



Universidade Federal do Pará



Faculdade de Geologia



Instituto de Geociências

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

GILVANA LIMA DA SOLEDADE

ESTUDO DE ZIRCÕES DO GRANITO MADEIRA, PROVÍNCIA
ESTANÍFERA DO PITINGA (AM), ATRAVÉS DE MICROSCOPIA
ELETRÔNICA DE VARREDURA, CATODOLUMINESCÊNCIA E
DIFRAÇÃO DE RAIOS-X

GEOCIÊNCIAS
U F P A

BELÉM – PARÁ

JANEIRO - 2010

GILVANA LIMA DA SOLEDADE

ESTUDO DE ZIRCÕES DO GRANITO MADEIRA,
PROVÍNCIA ESTANÍFERA DO PITINGA (AM),
ATRAVÉS DE MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE
VARREDURA, CATODOLUMINESCÊNCIA E
DIFRAÇÃO DE RAIOS-X

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de Geologia da
Universidade Federal do Pará – UFPA, em
cumprimento às exigências para obtenção
do grau de Bacharel em Geologia.
Orientador: Claudio Nery Lamarão

BELÉM
2010

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca Geólogo Raimundo Montenegro Garcia de Montalvão

S685e Soledade, Gilvana Lima da

Estudo de zircões do granito madeira, província estanífera do pitinga (am), através de microscopia eletrônica de varredura, catodoluminescência e difração de raios-x / Gilvana Lima da Soledade; Orientador: Claudio Nery Lamarão – 2010

80 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia) – Faculdade de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, Quarto Período de 2009.

1. Cassiterita. 2. MEV. 3. Zircão. 4. Granito Madeira. 5. Província Pitinga. I. Universidade Federal do Pará. II. Lamarão, Claudio Nery, *orient.* III. Título.

CDD 20º ed.: 553.453098113

GILVANA LIMA DA SOLEDADE

ESTUDO DE ZIRCÕES DO GRANITO MADEIRA,
PROVÍNCIA ESTANÍFERA DO PITINGA (AM),
ATRAVÉS DE MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE
VARREDURA, CATODOLUMINESCÊNCIA E
DIFRAÇÃO DE RAIOS-X

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de Geologia da
Universidade Federal do Pará – UFPA, em
cumprimento às exigências para obtenção
do grau de Bacharel em Geologia.

Data de aprovação: ____/____/____

Conceito: _____

Banca examinadora:

Prof. Claudio Nery Lamarão – Orientador
Doutor em Geoquímica e Petrologia
Universidade Federal do Pará

Prof. Rômulo Simões Angelica
Doutor em Mineralogia e Geoquímica
Universidade Federal do Pará

Professor Membro
Titulação
Instituição

A minha mãe,
pelo seu grande incentivo

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, amigo sempre presente, sem o qual nada teria feito.

A minha mãe e minhas irmãs, que sempre incentivaram meus sonhos e estiveram sempre ao meu lado.

Ao professor Claudio Lamarão pela orientação durante o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Dr. Hilton Túlio Costi (MPEG) pelo apoio incansável nos estudos realizados no MEV/EDS.

Ao geólogo Evandro Klein (CPRM) pela orientação recebida durante muito tempo no curso.

Ao professor Rômulo Simões pelas discussões a respeito dos estudos realizados no Difratorômetro de Raios-X.

Ao professor Vladimir, amigo pra todas as horas.

A bibliotecária Nelma Ribeiro (CPRM) pela sua valiosa ajuda com as normas de formatação.

A toda minha família que, com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa de minha vida.

Ao meu namorado Tiago Veloso, pela grande paciência e dedicação.

Aos grandes amigos, Adeilton, Alan, Albano, Celeste, Cristiane Pereira, Elem, Fabrícia, Gilmar, Gisele dos Anjos, Jana, Leandro, Paulo Sérgio, Valéria, Regina e Walber Wolgrand, pelo incentivo e apoio desde o início.

Aos meus colegas do Grupo de Pesquisa de Granitóides (GPPG).

Aos funcionários do centro de Geociências da UFPA.

RESUMO

O zircão é um mineral acessório freqüente em rochas ígneas intermediárias a félsicas e um dos mais resistentes a processos metamórficos, hidrotermais e ao intemperismo. Sua elevada estabilidade química, associada à presença de elementos-traço característicos em sua estrutura interna, como Hf, Y, Nb, Th e U, podem ser úteis na identificação da natureza de seu magma original e na caracterização de processos de fracionamento magmático. Cristais de zircão de rochas graníticas mineralizadas em estanho apresentam no sentido das fácies mais evoluídas, baixas razões Zr/Hf além de enriquecimento em Y, Th e U que, comparados aos cristais de zircão de rochas graníticas não mineralizadas, sugerem uma participação efetiva de processos de diferenciação magmática ou de alteração hidrotermal de suas rochas hospedeiras por fluidos ricos em flúor em sua gênese. A assinatura geoquímica encontrada em cristais de zircão de granitos estaníferos pertencentes a diferentes províncias do Cráton Amazônico sugere que sua composição pode ser utilizada como guia prospectivo desse tipo de mineralização. O trabalho desenvolvido identificou e caracterizou cristais de zircão e suas fases acessórias (inclusões minerais) presentes nas diferentes fácies do Granito Madeira, Província Pitinga, por meio de imagens de elétrons retroespalhados e catodoluminescência e por análises químicas semiquantitativas obtidas por EDS (*Energy Dispersive Spectrometry*) e difração de Raios-X. As características morfológicas, a quantidade e o tipo de inclusões minerais e a composição química obtida nos cristais de zircão pertencentes às rochas encaixantes não mineralizadas diferem significativamente das observadas nos cristais de zircão do albita-granito mineralizado em estanho, indicando que a metodologia utilizada, apesar de semiquantitativa, pode ser uma ferramenta útil na avaliação preliminar do potencial estanífero de rochas granitóides.

Palavras-Chave: Cassiterita. MEV. Zircão. Granito Madeira. Província Pitinga.

ABSTRACT

Zircon is a very common accessory mineral in intermediate to felsic igneous rocks and one of the most resistant mineral to metamorphic, hydrothermal and weathering processes. It's high chemical stability, associated with the presence of characteristic trace elements in their internal structure, such as Hf, Y, Nb, Th, and U, may be useful in identifying the nature of its original magma and in the characterization of magmatic fractionation processes. Zircon crystals of tin-granites have low Zr/Hf ratios, and are enriched in Y, Th and U towards the more evolved facies. When compared to zircons of no tin-mineralized granitic rocks suggest an effective participation of magmatic differentiation or hydrothermal alteration of their host rocks by F-rich fluids in their genesis. The geochemical signature found in zircon crystals of tin-specialized granites from different provinces of the Amazonian Craton shows that zircon composition can be used as a prospective guide for such type of mineralization. This work identified and characterized zircon crystals and accessory phases (mineral inclusions) found in different facies of the Madeira Granite, Pitinga Province, using backscattered electron (BSE) and cathodoluminescence images, and semi-quantitative chemical analysis using a scanning electron microscope (SEM) coupled with an EDS (Energy Dispersive Spectrometry), and X-ray diffractometry (XRD). The morphological characteristics, the amount and type of mineral inclusions, and the chemical composition of zircon crystals belonging to the wallrock rocks differ significantly from those characteristics found in zircon crystals from the mineralized facies of the albite granite, indicating that although semi-quantitative, the used methodology can be a useful tool for the preliminary assessment of the potential of tin-granites.

Key words: Tin. MEV. Zircon. Madeira Granite. Pitinga Province.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 01	Mapa de localização da Província Estanífera de Pitinga.....	15
FIGURA 02	Mapa geológico esquemático da região da Mina Pitinga.....	17
FIGURA 03	Mapa geológico esquemático do Granito Madeira e suas fácies distintas.....	19
FIGURA 04	Mapa geológico esquemático do albita-granito e suas encaixantes.....	22
FIGURA 05	Sistema automático de metalização das amostras. Modelo EMITECH – K550XR®	26
FIGURA 06	Monocristais de zircão pertencentes à fácies albita-granito.....	26
FIGURA 07	(A) Gral de ágata para pulverização das amostras. (B) Partes constituintes do porta-amostra de Si. (C) Porta-amostra de Si montado, contendo os cristais pulverizados.....	27
FIGURA 08	(A) MEV LEO-ZEISS modelo 1430®. (B) Sistema de catodoluminescência Mono CL® acoplado ao MEV.....	28
FIGURA 09	Difratômetro de raios-X modelo X PERT PRO MPD (PW 3040/60) da PANAnalytica.....	29
FIGURA 10	Imagens de CL de cristais de zircão dos ABSG.....	32
FIGURA 11	Imagens de CL de cristais de zircão dos BFAG.....	33
FIGURA 12	Imagens de CL de cristais de zircão dos FAGPH.....	34
FIGURA 13	Imagens de BSE e CL de cristais de zircão dos ABGb.....	36
FIGURA 14	Imagens de BSE e CL de cristais de zircão dos ABGn.....	38
FIGURA 15	Imagens de BSE das inclusões minerais nos cristais de zircão do ABSG.....	40
FIGURA 16	Imagens de BSE das inclusões minerais nos cristais de zircão do BFAG.....	41

FIGURA 17	Imagens de BSE das inclusões minerais nos cristais de zircão do FAGPH.....	42
FIGURA 18	Imagens de BSE das inclusões minerais nos cristais de zircão do ABGb.....	43
FIGURA 19	Imagens de BSE das inclusões minerais nos cristais de zircão do ABGn.....	44
FIGURA 20	Difratogramas exibindo o grau de cristalinidade dos zircões do ABGb e ABGn e a caracterização dos minerais acessórios presentes como inclusões.....	46
FIGURA 21	Detalhe do difratograma dos zircões do ABGn.....	46
FIGURA 22	Padrão de difratograma exibindo os estágios da desestruturação da estrutura cristalina de um mineral.....	47
FIGURA 23A	Diagrama ternário Hf-Ta-Nb comparativo para os zircões das rochas encaixantes vs. dos ABGb (análise nas bordas dos cristais).....	49
FIGURA 23B	Diagrama ternário Hf-Th-U comparativo para os zircões das rochas encaixantes vs. dos ABGb (análise nas bordas dos cristais).....	49
FIGURA 23C	Diagrama binário Zr/Hf vs. Hf+Th+Nb+U comparativo para os zircões das rochas encaixantes vs. dos ABGb (análise nas bordas dos cristais).....	50
FIGURA 23D	Diagrama binário Zr/Hf vs. Hf+Th+Nb+U comparativo para os zircões das rochas encaixantes vs. dos ABGb (análise nos núcleos dos cristais).....	51
FIGURA 24A	Diagrama ternário Hf-Ta-Nb comparativo para os zircões das rochas encaixantes vs. dos ABGn (análise nas bordas dos cristais).....	52
FIGURA 24B	Diagrama ternário Hf-Th-U comparativo para os zircões das rochas encaixantes vs. dos ABGn (análise nas bordas dos cristais).....	52
FIGURA 24C	Diagrama binário Zr/Hf vs. Hf+Th+Nb+U comparativo para os zircões das rochas encaixantes vs. dos ABGn (análise nas bordas dos cristais).....	52
FIGURA 24D	Diagrama ternário Hf-Ta-Nb comparativo para os zircões das rochas encaixantes vs. dos ABGn (análise nos núcleos dos cristais).....	54

FIGURA 24E	Diagrama ternário Hf-Th-U comparativo para os zircões das rochas encaixantes vs. dos ABGn (análise nos núcleos dos cristais).....	54
FIGURA 24F	Diagrama binário Zr/Hf vs. Hf+Th+Nb+U comparativo para os zircões das rochas encaixantes vs. dos ABGn (análise nos núcleos dos cristais).....	54
FIGURA 25A	Diagrama ternário Hf-Ta-Nb comparativo para os zircões dos ABGb vs. dos ABGn (análise nas bordas dos cristais).....	55
FIGURA 25B	Diagrama ternário Hf-Th-U comparativo para os zircões dos ABGb vs. dos ABGn (análise nas bordas dos cristais).....	55
FIGURA 25C	Diagrama binário Zr/Hf vs. Hf+Th+Nb+U comparativo para os zircões dos ABGb vs. dos ABGn (análise nas bordas dos cristais).....	55
FIGURA 25D	Diagrama ternário Hf-Ta-Nb comparativo para os zircões dos ABGb vs. dos ABGn (análise nos núcleos dos cristais).....	56
FIGURA 25E	Diagrama ternário Hf-Th-U comparativo para os zircões dos ABGb vs. dos ABGn (análise nos núcleos dos cristais).....	56
FIGURA 25F	Diagrama binário Zr/Hf vs. Hf+Th+Nb+U comparativo para os zircões dos ABGb vs. dos ABGn (análise nos núcleos dos cristais).....	57

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	APRESENTAÇÃO.....	14
1.2	LOCALIZAÇÃO.....	15
2	GEOLOGIA REGIONAL E CONTEXTO GEOTECTÔNICO	16
3	GEOLOGIA DA MINA PITINGA	18
4	GRANITO MADEIRA: ESTUDOS ANTERIORES	19
4.1	ANFIBÓLIO-BIOTITA-SIENOGANITO (ABSG).....	20
4.2	BIOTITA-FELDSPATO ALCALINO GRANITO (BFAG).....	20
4.3	FELDSPATO ALCALINO-GRANITO PORFIRÍTICO HIPERSOLVUS (FAGPH).....	20
4.4	ALBITA-GRANITO (AG).....	21
5	JUSTIFICATIVA DA ABORDAGEM	23
6	OBJETIVOS	24
7	MATERIAIS E MÉTODOS	25
7.1	PESQUISA BIBLIOGRÁFICA.....	25
7.2	PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS.....	25
7.3	DETERMINAÇÃO DA TEXTURA INTERNA E PADRÕES DE ZONEAMENTOS.....	27
7.4	CARACTERIZAÇÃO DOS MINERAIS ACESSÓRIOS PRESENTES COMO INCLUSÕES MINERAIS.....	28
7.5	AVALIAÇÃO DO GRAU DE CRISTALINIDADE DOS CRISTAIS DE ZIRCÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS INCLUSÕES.....	30
7.6	CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA.....	30
8	RESULTADOS	31
8.1	DETERMINAÇÃO DA TEXTURA INTERNA E PADRÕES DE ZONEAMENTOS.....	31
8.1.1	Anfibólio-biotita sienogranito (ABSG)	31
8.1.2	Biotita-feldspato alcalino granito (BFAG)	32
8.1.3	Feldspato alcalino-granito porfirítico hipersolvus (FAGPH)	34
8.1.4	Albita-granito de borda (ABGb)	35
8.1.5	Albita-granito de núcleo (ABGn)	37

8.2	CARACTERIZAÇÃO DOS MINERAIS ACESSÓRIOS PRESENTES COMO INCLUSÕES MINERAIS.....	39
8.2.1	Anfibólio-biotita-sienogranito (ABSG)	39
8.2.2	Biotita-feldspato alcalino granito (BFAG)	40
8.2.3	Feldspato alcalino-granito porfirítico hipersolvus (FAGPH)	41
8.2.4	Albita-granito de borda (ABGb)	42
8.2.5	Albita-granito de núcleo (ABGn)	43
8.3	AVALIAÇÃO DO GRAU DE CRISTALINIDADE DOS CRISTAIS DE ZIRCÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS INCLUSÕES.....	44
8.4	CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA.....	47
8.4.1	Estudo geoquímico comparativo entre os zircões das rochas encaixantes e do ABGb e ABGn	49
8.4.1.1	Rochas encaixantes vs. ABGb (análises químicas pontuais realizadas nas bordas e nos núcleos dos cristais de zircão).....	49
8.4.1.2	Rochas encaixantes vs ABGn (análises químicas pontuais realizadas nas bordas e nos núcleos dos cristais de zircão).....	51
8.4.2	Estudo geoquímico comparativo entre os zircões do ABGb e do ABGn	54
8.4.2.1	ABGb vs. ABGn (análises químicas pontuais realizadas nas bordas e nos núcleos dos cristais de zircão).....	54
9	DISCUSSÃO E CONCLUSÕES	58
	REFERÊNCIAS	61
	OBRAS CONSULTADAS	64
	ANEXOS	65
	ANEXO A – ANÁLISES SEMIQUANTITATIVAS POR EDS-MEV DAS INCLUSÕES MINERAIS NO ABSG	66
	ANEXO B – ANÁLISES SEMIQUANTITATIVAS POR EDS-MEV DAS FASES INCLUSÕES MINERAIS NO BFAG	66
	ANEXO C – ANÁLISES SEMIQUANTITATIVAS POR EDS-MEV DAS INCLUSÕES MINERAIS NO FAGPH	67
	ANEXO D – ANÁLISES SEMIQUANTITATIVAS POR EDS-MEV DAS INCLUSÕES MINERAIS NO ABGb	68

ANEXO E – ANÁLISES SEMIQUANTITATIVAS POR EDS-MEV DAS INCLUSÕES MINERAIS ABGn.....	68
ANEXO F – ANÁLISES SEMIQUANTITATIVAS POR EDS-MEV NOS CRISTAIS DE ZIRCÃO DO ABSG.....	69
ANEXO G – ANÁLISES SEMIQUANTITATIVAS POR EDS-MEV NOS CRISTAIS DE ZIRCÃO DO BFAG.....	70
ANEXO H – ANÁLISES SEMIQUANTITATIVAS POR EDS-MEV NOS CRISTAIS DE ZIRCÃO DO FAGPH.....	71
ANEXO I – ANÁLISES SEMIQUANTITATIVAS POR EDS-MEV NOS CRISTAIS DE ZIRCÃO DO ABGb.....	73
ANEXO J – ANÁLISES SEMIQUANTITATIVAS POR EDS-MEV NOS CRISTAIS DE ZIRCÃO DO ABGn.....	75
ANEXO L – IMAGENS DE CL DE CRISTAIS DE ZIRCÃO DO ABSG...	76
ANEXO M – IMAGENS DE CL DE CRISTAIS DE ZIRCÃO DO BFAG..	77
ANEXO N – IMAGENS DE CL DE CRISTAIS DE ZIRCÃO DO FAGPH.....	78
ANEXO O – IMAGENS DE BSE DE CRISTAIS DE ZIRCÃO DO ABGb.....	79
ANEXO P – IMAGENS DE BSE DE CRISTAIS DE ZIRCÃO DO ABGn.....	80

1 INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

O zircão é um mineral comum em rochas ígneas intermediárias a félsicas e um dos mais resistentes a processos metamórficos, hidrotermais e ao intemperismo. Sua elevada estabilidade química, associada à presença de elementos-traço característicos em sua estrutura interna, como Hf, Y, Nb, Th e U, podem ser úteis na identificação da natureza de seu magma original e na caracterização de processos de fracionamento magmático, proveniência e na caracterização de granitos especializados (BELOUSOVA; GRIFFIN, 2002; KEMP et al., 2004; LAMARÃO et al., 2007; MURALI et al., 1983; UHER et al., 1998; PUPIN, 1980, 2000; WANG et al., 2000,).

Zircões de rochas graníticas com teores anômalos de Hf são típicos de granitos evoluídos enriquecidos em metais raros (Sn, Mo, Ta, W, Li) e sua ocorrência seria indicativa da passagem de granitos para pegmatitos a metais raros (KEMPE et al., 1997, WANG et al., 2000). Em decorrência do conteúdo elevado de Hf, tais zircões mostram baixas razões Zr/Hf, além de um enriquecimento freqüente em Th, Y e U, no sentido de fácies mais evoluídas do corpo, quando comparados a zircões de rochas graníticas não mineralizadas, sugerindo uma participação efetiva da diferenciação magmática nesse processo (LAMARÃO et al., 2007). A assinatura geoquímica característica encontrada em zircões de granitos estaníferos pertencentes à Província Estanífera de Pitinga (SOLEDADE et al., 2007) mostra que sua composição pode ser utilizada como guia prospectivo desse tipo de mineralização.

Imagens obtidas por elétrons retroespalhados em Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) e catodoluminescência, somada as análises semiquantitativas por EDS (*Energy Dispersive Spectrometry*), e os estudos pela difração de Raios-X, permitiram a identificação de grupos de cristais de zircão com características morfológicas e geoquímicas distintas, bem como as diversas inclusões minerais presentes nos cristais de zircão pertencentes as diferentes fácies do granito Madeira, Província Estanífera de Pitinga, Manaus.

1.2 LOCALIZAÇÃO

A província Estanífera de Pitinga localiza-se na porção norte do estado do Amazonas (Figura 1), próximo à divisa com o estado de Roraima, mais precisamente a 300 km ao norte de Manaus (FEIO, 2005).

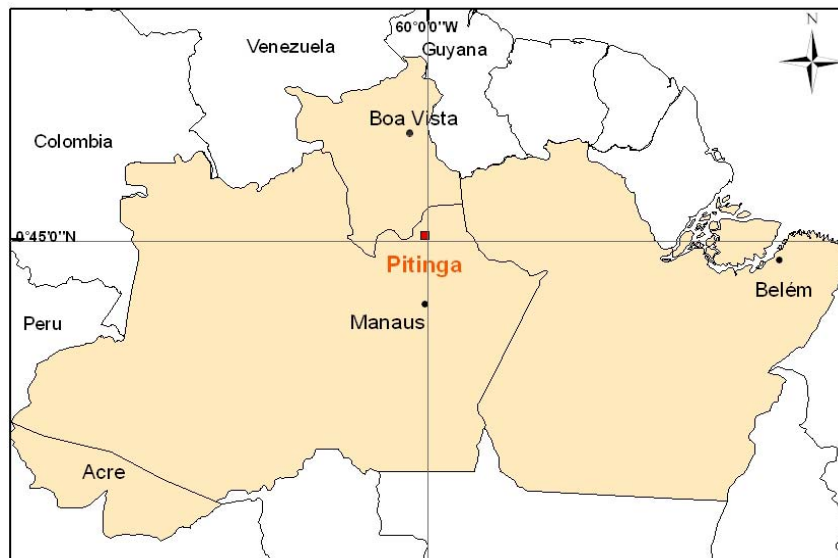


Figura 1: Mapa de localização da Província Estanífera de Pitinga.

2 GEOLOGIA REGIONAL E CONTEXTO GEOTECTÔNICO

A Província Estanífera de Pitinga está inserida na porção sul do Escudo das Guianas (COSTI; BORGES; DALL'AGNOL, 2005), no limite entre as Províncias Geocronológicas Amazônia Central, a leste, e Ventuari-Tapajós (TASSINARI; MACAMBIRA, 1999) ou Tapajós-Parima, a oeste, (SANTOS et al., 2000a). Dados geocronológicos disponíveis apontam para a evolução da região iniciando no Paleoproterozóico, relacionada ao ciclo Transamazônico (2100 ± 100 Ma) e se estendendo até o Mesoproterozóico. O contexto tectônico em que se deu a formação das rochas mais antigas da região é pobremente conhecido, demonstrando que hipóteses relativas ao contexto tectônico desta área permanecem algo especulativas. A unidade litológica mais antiga nesta Província, denominada Suíte Intrusiva Água Branca (Figura 2), apresenta idade Pb-Pb em zircão de 1898 ± 3 Ma (VALÉRIO; SOUZA; MACAMBIRA, 2009) e possui fácies com hornblenda (dioritos, tonalitos, granodioritos e monzogranitos) e fácies com biotita (granodioritos e monzogranitos) (OLIVEIRA et al., 1996). A Suíte Intrusiva Água Branca ocorre em contato com rochas vulcânicas (riolitos, riodacitos e quartzo-traquitos) do Grupo Iricoumé, com idade obtida por Pb-Pb em zircão de 1888 ± 3 Ma (COSTI et al., 2000). O Grupo Iricoumé, juntamente com a Suíte Intrusiva Mapuera, forma o Supergrupo Uatumã, que é a unidade de maior distribuição na área da mina Pitinga. A Suíte Mapuera (VEIGA JR. et al., 1979), na região da mina Pitinga, é representada por sienogranitos e subordinadamente monzogranitos. Santos et al. (2002b) apresentam idade U-Pb de 1871 ± 5 Ma para o granito Abonari, unidade relacionada à Suíte Mapuera. Dentro da área da mina Pitinga, Ferron et al. (2006), dataram plutons da Suíte Mapuera, obtendo idades próximas de 1,88 Ga para eles. Os plutons Madeira (1824 ± 2 Ma, COSTI et al., 2000), Água Boa (1815 ± 10 Ma a 1798 ± 10 Ma, LENHARO, 1998) e Europa (1829 ± 2 Ma, COSTI et al., 2000), ocorrentes na Mina Pitinga, estão agrupados na Suíte Madeira. Estes corpos graníticos intrudem as rochas vulcânicas do Grupo Iricoumé. As unidades estratigráficas seguintes compreendem sedimentos clásticos e rochas piroclásticas da Formação Urupi, um conjunto de sills toleióticos e diques da Formação Quarenta Ilhas, com idade de 1780 ± 3 Ma (SANTOS et al., 2002). Diabásios e basaltos alcalinos da

Formação Seringa, com idade em torno de 1100 Ma (VEIGA JR. et al., 1979), são as rochas magmáticas mais jovens identificadas nesta área.

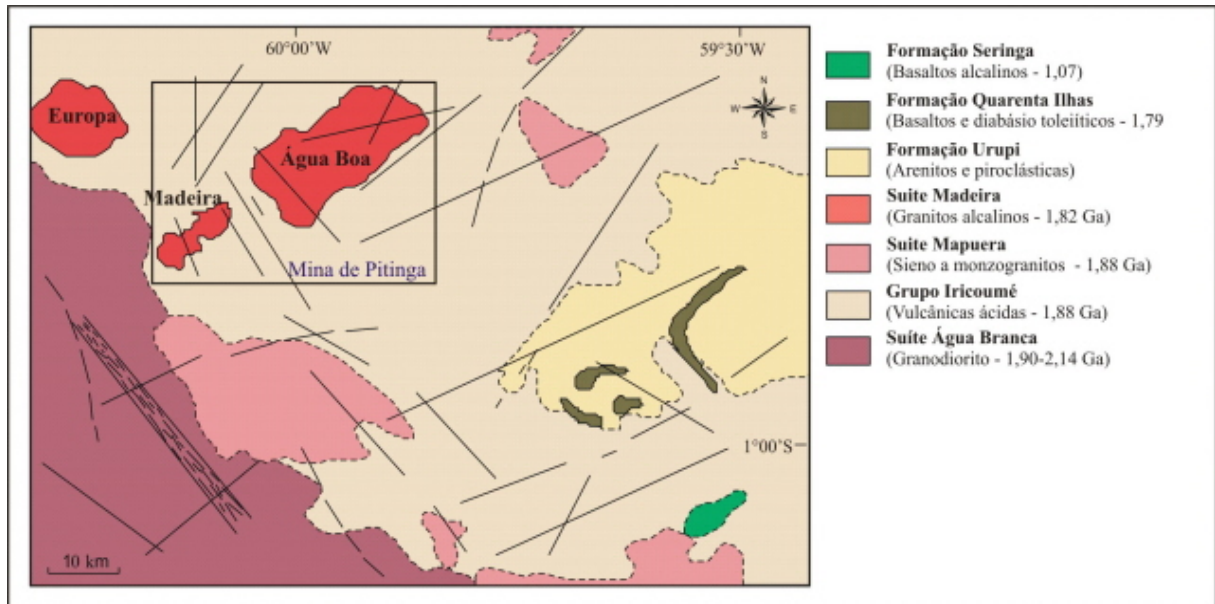


Figura 2: Mapa geológico esquemático da região da Mina Pitinga
 Fonte: modificado de Costi, Dall'agnol e Moura (2000).

3 GEOLOGIA DA MINA PITINGA

A geologia da Mina Pitinga (Figura 2) é formada predominantemente por rochas vulcânicas e plutônicas do Supergrupo Uatumã e por granitos anorogênicos da Suíte Madeira. Na Suíte Madeira estão incluídos três corpos graníticos alcalinos. O de maior extensão superficial é o Granito Água Boa, seguido pelos Granitos Madeira e Europa (Figura 2). O Granito Europa é um batólito semicircular constituído por feldspato alcalino-granito contendo biotita e riebeckita. Não foram encontradas mineralizações de Sn associadas a este granito, ao contrário dos granitos Água Boa e Madeira que apresentam mineralizações primárias de Sn (BORGES, 1997, COSTI et al., 2002, DAOUD, 1988, DAOUD; ANTONIETTO JR., 1985, DAOUD; FUCK, 1990, HORBE et al., 1985, 1991, COSTI; BORGES; DALL'AGNOL, 2005). No Granito Madeira a mineralização primária em Sn ocorre disseminada na fácies albita-granito, enquanto no Granito Água Boa a mineralização relaciona-se a greisens e epissienitos sódicos (COSTI; BORGES; DALL'AGNOL, 2005).

O Granito Madeira, separado do Granito Água Boa por uma falha de extensão regional de direção NW-SE (COSTI, 2000), contém quatro fácies distintas, com a mais precoce constituída por anfibólio-biotita-sienogranito (ABSG), ocorrendo ao longo das bordas noroeste, nordeste e sudeste do stock. A fácies seguinte é um biotita-feldspato alcalino-granito (BFAG), que é intrusivo no ABSG. Em seguida, ocorre uma rocha porfírica de coloração róseo-avermelhada, sendo classificada como feldspato-alcalino-granito hipersolvus porfírico (FAGPH). A última fase do Granito Madeira é o albita granito, uma rocha fortemente mineralizada em metais raros, que ocupa a parte central do pluton (COSTI; BORGES; DALL'AGNOL, 2005). Horbe et al. (1991) dividem o albita granito em duas subfácies, devido a diferenças petrográficas, geoquímicas e metalogenéticas observadas. A primeira, denominada de albita-granito de núcleo (ABGn), é a fácies dominante, e a segunda de albita-granito de borda (ABGb).

4 GRANITO MADEIRA: ESTUDOS ANTERIORES

O Granito Madeira é um stock alongado no sentido nordeste (Figura 3), de idade proterozóica (COSTI; BORGES; DALL'AGNOL, 2005). É intrusivo em rochas vulcânicas do Grupo Iricoumé (1888 ±3Ma) e classificado geoquimicamente como tipo A, intraplaca, anorogênico (COSTI et al., 2000). É formado por quatro fácies, sendo a fácies precoce classificada como anfibólio-biotita-sienogranito (ABSG) (COSTI et al., 2000). Esta fácies é cortada por um biotita-feldspato alcalino granito (BFAG). Essas duas fácies são intrudidas por um stock de cerca de 2 km de diâmetro, que é composto por outras duas fácies classificadas como feldspato alcalino-granito porfíritico hipersolvus (FAGPH) e albita-granito (FERRON et al., 2006). O albita-granito é dividido em subfácies de núcleo e subfácies de borda (CARVALHO FILHO et al., 1984; COSTI; BORGES; DALL'AGNOL, 2005).

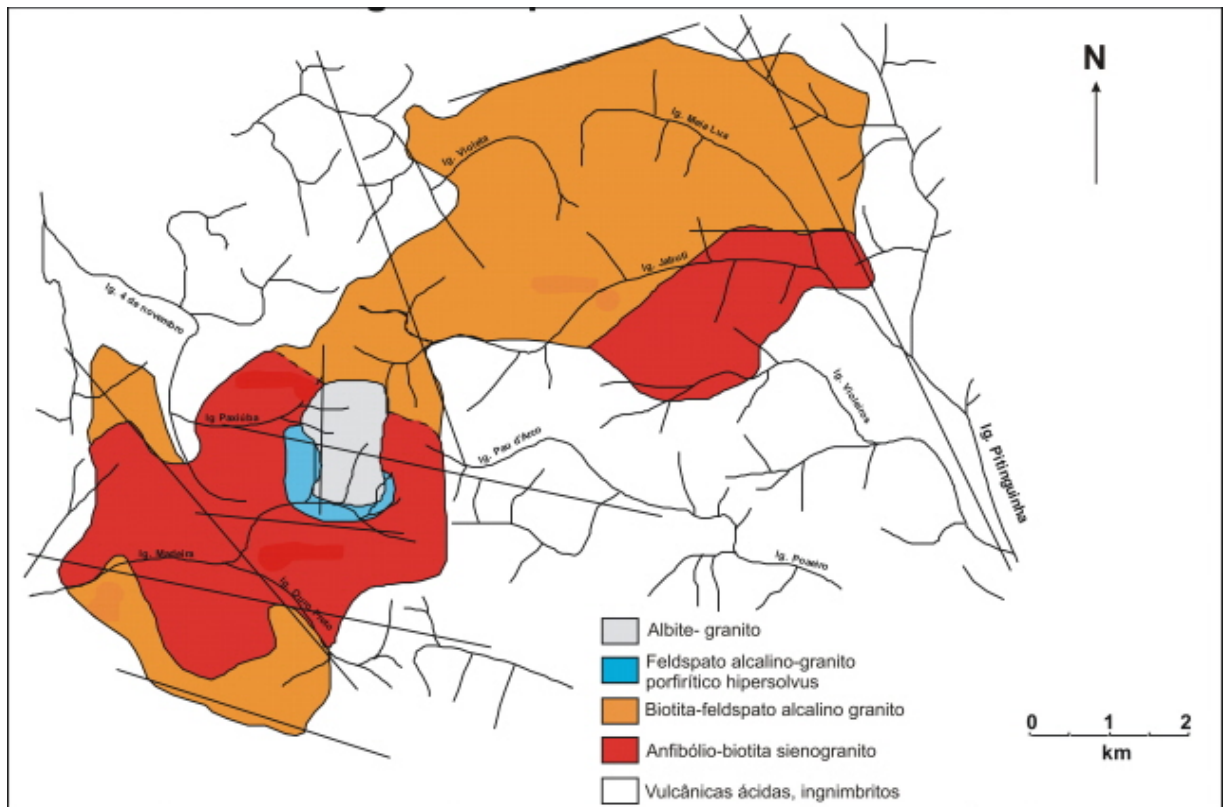


Figura 3: Mapa geológico esquemático do Granito Madeira e suas fácies distintas
Fonte: Modificado de Costi (2000).

4.1 ANFIBÓLIO-BIOTITA-SIENOGRANITO (ABSG)

Trata-se da fácies geoquimicamente menos evoluída, designada como fácies Rapakivi. São rochas de colorações em tons de castanho avermelhado escuro com manchas pretas ou verdes escuro, estruturalmente isótropas com texturas que variam de porfirítica a seriada e localmente mostrando cristais de feldspato potássico envoltos por mantos descontínuos de plagioclásio sódico (textura rapakivi). São compostas essencialmente por feldspato potássico, quartzo e plagioclásio, contendo ainda biotita, hornblenda, zircão, fluorita e opacos como acessórios. Comumente apresentam enclaves de composição granítica (COSTI, 2000).

4.2 BIOTITA-FELDSPATO ALCALINO GRANITO (BFAG)

Está fácies é descrita por Costi; Borges; Dall'agnol, 2005 como uma rocha leucocrática, isótropa de aspecto maciço. Sua textura granular varia de média ou grossa, com tipos porfiríticos subordinados. É composta essencialmente por feldspato potássico peritítico e quartzo, com teores modais nulos ou reduzidos de plagioclásio, tendo biotita como único varietal e albita, fluorita, opacos, zircão, topázio e anatásio como fases acessórias. Temporalmente o BFAG é intrusivo na fácies ABSG.

4.3 FELDSPATO ALCALINO-GRANITO PORFIRÍTICO HIPERSOLVUS (FAGPH)

Esta rocha é considerada por Costi (2000), como a fácies mais tardia do pluton Madeira, não sendo observadas relações de contato com as fácies precedentes, mas ocorre interdigitada com a fácies albita granito. Apresenta cor cinza claro a cinza rosado claro com pontuações pretas. Sua textura é porfirítica exibindo fenocristais de feldspato potássico de granulação média ou grossa e matriz de granulação fina ou média. Sua composição modal é formada essencialmente por

feldspato potássico perítico e quartzo, com proporções acessórias de biotita, fluorita, opacos e zircão. O plagioclásio presente resume-se à albita, que ocorre em forma de pertitas ou intergranular, de origem tardia.

4.4 ALBITA-GRANITO (AG)

O AG é dividido em duas subfácies denominadas albita-granito de núcleo, magmática e portadora de criolita, e albita-granito de borda, formado por autometassomatismo a partir da subfácies de núcleo, contendo fluorita (COSTI et al., 2000). Suas principais características petrográficas estão sintetizadas na Tabela 1 (COSTI; BORGES; DALL'AGNOL, 2005).

Tabela 1- Características mineralógicas e texturais das subfácies do albita-granito.

	Albita-granito de núcleo (ABGn)	Albita-granito de borda (ABGb)
Coloração	Cor cinza com pontuações e manchas pretas quando são; cinza clara com tons amarelados nas proximidades de contatos.	Marrom avermelhada escura quando são; vermelho escuro com manchas pretas quando moderadamente alterada.
Textura	Equigranular grossa ou média; seriada ou porfírica; isótropa.	Equigranular grossa ou média; seriada ou porfírica; isótropa.
Fases essenciais	K-feldspato, albita, quartzo. O teor de feldspatos+quartzo varia entre 76 e 92%.	Quartzo, K-feldspato, albita. A proporção de feldspatos+quartzo varia entre 87 e 98%.
Fases varietais e principais acessórias	Criolita, zircão, polilitonita, mica escura, pirocloro, opacos, riebeckita.	Cassiterita, fluorita, zircão, hematita, cloritas, columbita, opacos, xenotímio.
Fases acessórias subordinadas	Carbonatos, cassiterita, esfalerita, egirina, catapleita, ghentelvita, prosopita, thomsenolita e outros aluminofluoretos.	Carbonatos, galena, esfalerita, catapleita.
Aspecto microscópico	Seções com aspecto límpido; texturas ígneas de fluxo e "snowball" são muito frequentes; fenocristais de quartzo euédricos a subédricos.	Intensa pigmentação por óxidos de ferro em todas as fases, sobrecrescimentos em fenocristais de quartzo; desequilíbrio da Ab; desestabilização de fases peralcalinas do ABGn.

Fonte: Costi, Borges e Dall'agnol (2005)

O albita-granito de núcleo é a fácies predominante (Figura 4). Sua coloração cinza com pontuações e manchas pretas, quando são, e cinza clara com tons amarelados quando alterada. Apresenta textura equigranular grossa ou média,

seriada ou porfírica. É composta essencialmente por albita, quartzo, feldspato potássico e, subordinadamente por, criolita, zircão, polilitionita, riebeckita e pirocloro, mica escura rica em Fe, cassiterita e magnetita. Apresenta teores elevados de flúor, revelados por seu expressivo conteúdo modal de criolita. As fases acessórias são carbonatos, cassiterita, esfalerita, egirina.

O albita-granito de borda (Figura 4), que ocorre ao longo dos contatos com as rochas encaixantes, exibe coloração marrom avermelhado escura, quando são, e vermelho escuro com manchas pretas quando moderadamente alterado. Sua textura é equigranular grossa ou média, seriada ou porfírica. É composto essencialmente por quartzo, feldspato potássico e albita, com proporções acessórias de fluorita, zircão, clorita, cassiterita, hematita, columbita, opacos e xenotímio.

Ambas subfácies têm grande importância metalogenética, por conterem mineralização disseminada, principalmente de estanho, mas também de nióbio e tântalo (COSTI et al., 2000a).

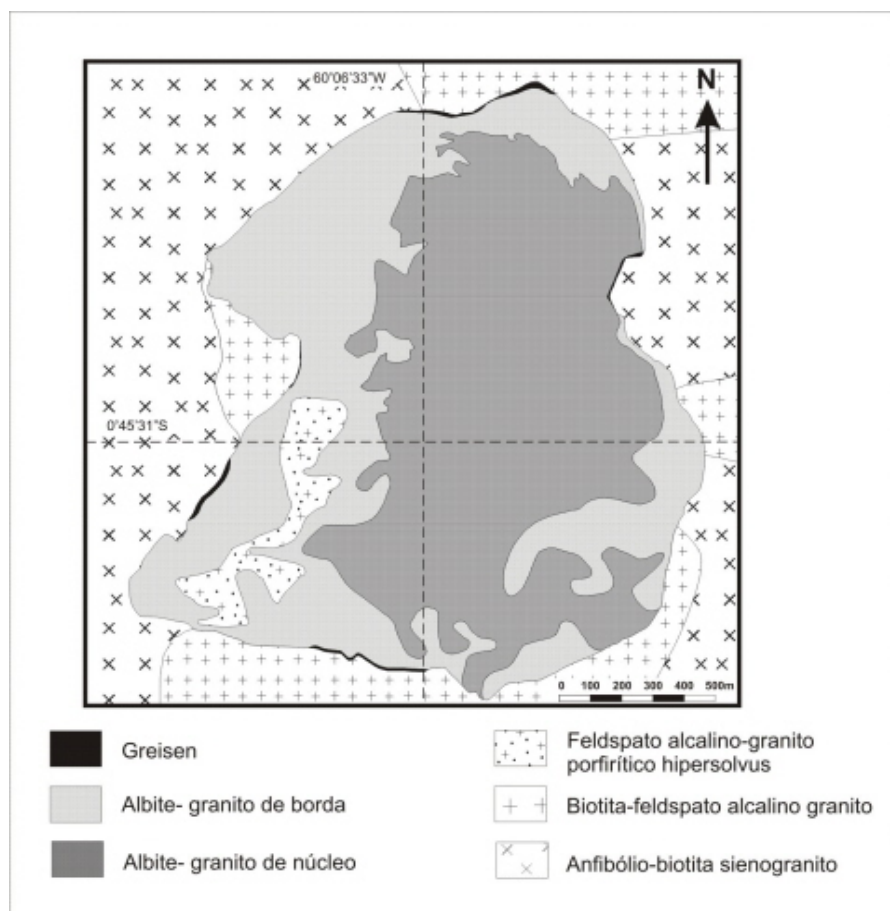


Figura 4: Mapa geológico esquemático do albita-granito e suas encaixantes
Fonte: Modificado de Costi (2000).

5 JUSTIFICATIVA DA ABORDAGEM

A Província Estanífera de Pitinga encerra uma das maiores minas de cassiterita do País. A mineralização de estanho encontra-se alojada principalmente em greisens e veios de quartzo associados aos plutons Madeira e Água Boa (BORGES et al., 1996, BORGES 2002, COSTI et al., 2000, 2002). Os cristais de zircão presentes nesses granitos e greisens apresentam morfologias distintas e composições químicas diferentes. Cristais de zircão têm sido utilizados como indicadores das fontes a partir da qual eles cristalizaram (BELOUSOVA; GRIFFIN 2002, PUPIN, 2000). Zircões ricos em Hf são típicos de rochas graníticas evoluídas e enriquecidas em metais raros (Sn, Mo, W, Nb, Ta) e suas baixas razões Zr/Hf podem ser indicativas da ocorrência dessas mineralizações (KEMPE et al., 1997, WANG et al., 2000). Zircões com baixas razões Zr/Hf e elevados conteúdos de Y, Th e U foram caracterizados em granitos estaníferos de diferentes províncias minerais do Cráton Amazônico (LAMARÃO et al., 2007), demonstrando que tais minerais podem ser úteis como guias prospectivos numa primeira avaliação para esse tipo de mineralização.

Os estudos texturais e geoquímicos dos zircões presentes nas diferentes fácies do Granito Madeira, objeto deste estudo, trarão informações importantes quanto as suas morfologias, composições químicas, caracterização das inclusões presentes, natureza magmática ou hidrotermal e da provável rocha fonte.

6 OBJETIVOS

O trabalho a ser desenvolvido visa identificar e caracterizar cristais de zircão presentes nas diferentes fácies do Granito Madeira, Província Estanífera de Pitinga, (AM), através de imagens de elétrons retroespalhados obtidas em Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) e catodoluminescência, análises químicas semiquantitativas obtidas por EDS (*Energy Dispersive Spectrometry*) e estudos de difração de Raios-X. Serão estudadas também, inclusões de minerais acessórios, como albita, micas, fluorita freqüentemente encontradas nos zircões das fácies mais evoluídas do corpo Madeira. Os dados obtidos serão tratados e plotados em diagramas geoquímicos específicos para interpretações.

7 MATERIAIS E MÉTODOS

O material utilizado foi monocristais de zircão, coletados em amostras das fácies que compõe o Granito Madeira: anfibólio-biotita-sienogranito, biotita-feldspato alcalino granito, feldspato alcalino-granito porfirítico hipersolvus e albita-granito de borda e de núcleo e lâminas delgadas do albita-granito (borda e núcleo).

7.1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

Foi realizado um levantamento bibliográfico referente à geologia da Mina Pitinga, principalmente dos estudos realizados no pluton Madeira, sua petrografia e geoquímica. Além desses, foram consultados trabalhos sobre a geoquímica e morfologia do zircão e aos princípios básicos de funcionamento do Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), Catodoluminescência e Difração de Raios-X.

7.2 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

Para o estudo das texturas internas, padrões de zoneamentos, caracterização geoquímica e determinação dos minerais acessórios inclusos, os monocristais de zircão foram selecionados com auxílio de uma lupa binocular modelo STEMI SR[®], para a confecção de 12 seções polidas, contendo cerca de 10 a 20 cristais em cada seção.

Em seguida as seções e a lâmina polidas, já confeccionadas, foram recobertas por uma fina camada de carbono (metalização), a fim de torná-las eletricamente condutivas, em um sistema automático de metalização, modelo EMITECH – K550XR[®] (Figura 5). Ambos os equipamentos pertencem ao Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura (LABMEV) do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará (UFPA).



Figura 5: Sistema automático de metalização das amostras. Modelo EMITECH – K550XR®

Para o estudo do grau de cristalinidade e determinação dos minerais acessórios inclusos em monocristais de zircão, pertencentes à fácies mineralizada albita-granito (Figura 6), a preparação foi realizada no Laboratório de Raios-X do Instituto de Geociências da UFPA, onde, os cristais foram pulverizados (método do pó) em gral de ágata (Figura 7A) e depois acondicionados em porta-amostra de Si (Figura 7B, 7C), para posterior análise.



Figura 6: Monocristais de zircão pertencentes à fácies albita-granito.

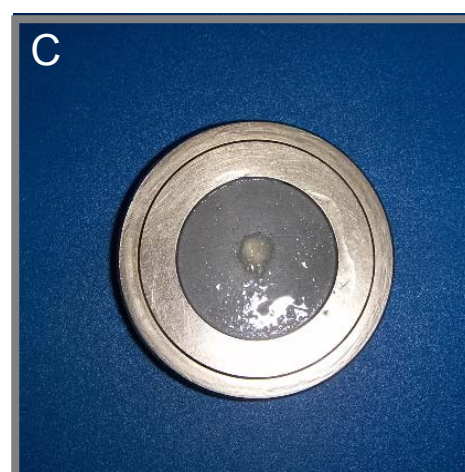


Figura 7: (A) Gral de ágata para pulverização das amostras. (B) Partes constituintes do porta-amostra de Si. (C) Porta-amostra de Si montado, contendo os cristais pulverizados.

7.3 DETERMINAÇÃO DA TEXTURA INTERNA E PADRÕES DE ZONEAMENTOS.

A principal técnica utilizada para caracterização da textura interna e os padrões de zoneamentos dos cristais de zircão, foi através da captação de imagens por elétrons retroespalhados (*backscattered electrons-BSE*) no MEV LEO-ZEISS modelo 1530 (Figura 8A), pertencente ao Museu Paraense Emílio Goeldi, e também

através do Sistema de catodoluminescência Mono CL[®] acoplado ao MEV, pertencente ao LABMEV da UFPA (Figura 8B). As condições analíticas de operação do MEV foram: corrente do feixe = 90 μ a, voltagem de aceleração constante de 20kv, distância de trabalho de 15 mm, tempo de análise pontual de 30s com 4000 a 5000 c/s para cada análise. E as condições analíticas para a obtenção das imagens de catodoluminescência foram as mesmas anteriormente citadas, exceto a distância de trabalho que foi de 13 mm.

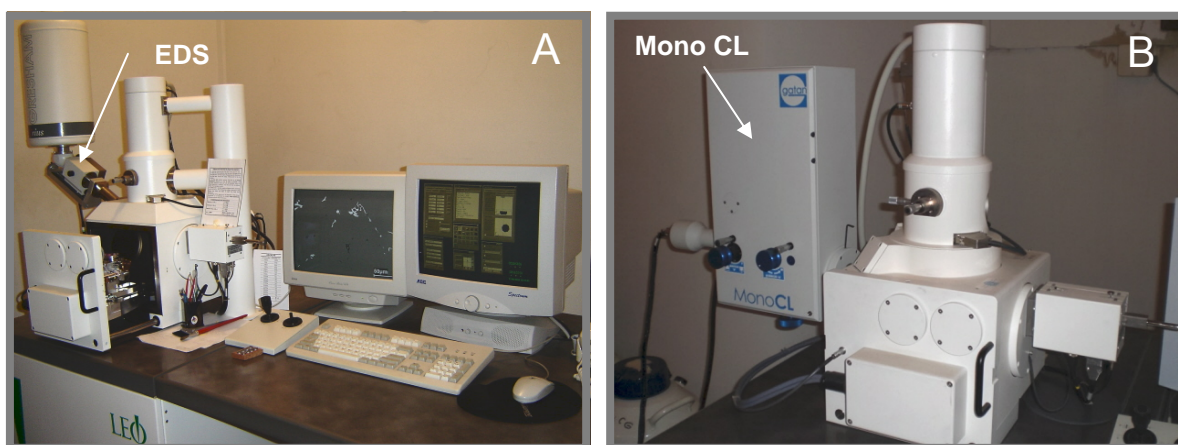


Figura 8: (A) MEV LEO-ZEISS modelo 1530[®]. (B) Sistema de catodoluminescência Mono CL[®] acoplado ao MEV.

7.4 CARACTERIZAÇÃO DOS MINERAIS ACESSÓRIOS PRESENTES COMO INCLUSÕES MINERAIS

A caracterização dos minerais acessórios inclusos nos cristais de zircão foi realizada a partir das análises químicas pontuais semiquantitativas obtidas através do EDS (Figura 8A), pertencentes ao Museu Paraense Emílio Goeldi,

Para os cristais de zircão pertencentes às subfácies do albíta-granito, foi possível também esta caracterização por meio da Difração de Raios-X pelo método do pó. O equipamento usado foi o Difratorômetro de Raios-X modelo X'PERT PRO MPD (PW 3040/60) da PANalytical (Figura 9), com Goniômetro PW3050/60 (*Theta/Theta*), tubo de Raios-X cerâmico e anodo de cobre ($K\alpha_1=1,540598 \text{ \AA}$), modelo PW3373/00[®] com foco fino longo (2200W- 60kV) e filtro $K\beta$ de níquel, com detector X' Celerator, do tipo RTMS (*Real Time Multiple Scanning*), atuando no modo *Scanning* e com um *active length* de 2,122 $^\circ$.

As condições instrumentais utilizadas foram: varredura de 5° a $75^\circ 2\theta$, voltagem de 40 kV e corrente de 40 mA, tamanho do passo: $0,02^\circ$ em 2θ e 20s de tempo de contagem/ passo, fenda divergente de $1/8^\circ$ e anti-espalhamento de $1/4^\circ$, máscara de 10 mm, amostra em movimentação circular com frequência de 1 rotação/s.

Os dados foram coletados através do software X'Pert Data Collector, versão 2.1a, e processados com o software X'Pert High Score, versão 2.1b, usado na identificação de fases cristalinas, ambos da PANalytical.

Tanto os equipamentos quanto os *softwares* pertencem ao Laboratório de Raios-X do Instituto de Geociências da UFPA.



Figura 9: Difratorômetro de raios-X modelo X PERT PRO MPD (PW 3040/60) da PANAnalytical.

Fonte: Laboratório de Difração de Raios-X CG/UFPA, (2009).

7.5 AVALIAÇÃO DO GRAU DE CRISTALINIDADE DOS CRISTAIS DE ZIRCÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS INCLUSÕES

Esta etapa só foi realizada nos cristais do albita-granito de borda e de núcleo (Figura 6), pois são as fácies de maior interesse devido à mineralização estanífera presente e também por possuir volume de amostra suficiente para esta caracterização. A técnica utilizada foi a Difração de Raios-X, pelo método do pó, descrita anteriormente.

7.6 CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA

A caracterização geoquímica foi realizada pontualmente nos cristais de zircão, através do EDS (Figura 8A). As análises foram realizadas tanto nas bordas quanto no centro dos cristais, bem como nas inclusões presentes, evitando-se, com a ajuda das imagens já obtidas por elétrons retroespalhados, regiões de fraturas e alterações. O conjunto de elementos analisados foi: O, Si, Ca, Ti, Y, Zr, Nb, Sn, Ba, Ce, Hf, Ta, Th, U.

8 RESULTADOS

8.1 DETERMINAÇÃO DA TEXTURA INTERNA E PADRÕES DE ZONEAMENTOS

As imagens obtidas por elétrons retroespalhados e catodoluminescência no MEV revelaram características morfológicas e texturais particulares (Cf. CORFU et al., 2003) para os cristais de zircão pertencentes as diferentes fáceis do Granito Madeira.

8.1.1 Anfibólio-biotita sienogranito (ABSG)

Os cristais de zircão pertencentes ao ABSG são predominantemente euédricos, prismáticos, exibem zoneamentos composicionais concêntricos bem definidos, tipicamente magmáticos (Figura 10A). Alguns desses cristais mostram, localmente, zoneamento convoluto e irregular (Figura 10B e 10C), além de porções, ao que tudo indica, recristalizadas (Figura 10D).

De uma maneira geral, os cristais de zircão dos ABSG estão bem preservados, ou seja, não há evidências de intensa corrosão, metamitização e fraturamento.

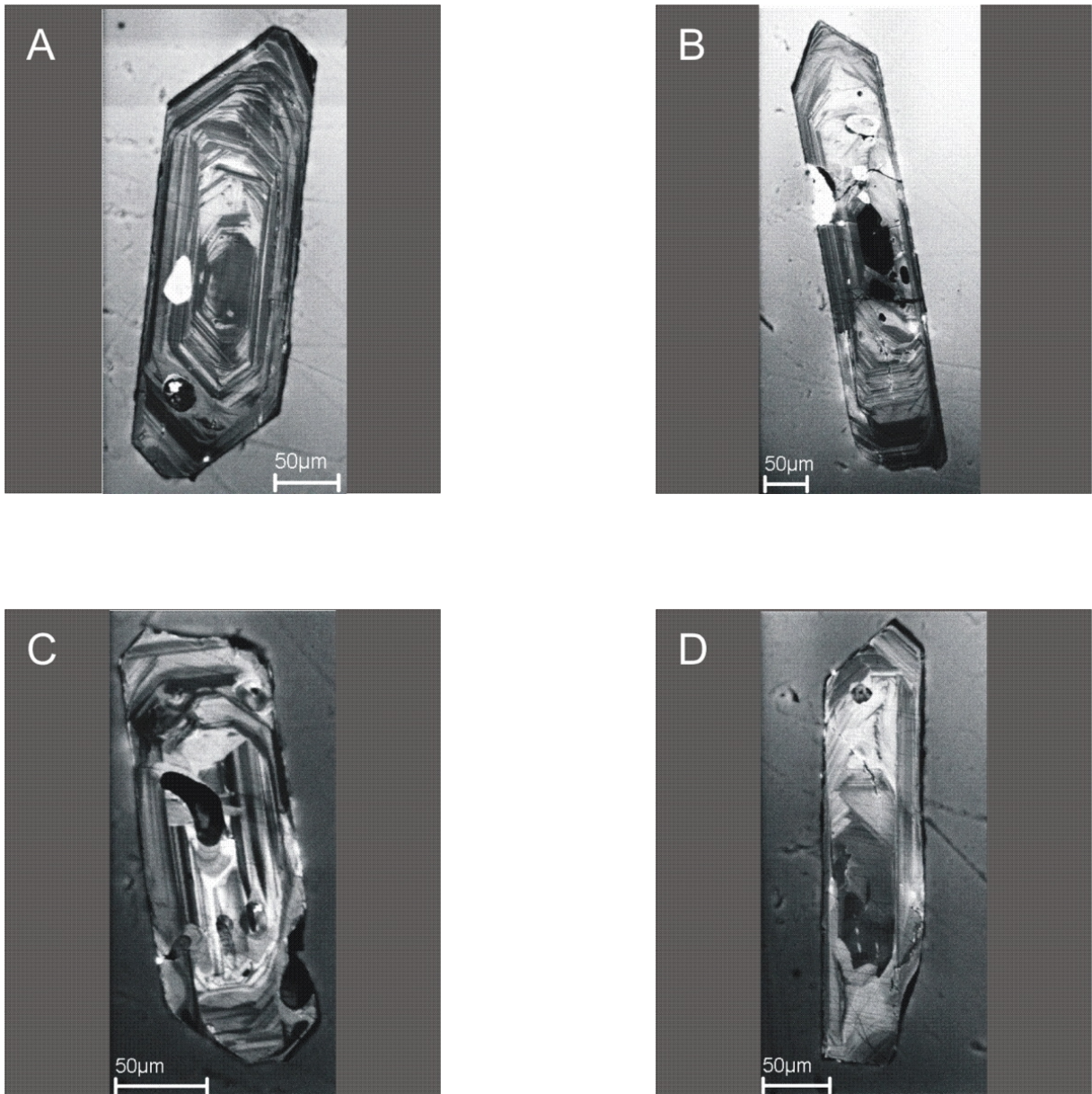


Figura 10: Imagens de CL de cristais de zircão, euédricos e prismáticos dos ABGS. (10A) Zoneamento concêntrico a partir de um núcleo central não luminescente. (10B) Cristal prismático alongado exibindo em sua porção superior zoneamentos convolutos. Notar núcleo não luminescente. (10C) Cristal subédrico mostrando zoneamentos irregulares. (10D) Cristal euédrico alongado exibindo zoneamentos irregulares (porção superior) e feição provavelmente recristalizada (núcleo inferior).

8.1.2 Biotita-feldspato alcalino granito (BFAG)

A fácies BFAG apresenta cristais de zircão variando de euédricos a subédricos, prismáticos, alongados e curtos (Figura 11A, B).

Exibem padrões com zoneamentos predominantemente irregulares e fortemente alterados sugerindo alteração subsolidus (Figura 11B). Tais feições podem corresponder a modificações durante os estágios tardi a pós-magmáticos, formando domínios irregulares e obliterando o zoneamento concêntrico dos cristais (CORFU et al., 2003). Subordinadamente podem mostrar zonas concêntricas bem definidas (Figura 11A). Por vezes, apresentam zoneamento irregular apenas no núcleo, e concêntricos na borda dos cristais (Figura 11C, 11D).

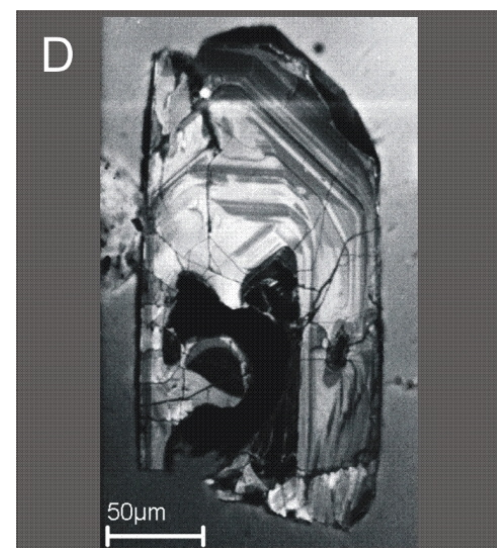
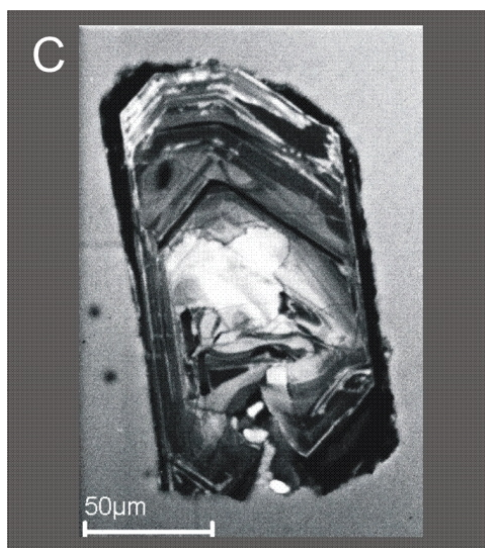
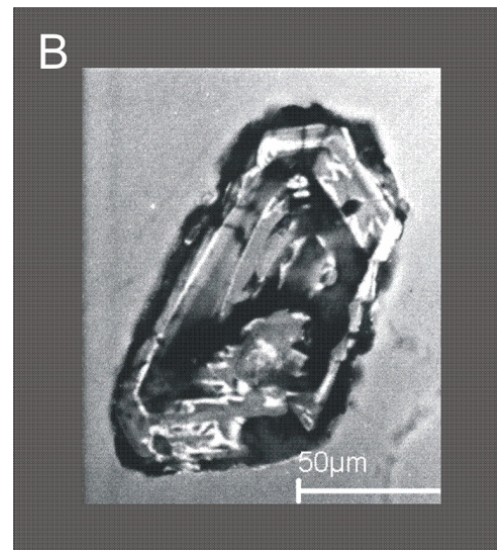
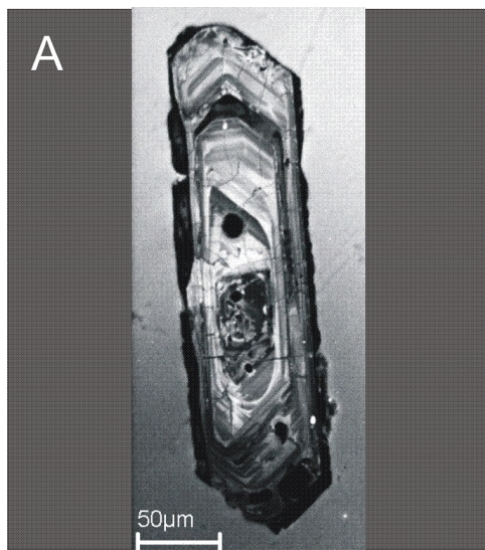


Figura 11: Imagens de CL de cristais de zircão, euédricos a subédricos do BFAG. (11A) Cristal de zircão prismático, longo, exibindo zoneamentos concêntricos bem definidos. (11B) Cristal de zircão prismático, curto, exibindo zoneamentos convolutos e forte alteração. (11C, 11D) Cristais de zircão com zoneamentos irregulares no núcleo e concêntricos nas bordas.

8.1.3 Feldspato alcalino-granito porfirítico hipersolvus (FAGPH)

Os cristais de zircão FAGPH variam de euédricos a subédricos, com formas prismáticas e piramidais (Figura 12A).

As texturas são variadas, apresentando zoneamentos concêntricos na borda dos cristais (Figura 12A) e irregulares, oscilatórios e convolutos no núcleo (Figura 12B). Nas imagens por CL observam-se núcleos luminescentes, com zoneamentos oscilatórios, envolvidos por bordas não luminescentes (escuras) (Figura 12C), bem como, núcleos intensamente metamitizados (Figura 12D).

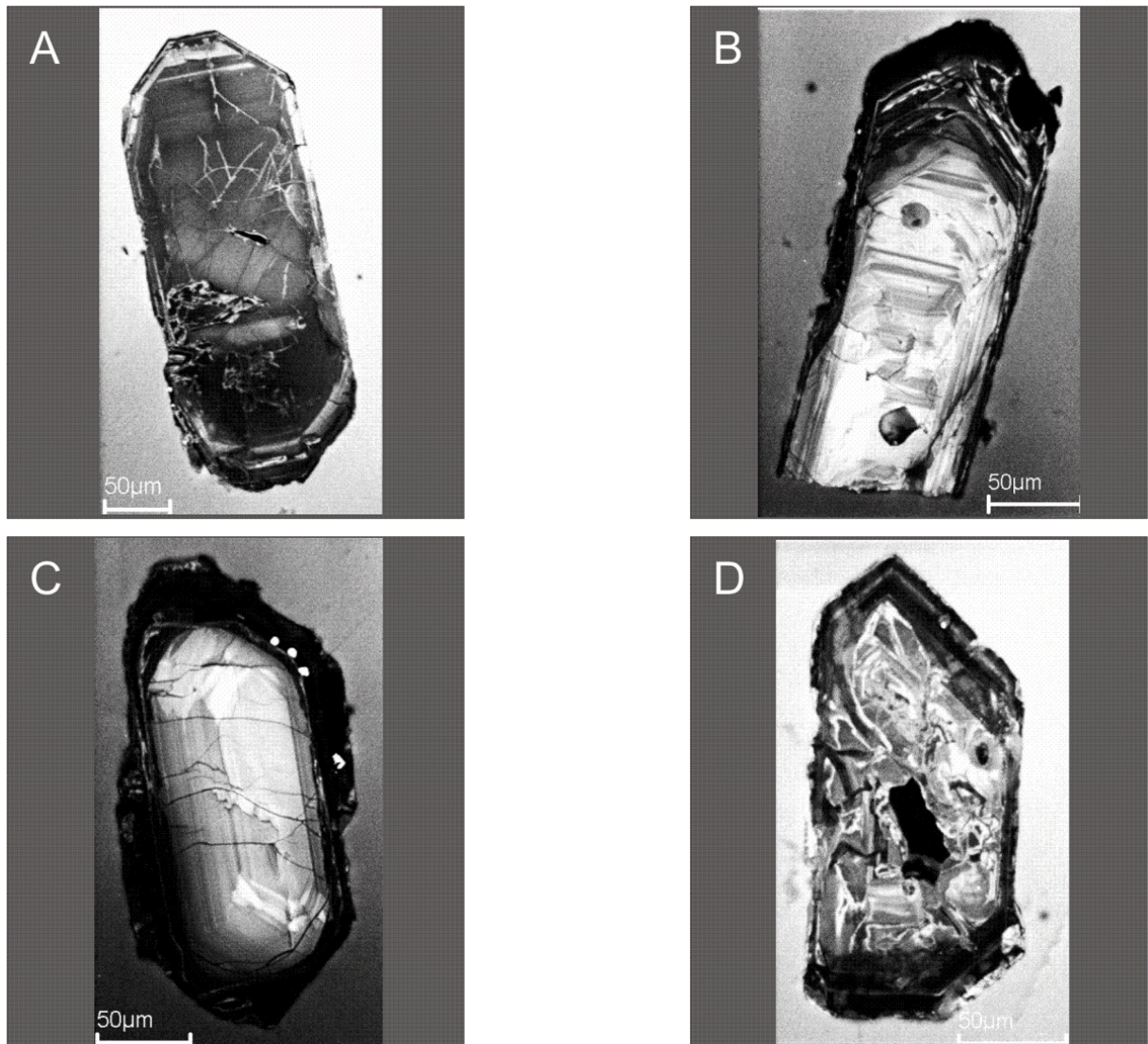


Figura 12: Imagens de CL de cristais de zircão, euédricos a subédricos dos zircões do FAGPH. (12A) Cristal de zircão piramidal, exibindo zoneamentos concêntricos na borda. (12B) Cristal de zircão com zoneamentos irregulares e oscilatórios no núcleo luminescente. (12C) Zoneamentos oscilatórios em núcleo luminescente fortemente fraturado, envolvido por borda escura. (12D) Cristal de zircão com núcleo intensamente metamitizado.

8.1.4 Albita-granito de borda (ABGb)

As texturas e morfologias dos zircões pertencentes ao ABGb foram obtidas e analisadas por elétrons retroespalhados e CL tanto em seções quanto em lâminas polidas.

Os cristais de zircão são predominantemente subédricos, exibem textura em peneira com finas inclusões no núcleo, e zoneamentos convolutos na borda (Figura 13A e 13B). Localmente, exibem finas bordas com forte luminescência nas imagens por BSE (Figura 13C e 13D). As imagens por CL mostram bem a intensa metamitização no núcleo do cristal, bem como os zoneamentos na borda do mesmo (Figura 13 E, 13F).

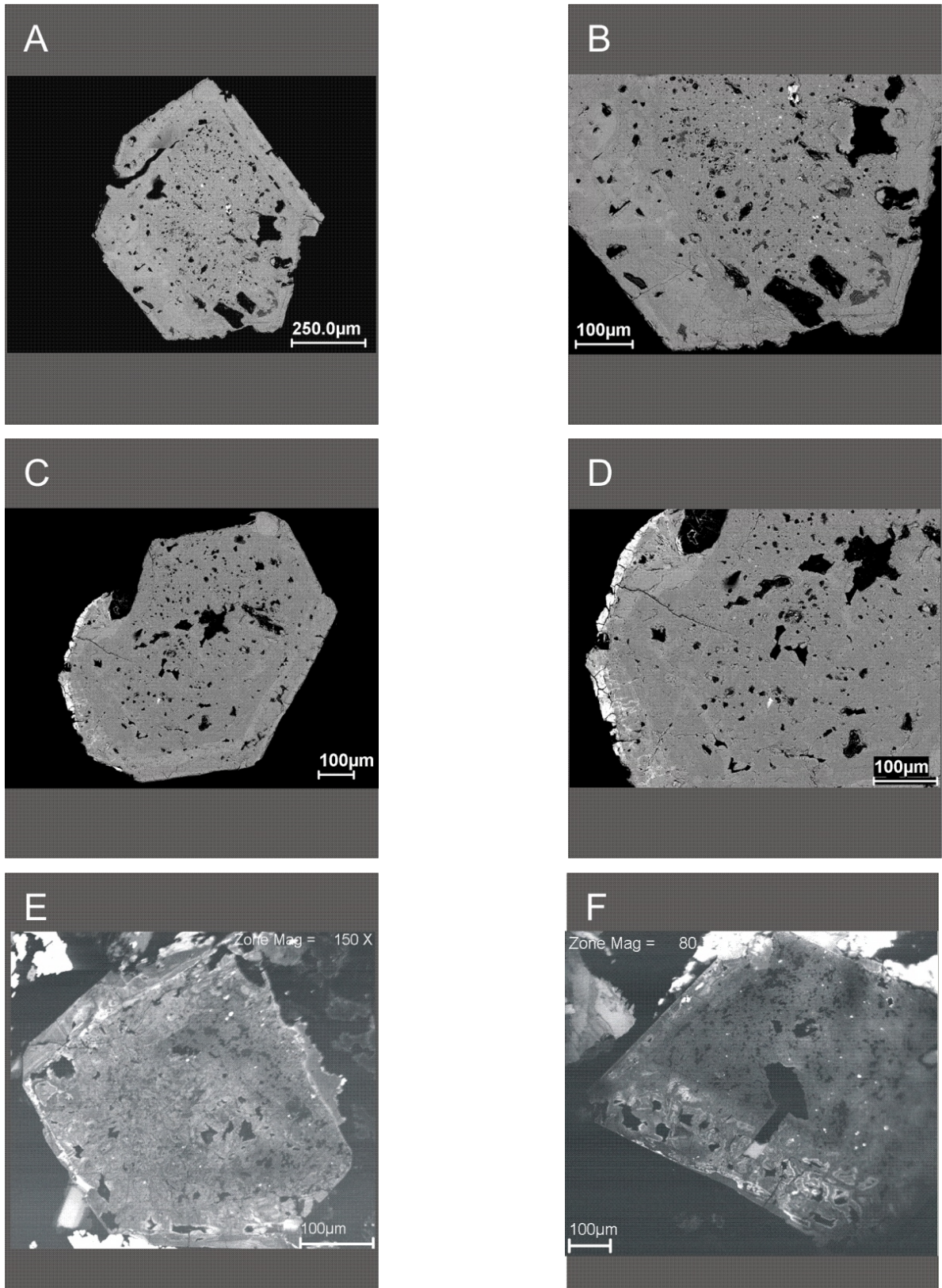


Figura 13: Imagens de BSE e CL de cristais de zircão dos ABGb. (13A) Textura em peneira no núcleo e zoneamentos convolutos na borda do cristal de zircão. (13B) Detalhe da figura 13A. (13C) Borda luminescente, em contato com zoneamentos convolutos. (13D) Detalhe da figura 13C. (13E, F) Cristais intensamente metamitizados e corroídos.

8.1.5 Albita-granito de núcleo (ABGn)

As imagens obtidas por BSE revelaram que os cristais de zircão do ABGn são predominantemente subédricos, com textura em peneira no núcleo contendo muitas inclusões de minerais pesados (pontos brilhosos), e zoneamentos convolutos na borda (Figura 14A e 14B). Há também, cristais exibindo zoneamentos irregulares (Figura 14C). Nota-se que as bordas são mais claras que o núcleo e que alguns cristais são geminados, apresentando textura em peneira (núcleo) e zoneamentos convolutos na borda (Figura 14D).

Nas imagens por CL, observam-se cristais bem formados exibindo finas bordas zonadas e núcleo intensamente metamitizado.

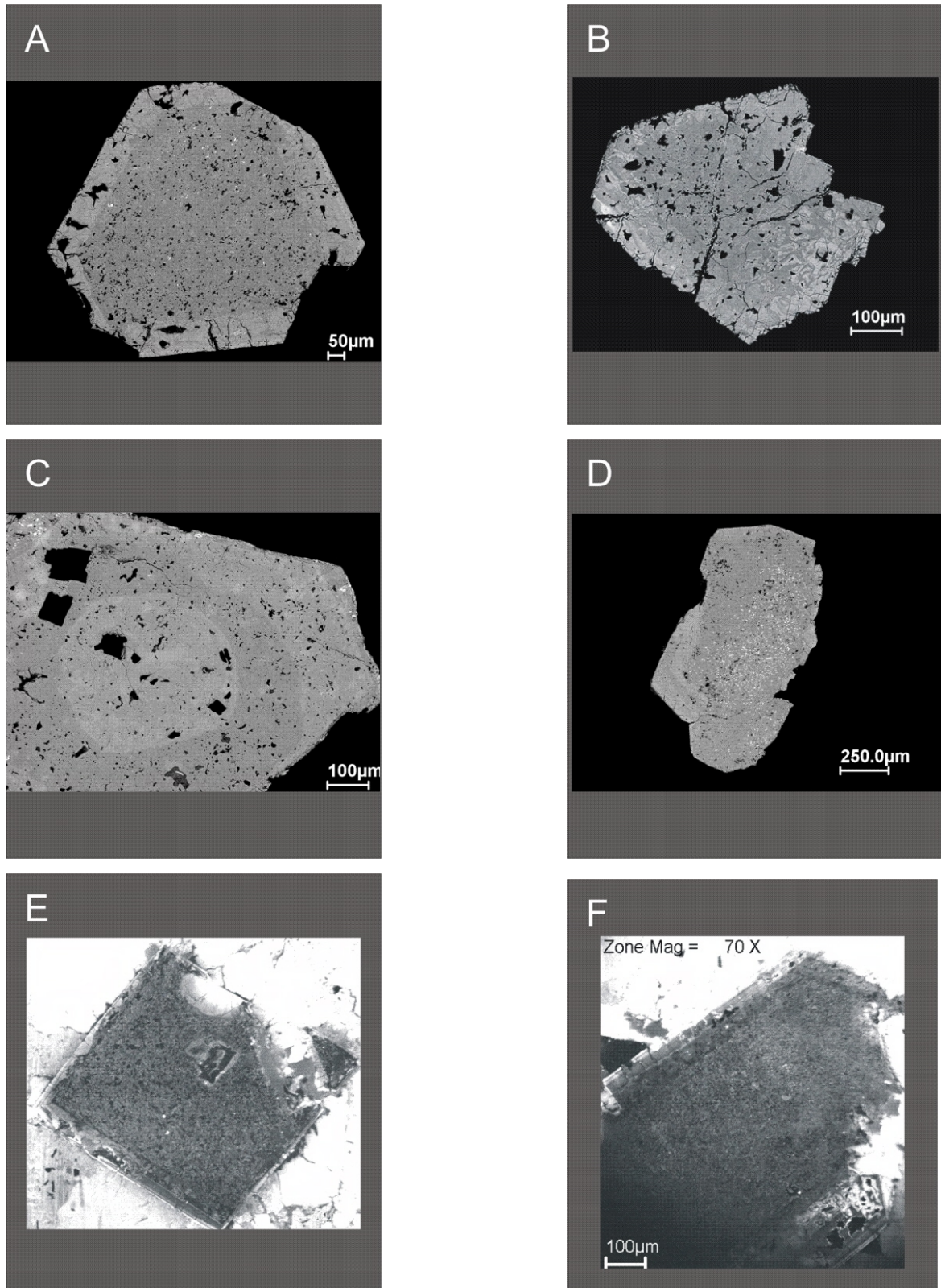


Figura 14: Imagens de BSE e CL de cristais de zircão dos ABGn. (14A, 14B) Textura em peneira no núcleo e zoneamentos convolutos na borda dos cristais. (14C) Cristal de zircão exibindo textura em peneira e zoneamentos irregulares. (14D) Cristais geminados de zircão com texturas em peneira no núcleo e bordas com zoneamentos convolutos. (14E, 14F) Zircão exibindo finas bordas zonadas e núcleo intensamente metamitizado.

8.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MINERAIS ACESSÓRIOS PRESENTES COMO INCLUSÕES MINERAIS

As análises químicas semiquantitativas, obtidas por EDS (Anexo A a E), realizadas pontualmente nas fases acessórias presentes nos cristais de zircão das fácies do Granito Madeira, revelaram a presença de inclusões de diferentes minerais

8.2.1 Anfibólio-biotita-sienogranito (ABSG)

As inclusões minerais presentes nos cristais de zircão do ABSG estão representadas principalmente por apatitas (Figura 15A), e subordinadamente por titanita (Figura 15A), zircão (Figura 15B) e albita (Figura 15C).

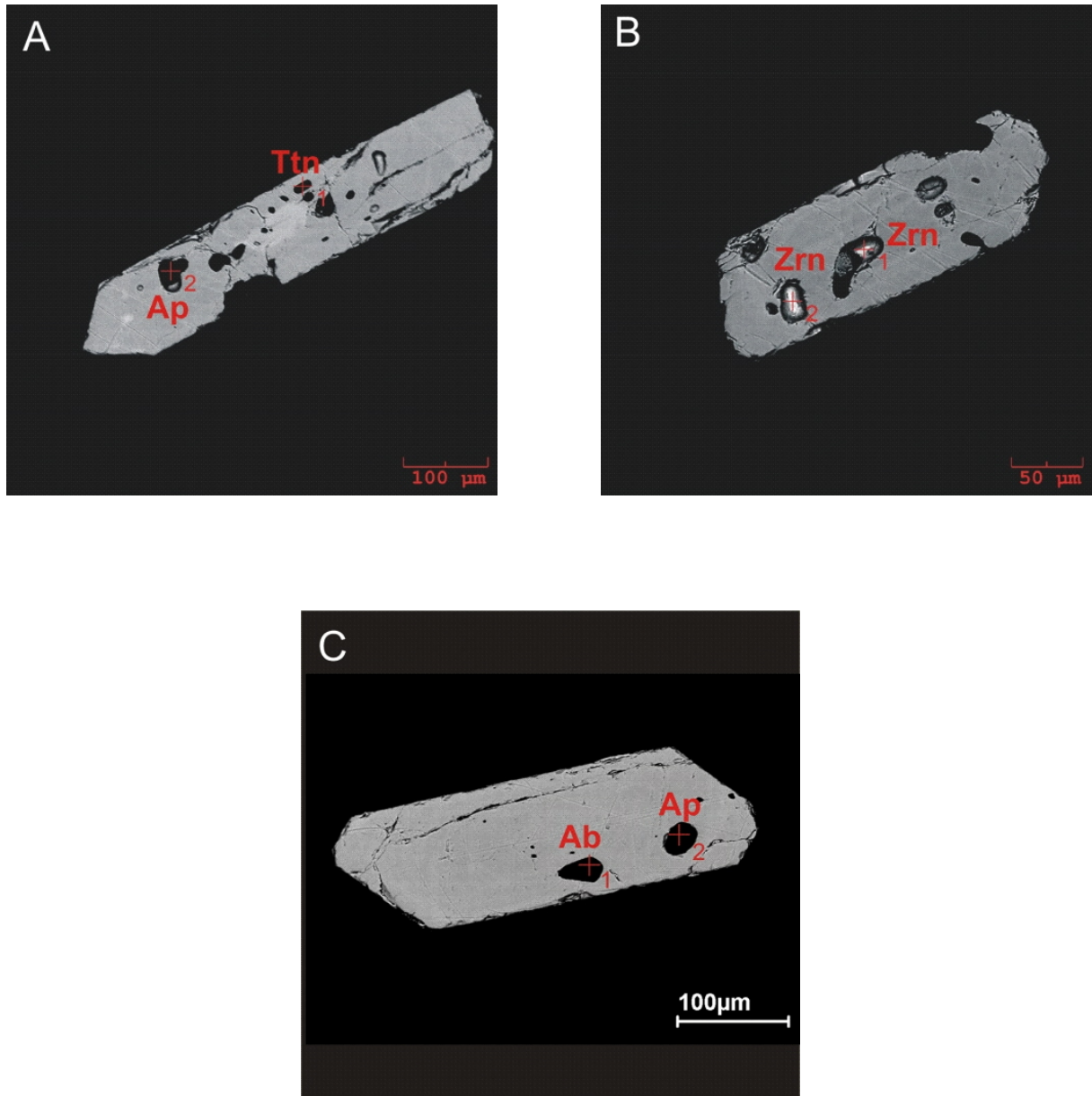


Figura 15: Imagens de BSE das inclusões minerais nos cristais de zircão do ABSG. (A) Inclusões minerais de Ap e Ttn. (B) Inclusões de Zrn. (C) Inclusões de Ab e Ap. Ap-Apatita, Ttn-Titanita, Zrn-Zircão, Ab-Albita
Fonte: Kretz (1983).

8.2.2 Biotita-feldspato alcalino granito (BFAG)

Os cristais de zircão do BFAG não apresentaram quantidades significativas de inclusões minerais quando comparados aos cristais do ABSG. Foram identificadas apenas algumas inclusões de apatita. (Figura 16).

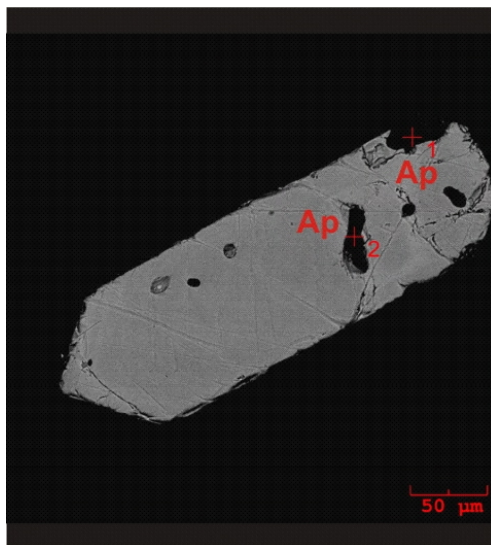


Figura 16: Imagens de BSE das inclusões minerais nos cristais de zircão do BFAG. Inclusões minerais de Ap. Ap-Apatita
Fonte: Kretz (1983)

8.2.3 Feldspato alcalino-granito porfirítico hipersolvus (FAGPH)

A grande variedade de inclusões presentes nos cristais de zircão do FAGPH inclui predominantemente monazita, fluorita (Figura 17A) e feldspato alcalino (Figura 17B), e em menor quantidade as micas (Figura 17C).

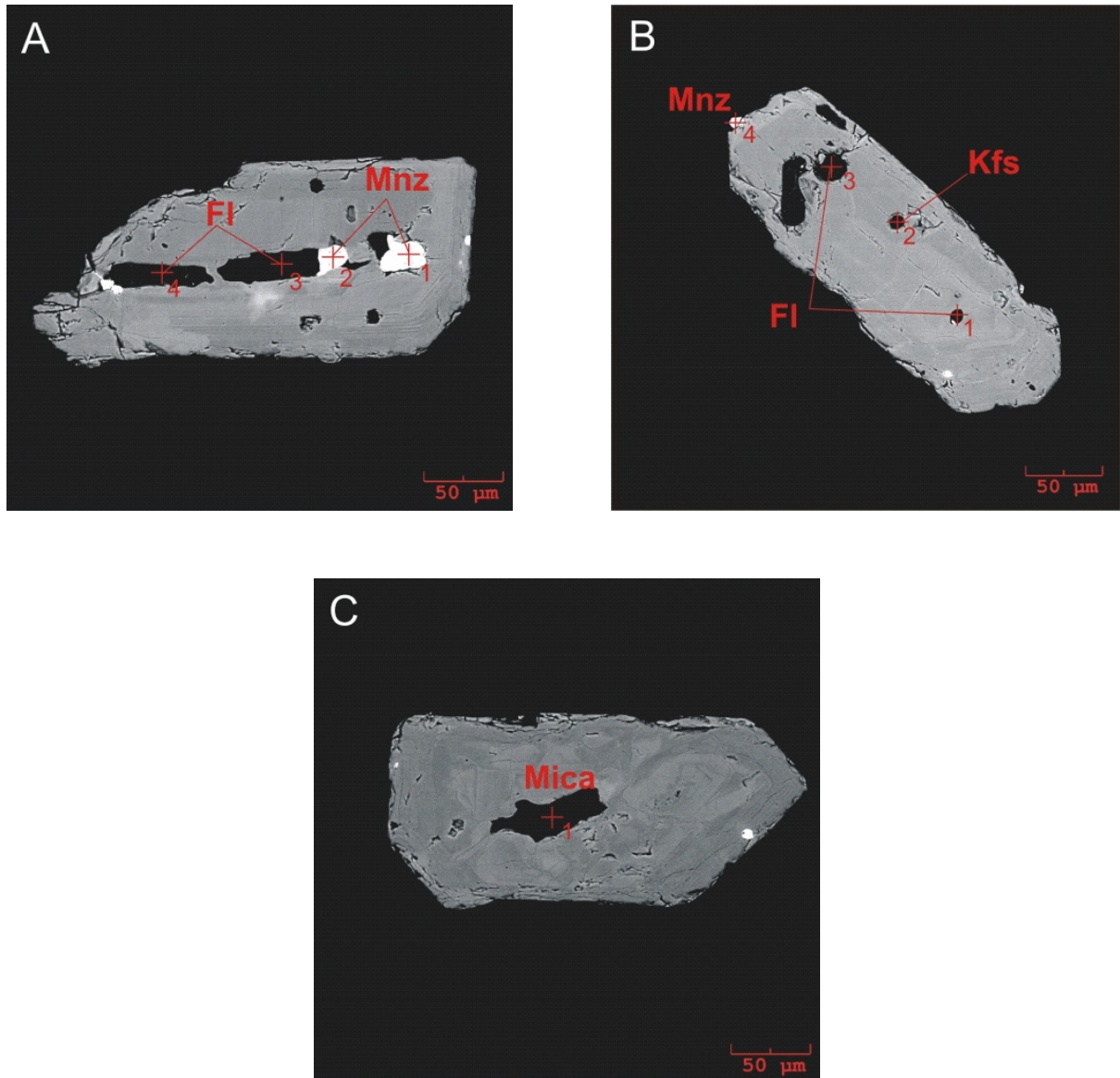


Figura 17: Imagens de BSE das inclusões minerais nos cristais de zircão do FAGPH. (A) Inclusões minerais de Mnz e Fl. (B) Inclusões de Kfs, Fl e Mnz. (C) Inclusões de mica. Mnz-Monazita, Fl-Fluorita, Kfs-Feldspatos alcalinos
 Fonte: Kretz (1983)

8.2.4 Albita-granito de borda (ABGb)

As fases acessórias dominantes nos cristais de zircão do ABGb são inclusões de thorita, mica, albita (Figura 18A), quartzo (Figura 18B) e subordinadamente cassiterita (Figura 18C).

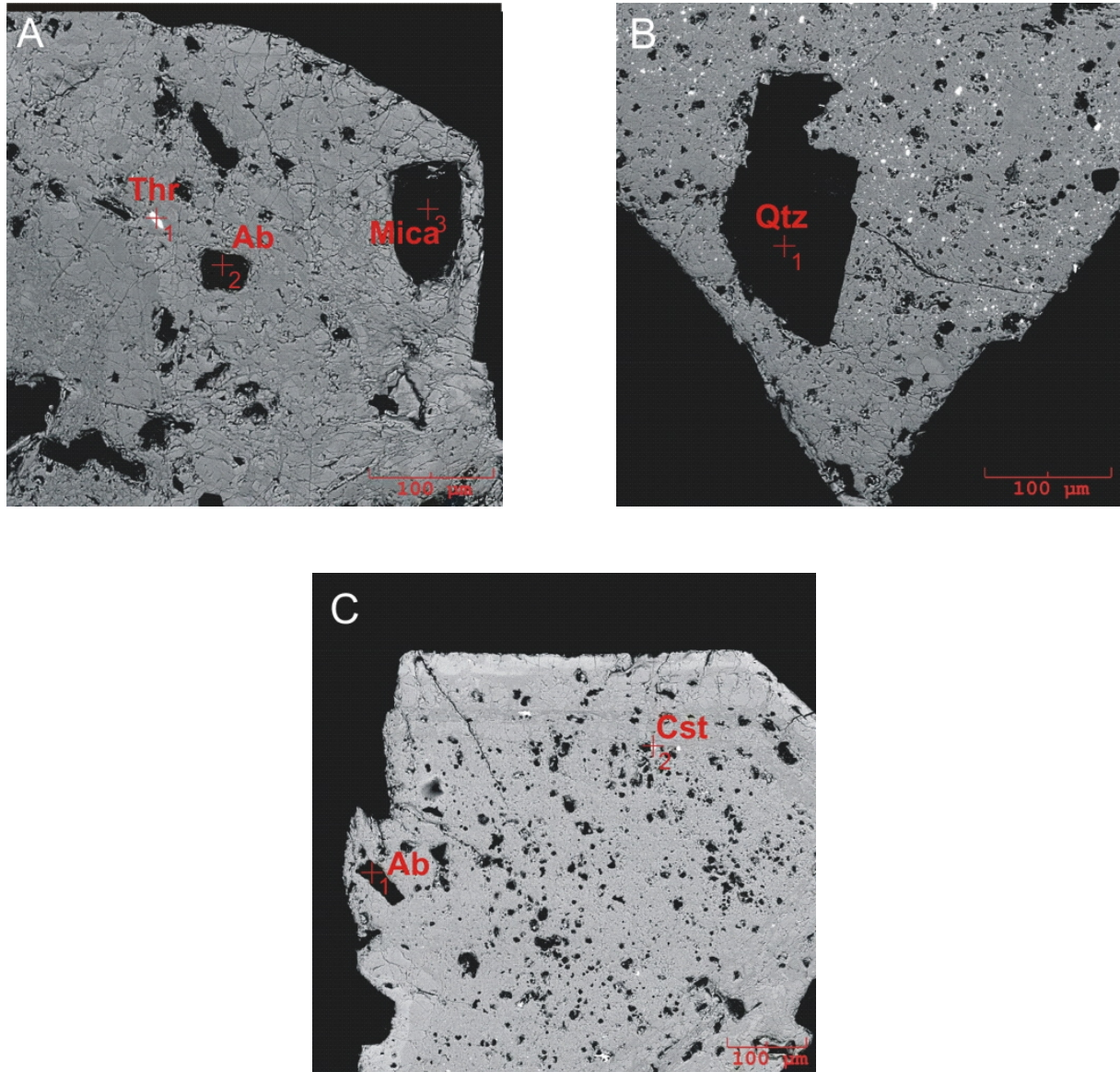


Figura 18: Imagens de BSE das inclusões minerais nos cristais de zircão do ABGb. (A) Inclusões minerais de Tht, Chl e Ab. (B) Inclusões de Qtz. (C) Inclusões de Cst e Ab. Tht-Torita, Chl-Clorita, Ab- Albita, Qtz-Quartzo e Cst-cassiterita
 Fonte: Kretz (1983)

8.2.5 Albita-granito de núcleo (ABGn)

As inclusões minerais presentes nos cristais de zircão do ABGn estão representadas principalmente por criolita, thorita (Figura 19A), albita (Figura 19B) e em menor quantidade cassiterita (Figura 19C) e óxido de ferro (Figura 19D).

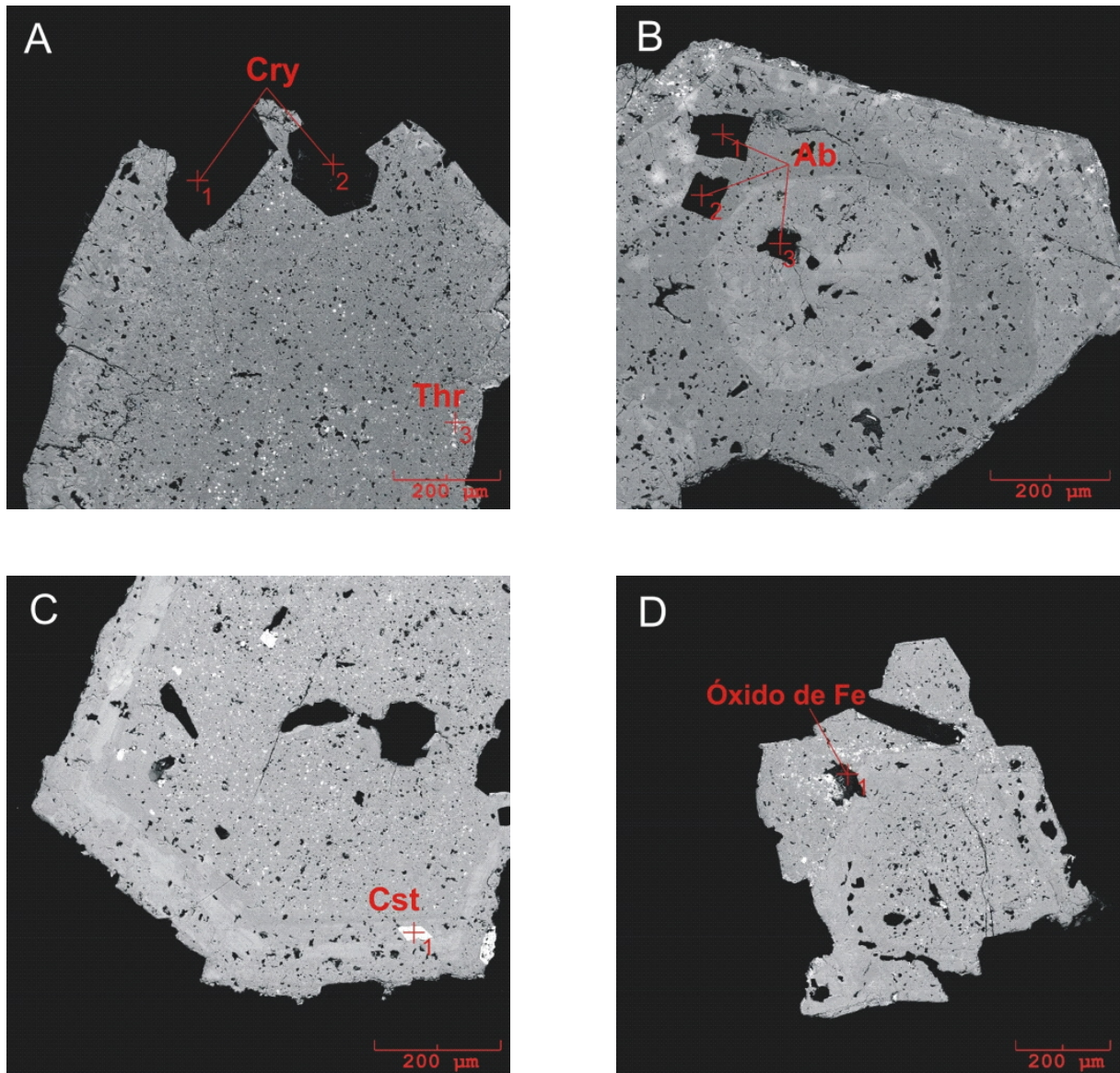


Figura 19: Imagens de BSE das inclusões minerais nos cristais de zircão do ABGn. (A) Inclusões minerais de Cry e Tht. (B) Inclusões de Ab. (C) Inclusões de Cst. (D) Inclusões de óxido de Fe. Cry-Criolita, Tht-Torita, Ab- Albita, Cst-cassiterita e Óxido de Ferro
Fonte: Kretz (1983)

8.3 AVALIAÇÃO DO GRAU DE CRISTALINIDADE DOS CRISTAIS DE ZIRCÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS INCLUSÕES

Os resultados obtidos por difração de raios-X em zircões provenientes do ABGb e do ABGn estão apresentados nas Figuras 20A e 20B. Os difratogramas gerados exibem diferenças em relação a posição dos picos e, conseqüentemente, a caracterização dos minerais acessórios presentes como inclusões.

Os difratogramas que representam os zircões do ABGb (Figura 20A) exibem picos mais largos em comparação com aqueles dos zircões do ABGn que são mais estreitos (Figura 20B). Esse alargamento dos picos indica baixa cristalinidade desses cristais de zircão, podendo estar relacionada à desestruturação da rede cristalina do mineral, quer seja pela recristalização do zircão do ABGb por ação dos processos metassomáticos que originaram esta fácies, quer seja por metamitização, ou, ainda, por ação intempérica (Figura 13E).

Um difratograma padrão (DANA, 1993) que apresenta os estágios de desestruturação da rede cristalina de um mineral pode ser observado na Figura 22A, B e C, onde no estágio 1 a estrutura cristalina ainda está preservada, indicada por um pico mais estreito; no estágio 2 observa-se um acentuado alargamento dos picos, sugerindo a baixa cristalinidade deste mineral e, por fim, o estágio 3 apresenta a fase final da destruição de sua estrutura cristalina.

Outro ponto importante na Figura 20A, que merece ser destacado, é em relação à presença de uma banda (elevação do *background*), entre aproximadamente 18 e 24° 2 θ , característica de material amorfo, que pode ser o substrato utilizado como porta-amostra, se for uma lâmina de vidro. Como para esta análise foi utilizado um porta-amostra de Si (*Zero-Background*), admite-se que essa banda pode estar relacionada a “zircão (ões) amorfo (s)”, como um estágio final da destruição da estrutura cristalina (por processos metassomáticos, metamitização ou intemperismo), conforme descrito anteriormente. Isso abre ainda a possibilidade para a presença, na amostra, de várias gerações de zircões.

Adicionalmente, observa-se picos de albita no difratograma do ABGb, a qual deve ocorrer como inclusão nesses zircões.

A Figura 20B exhibe uma região de baixo ângulo da amostra ABGn, revelando a presença, como traço, de mica, representada pelos picos principais em 10Å (001) e 5Å (002), além de feldspato alcalino e albita, na forma de inclusões nos zircões.

Deve-se ressaltar que o pico principal do feldspato alcalino no difratograma (Figura 21) coincide também com a posição do pico da thorita, e o pico principal da mica coincide com o da monazita contendo cério; estas inclusões minerais já foram confirmadas em análises químicas semiquantitativas por EDS.

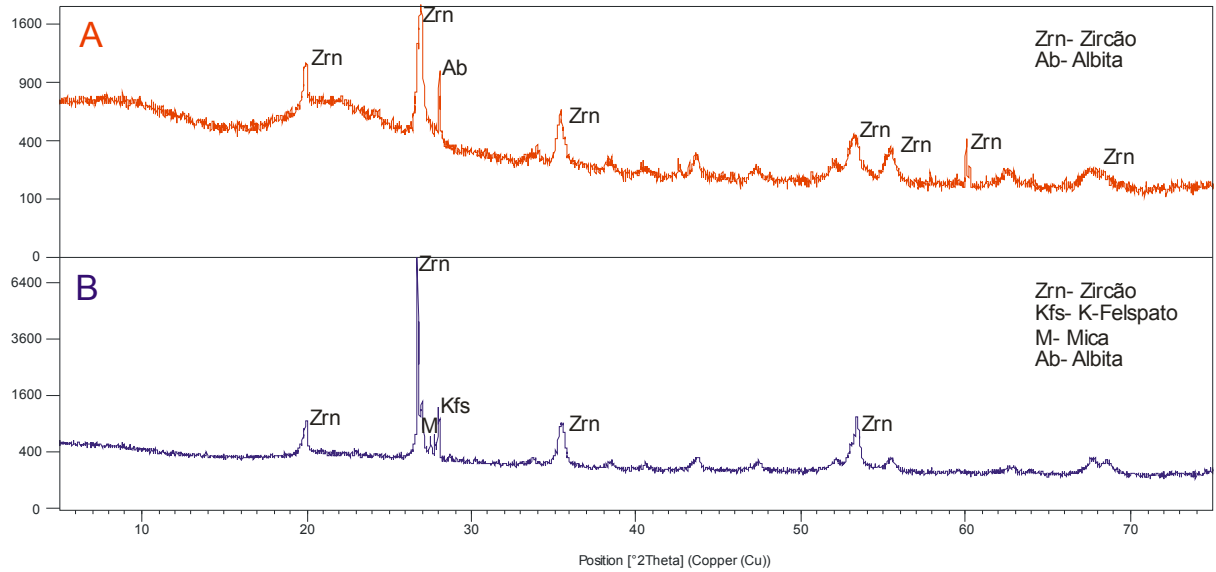


Figura 20-Difratogramas exibindo o grau de cristalinidade dos zircões do ABG e a caracterização dos minerais acessórios presentes como inclusões. (A) ABGb. (B) A

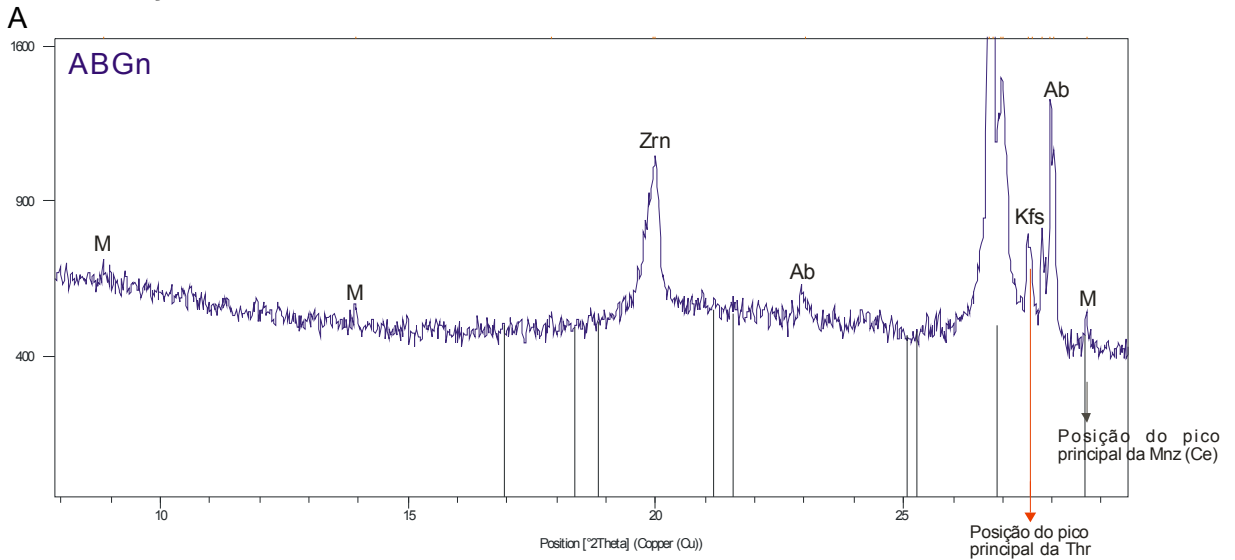


Figura 21-Detalhe do difratograma dos zircões do ABGn exibindo coincidências entre o pico do Kfs com o pico da Thr e do pico da M com o pico da Mnz (Ce). Kfs-Feldspato alcalino, Thr-Torita, M-Mica e Mnz-Monazita

Fonte: Kretz (1983)

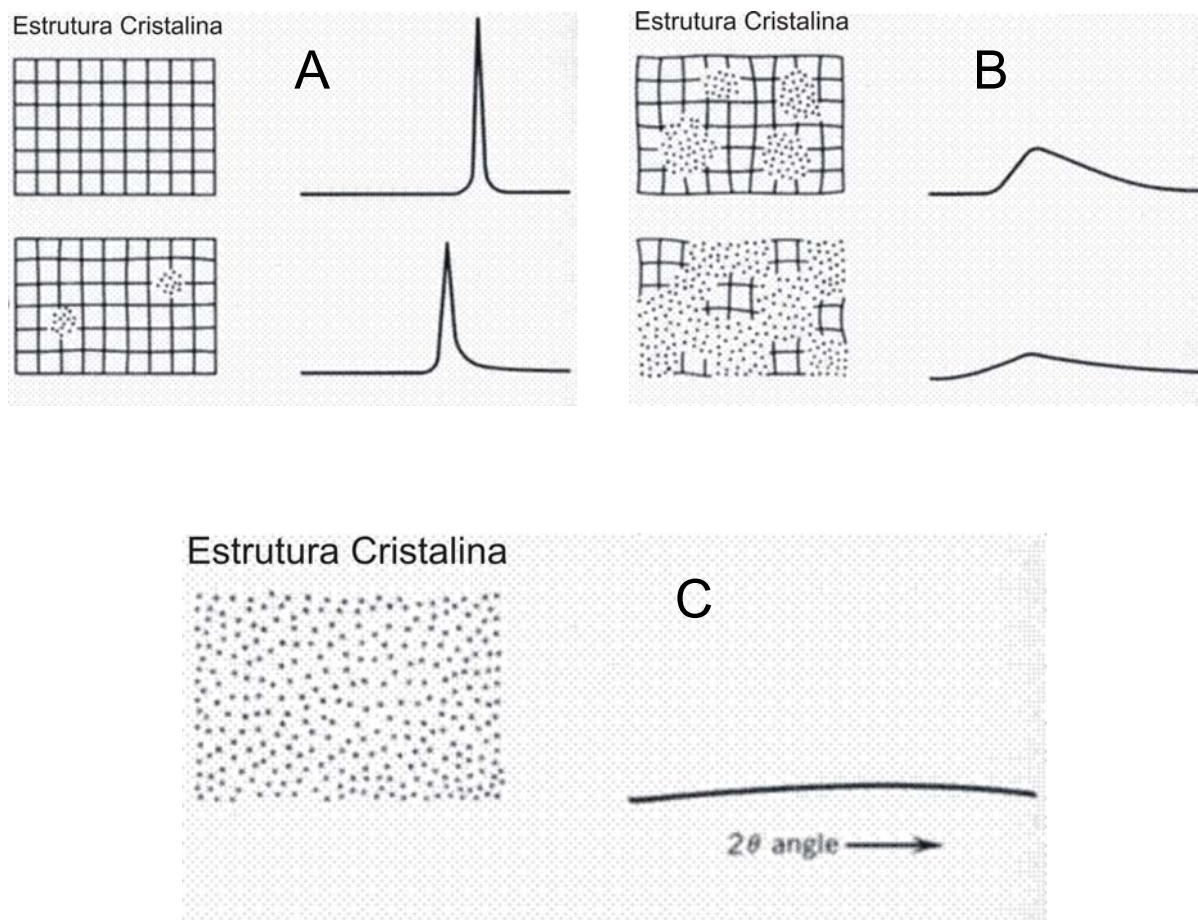


Figura 22-Padrão de difratograma exibindo os estágios da desestruturação da estrutura cristalina de um mineral. (A) estágio 1, (B) estágio 2 e (C) estágio 3.
Fonte: Dana (1993)

8.4 CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA

A composição média das análises químicas semiquantitativas por EDS estão dispostas na Tabela 2. Os resultados obtidos indicam que os cristais de zircão pertencentes ao anfibólio-biotita-sienogranito (ABSG), biotita-feldspato alcalino granito (BFAG) e feldspato alcalino-granito porfirítico hipersolvus (FAGPH), rochas encaixantes não mineralizadas, possuem características químicas distintas quando comparadas às análises obtidas nos zircões do albita-granito de borda (ABGb) e do albita-granito de núcleo (ABGn), ambos mineralizados em estanho.

Tabela 2-Composições elementares médias dos zircões das rochas encaixantes e do albita-granito de borda e de núcleo (estaníferos), obtidas por EDS (% em peso)

Fácies		Hf	Th	Nb	U	Ta	Ca	Sn	Zr/Hf
Encaixantes	ABSG	1,43	0,20	3,01	0,17	0,68	0,05	0,27	35,91
	BFAG	1,62	0,22	2,82	0,22	0,70	0,12	0,30	31,21
	FAGPH	1,72	0,20	2,76	0,22	0,65	0,09	0,26	30,21
Estaníferos	ABGb (análises na borda dos cristais)	3,75	0,18	2,65	0,21	0,50	0,15	0,23	14,29
	ABGb (análises no núcleo dos cristais)	3,06	0,24	2,64	0,23	0,56	0,21	0,23	17,02
	ABGn (análises na borda dos cristais)	4,71	0,38	2,55	0,24	0,48	0,10	0,30	11,57
	ABGn (análises no núcleo dos cristais)	3,03	1,51	2,56	0,35	0,62	0,11	0,20	16,60

Os cristais de zircão do ABSG, BFAG e FAGPH apresentam teores médios de Hf de 1,4, 1,6 e 1,7%, gerando, respectivamente, razões Zr/Hf médias de 35,9, 31,2 e 30,2. As concentrações médias dos demais elementos (Th, Nb, U, Ta, Ca e Sn) não possuem variações expressivas nas rochas encaixantes (Tabela 2).

Os dados obtidos nos cristais de zircão do ABGb e ABGn foram tratados de forma diferenciada, uma vez que as análises realizadas nas bordas dos cristais apresentaram diferenças significativas, principalmente com relação aos conteúdos percentuais de Hf, quando comparadas às análises realizadas nos núcleos dos mesmos cristais. Assim, as análises núcleo-borda foram tratadas separadamente e comparadas entre si e com as análises obtidas nas rochas encaixantes.

No ABGb, o teor médio de Hf encontrado nas bordas dos cristais de zircão foi de 3,7% e nos núcleos desses mesmos cristais, de 3, 1%, gerando razões Zr/Hf de 14,3 e 17,0, respectivamente. As análises nos núcleos são levemente mais enriquecidas em Th, U, Ta e Ca quando comparadas às obtidas nas bordas dos cristais. Nb e Sn mostram valores coincidentes para análises de núcleo-borda (Tabela 2).

Para os zircões do ABGn a concentração média de Hf das análises realizadas nas bordas dos cristais é de 4,7%, a maior encontrada, e de 3,0% para as realizadas nos seus núcleos, gerando razões Zr/Hf de 11,6 e 16,6, respectivamente.

Os teores médios de Nb e Ca não exibem diferenças significativas, ao contrário dos resultados obtidos com análises nas bordas e núcleos para o U (0,2 e 0,3%), Th (0,4 e 1,5%) e Ta (0,5 e 0,6%).

8.4.1 Estudo geoquímico comparativo entre os zircões das rochas encaixantes e do ABGb e ABGn

8.4.1.1 Rochas encaixantes vs. ABGb (análises químicas pontuais realizadas nas bordas e nos núcleos dos cristais de zircão)

Para este estudo foram utilizadas as concentrações de determinados elementos (Anexo F a J) que apresentaram variações significativas quando plotados em diagramas ternários e binários (Figuras 23 a 33).

Nos cristais de zircão das rochas encaixantes as concentrações médias de Nb e Ta variam de 2,8 a 3,0% e de 0,6 a 0,7%, respectivamente. Nos ABGb as análises nas bordas dos cristais mostraram concentração média de 2,6% para Nb e 0,5% para Ta. Tais conteúdos proporcionam maior aproximação dos zircões das rochas encaixantes para o vértice do Nb no diagrama Hf-Ta-Nb (Figura 23A).

A concentração média de Th nos cristais de zircão das rochas encaixantes é 0,2% e a de U 0,2%, resultados similares aos obtidos nas bordas dos cristais de zircão do ABGb, que é de 0,2 % para o Th e U, causando a superposição entre as amostras analisadas, como visto no diagrama Hf-Th-U (Figura 23B).

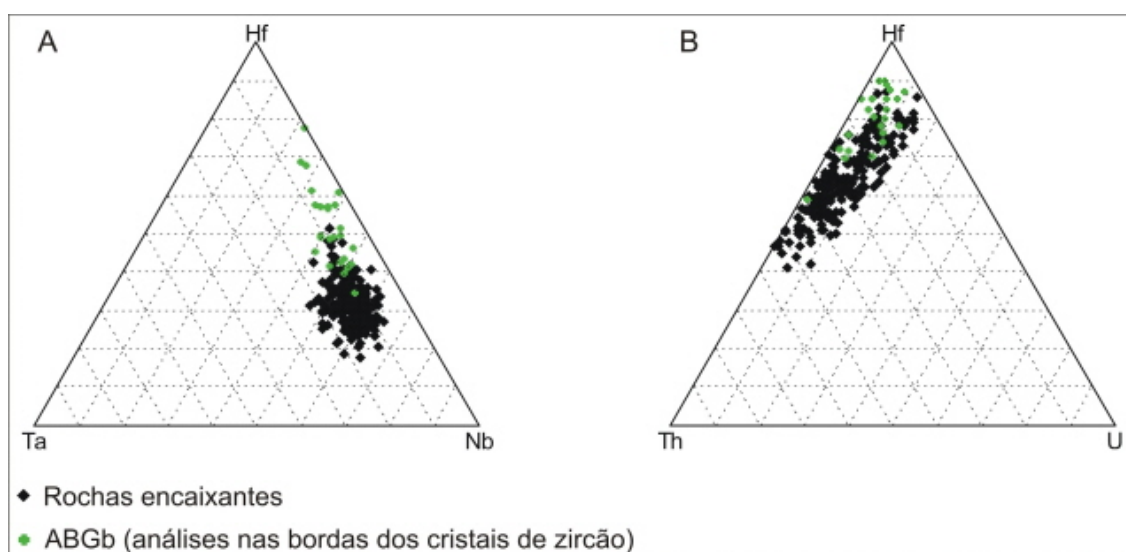


Figura 23- (A) Diagrama Hf-Ta-Nb e (B) Diagrama Hf-Th-U (% em peso) para os cristais de zircão das rochas encaixantes e do ABGb (análises nas bordas dos cristais de zircão).

O diagrama Zr/Hf vs Hf+Th+Nb+U (Figura 23C), exibe a variação das razões Zr/Hf (Anexo F a H) nos cristais de zircão do ABSG (20,6 a 52,6), do BFAG (19,15 a 49,09) e do FAGPH (17,0 a 50,4). O somatório dos conteúdos de Hf, Th, Nb e U nos zircões dessas rochas situa-se entre 4 e 6%.

As análises realizadas nas bordas dos cristais de zircão do ABGb, mostram razões Zr/Hf variando de 4,6 a 24,6 (Anexo I), com média de 15,7 e o somatório dos conteúdos de Hf, Th, Nb e U sendo menor do que 4% (Figura 23C).

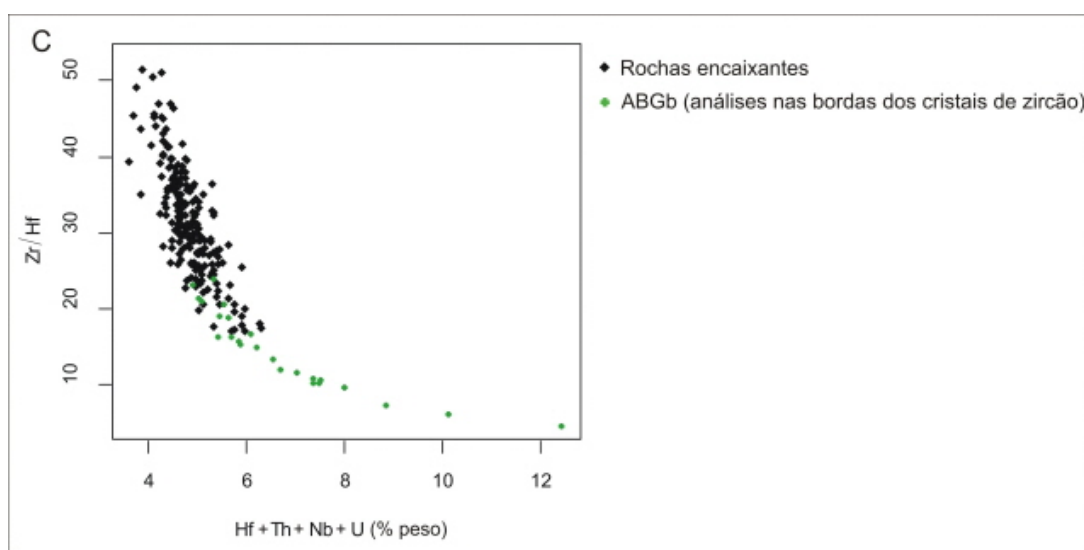


Figura 23C-Diagrama Zr/Hf vs. Hf+Th+Nb+U (% em peso) para os cristais de zircão das rochas encaixantes e do ABGb (análises nas bordas dos cristais de zircão).

Os resultados das análises obtidas no núcleo dos cristais de zircão do ABGb, comparados aos obtidos nos cristais pertencentes às encaixantes, não apresentaram distinção nos diagramas Hf-Ta-Nb e Hf-Th-U. Os diagramas gerados são similares devido à proximidade entre os seus teores médios de Ta e Nb e Th e U (Tabela 2).

O diagrama Zr/Hf vs. Hf+Th+Nb+U (Figura 23D) gerado na comparação entre as análises dos cristais das rochas encaixantes e as obtidas nos zircões do ABGb (análise no núcleo) é similar ao apresentado anteriormente para as análises nas bordas destes cristais. Observa-se uma leve variação na razão Zr/Hf, pois as análises nos núcleos dos cristais de zircão apresentam um conteúdo médio de Hf menor (3,1 %) que o obtido nas bordas (3,7%) (Tabela 2).

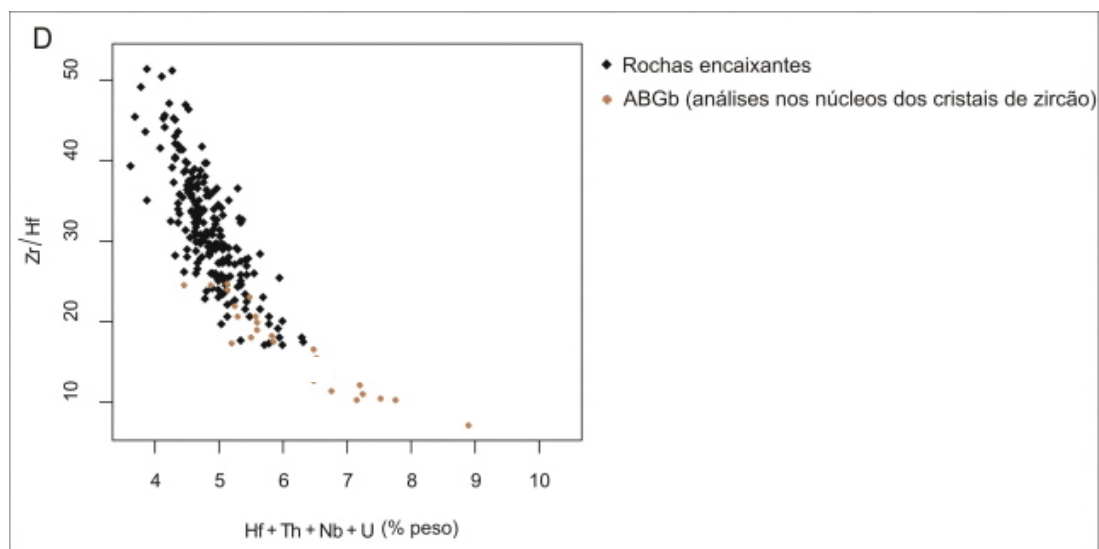


Figura 23D- Diagrama Zr/Hf vs Hf+Th+Nb+U (% em peso) para os cristais de zircão das rochas encaixantes e do ABGb (análises nos núcleos dos cristais de zircão).

8.4.1.2 Rochas encaixantes vs. ABGn (análises químicas pontuais realizadas nas bordas e nos núcleos dos cristais de zircão)

A concentração média de Nb e Ta em análises realizadas nas bordas dos zircões do ABGn são menores quando comparadas às obtidas nos zircões das rochas encaixantes (Tabela 2) gerando no diagrama ternário Hf-Ta-Nb (Figura 24A) um deslocamento das análises em zircões das encaixantes no sentido do vértice do Nb.

As variações das concentrações médias de Th e U para os zircões do ABGn (análises nas bordas) e para os zircões das encaixantes são pequenas (Tabela 2). O diagrama Hf-Th-U (Figura 24B) mostra uma superposição parcial entre os resultados dos zircões do ABGn com os das encaixantes, além de apresentar um maior espalhamento das análises nos zircões das encaixantes.

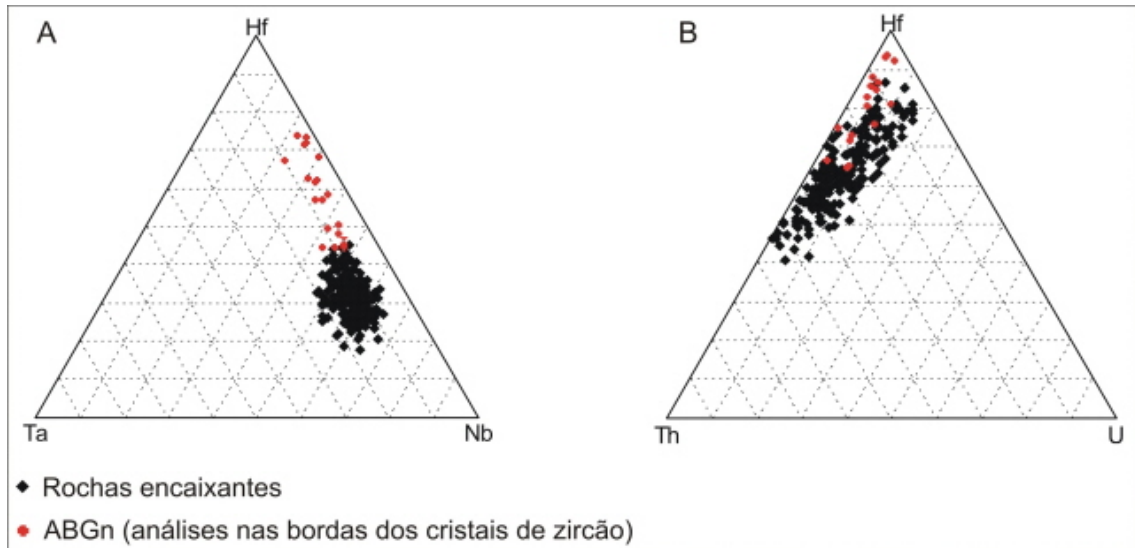


Figura 24- (A) Diagrama Hf-Ta-Nb e (B) Diagrama Hf-Th-U (% em peso) para os cristais de zircão das rochas encaixantes e do ABGn (análises nas bordas dos cristais de zircão).

No diagrama Zr/Hf vs Hf+Th+Nb+U (Figura 24C), os cristais de zircão das rochas encaixantes, com razões Zr/Hf variando de 17,0 a 52,2 (anexo 6 a 8) e o somatório de Hf, Th, Nb e U com valores máximos em torno de 6%, destacam-se quando comparados aos zircões do ABGn (análises nas bordas dos zircões), os quais apresentam razões Zr/Hf (Anexo J) comparativamente mais baixas (4,63 a 24,59) e somatória de Hf, Th, Nb e U (Figura 24C) mais elevadas (6 até aproximadamente 12%).

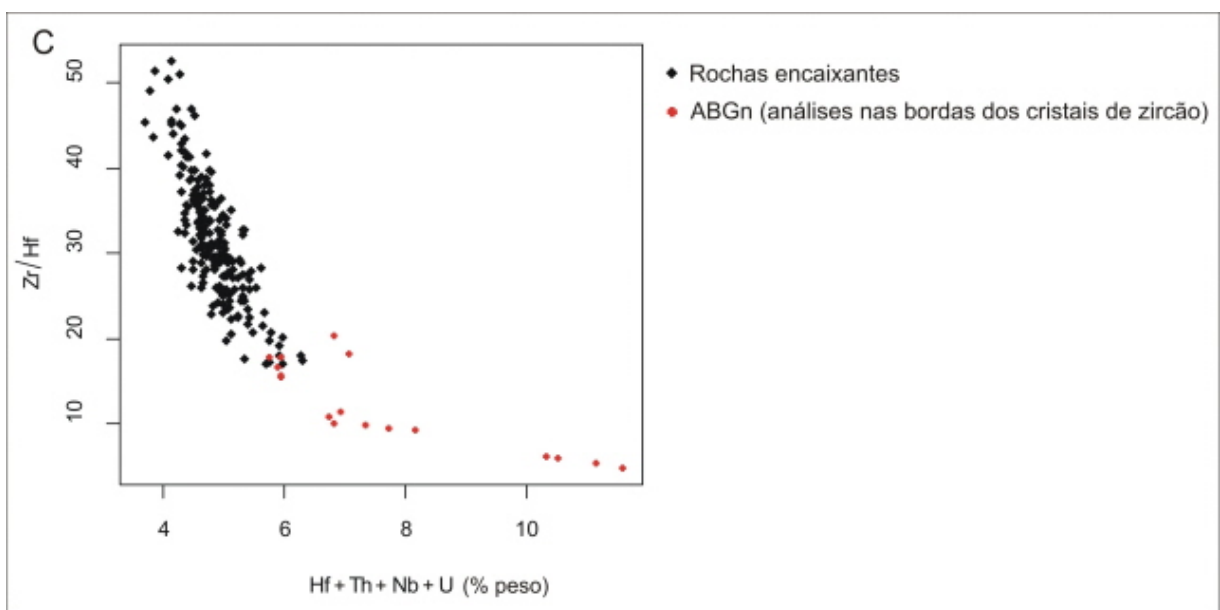


Figura 24C-Diagrama Zr/Hf vs. Hf+Th+Nb+U (% em peso) para os cristais de zircão das rochas encaixantes e do ABGn (análises nas bordas dos cristais de zircão).

Dentre os resultados obtidos no núcleo dos zircões do ABGn, merece destaque as concentrações de Th (média de 1,5%) e de U (média de 0,3%), valores esses consideravelmente mais elevados quando comparados aos obtidos para os zircões das rochas encaixantes (Tabela 2).

No diagrama ternário Hf-Ta-Nb (Figura 24D), grande parte das análises de EDS obtidas nos cristais de zircão das rochas encaixantes se superpõem às análises no núcleo dos cristais de zircão do ABGn, no sentido da aresta Hf-Nb.

No diagrama Hf-Th-U (Figura 24E) percebe-se um maior espalhamento das análises realizadas no núcleo dos cristais de zircão do ABGn, indicando variações consideráveis na concentração de Th. Este comportamento é observado também no diagrama Zr/Hf vs. Hf+Th+Nb+U (Figura 24F), onde as razões Zr/Hf dos cristais de zircão do ABGn variam de 4,7, a 25,1 (anexo J) com média de 14,2, e o somatório de Hf, Th, Nb e U de 5 até valores acima de 12%. Percebe-se, neste diagrama, que os zircões do ABGn (análises nos núcleos dos zircões) formam dois *trends* levemente distintos, devido a uma menor concentração de Hf e também teores elevados de Th e U presente em algumas amostras, com valores de até 6,66% e 1,28%, respectivamente, (anexo J). Este comportamento pode estar relacionado às fases transicionais no aspecto textural que esses cristais apresentam (Figura 14B).

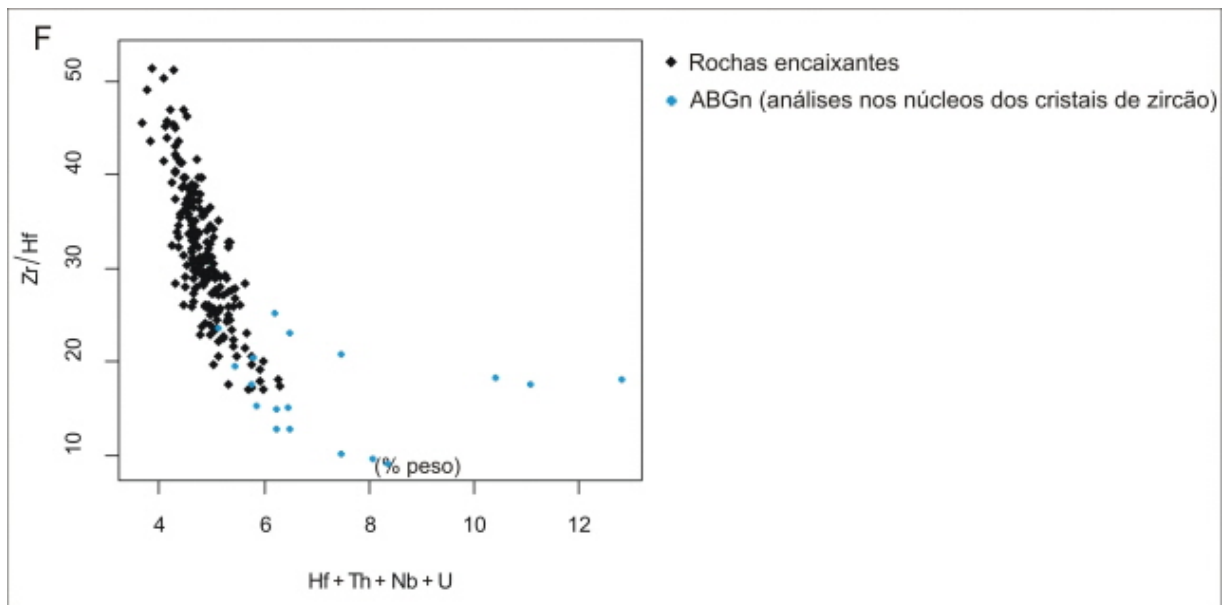
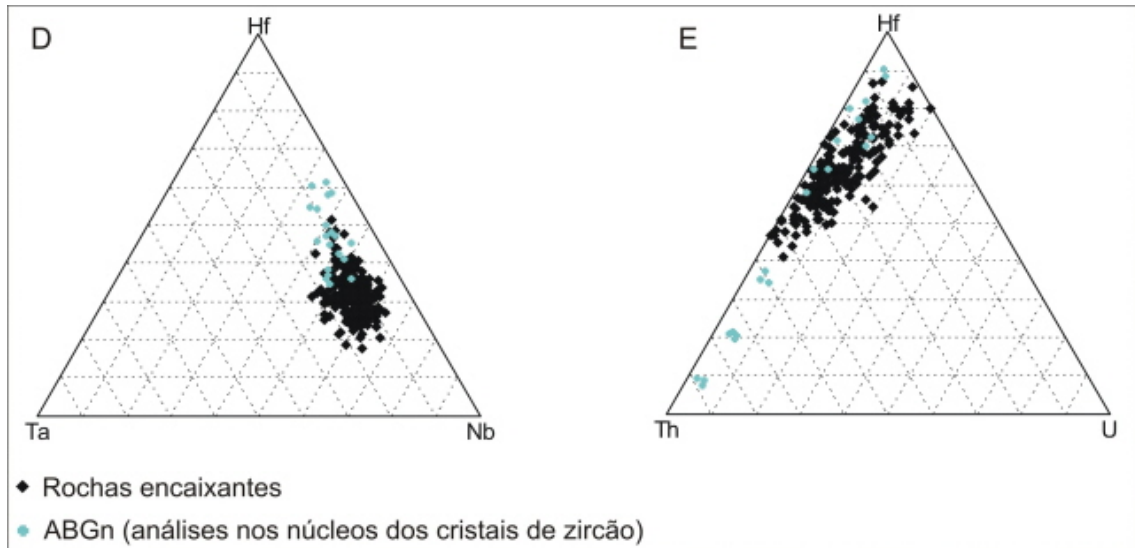


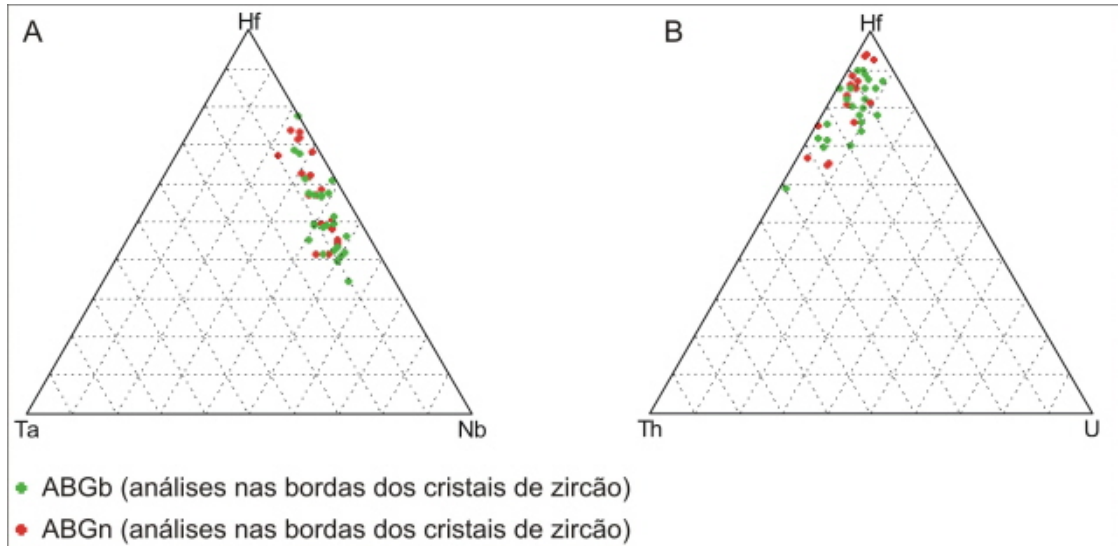
Figura 24-Diagramas ternários e binários. (D) Hf-Ta-Nb, (E) Hf-Th-U e (F) Zr/Hf vs Hf+Th+Nb+U (% em peso) para os cristais de zircão das rochas encaixantes e do ABGn (análises nos núcleos dos cristais de zircão).

8.4.2 Estudo geoquímico comparativo entre os zircões do ABGb e do ABGn

8.4.2.1 ABGb vs. ABGn (análises químicas pontuais realizadas nas bordas e nos núcleos dos cristais de zircão)

As análises químicas semiquantitativas por EDS obtidas nas bordas dos cristais de zircão do ABGb e do ABGn não apresentaram diferenças composicionais significativas.

Os resultados plotados nos diagramas ternários Hf-Ta-Nb (Figura 25A) e Hf-Th-U (Figura 25B) se superpõem no sentido da aresta Hf-Nb e Hf-Th, respectivamente, indicando a similaridade nos conteúdos médios desses elementos (Tabela 2).



Figuras 25-Diagramas (A) Hf-Ta-Nb e (B) Hf-Th-U (% em peso) para os cristais de zircão do ABGb e ABGn (análises nas bordas dos cristais de zircão).

O diagrama Zr/Hf vs. Hf+Th+Nb+U (Figura 25C) mostra um *trend* negativo bem definido e uma superposição das análises realizadas nas bordas dos cristais de zircão das duas rochas.

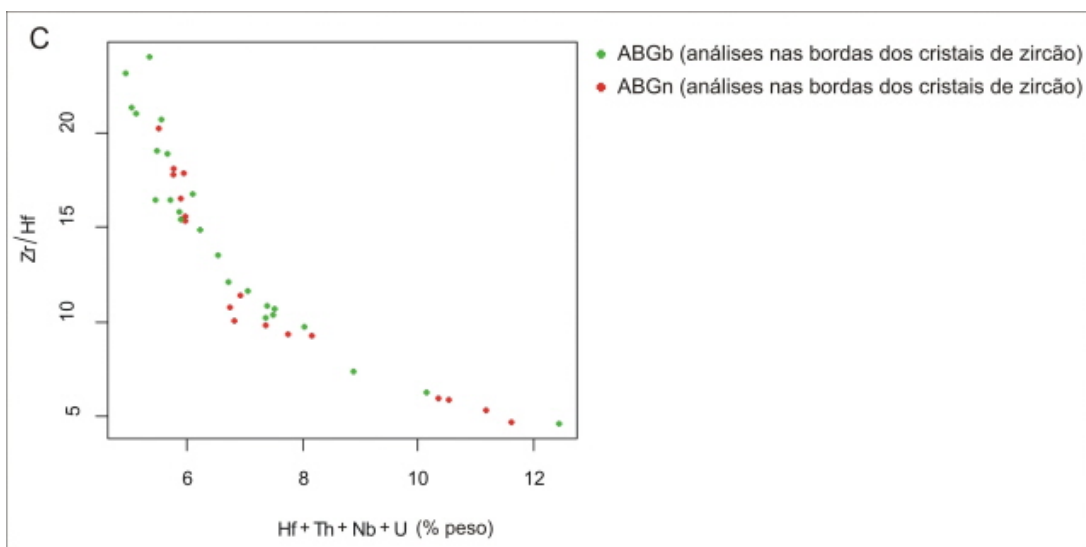


Figura 25 C-Diagrama Zr/Hf vs. Hf+Th+Nb+U (% em peso) para os cristais de zircão do ABGb e do ABGn (análises nas bordas dos cristais de zircão).

As análises realizadas nos núcleos dos cristais de zircão do ABGb e ABGn mostram boa superposição no lado Hf-Nb do diagrama Hf-Ta-Nb (Figura 25D). No diagrama Hf-Th-U (Figura 25E), observa-se um maior espalhamento das análises no lado Hf-Th, com os zircões do ABGn indicando maior enriquecimento em Th (Tabela 2).

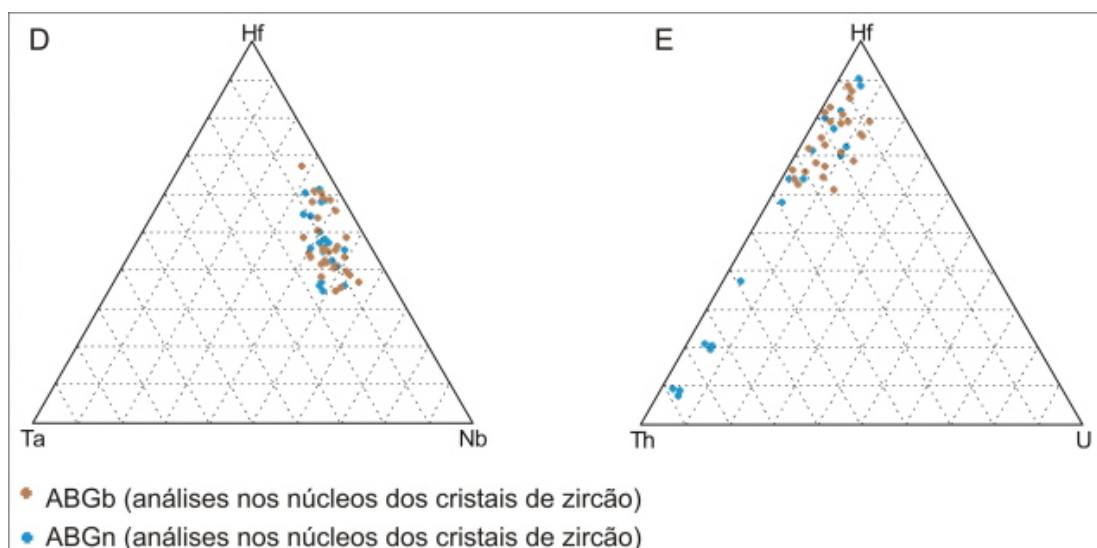


Figura 25-Diagramas (D) Hf-Ta-Nb e (E) Hf-Th-U (% em peso) para os cristais de zircão do ABGb e do ABGn (análises realizadas nos núcleos dos cristais de zircão).

O diagrama Zr/Hf vs. Hf+Th+Nb+U (Figura 25F) apresenta dois grupos distintos. O primeiro deles, constituído pela superposição de zircões do ABGb e do ABGn, forma um *trend* negativo bem definido, sugerindo similaridade composicional. O segundo representado apenas por zircões do ABGn possui zircões com razões Zr/Hf e conteúdos totais de Hf+Th+Nb+U, no geral, mais elevados, e se destacam do anterior.

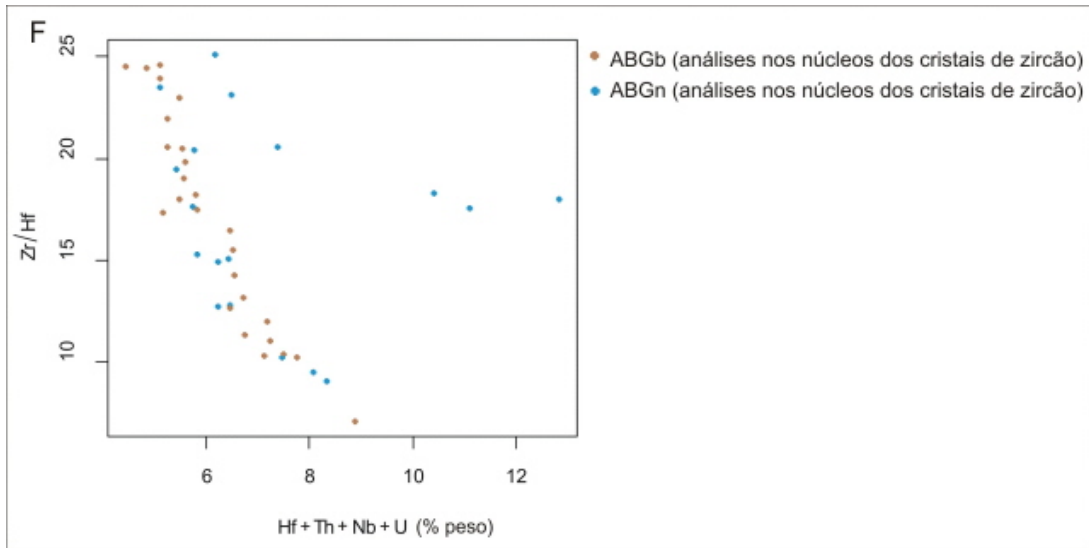


Figura 25F-Diagrama Zr/Hf vs Hf+Th+Nb+U (% em peso) para os cristais de zircão do ABGb e ABGn (análises nos núcleos dos cristais de zircão).

9 DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

As imagens obtidas por elétrons retroespalhados e catodoluminescência em zircões das rochas encaixantes (anfíbólio-biotita-sienogranito, biotita-feldspato alcalino granito e feldspato alcalino-granito porfirítico hipersolvus), não mineralizadas, e nas subfácies mineralizadas em estanho do albita-granito mostraram cristais de zircão com diferenças morfológicas significativas.

Os cristais de zircão das rochas encaixantes são predominantemente euédricos a subédricos, exibem zoneamentos composicionais concêntricos bem definidos e em geral, estão preservados e raramente metamitizados. Os zircões do albita-granito de borda (ABGb) e de núcleo (ABGn) são predominantemente subédricos, fracamente a isentos de zoneamentos, corroídos, intensamente metamitizados, exibem textura em peneira e são portadores de freqüentes inclusões minerais. Vale ressaltar que os zircões do ABGn apresentam uma maior quantidade de inclusões minerais quando comparados aos do ABGb.

A inclusão mineral mais comumente descrita como fase acessória nos zircões das rochas encaixantes é a apatita, e dentre essas rochas, os cristais de zircão do feldspato alcalino-granito porfirítico hipersolvus são os que apresentam maior variedade de inclusões minerais, com predomínio de monazita, fluorita e feldspato alcalino. Os zircões do ABGb e do ABGn são ricos em inclusões de minerais pesados como thorita e cassiterita, além da presença comum de albita e criolita.

Os estudos realizados no difratômetro de raios-X revelaram uma característica importante com relação à ao grau de cristalinidade apresentados pelos cristais de zircão do ABGb e ABGn. Os difratogramas que representam os zircões do ABGb (Figura 20A) exibem picos mais largos ao contrário dos ABGn que são mais estreitos (Figura 20B). Esse alargamento dos picos indica baixa cristalinidade, podendo estar relacionado à desestruturação da rede cristalina do mineral, seja pela recristalização do zircão do ABGb por ação dos processos metassomáticos que originaram esta fácies, seja por metamitização, processo este já descrito na caracterização morfológica destes cristais.

A elevação do *background* no difratograma (Figura 20A) reforça a idéia da desestruturação da rede cristalina do mineral, pois indica a presença de material

amorfo nos zircões do ABGb, abrindo a possibilidade para a presença, na amostra, de várias gerações de zircões.

Além da avaliação do grau de cristalinidade dos zircões foi possível caracterizar também, através da difração de raios-X, as fases acessórias presentes como inclusões. Os resultados obtidos confirmaram as análises de EDS, com a indicação de minerais pesados como torita e monazita, além de micas e feldspatos alcalinos.

As análises semiquantitativas mostraram que os zircões das subfácies mineralizadas em estanho do albita-granito possuem teores médios de Hf elevados, variando de 3,1 a 3,7% para os cristais do ABGb e de 3,0 a 4,7% para os do ABGn, quando comparados aos obtidos nos zircões das rochas encaixantes não mineralizadas (1,4 a 1,7%). O conteúdo elevado de Hf dos zircões do albita-granito gerou baixas razões Zr/Hf, com médias que variam de 11,6 a 17,0, ao contrário dos zircões das rochas encaixantes, com razões Zr/Hf de 30,2 a 35,9. Baixas razões Zr/Hf são características em granitos evoluídos enriquecidos em metais raros (KEMPE et al., 1997; WANG et al., 2000).

Os diagramas ternários e binários comparativos para os zircões das rochas encaixantes e do ABGb e ABGn ressaltaram as diferenças geoquímicas apresentadas pelos cristais de zircão provenientes das rochas graníticas portadoras de estanho. As figuras 23 (C,D) e 24C (diagramas binários) exibem um *trend* negativo, onde os zircões das encaixantes se concentram na parte superior do diagrama, com razões Zr/Hf mais elevadas, e os zircões do ABGb e ABGn mostram uma continuação no sentido das razões Zr/Hf mais baixas. Esse comportamento sugere populações distintas de zircão. Onde os zircões das rochas encaixantes separam-se dos do albita-granito, devido aos processos de fracionamento magmático, ou ainda, aos processos de alteração hidrotermal, sendo modificados textural e geoquimicamente por fluidos hidrotermais que percolaram a rocha, se enriquecendo em Hf, Th e U.

Os zircões do ABGb e do ABGn apresentaram variações geoquímicas marcantes, com enriquecimento significativo nos conteúdos de Hf no sentido núcleo-borda (Tabela 2), assim como um enriquecimento em Th, U, Ta e Ca no sentido borda-núcleo. Além de diferenças geoquímicas nas análises nos núcleos dos zircões do ABGn, devido a uma menor concentração de Hf e também teores elevados de Th e U presente em algumas amostras, com valores de até 6,66% e 1,28%,

respectivamente, (anexo J), podendo estar relacionado às fases transicionais no aspecto textural desses cristais (Figura 14B).

As imagens de elétrons retroespalhados e catodoluminescência mostram que os zircões do ABGb e ABGn mineralizados em estanho são morfológica e texturalmente distintos dos zircões encontrados nas rochas encaixantes não mineralizadas, os quais exibem zoneamentos característicos de zircões magmáticos. Além disso, os zircões do albita-granito são muito mais enriquecidos em Hf, apresentam razões Zr/Hf comparativamente mais baixas (Tabela 2) e são extremamente ricos em inclusões de minerais pesados, com maior destaque para aqueles do ABGn. Tais diferenças indicam que os zircões do albita-granito não foram gerados a partir do mesmo líquido que deu origem aos zircões das rochas encaixantes, tratando-se, portanto, de outra geração de zircões.

O estudo de difração de raios-X foi importante na identificação do baixo grau de cristalinidade dos zircões do albita-granito, fato confirmado com as imagens de catodoluminescência desses zircões, as quais mostraram elevado grau de metamitização para os mesmos. Ambos os estudos – difração e catodoluminescência – foram importantes para se entender a impossibilidade dessas rochas não terem sido datadas até hoje por metodologias que utilizam este mineral (Pb-Pb em zircão, U-Pb em zircão).

Os dados obtidos com a MEV e análises de EDS foram capazes de caracterizar e individualizar cristais de zircão de rochas portadoras de estanho de zircões das rochas encaixantes não mineralizadas, além de identificar os diferentes tipos de inclusões que ocorrem nos zircões das primeiras. Tal fato demonstra que estas ferramentas podem ser úteis na prospecção preliminar desse tipo de mineralização.

REFERÊNCIAS

- BELOUSOVA, E. A.; GRIFFIN, W. L. Igneous zircon: trace element composition as an indicator of source rock type. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v. 143, n. 5, p. 602-622, 2002.
- BORGES, R. M. K. *Greisens e epissienitos potássicos associados ao Granito Água Boa, Pitinga (AM): um estudo dos processos hidrotermais geradores de mineralizações estaníferas*. 2002. 348 f. Tese (Doutorado em Geoquímica e Petrologia) - Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Belém, 1996.
- _____; DALL'AGNOL, R.; COSTI, H. T. Petrografia dos greisens associados ao Granito Água Boa – Mina do Pitinga (AM). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39., 1996, *Anais...* Salvador: SBG, 1996. v. 6, p. 436-438.
- CORFU, F. et al. Atlas of zircon textures. In: HANCHAR, J. M.; HOSKIN, P. W. O. (Eds.). *Zircon: Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, v. 53, p. 469–499, 2003.
- COSTI, H. T. *Petrologia de granitos alcalinos com alto flúor mineralizados em metais raros: o exemplo do albita-granito da mina Pitinga, Amazonas, Brasil*. 2000. 345 f. Tese (Doutorado em Geoquímica e Petrologia) - Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Belém, 2000.
- _____; BORGES, R. M. K.; DALL'AGNOL, R. Depósitos de Estanho da Mina Pitinga, Estado do Amazonas. In: MARINI, O. J.; QUEIROZ, E. T.; RAMOS, B. W. (Eds.) *Caracterização de depósitos minerais em distritos mineiros da Amazônia*. Brasília: DNPM; FINEP; ADIMB, 2005. p. 391-475.
- _____; DALL'AGNOL, R.; MOURA, C. A. V. Geology and Pb-Pb Geochronology of Paleoproterozoic volcanic and granitic rocks of Pitinga Province, Amazonian Craton, northern Brazil. *International Geology Review*, v. 42, p. 832-849, 2000.
- _____ et al. Tin-bearing sodic episyenites associated with the Proterozoic, A-Type Água Boa Granite, Pitinga Mine, Amazonian Craton. *Gondwana Research*, v. 5, n. 2, p. 435-451, 2002.
- DANA, J. D. *Manual of Mineralogy*. [S.l.: s.n.], 1993.
- FEIO, G. R. L. *Caracterização petrográfica e mineralógica de Epissienitos sódicos e greisens mineralizados em estanho associados ao granito Água Boa- Mina Pitinga (AM)*. 2005. 55 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia) - Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Belém, 2005.
- FERRON, J. M. T. M. et al. Geologia e geocronologia Pb–Pb de rochas graníticas e vulcânicas ácidas a intermediárias paleoproterozóicas da Província Pitinga, Cráton Amazônico. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 36, n. 3, p. 499–512, 2006.

HORBE, M. A. et al. Geochemical characteristics of cryolite-tin-bearing granites from Pitinga Mine, northwestern Brazil- a review. *Journal of Geochemical Exploration*, v. 40, p. 227-249, 1991.

KEMPE, U. et al. Hf-rich zircon in rare-metal bearing granites: Magmatic or metasomatic origin? In: PAPUNEN, H. *Mineral Deposits: research and exploration*. Rotterdam: Balkema, p. 643-646, 1997.

KEMPE, U. et al. Discussion on Wang et al. "Chemistry of Hf-rich zircons from the Laoshan I- and A-type granites, Eastern China". *Mineral Magazine*, v. 64, p. 867-877, 2004.

KRETZ, R. Symbols for rock-forming minerals. *American Mineralogist*, v. 68, p. 277-279, 1983.

LAMARÃO, C. N. et al. Variações composicionais de zircão em granitos anorogênicos proterozóicos do Cráton Amazônico: implicações metalogenéticas. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 37, n. 4, p. 693-704, 2007.

MURALI, A. V. et al. Trace element characteristics, REE patterns and partition coefficients of zircons from different geological environments- a case study on Indian zircons. *Geochimica Cosmochimica Acta*, v. 47, p. 2047-2052, 1983.

OLIVEIRA, M. J. R. et al. Litogeoquímica da Suíte Intrusiva Água Branca – SE de Roraima. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39., 1996, Salvador. *Anais...* Salvador: SBG, 1996. v. 2, p. 213–216.

PUPIN, J. P. Zircon and granite petrology. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v. 73, p. 207-220, 1980.

PUPIN, J. P. Granite genesis related to geodynamics from Hf-Y in zircon. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Science*, v. 91, p. 245-256, 2000.

SANTOS, J. O. S. et al. A new understanding of the provinces of the Amazon Craton based on integration of field mapping and U–Pb and Sm–Nd geochronology. *Gondwana Research*, v. 3, n. 4, p. 453–488, 2000a.

_____ et al. Significant presence of the Tapajós-Parima belt in the Roraima region, Amazon Craton based SHRIMP U-Pb zircon geochronology. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 41., 2000, João Pessoa. *Anais...* João Pessoa: SBG, 2000b. p. 336.

SOLEDADE, G. L. et al. Estudo de zircões de rochas granitóides e greisens mineralizados em cassiterita da província estanífera de Pitinga, Manaus, através de microscopia eletrônica de varredura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 44., 2008, Curitiba. *Anais...* Curitiba: SBG, 2008. p. 874.

TASSINARI, C. C. G.; MACAMBIRA, M. J. B. Geochronological Provinces of the Amazonian Craton. *Episodes*, v. 22, p. 174-182, 1999.

UHER, P. et al. Zircon in highly evolved hercynian homolka granite, moldanubian zone, czech republic: indicator of magma source and petrogenesis. *Geologica Carpathica*, v. 49, n. 3, p.151-160, 1998.

VALÉRIO, C. S. et al. The 1.90–1.88 Ga magmatism in the southernmost Guyana Shield, Amazonas, Brazil: Geology, geochemistry, zircon geochronology, and tectonic implications. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 28, p. 304-320, 2009.

VEIGA, JR. et al. *Projeto Sulfetos de Uatumã: relatório final*. Manaus: DNPM; CPRM, 1979. v. 7.

WANG, R. C. et al. Chemistry of Hf-zircons from the Laoshan I- and A-type granites, Eastern China. *Mineral Magazine*, v. 64, p. 867-877, 2000.

11 OBRAS CONSULTADAS

BLEICHER, L.; SASAKI, J. M. *Introdução à difração de raios-X em cristais*. Disponível em: <<http://www.fisica.ufc.br/raiosx/download/apostila.pdf>>. Acesso em: 18 jan. 2009.

GOMES, N. S.; VORTISH, W. Catodoluminescência: breve retrospectiva da Técnica e exemplos de sua aplicação ao estudo de rochas sedimentares. *Revista da Escola de Minas*, v. 44, n.1, p. 16-27, 1990.

MALISKA, A. M. *Microscopia eletrônica de varredura*. 2005. Disponível em: <www.materias.ufsc.br/lcm/web_MEV/MEV.Apostila.pdf>. Acesso em: 06 jan. 2009.

ANEXOS

ANEXO A – ANÁLISES SEMIQUANTITATIVAS POR EDS-MEV DAS INCLUSÕES MINERAIS NO ABSG

Mineral	Apatita	Titanita	Zircão	Albita
Elemento	Concentração (%)			
O	42,99	49,69	36,75	46,09
Si		14,52	12,44	35,85
Al		2,09		10,50
Fe		1,40		0,24
Ca	29,99	15,85		0,40
Na				5,51
K				1,40
Zr			50,81	
Ti		16,46		
F	1,78			
P	18,29			
Cl	0,06			
Sr	1,07			
La	0,77			
Ce	2,08			
Nd	0,36			
Sm	0,00			
Eu	0,26			
Gd	0,32			
Tb	0,00			
Dy	0,43			
Ho	0,00			
Er	0,41			
Tm	0,35			
Yb	0,34			
Lu	0,52			

ANEXO B – ANÁLISES SEMIQUANTITATIVAS POR EDS-MEV DAS FASES INCLUSÕES MINERAIS NO BFG

(continua)

Mineral	Apatita
Elemento	Conc (%)
O	44,82
Ca	29,80
F	1,91
P	17,90
Cl	0,12
Sr	0,28
La	0,56
Ce	0,66
Nd	0,80
Sm	0,37

ANEXO B – ANÁLISES SEMIQUANTITATIVAS POR EDS-MEV DAS FASES INCLUSÕES MINERAIS NO B FAG

(conclusão)

Eu	0,30
Gd	0,00
Tb	0,00
Dy	0,25
Ho	0,47
Er	0,36
Tm	0,26
Yb	0,62
Lu	0,53

ANEXO C – ANÁLISES SEMIQUANTITATIVAS POR EDS-MEV DAS INCLUSÕES MINERAIS NO FAGPH

Mineral	Monazita	Fluorita	Feldspato potássico	Mica
Elemento	Concentração (%)			
O	29,77		50,34	45,54
Si			29,42	30,99
Al			9,58	9,12
Fe	1,89		0,11	5,62
Ca		81,30		
K			10,46	8,72
Mg			0,09	
F		18,70		
P	14,56			
La	15,29			
Ce	29,71			
Nd	1,67			
Sm	0,00			
Eu	0,82			
Gd	0,00			
Tb	0,00			
Dy	0,45			
Ho	0,98			
Er	0,68			
Yb	0,94			
Lu	0,65			
Th	2,19			
U	0,41			

ANEXO D – ANÁLISES SEMIQUANTITATIVAS POR EDS-MEV DAS INCLUSÕES MINERAIS NO ABGb

Mineral	Thorita	Mica	Albita	Cassiterita
Elemento	Concentração (%)			
O	27,50	39,89	56,25	21,05
Si	8,36	28,55	26,88	
Al	0,04	8,83	9,30	
Fe		9,96		0,44
Ca			0,13	
Na	0,08		7,40	
K		12,72	0,04	
Mg		0,05		
Th	61,48			
U	2,54			
Nb				0,35
Sn				75,12
Ta				1,31
Pb				1,73

ANEXO E – ANÁLISES SEMIQUANTITATIVAS POR EDS-MEV DAS INCLUSÕES MINERAIS ABGn

Mineral	Criolita	Thorita	Albita	Cassiterita
Elemento	Concentração (%)			
O	7,59	23,29	51,91	22,45
Si		3,38	30,47	
Al	16,72	0,27	9,76	
Fe		9,51		0,87
Ca			0,10	
Na	37,63	0,39	7,63	
K			0,13	
F	38,06			
Th		61,80		
U		1,36		
Nb				2,22
Sn				71,43
Ta				1,47
Pb				1,56

ANEXO F – ANÁLISES SEMIQUANTITATIVAS POR EDS-MEV NOS CRISTAIS DE ZIRCÃO DO ABSG

Elementos	O	Si	Zr	Hf	Th	Nb	U	Ta	Ca	Sn	Zr/Hf
ABSG 1 70624-1	31,93	12,39	49,07	1,36	0,20	3,25	0,09	0,65	0,07	0,30	36,10
ABSG 1 70624-2	32,33	12,48	49,91	0,97	0,17	2,55	0,18	0,55	0,07	0,15	51,34
ABSG 1 70624-3	30,97	12,56	50,06	1,34	0,12	3,09	0,21	0,64	0,08	0,17	37,25
ABSG 2 70625-1	31,80	12,39	49,39	1,36	0,15	3,29	0,17	0,54	0,04	0,31	36,42
ABSG 2 70625-2	31,62	12,54	49,23	1,43	0,27	3,25	0,03	0,66	0,02	0,34	34,50
ABSG 2 70625-3	32,12	12,35	48,97	1,49	0,21	3,13	0,07	0,74	0,01	0,34	32,78
ABSG 3 70626-1	32,01	12,52	49,29	1,05	0,09	3,21	0,12	0,85	0,04	0,32	46,94
ABSG 3 70626-2	32,45	12,41	48,68	1,39	0,16	3,36	0,22	0,40	0,06	0,35	35,10
ABSG 3 70626-3	31,86	12,57	49,32	1,07	0,18	3,13	0,15	0,80	0,01	0,30	46,27
ABSG 4 70627-1	31,77	12,58	49,24	1,66	0,05	3,03	0,23	0,67	0,07	0,18	29,73
ABSG 4 70627-2	32,17	12,29	49,54	1,29	0,11	3,04	0,12	0,57	0,07	0,12	38,49
ABSG 4 70627-3	32,07	12,29	49,42	1,68	0,11	3,17	0,12	0,48	0,02	0,22	29,42
ABSG 5 70628-1	31,27	12,57	49,47	1,51	0,31	3,46	0,06	0,48	0,01	0,27	32,72
ABSG 5 70628-2	31,17	12,35	49,68	1,82	0,12	2,96	0,14	0,86	0,03	0,19	27,23
ABSG 5 70628-3	32,11	12,39	49,60	1,10	0,27	2,74	0,01	0,58	0,05	0,30	45,13
ABSG 6 70629-1	31,90	12,38	48,97	1,76	0,09	3,07	0,21	0,82	0,06	0,20	27,87
ABSG 6 70629-2	31,72	12,33	49,51	1,23	0,21	3,08	0,00	0,69	0,04	0,51	40,22
ABSG 7 70630-1	33,01	12,35	48,43	1,25	0,18	2,88	0,13	0,75	0,03	0,15	38,62
ABSG 7 70630-2	32,49	12,41	48,97	1,29	0,08	3,07	0,25	0,63	0,02	0,28	38,05
ABSG 8 70631-1	32,48	12,35	49,12	1,43	0,21	2,88	0,13	0,49	0,02	0,28	34,28
ABSG 8 70631-2	32,14	12,29	49,11	1,36	0,15	3,21	0,07	0,54	0,02	0,28	36,24
ABSG 9 70632-1	32,28	12,51	49,58	1,19	0,12	2,81	0,23	0,45	0,04	0,27	41,84
ABSG 9 70632-2	32,50	12,35	48,26	1,76	0,10	3,33	0,14	0,65	0,00	0,34	27,45
ABSG 10 70633-1	32,46	12,48	48,39	1,78	0,13	3,06	0,05	0,50	0,05	0,38	27,25
ABSG 10 70633-2	32,23	12,20	49,49	1,09	0,12	2,93	0,14	0,84	0,04	0,15	45,28
ABSG 10 70633-3	31,91	12,49	49,26	1,33	0,18	2,77	0,21	0,71	0,03	0,31	36,92
ABSG 11 70634-1	31,54	12,46	49,76	1,55	0,18	2,73	0,15	0,72	0,03	0,19	32,17
ABSG 11 70634-2	32,17	12,37	49,50	1,53	0,08	2,89	0,26	0,45	0,10	0,05	32,31
ABSG 12 70635-1	32,04	12,45	49,59	1,25	0,08	2,94	0,24	0,72	0,10	0,12	39,73
ABSG 12 70635-2	31,55	12,48	49,41	1,76	0,28	2,74	0,07	0,71	0,02	0,42	28,10
ABSG 13 70636-1	31,80	12,54	49,63	1,48	0,01	2,87	0,22	0,60	0,05	0,29	33,62
ABSG 13 70636-2	32,21	12,25	48,66	1,67	0,10	3,27	0,23	0,69	0,02	0,33	29,17
ABSG 13 70636-3	32,98	12,31	49,00	1,21	0,21	2,67	0,21	0,65	0,06	0,29	40,36
ABSG 14 70637-1	32,01	12,48	49,45	1,28	0,28	3,00	0,15	0,57	0,03	0,22	38,78
ABSG 14 70637-2	32,50	12,32	48,87	1,38	0,13	2,93	0,12	0,67	0,03	0,21	35,44
ABSG 15 70638-1	31,26	12,64	49,47	1,67	0,16	3,01	0,01	0,76	0,09	0,36	29,62
ABSG 15 70638-2	32,36	12,13	48,91	1,60	0,30	3,04	0,08	0,50	0,05	0,16	30,53
ABSG 16 70639-1	31,41	12,40	48,90	1,80	0,17	3,11	0,16	1,12	0,10	0,16	27,10
ABSG 16 70639-2	32,35	12,34	49,16	1,47	0,07	2,84	0,25	0,70	0,03	0,27	33,56
ABSG 16 70639-3	31,83	12,43	49,16	1,30	0,22	3,06	0,20	0,79	0,01	0,18	37,93
ABSG 17 70640-1	32,79	12,15	48,81	1,39	0,23	3,06	0,00	0,58	0,03	0,28	35,14
ABSG 17 70640-2	33,62	12,26	47,74	0,93	0,26	3,06	0,02	0,55	0,00	0,60	51,11
ABSG 17 70640-3	33,23	12,02	48,13	0,92	0,21	3,38	0,15	0,93	0,01	0,28	52,60
ABSG 18 70641-1	33,56	12,34	46,88	2,28	0,51	2,36	0,32	0,52	0,14	0,19	20,61
ABSG 18 70641-2	32,66	12,23	48,66	1,57	0,13	2,72	0,20	0,71	0,04	0,27	31,08
ABSG 19 70642-1	32,58	11,95	49,71	1,26	0,22	1,86	0,27	0,90	0,03	0,26	39,36
ABSG 19 70642-2	32,17	12,62	48,91	1,53	0,41	2,57	0,00	0,77	0,04	0,38	32,01
ABSG 20 70643-1	32,68	12,10	48,11	1,00	0,37	3,28	0,00	1,14	0,04	0,42	48,26
ABSG 20 70643-2	32,65	12,25	47,85	1,69	0,32	3,37	0,24	0,61	0,03	0,49	28,33

ANEXO G – ANÁLISES SEMIQUANTITATIVAS POR EDS-MEV NOS CRISTAIS DE ZIRCÃO DO BFAG

(continua)

Elementos	O	Si	Zr	Hf	Th	Nb	U	Ta	Ca	Sn	Zr/Hf
BFAG 1 70646-1	31,14	12,66	49,41	1,33	0,38	2,77	0,19	0,85	0,06	0,31	37,12
BFAG 1 70646-2	31,13	12,40	49,40	1,91	0,33	2,96	0,12	0,56	0,08	0,28	25,85
BFAG 2 70647-1	33,32	12,12	47,97	1,48	0,20	2,48	0,09	0,95	0,07	0,24	32,50
BFAG 2 70647-2	32,76	12,49	47,08	2,38	0,13	2,35	0,17	0,90	0,02	0,62	19,76
BFAG 3 70648-1	32,49	12,17	48,40	1,67	0,20	3,02	0,26	0,79	0,09	0,26	29,07
BFAG 3 70648-2	31,39	12,62	49,42	1,62	0,20	2,98	0,21	0,66	0,07	0,18	30,51
BFAG 3 70648-3	32,73	12,22	48,73	1,21	0,02	2,84	0,23	0,89	0,14	0,39	40,21
BFAG 4 70644-1	31,28	12,63	49,86	1,38	0,24	2,74	0,12	0,46	0,02	0,24	36,24
BFAG 4 70644-2	32,64	12,23	48,54	1,55	0,10	3,00	0,34	0,75	0,05	0,17	31,24
BFAG 4 70644-3	32,68	12,59	48,84	1,11	0,08	2,76	0,20	0,74	0,05	0,14	44,00
BFAG 5 70649-1	32,59	12,46	48,97	1,37	0,22	2,69	0,11	0,50	0,05	0,43	35,75
BFAG 5 70649-2	33,99	12,14	47,76	1,28	0,14	2,83	0,27	0,44	0,09	0,35	37,43
BFAG 5 70649-3	32,25	12,07	49,01	1,48	0,35	2,72	0,13	0,83	0,00	0,39	33,11
BFAG 5 70649-4	38,00	11,44	43,11	2,15	0,26	2,92	0,64	0,47	0,29	0,13	20,02
BFAG 5 70649-5	33,18	10,60	48,56	2,15	0,06	2,47	0,56	0,66	0,72	0,00	22,62
BFAG 6 70650-1	33,50	12,11	47,67	1,97	0,16	2,50	0,26	0,76	0,08	0,06	24,16
BFAG 6 70650-2	32,40	12,09	48,75	1,64	0,33	3,01	0,04	0,51	0,07	0,57	29,75
BFAG 7 70651-1	35,69	11,51	44,14	1,53	0,43	2,72	0,38	0,85	0,52	0,16	28,93
BFAG 7 70651-2	31,28	12,43	48,91	1,93	0,27	3,27	0,00	0,66	0,01	0,62	25,36
BFAG 7 70651-3	31,19	12,42	49,77	1,67	0,31	2,75	0,20	0,64	0,06	0,16	29,75
BFAG 8 70652-1	32,16	12,36	48,53	1,22	0,15	3,31	0,08	1,24	0,00	0,51	39,71
BFAG 8 70652-2	32,25	12,34	48,93	1,70	0,00	2,65	0,29	0,38	0,03	0,32	28,73
BFAG 8 70652-3	32,61	12,38	48,19	1,42	0,25	2,87	0,21	1,14	0,04	0,20	33,84
BFAG 8 70652-4	32,80	12,39	48,26	1,72	0,08	3,09	0,26	0,68	0,07	0,15	28,02
BFAG 8 70652-5	37,00	10,94	44,81	1,39	0,97	2,19	0,38	0,85	0,26	0,21	32,14
BFAG 9 70653-1	32,38	12,46	48,88	1,65	0,20	2,68	0,19	0,49	0,11	0,23	29,68
BFAG 9 70653-2	31,71	12,17	48,98	1,50	0,14	3,06	0,26	0,75	0,07	0,29	32,59
BFAG 10 70654-1	31,64	12,45	49,36	1,35	0,27	2,66	0,30	0,78	0,10	0,14	36,67
BFAG 10 70654-2	31,32	13,04	47,98	2,51	0,18	3,09	0,15	0,56	0,05	0,53	19,15
BFAG 10 70654-3	32,43	12,43	48,70	1,67	0,20	2,82	0,20	0,78	0,06	0,18	29,25
BFAG 11 70655-1	31,97	12,40	49,22	1,38	0,09	3,17	0,16	0,49	0,08	0,34	35,64
BFAG 11 70655-2	32,01	12,61	49,18	1,59	0,29	2,86	0,11	0,25	0,15	0,22	30,95
BFAG 12 70656-1	32,87	12,57	48,99	1,22	0,00	2,74	0,18	0,56	0,07	0,24	40,25
BFAG 12 70656-2	30,73	12,47	50,43	1,27	0,14	2,87	0,19	0,85	0,03	0,35	39,77
BFAG 12 70656-3	33,83	11,89	46,55	2,08	0,42	2,58	0,35	0,42	0,01	0,57	22,43
BFAG 13 70657-1	33,38	12,04	48,41	1,85	0,11	2,22	0,27	0,48	0,12	0,30	26,14
BFAG 13 70657-2	32,07	12,55	48,18	1,88	0,23	3,01	0,05	0,73	0,02	0,51	25,66
BFAG 15 70658-1	31,66	12,26	49,47	1,91	0,14	2,37	0,20	0,86	0,03	0,36	25,91
BFAG 16 70659-1	30,87	12,28	49,09	1,50	0,19	3,54	0,09	1,08	0,00	0,49	32,84
BFAG 16 70659-2	32,16	12,29	48,92	1,18	0,16	2,95	0,14	0,79	0,03	0,48	41,35
BFAG 17 70660-1	33,36	11,98	47,28	1,82	0,22	3,22	0,28	0,65	0,02	0,46	26,02
BFAG 17 70660-2	32,05	12,28	49,26	1,45	0,22	2,82	0,17	0,51	0,04	0,27	33,90
BFAG 18 70661-1	31,57	12,64	48,88	1,89	0,07	3,04	0,41	0,47	0,07	0,13	25,83
BFAG 18 70661-2	33,72	12,30	46,95	1,81	0,30	2,75	0,03	0,77	0,21	0,47	26,00
BFAG 18 70661-3	32,19	12,20	49,18	1,13	0,33	2,32	0,06	1,45	0,09	0,26	43,56
BFAG 18 70661-4	31,92	12,52	49,37	1,50	0,33	2,71	0,08	0,64	0,03	0,31	32,96
BFAG 18 70661-5	31,83	12,29	49,42	1,39	0,24	3,01	0,20	0,58	0,04	0,38	35,53

ANEXO G – ANÁLISES SEMIQUANTITATIVAS POR EDS-MEV NOS CRISTAIS DE ZIRCÃO DO BFAG

(conclusão)

BFAG 19 70662-1	32,82	12,48	49,29	1,00	0,18	2,50	0,09	0,53	0,11	0,31	49,09
BFAG 19 70662-2	31,66	12,44	49,57	1,27	0,11	2,93	0,30	0,82	0,06	0,10	38,91
BFAG 20 70663-1	32,49	12,36	48,86	1,80	0,21	2,99	0,14	0,27	0,11	0,29	27,19
BFAG 20 70663-2	30,96	12,33	49,65	1,56	0,10	2,68	0,29	1,11	0,00	0,39	31,76
BFAG 21 70664-1	31,87	12,40	49,91	1,59	0,15	2,53	0,21	0,40	0,04	0,25	31,39
BFAG 21 70664-2	33,59	12,13	47,57	1,87	0,04	2,67	0,39	1,07	0,09	0,12	25,49
BFAG 22 70665-1	31,13	12,47	48,98	2,12	0,26	3,00	0,29	0,68	0,05	0,32	23,07
BFAG 22 70665-2	32,42	12,17	49,08	1,65	0,08	2,71	0,20	0,71	0,13	0,20	29,80
BFAG 23 70665-1	35,31	11,75	45,52	1,77	0,22	2,73	0,32	0,62	0,43	0,20	25,77
BFAG 23 70665-2	31,38	12,62	49,21	1,58	0,29	3,06	0,00	0,62	0,02	0,31	31,25
BFAG 24 70666-1	32,31	12,40	48,27	1,40	0,17	2,71	0,09	1,14	0,03	0,41	34,61
BFAG 24 70666-2	31,52	11,91	49,47	1,94	0,09	2,77	0,16	0,53	0,09	0,33	25,45

ANEXO H – ANÁLISES SEMIQUANTITATIVAS POR EDS-MEV NOS CRISTAIS DE ZIRCÃO DO FAGPH

(continua)

Elementos	O	Si	Zr	Hf	Th	Nb	U	Ta	Ca	Sn	Zr/Hf
FAGPH 01 72426-1	31,50	12,39	49,62	1,30	0,23	3,10	0,00	0,71	0,03	0,41	38,28
FAGPH 01 72426-3	32,66	12,39	48,25	1,76	0,04	2,89	0,30	0,78	0,07	0,30	27,35
FAGPH 01 72426-4	32,47	12,12	48,51	1,93	0,08	2,75	0,31	0,78	0,14	0,09	25,13
FAGPH 01 72426-5	31,52	12,54	49,87	1,48	0,13	2,82	0,18	0,61	0,07	0,17	33,60
FAGPH 02 72428-1	31,46	12,77	50,38	1,29	0,32	2,33	0,00	0,47	0,09	0,24	39,02
FAGPH 02 72428-2	30,68	12,54	49,44	1,36	0,27	3,44	0,23	0,80	0,09	0,27	36,49
FAGPH 02 72428-3	31,52	12,43	49,37	2,02	0,30	2,87	0,15	0,70	0,05	0,10	24,43
FAGPH 02 72428-4	32,81	12,50	48,71	1,69	0,12	2,68	0,16	0,43	0,06	0,23	28,82
FAGPH 02 72428-5	32,02	12,36	48,43	1,65	0,26	2,75	0,17	1,02	0,02	0,34	29,33
FAGPH 02 72428-6	31,36	12,51	49,80	1,48	0,24	2,91	0,13	0,33	0,02	0,47	33,69
FAGPH 02 72428-7	32,70	12,43	48,48	1,51	0,00	2,86	0,50	0,44	0,17	0,08	32,13
FAGPH 03 72430-1	34,25	11,94	47,27	1,81	0,23	2,63	0,25	0,38	0,09	0,38	26,06
FAGPH 03 72430-2	31,28	12,96	47,80	2,67	0,08	3,08	0,10	0,80	0,03	0,51	17,93
FAGPH 03 72430-3	32,90	12,38	48,26	1,67	0,19	2,76	0,31	0,62	0,17	0,17	28,91
FAGPH 03 72430-4	30,79	13,12	49,53	2,16	0,10	2,57	0,15	0,65	0,03	0,25	22,96
FAGPH 03 72430-5	30,20	13,17	49,08	2,88	0,23	2,55	0,32	0,50	0,02	0,50	17,05
FAGPH 04 72431-1	31,54	12,66	49,73	1,14	0,21	2,96	0,05	0,83	0,05	0,19	43,55
FAGPH 04 72431-2	33,27	11,97	48,59	2,13	0,28	2,29	0,08	0,56	0,07	0,24	22,81
FAGPH 05 72433-1	33,09	12,35	47,94	1,76	0,23	2,52	0,14	0,63	0,06	0,25	27,28
FAGPH 05 72433-3	33,48	12,34	48,31	1,36	0,19	2,33	0,53	0,78	0,11	0,03	35,47
FAGPH 06 72434-1	33,27	11,88	48,33	1,87	0,00	2,55	0,45	0,53	0,08	0,19	25,91
FAGPH 06 72434-2	31,52	12,38	48,95	1,59	0,22	2,96	0,12	0,76	0,57	0,04	30,79
FAGPH 06 72434-3	31,03	12,61	49,66	1,49	0,33	3,12	0,10	0,57	0,06	0,30	33,26
FAGPH 07 72435-1	30,98	12,70	49,53	2,12	0,21	2,90	0,17	0,20	0,01	0,33	23,41
FAGPH 07 72435-2	31,24	12,62	49,71	1,10	0,26	2,92	0,01	1,05	0,06	0,26	45,02
FAGPH 07 72435-3	33,56	11,80	47,10	1,69	0,31	2,52	0,17	1,01	0,14	0,45	27,85
FAGPH 08 72436-1	35,83	11,63	45,21	2,57	0,48	2,03	0,25	0,39	0,15	0,15	17,61
FAGPH 08 72436-2	31,67	12,57	49,46	1,53	0,27	2,76	0,13	0,68	0,08	0,24	32,39

ANEXO H – ANÁLISES SEMIQUANTITATIVAS POR EDS-MEV NOS CRISTAIS DE ZIRCÃO DO FAGPH

(continuação)

FAGPH 08 72436-3	31,68	12,47	50,35	1,07	0,19	2,82	0,15	0,49	0,04	0,32	47,02
FAGPH 09 72437-1	29,17	13,17	51,20	1,60	0,18	2,68	0,17	0,55	0,17	0,30	32,02
FAGPH 09 72437-2	31,41	12,50	49,07	1,78	0,31	2,64	0,33	0,93	0,14	0,02	27,61
FAGPH 09 72437-3	34,52	11,85	46,94	1,62	0,28	2,29	0,31	0,72	0,16	0,32	29,01
FAGPH 09 72437-4	31,05	13,13	49,16	2,22	0,19	2,68	0,03	0,43	0,00	0,54	22,15
FAGPH 09 72437-5	31,11	12,65	49,64	1,65	0,04	2,79	0,26	0,61	0,00	0,21	30,08
FAGPH 09 72437-6	32,30	12,56	47,75	2,81	0,10	2,61	0,18	0,60	0,07	0,22	17,02
FAGPH 10 72438-1	31,10	12,72	49,12	1,76	0,28	3,30	0,10	0,75	0,05	0,20	27,84
FAGPH 10 72438-2	31,37	12,52	49,83	1,39	0,14	2,84	0,19	0,67	0,05	0,20	35,77
FAGPH 10 72438-3	31,30	12,55	49,91	1,16	0,18	2,76	0,19	0,67	0,06	0,22	42,96
FAGPH 10 72438-4	34,10	12,03	47,54	1,88	0,03	2,57	0,62	0,47	0,18	0,02	25,32
FAGPH 11 72439-1	32,11	12,48	48,86	2,06	0,06	2,33	0,36	0,62	0,15	0,11	23,74
FAGPH 11 72439-2	31,08	12,72	49,20	2,29	0,32	2,98	0,04	0,44	0,03	0,25	21,46
FAGPH 11 72439-3	32,40	12,24	49,34	1,75	0,19	2,30	0,06	0,75	0,04	0,23	28,28
FAGPH 11 72439-4	31,08	12,53	49,80	1,48	0,38	2,62	0,09	0,56	0,04	0,20	33,67
FAGPH 12 72440-1	33,20	11,99	47,68	2,04	0,15	2,62	0,25	0,52	0,10	0,70	23,38
FAGPH 12 72440-2	30,75	12,50	49,53	1,74	0,22	2,82	0,06	0,92	0,00	0,48	28,40
FAGPH 12 72440-3	31,58	12,38	49,87	1,49	0,37	2,86	0,00	0,50	0,06	0,34	33,47
FAGPH 13 72441-1	30,70	12,69	50,43	1,54	0,07	2,77	0,27	0,72	0,11	0,05	32,77
FAGPH 13 72441-2	30,51	12,55	50,11	1,56	0,24	3,26	0,26	0,76	0,07	0,21	32,23
FAGPH 13 72441-3	31,01	13,02	50,46	1,00	0,10	2,79	0,20	0,51	0,03	0,24	50,36
FAGPH 14 72442-1	32,75	12,63	46,69	2,68	0,14	3,25	0,24	0,53	0,10	0,16	17,43
FAGPH 14 72442-2	31,40	12,60	49,33	1,76	0,29	2,56	0,10	1,10	0,01	0,32	28,08
FAGPH 15 72443-1	32,94	12,13	48,18	1,98	0,12	3,01	0,18	0,45	0,15	0,20	24,38
FAGPH 15 72443-2	32,05	12,35	49,05	1,62	0,17	2,70	0,06	1,10	0,05	0,30	30,33
FAGPH 15 72443-3	32,06	12,92	47,76	2,42	0,27	2,95	0,12	0,78	0,05	0,16	19,70
FAGPH 15 72443-4	33,23	11,92	48,20	1,56	0,08	2,69	0,31	0,65	0,10	0,37	30,94
FAGPH 16 72444-2	31,05	12,47	50,19	1,30	0,11	2,76	0,30	0,74	0,06	0,29	38,72
FAGPH 16 72444-3	30,61	12,79	50,11	2,12	0,22	2,75	0,01	0,50	0,05	0,21	23,67
FAGPH 17 72445-1	31,17	12,95	48,91	1,68	0,02	3,04	0,29	0,75	0,04	0,34	29,10
FAGPH 17 72445-2	30,95	13,01	48,04	2,66	0,06	3,39	0,16	0,46	0,05	0,36	18,04
FAGPH 17 72445-3	31,80	12,47	49,59	1,54	0,14	2,55	0,13	0,37	0,03	0,33	32,31
FAGPH 17 72445-4	32,89	12,12	48,40	1,40	0,20	2,89	0,00	0,66	0,00	0,60	34,52
FAGPH 18 72446-1	32,43	12,64	47,99	1,89	0,15	2,84	0,24	0,70	0,10	0,30	25,43
FAGPH 18 72446-2	32,05	12,56	48,83	1,95	0,08	2,78	0,16	0,78	0,03	0,33	25,05
FAGPH 19 72447-1	30,95	12,66	50,22	1,46	0,19	2,86	0,13	0,56	0,06	0,18	34,47
FAGPH 19 72447-2	31,81	12,69	47,85	1,88	0,10	3,72	0,23	0,50	0,05	0,17	25,40
FAGPH 19 72447-3	32,05	12,38	49,72	1,20	0,08	2,57	0,22	0,43	0,11	0,16	41,44
FAGPH 19 72447-4	33,98	12,20	47,28	2,30	0,08	2,30	0,45	0,56	0,16	0,10	20,57
FAGPH 19 72447-5	31,11	12,55	50,33	1,65	0,35	2,49	0,13	0,46	0,13	0,19	30,56
FAGPH 20 72448-1	33,31	12,36	47,85	1,71	0,07	2,54	0,18	0,80	0,13	0,23	28,06
FAGPH 20 72448-2	31,12	12,72	50,04	1,36	0,17	2,77	0,28	0,50	0,07	0,12	36,90
FAGPH 21 72449-1	31,11	12,71	49,55	1,46	0,17	3,14	0,14	0,59	0,06	0,32	33,98
FAGPH 21 72449-2	31,00	12,47	50,08	1,32	0,25	2,69	0,32	0,80	0,04	0,28	37,88
FAGPH 21 72449-3	32,27	12,49	48,68	1,17	0,38	3,00	0,17	0,86	0,02	0,30	41,65
FAGPH 22 72450-1	32,61	12,16	49,31	1,19	0,20	2,85	0,14	0,53	0,06	0,38	41,30
FAGPH 22 72450-2	31,30	12,70	49,67	1,42	0,36	2,65	0,17	0,73	0,10	0,19	34,88
FAGPH 23 72451-1	32,17	12,58	49,10	1,59	0,12	2,73	0,28	0,73	0,05	0,22	30,86

ANEXO H – ANÁLISES SEMIQUANTITATIVAS POR EDS-MEV NOS CRISTAIS DE ZIRCÃO DO FAGPH

(conclusão)

FAGPH 23 72451-2	32,55	12,56	49,08	1,26	0,29	2,62	0,09	0,73	0,05	0,34	39,07
FAGPH 23 72451-3	31,57	12,48	49,53	1,45	0,26	3,23	0,09	0,46	0,00	0,32	34,16
FAGPH 24 72452-1	30,77	12,60	49,83	1,67	0,24	2,72	0,05	0,85	0,07	0,47	29,82
FAGPH 24 72452-2	31,81	12,36	49,40	1,86	0,19	2,56	0,05	0,61	0,10	0,44	26,50
FAGPH 24 72452-3	31,00	12,41	49,90	2,04	0,54	2,50	0,02	0,50	0,05	0,21	24,46
FAGPH 25 72453-1	32,22	12,48	49,62	1,49	0,12	2,59	0,17	0,39	0,04	0,20	33,28
FAGPH 25 72453-2	31,16	12,71	49,19	1,99	0,05	2,95	0,33	0,65	0,03	0,17	24,73
FAGPH 25 72453-3	31,47	12,37	49,20	1,56	0,27	2,93	0,16	0,88	0,04	0,23	31,54
FAGPH 26 72454-1	31,93	12,46	49,04	2,05	0,23	2,62	0,08	0,57	0,09	0,23	23,91
FAGPH 26 72454-2	30,72	12,47	50,00	1,60	0,25	2,86	0,08	0,82	0,04	0,44	31,21
FAGPH 26 72454-3	31,06	12,51	49,22	1,83	0,28	3,13	0,18	0,63	0,02	0,28	26,85
FAGPH 26 72454-4	31,47	13,06	48,18	2,34	0,29	2,91	0,23	0,56	0,00	0,27	20,62
FAGPH 26 72454-5	30,66	12,44	49,87	1,26	0,36	3,17	0,00	0,92	0,06	0,31	39,61
FAGPH 26 72454-6	31,19	12,78	50,12	1,43	0,16	2,11	0,17	0,92	0,04	0,42	35,08
FAGPH 27 72455-1	32,38	12,38	48,54	1,68	0,13	3,12	0,36	0,37	0,03	0,23	28,86
FAGPH 27 72455-2	32,66	12,72	47,42	2,20	0,14	2,81	0,24	0,64	0,13	0,17	21,56
FAGPH 27 72455-3	31,33	12,56	50,23	1,19	0,09	2,83	0,18	0,63	0,01	0,24	42,10
FAGPH 28 72456-1	33,52	12,22	47,76	1,57	0,08	2,83	0,33	0,53	0,08	0,15	30,52
FAGPH 28 72456-2	31,67	12,67	49,58	1,33	0,20	2,51	0,25	0,60	0,08	0,34	37,30
FAGPH 28 72456-3	31,71	12,62	49,12	1,78	0,24	2,99	0,39	0,42	0,11	0,06	27,58
FAGPH 29 72457-1	31,69	12,81	48,87	1,34	0,12	3,03	0,17	0,80	0,07	0,34	36,50
FAGPH 29 72457-2	32,03	12,44	48,74	1,95	0,05	3,08	0,25	0,37	0,12	0,16	25,02
FAGPH 29 72457-3	32,34	12,39	49,44	1,08	0,13	2,86	0,06	0,71	0,04	0,34	45,61
FAGPH 29 72457-4	33,11	12,22	49,23	1,08	0,10	2,25	0,26	0,96	0,04	0,21	45,46
FAGPH 29 72457-5	32,18	12,28	49,26	1,69	0,19	2,83	0,21	0,54	0,10	0,11	29,20
FAGPH 29 72457-6	32,78	12,30	48,71	1,36	0,17	2,50	0,49	0,87	0,17	0,12	35,92
FAGPH 30 72458-1	31,84	12,44	49,73	1,74	0,28	2,66	0,16	0,40	0,07	0,15	28,63
FAGPH 30 72458-2	34,46	10,04	41,48	2,39	5,18	1,89	0,93	0,87	0,09	0,00	17,35
FAGPH 30 72458-3	34,03	11,75	46,37	2,06	0,05	2,82	0,29	0,83	0,21	0,47	22,51
FAGPH 30 72458-4	32,16	12,65	49,09	1,45	0,02	2,61	0,26	0,75	0,07	0,17	33,92

ANEXO I – ANÁLISES SEMIQUANTITATIVAS POR EDS-MEV NOS CRISTAIS DE ZIRCÃO DO ABGb

(continua)

Elemento	O	Si	Zr	Hf	Th	Nb	U	Ta	Ca	Sn	Zr/Hf
ABGb 01 72371-1	32,99	12,47	47,53	2,30	0,22	2,89	0,15	0,61	0,01	0,30	20,64
ABGb 01 72371-2	33,89	12,52	46,34	2,94	0,26	2,58	0,08	0,49	0,09	0,38	15,78
ABGb 02 72372-1	34,42	12,57	45,54	2,72	0,08	2,86	0,42	0,31	0,25	0,02	16,73
ABGb 02 72372-2	34,64	11,91	46,13	1,93	0,05	2,84	0,29	0,67	0,48	0,29	23,92
ABGb 02 72372-3	30,87	13,13	45,53	6,16	0,12	2,31	0,27	0,51	0,02	0,31	7,39
ABGb 03 72374-1	32,21	13,10	46,30	3,85	0,29	2,82	0,24	0,23	0,04	0,13	12,03
ABGb 03 72374-2	34,33	12,17	45,88	2,24	0,03	2,71	0,58	0,90	0,30	0,00	20,53
ABGb 03 72374-3	31,66	13,11	46,23	4,52	0,25	2,96	0,03	0,22	0,05	0,33	10,22
ABGb 03 72374-4	33,83	12,88	42,81	6,03	0,16	2,46	0,24	0,48	0,06	0,21	7,10

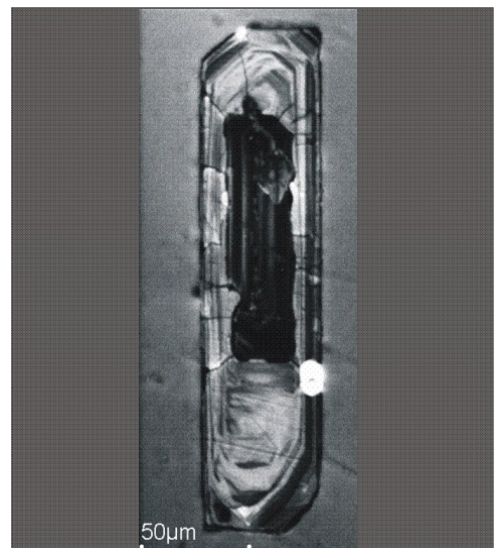
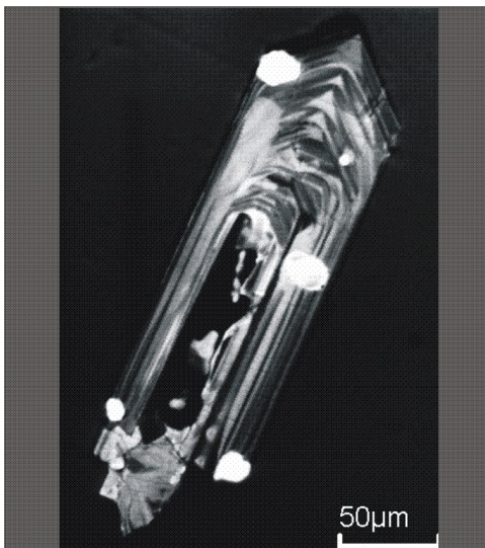
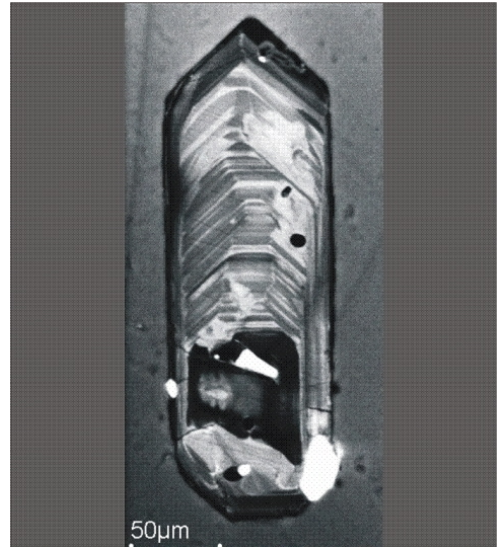
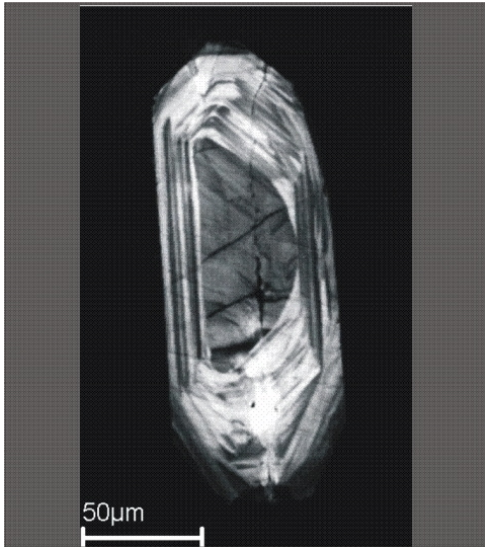
ANEXO I – ANÁLISES SEMIQUANTITATIVAS POR EDS-MEV NOS CRISTAIS DE ZIRCÃO DO ABGb

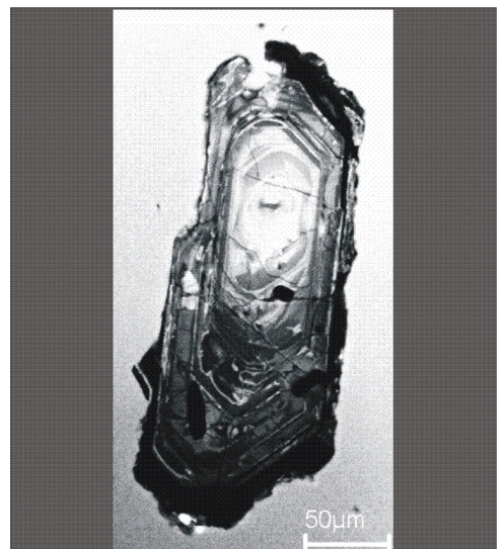
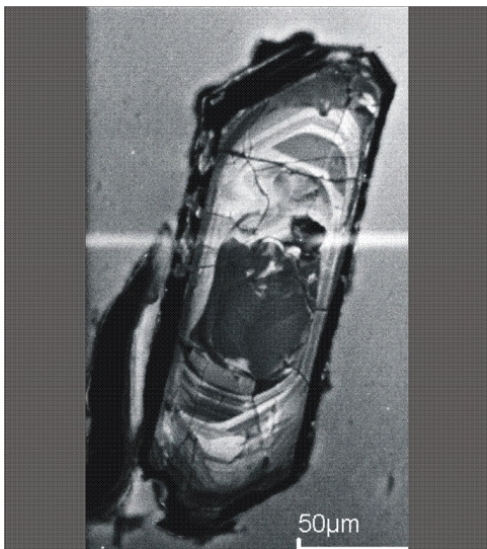
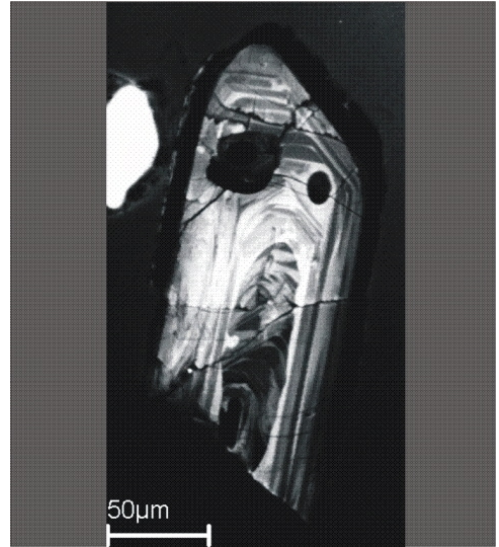
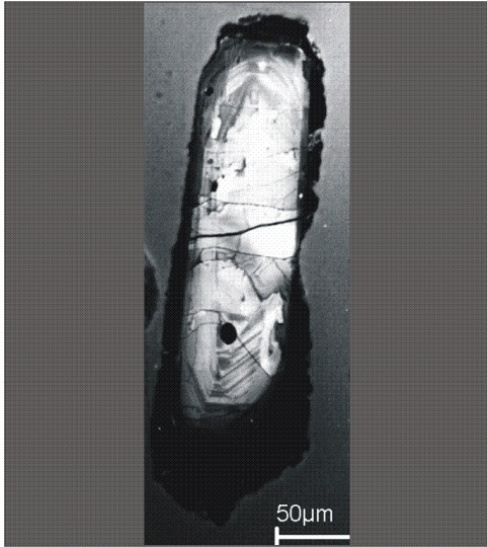
(conclusão)

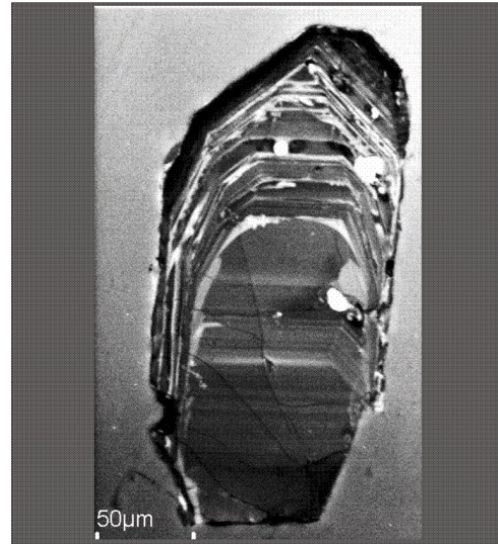
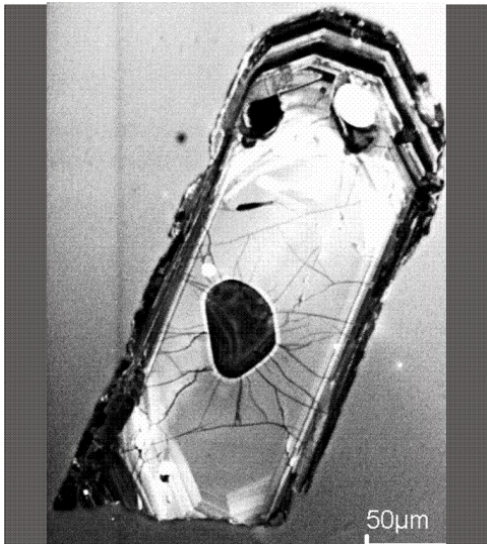
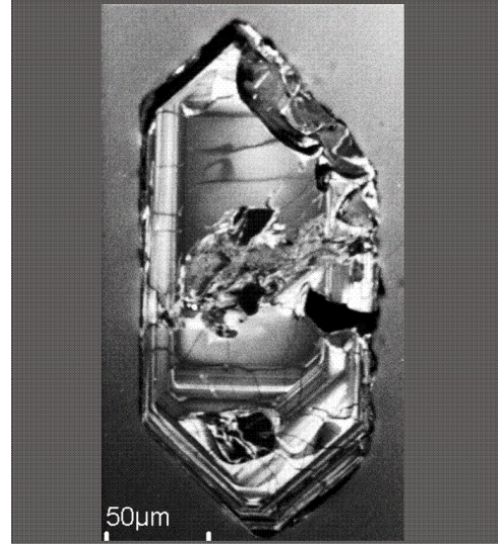
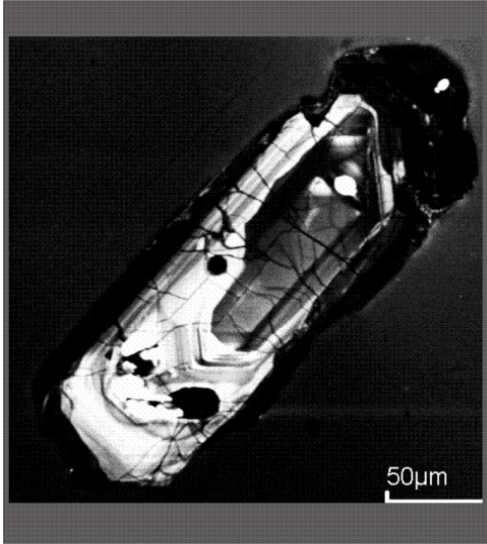
ABGb 04 72375-1	32,03	13,00	46,55	3,99	0,29	2,65	0,12	0,39	0,04	0,22	11,66
ABGb 04 72375-2	36,09	12,02	44,85	1,82	0,19	2,73	0,37	0,75	0,39	0,13	24,59
ABGb 04 72375-3	34,95	12,14	46,19	2,11	0,09	2,74	0,31	0,47	0,22	0,16	21,92
ABGb 04 72375-4	32,44	13,08	46,08	4,32	0,39	2,69	0,12	0,09	0,06	0,21	10,67
ABGb 05 72376-1	30,77	13,47	43,99	6,99	0,29	2,82	0,04	0,48	0,02	0,33	6,29
ABGb 05 72376-2	34,08	12,46	45,84	2,98	0,13	2,57	0,20	0,57	0,18	0,38	15,39
ABGb 05 72376-3	29,60	13,67	43,34	9,36	0,21	2,66	0,21	0,02	0,07	0,26	4,63
ABGb 05 72376-4	32,43	12,67	48,01	2,34	0,23	2,54	0,17	0,68	0,10	0,11	20,54
ABGb 06 72378-1	33,96	12,58	47,03	2,03	0,11	2,49	0,30	0,44	0,17	0,19	23,13
ABGb 06 72378-2	34,38	12,18	46,19	2,33	0,10	2,79	0,37	0,64	0,20	0,15	19,81
ABGb 06 72378-3	31,72	13,07	48,08	2,74	0,25	2,79	0,06	0,50	0,10	0,17	17,53
ABGb 07 72379-1	33,43	12,74	46,34	2,82	0,09	2,53	0,26	0,88	0,02	0,28	16,43
ABGb 07 72379-2	35,37	12,01	44,88	2,46	0,28	2,93	0,15	0,64	0,36	0,09	18,22
ABGb 07 72379-3	35,68	12,05	44,77	2,58	0,15	2,36	0,10	0,88	0,47	0,34	17,35
ABGb 08 72380-1	34,58	12,34	45,83	2,80	0,24	2,24	0,16	0,62	0,30	0,29	16,39
ABGb 08 72380-2	31,84	12,89	47,77	2,96	0,36	2,64	0,00	0,37	0,02	0,44	16,12
ABGb 08 72380-3	35,07	12,05	45,02	2,80	0,29	2,65	0,00	0,69	0,23	0,36	16,07
ABGb 09 72382-1	31,47	13,16	46,04	4,44	0,19	2,67	0,18	0,63	0,08	0,41	10,37
ABGb 09 72382-2	35,24	11,95	45,72	1,91	0,13	3,04	0,27	0,58	0,42	0,03	23,99
ABGb 09 72382-3	35,73	11,84	45,26	2,39	0,00	2,28	0,51	0,60	0,54	0,00	18,91
ABGb 09 72382-4	34,54	12,25	45,40	2,49	1,04	2,37	0,00	0,87	0,16	0,25	18,25
ABGb 10 72383-1	31,05	13,24	46,26	4,77	0,09	3,00	0,17	0,56	0,04	0,14	9,71
ABGb 10 72383-2	31,41	12,99	46,99	3,57	0,26	2,74	0,15	1,04	0,05	0,13	13,17
ABGb 10 72383-3	34,06	12,17	46,20	2,57	0,11	2,58	0,23	0,61	0,31	0,18	18,01
ABGb 10 72383-4	32,36	12,86	46,96	3,29	0,30	2,58	0,38	0,66	0,06	0,04	14,27
ABGb 11 72385-1	32,29	13,17	45,82	4,22	0,15	2,87	0,14	0,26	0,07	0,34	10,85
ABGb 11 72385-2	31,70	12,94	46,04	4,42	0,20	2,63	0,27	0,56	0,01	0,41	10,42
ABGb 11 72385-3	30,64	13,39	47,06	4,25	0,13	2,63	0,23	0,31	0,03	0,36	11,08
ABGb 11 72385-4	33,02	12,46	47,26	3,17	0,06	2,67	0,32	0,32	0,16	0,01	14,89
ABGb 12 72387-1	35,29	11,98	45,57	2,40	0,15	2,56	0,47	0,71	0,29	0,10	18,99
ABGb 12 72387-2	32,22	12,88	46,57	4,11	0,20	2,40	0,05	0,30	0,02	0,51	11,34
ABGb 12 72387-3	35,13	11,75	44,88	3,53	0,18	2,49	0,27	0,53	0,28	0,11	12,70
ABGb 12 72387-4	35,43	11,82	45,91	2,15	0,09	2,57	0,23	0,39	0,37	0,13	21,34
ABGb 13 72388-1	32,38	12,85	46,43	3,44	0,09	2,77	0,24	0,78	0,10	0,25	13,49
ABGb 13 72388-2	35,21	12,18	45,27	2,38	0,40	2,63	0,06	0,74	0,37	0,13	19,02
ABGb 13 72388-3	34,02	12,22	46,31	2,38	0,49	2,39	0,00	0,39	0,21	0,66	19,48
ABGb 14 72390-1	33,76	12,86	45,36	3,75	0,14	2,44	0,39	0,36	0,07	0,13	12,09
ABGb 14 72390-2	33,95	12,44	47,07	2,25	0,10	2,47	0,28	0,43	0,18	0,31	20,96
ABGb 14 72390-3	32,76	12,90	46,34	2,82	0,37	3,20	0,10	0,50	0,02	0,32	16,46
ABGb 15 72392-2	31,41	12,97	46,87	4,60	0,09	2,38	0,30	0,54	0,08	0,10	10,20
ABGb 15 72392-3	35,25	12,14	45,95	1,88	0,20	2,55	0,25	0,41	0,39	0,11	24,48
ABGb 15 72392-4	34,10	12,41	46,52	2,02	0,14	3,05	0,27	0,41	0,18	0,14	22,99

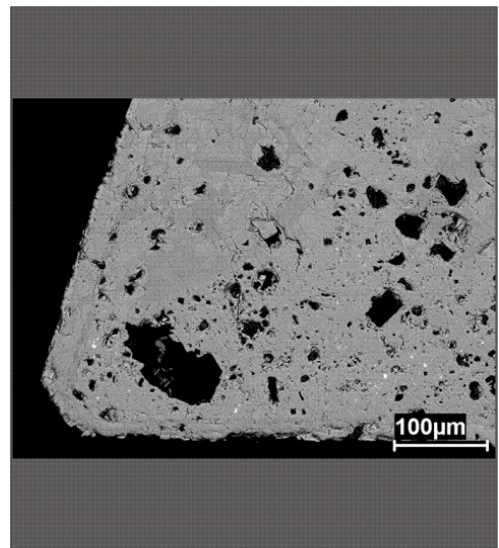
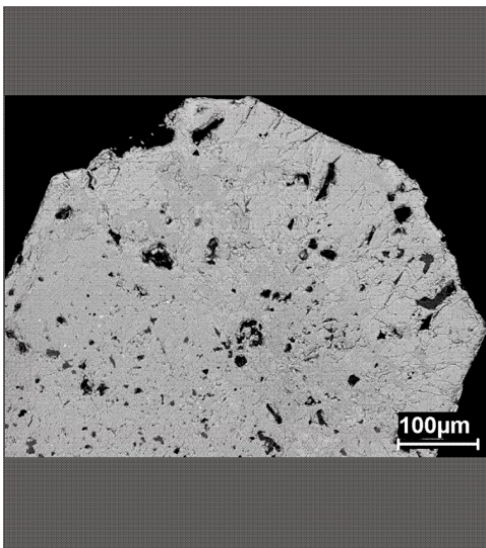
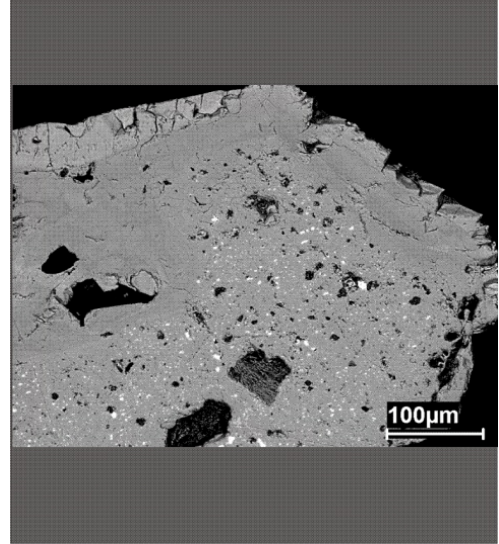
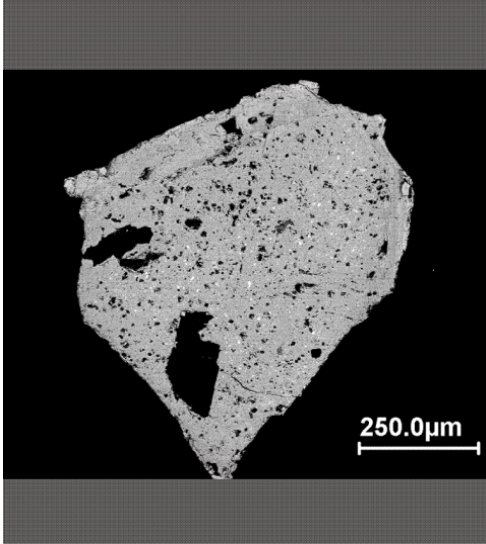
ANEXO J – ANÁLISES SEMIQUANTITATIVAS POR EDS-MEV NOS CRISTAIS DE ZIRCÃO DO ABGn

Elementos	O	Si	Zr	Hf	Th	Nb	U	Ta	Ca	Sn	Zr/Hf
ABGn 01 72393 -1	37,24	11,28	42,36	2,34	1,87	2,49	0,38	0,43	0,14	0,05	18,10
ABGn 01 72393 -2	30,20	13,53	43,98	8,20	0,09	2,72	0,16	0,21	0,06	0,22	5,36
ABGn 01 72393 -3	33,51	12,64	44,01	4,89	0,13	2,49	0,18	0,64	0,10	0,21	9,01
ABGn 01 72393 -4	38,18	10,27	39,90	1,71	6,25	1,87	0,16	0,35	0,06	0,22	23,37
ABGn 02 72395 -1	32,80	12,97	46,02	4,26	0,15	2,22	0,11	0,41	0,11	0,37	10,80
ABGn 02 72395 -2	34,55	12,01	43,94	2,14	2,07	2,60	0,59	0,84	0,09	0,00	20,56
ABGn 03 72396 -1	29,71	13,99	44,38	7,39	0,06	2,57	0,33	0,36	0,09	0,10	6,01
ABGn 03 72396 -2	32,90	12,65	45,94	4,04	0,17	2,58	0,13	0,47	0,05	0,37	11,37
ABGn 03 72396 -3	34,29	12,21	45,63	2,51	0,86	2,44	0,00	0,65	0,03	0,55	18,18
ABGn 04 72397 -1	32,23	13,15	41,40	8,76	0,11	2,60	0,15	0,47	0,06	0,46	4,73
ABGn 04 72397 -2	32,95	12,69	46,60	3,00	0,15	2,49	0,32	0,55	0,13	0,26	15,54
ABGn 04 72397 -3	35,96	11,77	44,36	2,17	0,86	2,56	0,19	0,54	0,18	0,25	20,45
ABGn 05 72398 -1	33,74	11,76	46,24	2,60	0,28	2,77	0,30	0,90	0,23	0,24	17,82
ABGn 05 72398 -2	35,37	10,89	40,89	2,33	5,70	2,06	1,01	0,71	0,26	0,00	17,54
ABGn 06 72399 -1	32,54	12,86	44,70	4,80	0,22	2,91	0,23	0,71	0,01	0,31	9,30
ABGn 06 72399 -2	37,42	10,49	39,99	2,19	5,32	2,41	0,49	0,54	0,14	0,00	18,30
ABGn 07 72400 -1	38,97	10,73	42,20	1,83	1,65	2,69	0,33	0,56	0,09	0,15	23,10
ABGn 07 72400 -2	34,09	12,39	46,86	2,40	0,15	2,56	0,32	0,34	0,13	0,12	19,49
ABGn 08 72401 -1	32,57	12,40	47,63	2,68	0,28	2,49	0,32	0,41	0,07	0,54	17,77
ABGn 08 72401 -2	32,39	13,16	45,26	4,43	0,07	2,79	0,18	0,42	0,05	0,39	10,22
ABGn 08 72401 -3	31,58	12,96	43,93	4,30	2,59	2,69	0,00	0,85	0,13	0,09	10,22
ABGn 09 72403 -1	32,07	13,02	46,08	4,69	0,37	2,27	0,02	0,52	0,11	0,12	9,82
ABGn 09 72403 -2	32,09	13,08	45,49	4,85	0,16	2,51	0,22	0,41	0,06	0,08	9,37
ABGn 09 72403 -3	32,23	13,38	46,46	3,11	0,28	2,73	0,12	0,75	0,06	0,27	14,95
ABGn 10 72404 -1	32,55	12,82	46,62	3,63	0,21	2,42	0,21	0,65	0,02	0,31	12,83
ABGn 10 72404 -2	31,07	12,90	45,81	4,81	0,65	2,55	0,07	0,63	0,06	0,40	9,53
ABGn 10 72404 -3	31,95	12,79	48,11	2,73	0,34	2,51	0,18	0,52	0,08	0,13	17,65
ABGn 10 72404 -4	30,79	13,40	46,17	5,09	0,30	2,87	0,10	0,36	0,08	0,39	9,08
ABGn 11 72405 -1	34,13	12,62	45,46	4,53	0,13	1,98	0,18	0,10	0,00	0,25	10,04
ABGn 11 72405 -2	35,94	11,77	44,37	2,68	0,31	2,81	0,07	0,45	0,01	0,59	16,53
ABGn 12 72406 -1	36,13	10,06	38,82	2,15	6,66	2,74	1,28	0,93	0,19	0,09	18,04
ABGn 12 72406 -2	37,05	11,27	43,46	1,73	1,55	2,45	0,46	0,83	0,10	0,07	25,11
ABGn 13 72408 -1	30,71	13,64	43,03	7,23	0,27	2,44	0,00	1,10	0,04	0,56	5,95
ABGn 13 72408 -2	30,02	13,52	44,51	7,54	0,21	2,65	0,13	0,28	0,00	0,42	5,91
ABGn 13 72408 -3	33,60	12,67	46,28	3,63	0,07	2,31	0,22	0,27	0,13	0,16	12,76
ABGn 14 72409 -1	31,58	13,05	45,70	4,68	0,37	2,97	0,00	0,39	0,06	0,53	9,76
ABGn 14 72409 -2	32,32	12,76	47,64	2,03	0,14	2,67	0,29	0,93	0,04	0,12	23,53
ABGn 14 72409 -3	36,45	11,36	43,56	2,16	1,86	2,41	0,40	0,59	0,17	0,20	20,21
ABGn 15 72411 -1	34,65	12,11	45,66	2,97	0,09	2,56	0,33	0,36	0,15	0,11	15,36
ABGn 15 72411 -2	32,80	12,69	47,16	3,08	0,14	2,47	0,15	0,58	0,02	0,30	15,30
ABGn 15 72411 -3	32,45	12,46	46,36	3,07	0,53	2,71	0,14	0,59	0,18	0,26	15,11

ANEXO L – IMAGENS DE CL DE CRISTAIS DE ZIRCÃO DO ABSG

ANEXO M – IMAGENS DE CL DE CRISTAIS DE ZIRCÃO DO BFG

ANEXO N – IMAGENS DE CL DE CRISTAIS DE ZIRCÃO DO FAGPH

ANEXO O – IMAGENS DE BSE DE CRISTAIS DE ZIRCÃO DO ABGb

ANEXO P – IMAGENS DE BSE DE CRISTAIS DE ZIRCÃO DO ABGn

