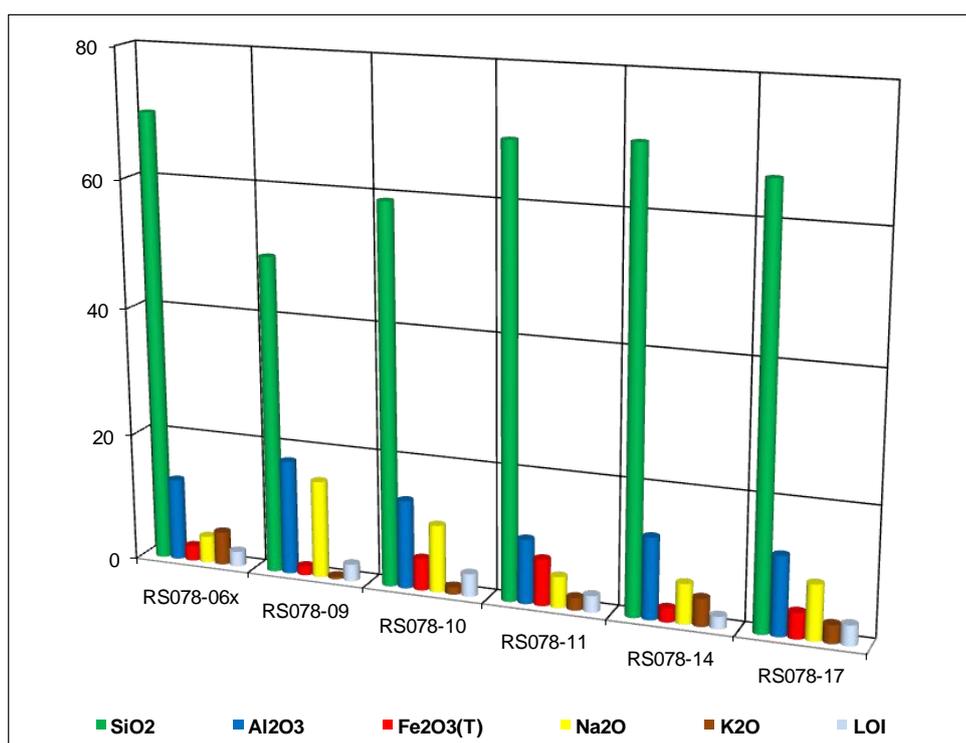


Figura 13 - Teores em porcentagem dos principais elementos maiores, representados em óxidos. Amostras analisadas do furo RS-78.

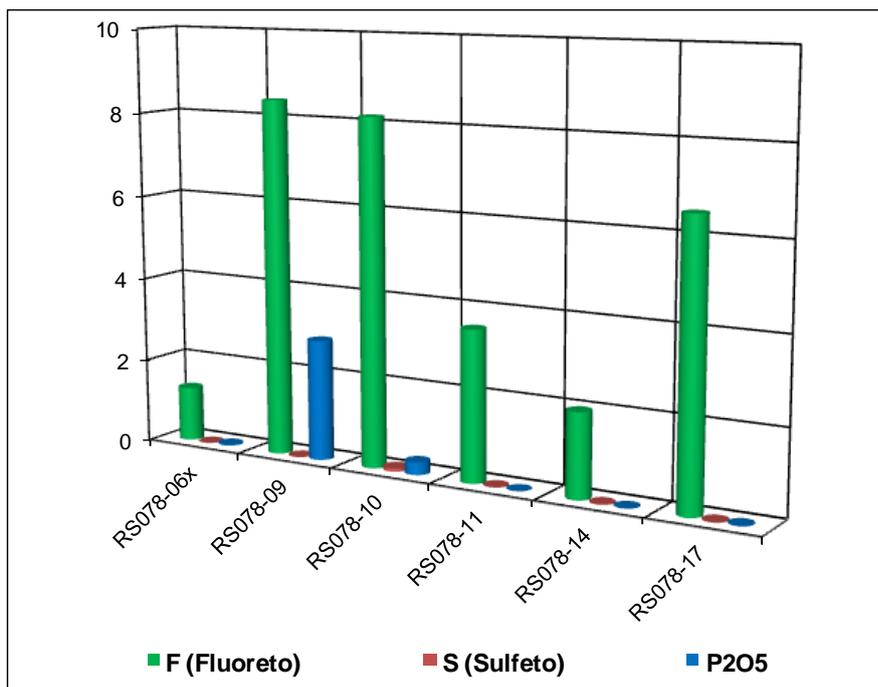


Figura 14 - Teores em percentagem de F (fluoreto), S (sulfeto) e P_2O_5 , responsáveis pela formação de minerais não silicatados. Amostras analisadas do furo RS-78.

Como as duas figuras ilustram, todos esses elementos estão distribuídos, em sua maioria, de forma aleatória ao longo do furo de sondagem. Entretanto, nas amostras do segmento pegmatítico do AGN (RS078-09 e RS078-10), pela presença abundante de xenotima e acréscimo na proporção de criolita, verifica-se diminuição de teor relativo de SiO_2 (Fig.13) e aumento significativo do teor de P_2O_5 , acompanhado de aumento mais discreto F, Al_2O_3 e Na_2O .

7.2.1.2. Elementos menores e traços

Os resultados dos elementos menores e traços das amostras analisadas no furo de sondagem RS 078 estão apresentados em ppm na tabela 3. As figuras 15, 16, 17 e 18 destacam os tores de diferentes elementos em cada amostra analisada, separados em conjuntos temáticos, de acordo com seu interesse: o principal produto (Sn), subprodutos da mineração (Fig. 15); metais significativos com possível importância para a mineração (Fig. 16); elementos significativos e importantes para o entendimento da química mineral (Fig. 17); elementos traços com menor abundância (Fig. 18).

Tabela 3 - Elementos menores e elementos traços nas amostras analisadas do furo de sondagem RS 078. Dados em ppm. Amostras com sombreamento = AGN pegmatítico.

	RS078-06x	RS078-09	RS078-10	RS078-11	RS078-14	RS078-17
Li	239	695	2070	2760	610	408
Sc	1	< 1	5	4	1	< 1
Be	15	15	17	20	27	15
V	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Ba	19	29	13	12	9	12
Sr	89	296	149	131	39	40
Y	100	> 10000	2457	85	165	201
Zr	8092	> 10000	8252	5097	7824	7301
Cr	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20
Co	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Ni	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20
Cu	< 10	< 10	50	< 10	< 10	< 10
Zn	110	280	1460	1990	840	1900
Ga	60	75	56	64	62	57
Ge	7	6	8	12	7	7
As	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Rb	> 1000	891	> 1000	> 1000	> 1000	> 1000
Nb	> 1000	120	399	> 1000	> 1000	939
Mo	<2	3	12	< 2	< 2	< 2
Ag	-	-	-	-	-	-
In	0,8	0,5	2,4	4,6	3,1	3,2
Sn	129	16	122	421	681	629
Sb	1	0,7	0,8	0,8	1,3	1,2
Cs	16,4	10,6	56,6	321	56,9	60,4
Hf	384	657	421	227	326	327
Ta	166	< 0.1	15,4	186	125	107
W	42	49	25	31	9	7
Tl	6,2	1,6	3,6	10,5	11,3	8,9
Pb	832	293	> 10000	996	734	155
Bi	3,5	3,6	47,4	5,2	4,7	4,7
Th	92,4	379	> 2000	61,5	378	454
U	329	144	667	329	477	405

A figura 15 ilustra os teores dos metais que constituem o principal produto (Sn), subprodutos (Nb-Ta) da mineração, vinculados especialmente aos minerais cassiterita e pirocloro. Esses são minerais mais abundantes no AGN normal do que na parte de AGN pegmatítico. Isso repercute nas concentrações desses metais, que mostram teores mais baixos nas amostras de AGN pegmatítico do que no restante da rocha (Fig.15). Chama atenção o fato de que, nas amostras deste segmento analisado do furo de sondagem RS 078, a concentração de Nb ser

superior à do Sn, a despeito do segundo ser o produto principal da mineração, enquanto o primeiro ser subproduto. Ao que parece se trata de um efeito introduzido pela heterogeneidade na distribuição da mineralogia na rocha, razão pela qual é necessária uma visão de conjunto para fins de avaliação econômica.

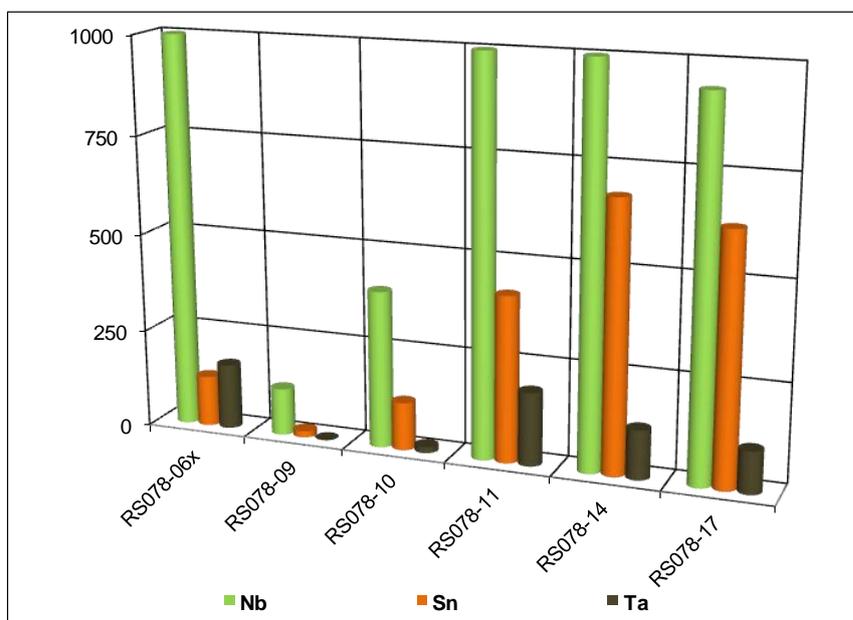


Figura 15 - Teores dos metais que constituem o principal produto (Sn), mineração. Amostras analisadas do furo RS-78. Dados em ppm.

Os teores de alguns outros metais com quantidades significativas e que poderão ter importância para a mineração são ilustrados na figura 16. O Y tem elevado teor nas amostras do AGN pegmatítico, o que condiz com a presença de xenotima. O Zr é abundante no AGN e também no segmento pegmatítico, o que ocorrem em função da existência do mineral zircão em considerável teor em toda a mineralogia, mas com distribuição aleatória. O Hf acompanha o Zr, mas com menor teor, também como participante da composição do zircão. A presença de galena explica a concentração do Pb, principalmente em amostras do AGN pegmatítico, mas parte do Pb ocorre no pirocloro ou como chumbo nativo liberado pela transformação de pirocloro em columbita. O Zn pode também estar parcialmente vinculado a sulfetos, mas sua maior parte provavelmente relaciona-se à polilitionita que é rica em Zn devido ao efeito F-Fe avoidance (Shuck 2015). U e Th têm concentrações variáveis de amostra a amostra, o que se explica pela distribuição aleatória de pirocloro (U), thorita (Th) e zircão (U, Th), principais minerais que os contêm.

A figura 17 representa a distribuição de alguns elementos com teores significativos e importantes para o entendimento da química mineral, como Li, Sr, Rb, Cs e Bi. O Li é abundante nas partes da rocha em que ocorre maior concentração de polilithionita. Rb e Sr têm maior concentração nas amostras do segmento pegmatítico, possivelmente relacionados à presença de albita. Cs e Bi apresentam teores baixos, exceto na amostra 11, onde o Cs tem presença um pouco maior.

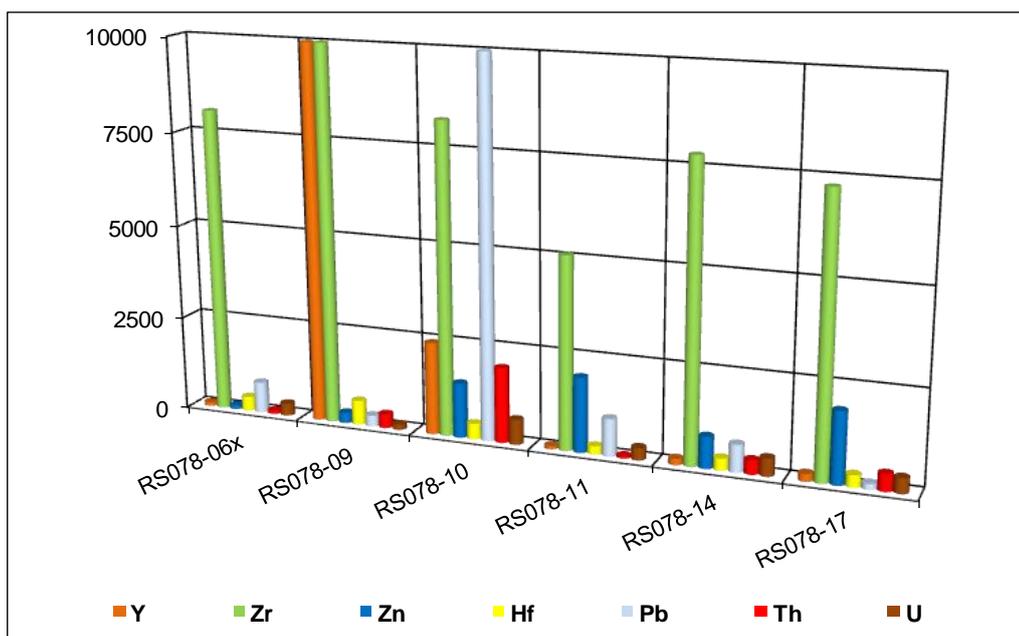


Figura 16 - Teores de alguns metais significativos e que poderão ter importância para a mineração. Amostras analisadas do furo RS-78. Dados em ppm.

Os elementos em traço com menor abundância são representados na figura 18. Eles têm concentrações semelhantes nas diferentes amostras. Não se observa qualquer variação em função da rocha ser AGN normal ou AGN pegmatítico. Por fim, outros elementos traços ocorrem em quantidades muito pequenas, por vezes abaixo do limite de detecção, o que impossibilita sua ilustração em gráficos.

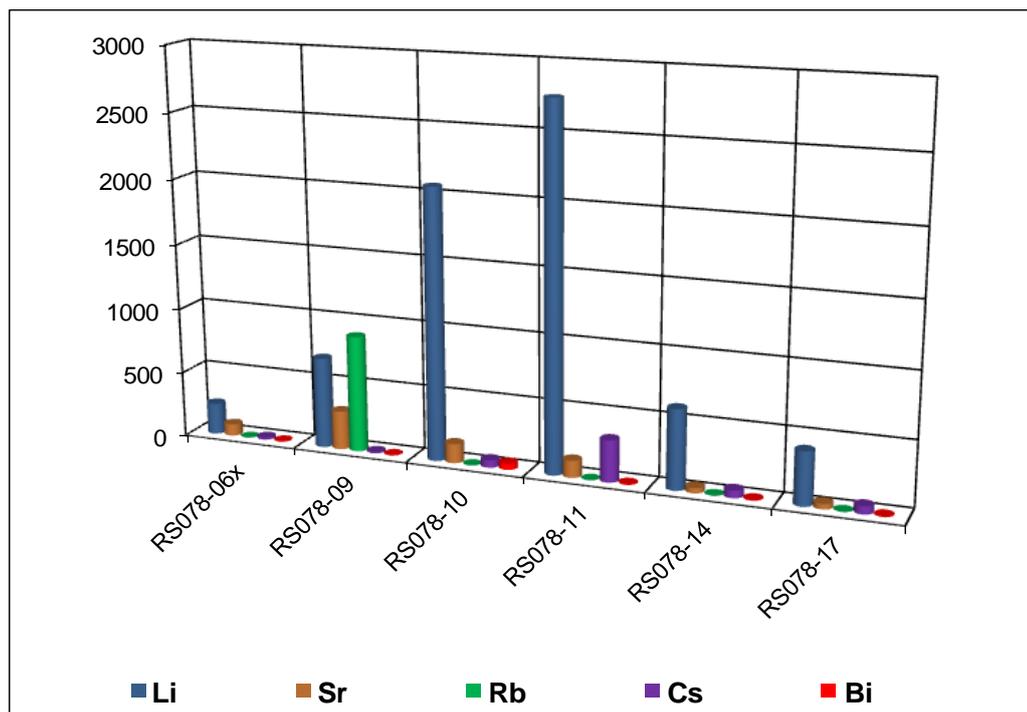


Figura 17 - Teores de elementos significativos e importantes para o entendimento da química mineral. A mostras analisadas do furo RS-78 Dados em ppm.

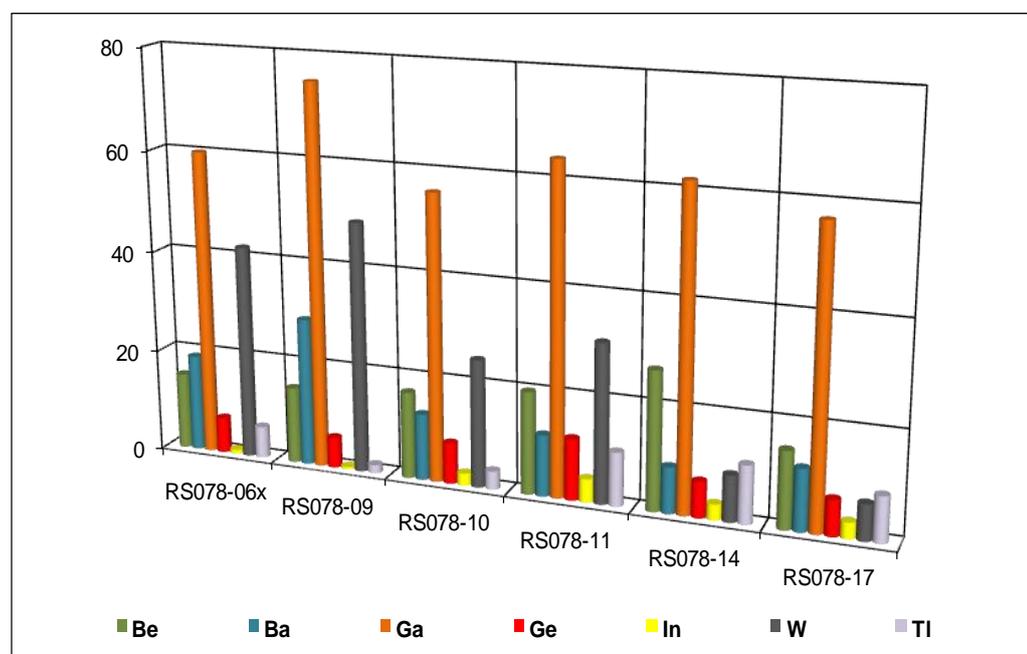


Figura 18 - Teores de elementos traços com menor abundância. Amostras analisadas do furo RS-78. Dados em ppm.

7.2.1.3. Elementos Terras Raras (ETR)

Os dados referentes aos ETR nas amostras analisadas do furo de sondagem RS078 são apresentados na tabela 4. É nítida a concentração maior de ETR na porção pegmatítica do AGN do que nas do AGN normal (Fig.19).

A Figura 20 apresenta o gráfico dos ETR normalizados pelo meteorito Anders & Greves (1989). Observa-se que todas as curvas têm mesmo padrão normal de distribuição, com nítida anomalia negativa do Eu. As curvas das duas amostras de AGN pegmatítico (RS 078-09 e RS 078-10) destacam-se por terem os ETRP bem mais elevados, enquanto os primeiros ERTL são mais baixos. As amostras do AGN pegmatítico apresentam também uma pequena anomalia negativa de Nd (Fig. 20).

A razão ETRP/ETRL nas amostras de AGN normal são pouco diferentes da unidade, variando de 0,65 a 1,99. Nas amostras do AGN pegmatítico a razão ETRP/ETRL torna-se elevada, com valores como 14,17 e 32,17 (Tab. 4), em razão da presença de xenotima em proporções variáveis. Os ETRP são mais abundantes em todas as amostras, principalmente a partir do Dy até o Lu, mas o que predomina em todas as amostras é o Yb (Tab. 4). O Yb é o mais abundante entre os ETRP, em todas as amostras.

Tabela 4 - Elementos terras raras (ETR) nas amostras analisadas do furo de sondagem RS 078. Dados em ppm. Amostras com sombreamento cinza = AGN pegmatítico.

	RS078-06x	RS078-09	RS078-10	RS078-11	RS078-14	RS078-17
La	28	13,7	5,4	24,8	24,4	19,6
Ce	119	102	29,5	98,3	102	84,4
Pr	12,8	25,9	5,57	10,5	11,3	9,73
Nd	31,1	154	25,9	25,2	28,1	26,2
Sm	10,5	195	31,9	8,8	10,1	10,7
Eu	0,21	8,76	1,03	0,17	0,21	0,25
Gd	7,6	628	70,2	6,3	9	12,1
Tb	3,6	449	49	2,8	4,4	6,0
Dy	32,8	>1000	614	22,3	44,3	61,7
Ho	8,6	>1000	186	5,2	12,1	17,2
Er	37,9	>1000	852	21,3	51,8	70,2
Tm	8,73	>1000	192	4,74	10,8	13,9
Yb	70,4	>1000	>1000	39,6	82,9	103
Lu	11,9	>1000	231	6,55	13,6	16,5
ETRL	201,61	499,36	99,30	167,77	176,11	150,88
ETRP	181,53	7077,00	3194,20	108,79	228,90	300,60
ETRP/ETRL	0,90	14,17	32,17	0,65	1,30	1,99
ETR TOTAL	383,14	7576,36	3293,50	276,56	405,01	451,48

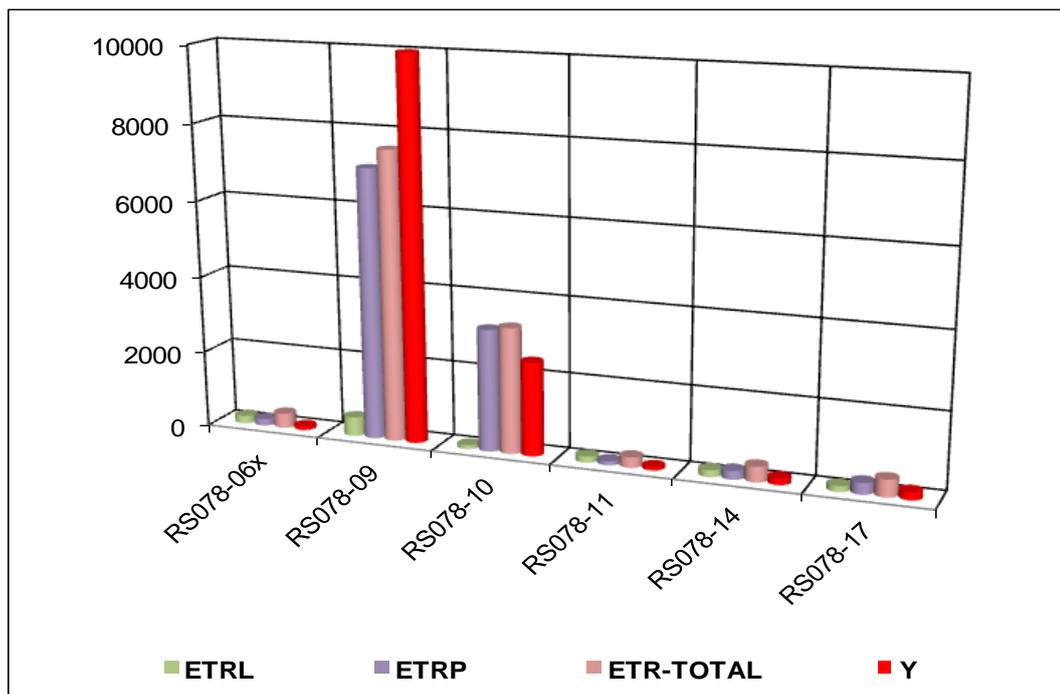


Figura 19 - Comparação entre os teores de Y e os somatórios de elementos terras raras leves (ETRL), pesados (ETRP) e totais (ETR-TOTAL). Amostras analisadas do furo RS-78. Dados em ppm.

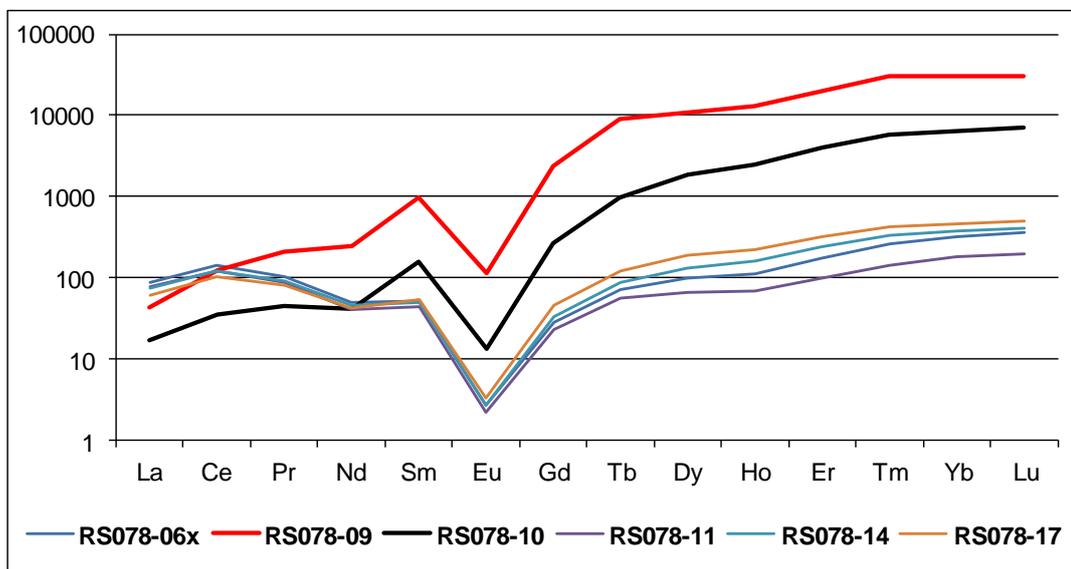


Figura 20. Gráfico de ETR das amostras do furo RS 78, normalizados pelo meteorito Anders & Greves (1989).

7.2.2. Pegmatito de borda do AGB - sondagens CD 002 e CD 003

As tabelas 5 e 6 (elementos maiores), 7 e 8 (elementos menores e traços), 9 e 10 (elementos terras raras - ETR) apresentam os resultados das análises químicas das amostras dos furos de sondagem CD 002 e CD 003.

7.2.2.1. Elementos maiores

Os teores, dados em percentagem, dos principais elementos maiores nas amostras analisadas estão ilustrados nas figuras 21 e 22. A análise dessas figuras, assim como das tabelas 5 e 6, mostra que não existe significativa diferença composicional entre os segmentos de pegmatito de borda do AGB e as rochas onde estão contidos. Todas as amostras caracterizam-se por apresentar teores altos de SiO_2 , teores intermediários de Al_2O_3 , Na_2O , CaO , K_2O e teores menores de Fe_2O_3 e PF. Os teores de MnO , MgO e TiO_2 são mais baixos (<1%). Estas concentrações são compatíveis com a mineralogia principal da rocha quartzo-feldspática, com albita+microclínio. Cabe destacar os teores muito baixos de P_2O_5 , o que concorda com o fato de não ter sido encontrada xenotima. O teor de F (fluor) é baixo, comparativamente ao AGN (comparar tabelas 5 e 6, com tabela 2), mas explica-se pela presença de fluorita em algumas amostras, principalmente no sistema fissural ou preenchendo espaços de dissolução minerais pré-existentes, mas sem ocorrer criolita. Parte do CaO também pode ser explicado pela ocorrência de fluorita tardia. O S (sulfeto) tem teor baixo e sem regularidade de uma amostra para outra, aparentemente associado ao aparecimento de pirita. A variação da hidratação (LOI) tem relação com o aparecimento de fases mineralógicas hidratadas tardias (hidrotermais) como sericita e argilominerais.

As análises químicas, no que diz respeito a elementos maiores, não mostram diferenças significativas entre as amostras do pegmatito de borda do AGB e as amostras das rochas nas quais estão contidos, exceto pelo K_2O ser pouco mais alto pela maior quantidade de microclínio.

Tabela 5 - Elementos maiores nas amostras analisadas do furo de sondagem CD 002. Dados em porcentagem. Amostras com sombreamento = pegmatito de borda do AGB.

	CD002-02	CD002-03	CD002-04	CD002-05	CD002-06	CD002-08
F	1,36	0,56	0,92	0,05	0,3	1,79
S	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
SiO ₂	67,95	72,54	66,6	74,45	70,54	72,49
Al ₂ O ₃	11,18	12,66	12,69	12,48	12,4	11,95
Fe ₂ O ₃ (T)	0,34	2,49	4,35	1,14	2,8	2,01
MnO	0,01	0,037	0,037	0,022	0,084	0,034
MgO	0,03	0,07	0,05	0,02	0,05	0,02
CaO	2,04	1,06	2,22	0,15	0,74	0,01
Na ₂ O	5,32	4,68	1,85	2,89	2,61	5,85
K ₂ O	1,47	3,97	7,86	6,59	6,49	3,92
TiO ₂	0,036	0,142	0,144	0,015	0,022	0,015
P ₂ O ₅	0,04	< 0.01	< 0.01	0,03	0,02	0,01
LOI	1,74	1,09	1,78	0,98	1,16	1,95

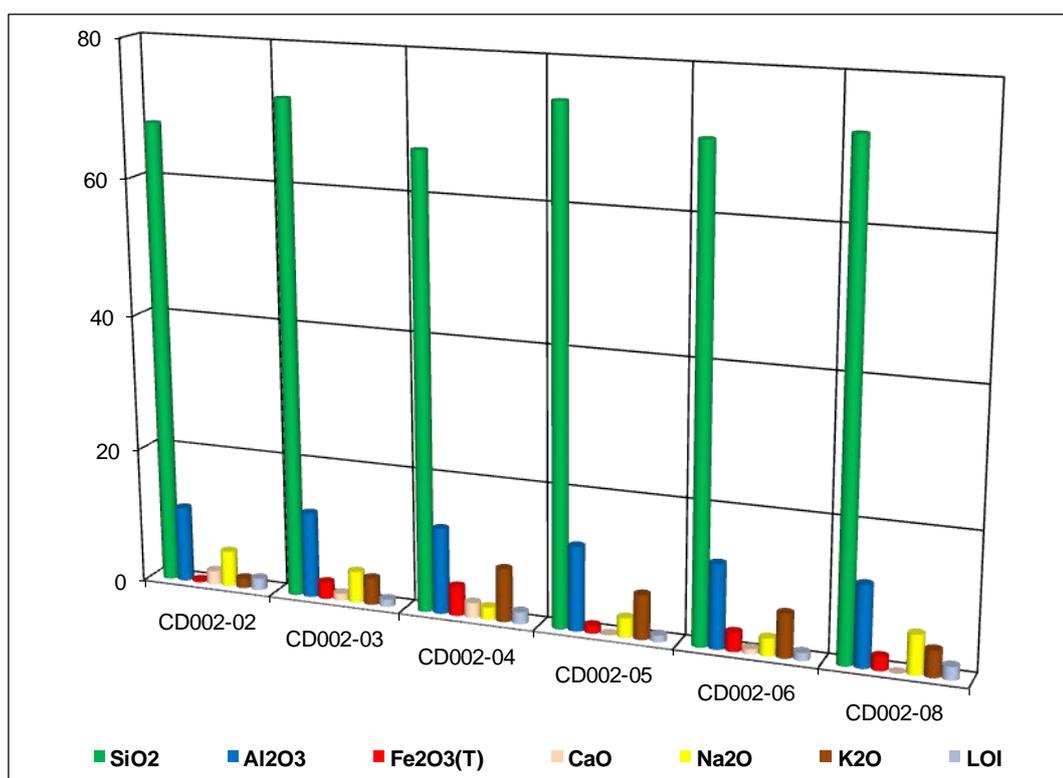


Figura 21 - Principais elementos maiores nas amostras analisadas do furo CD 002. Dados em porcentagem

Tabela 6 - Elementos maiores nas amostras analisadas do furo de sondagem CD 003. Dados em percentagem. Amostras com sombreado = pegmatito de borda do AGB

	CD003-05	CD003-06	CD003-06x	CD003-09	CD003-11
F	0,16	0,39	0,07	< 0,01	0,14
S	< 0,01	0,3	0,17	0,07	0,01
SiO ₂	73,54	76,78	75,56	73,57	71,07
Al ₂ O ₃	13,4	9,99	11,05	12,05	13,31
Fe ₂ O ₃ (T)	1,49	1,86	2,01	1,97	2,76
MnO	0,029	0,015	0,021	0,046	0,059
MgO	0,03	0,03	0,04	0,03	0,04
CaO	0,45	0,92	0,2	0,06	0,38
Na ₂ O	4,45	2,13	3,45	2,97	4,45
K ₂ O	4,97	5,71	4,46	5,91	4,79
TiO ₂	0,014	0,045	0,051	0,034	0,017
P ₂ O ₅	0,04	0,02	0,04	0,01	0,01
LOI	0,85	1,16	0,97	0,79	1,07

C

Figura 22. Principais elementos maiores nas amostras do furo CD 003. Dados em percentagem

7.2.2.2. Elementos menores e traços

Os resultados dos elementos menores e traços das amostras analisadas nos furos de sondagem CD 002 e CD 003 são apresentados nas tabelas 7 e 8.

Tabela 7 - Elementos menores e elementos traços nas amostras analisadas do furo de sondagem CD 002. Dados em ppm. Amostras com sombreado = pegmatito de borda.

	CD002-02	CD002-03	CD002-04	CD002-05	CD002-06	CD002-08
Li	9	211	12	4	16	497
Sc	2	< 1	< 1	1	3	1
Be	9	33	43	20	21	55
V	< 5	< 5	< 5	5	13	< 5
Ba	313	62	56	62	40	7
Sr	232	41	46	26	34	41
Y	5160	1689	6214	338	187	132
Zr	373	463	3797	7827	2823	7742
Cr	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20
Co	1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Ni	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20
Cu	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
Zn	140	510	300	< 30	360	1000

Ga	30	48	65	70	77	58
Ge	4	3	7	6	8	8
As	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Rb	674	> 1000	> 1000	> 1000	> 1000	> 1000
Nb	> 1000	96	871	596	> 1000	> 1000
Mo	> 100	12	13	7	< 2	< 2
Ag	3,3	3,1	-	-	-	-
In	> 200	1	2,3	0,8	31,1	2,9
Sn	> 1000	74	102	66	> 1000	405
Sb	2,1	1	1,3	0,8	1	3,7
Cs	10,9	65,3	31,6	13	36,4	142
Hf	33,1	19,6	178	390	324	417
Ta	162	2,5	130	76,4	312	161
W	27	6	31	10	31	9
Tl	3,1	8,4	14,2	11,1	14,4	17,7
Pb	499	101	144	176	639	1060
Bi	4,1	1,2	1,5	0,7	4,1	10,1
Th	1800	236	195	310	> 2000	548
U	237	9,6	96,6	225	414	439

Tabela 8 - Elementos menores e elementos traços nas amostras analisadas do furo CD 003. Dados em ppm. Amostras com sombreamento = pegmatito de borda do AGB.

	CD003-05	CD003-06	CD003-06x	CD003-09	CD003-11
Li	4	5	5	5	8
Sc	1	< 1	1	3	3
Be	18	13	15	17	18
V	5	< 5	< 5	< 5	< 5
Ba	51	58	48	50	37
Sr	19	26	18	23	20
Y	345	653	535	275	112
Zr	5853	4755	5888	7700	7032
Cr	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20
Co	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Ni	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20
Cu	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
Zn	50	520	3290	430	520
Ga	75	52	60	63	74
Ge	5	4	5	7	6
As	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Rb	> 1000	> 1000	> 1000	> 1000	> 1000
Nb	686	709	604	> 1000	> 1000
Mo	3	< 2	2	< 2	< 2
Ag					
In	0,8	0,5	2	9,6	6,4
Sn	100	77	116	> 1000	> 1000
Sb	0,8	1,1	0,9	1,2	0,9
Cs	7,9	9	7	12	9,7
Hf	227	171	245	767	389
Ta	90,7	81,6	75,7	215	204
W	10	17	15	29	19
Tl	8,6	9,8	7,2	9,3	7,9
Pb	181	207	1020	2840	959
Bi	0,5	0,7	4,1	18,2	2
Th	269	402	758	425	591
U	227	315	443	462	356

As figuras 23 a 28 ilustram os tores dos diferentes elementos em cada amostra analisada em ambos os furos, separados em conjuntos temáticos, de acordo com seu interesse: metais que constituem o principal produto (Sn), subproduto (Nb) e alguns outros metais com tores significativos e que poderão ter importância para a mineração (Fig. 23 e 24); elementos com tores significativos e importantes para o entendimento da química mineral da rocha (Fig. 25 e 26); elementos traços com menor abundância (Fig. 28 e 28).

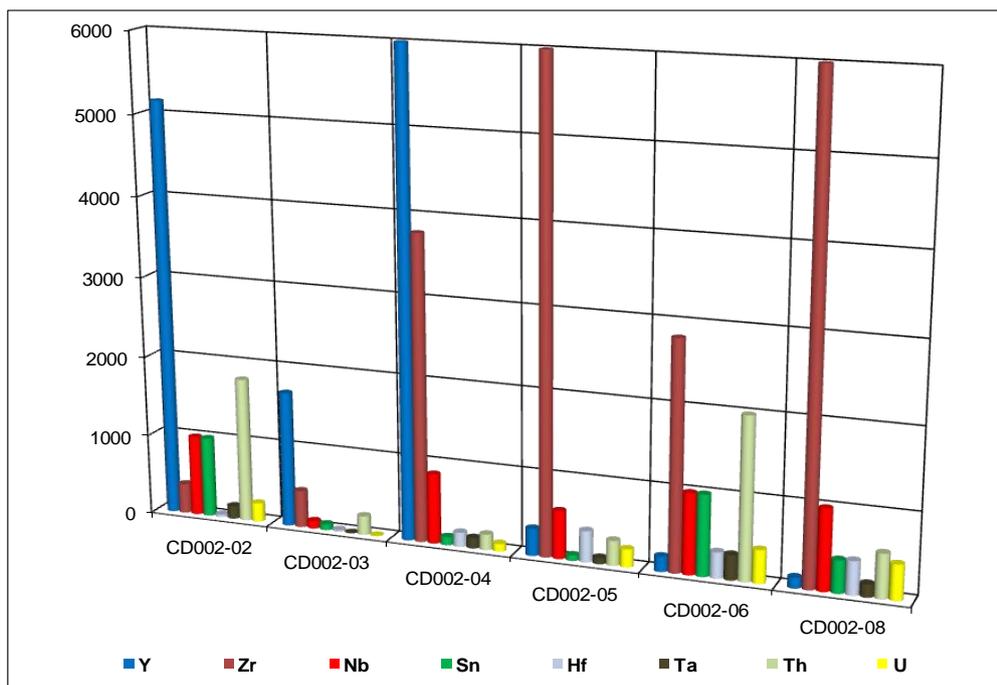


Figura 23 - Teores dos metais que constituem o principal produto (Sn), subproduto (Nb) e alguns outros metais com teores significativos e que poderão ter importância para a mineração. Furo de sondagem CD 002. Dados em ppm.

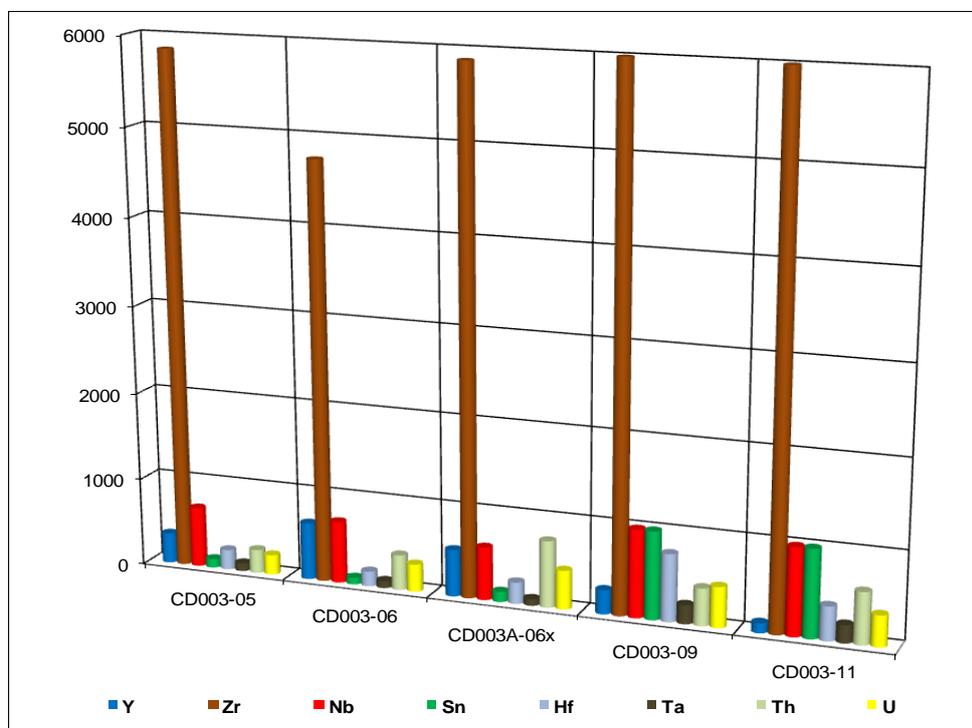


Figura 24 - Teores dos metais que constituem o principal produto (Sn), subproduto (Nb) e alguns outros metais com teores significativos e que poderão ter importância para a mineração. Furo de sondagem CD 003. Dados em ppm.

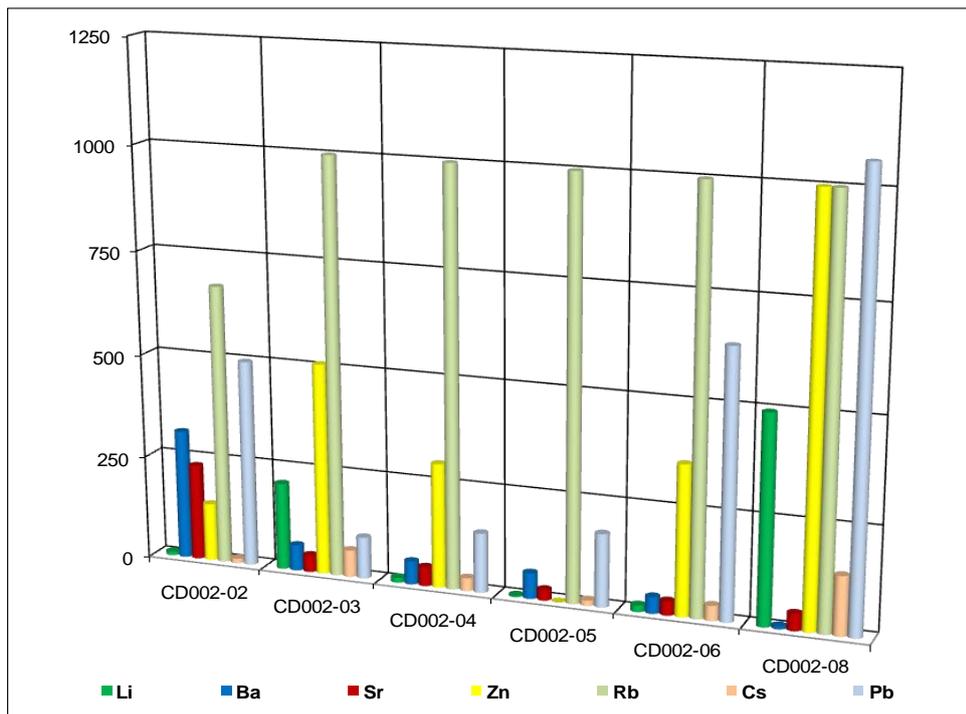


Figura 25 - Elementos com teores significativos e importantes para o entendimento da química mineral da rocha. Furo de sondagem CD 002. Dados em ppm.

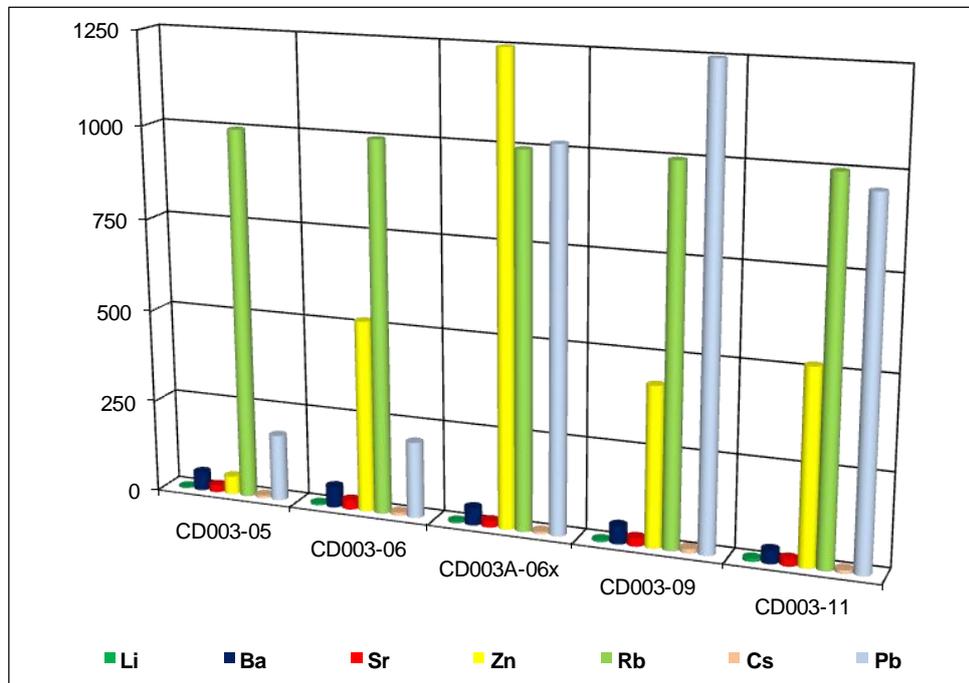


Figura 26. Elementos com teores significativos e importantes para o entendimento da química mineral da rocha. Furo de sondagem CD 003. Dados em ppm.

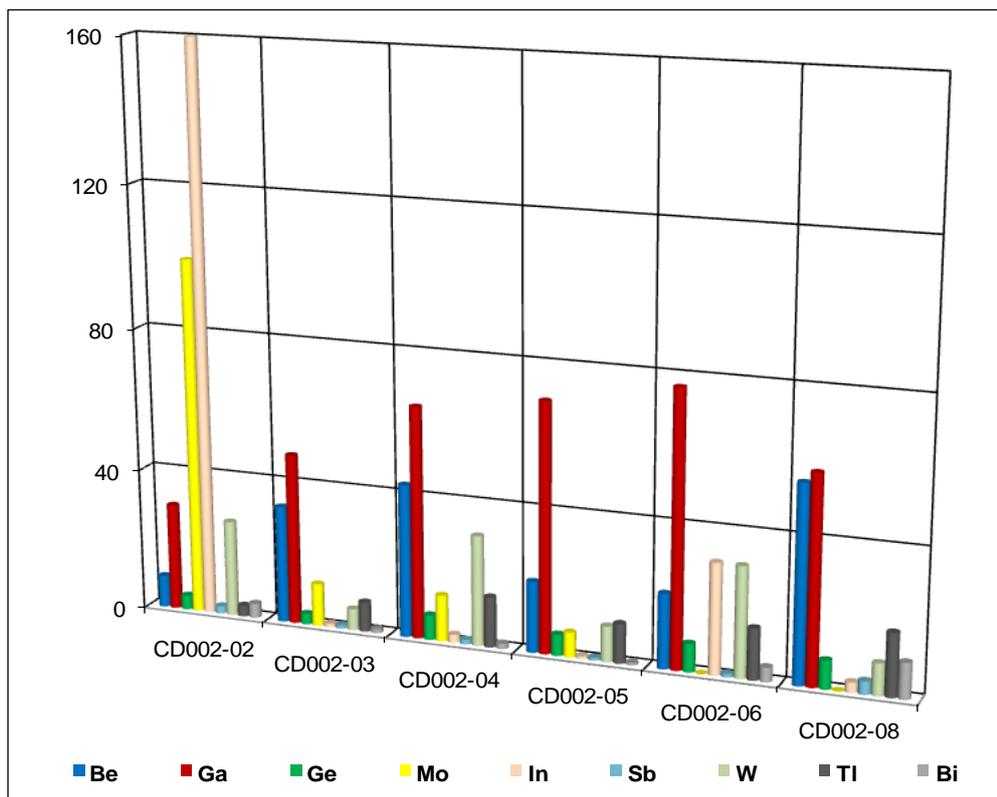


Figura 27 - Teores de elementos traços com menor abundância. Furo CD 002. Dados em ppm.

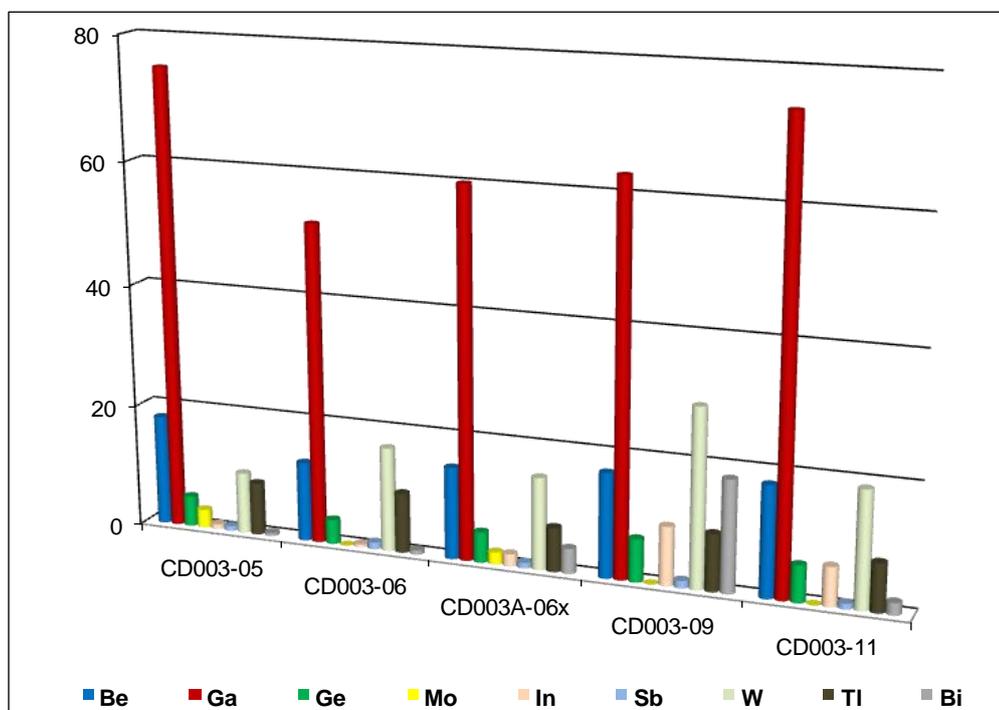


Figura 28 - Teores de elementos traços com menor abundância. Furo CD 003. Dados em ppm.

As figuras 23 e 24 ilustram os teores dos metais que constituem o principal produto (Sn), subprodutos (Nb-Ta), vinculados especialmente aos minerais cassiterita e pirocloro, além de alguns outros metais com teores significativos e que poderão ter importância para a mineração, nos furos de sondagem CD 002 e CD 003.

Verifica-se que Sn tem menor concentração nos segmentos de pegmatito de borda do AGB do que nas rochas que o contém, tanto no CD 002 quanto no CD 003, em razão da menor quantidade de cassiterita nessas amostras. Nb e Ta, vinculados a pirocloro, também têm pequena redução nos segmentos pegmatíticos da borda do AGB.

A distribuição do Y é aleatória e somente tem elevado teor em algumas amostras iniciais do furo CD 002. O Zr é abundante tanto nos segmentos pegmatíticos quanto nas rochas que os delimitam, mas tem distribuição muito aleatória, o que ocorre em função da distribuição do mineral zircão. O Hf acompanha o Zr, mas com menor teor, também como participante da composição do zircão. U e Th têm concentrações variáveis de amostra a amostra, o que se explica pela distribuição aleatória de pirocloro (U) e thorita (Th).

As figuras 25 e 26 mostram as variações de alguns elementos com teores significativos e importantes para o entendimento da química mineral nos furos de sondagem CD 002 e CD 003.

A presença de galena explica a concentração do Pb, com distribuição aleatória, mas parte do Pb também vincula-se à presença de pirocloro. O Zn também tem distribuição aleatória, acompanhando o Pb, em parte vinculado a sulfetos. Como as concentrações de Li são muito baixas na maioria dos casos, certamente a quantidade de Zn relacionado à polilithionita é muito baixa. O Li é pouco abundante na maior parte das amostras, somente ocorrendo em valor significativo em duas amostras do furo CD 002, onde há presença de polilithionita. Rb e Sr têm concentração significativa em todas as amostras, tanto do segmento pegmatítico quanto dos demais segmentos, devem estar relacionados à presença dos feldspatos. Cs e Ba apresentam teores baixos com distribuição aleatória.

As figuras 27 e 28 representam os teores de elementos traços com menor abundância, nos furos CD 002 e CD 003. Entre esses elementos, Ga, Be, W e Ge, pela ordem, chamam atenção pela presença consistente em todas as amostras sem grandes variações. O Mo aparece com destaque apenas em uma amostra

(CD002-02), enquanto nas demais tem teores bem baixos. Sua presença poderá estar vinculada à possibilidade de ocorrer molibdenita associada a galena observada ao MEV-EDS. Também cabe destacar o In, que aparece com teor bem significativo em algumas amostras, que coincidem com as que contêm mais Sn, indicando a vinculação à cassiterita, cuja concentração é maior nas porções não pegmatíticas. Tl, Sb e Bi têm teores baixos e distribuição aleatória. Estes elementos não mostram maiores variações em função da rocha ser normal ou pegmatítica.

Por fim, outros elementos traços ocorrem em quantidades muito pequenas, por vezes abaixo do limite de detecção, o que impossibilita sua ilustração em gráficos.

7.2.2.3. Elementos Terras Raras

As tabelas 9 e 10 apresentam os dados referentes aos ETR nas amostras dos furos de sondagem CD002 e CD003.

Tabela 9 - Elementos terras raras (ETR) nas amostras analisadas do furo de sondagem CD 002. Dados em ppm. Amostras com sombreamento = pegmatito de borda do AGB

	CD002- 02	CD002- 03	CD002- 04	CD002- 05	CD002-06	CD002-08
La	144	103	177	109	25	18,2
Ce	467	277	568	394	212	78,8
Pr	64,4	31,2	74,3	40,8	23,3	9,14
Nd	226	95,3	248	90,2	54,7	23,2
Sm	117	41,4	137	19,4	18,6	10,2
Eu	2,86	1,03	3,52	0,38	0,36	0,22
Gd	151	55,9	218	17,3	16,3	9,6
Tb	71,3	27,4	114	7,5	8,2	4,9
Dy	681	270	>1000	71,8	74,3	48,6
Ho	170	67,6	286	18,6	17,8	13,1
Er	615	258	>1000	76,3	68,1	54,3
Tm	109	50,4	190	16,2	13,7	11,5
Yb	716	365	>1000	130	101	92,4
Lu	94,7	52,9	167	21	14,8	14,2
ETRL	1021,26	548,93	1207,82	653,78	333,96	139,76
ETRP	2608	1147,2	3975	358,7	314,2	248,6
ETRP/ ETRL	2,55	2,09	3,29	0,55	0,94	1,78
ETR TOTAL	3629,26	1696,13	5182,82	1012,48	648,16	388,36

As figuras 29 e 30 ilustram as concentrações de ETRL, ETRP, ETR-TOTAL e Y nessas amostras. Verifica-se que, ao que indicam as figuras, não há relação das

concentrações desses metais com o fato das amostras pertencerem aos segmentos pegmatíticos ou não. No furo CD002 as amostras posteriores ao segmento pegmatítico têm os teores desses metais bastante menores que as anteriores. No furo CD003 não há variação significativa entre as diferentes amostras.

As Figuras 31 e 32 apresentam os gráficos dos ETR normalizados pelo meteorito Anders & Greves (1989) para ambos os furos. Observa-se que todas as curvas têm mesmo padrão normal de distribuição, com nítida anomalia negativa do Eu e uma anomalia negativa menor para o Nd.

Não é possível diferenciar qualquer padrão diferenciado entre as amostras pegmatíticas e as demais. Somente a amostra CD002-04 (pegmatítica) mostra valores mais elevados de ETRP, especialmente Dy, Er e Yb (Tab. 9 e Fig.31). Estes três metais são os mais abundantes entre todos os ETR, enquanto o Ce é mais abundante entre os ETRL, em todas as amostras.

A razão ETRP/ETRL varia de 0,55 a 3,29 no furo CD002, valor mais alto na amostra pegmatítica (CD002-04) e de 0,70 a 3,22 no furo CD003.

Tabela 10 - Elementos terras raras (ETR) nas amostras analisadas do furo de sondagem CD 003. Dados em ppm. Amostras com sombreamento = pegmatito de borda do AGB.

	CD003-05	CD003-06	CD003-06x	CD003-09	CD003-11
La	73	29,8	63	37,6	7,6
Ce	271	113	274	146	37,1
Pr	29,4	14,6	33,9	16	4,61
Nd	68,6	44,1	97,1	40,4	11,9
Sm	18,5	25,5	43,2	19,1	6,4
Eu	0,41	0,81	0,86	0,47	0,17
Gd	18,7	34,7	45,3	19,2	6,8
Tb	8,4	17,7	19,6	8,5	3,8
Dy	75,2	175	176	73,8	40,5
Ho	18,3	38,5	38,3	17,5	11,1
Er	69,1	127	126	66,4	47,9
Tm	13,7	20,4	20,9	13,3	10,5
Yb	104	129	134	105	84,2
Lu	15,5	17,6	18,5	16,3	13,6
ETRL	460,91	227,81	512,06	259,57	67,78
ETRP	322,9	559,9	578,6	320	218,4
ETRP/ ETRL	0,70	2,46	1,13	1,23	3,22
ETR TOTAL	783,81	787,71	1090,66	579,57	286,18

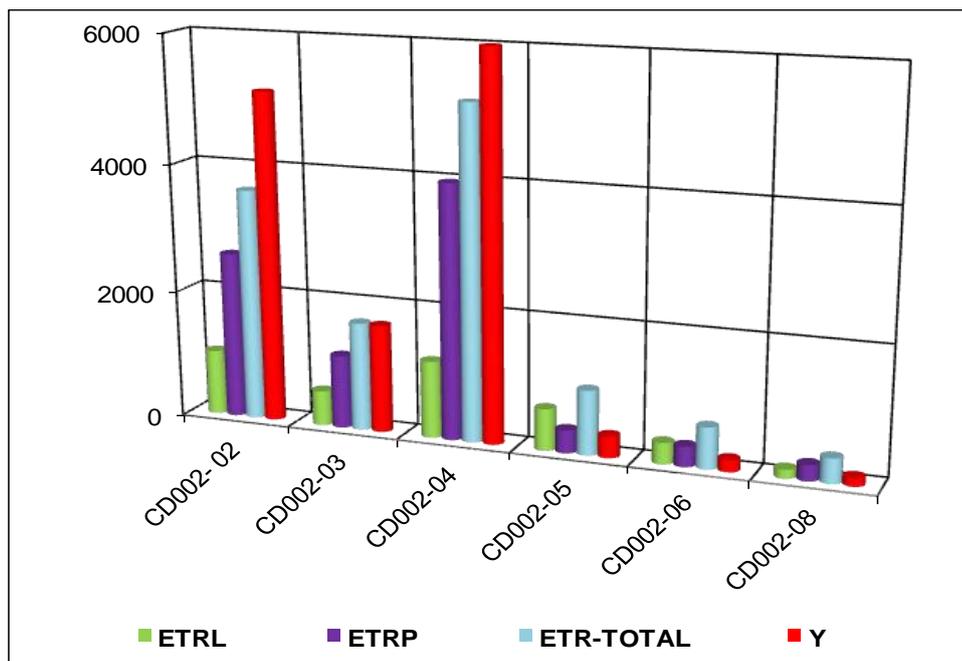


Figura 29 - Comparação entre os teores de Y e os somatórios de elementos terras raras leves (ETRL), pesados (ETRP) e totais (ETR-TOTAL). Furo CD 002. Dados em ppm.

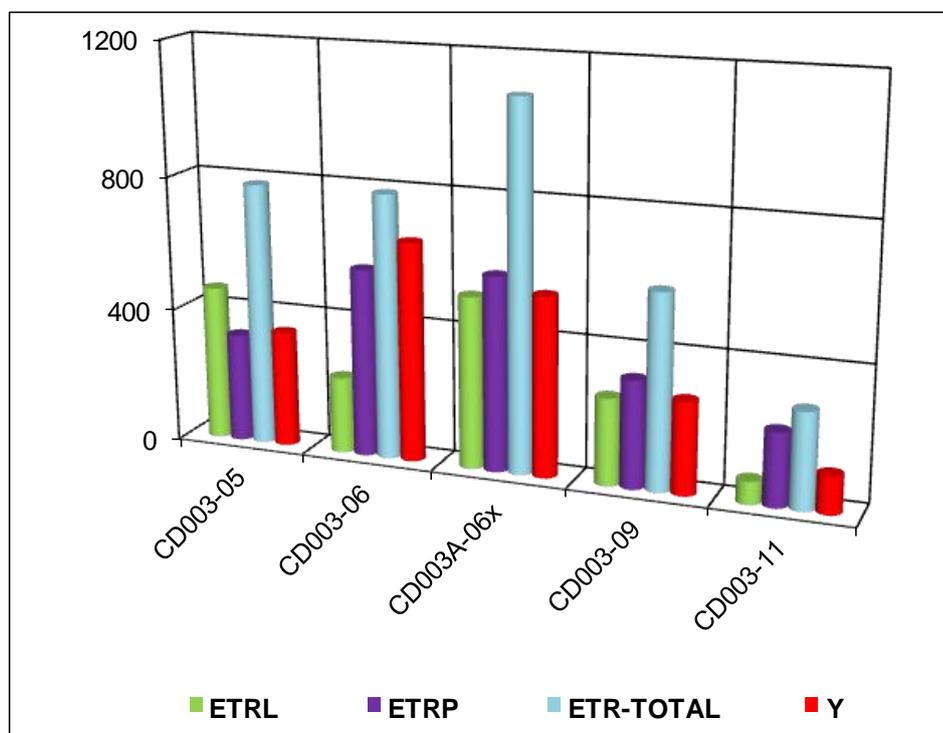


Figura 30 - Comparação entre os teores de Y e os somatórios de elementos terras raras leves (ETRL), pesados (ETRP) e totais (ETR-TOTAL). Furo CD 003. Dados em ppm.

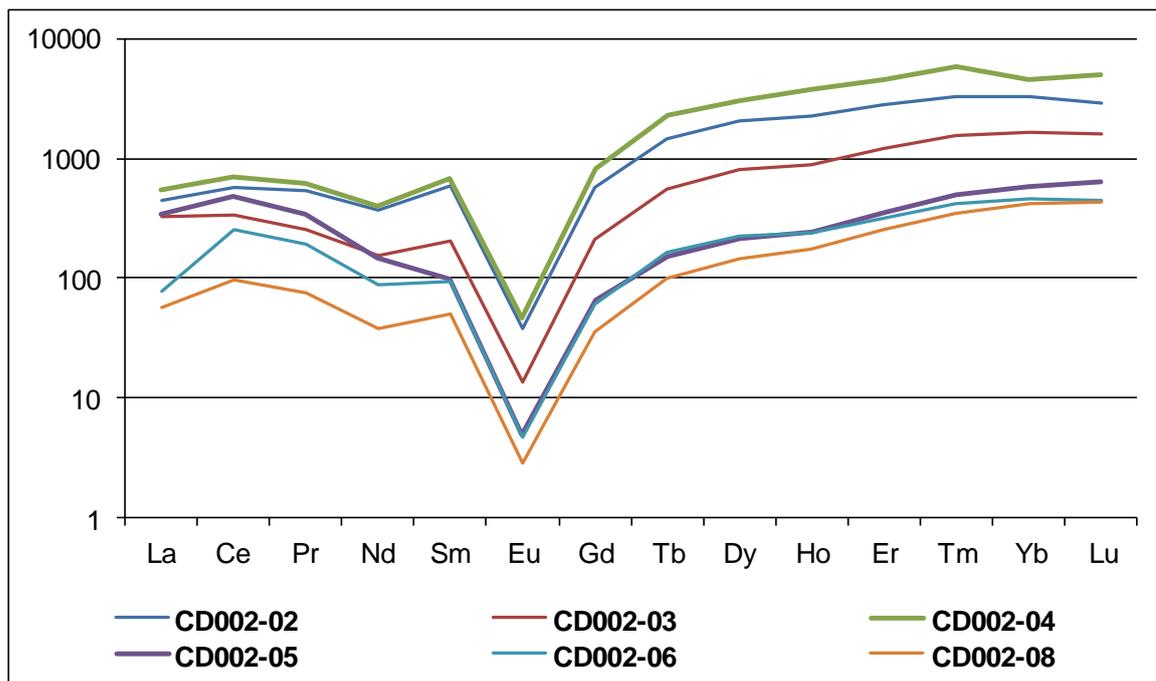


Figura 31 - Gráfico de ETR das amostras do furo CD 002, normalizados pelo meteorito Anders & Greves (1989).

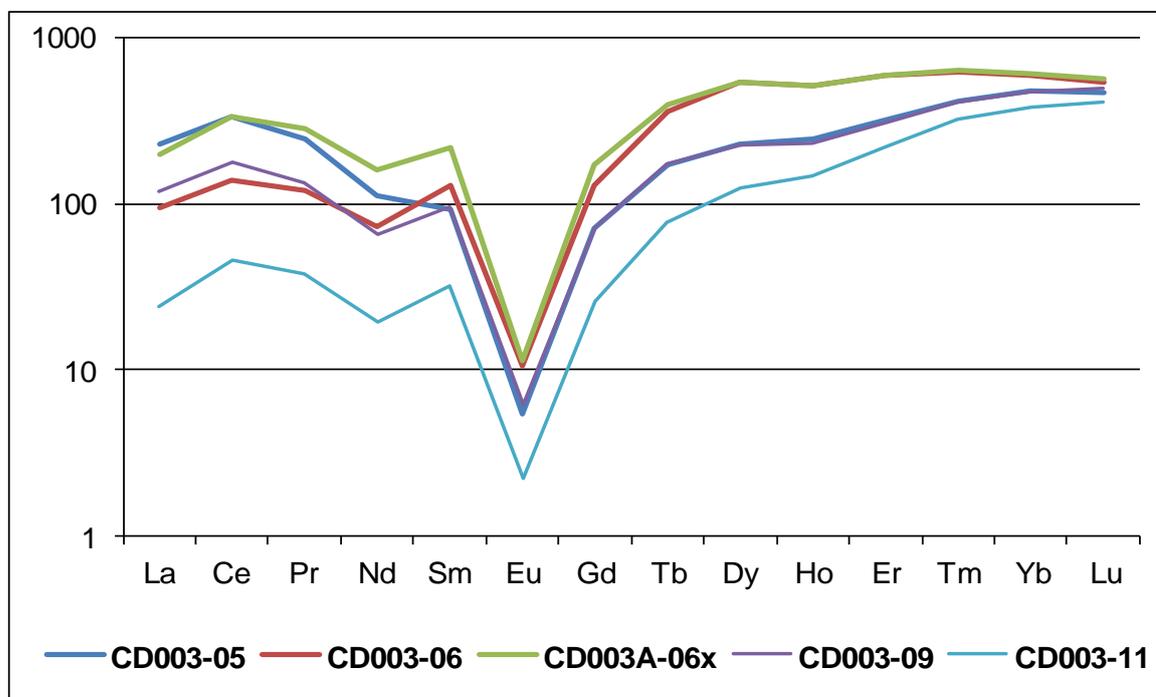


Figura 32 - Gráfico de ETR das amostras do furo CD 003, normalizados pelo meteorito Anders & Greves (1989).

7.3. QUÍMICA MINERAL DA XENOTIMA

A xenotima, principal mineral de ETR do albita granito Madeira, ocorre como pequenos cristais dispersos na rocha granítica ou como cristais maiores nas suas partes pegmatíticas onde se torna mais abundante. Trata-se de um mineral com fórmula ideal YPO_4 , mas que em Pitinga parte do Y é substituída por ETR.

No segmento pegmatítico do furo de sondagem RS 078, a xenotima aparece de duas maneiras distintas: (1) como pequenos cristais prismáticos euédricos (<1mm), sem inclusões, fazendo parte da matriz; (2) como fenocristais (até 5 cm) prismáticos e euédricos, com grande quantidade de inclusões de minerais da matriz, especialmente albita.

Um concentrado de xenotima da amostra 09 do furo RS 078, obtido através da separação com líquidos densos, foi submetido à difração de raios X. O difratograma (Fig. 33) indica que a que a xenotima ainda apresenta-se parcialmente associada a albita. Sua separação completa torna-se impossível porque a albita ocorre como inclusões dentro da xenotima. Traços de illita observados no difratograma devem-se à alteração parcial da albita. Para estabelecer uma comparação, foi também realizada difratometria de um concentrado de xenotima de uma amostra de pegmatito colhida a céu aberto (PEG 19). O difratograma desta amostra (Fig. 34) indica que se trata de xenotima praticamente pura.

Nas tabelas 11 e 12 são apresentados os picos da xenotima dos difratogramas (Figs. 33 e 34), os planos (hkl) que representam, os valores do parâmetro **d** para cada pico e respectivas intensidades. A partir dos picos dos difratogramas, foi feito o cálculo da cela unitária da xenotima dessas amostras. A xenotima, sendo um mineral tetragonal, tem dois parâmetros: parâmetro **a** no plano horizontal; parâmetro **c** vertical. Foi calculado também o volume da cela unitária dado em Å^3 , pela aplicação da fórmula $V = a^2 c$ (Mineralogy Database). Os cálculos indicaram para estes dois parâmetros e para o volume os seguintes valores:

RS 078-09 →	a = 6,89414 Å	c = 6,03046 Å	v = 286,6232 Å ³
PEG 19 →	a = 6,87807 Å	c = 6,01626 Å	v = 284,6162 Å ³

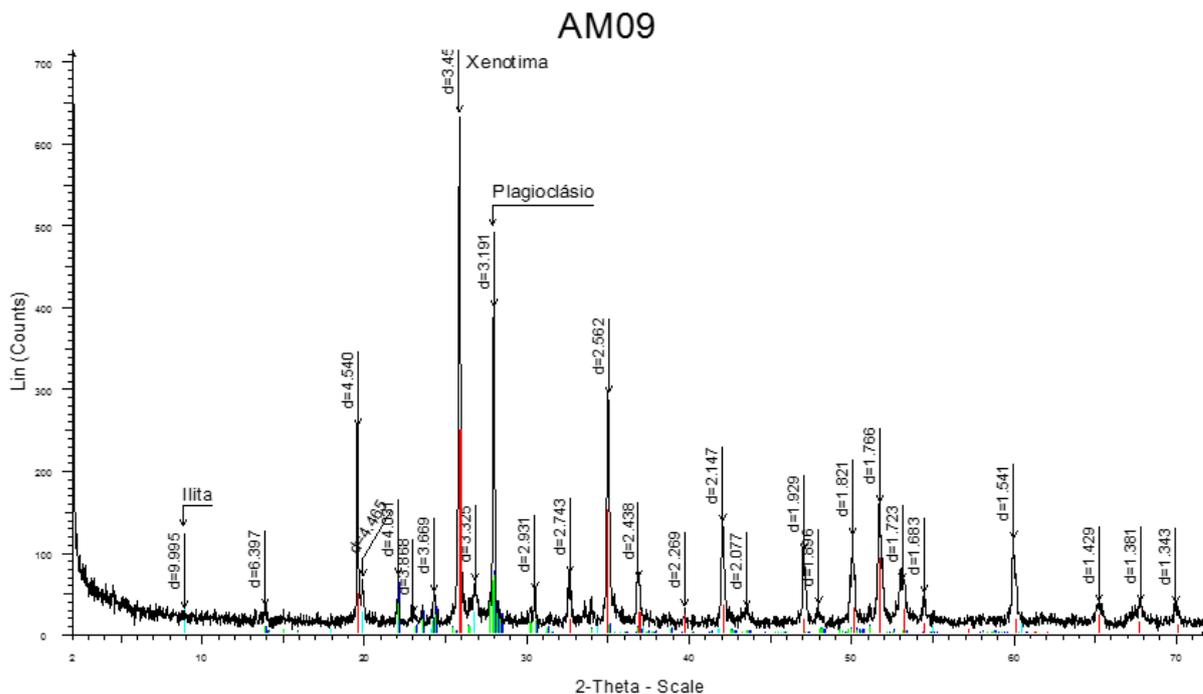


Figura 33 - Difratoograma de um concentrado da amostra 09 do furo RS 78, mostrando associação de xenotima com albita

Tabela 11 - Picos observados, plano (hkl), valores do parâmetro "d" e respectiva intensidade de difração. Organizada pela ordem de intensidade dos picos. Amostra 09 do furo RS 78.

PICO DE DIFRAÇÃO	PLANO (hkl)	DISTÂNCIA d (hkl) Å	INTENSIDADE I/I ₀ *100
1	(200)	3,450	100
2	(112)	2,563	68,5
3	(312)	1,766	49,7
4	(101)	4,543	18,1
5	(301)	2,148	16,7
6	(400)	1,723	16,4
7	(321)	1,821	16,3
8	(332)	1,429	13,5
9	(220)	2,438	12,3
10	(202)	2,269	10,4
11	(420)	1,541	10,4
12	(204)	1,381	9,2
13	(103)	1,929	8,4
14	(211)	2,746	7,7
15	(213)	1,663	6,1
16	(431)	1,343	5,4

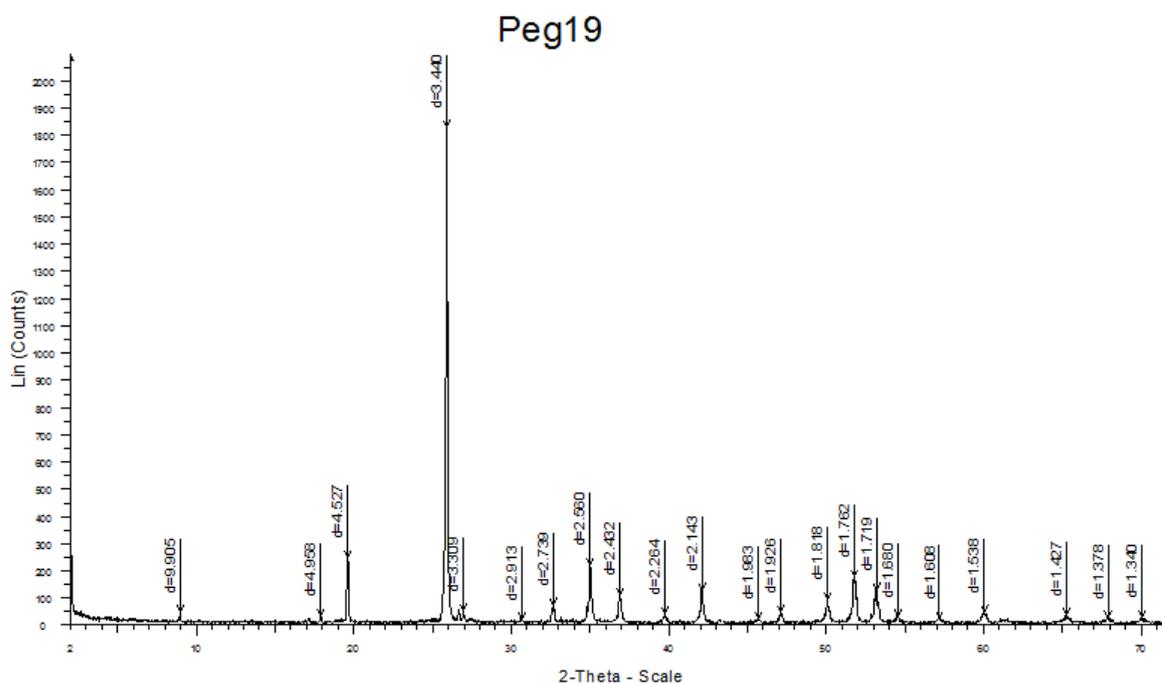


Figura 34 - Difratoograma de um concentrado da amostra PEG 19, de pegmatito coletado a céu aberto.

Tabela 12 - Picos observados, plano (hkl), valores do parâmetro "d" e respectiva intensidade de difração. Organizada pela ordem de intensidade dos picos. Amostra de pegmatito coletado a céu aberto PEG-19.

PÍCO DE DIFRAÇÃO	PLANO (hkl)	DISTÂNCIA d (hkl) Å	INTENSIDADE I/I ₀ *100
1	(200)	3,440	100
2	(101)	4,527	13
3	(112)	2,560	12
4	(312)	1,762	10
5	(301)	2,143	7
6	(400)	1,719	7
7	(220)	2,432	6
8	(321)	1,818	5
9	(211)	2,739	4
10	(420)	1,538	3
11	(332)	1,427	2
12	(202)	2,264	2
13	(103)	1,926	2
14	(213)	1,680	2
15	(204)	1,378	1
16	(431)	1,340	1

A xenotima do segmento pegmatítico do furo de sondagem RS 078, amostras 09B e 10A, foi submetida a análise química através de microsonda eletrônica. As

amostras foram selecionadas por serem representativas do pegmatito que ocorre no albíta granito de núcleo e apresentarem elevadas quantidades de xenotima. Os grãos de xenotima analisados têm tamanhos entre 1 mm e 5 cm, apresentam muitas inclusões e fraturas que se estendem por todos os grãos. Em cada amostra, as análises foram realizadas em 10 diferentes pontos dos cristais, procurando-se evitar as inclusões. Os resultados constam nas tabelas 13 e 14. As fórmulas estruturais correspondentes foram calculadas pelo método apresentado por Deer *et al.* (1966), considerando quatro oxigênios, com base na fórmula geral da xenotima YPO_4 . O F foi recalculado a partir do equivalente em peso de oxigênio de um flúor, como o preconizado por este autor. Os resultados deste cálculo são apresentados nas tabelas 15 e 16.

As variações de composição química de xenotima são relativamente pequenas, não sendo observada nenhuma variação sistemática relacionada à posição da análise nos diferentes cristais da mesma amostra. As figuras 35 e 36 ilustram essa pequena variação química de seus componentes principais através da comparação dos teores de P_2O_5 , Y_2O_3 e ETR_2O_3 , dados em percentagem. Os ETR presentes na xenotima são principalmente ETRP, com teores de $ETRP_2O_3$ que ultrapassam a 40% na maioria dos pontos analisados, enquanto os $ETRL_2O_3$, em sua maioria, não alcançam 1% (Tabs. 13 e 14). A Fig. 37 mostra que a distribuição dos diferentes ETR é praticamente igual na xenotima de ambas as amostras.

Os principais componentes da xenotima analisada são: P_2O_5 que varia entre 28,34% e 30,92%, com média de 29,60%; Y_2O_3 cujos teores variam entre 19,83% e 24,03%, com média de 22%; Os óxidos de ETR, cuja soma total varia de 28,20% até 45,80%, com média de 42,50%, predominado os ETRP. A soma de todos os ETRP, dados em óxidos, presentes na composição química da xenotima apresentam valores que variam de 28,20% a 45,80%, com um teor médio de 42,5%. Os ETRL, em óxidos, têm valor mínimo de 0,31%, máximo de 2,80% e média de 0,64%.

Entre todos os ETR destacam-se: Yb_2O_3 apresenta teores que variam entre 9,60% e 18,72%, com média de 16,70%; Er_2O_3 tem teor mínimo de 6,60% e máximo de 11,25%, com média de 10,34%; Dy_2O_3 com valores mínimos de 6,10% e máximos de 7,67%, com média de 7,55%; Lu_2O_3 variando entre 1,61% e 3,27%

tendo média de 2,83%; Tm_2O_3 varia entre 1,33% e 2,55% com média de 2,14%; Ho_2O_3 com teores entre 1,53% e 2,32%, com média de 2,11%.

Tabela 13 - Composição química da Xenotima da amostra 09B do furo RS 078

	09B-1	09B-2	09B-3	09B-4	09B-5	09B-6	09B-7	09B-8	09B-9	09B-10
P_2O_5	29,48	28,34	30,37	29,38	30,39	29,49	30,92	29,77	30,10	30,24
Al_2O_3	0,00	0,40	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Y_2O_3	24,24	22,27	22,92	21,10	24,03	23,76	19,90	22,85	21,83	23,77
La_2O_3	0,00	0,02	0,00	0,03	0,01	0,00	0,07	0,03	0,00	0,00
Ce_2O_3	0,14	0,08	0,13	0,04	0,07	0,17	0,11	0,01	0,08	0,03
Pr_2O_3	0,00	0,00	0,04	0,06	0,00	0,11	0,03	0,06	0,04	0,00
Nd_2O_3	0,15	0,09	0,16	0,14	0,15	0,07	0,15	0,15	0,18	0,25
Sm_2O_3	0,32	0,08	0,02	0,27	0,37	0,26	0,19	0,23	0,08	0,46
Eu_2O_3	0,00	0,03	0,00	0,06	0,03	0,02	0,00	0,00	0,03	0,00
Gd_2O_3	0,74	0,55	0,62	0,62	0,85	0,92	0,78	0,68	0,62	0,94
Tb_2O_3	0,48	0,40	0,55	0,51	0,61	0,48	0,44	0,51	0,56	0,62
Dy_2O_3	6,74	6,75	7,02	7,07	7,41	7,52	6,71	6,81	7,42	7,37
Ho_2O_3	2,15	2,06	2,08	2,23	2,24	2,24	2,18	2,18	2,30	1,93
Er_2O_3	9,65	10,05	10,11	10,59	10,46	10,19	10,01	9,93	11,00	9,82
Tm_2O_3	2,02	2,47	2,21	2,46	2,35	2,25	2,23	2,18	2,46	2,07
Yb_2O_3	16,42	18,22	16,45	17,97	16,02	15,50	16,69	16,48	17,87	15,30
Lu_2O_3	2,77	3,07	2,81	2,97	2,69	2,67	2,93	2,84	3,11	2,76
TiO_2	0,04	0,09	0,25	0,04	0,00	0,00	0,07	0,04	0,04	0,00
FeO	0,04	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,19	0,00	0,00	0,10
MnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,04	0,17	0,00
CaO	0,29	0,02	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,68
SrO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,01	0,00	0,00
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00
ThO_2	0,15	0,21	0,10	0,16	0,11	0,16	0,08	0,10	0,07	0,12
UO_2	0,00	0,00	0,04	0,11	0,00	0,00	0,03	0,05	0,12	0,05
ZrO_2	0,69	0,68	0,85	0,48	0,81	0,84	0,33	0,47	0,62	0,75
HfO_2	0,10	0,00	0,00	0,24	0,12	0,30	0,20	0,06	0,00	0,00
Ta_2O_5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26	0,15	0,00	0,21	0,00	0,14
Nb_2O_5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	0,24	0,00
F	2,69	2,21	1,44	1,70	1,89	2,92	1,78	1,26	1,72	1,80
O≡F	-1,13	-0,93	-0,60	-0,72	-0,79	-1,23	-0,75	-0,53	-0,72	-0,76
TOTAL	98,19	97,16	97,55	97,63	100,16	98,82	95,45	96,58	99,93	98,43
$(ETRL)_2O_3$	0,61	0,31	0,35	0,59	0,64	0,63	0,56	0,47	0,41	0,74
$(ETRP)_2O_3$	40,99	43,57	41,84	44,42	42,63	41,77	41,97	41,62	45,34	40,81
$(\sum ETR)_2O_3$	41,60	43,88	42,19	45,01	43,27	42,40	42,53	42,09	45,74	41,54

Tabela 14 - Composição química da Xenotima da amostra 10A do furo RS 078

	10A-1	10A-2	10A-3	10A-4	10A-5	10A-6	10A-7	10A-8	10A-9	10A-10
P₂O₅	29,58	29,79	29,36	29,34	30,35	29,55	29,21	28,81	29,03	29,00
Al₂O₃	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,29	0,00	0,00	0,61	0,00
Y₂O₃	21,52	21,13	20,77	19,83	23,14	24,00	21,29	21,10	21,37	20,62
La₂O₃	0,04	0,01	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,03	0,01	0,00
Ce₂O₃	0,16	0,20	0,00	0,09	0,13	0,10	0,08	0,08	1,06	0,09
Pr₂O₃	0,02	0,01	0,00	0,00	0,11	0,08	0,07	0,06	0,27	0,00
Nd₂O₃	0,10	0,09	0,17	0,12	0,15	0,10	0,12	0,12	0,92	0,19
Sm₂O₃	0,19	0,15	0,15	0,25	0,17	0,18	0,16	0,36	0,49	0,32
Eu₂O₃	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,05	0,05	0,02
Gd₂O₃	0,62	0,55	0,81	0,60	0,72	0,69	0,70	0,76	1,08	0,79
Tb₂O₃	0,53	0,52	0,55	0,54	0,42	0,54	0,33	0,65	0,35	0,43
Dy₂O₃	7,14	7,01	7,67	6,83	6,52	7,33	7,29	7,20	6,10	7,23
Ho₂O₃	2,20	2,29	2,32	2,14	1,98	2,01	2,21	2,22	1,53	2,07
Er₂O₃	11,25	11,05	11,01	10,43	9,96	10,28	10,77	10,58	6,60	10,58
Tm₂O₃	2,48	2,55	2,40	2,39	2,17	2,21	2,52	2,40	1,33	2,21
Yb₂O₃	18,42	18,72	17,27	17,82	17,25	16,68	18,50	17,71	9,60	16,39
Lu₂O₃	3,06	3,10	2,95	2,75	2,82	2,61	3,27	3,07	1,61	2,88
TiO₂	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,21	0,20	0,00	0,03	0,00
FeO	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,07	0,08	0,00	0,15	0,04
MnO	0,06	0,07	0,02	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,17
CaO	0,00	0,04	0,05	0,29	0,00	0,00	0,14	0,00	0,09	0,00
SrO	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,00	0,00	6,11	0,03
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,08	0,00
ThO₂	0,06	0,04	0,08	0,13	0,14	0,10	0,09	0,01	0,19	0,19
UO₂	0,06	0,11	0,00	0,03	0,00	0,04	0,09	0,03	0,03	0,00
ZrO₂	0,60	0,95	0,81	0,54	0,22	0,89	0,64	0,75	0,83	0,72
HfO₂	0,07	0,09	0,29	0,00	0,00	0,18	0,13	0,07	0,07	0,04
Ta₂O₅	0,00	0,12	0,00	0,17	0,15	0,00	0,13	0,04	0,00	0,21
Nb₂O₅	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,00	0,13	0,09	0,00
F	1,78	1,56	1,52	1,14	1,18	1,70	1,82	2,03	10,03	2,39
O≡F	-0,75	-0,66	-0,64	-0,48	-0,50	-0,71	-0,77	-0,85	-4,23	-1,01
TOTAL	99,29	99,56	97,58	95,04	97,11	99,45	99,07	97,42	95,62	95,59
(ETRL)₂O₃	0,55	0,45	0,34	0,46	0,57	0,52	0,43	0,70	2,80	0,61
(ETRP)₂O₃	45,71	45,80	44,99	43,50	41,84	42,35	45,59	44,60	28,20	42,57
(∑ETR)₂O₃	46,26	46,26	45,32	43,97	42,41	42,87	46,02	45,30	31,00	43,19

O cálculo das fórmulas químicas (Tab. 15 e 16) mostra que a xenotima das porções pegmatíticas deste furo de sondagem pode ser classificada como **Yb-Y-xenotima**, com significativa presença dos demais ETRP e com presença mínima de ETRL. O sítio de coordenação IV (tetraédrico) formado por $[\text{PO}_4]^{-3}$, tem a proporção [P:O≈1:4]. Os demais elementos, que estão no sítio de coordenação VIII, são principalmente Y e ETR, na proporção [Y : ETR = 0,46 : 0,55], acompanhados

por traços de Sr e Zr. Em média, a fórmula da xenotima dessas amostras pode ser assim representada:



Tabela 15 - Fórmulas da xenotima nos pontos analisados na amostra 09B do furo RS 078.

	09B-1	09B-2	09B-3	09B-4	09B-5	09B-6	09B-7	09B-8	09B-9	09B-10
Y	0,5001	0,4714	0,4690	0,4410	0,4834	0,4894	0,4122	0,4737	0,4447	0,4823
La	0,0000	0,0003	0,0000	0,0004	0,0002	0,0000	0,0010	0,0004	0,0000	0,0000
Ce	0,0019	0,0012	0,0019	0,0005	0,0010	0,0024	0,0016	0,0001	0,0011	0,0004
Pr	0,0000	0,0000	0,0005	0,0009	0,0000	0,0015	0,0005	0,0008	0,0006	0,0000
Nd	0,0021	0,0013	0,0022	0,0019	0,0020	0,0010	0,0021	0,0021	0,0025	0,0034
Sm	0,0043	0,0011	0,0002	0,0037	0,0049	0,0034	0,0026	0,0030	0,0010	0,0060
Eu	0,0000	0,0005	0,0000	0,0008	0,0004	0,0003	0,0000	0,0000	0,0003	0,0000
Gd	0,0095	0,0072	0,0079	0,0080	0,0107	0,0119	0,0101	0,0088	0,0079	0,0119
Tb	0,0062	0,0053	0,0069	0,0066	0,0075	0,0060	0,0056	0,0065	0,0071	0,0078
Dy	0,0842	0,0865	0,0870	0,0895	0,0903	0,0938	0,0841	0,0855	0,0915	0,0906
Ho	0,0477	0,0467	0,0458	0,0499	0,0484	0,0495	0,0485	0,0485	0,0503	0,0420
Er	0,1175	0,1256	0,1222	0,1308	0,1243	0,1239	0,1223	0,1215	0,1323	0,1176
Tm	0,0239	0,0300	0,0259	0,0295	0,0271	0,0265	0,0265	0,0259	0,0287	0,0240
Yb	0,1922	0,2189	0,1910	0,2131	0,1829	0,1812	0,1962	0,1938	0,2066	0,1761
Lu	0,0334	0,0381	0,0336	0,0363	0,0316	0,0322	0,0355	0,0345	0,0371	0,0328
Fe	0,0013	0,0000	0,0000	0,0023	0,0000	0,0000	0,0060	0,0000	0,0000	0,0032
Mn	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0011	0,0000	0,0014	0,0054	0,0000
Ca	0,0121	0,0008	0,0000	0,0000	0,0025	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0279
Sr	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0000	0,0000	0,0025	0,0003	0,0000	0,0000
Ba	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0002	0,0000	0,0008	0,0000	0,0000	0,0000
Th	0,0013	0,0019	0,0009	0,0014	0,0009	0,0014	0,0007	0,0009	0,0006	0,0010
U	0,0000	0,0000	0,0004	0,0009	0,0000	0,0000	0,0003	0,0004	0,0010	0,0004
Zr	0,0131	0,0132	0,0159	0,0091	0,0149	0,0158	0,0062	0,0090	0,0116	0,0139
Hf	0,0012	0,0000	0,0000	0,0026	0,0013	0,0033	0,0023	0,0007	0,0000	0,0000
Ta	0,0009	0,0000	0,0000	0,0021	0,0011	0,0026	0,0018	0,0005	0,0000	0,0000
Nb	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0027	0,0016	0,0000	0,0022	0,0000	0,0015
P	0,9673	0,9300	0,9968	0,9642	0,9973	0,9679	1,0148	0,9771	0,9878	0,9924
Al	0,0000	0,0187	0,0000	0,0029	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
O	4,0000	3,9387	4,0194	3,9678	4,0611	4,0033	3,9898	3,9882	4,0305	4,0407
F	0,0595	0,0490	0,0318	0,0377	0,0418	0,0646	0,0394	0,0279	0,0381	0,0398

Tabela 16 - Fórmulas da xenotima nos pontos analisados na amostra 10A do furo RS 078.

	10A-1	10A-2	10A-3	10A-4	10A-5	10A-6	10A-7	10A-8	10A-9	10A-10
Y	0,4449	0,4339	0,4341	0,4206	0,4751	0,4895	0,4434	0,4456	0,4552	0,4387
La	0,0006	0,0001	0,0003	0,0001	0,0002	0,0000	0,0000	0,0005	0,0001	0,0000
Ce	0,0023	0,0028	0,0000	0,0013	0,0018	0,0013	0,0012	0,0012	0,0156	0,0013
Pr	0,0003	0,0001	0,0000	0,0000	0,0016	0,0011	0,0010	0,0009	0,0039	0,0000
Nd	0,0014	0,0013	0,0024	0,0017	0,0020	0,0014	0,0017	0,0017	0,0132	0,0027
Sm	0,0025	0,0020	0,0020	0,0035	0,0023	0,0023	0,0021	0,0049	0,0068	0,0044
Eu	0,0005	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0009	0,0000	0,0006	0,0007	0,0002
Gd	0,0080	0,0071	0,0106	0,0079	0,0092	0,0088	0,0091	0,0101	0,0144	0,0105
Tb	0,0068	0,0066	0,0072	0,0070	0,0053	0,0069	0,0043	0,0085	0,0046	0,0056
Dy	0,0894	0,0871	0,0970	0,0877	0,0811	0,0906	0,0918	0,0921	0,0786	0,0932
Ho	0,0488	0,0505	0,0520	0,0488	0,0437	0,0439	0,0493	0,0504	0,0349	0,0472
Er	0,1374	0,1340	0,1358	0,1306	0,1206	0,1238	0,1324	0,1320	0,0830	0,1329
Tm	0,0294	0,0300	0,0288	0,0291	0,0255	0,0258	0,0300	0,0291	0,0163	0,0270
Yb	0,2160	0,2182	0,2047	0,2145	0,2010	0,1930	0,2185	0,2122	0,1161	0,1978
Lu	0,0370	0,0373	0,0361	0,0341	0,0338	0,0312	0,0399	0,0380	0,0201	0,0359
Fe	0,0000	0,0009	0,0000	0,0000	0,0000	0,0024	0,0026	0,0000	0,0051	0,0014
Mn	0,0020	0,0022	0,0006	0,0023	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0039	0,0059
Ca	0,0000	0,0016	0,0019	0,0122	0,0000	0,0000	0,0060	0,0000	0,0041	0,0000
Sr	0,0012	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0026	0,0000	0,0000	0,1418	0,0007
Ba	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0000	0,0001	0,0012	0,0000
Th	0,0006	0,0004	0,0007	0,0011	0,0012	0,0008	0,0008	0,0001	0,0018	0,0017
U	0,0005	0,0010	0,0000	0,0003	0,0000	0,0003	0,0008	0,0002	0,0003	0,0000
Zr	0,0113	0,0178	0,0155	0,0104	0,0042	0,0166	0,0123	0,0146	0,0162	0,0140
Hf	0,0007	0,0010	0,0033	0,0000	0,0000	0,0019	0,0014	0,0007	0,0008	0,0004
Ta	0,0006	0,0008	0,0026	0,0000	0,0000	0,0015	0,0011	0,0006	0,0006	0,0003
Nb	0,0000	0,0013	0,0000	0,0018	0,0016	0,0000	0,0014	0,0004	0,0000	0,0023
P	0,9706	0,9778	0,9636	0,9628	0,9960	0,9699	0,9585	0,9453	0,9528	0,9518
Al	0,0000	0,0008	0,0000	0,0000	0,0000	0,0131	0,0000	0,0000	0,0290	0,0000
O	3,9949	4,0111	3,9684	3,9322	4,0122	4,0274	3,9776	3,9434	3,9222	3,9249
F	0,0394	0,0346	0,0337	0,0252	0,0262	0,0376	0,0403	0,0449	0,2224	0,0531

Além desses elementos que compõem a fórmula química da xenotima, foram identificados outros elementos como os ETRL, Th, U, Fe, Mn, Ba, Hf, Ta, Nb, que apresentaram valores, em fórmula estrutural, inferiores a 0,01, portanto não foram expressos na fórmula estrutural.

O flúor, elemento que substitui o oxigênio no seu sítio, está presente em quantidades muito variadas, com média de 0,05. O sítio de coordenação IV é ocupado apenas pelo P, que varia de 0,96 até 1,0. Neste sítio o P poderia ser substituído por Si, que está ausente nestas amostras. A vacância deste sítio na fórmula estrutural tem média de 0,03.

Os elementos mais abundantes do sítio de coordenação VIII são o Y, Yb, Er, Dy e Ho. Nas fórmulas calculadas o Y varia de 0,43 a 0,50 com média de 0,46; Yb varia de 0,17 a 0,21 com média de 0,20; Er tem variação de 0,11 a 0,13 com média de 0,13; Dy tem valores entre 0,08 e 0,09 com média de 0,09; Ho tem variação entre 0,04 e 0,05 com média 0,05. E média, a soma de todos os ETR alcança 0,55 da fórmula química. Portanto verifica-se que o Y está substituído em mais de 50% no sítio de coordenação VIII.

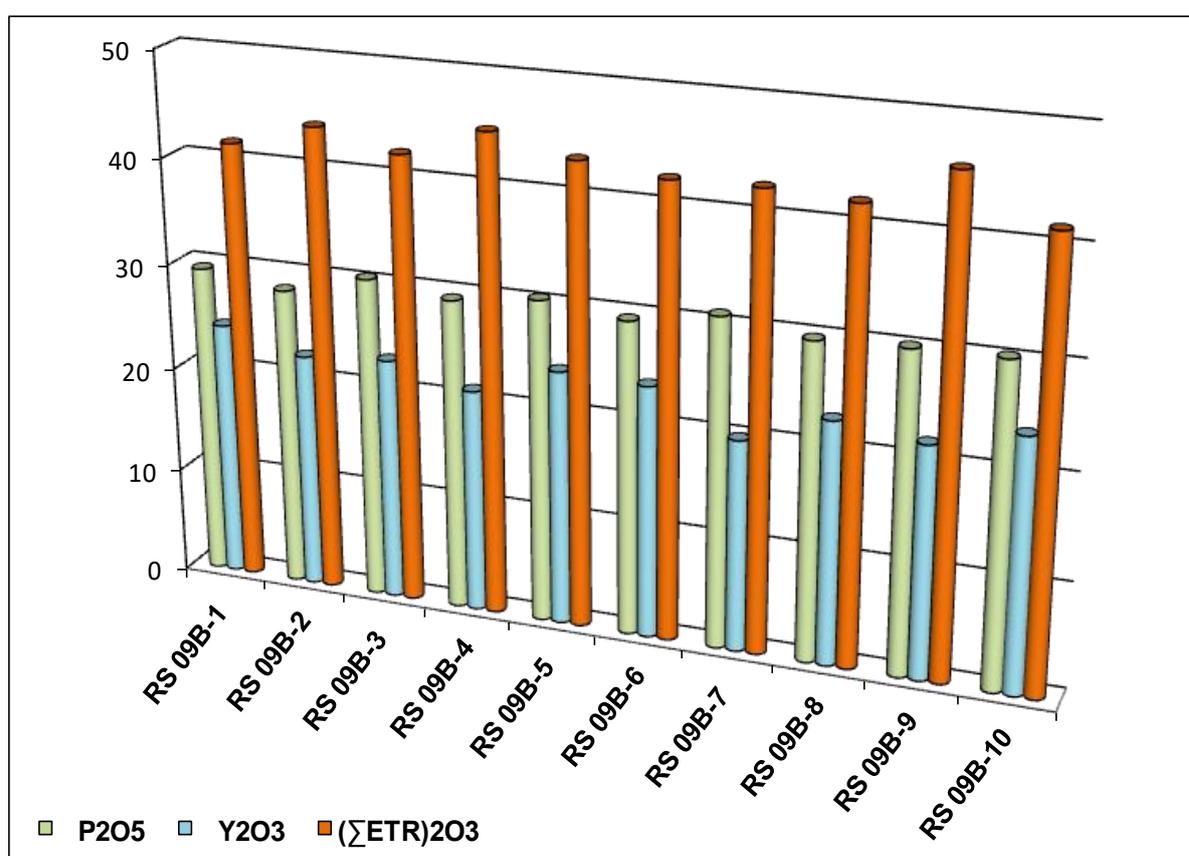


Figura 35 - Composição da xenotima no furo RS 078. Teores de P_2O_5 , Y_2O_3 e ETR_2O_3 nos 10 pontos analisados da amostra 09B, dados em percentagem.

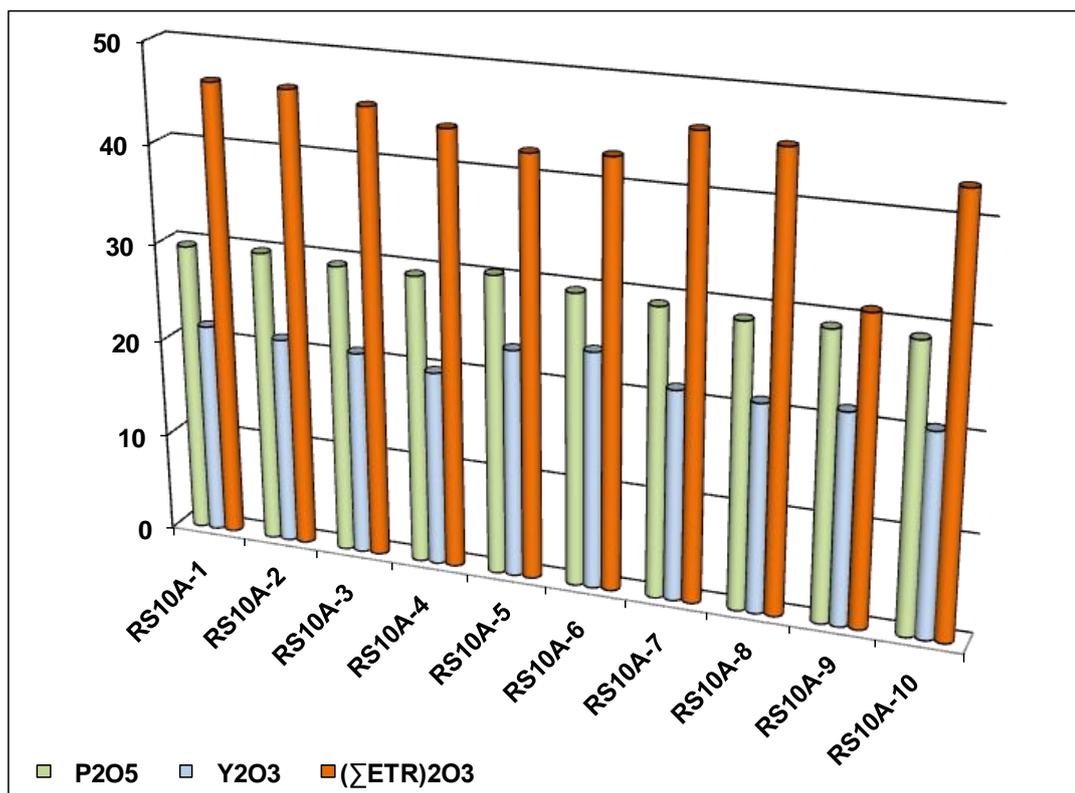


Figura 36 - Composição da xenotima no furo RS 078. Teores de P₂O₅, Y₂O₃ e ETR₂O₃ nos 10 pontos analisados da amostra 10A, dados em percentagem.

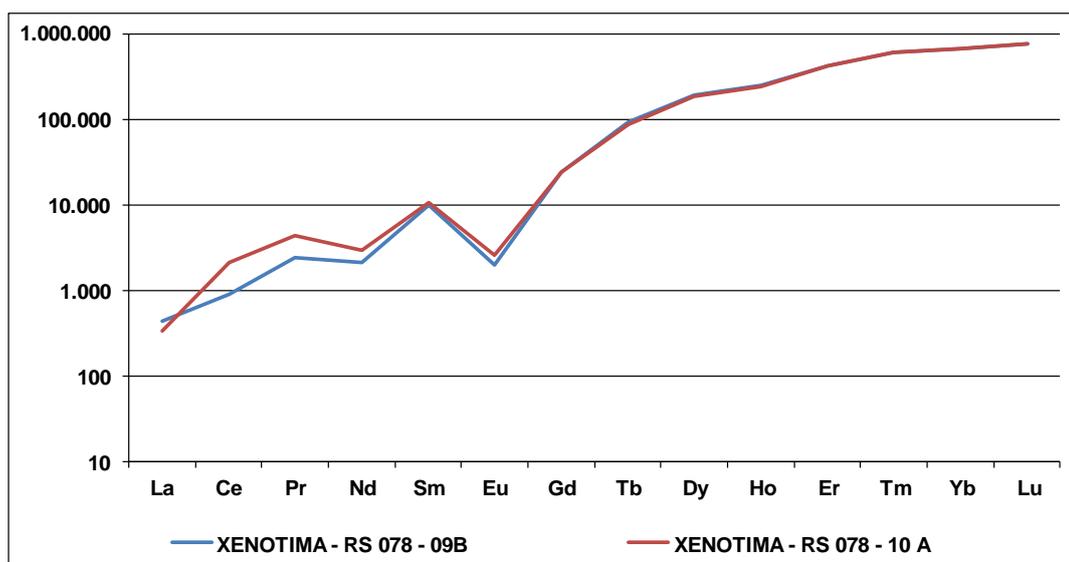


Figura 37 - Distribuição dos teores médios de ETR, normalizados pelo condrito (Anders & Greves, 1989) em escala logarítmica, na xenotima das amostras 09B e 10A do furo de sondagem RS 078. Média de 10 pontos em cada amostra.

8. DISCUSSÃO

O albita granito Madeira é uma rocha com composição complexa, fato também expresso nos pegmatitos que nele se desenvolveram. Os estudos destes pegmatitos indicam que são muito heterogêneos em termos composicionais e que sua distribuição espacial é pouco conhecida.

8.1. Pegmatitos graníticos do AGN

O AGN contém corpos pegmatíticos de diversas dimensões distribuídos em toda sua extensão, mas com maior quantidade e maiores dimensões em sua parte central. Esses pegmatitos têm composições variadas, sendo constituídos pelos seguintes minerais: quartzo, albita, microclínio, criolita, polilithionita, xenotima, gagarinita, galena, esfalerita, hematita, thorita, zircão, cassiterita e genthelvita. Estes pegmatitos se formaram tardiamente em uma matriz quartzo feldspática fina, cristalizando inicialmente xenotima, gagarinita, thorita e cassiterita. Em um momento posterior ocorreu a gênese de grande quantidade de polilithionita, que foi sucedida pela cristalização de galena e esfalerita. Grandes cristais de quartzo e genthelvita sucederam estes sulfetos e finalmente todos estes minerais foram afetados por um processo de criolitização tardio que corroeu grande parte dos grãos destes minerais e alterou a thorita liberando hematita nas clivagens da polilithionita (Paludo, 2015).

As amostras do segmento do pegmatítico do furo de sondagem RS078 (amostras 09 e 10), quando comparadas às do granito normal, em razão da presença abundante de xenotima e acréscimo na proporção de criolita, mostram diminuição de teor relativo de SiO_2 e aumento significativo do teor de P_2O_5 , acompanhado de aumento mais discreto F, Al_2O_3 e Na_2O .

Os teores dos metais Sn, Nb, Ta, são maiores no AGN normal do que na parte pegmatítica. Nas amostras deste segmento analisado do furo RS 078, a concentração de Nb é superior à do Sn, a despeito do segundo ser o produto principal da mineração, enquanto o primeiro ser subproduto. Isto ocorre em função da heterogeneidade na distribuição da mineralogia na rocha. O Zr é tão abundante no AGN quanto no pegmatito, em vista do teor considerável de zircão e sua distribuição aleatória. Pb tem maior concentração nas amostras de pegmatito, em função da presença maior de galena. U e Th têm concentrações variáveis de amostra a amostra, independentemente de ser AGN normal ou pegmatito. Esses

elementos constituem um problema para a mineração, pois são contaminantes presentes em elevadas quantidades no concentrado.

As amostras de AGN pegmatítico (amostras 09 e 10) do furo RS 078 têm concentrações Y e ETR maiores do que no AGN normal. Estas amostras destacam-se por terem os ETRP bem mais altos que o AGN normal, enquanto os primeiros ERTL são até mais baixos. A razão ETRP/ETRL nas amostras de AGN normal são baixas (de 0,65 a 1,99). Nas amostras pegmatíticas esta razão torna-se elevada (de 14,17 a 32,17). Todas estas observações estão vinculadas à presença de xenotima nas amostras da porção pegmatítica.

A figura 38 compara os ETR do pegmatito do furo RS 078 (amostras 09 e 10), com a média das amostras do furo RS 038 (Stolnik, 2015) e com a média das amostras de pegmatito com xenotima coletadas a céu aberto (Paludo, 2015).

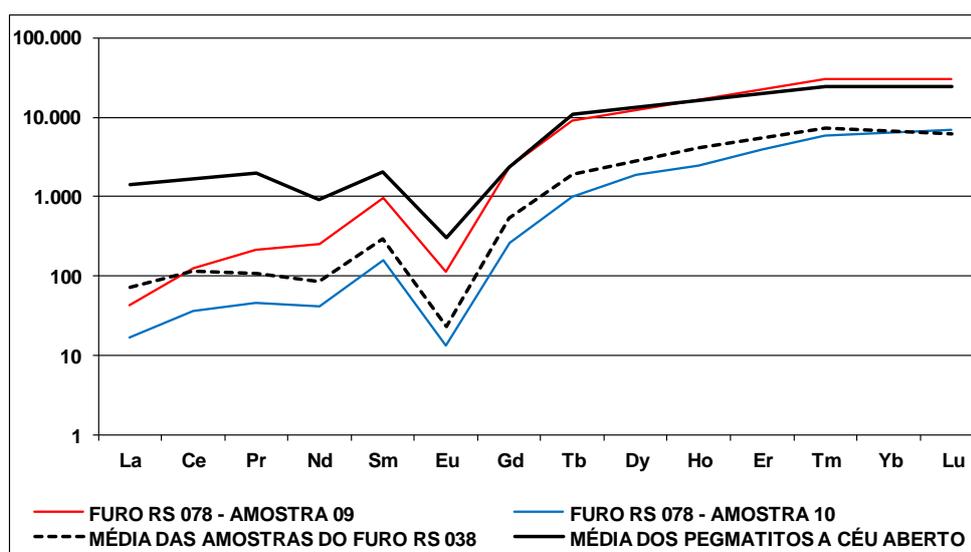


Figura 38 - Comparação entre a distribuição dos teores médios dos ETR, normalizados pelo condrito (Anders & Greves, 1989) em escala logarítmica, nas amostras de pegmatito do furo RS 078 (presente trabalho), com a média dos pegmatitos do furo RS 038 (Stolnik, 2015) e com a média de amostras dos pegmatitos coletadas a céu aberto (Paludo, 2015).

Verifica-se que a amostra 09 do furo RS 078 tem maiores teores de ETR que a amostra 10 do mesmo furo. Isso é consequência do fato da primeira ser constituída predominantemente por xenotima em uma matriz de albita+quartzo, enquanto a segunda conter concentrações máficas (biotita+polilithionita). A amostra 10 do furo RS 078 tem uma curva de distribuição de ETR muito próxima à média das

amostras do furo RS 038. A amostra 09 do furo RS 078, pelo contrário, tem os teores de ETRP muito semelhantes à média dos pegmatitos coletados a céu aberto. Entretanto, os ETRL destes últimos são bem mais altos, que é consequência da presença de gagarinita, não observada nas amostras do furo RS 078.

A xenotima é um mineral comum em granitos peraluminosos pobres em Ca (Bea 1996; Wark & Miller 1993; Förster, 1998), especialmente em pegmatitos graníticos (Amili 1975; Demartin *et al.*, 1991; Petersen & Gault 1993; Masau *et al.*, 2000). No segmento pegmatítico do furo de sondagem RS 078 aparece xenotima na forma de pequenos cristais prismáticos e euédricos, sem inclusões, fazendo parte da matriz e, principalmente, como fenocristais (até 5 cm) prismáticos e euédricos, com grande quantidade de inclusões de minerais da matriz, especialmente albita.

A xenotima da amostra 09 do furo RS 078 e de uma amostra de pegmatito coletado a céu aberto (PEG 19) foram analisadas através de DRX, tendo sido calculados os parâmetros **a** e **c**, assim como o **volume** das suas celas unitárias. Os cálculos da amostra 09 do furo RS 078 para estes dois parâmetros e para o volume tiveram os seguintes valores: **a** = 6,89414 Å; **c** = 6,03046 Å; **volume** = 286,6232 Å³. Para a amostra PEG 19, os valores da cela calculados são: **a** = 6,87807 Å; **c** = 6,01626 Å e **volume** = 284,6162 Å³.

Estes valores são comparados a dados bibliográficos na tabela 17. Os resultados obtidos são semelhantes aos apresentados por Bastos Neto *et al.* (2012): **a** = 6,884 Å; **c** = 6,009 Å e **volume** = 284,752 Å³. São, também, semelhantes aos de Mogilevsky *et al.* (2006) e aos de Ni & Hughes (1995). Os valores encontrados neste trabalho são um pouco maiores aos encontrados em pegmatitos coletados a céu aberto em Pitinga (Paludo, 2015): **a** = 6.85 Å; **c** = 6.02 Å e **volume** = 282.69 Å³. São, também, um pouco maiores aos encontrados no segmento pegmatítico do furo RS 038 (Stolnik, 2015): **a** = 6,24786 Å e **c** = 5,72833 Å, **volume** = 223,6092 Å³. Entretanto, os valores obtidos no presente trabalho são mais compatíveis com os referidos no Dana System: **a** = 6,89 Å, **c** = 6,03 Å e **volume** = 286,26 Å³. Deve-se considerar que no presente trabalho, diferentemente do caso do furo RS 038, a análise foi efetuada em um concentrado de xenotima muito purificado através dos processos de separação. Assim, foi possível trabalhar com um conjunto de 16 picos de difração bem caracterizados.

Tabela 17 - Comparação entre os parâmetros da cela unitária da xenotima das amostras analisadas com dados bibliográficos.

	PARÂMETRO (a)	PARÂMETRO (c)	VOLUME (v)
RS 078 (Pitinga)	6,89414 Å	6,03046 Å	286,6232 Å ³
PEG 19 (Pitinga)	6,87807 Å	6,01626 Å	284,6162 Å ³
RS 038 (Stolnik, 2015)	6,24786 Å	5,72833 Å	223,6092 Å ³
Bastos Neto <i>et al.</i> (2012)	6,884 Å	6,009 Å	284,752 Å ³
Paludo, 2015	6,85 Å	6,02 Å	282,69 Å ³
Mogilevsky <i>et al.</i> (2006)	6,8982 Å	6,037 Å	287,271 Å ³
Ni, Yunxiang & Hughes, J.M.	6,8951 Å	6,0276 Å	-
Mineralogy Database	6,866 Å	6,004 Å	283,04 Å ³
Dana System	6,89 Å	6,03 Å	286,26 Å ³

No que se refere à composição química, a xenotima da parte pegmatítica do furo RS 078 tem pequena variação de seus componentes principais P, Y e ETR. Sua composição química é similar à xenotima de outras descrições para pegmatitos no albita AGN (Fig. 38), como Stolnik (2015) e Paludo (2015). Comparada com a amostra do furo de sondagem RS 038 (Stolnik, 2015), semelhante ao descrito no presente trabalho, esta xenotima tem maior substituição de Y por Yb, como se pode observar nas suas fórmulas químicas:

Xenotima do furo RS 078 (este trabalho):



Xenotima do furo RS 038 (Stolnik, 2015):



Diferencia-se da analisada por Bastos Neto *et al.* (2012), porque contém menor teor de F e maiores teores em ETRP, especialmente Yb, Er e Lu. Os ETR presentes na xenotima do pegmatito do furo RS 078 são principalmente ETRP, com baixos teores de ETRL. No conjunto de todos os ETR, o Yb é o predominante, seguido por Er, Dy, Lu, Tm e Ho. Ainda assim, a distribuição dos ETR tem assinatura semelhante da apresentada por Bastos Neto *et al.*, (2012), no que se refere aos ETRP, exceto para o Gd (Fig. 39).

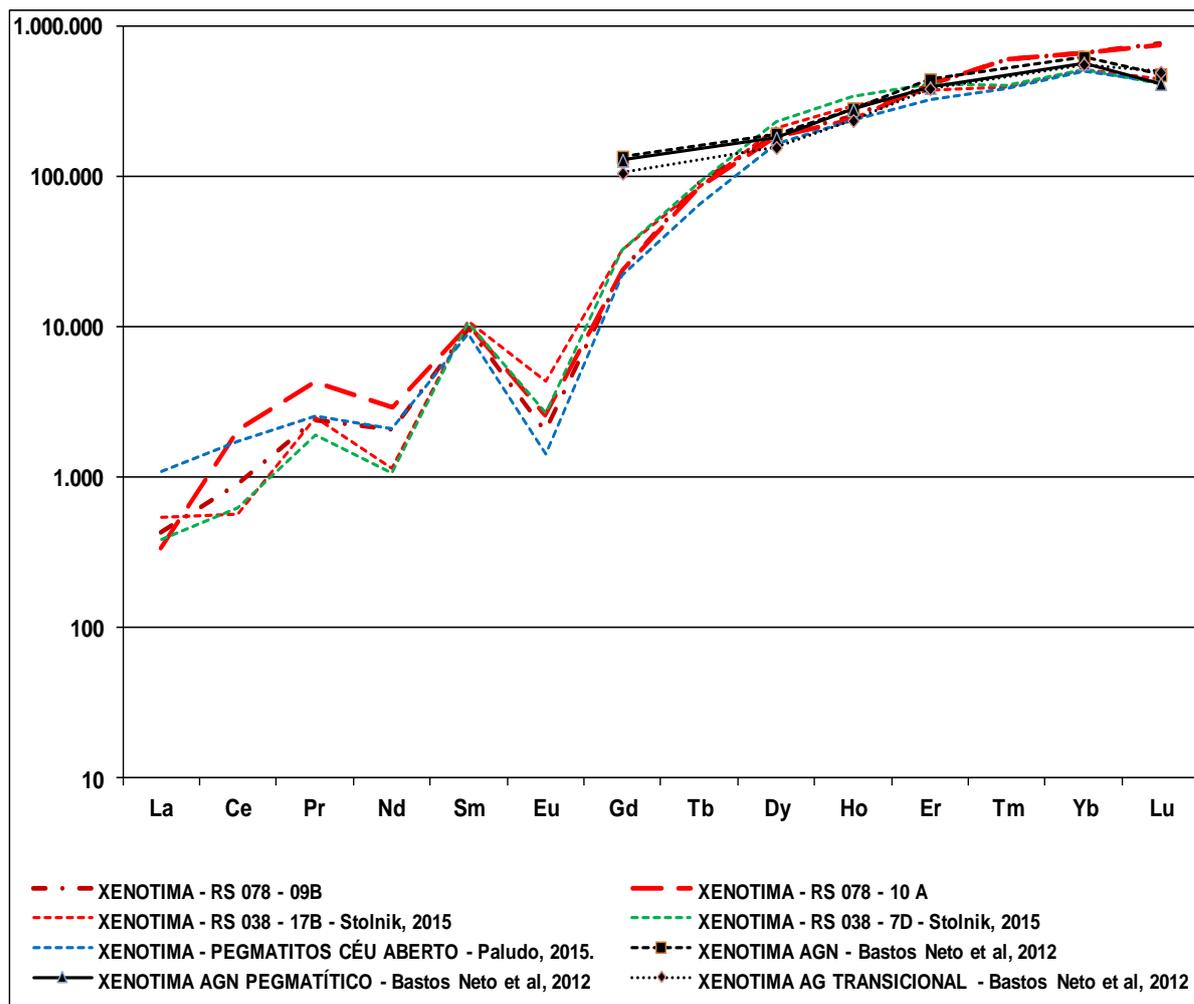


Figura 39 - Comparação entre os padrões de distribuição dos teores médios de ETR, normalizados pelo condrito (Anders & Greves, 1989), em escala logarítmica, da xenotima analisada neste trabalho (furo RS 078) com: a xenotima do furo RS 038 (Stolnik, 2015), a xenotima de pegmatitos coletados a céu aberto (Paludo, 2015) e a xenotima em AGN normal, AGN pegmatítico e albíta granito transicional (Bastos Neto *et al.*, 2012).

Pires (2010) estudou correlações entre elementos formadores da xenotima do albíta granito de núcleo e do albíta granito de borda, com a finalidade de elucidar as substituições que distorceram a sua estrutura cristalina e enriqueceram o mineral com ETR. A xenotima estudada neste trabalho tem menor proporção de F no sítio tetraédrico que a descrita em trabalhos anteriores na mesma área (Pires, 2010; Bastos Neto, *et al.*, 2012). Por esta razão e considerando a ausência de Si nos tetraedros, não parece haver nesta xenotima a substituição do tipo $O^{-2} + P^{+5} = F^{-1} + Si^{+4}$ sugerida por Stolnik (2015).

Em comparação com a xenotima descrita em outros locais (Sabourdy *et al.* 1997, Demartin *et al.* 1991, Franz *et al.* 1996, Masau *et al.* 2000, Asami *et al.* 2002,

Broska *et al.* 2005, Mogilevsky *et al.* 2006) a xenotima desta porção pegmatítica se distingue por ser rica em F, rica em ETRP, muito pobre em ETRL. Diferencia-se, também, da xenotima descrita por Förster (1998), que sugeriu que os altos conteúdos de ETRP seriam resultado da quebra do zircão ou da thorita (ou de ambos). Apesar de a thorita ser precoce, a descrição petrográfica indica que desestabilização da thorita está relacionada a processos tardios e não poderia ser responsável pela origem da xenotima.

As características da xenotima deste estudo se assemelham àquelas propostas por Kositcin *et al.* (2003), que sugerem origem ígnea, principalmente em função de apresentar baixo conteúdo de Eu e Gd, e alto conteúdo de Yb. Além disso, esses autores propõem que a presença de flúor na estrutura cristalina, aliada ao baixo conteúdo de U, indica a formação de xenotima com participação de um fluido rico em voláteis, o que é aplicável na xenotima observada na porção pegmatítica.

8.2. Pegmatitos de borda (AGB)

Os pegmatitos de borda estudados neste trabalho (furos de sondagem CD 002 e CD 003) estão situados na periferia do AGB, em sua borda leste, no contato com o biotita K-feldspato granito e com o anfibólio biotita sienogranito.

Ferreira (2008), desenvolvendo estudo sobre os "greisens" associados ao granito Madeira, também referiu que os furos de sondagem analisados, com exceção de um (furo F4), possuem em sua porção superior rochas da fácies biotita feldspato-alcálico granito. O furo (F4), situado à borda leste do Granito Madeira, em sua porção superior é constituído por rochas da fácies anfibólio-biotita-sienogranito. Segundo Ferreira (*op.cit.*), alguns furos de sondagem apresentam uma região pegmatóide abaixo da zona granítica, que grada para uma porção de granito greisenizado, especialmente os situados na borda leste do AGB, como os furos F3 e F4 (Fig. 40). Nestes locais, ocorre fraturamento intenso e a textura é fina. A porção inferior dos furos de sondagem é constituída por rochas da fácies albita granito de borda.

Essas observações coincidem com o que foi descrito no presente trabalho nos furos CD 002 e CD 003, nos quais são encontradas zonas muito fraturadas com alterações argilosas imediatamente abaixo dos segmentos pegmatíticos (Fig. 9 D).

Da mesma forma, também a localização da zona pegmatítica com os "greisens" associados ocorre no contato externo do AGB. Ao que indicam os estudos realizados, os "greisens" são porções pegmatíticas associadas com fraturamento e alteração dos minerais primários pela ação de fluidos que acompanharam a sua formação. Os segmentos pegmatíticos, assim como os "greisens", ainda que em contato com o biotita K-feldspato granito e/ou com o anfibólio biotita sienogranito, desenvolveram-se no limite externo do AGB e fazem parte deste.

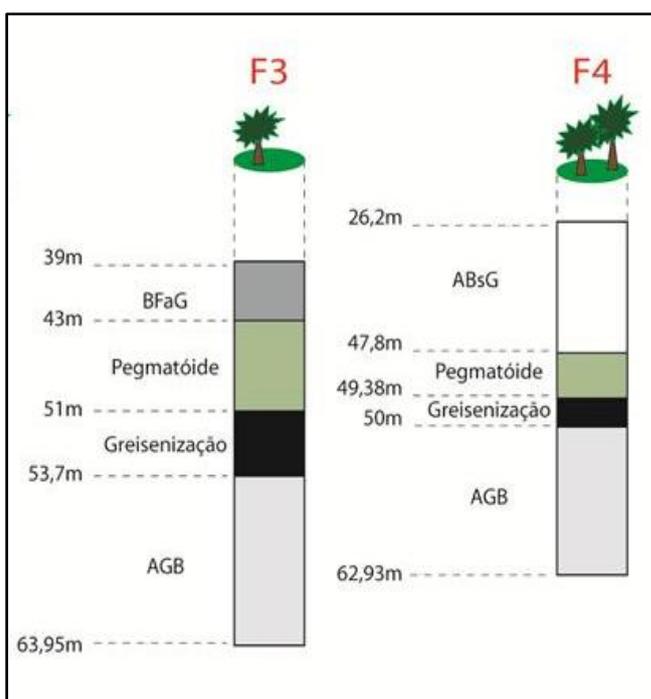


Figura 40 - Furos de sondagem F3 e F4, situados na borda leste do AGB, segundo Ferreira (2008).

Análises petrográficas também indicam que os materiais referidos como "greisens" no granito Madeira correspondem aos pegmatitos de borda. Ferreira (2008), afirma que a transição das zonas graníticas para as zonas greisenizadas, em geral, se dá de maneira muito sutil tanto no tipo de textura quanto na composição mineralógica (alteração). Assim, para a autora, o processo de greisenização pode ser mais bem identificado pelo aumento da quantidade e tamanho de grãos de quartzo, pela alteração dos feldspatos (microclínio e ortoclásio), pela maior alteração do zircão e da biotita, além de enriquecimento em minerais como a fluorita, a polilithionita e hematita secundária. A autora finaliza dizendo que o greisen possui, de maneira expressiva, uma textura granular média a grossa, grãos muito alterados e fraturados e presença de veios tardios de quartzo e fluorita. Todas essas

informações correspondem às descrições dos pegmatitos de borda realizadas no presente trabalho.

Os pegmatitos de borda são constituídos principalmente por K-feldspato (microclínio com ou sem ortoclásio) e quartzo, com proporções significativas de zircão, pirocloro e outros minerais acessórios, mas não foram observados neste trabalho minerais de ETR como os encontrados nos pegmatitos do AGN (xenotima, gagarinita). Entretanto, Ferreira (2008) afirma ter detectado, de modo pouco significativo, xenotima e, provavelmente, minerais da série Helvita/Genthelvita, similares aos identificados no AGN.

Os pegmatitos de borda se destacam em relação, aos granitos aos quais estão associados, por alguns aspectos importantes, como (Ferreira, 2008):

- aumento no tamanho da maior parte dos cristais, principalmente de quartzo e K-feldspato, mas também de acessórios como zircão ;
- aumento no grau de alteração dos cristais de zircão;
- aumento no grau de alteração - cloritização da biotita e argilização dos feldspatos;
- presença de veios tardios de quartzo e fluorita;

O aumento do tamanho dos grãos de quartzo deve estar relacionado às condições termodinâmicas existentes durante a passagem do fluido residual tardimagmático. A alteração das micas e feldspatos também pode estar relacionada à passagem do fluido residual tardimagmático. A alteração dos cristais de zircão pode ser atribuída a metamictização e também a ação desses mesmos processos tardimagmáticos.

Processos tardios pós-magmáticos podem ter sido responsáveis pela ocorrência de fraturas e de veios de quartzo e cristalização de fluorita. Este evento pode ter desestabilizado minerais contendo ferro, como a biotita, promovendo a migração de hematita secundária ao longo de fraturas.

Os resultados geoquímicos obtidos neste trabalho para os segmentos de pegmatitos também são semelhantes aos referidos para os "greisens". Ferreira (2008) afirma: "tanto nos granitos, quanto nas porções greisenizadas, os resultados das concentrações dos elementos maiores indicam abundância de SiO_2 , Al_2O_3 e, em

proporções menores, K_2O , Na_2O e Fe_2O_3 e grande empobrecimento ou ausência de óxidos de Mn e Mg".

Este estudo, complementando estudo anterior sobre os "greisens" (Ferreira, 2008), indica que porções pegmatíticas formaram-se a partir da percolação de um fluido residual tardimagmático, rico em SiO_2 e F. Para Ferreira (2008) o maior grau de semelhança dos "greisens" com as amostras da fácies biotita K-feldspato granito poderia indicar que o fluido residual tardimagmático poderia ter-se originado a partir desta fácies. Isto, entretanto, não parece provável, em vista de terem sido afetadas rochas do AGB, que é mais tardio. Borges (2002) sugeriu que, na região de Pitinga, ocorreram fluidos ricos em F, Sn, Zn e S e procedentes de granitos tipo-A. Os dados aqui obtidos concordam somente em parte com essa hipótese, pois existem veios de quartzo e a presença de fluorita é bastante expressiva.

No presente estudo, os dados geoquímicos indicam que estes pegmatitos de borda têm poucas diferenças significativas na composição química e mineralógica em relação às rochas que os contêm. Situadas no contato do AGB com o Biotita K-Feldspato Granito e/ou anfibólio Biotita Sienogranito, verifica-se um maior grau de semelhança destes pegmatitos com o albita granito, especialmente no que diz respeito aos ETR (Fig. 41). Na maioria das amostras dos segmentos pegmatíticos, os teores de ETRL, ETRP, ETR Total e Y são maiores do que na média dessas rochas (Fig. 42). A maior parte das amostras acompanha o comportamento do albita granito, com $ETRP > ETRL$ e $Y > ETRL$. Somente duas amostras (CD 002-05 e CD 003-05) mostram o comportamento inverso, compatível com biotita K-feldspato granito e/ou anfibólio biotita sienogranito, tendo $ETRP < ETRL$ e $Y < ETRL$ (Fig. 42). A razão $ETRL / ETRP$ indica que as amostras dos pegmatitos dos dois furos são mais compatíveis com albita granito (AGN ou AGB), pois biotita K-feldspato granito e anfibólio biotita sienogranito têm essas razões bem mais altas (Fig.43). A marcante presença de Y em uma amostra do pegmatito de borda (CD 002-04) pode sugerir a presença de xenotima, ainda que na análise petrográfica não tenha sido observada. Cabe destacar, também, que esta amostra foi a única que apresentou o teor de Y maior que o de ETR Total (Fig. 44).

Pelas razões acima elencadas, ainda que amostras pegmatíticas tenham teores de ETR mais elevados que a média de todas essas rochas, a assinatura dos ETR

coincide com a dos albita granito, sugerindo que são parte deste, mais provavelmente do AGB.

Através dos estudos realizados foi possível chegar, preliminarmente, a conclusão de que estas porções pegmatíticas de borda do AGB não possuem potencial metalogenético como era o esperado. Não foram observadas regiões com concentrações significativas em elementos de interesse econômico. Pelo contrário, metais importantes como Sn e Nb têm concentrações menores no pegmatito de borda do que no AGB normal.

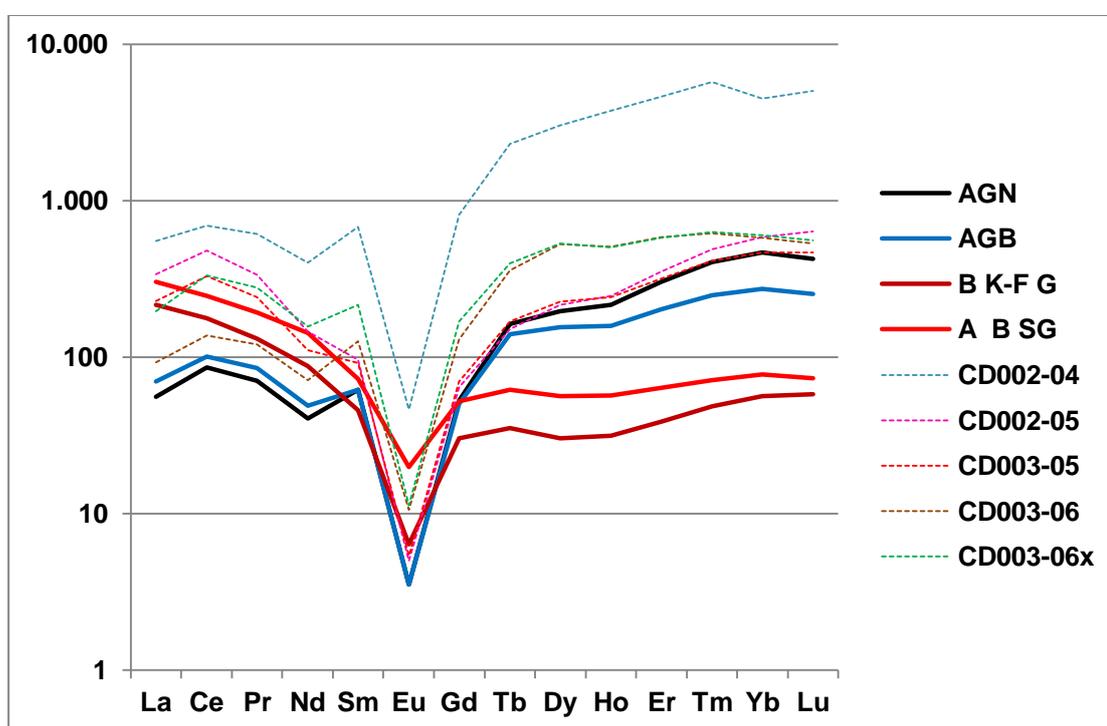


Figura 41 - Comparação dos teores de ETR, normalizados pelo condrito (Anders & Greves, 1989), em escala logarítmica, nas amostras dos pegmatitos dos furos CD 002 e CD 003, com a média das rochas associadas: albita granito de núcleo (AGN), Albita granito de borda (AGB), biotita K-feldspato granito (B K-F G) e anfibólio biotita sienogranito (A B SG).

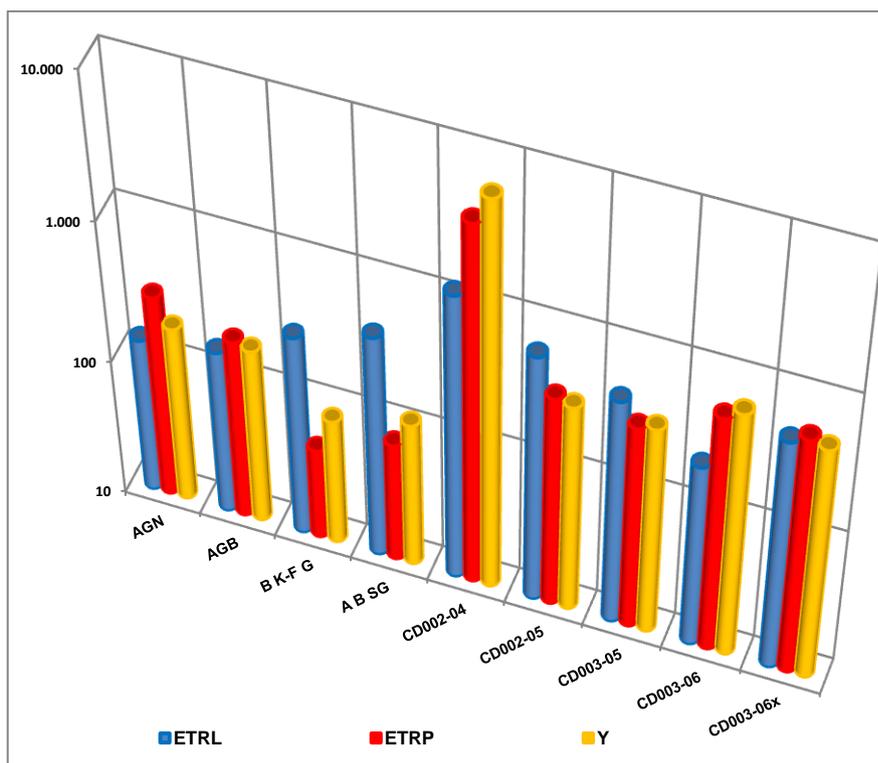


Figura 42 - Comparação em escala logarítmica dos teores médios (em $\mu\text{g/g}$) de ETRL, ETRP e Y nas amostras dos pegmatitos dos furos CD 002 e CD 003, com a média das rochas associadas: albíta granito de núcleo (AGN), albíta granito de borda (AGB), biotita K-feldspato granito (B K-F G) e anfibólio biotita sienogranito (A B SG).

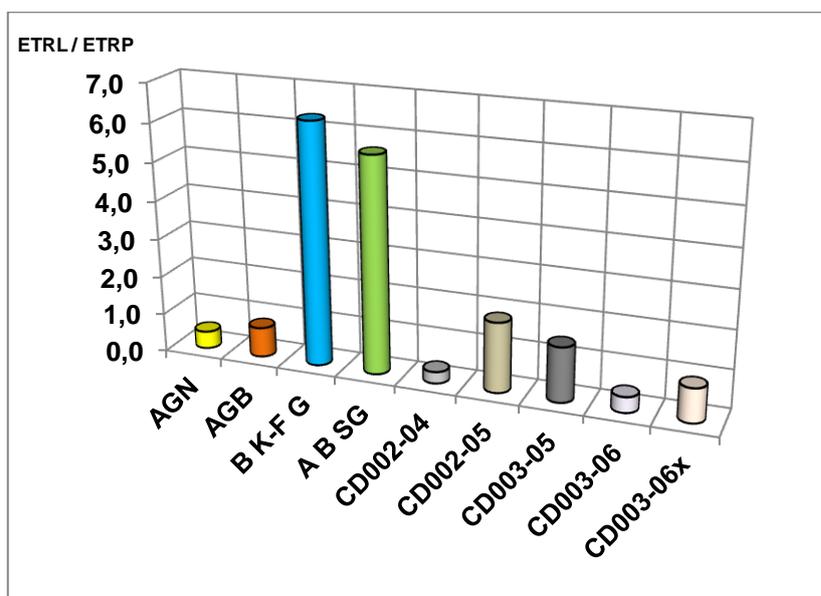


Figura 43 - Comparação das razões ETRL / ETRP nas amostras dos pegmatitos dos furos CD 002 e CD 003, com a média das rochas associadas: albíta granito de núcleo (AGN), albíta granito de borda (AGB), biotita K-feldspato granito (B K-F G) e anfibólio biotita sienogranito (A B SG).

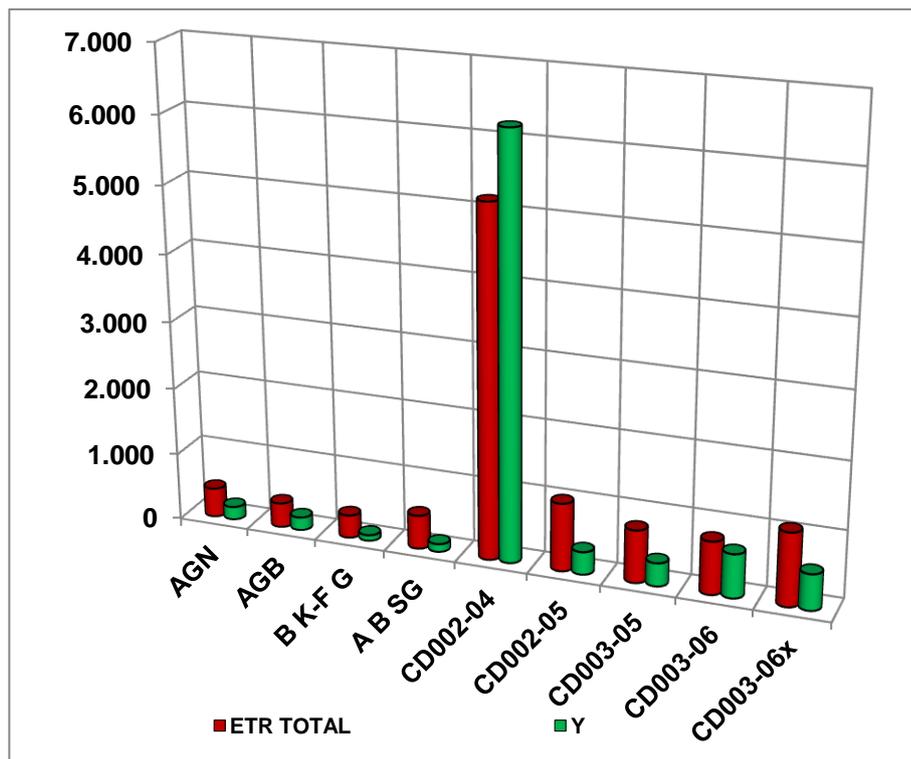


Figura 44 - Comparação dos teores médios (em µg/g) de ETR Total e Y nas amostras dos pegmatitos dos furos CD 002 e CD 003, com a média das rochas associadas: albíta granito de núcleo (AGN), albíta granito de borda (AGB), biotita K-feldspato granito (B K-F G) e anfibólio biotita sienogranito (A B SG).

9. CONCLUSÕES

O albíta granito Madeira contém zonas de pegmatito ainda não suficientemente avaliadas em todos seus detalhes. O presente estudo compara algumas porções desses pegmatitos, presentes em furos de sondagem executados no AGN (RS 078) e na borda externa do AGB (CD 002 e CD 003). A comparação entre eles e com estudos anteriores possibilita concluir que há uma significativa diferença entre os pegmatitos do AGN e os de borda do AGB. A presença de uma mineralogia específica de ETR nos pegmatitos do AGN, ausente nos pegmatitos de borda do AGB, é característica e fundamental para a possibilidade de sua utilização como minério no futuro.

O AGN contém corpos pegmatíticos de diversas dimensões distribuídos em toda sua extensão, mas com maior quantidade e com maiores dimensões em sua parte central. A composição é variada, com alta concentração de Y e ETRP e

também razão ETRP/ETRL elevada. Todas estas observações estão vinculadas à presença de xenotima nas amostras da porção pegmatítica analisada.

No pegmatito do furo RS 078, a xenotima está presente na forma de pequenos cristais prismáticos euédricos, sem inclusões, fazendo parte da matriz e/ou como fenocristais (até 5 cm) prismáticos e euédricos, com grande quantidade de inclusões de minerais da matriz, principalmente albita.

A xenotima desta porção pegmatítica não apresenta grandes variações de seus componentes principais P, Y e ETR, sendo caracterizada por alta substituição do Y por ETRP, especialmente Yb, Er, Dy e Ho. Cálculos cristalquímicos dos parâmetros da cela unitária chegaram aos seguintes valores: **a** = 6,89414 Å; **c** = 6,03046 Å; **volume** = 286,6232 Å³. Suas características indicam origem ígnea, principalmente em função de apresentar alto conteúdo de Yb e baixo conteúdo de Eu e Gd. A presença de flúor na estrutura cristalina, aliada ao baixo conteúdo de U, sugere a formação de xenotima com participação de um fluido rico em voláteis.

O AGB contém pegmatitos situados na sua periferia (pegmatitos de borda), no contato com o biotita K-feldspato granito e com o anfibólio biotita sienogranito. Este estudo mostra que são constituídos essencialmente por K-feldspato e quartzo, com proporções significativas de zircão, pirocloro e outros acessórios, mas sem presença de minerais específicos de ETR. Processos tardios pós-magmáticos foram responsáveis por fraturas e formação de veios de quartzo e cristalização de fluorita.

Os dados geoquímicos mostram que estes pegmatitos de borda têm poucas diferenças significativas na composição química e mineralógica em relação às rochas que os contêm. Situados no contato do AGB com o biotita K-Feldspato Granito e/ou anfibólio biotita Sienogranito, têm um maior grau de semelhança com o AGB, especialmente no que diz respeito à distribuição dos ETR.

Pela sua localização e pela composição, os corpos existentes na periferia do AGB, anteriormente referidos como "greisens" também são porções pegmatíticas associadas com fraturamento e alteração dos minerais primários pela ação de fluidos que acompanharam a sua formação. Os segmentos pegmatíticos, assim como os "greisens", ainda que em contato com o biotita K-feldspato granito e/ou com

o anfibólio biotita Sienogranito, desenvolveram-se no limite externo do AGB e fazem parte deste.

A presença de uma mineralogia específica de ETR, como xenotima e gagarinita nas porções de pegmatito do AGN, ausente nos pegmatitos de borda do AGB, é característica fundamental na possibilidade de utilização futura como minério.

O estudo da porção pegmatítica do AGN indica que essas zonas, quando forem expostas pelo aprofundamento da mina, são passíveis de serem exploradas por lavra seletiva para ETR (na xenotima), além de apresentam altos teores de Zr, Th e Sn.

Ao contrário, os estudos realizados permitem concluir que as porções pegmatíticas de borda do AGB não possuem potencial metalogenético. Não foram observadas regiões com concentrações significativas em elementos de interesse econômico. Pelo contrário, metais importantes como Sn e Nb têm concentrações menores no pegmatito de borda do que no AGB normal.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, F.F.M., HASUI, Y., BRITO NEVES, B.B., FUCK, R.A. (1981): Brazilian structural Provinces. An introduction: *Earth-Sci. Rev.* **17**:1-29.
- ALMEIDA, F.F.M., FRAGA, L.M.B., MACAMBIRA, M.J.B. (1997): New geochronological data of calc-alkaline granitoids of Roraima State, Brazil. In: South American Symposium on Isotope Geology (Brasilia). *Extended abstr.* P. 34-37.
- ANDERS E. & GREVES N. (1989): Abundances of the elements: Meteoritic and solar. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **53**: 197-214.
- ASAMI, M., SUZUKI, K., GREW, E.S. (2002) Chemical Th-U-total Pb dating by electron microprobe analysis of monazite, xenotime and zircon from the Archean Napier Complex, East Antarctica: evidence for ultra-high-temperature metamorphism at 2400 Ma. *Precambrian Research*, **114**: 249-275, 2002.
- ARAUJO NETO, H.; MOREIRA, H.L. (1976). *Projeto Abonari- Relatório Final*. DNPM/CPRM, Nanaus, Brasil.
- BASTOS NETO; A.C., FERRON, T.M.M., CHAUVET, A., CHEMALE JR, F., LIMA, E.F.de, BARBANSON, L. COSTA, C.F.M. (2014): U-Pb dating of the Madeira Suite and structural control of the albite-enriched granite at Pitinga (Amazonia, Brazil): Evolution of the A-type magmatism and implications for the genesis of the Madeira Sn-Ta-Nb (REE, cryolite) world-class deposit. *Precambrian Research*, **243**: 181-196.
- BASTOS NETO A.C. ; PEREIRA, V. P. ; ATENCIO, D. ; FERRON, J. T. M. M. ; COUTINHO, J. (2014). Waimirite-(Y), IMA 2013-108, a new mineral species from Pitinga (Amazonas, Brazil). *Mineralogical Magazine*, **78**:165-170.
- BASTOS NETO, A.C., PEREIRA, V.P., PIRES, A.C., BARBANSON, L. CHAUVET, A. (2013). Fluorine-rich xenotime from the world-class Madeira Nb-Ta-Sn deposit associated with the albite-enriched granite at Pitinga, Amazonia, Brazil. *The Canadian Mineralogist*, **50**: 1453-1466.
- BASTOS NETO, A.C.; PEREIRA, V.P.; RONCHI, L.H.; LIMA, E.F.; FRANTZ, J.C., (2009). The world-class Sn, Nb, Ta, F (Y, REE, Li) deposit and the massive cryolite associated with the albite-enriched facies of the Madeira A-type granite, Pitinga Mining District, Amazonas State, Brazil. *The Canadian Mineralogist* **47**: 329-1357.
- BASTOS NETO, A.C., PEREIRA, V.P., LIMA, E.F., FERRON, J.M., MINUZZI, O., RONCHI, L.H., FLORES, J.A.A., FRANTZ, J.C., PIRES, A.C., PIEROSAN, R., HOFF. R., BOTELHO, N.F., ROLIM, S.B.A., ROCHA, F.N.F., ULMANN, L. (2005). The cryolite ore deposit, Pitinga mine (Amazonas). In: *Ore Mineral Deposits from Amazonian Mining Districts*. J.O. Marini, E. Queiroz, B.W. Ramos (eds.). p. 477-552.
- BASTOS NETO, A. C.; FERRON, J. M. T. M.; HOFF, R.; ROLIM, S. A.; MINUZZI, O. R. R.; ULMANN, L. V.; PRADO, M. (2003). Estudos e projetos direcionados aos depósitos minerais e distritos mineiros: "Caracterização de depósitos minerais em distritos mineiros da Amazônia", subprojeto: Pitinga – Criolita. Porto Alegre: UFRGS, 30 p. *Relatório da Etapa de Integração de dados/Mapa Geológico Regional da Área de Pitinga – 1:100.000*.

- BEA, F. (1996). Residence of REE, Y, Th and U in granites and crustal protoliths: implications for chemistry of crustal melts. *Journal of Petrology*, **37**: 521-552.
- BROSKA, I., TERRY, W.C., JANA'K, M., NAGY, G. (2005). Alteration and breakdown of xenotime(Y) and monazite-(Ce) in granitic rock os the Western Carpathians, Slovakia. *Lithos*, **82**: 71-83.
- COSTI, H. T. (2000). *Petrologia de granitos alcalinos com alto teor de flúor mineralizados em metais raros: o exemplo do Albita-Granito da Mina Pitinga, Amazonas, Brasil*. Tese de Doutorado, Curso de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará, Belém, 345p.
- COSTI H.T., DALL'AGNOL R., MOURA C.A.V. (2000) Geology and Pb-Pb geochronology of Paleoproterozoic volcanic and granitic rocks of the Pitinga Province, northern Brazil. *International Geology Reviews*, **42**:832-849.
- COSTI, H.T.; BORGES, R.M.K.; DALL'AGNOL, R. (2001). Depósito de estanho da mina de Pitinga, Astados do Amazonas. In: *Caracterização de depósitos minerais em distritos mineiros da Amazonia*, cap. VII. p. 395-475.
- DAOUD, W.K. (1988): *Granitos Estaníferos de Pitinga, Amazonas: Contexto Geológico e Depósitos Minerais Associados*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 194p.
- DAOUD W. K. & ANTONIETTO JR. A. (1985). Geologia do granite estanífero Água Boa, Pitinga, AM. In: *Simpósio de Geologia da Amazônia*, 2. Belém, SBG/NN, *Anais* **3**: 17-33
- CUNHA, E.F.S. (2001). *Análise faciológica e estratigráfica das rochas sedimentares da Formação Urupi (Paleoproterozóico), aflorantes na hidrelétrica da mina Pitinga – município de Presidente Figueiredo – Amazonas*. Trabalho final de graduação em geologia. Departamento de Geociências, Universidade Federal do Amazonas.
- DAOUD, W.K. (1988): *Granitos Estaníferos de Pitinga, Amazonas: Contexto Geológico e Depósitos Minerais Associados*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 194p.
- DEER, W. A.; HOWIE, R. A.; ZUSSMAN, J. (1966). *Minerais constituintes das rochas - uma introdução*. Fundação Calouste Gulbenkian, London, 559p.
- DEMARTIN, F., PILATI, T., DIELLA, V. (1991). The chemical composition of xenotime from fissures and pegmatites in Alps. *Canadian Mineralogist*, **29**: 69-75.
- DIB A, ROUX M T, ALÉONARD S (1987). Composés $Pb_2xK_3/2-xLn_3/2-xF_6$ de type gargarinite. Structure d'un cristal mâclé de $KPbLaF_6$. Relations structurales avec les composés de types $NaNdF_4$ et $KCeF_4$, *Journal of Solid State Chemistry*, **66**: 47-55.
- FERREIRA, J. D. (2008). *Petrografia e geoquímica de greisens associados ao Granito Madeira, Pitinga (AM)*. Curso de Geologia, Instituto de Geociências, UFRGS. Monografia de Conclusão do Curso.
- FERRON, J. M. T. M. (2006). *Geologia Regional, Geoquímica e Geocronologia Pb-Pb de Rochas Graníticas e Vulcânicas Paleoproterozóicas da Província Pitinga, Craton Amazônico*. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Programa de PósGraduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 331p.

- FERRON J.M.T.M.; BASTOS NETO A.C.; LIMA E.F.; NARDI L.V.S.; COSTI H.T.; PIEROSAN R.; PRADO M. (2008). Petrologia, geoquímica e geocronologia de rochas vulcânicas e graníticas paleoproterozóicas (1,89 a 1,88 Ga) da província de Pitinga, cráton Amazônico, 61 Brasil. In: *44º Congresso Brasileiro de Geologia*, Curitiba. *Anais 1*: 531-531.
- FORMOSO, M.L.LL, PEREIRA, V.P.; MENEGOTTO, E. NARDI, L.V.S.; BASTOS NETO, A.C.; CUNHA, M.C. (2016). Os elementos terras raras e sua importância para o setor mineral do Brasil. IN: Adolpho José Melfi, A.J.; Misi, A.; Diogenes de Almeida Campos, D.A.; Cordani, U.C. (ed.). *Recursos Minerais no Brasil: problemas e desafios*. Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro P. 68- 83.
- FÖRSTER, H.J. (1998). The chemical composition of REE-Y-Th-U-rich accessory minerals in peraluminous granites of Erzgebirge-Fichtelgebirge reion, Germany, Part I: The monazite(Ce)-brabantite solid solution series. *American Mineralogist*, **83**, ($\frac{3}{4}$): 259-272.
- FÖRSTER, H.J. (1998). The chemical composition of REE-Y-Th-U-rich accessory minerals in peraluminous granites of Erzgebirge-Fichtelgebirge reion, Germany, Part II: Xenotime. *American Mineralogist*, **83**: 1302-1315.
- FRANZ, G., ANDREHS, G., RHEDE, D. (1996). Crystal chemistry of monazite and xenotime from Saxothuringian-Moldanubian metapelites, NE Bavaria, Germany. *Eur. Journal of Mineralogy*, **8**: 1097-1118.
- GOMES, C. B. (1984). *Técnicas analíticas instrumentais aplicadas a geologia*. São Paulo: E.Blucher/PRO-MINERIO, 218 p.
- GIBBS, A. K.; BARRON, C. N. (1983) The Guiana Shield reviewed. *Episodes*, **2**, p. 714.
- GOODENOUGH, K. M.; UPTON, B. G. J.; ELLAM R. M. (2000). Geochemical evolution of the Ivigtut granite, South Greenland: a fluorine-rich "A-type" intrusion. *Lithos*. **51**(3):205-221
- HORBE, M.A., HORBE, A.C., TEIXEIRA, J.T. & COSTI, H.T. (1985): Granito Madeira: petrologia, petroquímica e mineralizações. In: *Simpósio de Geologia da Amazônia*, 2.. SBG, Belém, *Anais...* p. 284-320.
- HUGHES, J. M.; DREXLER, J. W. (1994). Refinement of the structure of gargarinite-(Y), $\text{Na}_x(\text{Ca}_x\text{REE}_{2-x})\text{F}_6$. *The Canadian Mineralogist*, **32**(3):563-565.
- ISSLER, R.S., ANDRADE, A.R.F., MONTALVAO, R.M.G., GUIMARAES, G., SILVA, G.G. & LIMA, M.I.C. (1974): *Geologia da folha SA.22*. Departamento Nacional da Produção Mineral, Projeto RADAMBRASIL. *Levantamento de Recursos Naturais* **5**: 7-182.
- JAMBOR, J., ROBERTS, A. C., OWENS, D & GRICE, J. (1996). Zajacite-(Ce), a new rare-earth fluoride from the Strange Lake deposiit Quebec-Labrador. *The Canadian Mineralogist*, **34**:1299-1312.
- KABALOV, YU. K.; SOKOLOVA, E.V.; GRIGOR'EV, A.P. (1993). Determination of crystal structure of new mineral $\text{Na}_{1,23}\text{Y}_{1,28}\text{TR}_{0,24}\text{F}_6$ by the Rietveld method. *Doklady Akademii Nauk*, **330**(6): 713-715. (em russo).
- KAMENETSKAYA, F. O. V.; KAMENETSKII, F. V. A. (1994). Crystal structure of gargarinite from precision X-ray data: structural changes in the NaCaTRF_6 - NaTRF series. *Kristallographie*, **39**:1009-1014.

- KOSITCIN, N., MCNAUGHTON, N.J., GRIFFIN, B.J., FLETCHER, I., GROVES, D.I., RASMUSSEN, B. (2003). Textural and geochemical discrimination between xenotime of different origin in the Archean Witwatersrand Basin, South Africa. *Geochem. Cosmochem. Acta*, **67** (4): 709-731.
- LENHARO, S. L. R. (1998). *Evolução magmática e modelo metalogenético dos granitos mineralizados da Região de Pitinga, Amazonas, Brasil*. Tese de Doutorado – Instituto de Geociências, Curso de Pós-Graduação, Universidade de São Paulo. 290p.
- LOUREIRO, F. E. L. (2011). Terras-Raras: Tipos de Depósitos, Recursos Identificados e Alvos Prospectivos no Brasil. In: Seminário Brasileiro de Terras Raras, 1º, Rio de Janeiro. *Bases para o desenvolvimento de Terras raras no Brasil*. Rio de Janeiro: CETEM - CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL, 33 p.
- MANDETTA, P., VEIGA, J.P. & OLIVEIRA, J.R. (1974). *Reconhecimento Geológico ao longo do Rio Pitinga, afluente do Rio Uatumã*. CPRM/Manaus. Não publicado, 31p.
- MASAU, M., CERNÝ, P., CHAMPAN, R. (2000). Dysprosian xenotime-(Y) from the Annie Claim 3 granitic pegmatite, southeastern Manitoba, Canada: evidence of the tetrad effect? *The Canadian Mineralogist*: **38**: 899-905.
- MELO, A.F.F., SANTOS, A.J., CUNHA, M.T.P., CAMPOS, M.J.F. & D'ANTONA, R.J.G. (1978). *Projeto Molibdênio em Roraima, relatório final*. MME/DNPM Manaus, v. 6.
- MINUZZI, O. R. R. (2004). *Mineralogia e geoquímica do depósito de criolita, Nb/Ta da jazida de Pitinga, AM*. Exame de Qualificação de Doutorado - Instituto de Geociências, Curso de Pós-graduação em Geociências, UFRGS, Porto Alegre.
- MINUZZI, O. R. R. (2005). *Gênese e evolução da mineralização de Criolita, Pirocloro e Columbita da subfácies Albita Granito de Núcleo, Mina Pitinga, Amazonas, Brasil*. Tese de Doutorado – Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- MINUZZI O.R.R., BASTOS NETO A.C., PEREIRA V.P. NUNES L. (2005). A columbitização do pirocloro da subfácies albita granito de núcleo do Granito Madeira, Pitinga-AM: relações com a gênese da mineralização criolítica. *Revista Brasileira de Geociências*.
- MOGILEVSKY, P.; ZARESTKY, E.B.; PARTHASARATHY, T.A & MEISENKOTHE, F. (2006). Composition, lattice parameters and room temperature elastic constants of natural single crystal xenotime from Novo Horizonte. *Phys. Chem. Minerals*, **33**: 691-698.
- PALUDO, C. M. (2015). *Caracterização dos minerais de ETR e Y nos pegmatitos do albita granito Madeira (Pitinga, AM)*. UFRGS, Instituto de Geociências. Monografia de conclusão do Curso de Geologia. Impreso em mídia eletrônica, 74 p.
- NI, Y.; HEGUES, J.M.; MARIANO, A.N. (1955). Crystal chemistry of manazite and xenotime structures. *American mineralogist*, **80**, 21-26.
- PETERSEN, O.V., GAULT, R.A. (1993). Xenotime from the Narssârssuk pegmatite, south Greenland. *Neues Jahrbuch für Mineralogie Monatshefte*: **6**: 259-264.

- PIRES, A.C. (2010). *Xenotima, Gagarinita, Fluocerita e Waimirita da Mina Pitinga (AM): mineralogia e avaliação preliminar do potencial do albita granito para exploração de elementos Terras Raras e Ítrio*. Curso de Pós-graduação em Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Tese de doutorado. IGeo/UFRGS. Porto Alegre, 199p.
- PIRES, A.C., BASTOS NETO, A.C., PEREIRA, V.P., BOTELHO, N.F., MINUZZI, O.R.R. (2006). Gagarinita (Y) with fluocerite polymorphous: probable case of formation of a new mineral by LREE exsolution from HREE fluoride (Pitinga mine, Amazonas State). *Revista Brasileira de Geociências* **36**:155-164.
- PROKOF-YEV, V.; Y. RYABENKO, S.V. (1998) Conditions of formation of gagarinite, as shown by the study of fluid inclusions. Transactions (Doklady) of the U.S.S.R. *Academy of Sciences: Earth Science Sections*, **300**: 122-125.
- SANTOS J.O.S., HARTMANN L.A., MCNAUGHTON N.J., FLETCHER I.R. (2002): Timing of mafic magmatism in the Tapajós Province (Brazil) and implications for the evolution of the Amazon Craton: evidence from baddeleyite and zircon U-Pb SHRIMP geochronology. *Journal of South America Earth Science*, **15**:409-429.
- SANTOS, J. O. S.; HARTMANN, L. A.; FARIA, M. S.; RIKER, S. R.; SOUZA, M. M.; ALMEIDA, M. E.; MCNAUGHTON, N. J. (2006). A compartimentação do cráton amazonas em províncias: avanços ocorridos no período 2000–2006. In: *Simpósio de Geologia da Amazônia, 9.*, Belém. *Anais...* Belém.
- SABOURDY, G., SAGON, J.P., PASTIER, P. (1997). La composition Chimique du Xénotime em Limousin, Massif Central, France. *The Canadian Mineralogist*, **35**: 937-946.
- SCHUCK, C. (2015): *Contribuição à mineralogia do Albita Granito Madeira (Mina de Pitinga, Amazonas): estudo do anfibólio, biotita e polilithionita*. UFRGS, Instituto de Geociências. Monografia de conclusão do Curso de Geologia, Porto Alegre. Impresso em mídia eletrônica. 100 p.
- STOLNIK, D. *Caracterização da Xenotima na Fácies Pegmatítica do Albita Granito de Núcleo, Pitinga (AM)*. UFRGS, Instituto de Geociências. Monografia de conclusão do Curso de Geologia. Impresso em mídia eletrônica. 66p. Porto Alegre. 2015.
- STEPANOV, A. V.; SEVEROV, E. A. (1961). Gagarinite, a new rare-earth mineral. *Doklady Earth Science*, **141**: 1290-1293.
- TASSINARI, C. C. G.; MACAMBIRA, M. J. (1999). Geochronological Provinces of the Amazonian Craton. *Episodes*, **22** (3): 174-182.
- VEIGA JR., J.P., NUNES, A.C.B., FERNANDES, A.S., AMARAL, J.E., PESSOA, M.R. & CRUZ, S.A.S. (1979). *Projeto Sulfetos de Uatumã*. CPRM/Manaus. Relatório Final, 7.
- VORONKOV, A.A.; SHUMYATSKAYA, N.G.; PYATENKO, YU. A. (1962). The crystal structure of gagarinite. *Zhurnal Strukturnoi Khimii*, **3**: 691-696. (em russo)
- WARK, D.A., MILLER, C.F. (1993). Accessory mineral behavior during differentiation of a granit suite: monazite, xenotime and zircon in the Sweetwater Wash pluton, southeastern California, U.S.A. *Chemical Geology*, **110**: 49-67.

APÊNDICE

APÊNDICE A - DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS DO FURO DE SONDAGEM RS 078

RS078 – AM01

Profundidade: 30 m.

AGN comum. Granito cinza claro, médio a fino.

Microscopia: Granito inequigranular porfirítico, com matriz quartzo-feldspática (quartzo<feldspato) (albita>microclínio) fina a média, com fenocristais de albita e grãos maiores de quartzo posterior. A albita dos fenocristais é anédrica (até 1,6 mm), corroída e sericitizada; a albita da matriz é prismática (média 0,3mm). Microclínio anédrico a subédrico ocorre na matriz (média 0,3mm). Quartzo primário na matriz é anédrico a subédrico, (média 0,2 mm); secundário posterior é anédrico e fraturado (até 6 mm), com inclusões de minerais da matriz. Riebeckita, mineral prismático a acicular, azul intenso, em pequenas quantidades, alterando para clorita. Biotita marron-verde abundante e Polilithionita tardia, disseminada, desenvolvida a partir da biotita. Pirocloro columbitizado disseminado, ocorre em pequenas quantidades. Zircão euédrico a subédrico, disseminado em grandes quantidades, alguns cristais com fraturas radiais, muito alterados. Criolita intersticial, preenchendo os espaços (criolita primária). Clorita é produto de alteração da riebeckita e/ou biotita. Óxidos de ferro amorfos, disseminados.

RS078 – AM02

Profundidade: 32,81 - 32,92 m.

AGN cinza claro com partes avermelhadas (oxidado), médio a fino.

Microscopia: Granito inequigranular porfirítico, com matriz quartzo-feldspática (quartzo<feldspato) fina a média, fenocristais de albita e grãos maiores de quartzo. Albita presente como fenocristais anédricos, sericitizados (até 1,2 mm), e também na matriz (média 0,3 mm). Microclínio anédrico a subédrico (média 0,3 mm) na matriz. Quartzo primário na matriz, anédrico a subédrico (média 0,2mm); secundário, posterior, (até 4.8 mm), anédrico e fraturado, com inclusões de minerais da matriz. Polilithionita em pequenas quantidades. Thorita rara e disseminada. Pirocloro muito columbitizado poucos cristais. Zircão euédrico a subédrico, disseminado e em grande quantidade, com fraturas radiais, muito alterados e com ferruginização nas bordas. Criolita magmática, mas posterior à matriz (até 2,4 mm). Óxidos de ferro amorfos, em grande quantidade. Alteração hidrotermal intensa. Observação: quase sem máficos – albitização.



RS078 – AM03

Profundidade: 34 m.

AGN com grande variação textural, composicional, marcando zonas mais fraturadas e albitizadas.

Microscopia: Granito inequigranular porfirítico, de matriz quartzo-feldspática (quartzo<feldspato) fina a média, fenocristais de albita e grãos maiores de quartzo. Apresenta penetração de fluorita secundária. Albita em fenocristais anédricos sericitizados (até 1,2 mm) ou disseminada na matriz. Microclínio anédrico a subédrico na matriz, média 0,3mm. Quartzo primário anédrico a subédrico, presente na matriz (média 0,2mm) e secundário anédrico (até 6 mm), posterior, com inclusões de minerais da matriz, fraturados. Polilithionita tardia, disseminada, pequenas quantidades. Zircão euédrico a subédrico, disseminado em grandes quantidades, com fraturas radiais, muito alterado e com cristalização de fluorita nos espaços vazios deixados pela alteração. Óxidos de ferro amorfos em grande quantidade. Fluorita forma agregados microcristalinos, em grande quantidade, geralmente associada a argila e óxidos de ferro no preenchimento de fraturas, ou preenchendo o espaço do zircão. Alteração hidrotermal intensa. Observação: quase sem máficos devido à albitização.

RS078 – AM04

Profundidade: 35,20 - 35,50 m.

AGN cinza avermelhado (oxidado), médio a fino. Testemunho é cortado por um veio centimétrico, preenchido por fluorita e argilomineral com óxido de Fe.

Microscopia: Granito inequigranular, com matriz quartzo-feldspática (quartzo<feldspato) fina a média, fenocristais de albita e grãos maiores de quartzo. A albita forma fenocristais anédricos, sericitizados (até 1,2 mm), além de microcristais disseminados na matriz (0,3mm). Microclínio anédrico a subédrico, na matriz, média 0,3mm. Quartzo primário anédrico a subédrico, presente na matriz (média 0,2 mm); secundário anédrico (até 4.8 mm), posterior com inclusões de cristais da matriz. Polilithionita disseminada em pequenas quantidades. Thorita disseminada em pequenas quantidades. Zircão euédrico a subédrico, disseminado e em grandes quantidades, muito alterado. Óxidos de ferro amorfos em grande quantidade. Fluorita em agregados microcristalinos abundantes, comumente associada a argila e ao zircão. Alteração hidrotermal intensa.



Lâmina delgada apresenta fratura preenchida por argila + fluorita e um microveio de thorita, reconhecidos ao MEV com EDS.

RS078 – AM05

Profundidade: 40,02 - 40,16 m.

AGN cinza médio a fino - zona intensamente albitizada.

Microscopia: Textura porfírica. Fenocristais de quartzo e feldspato alcalino (albita) muito corroídos e cheios de inclusões. Matriz quartzo-feldspática, com quartzo, albita e raros cristais de microclínio. Uma geração tardia de quartzo inclui a maior parte dos outros minerais.

Sem máficos. Acessórios de zircão abundante, cassiterita e thorita.

RS078 – AM06

Profundidade: 42,93 - 43,06 m.

AGN cinza médio a fino. Presença de fraturas, aproximadamente de 1 a 5mm, preenchidas por material argiloso que varia do branco a caramelo.

Microscopia: Rocha com textura porfírica, com fenocristais de quartzo, corroídos e fragmentados, com muitas inclusões de matriz. O quartzo parece ser posterior à matriz. A matriz é média a fina, com quartzo e feldspato (albita >> microclínio). Sem máficos e com acessórios de zircão.



Fraturas preenchidas por material criptocristalino e isotrópico (argilomineral)

RS078 – AM06XA

Profundidade: 45,00 - 46,30m.

AGN avermelhado, porfirítico médio a fino, com minerais milimétricos muito oxidados (thorita oxidada).

Microscopia: Textura Porfirítica, com fenocristais de quartzo e microclínio. Matriz média, com quartzo, albita e microclínio. Na matriz aparecem raros cristais muito pequenos de mica incolor (polilithionita), que parece ser posterior. Zircão é o acessório abundante. Raros cristais de pirocloro columbitizado. Thorita aparece totalmente alterada, formando ferruginização.

RS078 – AM07

Profundidade: 45,56 - 45,73 m.

Pegmatito, com partes leitosas e agregados máficos formados por mica e partilhado por vários zircões, apenas em algumas porções é possível identificar os cristais formados.

Microscopia: apresenta duas partes distintas - uma clara e uma escura.

- **Parte clara:** É formada por uma massa de criolita que incorpora grande quantidade de fragmentos de outros minerais. Entre esses minerais, predominam fragmentos de albita, mas tem também fragmentos de quartzo, zircão, mica verde-marron (biotita), polilithionita, raros pirocloro e cassiterita. Desses minerais, o que está menos fragmentado é o zircão.
- **Parte escura:** Massa de mica verde-marron (biotita) incluindo fragmentos de albita, quartzo, polilithionita, além de acessórios como zircão. A biotita apresenta cristalização de material ferruginoso nas clivagens.



No limite entre a parte clara e escura, aparece criolita penetrando nos interstícios da biotita. Nesta região aumenta a quantidade de polilithionita, que se desenvolve a partir da biotita.

RS078 – AM0

Profundidade: 45,88 - 46,12 m.

Pegmatito, albitizado com agregados máficos formados por biotita e polilithionita.

Microscopia: apresenta duas partes distintas - uma clara e uma escura.

- **Parte clara:** Da mesma forma que na lâmina RS 078-AM07 também é formada por uma massa de criolita que incorpora grande quantidade de fragmentos de outros minerais. Entre esses minerais, predominam fragmentos de albita, mas tem também fragmentos de quartzo, zircões, biotita verde-marron, polilithionita e galena.
- **Parte escura:** Massa de biotita verde-marron incluindo fragmentos de albita, quartzo, passando para polilithionita em parte da lâmina, além de acessórios como zircão. A biotita apresenta está parcialmente fragmentada, com penetração de criolita nas clivagens. A criolita está presente, também em fraturas longas que atravessam vários cristais, inclusive da parte clara.



Paragêneses:

É nítida a associação de quartzo+albita+zircão na paragênese inicial da parte clara. A biotita das partes escuras é posterior, incluindo os minerais anteriores. A polilithionita é produto de transformação da biotita. A criolita absorveu e incluiu todos. Galena é um produto tardio.

RS078 – AM9

Profundidade: 46,30 - 46,50 m.

Pegmatito - Neste intervalo ocorre uma massa quartzo-albita com grande concentração de xenotima com prismas até 5cm.

Microscopia: Foram feitas duas lâminas delgadas:

RS078 – AM9A e RS078 – AM9B:

As lâminas delgadas mostram uma rocha com granulação grossa, na qual os únicos fenocristais são xenotimas longas, que alcançam cerca de 2 cm (na lâmina). A matriz tem granulação média e é composta principalmente por albita, com alguns cristais de zircão. Os fenocristais de xenotima incluem a albita da matriz em grande quantidade. Por outro lado, os cristais muito pequenos de xenotima (<1mm) não mostram essas inclusões e parecem fazer parte da própria matriz. Criolita aparece de forma intersticial e abundante, envolvendo cristais da matriz.



Ao que indica a petrografia, a Xenotima e a matriz são contemporâneas, da mesma paragênese. Criolita é posterior.

RS078 – AM10A

Profundidade: 46,50 - 46,70 m.

Pegmatito - Ocorrem concentrações de polilithionita com até 8 cm e agregados de xenotimas semelhantes aos da amostra RS078 – AM9

A rocha com granulação grossa, com cristais grandes de quartzo, xenotima e politionita. A matriz é predominantemente albita de granulação média. As xenotimas são bem formadas, prismáticas, euédicas, mas com grande quantidade de inclusões de albita da matriz. Pequenos cristais de zircão também aparecem incluídos na xenotima. O quartzo é anédrico, com bordas irregulares e inclui a matriz e também fragmentos de politionita.



A xenotima é cercada pela politionita, mas não a inclui. Associada à xenotima ocorre quantidade significativa de zircão de vários tamanhos e alguns cristais de thorita, muito alterada, com ferruginização.

RS078 – AM11A

Profundidade: 46,86-46,98 m.

Transição do pegmatito para AGN oxidado O contato é abrupto com o pegmatito marcado por uma massa de polilithionita.

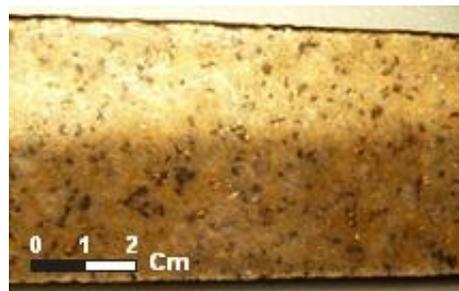
Microscopia: é uma rocha com textura porfírica. Há uma matriz média formada por albita+quartzo. Dentro dessa matriz ocorrem pequenas folhas de polilithionita. Ocorre abundante zircão, de tamanho maior que o restante da matriz e alguns cristais pequenos de pirocloro. Como cristais maiores, se destaca a biotita verde-marron, totalmente fragmentada, com inclusões de albita, zircão. Em alguns pontos, a biotita transiciona para polilithionita. O mineral predominante é quartzo de tamanho maior, de segunda geração, que inclui todos os minerais antes citados. Criolita aparece como mineral intersticial, especialmente na matriz ou junto à biotita.

RS078 – AM12A

Profundidade: 48,42-48,51 m.

AGN cinza claro, esbranquiçado (albitizado).

Microscopia: é uma rocha com textura porfírica. Pequenos fenocristais de albita e quartzo de tamanho maior (parece ser tardio). Matriz granular média composta principalmente por albita e quartzo. Os cristais maiores de albita (fenocristais) estão muito corroídos e alterados. Ao cristais maiores de quartzo são irregulares, com bordas corroídas e muitas inclusões de albita da matriz. Como acessórios, há zircão abundante e menor quantidade significativa de thorita com forma alongada. Rocha sem máficos, mas com abundante criolita intersticial, tardia, que envolve e corrói os outros minerais.

**RS078 – AM13A**

Profundidade: 53,82-54,00 m.

AGN oxidado com fraturas milimétricas preenchidas por material argilosos claro.

Microscopia: Rocha tem uma matriz de granulação média formada principalmente por microclínio+albita+quartzo, com alguns cristais aciculares-radiados de riebeckita, associada biotita muito fragmentada e parcialmente transformada em polilithionita. Como acessórios ocorrem zircão, cassiterita, thorita e raros pirocloros columbitizados. Quartzo grande, tardio, abundante, tem bordas irregulares e muitas inclusões dos minerais da matriz. Polilithionita distribui-se no seu contorno. Criolita (posterior) aparece englobando os cristais da matriz e também preenchendo fraturas no quartzo tardio.

RS078 – AM14A

Profundidade: 62,46-62,65 m.

AGN com muita thorita (com películas de argila)

Microscopia: Rocha com matriz média composta por microclínio+albita+quartzo, com biotita fragmentada, com muito óxido de Fe nas clivagens. Grandes cristais de quartzo (tardio), com bordas irregulares e muitas inclusões de minerais da matriz. A biotita, além da ferruginização nas clivagens, apresenta transformação para polilithionita iso-orientada. Em parte, a biotita está também cloritizada

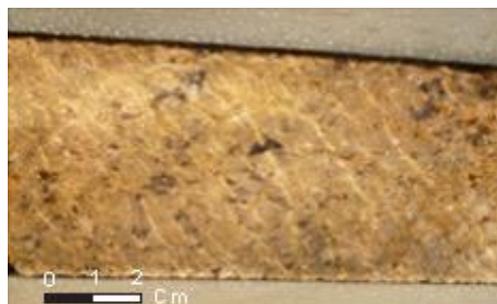
Zircão, Thorita, pirocloro e opacos com formas losangulares perfeita (magnetita) são os principais acessórios. Criolita preenche interstícios intercrystalinos e espaços deixados por minerais que foram instabilizados.

RS078 – AM15A

Profundidade: 65,52 - 65,63 m.

AGN com fraturas milimétricas preenchidas por material branco.

Microscopia: Rocha com matriz média composta por microclínio+albita+quartzo, com biotita fragmentada, com muito óxido de Fe nas clivagens. Grandes cristais de quartzo (tardio), com bordas irregulares e muitas inclusões de minerais da matriz. Zircão, Thorita, pirocloro e opacos (magnetita) são os principais acessórios. Criolita no interstícios intercrystalinos.



Apresenta muitas fraturas preenchidas iso-orientadas, de por material de baixa birrefringência (criolita com argilominerais).

RS078 – AM16B

Profundidade: 65,52-65,63 m.

AGN cinza avermelhado, oxidado.

Microscopia: Textura porfirítica, com fenocristais de microclínio, quartzo, riebeckita, biotita. Matriz de granulação média, com microclínio, albita e quartzo. O microclínio dos fenocristais está muito corroído e alterado. O quartzo de tamanho maior, na verdade, não é fenocristal, mas quartzo desenvolvido em segunda geração, porque tem inclusões de minerais da matriz e de zircão. A rocha tem baixa proporção de máficos, mas podem ser identificadas a riebeckita e a biotita.

Acessórios: zircão abundante, mineral opaco de forma equidimensional, que pode apresentar no seu centro um mineral transparente esverdeado, com alta birrefringência, uniaxial. Pelas propriedades ópticas, o que está no centro também é zircão. Ao que indica a microscopia óptica, trata-se do preenchimento por óxido de Fe (?) de espaços gerados pela destruição do zircão.

Criolita aparece preenchendo espaços vazios entre os outros minerais e algumas fraturas. Tem fissuras preenchidos pelo opaco (óxido de Fe), mostrando que este representa uma oxidação tardia.

RS078 – AM17B**Profundidade:** 71,06-71,16 m.

AGN com muitas fraturas

Microscopia: Textura porfirítica, com alguns fenocristais de K-feldspato com dupla macla (albita), quartzo, biotita. Matriz de granulação média, com muita albita e quartzo. Quartzo grande, anédrico e tardio, engloba e inclui os minerais da matriz. A biotita está muito fragmentada e com ferruginização.

Acessórios: abundante zircão, pequenos opacos, raras thorita.

Criolita intersticial e tardia, preenchendo fraturas e também preenchendo espaços dentro do quartzo de segunda geração.



Abundantes fraturas subparalelas, preenchidas por criolita, óxidos ferruginosos e por materiais aparentemente argilosos com birrefringência semelhante à da mica.

RS078 – AM18A**Profundidade:** 72,22 - 72,41 m.

AGN comum

Microscopia: Rocha porfirítica. Fenocristais de feldspato (albita), matriz com matriz de granulação média composta por muita albita, menor proporção de microclínio e quartzo. A riebeckita é o máfico primário. Apresenta cor azul intenso, com pleocroísmo em tons de azul. A biotita está muito fragmentada e tem pleocroísmo de marron a verde. Cristais grandes de quartzo anédrico de segunda geração com inclusões de minerais da matriz. Acessórios: zircão abundante, pirocloro, cassiterita e rara thorita. Criolita ocorre como cristais intersticiais, com inclusões de diversos minerais da matriz.

RS078 – AM19A**Profundidade:** 73,02 - 73,14 m.

AGN comum, com fraturas preenchidas por material escuro, ferruginoso

Microscopia: Textura porfirítica, com alguns fenocristais de feldspato alcalino com dupla macla (albita), quartzo, biotita. Matriz de granulação média, com muita albita e quartzo. Quartzo grande, anédrico e tardio, engloba e inclui os minerais da matriz. A biotita está muito fragmentada e com ferruginização. Alguns cristais da biotita estão transformados em polilithionita. Acessórios: abundante zircão, minerais opacos e thorita. Criolita intersticial e tardia, preenchendo fraturas e também preenchendo espaços dentro do quartzo de segunda geração.

Abundantes fraturas subparalelas, preenchidas por criolita, óxidos ferruginosos e por materiais argilosos.

APÊNDICE B - DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS DO FURO DE SONDAGEM CD 002

CD 002 – AM1:

Profundidade: 99,16-99,25 m.

Biotita K-Feldspato granito, cinza acastanhado com K-Feldspato, quartzo e cerca de 6% de minerais máficos. Ocorrem diversas fraturas submilimétricas preenchidas por minerais máficos.

Microscopia: Rocha equigranular média a grossa, leucocrática, com K-Feldspato (ortoclásio) pertítico (média 1,2 mm) e Quartzo anédrico distribuído no seu contorno. Plagioclásio, anédrico, em pequena quantidade na matriz. Biotita marron, subédrica com muitas inclusões. Zircão, fluorita e cassiterita, que em alguns pontos formam bandas de microcristais, são os acessórios. Ocorrem alguns microcristais de fluorita dispersa.



CD 002 – AM2

Profundidade: entre 118 e 119 m.

Biotita K-Feldspato granito com banda de cassiterita de 2cm, aparecendo no meio dela uma fratura preenchida material isotrópico e micro cassiteritas. Há também pequenas fraturas preenchidas por quartzo que cortam o bandamento e os grãos de albita e quartzo. Onde há o desaparecimento do bandamento, surge uma zona de oxidação.

Microscopia: Rocha leucocrática equigranular média a grossa, com ortoclásio anédrico, com contatos suturados e maclas deformadas (média 1,2 mm); quartzo intersticial, anédrico, com bordas muito irregulares (média 2 mm); microclínio anédrico (média 0,7 mm); cassiterita subédrica a euédrica, em agregados e em grãos de tamanhos variando de 0,08 mm até 1,6 mm; zircão em microcristais subédricos; thorita com alteração, formando áreas com ferruginização no contorno; hematita secundária, injetada nas clivagens e fraturas das albitas. A cassiterita forma uma banda que grada para a matriz quartzo-feldspática, onde em parte pode estar incluída nos feldspatos.



CD 002 – AM3

Profundidade: 119,90-119,98 m.

Biotita K-Feldspato granito que transiciona para pegmatito.

Microscopia: A porção granítica é equigranular média, composta por ortoclásio, quartzo, plagioclásio e biotita cloritizada. À medida que se aproxima do pegmatito, vai aumentando a proporção de ortoclásio em relação ao plagioclásio. A porção pegmatítica contém ortoclásio anédrico de até 1,5cm, com dupla macla, em parte transformado para microclínio; quartzo intersticial e em cristais maiores de 0,5cm; biotita de até 0,4 cm (cloritizada com óxido de ferro nas clivagens); zircão, em pequena quantidade, incluído em biotita; fluorita disseminada; opacos euédricos, romboédricos (magnetita).



CD 002 – AM4**Profundidade: 120,00-120,13m.**

Pegmatito de cor vermelho carne, com megacristais de quartzo e de K-feldspato (microclínio).

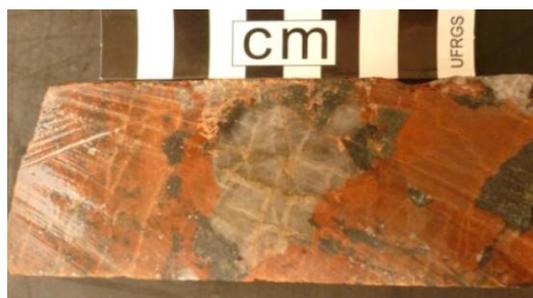
Microscopia: Megacristais de microclínio e de quartzo que englobam e incluem os demais minerais (albita, zircão, opacos) clorita. Parte da rocha está alterada, formando uma massa composta por diversos produtos, como a clorita, óxido de ferro e argilominerais de coloração marrom acinzentada. O microclínio é anédrico, arredondado, variando desde 2,0 mm até 4,8mm. Nas bordas e no interior do microclínio há crescimento de pequenos cristais prismáticos de albita. O quartzo apresenta-se em megacristais anédricos de até 3cm ou intersticial, preenchendo os espaços deixados pelos cristais maiores. A albita é anédrica e com muitas inclusões de minerais incolores esverdeados prismáticos e floretas. Zircão está muito alterado, com centro incolor. Fluorita ocorre difusa por toda a lâmina ou como micro inclusões de outros minerais. Clorita é um produto de alteração, agrupada em “massas” ou como cristais bem formados. Óxido de ferro prismático ou formando agregados (hematita). Pirita está presente nas porções alteradas, perto dos opacos prismáticos, com tamanho médio de 0,35 mm.

**CD 002 – AM5****Profundidade: 121,66-121,78 m.**

Pegmatito com mega cristais com mais de 2 cm de microclínio e de quartzo leitoso.

Microscopia:

Pegmatito porfirítico, com megacristais (> 2 Cm) de microclínio anédrico e de quartzo que englobam matriz com a composição de granito porfirítico, com quartzo (0,7 mm), albita (média 1 mm), microclínio, zircão, clorita e fluorita. O Zircão esta muito alterado e tem tamanhos variando de 0,35 mm até 2,7mm. A petrografia sugere que um granito porfirítico de matriz fina anterior, sofreu diversos eventos como a cristalização de megacristais de quartzo e fraturas quebrando todos os minerais. Fraturas se concentram em direção aos cristais de zircão.



CD 002 – AM6**Profundidade: 123,86-124,07 m.**

Transição brusca pegmatito vermelho com AGB típico.

Microscopia: Granito inequigranular porfírico de matriz fina com quartzo e feldspato (albita+microclínio) e com megacristais (até 1 Cm) de microclínio e de quartzo. O microclínio ocorre como megacristais, subédricos a euédricos, com uma alteração orientada disseminada e inclusões de cristais de albita de 0,3mm. O quartzo da matriz é anédricos (0,2mm), enquanto os megacristais de 2ª geração são Intersticiais. Biotita marron-verde, está parcialmente incluída em quartzo, muito alterada para clorita e substituída por fluorita. Clorita ocorre como produto de alteração de biotita, mantendo a forma do mineral original, ou formando agregados com até 1,5mm. Cassiterita euédrica, zonada, média 1,7mm. Thorita euédrica, com coroa de cor marrom, média 1,6mm. Zircão euédrico, zonado, alguns cristais com a região central alterada, em tamanhos variando desde 0,4mm até 1,0mm. Fluorita disseminada, mas há maior concentração nas porções com clorita, onde ocupa espaços deixados pela alteração da mica.

**CD 002 – AM7****Profundidade: 125,82-125,94 m.**

AGB - Albita granito de cor avermelhada

Microscopia: Albita granito inequigranular, com por cristais maiores de quartzo e matriz quartzo feldspática fina. O quartzo primário da matriz é anédricos, com 0,7 mm; o secundário é intersticial, com média 2,5 mm. A albita é subédrica a euédrica, com média de 1 mm e com pequenas lamelas de alteração. O microclínio é anédrico, com média de 1,6 mm. A biotita é anédrica, com média 2,5mm.

Polilithionita incolor, birrefringência média, com óxido de ferro nas clivagens. Zircão subédrico a euédrico, com partes de maior alteração, normalmente com centros alterados e bordas inalteradas. Thorita, com alteração que jogando ferro para as fraturas. Pirocloro columbitizado (raros cristais). Opacos, associados a micas, em agregados os cristais isolados. Fluorita anédrica associada aos minerais opacos.

CD 002 – AM8**Profundidade: 130,46-130,58 m.** AGN tradicional

Microscopia: Granito inequigranular, de matriz fina e grãos maiores de quartzo de até 4,8mm, englobando outros cristais da matriz. Quartzo primário, na matriz, anédricos, 0,6mm. Albita subédrica com média de 0,4 mm. Microclínio, subédrico a euédrico, média 0,4mm. Riebeckita, pleocróica de cor azul escuro a claro, entre 0,7 mm e 2,4 mm, com alteração para penina. Polilithionita (0,8 mm), pleocróica de incolor a azul fraco, com óxido de ferro na clivagem. Pirocloro alterado para columbita, anédrico, média 0,3mm, preto com o núcleo marrom. Zircão euédrico, média 0,8mm, núcleo alterado e borda sã. Há uma coroa oxidada ao redor dos cristais. Cassiterita euédrica, zonada, de 0,4 mm. Thorita anédrica, com até 1,2 mm. Criolita intersticial, entre os cristais de quartzo de segunda geração. Opacos em grãos separados ou agregados - óxido de ferro.

APÊNDICE C - DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS DO FURO DE SONDAGEM CD 003

CD 003 – AM1

Profundidade: 140,85-140,98 m.

Anfibólio biotita sienogranito, com K-feldspato apresentando texturas rapakiwi e poiquilítica, avermelhado, porfírico de matriz fina, com grande variação de máficos entre (2% - 10%). Onde há menos máficos a cloração da rocha fica mais avermelhada.

Microscopia: Rocha porfírica com fenocristais de ortoclásio e quartzo, matriz fina a média com quartzo, microclínio e albita. K-feldspato - ortoclásio, em parte substituído por microclínio - de 0,8 mm até 5 mm, anédrico a subédrico, com inclusões de grãos da matriz, fluorita e clorita. Muitos fenocristais de ortoclásio têm textura poiquilítica. Quartzo primário anédrico, presente na matriz, média 0,3 mm. Quartzo em fenocristais, de até 1,6mm, anédrico, com inclusões de grãos da matriz. Há textura mirmequítica - intercrescimento de quartzo e feldspato. Plagioclásio anédrico na matriz, com média de 0,4mm. Riebeckita em pequenos cristais prismáticos-aciculares, muito cloritizados. Biotita verde-marron, muito alterada para clorita. Zircão euédrico, bem preservado, com média de 0,4 mm. Pirocloro anédrico, columbitizado, com média 0,2 mm. Clorita formando bandas ao longo de fissuras e como produto de alteração. Pirita em cristais cúbicos de 0,08 mm. Fluorita, disseminada, desde incolor até roxo. Opacos ferruginosos, anédricos, inclusos na clorita.



CD 003 – AM2

Profundidade: 142,80-143,00 m.

Anfibólio biotita sienogranito, avermelhado, com fraturas preenchidas por fluorita e quartzo.

Microscopia: Rocha porfírica, com fenocristais de K-feldspato e alguns de quartzo. Matriz média com quartzo, microclínio, albita e biotita verde-marron muito cloritizada. A rocha apresenta muitas fraturas orientadas em uma mesma direção. K-feldspato (ortoclásio e/ou microclínio) anédrico, de 1 a 4 mm presente em grande quantidade, com inclusões opacas (pirita), cristais da matriz, fluorita e clorita. Quartzo anédrico, média 0,8 mm, em fraturas ou na matriz, contatos suturados com o feldspato. Plagioclásio anédrico, média 0,8mm, com contatos suturados. Riebeckita em pequenos cristais aciculares cloritizados. Biotita alterada para clorita, em agregados ou orientadas, mas sem formar bandas. Pirita subédica a euédica, com formas cúbicas e trapezoidais, incluída nos fenocristais de K-Feldspato. Fluorita anédrica, intersticial e ao longo de fissuras com coloração variada - incolor, azulada e roxa.



CD 003 – AM03**Profundidade: 145,00-145,05m.**

Anfibólio biotita sienogranito, com K-feldspato apresentando texturas rapakiwi, muito bem formadas.

Microscopia: Rocha com textura porfirítica. Matriz quartzo-feldspática (quartzo>feldspato) fina a média. Fenocristais de Ortoclásio, anédrico, com dupla macla, com texturas mirmequíticas, pertitzado e sericitizado (até 5mm). Fenocristais de quartzo (até 2,4 mm) anédrico, com inclusões de cristais da matriz. Quartzo da matriz anédrico a subédrico, média 0,4 mm. Plagioclásio anédrico, média 0,5 mm, sericitizado. Riebeckita em pequenos cristais aciculares cloritizados. Pirocloro parcialmente columbitizado anédrico, média 0,2 mm. Thorita disseminada e muito alterada formando ferruginização. Óxidos de ferro disseminados, podendo também ocorrer próximos ou inclusos na clorita. Clorita formando agregados, produto de alteração de mica. Fluorita formando poucos e pequenos agregados cristalinos de coloração roxa. Alteração hidrotermal intensa.

CD 003 – AM04**Profundidade: 146,00-146,10m.**

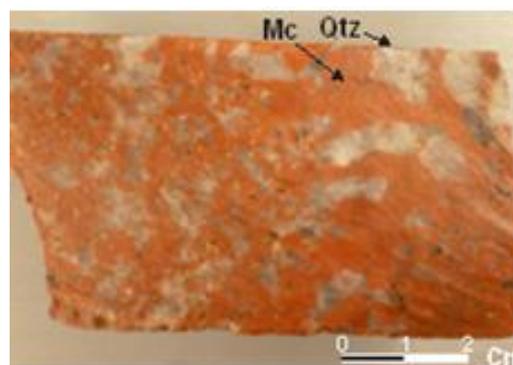
Anfibólio biotita sienogranito.

Microscopia: Rocha inequigranular porfirítica, com fenocristais de K-feldspato (com até 5 mm) e quartzo (até 2,4mm). Matriz quartzo-feldspática (quartzo>>feldspato) fina a média. O K-feldspato é Ortoclásio anédrico (em parte modificado para microclínio), com pertitas e sericitizado, apresentando texturas mirmequíticas. Quartzo dos fenocristais anédrico, com inclusões de minerais da matriz. Quartzo da matriz é anédrico a subédrico (média 0,4mm). Plagioclásio, presente na matriz ou como fenocristais, anédrico a subédrico, média 0,5mm, sericitizado. Riebeckita rara, em pequenos cristais aciculares cloritizados. Biotita em lamelas e agregados cristalinos, parcialmente alterada para clorita. Clorita forma agregados, alguns com habito radial, ocorre como produto de alteração de riebeckita e biotita, substituindo-as completamente em alguns pontos. Zircão euédrico disseminado, bem alterado em alguns cristais, de 0,1 mm a 0,4 mm. Óxidos de ferro amorfs, próximos ou inclusos na clorita.

CD 003 – AM05**Profundidade: 146,80-146,91 m.**

Pegmatito quartzo-feldspático de cor rósea.

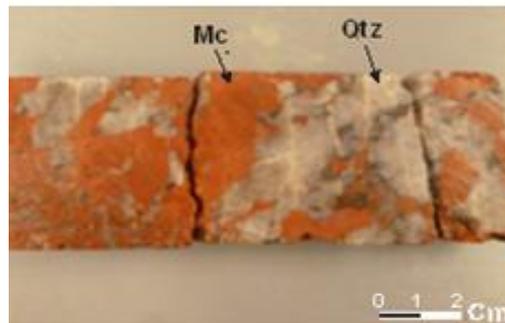
Microscopia: Rocha inequigranular porfirítica, com fenocristais de K-feldspato (até 3.5mm) e de quartzo anédrico (até 10 mm). Matriz de granulação média, com quartzo e feldspato (quartzo<feldspato). O K-feldspato é ortoclásio anédrico, muito sericitizado, com textura mirmequítica – em parte transformado a microclínio. Microclínio presente também em grande quantidade na matriz, média 0,5 mm. O Quartzo dos fenocristais é anédrico, com inclusões de minerais da matriz (parece ser secundário). O Quartzo da matriz é anédrico a subédrico (média 0,1mm). Zircão euédrico a subédrico, disseminado, com fraturas radiais. Clorita forma agregados, alguns com habito radial. Pirita euédrica abundante, disseminada, em parte ocupando o espaço de alteração do zircão. Fluorita disseminada e preenchendo fraturas do zircão. Óxidos de ferro amorfs, próximos ou inclusos na clorita. Alteração hidrotermal intensa.



CD 003 – AM06**Profundidade: 147,00-147,06 m.**

Pegmatito quartzo feldspático de cor rósea, com textura de granulação grossa.

Microscopia: Rocha porfirítica com fenocristais de quartzo (até 15 mm) e de microclínio, matriz quartzo-feldspática (quartzo<feldspato) fina a média. O é K-feldspato predominantemente microclínio, com alguns cristais de ortoclásio anédrico com textura mirmequítica, todos muito sericitizados. Na matriz, há muito microclínio anédrico a subédrico (média 0,2mm). Na matriz há muito quartzo anédrico a subédrico, com média 0,1 mm. O quartzo de tamanho maior (até 15 mm) é anédrico, parece ser secundário pois contém muitas inclusões de minerais da matriz e em alguns pontos substitui completamente minerais máficos, que possuíam clivagens preenchidas por óxido de ferro. Biotita marron-verde, muito cloritizada que, em alguns pontos, está alterada a polithionita. Pirocloro columbitizado raro e disperso. Zircão euédrico a subédrico disseminado, alguns com fraturas radiais. Clorita formando agregados, em parte com habito radial. Pirita disseminada e em grande quantidade ou ocupando o espaço de alteração do zircão. Fluorita em agregados cristalinos de coloração roxa ou ocupando o espaço de alteração do zircão. Óxidos de ferro amorfos, próximos ou inclusos na clorita. Alteração hidrotermal intensa.

**CD 003 – AM06X****Profundidade: 147,55-147,90 m.**

Pegmatito quartzo feldspático de cor rósea, com textura de granulação grossa.

Microscopia: Rocha porfirítica com fenocristais de microclínio e de quartzo, com matriz quartzo-feldspática fina a média. O K-feldspato é de microclínio anédrico muito sericitizado em fenocristais (até 3,0 mm), anédrico a subédrico (média 0,2 mm) na matriz. O Quartzo dos fenocristais (até 8 mm) é anédrico e com inclusões de grãos da matriz. Na matriz, o quartzo é anédrico a subédrico com média 0,1 mm. Biotita, em pequena quantidade, forma agregados e está parcialmente cloritizada em também substituída por fluorita. Quantidade expressiva de pirocloro parcialmente columbitizado, disperso na matriz. Zircão euédrico a subédrico, disseminado, alguns com fraturas radiais. Thorita disseminada e rara. Pirita subédrica dispersa, que parece acompanhar a fluorita. Clorita formando agregados com habito radial. Fluorita em agregados cristalinos de coloração roxa. Óxidos de ferro associados à clorita. Alteração hidrotermal intensa.

CD 003 – AM07**Profundidade: 147,90-147,95.**

Pegmatito quartzo feldspático de cor rósea.

Microscopia: Rocha inequigranular porfirítica com fenocristais de microclínio e de quartzo, matriz quartzo-feldspática (microclínio+albita) fina. O microclínio em fenocristais (até 3,0 mm) é anédrico e sericitizado. Na matriz muito microclínio anédrico a subédrico (média de 0,2 mm). O quartzo dos fenocristais (até 10 mm) é anédrico, com inclusões de minerais da matriz. Na matriz, o quartzo é anédrico a subédrico, com média de 0,1 mm. Biotita forma agregados e está parcialmente alterada para clorita. Clorita forma grande quantidade de agregados, alguns com habito radial e em leque. Ocorre como produto de alteração de biotita, substituindo-a completamente em alguns pontos. zircão euédrico a subédrico, disseminado, alguns cristais com fraturas radiais. Pirocloro parcialmente columbitizado raro. Pequenas quantidades cassiterita zonada, em alguns cristais Mac lada. Thorita disseminada. Pirita: Disseminada e em grande quantidade. Fluorita forma agregados cristalinos de

coloração roxa, dispersos ou ocupando o espaço de alteração do zircão. Óxidos de ferro amorfos, próximos ou inclusos na clorita. Alteração hidrotermal intensa

CD 003 – AM08

Profundidade: 148,27-148,37 m.

Pegmatito transacionando para albita granito de borda (AGB).

Microscopia: Rocha porfirítica, com cristais maiores de quartzo e microclínio em uma matriz com microclínio, quartzo e pouca albita. Os cristais maiores de quartzo (até 10 mm) são anédricos, parecendo ser tardios, com muitas inclusões de minerais da matriz e de agulhas marron avermelhado (óxidos de Fe e de Nb - avaliados em EDS/MEV).



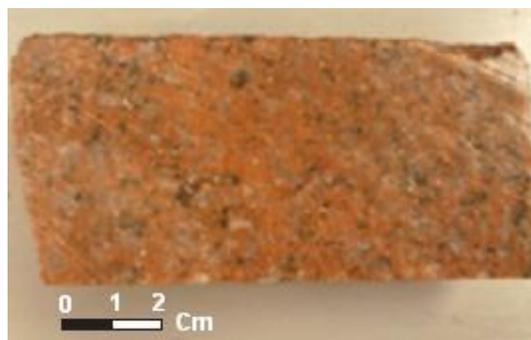
O quartzo primário da matriz é anédrico a subédrico, com média de 0,3 mm. Microclínio anédrico a subédrico, em grande proporção, com média de 0,5 mm. Biotita em agregados ou disseminados, em parte alterada para clorita. Cassiterita disseminada, pequenas quantidades, zonada, até 0,4mm. Clorita ocorre como produto de alteração parcial ou total de biotita, formando em agregados, alguns com habito radial e em leque. Polilithionita disseminada, pequenas quantidades. Zircão euédrico a subédrico, disseminado, que pode estar parcialmente substituído por fluorita. Pirocloro raro, em parte columbitizado. Pirita disseminada e em grande quantidade. Fluorita em agregados cristalinos de coloração roxa. Óxidos de ferro amorfos, próximos ou inclusos na clorita. Alteração hidrotermal intensa.

CD 003 – AM09

Profundidade: 148,70-148,80

Albita granito de borda (AGB), bem na transição com o pegmatito.

Microscopia: Rocha inequigranular porfirítica com fenocristais de albita e quartzo, matriz com microclínio+albita+quartzo média. Microclínio anédrico a subédrico, média 0,5mm na matriz. Albita anédrica, sericitizada, em pequena proporção. Quartzo em fenocristais (até 6 mm) anédricos, com muitas inclusões de grãos da matriz (secundário). Quartzo presente na matriz (primário) é anédrico a subédrico. Riebeckita em raros cristais aciculares e muito cloritizados. Biotita forma agregados e está disseminada, em parte alterada para clorita. Clorita forma agregados, alguns com habito radial e em leque, aparecendo como produto de alteração de biotita e/ou riebeckita, substituindo-as completamente em alguns pontos. Zircão euédrico a subédrico, abundante, disseminado, alguns cristais com fraturas radiais, outros muito pequenos, associados à matriz. Pirita disseminada e em grande quantidade, disseminada ou ocupando o espaço de alteração de outros minerais. Fluorita disseminada intersticial, em agregados cristalinos de coloração roxa, também ocupando o espaço de alteração do zircão. Óxidos de ferro amorfos, próximos ou inclusos na clorita. Alteração hidrotermal intensa.



CD 003 – AM10**Profundidade: 151,98-152,07 m.**

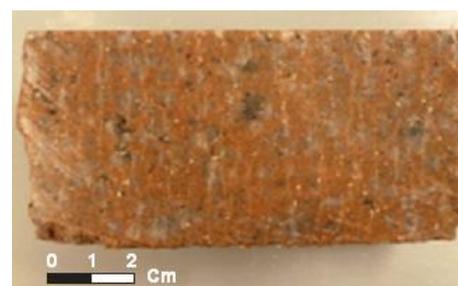
Albita granito de borda (AGB) tradicional.

Microscopia: Granito inequigranular porfirítico com fenocristais de albita e quartzo, matriz fina a média composta por microclínio+albita+ quartzo (quartzo<feldspato). Albita anédrica e sericitizada. Quartzo de fenocristais (até 5 mm), anédrico, com inclusões de minerais da matriz. Quartzo primário de matriz (média 0,3 mm) anédrico a subédrico. Microclínio anédrico a subédrico, na matriz com média de 0,5 mm. Máficos raros e muito alterados - riebeckita e/ou biotita formam agregados em leque, quase totalmente alterados para clorita. Clorita forma agregados, alguns com habito radial e em leque, ocorre como produto de alteração de biotita e/ou riebeckita, substituindo completamente em alguns pontos. Zircão euédrico a subédrico, disseminado na matriz, com média de 0,5 mm. Alguns com fraturas radiais. Pirocloro disperso e muito columbitizado. Cassiterita micro cristalina em pequena quantidade. Pirita disseminada e em grande quantidade, comumente associada a fluorita e clorita. Óxidos de ferro amorfos, próximos ou inclusos na clorita. Alteração hidrotermal intensa.

CD 003 – AM11**Profundidade: 159,63-159,73.**

Albita granito de borda (AGB), com fraturas preenchidas por material argiloso branco.

Microscopia: Granito inequigranular porfirítico, com fenocristais de albita quartzo, matriz quartzo-feldspática (quartzo<feldspato) fina a média. Albita anédrico (até 1,2 mm), sericitiza. Quartzo em grãos maiores (até 4,8 mm), anédrico, com inclusões de minerais da matriz. Quartzo da matriz anédrico a subédrico, média 0,2mm. Microclínio anédrico a subédrico, (média 0,3 mm) na matriz. Riebeckita muito alterada. Biotita formando agregados e leques, muito alterada para clorita. Clorita forma agregados, alguns com habito radial e em leque, em parte como produto de alteração de biotita e/ou riebeckita, substituindo completamente em alguns pontos. Zircão euédrico a subédrico, disseminado, em grandes quantidades. Pirocloro parcialmente columbitizado disseminado. Fluorita abundante, em agregados cristalinos de coloração roxa. Óxidos de ferro dispersos, próximos ou inclusos na clorita. Alteração hidrotermal intensa.

**CD 003 – AM12****Profundidade: 166,52-166,64 m.**

Albita granito de borda (AGB), cloritizado, formando uma rede de produtos de alteração esverdeados claros.

Microscopia: Granito inequigranular porfirítico, com fenocristais de K-feldspato sericitizados e muitos cristais maiores de quartzo. K-feldspato em poucos fenocristais de até 1,2 mm é albita, mas alguns são de microclínio (transformação albita→microclínio), ambos anédricos a subédricos. Microclínio abundante na matriz, com média de 0,3mm. Quartzo em fenocristais anédricos (até 4,8 mm), com inclusões de grãos da matriz. Na matriz, quartzo anédrico a subédrico, média de 0,2mm. Biotita verde-marron (pouca) formando agregados e leques, podendo ser alterada para clorita. Zircão, euédrico a subédrico, de tamanho compatível com a matriz em grandes quantidades, disseminado, alguns n com fraturas radiais. Podendo. Clorita forma agregados, alguns com habito radial e em leque, como produto de



alteração. Fluorita em agregados cristalinos de coloração roxa, alguns ocupando o espaço de alteração do zircão. Óxidos de ferro resquícios, amorfos, próximos ou inclusos na clorita. Alteração hidrotermal intensa.

CD 003 – AM13

Profundidade: 169,35-169,40 m.

Albita granito de borda (AGB) cloritizado.

Microscopia: Granito porfirítico, alguns fenocristais de K-feldspato e muitos cristais maiores de quartzo, com matriz com microclínio+albita+quartzo (quartzo<feldspato) fina a média. Albita anédrica muito sericitizada em poucos fenocristais (até 0,8 mm). Microclínio anédrico a subédrico e sericitizado na matriz, média 0,3 mm. Biotita muito alterada, formando clorita. Zircão euédrico a subédrico, disseminado em grandes quantidades, alguns com fraturas radiais. Cassiterita em pequenas quantidades, disseminada, podendo estar zonada. Polilithionita com fluorita nas clivagens. Fluorita em agregados microcristalinos disseminados, nas clivagens da polilithionita ou ocupando espaço do zircão. Argilomineral, presente em grandes quantidades, associado à fluorita. Óxidos de ferro amorfos, associados ao zircão. Alteração hidrotermal muito intensa, com formação de clorita, sericita e argilominerais.

CD 003 – AM14

Profundidade: 169,62-169,74 m.

Albita granito de borda (AGB) muito alterado - alteração hidrotermal.

Microscopia: Granito porfirítico, matriz com microclínio+albita+quartzo (quartzo<feldspato) fina a média e grãos maiores de quartzo. Albita anédrica muito sericitizada em poucos fenocristais. Quartzo anédrico, com inclusões de grãos da matriz, fraturado (até 5,0 mm). Quartzo anédrico a subédrico, presente na matriz, média 0,2mm. Microclínio, muito sericitizado, na matriz. Biotita muito alterada.

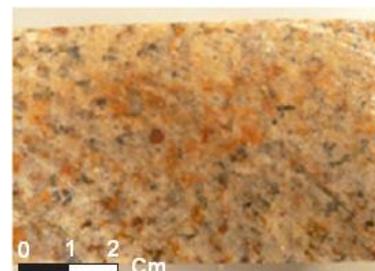
Biotita muito alterada. Polilithionita tardia, com fluorita nas clivagens, muito fragmentada, principalmente próximo à fluorita. Zircão abundante euédrico a subédrico disseminado, alguns cristais com fraturas radiais, podendo estar associado a óxidos. Cassiterita disseminada, zonada em alguns cristais. Pirita disseminada em pequena quantidade. Óxidos de ferro amorfos, próximos ao zircão. Fluorita em grandes quantidades, formando agregados microcristalinos, substituindo as clivagens e alterando a polilithionita ou ocupando espaço de alteração do zircão. A fluorita pode estar associada a argilomineral. Sericita e/ou argilominerais formados pela alteração hidrotermal intensa.

CD 003 – AM15

Profundidade: 171,10-171,21 m.

Albita granito transicional. Alteração hidrotermal intensa. Muitas fraturas, com material ferruginoso.

Microscopia: Granito inequigranular porfirítico, com fenocristais de albita e grãos maiores de quartzo, matriz fina a média quartzo-feldspática, tendo microclínio+albita+quartzo (quartzo<feldspato). Albita anédrica, sericitizada. Quartzo anédrico, (até 5,2 mm), com inclusões de minerais da matriz. Quartzo na matriz anédrico a subédrico, média 0,2 mm. Microclínio: Anédrico a subédrico, média 0,3mm na matriz. Polilithionita em teor significativo, ditribuída entre a matriz e os cristais maiores de quartzo, mas também em alguns pontos está incluída neste quartzo. Em alguns pontos a polilithionita tem as clivagens preenchidas por fluorita e hematita. Cassiterita



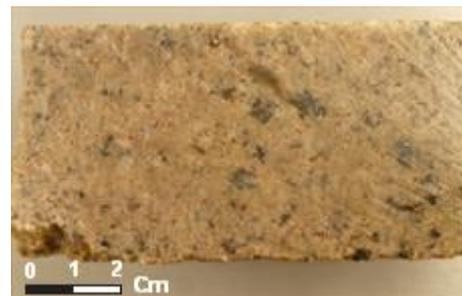
disseminada em pequenas quantidades. Thorita em pequena quantidade. Zircão euédrico a subédrico, disseminado e em grandes quantidades, alguns com fraturas radiais. Pirocloro columbitizado pequeno e disperso. Fluorita preenchendo as clivagens da polilithionita ou ocupando espaço deixado pela alteração do zircão. Óxidos de ferro amorfos, próximos ao zircão e preenchendo as clivagens de polilithionita.

CD 003 – AM16

Profundidade: 175,60-175,69 m.

Albita granito de núcleo (AGN), cinza com alteração hidrotermal intensa.

Microscopia: Granito inequigranular porfírico, com fenocristais de albita e quartzo, matriz fina a média com microclínio+albita+quartzo (quartzo<feldspato). Albita anédrico e muito sericitizada. Quartzo anédrico em fenocristais (até 6 mm), com inclusões de minerais da matriz. Quartzo anédrico a subédrico na matriz, média 0,2mm. Microclínio anédrico a subédrico, na matriz, média 0,3mm. Elevado teor de polilithionita com clivagens preenchidas por hematita. Cassiterita disseminada em pequenas quantidades. Thorita rara e disseminada. Zircão abundante, euédrico a subédrico, disseminado, alguns cristais com fraturas radiais. Criolita intersticial, posterior a matriz, até 2,4 mm. Fluorita preenchendo clivagens de polilithionita e podendo ocupar espaço do zircão. Óxidos de ferro amorfos, próximos ao zircão e preenchendo as clivagens da polilithionita.



CD 003 – AM17

Profundidade: 176,07 m.

Albita granito de núcleo (AGN) típico.

Microscopia: Granito cinza inequigranular porfírico, com fenocristais de albita e quartzo; matriz fina a média com microclínio, albita e quartzo (quartzo<feldspato). Albita anédrica, sericitizada. Quartzo em fenocristais com até 4,8 mm, anédrico, fraturado, com inclusões de minerais da matriz. Quartzo Anédrico a subédrico, presente na matriz, média 0,2mm. Microclínio na matriz, anédrico a subédrico, com média de 0,3mm. Riebeckita prismática com pleocroísmo azul, parcialmente substituída pela peninita. Biotita verde-marron, parcialmente cloritizada. Polilithionita: tardia em relação à biotita, com hematita nas clivagens. Cassiterita: disseminada em pequenas quantidades. Pirocloro columbitizado disseminado. Thorita disseminada em pequena quantidade. Zircão euédrico a subédrico, disseminado e em grande quantidade. Criolita, posterior à matriz, com até 2,4 mm. Óxidos de ferro Amorfos, próximos ao zircão e preenchendo as clivagens da polilithionita.



APÊNDICE D - ANÁLISES QUÍMICAS - ROCHA TOTAL

Análises químicas de rocha total em amostras dos furos de sondagem RS 078, CD 02 e CD 003, realizadas nos laboratórios ACTLABS - Ontário, Canadá.

Analyte	Unit	Detection	Analysis	RS078	RS078	RS078	RS078	RS078	RS078	RS078	CD002	CD002	CD002	CD002	CD002	CD002	CD003	CD003	CD003	CD003	CD003
Symbol	Symbol	Limit	Method	Am06x	Am09	Am10	Am11	Am14	Am17	Am02	Am03	Am04	Am05	Am06	Am08	Am05	Am06	Am06x	Am09	Am11	
Li	ppm	1	TD-ICP	239	695	2070	2760	610	408	211	12	4	16	497	4	5	5	5	8		
F	%	0,01	FUS-ISE	1,3	8,42	8,16	3,55	1,99	6,53	1,36	0,56	0,92	0,05	0,3	1,79	0,16	0,39	0,07	<0,01	0,14	
Sulphide S	%	0,01	Calc	<0,01	<0,01	0,09	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,3	0,17	0,07	0,01
SiO2	%	0,01	FUS-ICP	70,02	49,44	59,22	69,35	70,17	66,34	67,95	72,54	66,6	74,45	70,54	72,49	73,54	76,78	75,56	73,57	71,07	
Al2O3	%	0,01	FUS-ICP	12,79	17,86	13,81	10,03	12,7	12,27	11,18	12,66	12,69	12,48	12,4	11,95	13,4	9,99	11,05	12,05	13,31	
Fe2O3(T)	%	0,01	FUS-ICP	2,35	1,39	4,99	7,26	2,13	4,06	0,34	2,49	4,35	1,14	2,8	2,01	1,49	1,86	2,01	1,97	2,76	
MnO	%	0,001	FUS-ICP	0,038	0,022	0,065	0,12	0,042	0,077	0,01	0,037	0,037	0,022	0,084	0,034	0,029	0,015	0,021	0,046	0,059	
MgO	%	0,01	FUS-ICP	0,02	0,01	0,01	0,02	<0,01	0,01	0,03	0,07	0,05	0,02	0,05	0,02	0,03	0,03	0,04	0,03	0,04	
CaO	%	0,01	FUS-ICP	0,8	0,35	0,87	1,07	0,02	0,03	2,04	1,06	2,22	0,15	0,74	0,01	0,45	0,92	0,2	0,06	0,38	
Na2O	%	0,01	FUS-ICP	4,2	15,25	10,53	4,88	6,27	8,66	5,32	4,68	1,85	2,89	2,61	5,85	4,45	2,13	3,45	2,97	4,45	
K2O	%	0,01	FUS-ICP	5,2	0,4	1,16	1,95	4,34	2,87	1,47	3,97	7,86	6,59	6,49	3,92	4,97	5,71	4,46	5,91	4,79	
TiO2	%	0,001	FUS-ICP	0,006	0,025	0,071	0,108	0,033	0,03	0,036	0,142	0,144	0,015	0,022	0,015	0,014	0,045	0,051	0,034	0,017	
P2O5	%	0,01	FUS-ICP	0,04	2,86	0,31	0,01	<0,01	0,02	0,04	<0,01	0,03	0,02	0,01	0,04	0,02	0,04	0,02	0,04	0,01	0,01
LOI	%		FUS-ICP	2,37	2,66	3,55	2,61	1,92	3,18	1,74	1,09	1,78	0,98	1,16	1,95	0,85	1,16	0,97	0,79	1,07	
Total	%	0,01	FUS-ICP	97,84	90,26	94,6	97,43	97,63	97,54	90,16	98,75	97,58	98,76	96,93	98,26	99,25	98,67	97,85	97,46	97,95	
Sc	ppm	1	FUS-ICP	1	<1	5	4	1	<1	2	<1	<1	1	3	1	1	<1	1	3	3	
Be	ppm	1	FUS-ICP	15	15	17	20	27	15	9	33	43	20	21	55	18	13	15	17	18	
V	ppm	5	FUS-ICP	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	5	13	<5	5	<5	<5	<5	<5	
Ba	ppm	2	FUS-ICP	19	29	13	12	9	12	313	62	56	62	40	7	51	58	48	50	37	
Sr	ppm	2	FUS-ICP	89	296	149	131	39	40	232	41	46	26	34	41	19	26	18	23	20	
Y	ppm	1	FUS-ICP	100	>10000	2457	85	165	201	5160	1689	6214	338	187	132	345	653	535	275	112	
Zr	ppm	2	FUS-ICP	8092	>10000	8252	5097	7824	7301	373	463	3797	7827	2823	7742	5853	4755	5888	7700	7032	
Cr	ppm	20	FUS-MS	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	
Co	ppm	1	FUS-MS	<1	<1	<1	<1	<1	<1	1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	
Ni	ppm	20	FUS-MS	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	
Cu	ppm	10	FUS-MS	<10	<10	50	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	
Zn	ppm	30	FUS-MS	110	280	1460	1990	840	1900	140	510	300	<30	360	1000	50	520	3290	430	520	
Ga	ppm	1	FUS-MS	60	75	56	64	62	57	30	48	65	70	77	58	75	52	60	63	74	
Ge	ppm	1	FUS-MS	7	6	8	12	7	7	4	3	7	6	8	5	4	5	7	6		
As	ppm	5	FUS-MS	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	
Rb	ppm	2	FUS-MS	>1000	891	>1000	>1000	>1000	>1000	674	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	
Nb	ppm	1	FUS-MS	>1000	120	399	>1000	>1000	939	>1000	96	871	596	>1000	>1000	686	709	604	>1000	>1000	
Mo	ppm	2	FUS-MS	<2	3	12	<2	<2	<2	>100	12	13	7	<2	<2	3	<2	2	<2	<2	
Ag	ppm	0,5	FUS-MS							3,3	3,1										
In	ppm	0,2	FUS-MS	0,8	0,5	2,4	4,6	3,1	3,2	>200	1	2,3	0,8	31,1	2,9	0,8	0,5	2	9,6	6,4	
Sn	ppm	1	FUS-MS	129	16	122	421	681	629	>1000	74	102	66	>1000	405	100	77	116	>1000	>1000	
Sb	ppm	0,5	FUS-MS	1	0,7	0,8	0,8	1,3	1,2	2,1	1	1,3	0,8	1	3,7	0,8	1,1	0,9	1,2	0,9	
Cs	ppm	0,5	FUS-MS	16,4	10,6	56,6	321	56,9	60,4	10,9	65,3	31,6	13	36,4	142	7,9	9	7	12	9,7	
La	ppm	0,1	FUS-MS	28	13,7	5,4	24,8	24,4	19,6	144	103	177	109	53,9	18,2	73	29,8	63	37,6	7,6	
Ce	ppm	0,1	FUS-MS	119	102	29,5	98,3	102	84,4	467	277	568	394	212	78,8	271	113	274	146	37,1	
Pr	ppm	0,05	FUS-MS	12,8	25,9	5,57	10,5	11,3	9,73	64,4	31,2	74,3	40,8	23,3	9,14	29,4	14,6	33,9	16	4,61	
Nd	ppm	0,1	FUS-MS	31,1	154	25,9	25,2	28,1	26,2	226	95,3	248	90,2	54,7	23,2	68,6	44,1	97,1	40,4	11,9	
Sm	ppm	0,1	FUS-MS	10,5	195	31,9	8,8	10,1	10,7	117	41,4	137	19,4	18,6	10,2	18,5	25,5	43,2	19,1	6,4	
Eu	ppm	0,05	FUS-MS	0,21	8,76	1,03	0,17	0,21	0,25	2,86	1,03	3,52	0,38	0,36	0,22	0,41	0,81	0,86	0,47	0,17	
Gd	ppm	0,1	FUS-MS	7,6	628	70,2	6,3	9	12,1	151	55,9	218	17,3	16,3	9,6	18,7	34,7	45,3	19,2	6,8	
Tb	ppm	0,1	FUS-MS	3,6	449	49	2,8	4,4	6	71,3	27,4	114	7,5	8,2	4,9	8,4	17,7	19,6	8,5	3,8	
Dy	ppm	0,1	FUS-MS	32,8	>1000	614	22,3	44,3	61,7	681	270	>1000	71,8	74,3	48,6	75,2	175	176	73,8	40,5	
Ho	ppm	0,1	FUS-MS	8,6	>1000	186	5,2	12,1	17,2	170	67,6	286	18,6	17,8	13,1	18,3	38,5	38,3	17,5	11,1	
Er	ppm	0,1	FUS-MS	37,9	>1000	852	21,3	51,8	70,2	615	258	>1000	76,3	68,1	54,3	69,1	127	126	66,4	47,9	
Tm	ppm	0,05	FUS-MS	8,73	>1000	192	4,74	10,8	13,9	109	50,4	190	16,2	13,7	11,5	13,7	20,4	20,9	13,3	10,5	
Yb	ppm	0,1	FUS-MS	70,4	>1000	>1000	39,6	82,9	103	716	365	>1000	130	101	92,4	104	129	134	105	84,2	
Lu	ppm	0,01	FUS-MS	11,9	>1000	231	6,55	13,6	16,5	94,7	52,9	167	21	14,8	14,2	15,5	17,6	18,5	16,3	13,6	
Hf	ppm	0,2	FUS-MS	384	657	421	227	326	327	33,1	19,6	178	390	324	417	227	171	245	767	389	
Ta	ppm	0,1	FUS-MS	166	<0,1	15,4	186	125	107	162	2,5	130	76,4	312	161	90,7	81,6	75,7	215	204	
W	ppm	1	FUS-MS	42	49	25	31	9	7	27	6	31	10	31	9	10	17	15	29	19	
Tl	ppm	0,1	FUS-MS	6,2	1,6	3,6	10,5	11,3	8,9	3,1	8,4	14,2	11,1	14,4	17,7	8,6	9,8	7,2	9,3	7,9	
Pb	ppm	5	FUS-MS	832	293	>10000	996	734	155	499	101	144	176	639	1060	181	207	1020	2840	959	
Bi	ppm	0,4	FUS-MS	3,5	3,6	47,4	5,2	4,7	4,7	4,1	1,2	1,5	0,7	4,1	10,1	0,5	0,7	4,1	18,2	2	
Th	ppm	0,1	FUS-MS	92,4	379	>2000	61,5	378	454	1800	236	195	310								

APÊNDICE E - ANÁLISES QUÍMICAS DA XENOTIMA - MICROSSONDA ELETRÔNICA

Análises químicas da xenotima das amostras RS078-AM09B e RS078-10A, realizadas no laboratório de microsonda eletrônica da Universidade de Brasília.

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
P2O5	29,47605	28,338	30,374	29,38	30,389	29,492	30,921	29,7721	30,101	30,239	29,575	29,794	29,363	29,34	30,351	29,553	29,208	28,806	29,032	29,004
Al2O3	0	0,3989	0	0,0622	0	0	0	0	0	0	0	0,0181	0	0	0	0,2904	0	0	0,6147	0
Y2O3	24,24415	22,266	22,918	21,097	24,026	23,756	19,904	22,852	21,827	23,77	21,522	21,131	20,772	19,83	23,145	24,003	21,295	21,097	21,367	20,616
La2O3	0	0,0226	0	0,0283	0,0136	0	0,0712	0,02599	0	0	0,0384	0,0057	0,0181	0,01	0,0124	0	0	0,0328	0,0079	0
Ce2O3	0,13673	0,0791	0,1333	0,0373	0,0746	0,1718	0,1119	0,01017	0,0814	0,0316	0,165	0,2	0	0,086	0,13	0,0961	0,0814	0,0848	1,0645	0,0859
Pr2O3	0	0	0,0373	0,0599	0	0,1062	0,0339	0,05763	0,0429	0	0,0215	0,0057	0	0	0,1119	0,0757	0,0723	0,0599	0,2667	0
Nd2O3	0,14916	0,0938	0,1605	0,1367	0,1492	0,0712	0,1492	0,15142	0,1797	0,2463	0,1017	0,0915	0,1684	0,116	0,148	0,1017	0,1209	0,1209	0,9198	0,1887
Sm2O3	0,32431	0,0814	0,0158	0,2723	0,3729	0,2565	0,1932	0,22713	0,0791	0,4588	0,1865	0,1514	0,1492	0,252	0,1706	0,1774	0,1582	0,3582	0,4916	0,3209
Eu2O3	0	0,0339	0	0,0576	0,0316	0,0226	0	0	0,026	0	0,0373	0	0	0	0	0,0712	0	0,0475	0,0509	0,0181
Gd2O3	0,74241	0,5481	0,6181	0,6181	0,8532	0,9243	0,7797	0,68139	0,6249	0,939	0,6226	0,5537	0,8147	0,598	0,7187	0,6893	0,6995	0,7639	1,0825	0,7921
Tb2O3	0,48364	0,4045	0,5458	0,5096	0,6079	0,4757	0,4351	0,50963	0,5627	0,6204	0,53	0,5209	0,5548	0,538	0,4192	0,5447	0,3322	0,6498	0,348	0,426
Dy2O3	6,74497	6,7484	7,023	7,0727	7,4105	7,5247	6,7066	6,81277	7,4162	7,3744	7,1393	7,0071	7,6659	6,83	6,5235	7,3348	7,2851	7,1981	6,0952	7,232
Ho2O3	2,15378	2,0566	2,0837	2,2272	2,2442	2,2419	2,1843	2,18203	2,2996	1,93	2,199	2,2916	2,3176	2,144	1,9832	2,0069	2,2092	2,225	1,5278	2,069
Er2O3	9,6502	10,047	10,11	10,595	10,463	10,187	10,005	9,9327	10,997	9,8163	11,255	11,053	11,01	10,43	9,9553	10,28	10,775	10,582	6,5981	10,576
Tm2O3	2,0227	2,4691	2,208	2,4645	2,3459	2,2476	2,2329	2,17864	2,4555	2,0668	2,4849	2,5493	2,4035	2,392	2,1696	2,2058	2,5176	2,4013	1,3345	2,2125
Yb2O3	16,42455	18,222	16,447	17,967	16,015	15,498	16,695	16,4799	17,87	15,299	18,417	18,724	17,265	17,82	17,254	16,675	18,498	17,707	9,6016	16,385
Lu2O3	2,76624	3,0725	2,8058	2,9685	2,6883	2,6747	2,9301	2,84082	3,1098	2,7595	3,0623	3,103	2,9538	2,752	2,8182	2,6114	3,2725	3,0725	1,6114	2,8804
TiO2	0,03842	0,0881	0,2463	0,0384	0	0	0,0701	0,03729	0,0441	0	0	0	0	0,032	0	0,2091	0,1966	0	0,0316	0
FeO	0,03955	0	0	0,0701	0	0	0,1853	0	0	0,1017	0	0,0294	0	0	0	0,0746	0,0802	0	0,1526	0,0429
MnO	0	0	0	0	0	0,0328	0	0,04294	0,1661	0	0,061	0,0667	0,0192	0,069	0	0	0	0	0,1141	0,174
CaO	0,29154	0,0181	0	0	0,0622	0	0	0	0	0,6825	0	0,0384	0,0463	0,286	0	0	0,1424	0	0,0949	0
SrO	0	0	0	0,0034	0	0	0,1119	0,01469	0	0	0,0531	0	0	0	0	0,1175	0	0	6,1099	0,0294
BaO	0	0	0	0	0,0102	0	0,052	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0068	0	0,0079	0,0791	0
ThO2	0,1469	0,2068	0,1017	0,1616	0,1096	0,1627	0,0814	0,09718	0,0701	0,1198	0,0633	0,0429	0,0814	0,125	0,1379	0,0972	0,0859	0,0136	0,1932	0,1887
UO2	0	0,0023	0,0429	0,1085	0	0	0,0316	0,04633	0,1187	0,0475	0,0599	0,113	0	0,032	0	0,0384	0,0893	0,0283	0,0328	0
ZrO2	0,69156	0,6791	0,8498	0,4757	0,8091	0,8373	0,3266	0,47121	0,6192	0,7469	0,5978	0,9469	0,808	0,537	0,2237	0,8859	0,6441	0,7537	0,8306	0,7164
HfO2	0,10396	0	0	0,235	0,1243	0,2972	0,2034	0,05876	0	0	0,0655	0,0915	0,2915	0	0	0,1763	0,1254	0,0655	0,0667	0,0373
Ta2O5	0	0	0,0011	0	0,2622	0,1526	0	0,20679	0	0,1413	0	0,1243	0	0,168	0,1537	0	0,1288	0,0373	0	0,2079
Nb2O5	0	0	0	0	0	0	0	0,16159	0,243	0	0	0	0	0	0	0,148	0	0,1277	0,0915	0
F	2,68714	2,2114	1,4362	1,6995	1,8871	2,9165	1,7798	1,25882	1,7199	1,7956	1,7786	1,5628	1,5199	1,139	1,182	1,6973	1,817	2,0284	10,034	2,3945
O=F	-1,131554654	-0,931	-0,6048	-0,7157	-0,795	-1,228	-0,749	-0,5301	-0,7242	-0,7561	-0,749	-0,6581	-0,64	-0,48	-0,498	-0,7147	-0,765	-0,8541	-4,225	-1,008
TOTAL	98,18640535	97,156	97,554	97,63	100,16	98,821	95,445	96,5799	99,929	98,43	99,288	99,557	97,582	95,04	97,109	99,453	99,069	97,415	95,62	95,589
AMOSTRA	AM09B	AM09B2	AM09B	AM09B	AM09B	AM09B	AM09B	AM09B	AM09B	AM09B	AM10A	AM10A	AM10A	AM10A	AM10A	AM10A	AM10A	AM10A	AM10A	AM10A
PONTO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10