6.3.1c Columbita-tantalita como inclusão na cassiterita do granito

Quatro dos dez cristais de cassiterita provenientes de amostras coletadas no ponto RG-06-12B, apresentaram inclusões de columbita-tantalita, quase todas com aspecto homogêneo (sem variações nos tons de cinza). As análises efetuadas permitiram vislumbrar dois grupos de inclusões de columbita com a mesma afinidade química:

- inclusões francamente niobíferas, com teores de Nb_2O_5 entre 60,5% e 71,2% e com teores de Ta_2O_5 entre 4,6% e 12,3% (Tabela 6.3).

- inclusões com teores de Nb_2O_5 menores que 60%, (59,4% a 39,8%) e teores significativamente mais elevados de Ta_2O_5 (34,6% a 17%) (Tabela 6.4).

Variações composicionais, entre borda e núcleo do cristal só foram determinadas em uma das amostras analisadas. Na parte central da inclusão os valores de Nb_2O_5 (64,4%) são mais elevados, enquanto na borda a inclusão teve um enriquecimento em Ta_2O_5 de até 30,6% (Fig. 6.12).

Tabela 6.3. Análises semiquantitativas em MEV-EDS das inclusões de columbita francamente niobíferas em grãos de cassiterita do granito.

Análise	**25**	**30**	**31**	**33**	**34**	**36**	**49**	**Média**
Nb_2O_5	61,6	71,2	61,1	68,7	66,4	69	60,5	65,5
Ta_2O_5	12,3	4,6	13,7	5,9	8,5	7,4	7,4	8,5
FeO	20,2	16,6	13,2	18,8	9,9	17,2	20,2	16,6
MnO	4,2	5,5	9	4,8	11,8	4,7	3,5	6,2
TiO_2	0	0,7	1,9	1,5	2,8	1,8	0	1,2
SnO_2	1,7	1,4	1,1	0,3	0,7	0	8,3	1,9
Total	100	100	100	100	100	100	100	100

Tabela 6.4. Análises semiquantitativas em MEV-EDS das inclusões de columbita-tantalita com teores de Nb_2O_5 menores que 60% em grãos de cassiterita do granito.

Análise	**26**	**27**	**35**	**39**	**40**	**46**	**50**	**Média**
Nb_2O_5	51,6	39,8	45,1	46,7	59,4	44,9	41,7	47,0
Ta_2O_5	21,7	34,5	30,6	28	17	30,6	31,8	27,7
FeO	12,7	10,9	9,9	11,8	18,1	9,9	18,1	13,1
MnO	9,3	10,2	12,9	13,4	4,3	12,1	3,2	9,3
TiO_2	3,7	3,7	1	0	1,3	2,6	3,5	2,3
SnO_2	1	1	0,5	0	0	0	1,7	0,6
Total	100	100	100	100	100	100	100	100

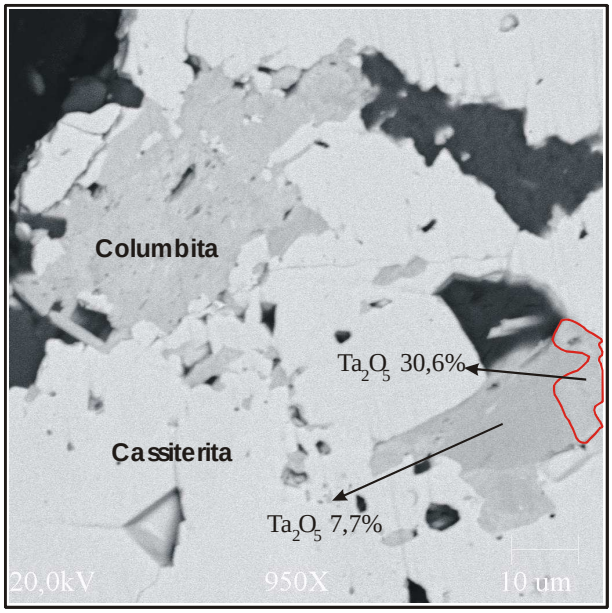

Figura 6.12. Imagem de inclusão de columbita-tantalita em grão de cassiterita do granito (ponto RG-06-12B), mostrando o enriquecimento de Ta_2O_5 do centro para as bordas da columbita.

6.3.1d Columbita-tantalita como inclusão em cristais de cassiterita do pegmatito

Inclusões de columbita-tantalita foram encontradas em cristais de cassiterita provenientes do pegmatito do ponto RG-06-02 (Fig. 6.13). As análises indicaram uma composição com teores médios de Nb_2O_5 e Ta_2O_5 de 40,4% e 30,1%, respectivamente. Teores de 4,4% TiO_2, 4,9%, FeO, 17,1% MnO e 3,0%, SnO_2 completam a análise (Tabela 6.5).

]

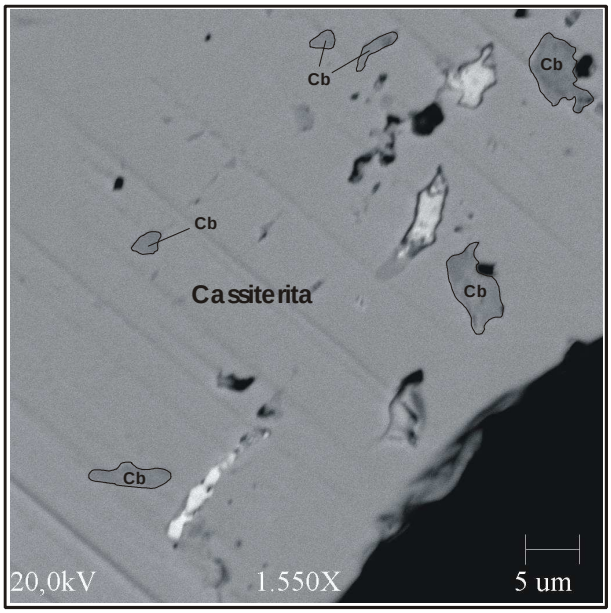

Figura 6.13. Imagem de inclusão de columbita-tantalita em cassiterita do pegmatito (ponto RG-06-02).

Tabela 6.5. Análises semiquantitativas em MEV-EDS das inclusões de columbita-tantalita em cristais de cassiterita do pegmatito.

Análises	6	11	15	18	Média
Nb_2O_5	35,4	44,3	40,8	41,2	40,4
Ta_2O_5	34,9	24,8	30,5	30,4	30,2
FeO	21,5	13,6	14,6	18,8	17,1
MnO	1,2	9,8	6,1	2,7	5,0
TiO_2	4,3	4,4	4	4,9	4,4
SnO_2	2,6	3	4,1	2,1	3,0
Total	100	100	100	100	100

6.3.1e Columbita-tantalita inclusa em cristal de zircão do granito

No zircão proveniente do granito (Fig. 6.14) foi encontrada apenas uma inclusão de columbita (ponto RG-06-04). Os teores de Nb_2O_5 e Ta_2O_5 determinados foram de 75,5% e 1,8%, respectivamente. O FeO e MnO correspondem a 16,54% e 6,06%, respectivamente.

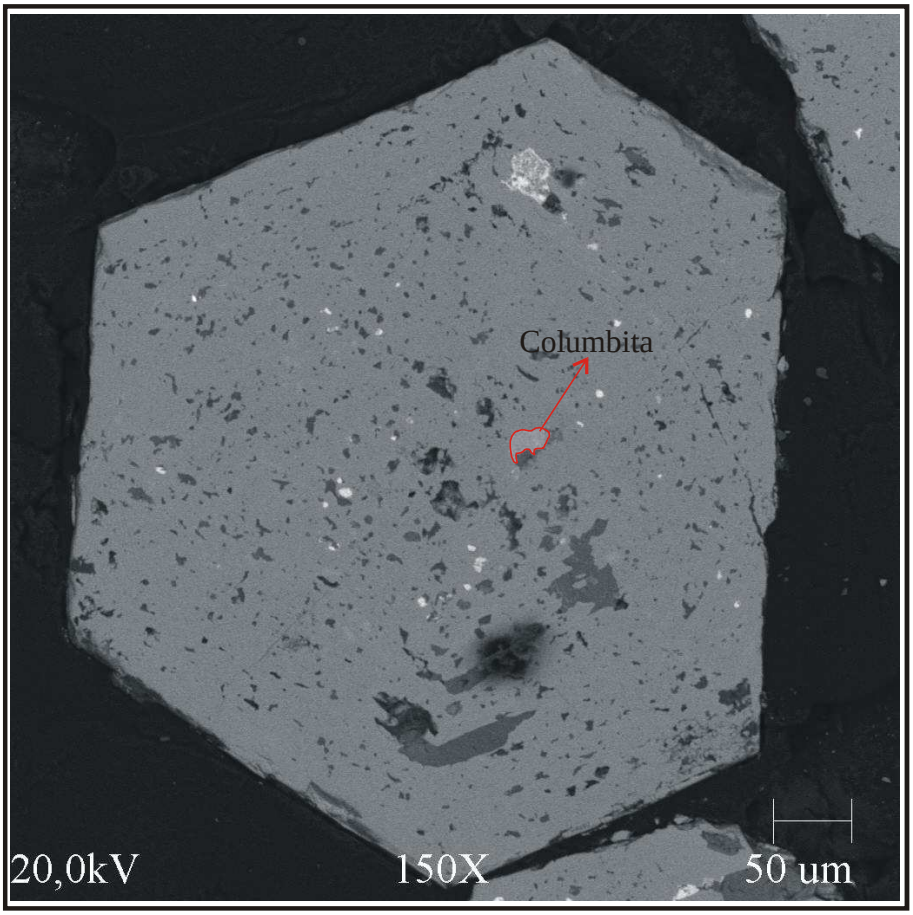

Figura 6.14. Imagem de inclusão de columbita-tantalita em cristal de zircão do granito (ponto RG-06-04).

6.3.1f Columbita como inclusão no cristal de zircão do pegmatito

No zircão proveniente dos pegmatitos também foi encontrada apenas uma inclusão de columbita no ponto RG-06-5A. Os conteúdos de Nb_2O_5 e Ta_2O_5 foram de 59,4% e 10,8%,

respectivamente. Os óxidos de manganês com teor de 27,86% e de ferro com teor de 1,96% completam a composição da columbita (Fig. 6.15).

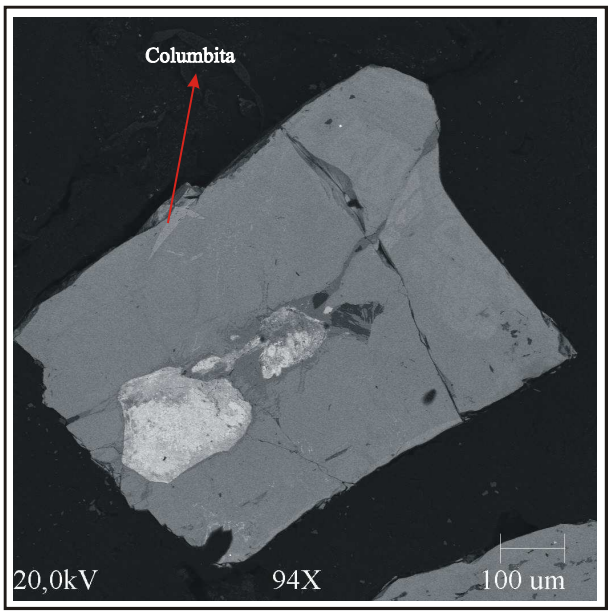

Figura 6.15. Imagem de inclusão de columbita-tantalita em cristal de zircão do pegmatito (ponto RG-06-05A).

6.3.2 Zircão

Foram realizadas análises em cristais de zircão provenientes do granito (pontos RG-06-04 e RG-06-07) e do pegmatito (pontos RG-06-02, RG-06 e RG-06-5A) bem como em grãos deste mineral incluso em cristais de cassiterita e columbita associadas ao pegmatito (ponto RG-06-02 e RG-06-5A).

6.3.2a Zircão derivado do granito

No zircão proveniente do granito constatou-se uma diferença marcante na composição química das amostras dos pontos RG-06-04 e RG-06-07. Esses pontos estão em posições diametralmente opostas em relação ao Granito Desemborque. O ponto RG-06-04 apresenta-se na borda leste enquanto o ponto RG-06-07 encontra-se na borda oeste do corpo. No ponto RG-06-07 o zircão possui composição mais complexa (Tabela 6.6), contendo óxidos de Mn, Yb e Th. Os conteúdos médios de MnO, Yb_2O_3, HfO_2, ThO_2 e UO_3 foram de 4,0%, 2,0%, 3,3%, 5,4% e 2,5%, respectivamente. Já o zircão do ponto RG-06-04 (Tabela 6.6) apresenta os óxidos de Fe, Hf e U com teores médios de 0,6%, 4,7% e 0,1%, sendo, portanto mais hafnífero do que o encontrado no ponto RG-06-07.

Tabela 6.6. Análises semiquantitativas em MEV-EDS de grãos de zircão proveniente da borda oeste e leste do granito.

	Ponto RG-06-07 (Borda W)			Ponto RG-06-04 (Borda E)			
Análises	**80**	**81**	**Média**	**84**	**89**	**93**	**Média**
ZrO_2	57,6	51,3	54,4	61,5	61,5	70,3	64,4
SiO_2	32,1	24,6	28,3	32,3	33,5	24,5	30,1
HfO_2	3,3	3,4	3,3	4,3	4,5	5,2	4,7
ThO_2	1,9	8,8	5,4	x	x	x	x
MnO	1,3	6,7	4	x	x	x	x
UO_3	1,3	3,7	2,5	0	0,5	0	0,2
Yb_2O_3	2,7	1,4	2	x	x	x	x
FeO	x	x	x	1,9	0	0	0,6
Total	100	100	100	100	100	100	100

x= elemento não detectado na análise.

Os cristais de zircão destes pontos possuem além de variações nas suas composições químicas, um conjunto de inclusões notadamente diferentes. No zircão do ponto RG-06-07 observou-se apenas a biotita como inclusão, enquanto, no do ponto RG-06-04 as inclusões foram mais variadas, sendo representadas por: columbita, torita, torogumita e itrofluorita.

6.3.2b Zircão derivado do pegmatito

Na composição química do zircão derivado do pegmatito ocorrem óxidos de Al, Na e Ca. Nos mesmos é patente um leve enriquecimento de U e Hf em relação ao zircão derivado do granito (Tabela 6.7).

O háfnio encontra-se presente em todas as análises atingindo um valor máximo de 18,3% de HfO_2 (ponto RG-06-02). Nas demais análises o teor de HfO_2 foi praticamente constante, variando de 7,4% a 9,0%. Estes valores permitiriam considerar estes cristais de zircão com sendo do tipo enriquecido em háfnio.

Assim como na amostra de zircão do granito, as inclusões sólidas contidas na amostra do pegmatito variaram significantemente. Na do ponto RG-06-5A identificou-se a torianita e a columbita-tantalita e na do ponto RG-06-02 e 5E, a torogumita, a itrofluorita e a uraninita.

Tabela 6.7. Análises semiquantitativas em MEV-EDS de grãos de zircão proveniente do pegmatito.

	Ponto RG-06-5A				Pontos RG-06-02 e RG-06-5E				
Análises	**72**	**73**	**75**	**78**	**51**	**52**	**53**	**54**	**Média**
ZrO_2	48,2	57,1	53,6	41,5	41,9	44,5	43,7	47,1	47,2
SiO_2	30,7	32,9	32,4	34,1	24,3	22,7	26,7	27,9	29,0
HfO_2	7,6	7,4	8,9	7,7	8,8	9	7,8	8,3	8,2
FeO	0	2,3	2,1	1,4	17,2	5	1,9	1,1	3,9
ThO_2	5,4	0	1,2	11,9	4,2	8,5	6,5	4,9	5,3
UO_3	6	0	1,8	3,4	2,2	6,7	10,5	6,9	4,7
Al_2O_3	0	0	0	0	0,9	2,3	1,8	1,6	0,8
NaO	0,8	0,2	0	0	0	0	0	0	0,1
CaO	0	0	0	0	0,4	1,3	0	0	0,2
MnO	1,3	0	0	0	0	0	1,1	2,1	0,6
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Nas imagens em MEV-BSD dos cristais de zircão, pode-se observar que há variações nos tons de cinza registrados, os mais claros (com mais HfO_2) nas proximidades das bordas e os mais escuros (com menos HfO_2) nas partes mais internas dos grãos (Fig. 6.16a).

A torita representa a exsolução mais freqüente. Há, também, registros de inclusões de óxido de ferro, provavelmente magnetita, além de quartzo, mica, tremolita, monazita de Ce, uraninita, torogumita e possivelmente bastnäsita (Fig. 6.16b).

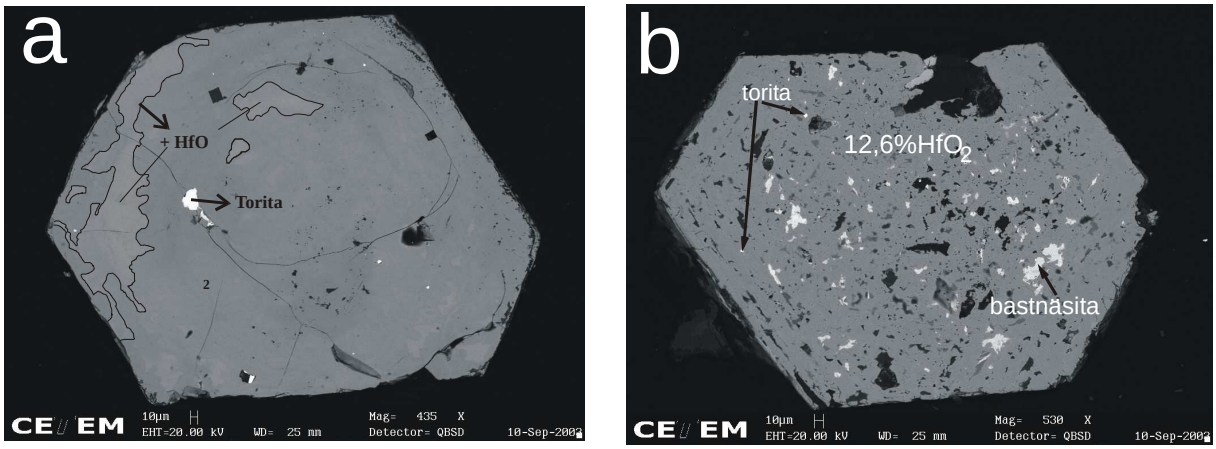

Figura 6.16. a = Imagem de cristal de zircão com as bordas mais claras mais enriquecidas em háfnio, b = Imagem de cristal de zircão com exsoluções e inclusões.

6.3.2c Zircão como inclusão na cassiterita do pegmatito

Uma única inclusão de zircão em cassiterita proveniente do pegmatito foi identificada no ponto RG-06-02. O zircão possui 39,9% de SiO_2, 24,4% de ZrO_2, 1,2% de HfO_2, 3,6% de FeO, 6,1% de ThO_2 e 21,7% de UO_3.

6.3.2d Zircão como inclusão na columbita do pegmatito

Uma única inclusão de zircão foi identificada na columbita derivada do pegmatito do ponto RG-06-5A. Esta possui 58,2% de ZrO_2, 8,2% de HfO_2 e 30,2% de SiO_2, sendo os 3,1% restantes ThO e FeO.

6.3.3 Cassiterita

Foram analisados cristais de cassiterita provenientes de amostras do granito (ponto RG-06-12B) e do pegmatito (ponto RG-06-02).

6.3.3a Cassiterita derivada do granito

A cassiterita derivada do granito possui concentrações médias de SnO_2 de 98,7%, tendo um valor máximo de 99,5% e um valor mínimo de 98% de SnO_2 (Tabela 6.8).

Na composição química (predominante) da cassiterita das amostras do granito, além do óxido de estanho, só ocorrem óxidos de Fe, Nb e Ta. O Nb_2O_5 foi detectado em apenas uma análise (análise 29 do ponto RG-06-12B) apresentando teor de 0,5%. O óxido de Fe só se faz presente apenas na análise 20 com o teor de 0,7%. O Ta_2O_5 encontra-se presente em quase todas as análises realizadas, com teor máximo de 2,0%, mínimo de 1,0% e médio de 1,2%.

Tabela 6.8. Análises semiquantitativas* em MEV-EDS de grãos de cassiterita proveniente do granito.

Análise	**20**	**21**	**23**	**24**	**29**	**32**	**38**	**41**	**42**	**43**	**47**	**48**	**Média**
SnO_2	98,3	98,5	99,1	98,6	99,5	98,0	98,6	98,8	98,5	98,6	98,8	99,0	98,7
Ta_2O_5	1,0	1,5	0,9	1,4	0,0	2,0	1,4	1,2	1,5	1,4	1,2	1,0	1,2
Total	99,3	100,0	100,0	100,0	99,5	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,9

* Os óxidos de Fe e Nb devido aos baixos valores determinados não foram relacionados.

Os cristais de cassiterita das amostras do granito são, normalmente, destituídos de inclusões sólidas (Fig. 6.17 a,b). Quando as mesmas ocorrem, a columbita-tantalita representa o único mineral determinado.

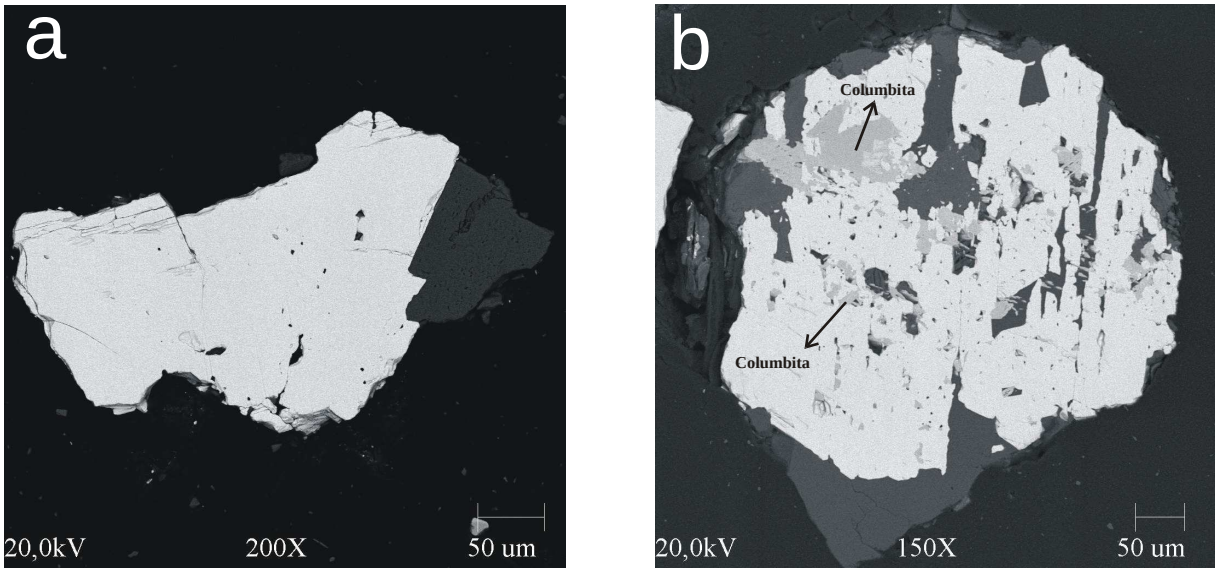

Figura 6.17. a = Imagem de cristal de cassiterita destituído de inclusões, b = Imagem de cristal de cassiterita com inclusões de columbita-tantalita.

6.3.3b Cassiterita derivada do pegmatito

Os cristais de cassiterita derivados do pegmatito possuem concentrações médias de SnO_2 de 94,1%, tendo um valor máximo de 94,9% e um valor mínimo de 93,3% de SnO_2.

Assim como a cassiterita do granito, a cassiterita do pegmatito apresenta em sua composição química, além do SnO_2, os óxidos de Fe, Nb e Ta (Tabela 6.9). Todavia, diferentemente do que ocorre nas primeiras, estes óxidos estão presentes nas análises realizadas. Os teores médios de FeO, Nb_2O_5 e Ta_2O_5 foram de 1,2%, 2,1% e 2,5%, respectivamente.

Tabela 6.9. Análises semiquantitativas em MEV-EDS de grãos de cassiterita proveniente do pegmatito.

Análises	**1**	**10**	**16**	**Média**
SnO_2	93,3	94,9	94,1	94,1
Ta_2O_5	3,5	1,5	2,6	2,5
Nb_2O_5	2,0	2,4	2,0	2,1
FeO	1,1	1,2	1,3	1,2
Total	100,0	100,0	100,0	100,0

Na cassiterita do pegmatito as inclusões são mais freqüentes e representadas pela columbita-tantalita e zircão (ponto RG-06-02). Em um dos cristais estudados foi observada uma fratura preenchida por óxido de ferro (provavelmente magnetita) (Fig. 6.18).

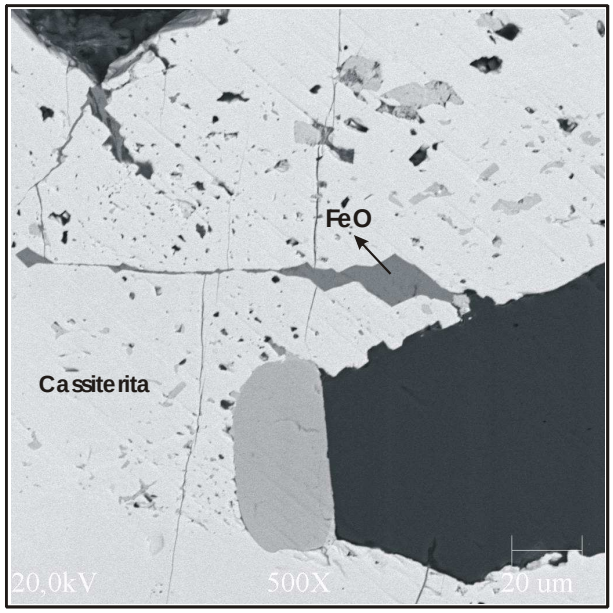

Figura 6.18. Imagem de óxido de ferro (provavelmente magnetita) preenchendo fratura em um cristal de cassiterita do pegmatito (RG-06-02).

6.3.4 Minerais de ETR

Minerais de REE foram encontrados em amostras do granito (pontos JAC20B e RG-06-12G), como inclusões no zircão do granito (pontos RG-06-04 e RG-06-07) e como inclusões no zircão (pontos RG-06-02 e RG-06-5E) e na columbita (ponto RG-06-05E) do pegmatito. As análises realizadas permitiram identificar quatro minerais portadores de ETR: itrofluorita, parisita de Ce, monazita de Ce e óxido de cério.

Na lâmina polida do ponto RG-06-12G a parisita de Ce ocorre como uma inclusão sólida contida na itrofluorita. Esse último mineral encontra-se, por sua vez, preenchendo uma fratura em um cristal de quartzo (Fig. 6.19 a, b). A itrofluorita é composta por F, CaO e Y_2O_3, com teores médios de 30,9%, 67,6% e 1,5%, respectivamente (Tabela 6.10).

A itrofluorita também foi observada na seção polida do granito (ponto JAC20B), bem como inclusa em cristais de zircão provenientes do granito e do pegmatito (Fig. 6.20).

Segundo Gaines *et al*. (1997), a parisita de Ce possui em sua composição química básica o CeO_2, La_2O_3, F e o CaO, possuindo a fórmula geral $Ca(Ce,La)_2(CO_3)_3F_2$. Nas análises da parisita de Ce os teores médios determinados de CeO_2, La_2O_3, F e CaO, foram de 48,6%, 19,2%, 1,9% e 4,6%, respectivamente. O Nd_2O_3 presente em todas as análises possui um teor médio de 9,6%. Os demais óxidos presentes, UO_3, ThO_2 e PbO somam os 5% restantes (Tabela 6.11).

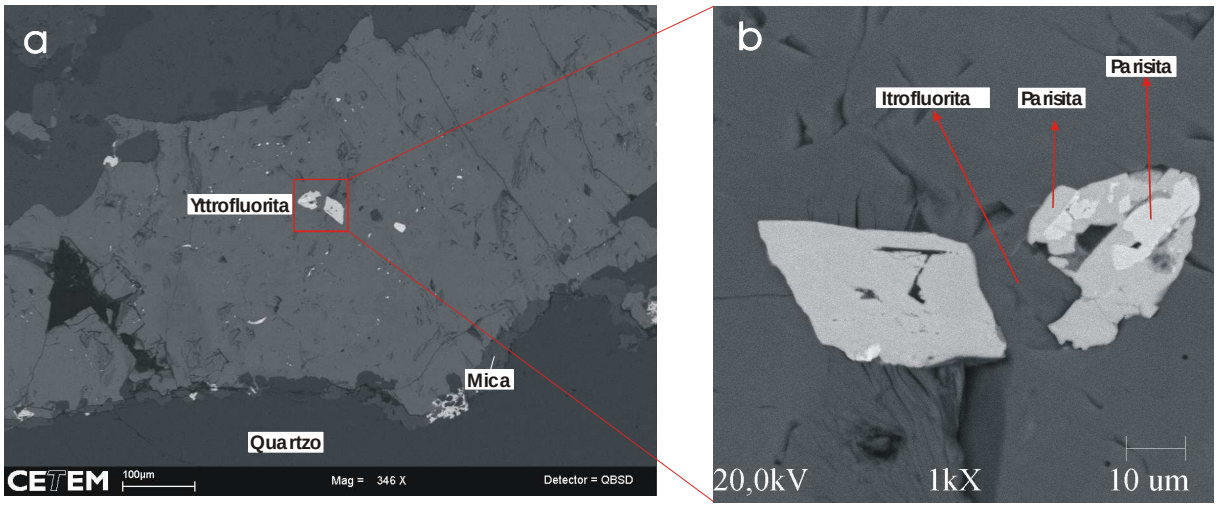

Figura 6.19. a = Imagem de itrofluorita preenchendo fratura no cristal de quartzo, ponto RG-06-12G; b = Imagem de parisita de Ce inclusa em itrofluorita.

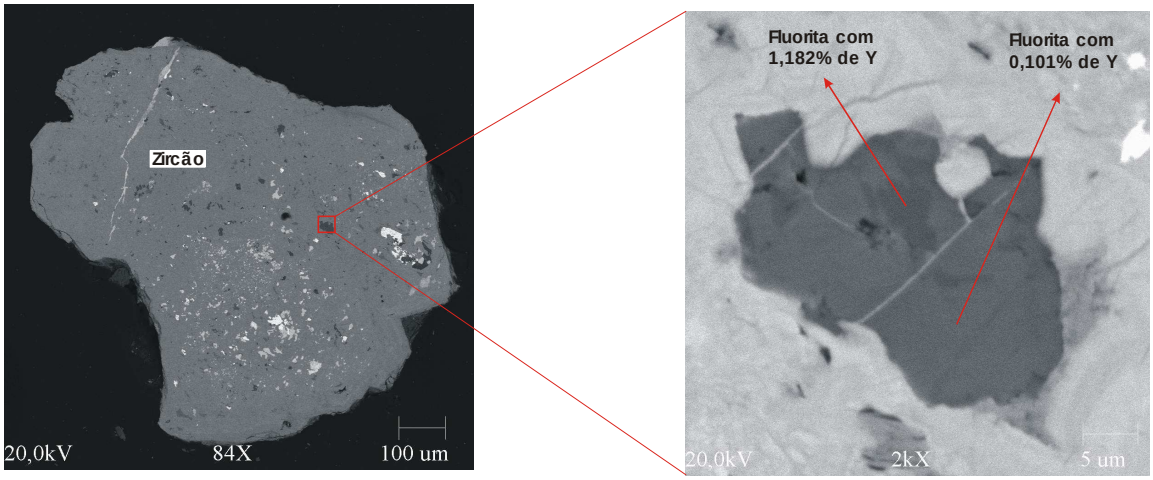

Figura 6.20. Imagem de itrofluorita inclusa em cristal de zircão do pegmatito, ponto RR-06-02 e RG-06-05E.

Tabela 6.10. Análises semiquantitativas em MEV-EDS de itrofluorita.

	Pontos 7 e 4		Pontos 2 e 5E					Ponto 12G					Ponto JAC20B		
Análise	**86**	**87**	**61**	**62**	**63**	**91**	**94**	**11**	**13**	**14**	**20**	**22**	**7**	**8**	**Média**
CaO	69,9	65,3	66,67	67,30	71,10	66,3	64,9	67,5	67,4	67,1	69,0	68,3	78,5	77,5	69,0
F	29,8	32,5	31,87	31,49	28,80	31,5	32,0	30,7	31,1	31,4	29,3	30,8	18,2	17,2	29,0
Y_2O_3	0,2	2,2	1,46	1,21	0,10	2,2	3,1	1,8	1,5	1,5	1,7	1,0	3,3	5,3	1,9
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Tabela 6.11. Análises semiquantitativas em MEV-EDS de parisita de Ce.

	RG-06-12G			JAC20B		
Análise	**3**	**6**	**4**	**7**	**6**	**Média**
CeO_2	49,8	52,9	44,5	47,0	48,7	48,6
La_2O_3	17,1	17,7	18,5	16,6	25,9	19,2
F	9,2	9,7	21,6	22,8	6,2	13,9
Nd_2O_3	10,5	6,8	11,8	9,7	9,0	9,6
CaO	6,5	6,8	3,6	3,9	2,0	4,6
ThO_2	3,2	4,1	0,0	0,0-	8,2	3,9
UO_3	1,5	2,1	0,0	0,0	0,0	0,7
PbO	2,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

A monazita contendo cério foi identificada somente na lâmina polida do granito do ponto RG-06-12G, ocorrendo como uma inclusão na itrofluorita. Foram realizadas cinco análises em três grãos. Esta possui em sua composição química CeO_2, P_2O_5, Nd_2O_3, La_2O_3, ThO_2 e UO_3 (Tabela 6.12).

O óxido de cério apresenta-se como principal elemento terras raras com teor médio de 41%. O P_2O_5 ocorre com teor médio de 34%. A monazita de Ce ocorre inclusa em grãos de itrofluorita, apresentando hábito anedral e tamanho entre 10 e 30μm (Fig. 6.21).

Tabela 6.12. Análises semiquantitativas em MEV-EDS de grãos de monazita de Ce.

Análise	**5,8 e 10**	**17**	**19**	**Média**
CeO_2	42,8	38,0	38,7	39,8
P_2O_5	33,4	38,8	31,2	34,5
Nd_2O_3	11,6	10,8	22,4	14,9
La_2O_3	9,9	9,1	5,9	8,3
ThO_2	1,9	2,4	1,6	2,0
UO_3	0,4	0,9	0,2	0,5
Total	100	100	100	100

Na seção polida de cristais de columbita provenientes do pegmatito (ponto RG-06-05E), foi observado que o óxido de Ce também encontra-se preenchendo uma fratura (Fig. 6.22).

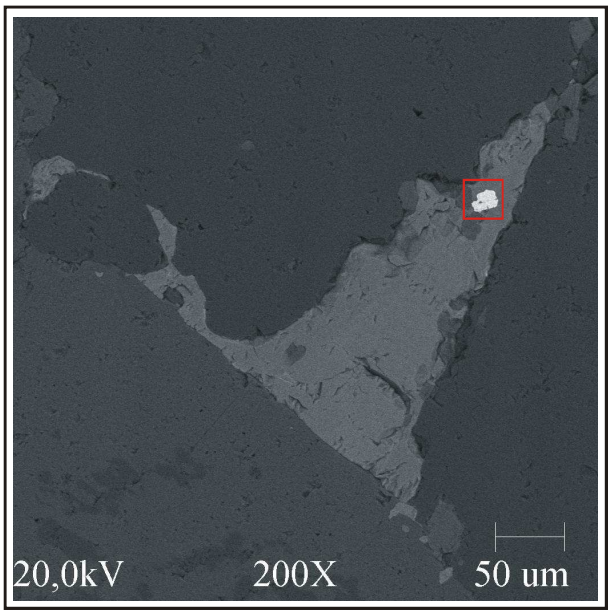

Figura 6.21. Imagem de monazita de Ce inclusa em itrofluorita, ponto RG-06-12G.

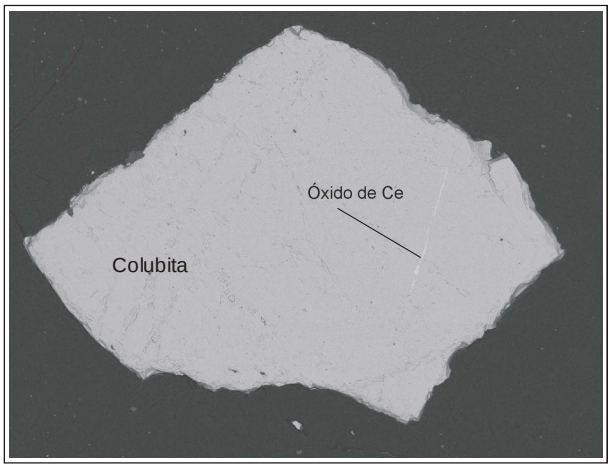

Figura 6.22. Imagem de óxido de cério preenchendo fratura na columbita proveniente do pegmatito.

6.3.6 Minerais de Th e U

Os minerais de Th e U só foram identificados preenchendo fraturas e na forma de inclusões sólidas e exsoluções. A primeira restringe-se ao preenchimento de fraturas nos grãos de zircão do pegmatito (pontos RG-06-02 e 5E). De forma mais abundante, as inclusões aparecem nos cristais de zircão do pegmatito (pontos RG-06-02, 5A e 5E) e do granito (pontos RG-06-04, 07 e 12G).

Os principais minerais de Th e U reconhecidos foram: torita, torianita, torogumita, uraninita e um mineral de Th e U com Pb.

A composição química da torita que ocorre inclusa nos cristais de zircão do granito (pontos RG-06-04 e 07), apresenta teores de 15,6 % de SiO_2, 47,9% de ThO_2 e 36,4% UO_3.

A torianita ocorre inclusa somente em um cristal de zircão do pegmatito (ponto RG-06-5A). A borda do cristal encontra-se enriquecida em U e Ta e empobrecida em Th, em relação à parte central do mesmo (Tabela 6.13). Os teores de ThO_2 e UO_3 na zona mais interna do cristal foram de 88,2% e de 10,8%, respectivamente. Já na borda os teores de ThO_2 e UO_3 foram de 74,1% e 24,2. O enriquecimento em Ta na borda do grão em relação ao seu núcleo, foi de 1,7% de Ta_2O_5. Esta variação composicional resultou no registro de diferentes tons de cinza no cristal (Fig. 6.23), mais escuro (mais UO_3, menos ThO_2 e com Ta_2O_3) e mais claro (menos UO_3 e mais ThO_2 e com PbO).

Tabela 6.13. Análises semiquantitativas em MEV-EDS das inclusões de torianita em cristal de zircão do pegmatito.

Análise	**76**	**77**
ThO_2	88,2	74,1
UO_3	10,8	24,2
PbO	1,0	0,0
Ta_2O_5	0,0	1,7
Total	100,0	100,0

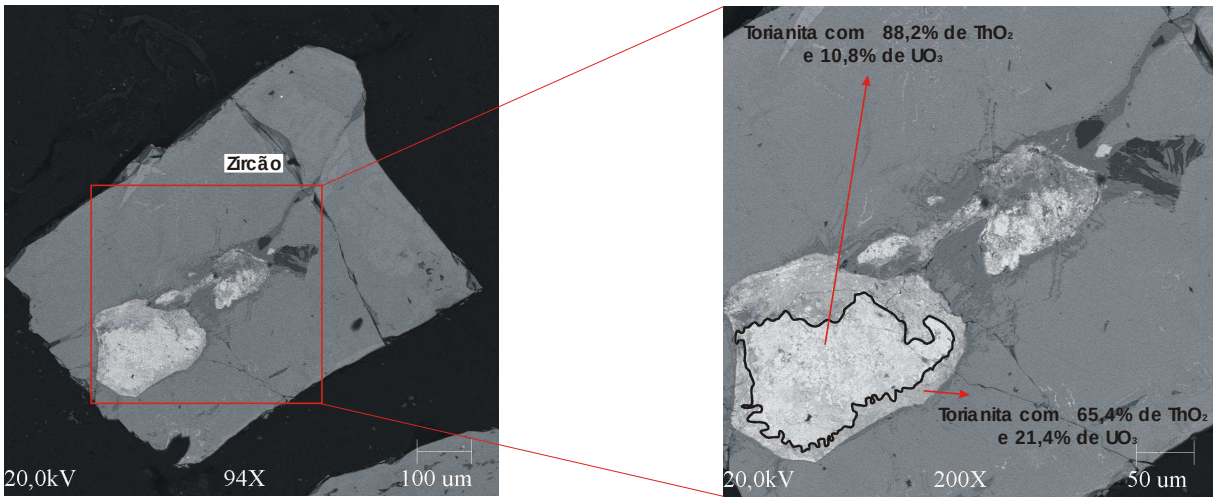

Figura 6.23. Imagem de torianita inclusa em zircão do pegmatito, ponto RG-06-05A. A figura mostra o enriquecimento em Ta na borda do grão em relação ao seu núcleo.

A uraninita ocorre inclusa somente em cristais de zircão do pegmatito (pontos RG-06-02 e RG-06-5A). Além do UO_3 com um teor de 90,5%, a uraninita possui em sua composição, óxidos de Fe e Pb com teores de 2,0% e 7,5%.

A torogumita ocorre sempre inclusa nos cristais de zircão, seja este derivado do pegmatito (pontos RG-06-02 e RG-06-5E), seja derivado do granito (pontos RG-06-04 e RG-06-07). Isto se justifica por a torogumita pertencer ao grupo do zircão (Gaines *et al*. 1997), tendo em sua fórmula dois elementos básicos, Th e Si.

As quatro análises realizadas mostram teores médios de SiO_2, ThO_2 e UO_3 de 12,9%, 46,1%, 20,1%, respectivamente (Tabela 6.14).

Tabela 6.14. Análises semiquantitativas em MEV-EDS de torogumita.

Análise	**55**	**56**	**57**	**82**	**Média**
ThO_2	44,9	30,3	53,9	55,2	46,1
UO_3	23,7	12,4	23,8	20,5	20,1
SiO_2	13,6	17,2	12,1	8,8	12,9
FeO	8,8	20,7	4,7	9,1	10,8
ZrO_2	7,0	14,6	2,8	5,2	7,4
PbO	1,6	2,1	1,9	1,2	1,7
$Al2O_3$	0,4	2,7	0,0	0,0	0,8
CaO	0,0	0,0	0,7	0,0	0,2
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

7. DISCUSSÃO

7.1 Discussão dos resultados

Segundo Dostal & Chatterjee (2000), o nióbio e o tântalo são dois *high-field-strength elements* (HFSE) que tem valência (+5) e raio iônico similar. Conseqüentemente, eles têm um comportamento geoquímico muito parecido durante vários processos geológicos e a razão Nb/Ta é considerada bastante constante em muitos sistemas geológicos. Para Belkasmi *et al*. (2000), os minerais do grupo da columbita têm uma fórmula geral AB_2O_6 onde o A pode ser ocupado pelo (Mn, Fe) e o B principalmente pelo (Nb, Ta), hospedando também em menor proporção o Ti, W, Sn e Sc.

No Granito Desemborque o nióbio-tantalato presente apresenta teores de Nb_2O_5 (66,2% em peso) expressivamente superiores aos teores de Ta_2O_5 (6,5% em peso) e, portanto, pode ser classificado como uma columbita. Isto pode se dar devido à maior disponibilidade de nióbio no sistema que gerou o Granito Desemborque em detrimento do tântalo.

Por si só, a presença da columbita como um dos minerais constituintes do granito já apontaria para uma maior disponibilidade do nióbio no magma que gerou o Granito Desemborque. Comparativamente aos demais granitos da Suíte Intrusiva Serra do Mar - a exceção dos granitos Alto Turvo, Mandira e Serra Alta - verifica-se que é nítido o enriquecimento de Nb do Granito Desemborque em relação aos demais corpos (Tabela 7.1). Estendendo-se essa comparação em relação a alguns granitos a metais raros verifica-se que o Granito Desemborque apresenta concentrações de Nb superiores a diversos granitos mineralizados em metais raros (Tabela 7.2), como o Plúton Nova Scotia (Canadá) (Dostal & Chatterjee 2000), Batólito Khao Kata Khwam (Thailândia) (Pollard *et al*. 1995) e Granito Ychun (China) (Schwartz 1992).

Tabela 7.1. Teor de Nb em granito da Suíte Intrusiva Serra do Mar.

Granito		Nº de análises	Nb (ppm)
Alto turvo*	Alcalino/Calcioalcalino	1	82
Granito Desemborque	Alcalino	13	61,61(44-75)
Serra Alta*	Alcalino	1	46
Corupá*	Alcalino/Peralcalino	6	20,33 (12-26)
Mandira*	Alcalino/Peralcalino	3	30 (10-58)
Subida*	Alcalino	5	27 (21-40)
Serra do Paratiú*	Alcalino	1	20
Ilha do Cardoso*	----	1	20
Serra da Igreja*	Alcalino	1	<20
Morro Redondo*	Alcalino	3	10,33 (5-21)
Dona Francisca*	Alcalino	1	5
Piraí*	Alcalino	1	5
Agudos*	Alcalino	4	3,25 (5-8)
Anhangava*	Alcalino	1	ld
Graciosa*	Alcalino	1	ld
Marumbi*	Alcalino	1	ld

ld. Abaixo do limite de detecção. Fonte: *Kaul *et al*. (1984).

Tabela 7.2. Teores de Nb e Ta em granitos mineralizados a metais raros.

Granito	Litologia	Nº de análises	Nb (ppm)	Ta (ppm)
Plúton Nova Scotia (Canadá) *1	Leucomonzogranito	1	10,29	1,04
	Leucogranito	1	9,17	1,19
Batólito Khao Kata Khwam (Thailândia) *2	Biotita Granito	18	30,94 (23-45)	-
Granito Ychun (China) *3	Granito duas-micas	5	43 (32-48)	22 (12-29)
	Muscovita Granito	4	59 (53-66)	55 (44-65)
	Lepidolita Granito	6	62 (56-68)	183 (168-219)
Granito Beauvoir (França) *4	Topázio-lepidolita albita granito	9	66,88(27-158)	103,04 (27-425)
Granito Madeira (Brasil, Pitinga) *5	Albita Granito	10	1095,5 (880-2504)	155,80 (104-283)
Granito Água Boa (Brasil, Pitinga) *5	Biotita Granito	8	74,75 (61-89)	7,5 (5-10)
Granito Desemborque	Biotita sienogranito	13	61,61(44-75)	-

Fonte: *1- Dostal & Chatterjee (2000), *2- Pollard *et al*. (1995), *3- Schwartz (1992), *4- Cuney *et al*. (1992), *5- Marine *et al* (2005).

Rucheng *et al*. (2000), indica que em rochas alcalinas (e.g. carbonatitos, sienitos e álcali granitos) os minerais do grupo da columbita são freqüentemente ferrocolumbitas. Isso de fato ocorre na fácies à biotita do Granito Suzhou, na China que possui a ferrocolumbita como o principal representante dos minerais do grupo da columbita (Wang *et al*. 1997).

A ferrocolumbita é definida através das razões iônicas Ta/(Ta+Nb) e Mn/(Mn+Fe), cálculo só possível de se estabelecer através da obtenção dos teores por análise em microssonda eletrônica. Porém, de acordo com Gaines *et al*. (1997), columbitas com teores de

FeO acima de 21,28% podem ser classificadas como ferrocolumbitas. Com isso, verifica-se que, adotando-se esse critério, os cristais de columbita provenientes do Granito Desemborque (ponto RG-06-12D) e do pegmatito com teores de FeO acima de 21,28% podem ser caracterizadas como ferrocolumbita (vide tabela 6.1).

Com relação ao caráter magmático ou hidrotermal da columbita encontrada no Granito Desemborque verifica-se que, no geral, minerais acessórios com formas relativamente euedrais são formados normalmente nos estágios magmático iniciais, enquanto que, agregados policristalinos de minerais acessórios indicam uma formação em um estágio envolvendo a presença de fluidos (Rucheng *et al*. 2000). No corpo em questão, a columbita ocorre com hábito euédrico, tamanho diminuto (aproximadamente 170µm e 125µm) e inclusa em minerais magmáticos, como cristais de feldspato potássico (ponto RG-06-02) e de quartzo (ponto RG-06-12G) (Fig. 7.1a,b) fato que leva a crer que todos esses minerais formaram-se no estágio inicial da cristalização magmática.

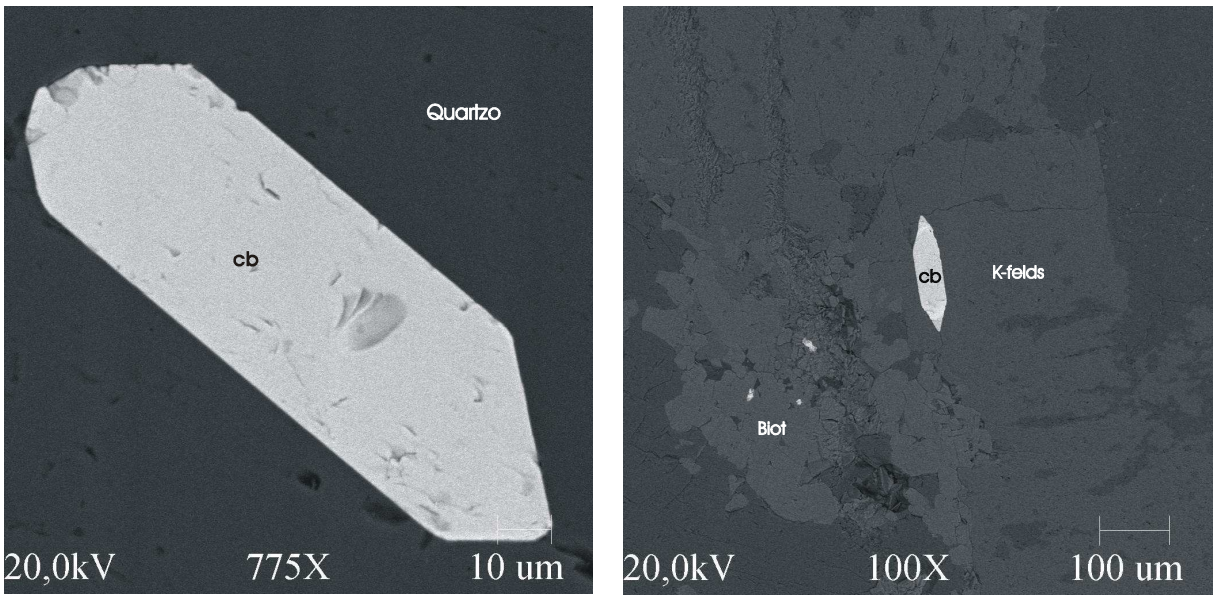

Figura 7.1. a= Imagem de cristal de columbita inclusa em quartzo (ponto RG-06-12G); b= Imagem de cristal de columbita inclusa em k-feldspato (ponto RG-06-02).

Cristais de columbita inclusos em minerais de origem magmática são comumente encontrados em exemplos mundiais de granitos a metais raros. Segundo Cuney *et al*. (1992), no Granito Beauvoir (França), a columbita ocorre inclusa na lepidolita, apatita e no núcleo do topázio com um tamanho de 10 a 20 µm, assim, indicando um estágio inicial da cristalização magmática. No Granito Suzhou (China), a columbita ocorre inclusa na biotita.

A columbita constitui um sistema de quatro componentes em que o zoneamento químico é freqüentemente observado e ocorre principalmente devido a substituições isovalentes de (Nb↔Ta) e (Fe↔Mn). Lahti (1987) definiu, nesse mineral, padrões de zoneamento do tipo normal e reverso. O zoneamento é normal se nos cristais a razão Ta/Nb decresce e a razão Mn/Fe decresce do núcleo para a borda do cristal. No caso oposto, o zoneamento é reverso. Em adição, Belkasmi *et al.* (2000), argumenta que o zoneamento em cristais de columbita-tantalita apresenta-se periodicamente com pequenas oscilações.

No Granito Desemborque as imagens de elétrons retroespalhados da columbita derivada do granito, apresentam-se com tons de cinza homogêneos (Vide fig. 6.7), indicando uma composição química estável. Somente um grão apresentou zoneamento (Vide fig. 6.8).

Belkasmi *et al.* (2000), propõem que o *emplacement* de sucessivos pulsos magmáticos causariam um forte enriquecimento da razão Ta/(Ta+Nb) com moderada variação da razão Mn/(Mn+Fe) durante o crescimento dos cristais zonados. Desse modo, a quase ausência de cristais zonados de columbita no Granito Desemborque, sugere que o corpo granítico desenvolveu-se através de um único pulso magmático.

No Granito Desemborque a columbita ocorre associada ao granito, ao pegmatito e como inclusão em cristais de cassiterita e zircão provenientes tanto do granito quanto dos pegmatitos que cortam esse corpo.

Na tabela 7.2 pode-se observar que normalmente o teor de Nb excede o teor de Ta, só sendo ultrapassado nas fases finais da cristalização magmática, quando o magma é extremamente enriquecido em elementos voláteis. Como exemplo, pode-se citar as fácies albita granito dos granitos Madeira (Brasil) e Beauvoir (França) onde tal fato ocorre.

Isso particularmente não se reflete nos resultados de química mineral aqui apresentados (Tabela 7.3), pois, os valores de Nb e Ta são equivalentes tanto na columbita derivada do granito quanto na do pegmatito.

Tabela 7.3. Composição média da columbita proveniente do granito e do pegmatito.

	Proveniente do granito	Proveniente do pegmatito
Nb_2O_5	66,2	57,2
Ta_2O_5	6,5	4,9
FeO	18,2	26,8
MnO	6,0	5,8

Assim como o Nb e o Ta, Dostal & Chatterjee (2000) apresentam o zircônio e o háfnio como dois *high-field-strength elements* (HFSE) que tem valência (+4) e raio iônico similar. Conseqüentemente, estes dois elementos também possuem uma razão relativamente constante na maioria dos sistemas geológicos.

No Granito Desemborque o zircão aparece associado ao granito, ao pegmatito e incluso na cassiterita e na columbita provenientes do pegmatito. A tabela 7.4 mostra os valores médios dos teores de ZrO_2, SiO_2, HfO_2, ThO_2 e UO_3 do zircão.

Tabela 7.4. Composição média do zircão.

	Proveniente do granito	Proveniente do pegmatito	Inclusão em cassiterita do pegmatito	Inclusão em columbita do pegmatito
ZrO_2	59,4	47,1	24,4	58,2
SiO2	29,2	29,1	39,9	30,2
HfO_2	4,0	9,3	1,2	8,2
ThO_2	5,4	4,8	6,1	1,0
UO_3	1,4	4,4	21,7	0,3

Segundo Wang *et al*. 2000, os grãos de zircão de granitos tipo-I são pobres em elementos traços (HfO_2 <2 %, UO_2 + ThO_2 + Y_2O_3 <1%), contudo cristais de zircão de granitos tipo-A são ricos em Hf, U, Th e Y**.** Wang *et al*. 2000, afirmam ainda que a concentração de Hf nos grãos de zircão é variável e depende do grau de evolução do magma original. A concentração média de Hf nos grãos de zircão das rochas da suíte Tipo-I de Laoshan é 1,43%. O zircão das rochas tipo-A é mais enriquecido em Hf, e contém, em média, 2,92 % de HfO_2. Para Rucheng *et al*. 2000, o zircão com Hf-Th-U-Y representa um dos mais importantes minerais acessórios da fácies primária (HfO_2, ThO_2, UO_2 e YO_2 com 7,01%, 4,27%, 1,26% e 2,94%, respectivamente) enquanto o zircão da fácies tardia se torna pobre em Th e U, entretanto mais enriquecido em Hf (valor máximo de 12,37% de HfO_2).

No Granito Desemborque o zircão derivado do granito apresenta em média 4,0 % de HfO_2, 5,4% de ThO_2 e 1,35% de UO_2. Com esse valor de Hf, pode-se considerar o zircão proveniente do Granito Desemborque (granito) como um zircão rico em háfnio. O elemento Y não foi detectado nas análises realizadas. Estes resultados indicam que o Granito Desemborque é um granito do tipo-A mais evoluído em relação ao magma original.

Wang *et al*. (1996) e Rucheng *et. al*. (2000), citam que as bordas do zircão são geralmente mais enriquecidas em Hf em relação ao núcleo do cristal. Com relação aos cristais

de zircão provenientes do Granito Desemborque, somente em um deles foram observadas, nas imagens geradas em MEV-BSD, variações nos tons de cinza registrados, que são mais claros (com mais HfO_2) nas proximidades das bordas e mais escuros (com menos HfO_2) nas partes mais internas dos grãos (vide fig. 6.16a).

A falta de inclusões de zircão em minerais magmáticos (inclusive na columbita) do granito corrobora a idéia de que esse mineral cristalizou preferencialmente em uma fase tardia da cristalização magmática do Plúton Desemboque. O fato das inclusões de columbita hospedadas no zircão apresentarem características composicionais semelhantes às registradas para a columbita do granito (Tabela 7.5), reforça a idéia de que o zircão cristalizou de fato durante o estágio magmático tardio sofrendo, posteriormente, os efeitos dos processos hidrotermais manifestado pelo enriquecimento em háfnio. Aliás, a maior concentração de Hf e a grande variedade de inclusões de minerais hidrotermais (particularmente os dos elementos terras raras) no zircão do ponto RG-06-04, ou seja, da borda leste do plúton sugerem que esta porção do plúton possa ter sofrido com mais intensidade os efeitos de processos hidrotermais.

De acordo com Huang *et al*. (2002) um zircão que apresenta freqüentemente um núcleo poroso e bordas intactas, sugere que o núcleo represente um cristal relicto e que a borda cresceu durante a cristalização do magma granítico. Tal feição também foi registrada no Granito Desemborque onde o zircão (do granito) apresenta-se com forma euedral a subeuedral e com núcleo poroso preenchido por inclusões de biotita, itrofluorita, torita, torianita, torogumita e columbita (Vide Fig. 6.16b).

Tabela 7.5. Composição da columbita proveniente do granito e inclusa em zircão do granito.

	Proveniente do granito	Inclusão em zircão do granito
Nb_2O_5	66,2	75,5
Ta_2O_5	6,5	1,8
FeO	18,2	16,5
MnO	6,0	6,1

Assim como o Nb, Ta, Zr e Hf, o Sn por sua estreita afinidade também pode ser considerado como um metal raro, ocorrendo associado aos elementos citados na maioria dos granitos mineralizados a metais raros mundiais.

No Granito Desemborque a cassiterita ocorre associada ao granito (ponto RG-06-12B) e ao pegmatito (ponto RG-06-02). A cassiterita proveniente do granito apresenta em média

um teor de 98,7% de SnO_2 e 1,2% de Ta_2O_5 não sendo o Nb_2O_5 detectado nas análises realizadas.

Com relação à etapa em que se deu a cristalização da cassiterita, pode-se indicar que a sua composição química, a ausência de inclusões de cassiterita em minerais magmáticos modais ou acessórios (*e.g.* columbita e zircão) do granito e a sua presença restrita nesse corpo rochoso (em bolsões) apontam que ela encontra-se associada às últimas fases de cristalização magmática em estágio pós-magmático (hidrotermal).

Uma outra evidência que também parece indicar para uma origem mais tardia (hidrotermal) da cassiterita do granito seria o fato dela incluir cristais correspondentes aos membros finais (mais tardios) do grupo da columbita. De acordo com Povarennykh *et al*. (1990), os membros finais desse grupo da columbita são enriquecidos em Ta_2O_5 e MnO. A composição química dessas inclusões (ponto RG-06-12B) onde se registrou um baixo teor de Nb_2O_5 (47,3%) e o enriquecimento em Ta_2O_5 (27,5%) e MnO (9,6%) apontam para isso.

A presença de cristais encurvados ou falhados-e-soldados de columbita (Fig. 7.2 a,b) associada a cristais de quartzo (e feldspato) com bordos serrilhados e extinção ondulante, seriam uma evidência da atuação de esforços deformacionais poucos intensos que atuaram em um estágio pós-cristalização magmática. Não há, entretanto, evidência desse processo de deformação ter atuado sobre a cassiterita (cristais sem extinção ondulante). Portanto, acredita-se que tenham ocorrido episódios diferenciados para a formação desses dois minerais econômicos associados ao granito. Desta forma acredita-se que, dos minerais econômicos intrinsecamente relacionados ao granito, a columbita tenha, provavelmente, origem magmática e que minerais como a cassiterita possam ter sido gerados, posteriormente, em estágio pós-magmático (hidrotermal).

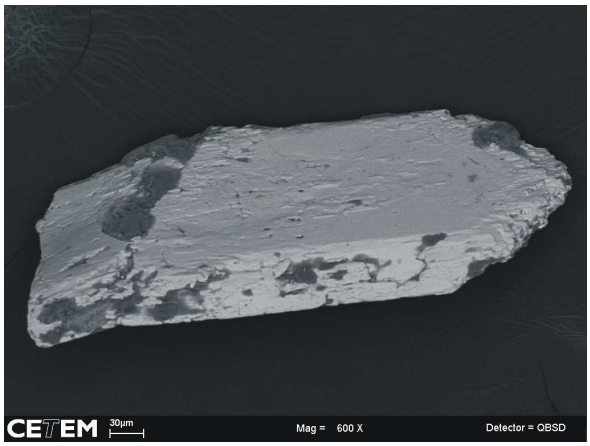

Figura 7.2. a = Imagem de cristal de columbita falhado-e-soldado b = Imagem de cristal de columbita encurvado.

A cassiterita proveniente do pegmatito apresenta em média um teor de 94,1% de SnO_2, 2,5% de Ta_2O_5, 2,1% de Nb_2O_5 e 1,2% de FeO. Ela apresentou uma diminuição do teor de SnO_2 em relação à cassiterita proveniente do granito, (de 98,7% para 94,1%), juntamente com o aumento do teor de Ta_2O_5 (de 1,2% para 2,5%) e o surgimento do Nb_2O_5 na composição da cassiterita com teor de 2,1%.

O enriquecimento em Ta na cassiterita do pegmatito é uma tendência natural em virtude do elemento ficar disponibilizado nas fases finais de cristalização, sendo carreado pelo líquido que gera os pegmatitos, conforme evidenciado por Belkasmi *et al.* (2000)**.**

Esse maior enriquecimento em Ta_2O_5 também se manifesta nas inclusões de columbita-tantalita hospedadas na cassiterita proveniente do pegmatito (ponto RG-06-02), atingindo em média 30,2% (40,4% em média de Nb_2O_5).

A Tabela 7.6 mostra os valores médios dos teores de SnO_2, Ta_2O_5, Nb_2O_5 e FeO_2, da cassiterita em % peso.

Tabela 7.6. Composição média da cassiterita proveniente do granito e do pegmatito.

	Proveniente do granito	Proveniente do pegmatito
SnO_2	98,7	94,1
Ta_2O_5	1,2	2,5
Nb_2O_5	0,0	2,1
FeO	0,0	1,2

No Granito Desemborque os minerais de ETR (itrofluorita, parisita de Ce, monazita de Ce e óxido de cério) aparecem de quatro maneiras: associado ao granito; como inclusões no zircão do granito; como inclusões no zircão e na columbita do pegmatito.

A associação de minerais exóticos de ETR está relacionada à atividade hidrotermal, sugerindo que durante os últimos estágios de cristalização do magma tipo-A, fluidos enriquecidos F^-, CO_3 e PO_4 foram ativos (Wang *et al*. 1996). No caso do Granito Desemborque, isso pode ser evidenciado pela forma com que esses minerais se apresentam: pelo seu hábito anédrico, preenchendo fraturas nos cristais e como inclusões hospedadas neles mesmos.

No Granito Desemborque a itrofluorita ocorre como inclusão no zircão do pegmatito e preenchendo uma fratura no grão de quartzo no ponto RG-06-12G (vide fig 7.19a). No ponto RG-06-5A o óxido de Ce também preenche uma fratura em um grão de columbita proveniente do pegmatito (vide fig. 6.22). A monazita de Ce também foi identificada somente na lâmina polida do granito do ponto RG-06-12G, ocorrendo sob a forma de inclusão na itrofluorita.

Esta possui em sua composição química CeO_2, P_2O_5, Nd_2O_3, La_2O_3, ThO_2 e UO_3. O hábito anédrico da monazita também aponta para a origem hidrotermal deste mineral.

A itrofluorita possui em média 29,0% de F, 69,0% de CaO e 1,9% de Y_2O_3.

A parisita de Ce é composta por CeO_2, La_2O_3, F e o CaO, com teores médios de 48,6%, 19,2%, 1,9% e 4,6% respectivamente. O Nd_2O_3 possui um teor médio de 9,6%. Os UO_3, ThO_2 e PbO somam 5% restantes. Parisita de Ce ocorre inclusa na itrofluorita no ponto RG-06-12G (vide fig. 6.21).

Os minerais de Th e U (torita, torianita, torogumita e uraninita) aparecem no Granito Desemborque como inclusões e preenchendo fraturas no zircão do granito e como inclusões no zircão do pegmatito.

As inclusões dos minerais de Th e U preferencialmente em cristais de zircão, seja este proveniente do granito, seja proveniente do pegmatito se justifica devido a afinidade química entre o Zr e esses elementos. No zircão proveniente do pegmatito observou-se um enriquecimento em Hf, Th e U. Os teores médios das análises foram de 9,3% de HfO_2, 4,8% de ThO_2 e 4,4% de UO_3.

Conforme já mencionado, o Granito Desemborque apresenta teores de tório acima de 16 ppm (Vasconcelos *et al*. 1999). Dessa forma, esses minerais (torita, torianita e torogumita), além dos teores mais elevados de tório determinados na composição do zircão devem ser os responsáveis pela anomalia gamaespectrométrica determinada neste corpo.

Segundo Pollard (1995), os depósitos hospedados em granitos encontram-se em corpos colocados em níveis crustais relativamente rasos (<4km). Cuney *et al*. (1992), através do estudo de inclusões fluidas do Granito Beauvoir indicaram uma profundidade de *emplacement* de aproximadamente 3 km para este corpo. Para Raimboult *et al.* (1995), foi essa profundidade de colocação do Granito Beauvoir, em torno de três quilômetros, que restringiu a presença de mineralizações apicais (greisens) e periféricas (filões) associados a esse corpo. Nessa profundidade já haveria uma limitação para o desenvolvimento do fraturamento hidráulico o que, conseqüentemente, impediria a plena circulação dos fluidos hidrotermais, dificultando a formação das zonas mineralizadas.

Para Oliveira *et al*. (1987), a mineralização que ocorre associada ao Granito Desemborque seria disseminada e na forma de zonas greisenizadas e albitizadas bem restritas. Como visto acima, pode-se considerar a ausência ou limitação do fraturamento hidráulico como uma das causas para o Granito Desemborque não apresentar concentrações significativas de Nb-Hf-Sn. Analogamente, portanto, também seria lícito considerar uma profundidade de posicionamento semelhante a do Granito Beauvoir para o Granito

Desemborque. Caracterizou-se ainda, a presença da textura granofírica do tipo franja radial por cristais de feldspato bordejados por intercrescimento de quartzo e feldspato alcalino, apontando para um nível crustal raso (subvulcânico?) para o posicionamento do Granito Desemborque.

Em adição, a quase total ausência de concentrações minerais econômicas associadas ao Granito Desemborque poderia ser também imputada ao caráter anídrico do magma (tipo-A) que, por si só, não teria condições de disponibilizar, em um volume adequado, os fluidos necessários para, em um estágio pós-magmático, favorecer os processos de alterações hidrotermais capazes de propiciar a formação de depósitos minerais.

Para Denisenko & Dukhovskiy (1980) dentro de plútons graníticos a mineralização em metais raros geralmente ocorre por volta de 200 a 400 metros das zonas apicais.

Martins *et al*. (2004), estudando o Granito Serra do Paratiú, corpo granítico que compõe a Suíte Serra do Mar e próximo ao Granito Desemborque, indicaram um nível de erosão avançado, no corpo em questão, de cerca de 150 a 180 metros. Pela proximidade entre os corpos, pode-se imputar um nível erosivo equivalente para o Granito Desemborque.

Entretanto, essa hipótese da remoção erosiva da zona de cúpula para explicar a possível ausência de concentrações minerais econômicas - conforme sugerido por diversos autores para este e outros corpos semelhantes encontrados na região do Vale do Ribeira (Oliveira *et al.* 1987, Boin *et al*. 1982, Martins *et al*. 2004) - não se coaduna com os resultados encontrados nas diversas amostras de concentrados de bateia coletadas no cerne do corpo granítico, aonde a constante presença da cromita indicaria a preservação de restos de teto da rocha encaixante (ortognaisses com boudins de rochas ultrabásicas).

7.2. Minerais de metais raros e suas relações com o Granito Desemborque

Através da química mineral por MEV-EDS dos principais minerais a metais raros encontrados associados ao Granito Desemborque foi possível discriminar duas fases evolutivas; uma francamente magmática (granítica e pegmatítica) e uma fase hidrotermal.

A columbita é nitidamente gerada na fase magmática sendo que na subfase granítica ela tem presença ubíqua e caráter disseminado (Figura 8.3). O zircão, por sua vez, ocorre na fase magmática, sendo que na subfase granítica ele teria um caráter mais tardio. Na fase hidrotermal, é que se desenrolariam os processos de enriquecimento em Hf desse mineral.

A cassiterita tem a sua formação na fase magmática (pegmatítica) e na a fase hidrotermal.

Os minerais de ETR e boa parte dos minerais radioativos tem a sua formação restrita a fase hidrotermal.

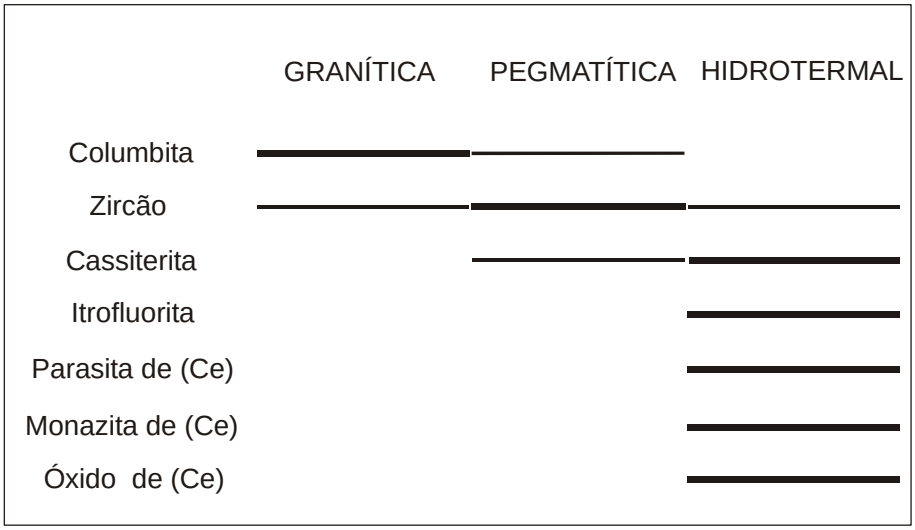

Figura. 7.3. Evolução paragenética dos minerais em metais raros do Granito Desemborque.

7.3 Enquadramento do Granito Desemborque nos modelos correntes

No presente item, em função dos dados obtidos para a elaboração da presente dissertação, procurar-se-á classificar o Granito Desemborque dentro de um dos modelos de plutonitos mineralizados a metais raros disponíveis na literatura internacional.

Com restrições em termos de modelo, o Granito Desemborque poderia se aproximar daquele dos granitos peralcalinos mineralizados a metais raros que formam depósitos ou ocorrências de nióbio, zircônio e terras raras, com um grande conteúdo de lantanídeos pesados e ítrio (Kovalenko & Yarmolyuk 1995).

Os senões, a esse enquadramento prendem-se ao fato de que o Granito Desemborque apesar das características de granitos do tipo alcalino é um tipo peraluminoso e não, peralcalino como o desejado. Além disso, apesar das análises químicas das amostras do granito indicarem certo enriquecimento em Y (até 217 ppm) e de terem sido determinados alguns minerais contendo esse elemento nas suas composições, cabe mencionar que o mineral de ítrio mais comum, o xenotímio, e um dos principais minerais que contém elementos terras raras, a monazita, só foram registrados como traços nos concentrados de bateia efetuados nos sedimentos retirados das drenagens da área. Os potenciais minerais de Y e ETR registrados no Granito Desemborque ocorrem, particularmente, como inclusões minerais (poucas) hospedadas nos grãos de cassiterita (ítriocolumbita) e na forma de itrofluorita.

8. CONCLUSÃO

O Granito Desemborque foi individualizado e tratado como um corpo à parte em função de algumas características muito próprias: por ser um corpo a columbita; por apresentar uma feição circular; pela sua assinatura aerogamaespectrométrica distinta; pelos diferentes estados de oxidação em que se encontram os corpos (Desemborque, reduzido e Azeite, oxidado); e pelos padrões de alinhamentos topográficos, estruturais e de drenagem diferenciados.

As amostras do Granito Desemborque apresentam quimicamente pequena variação composicional. Corresponde a um granito tipo A, alcalino, com caráter peraluminoso. Tectonicamente corresponde a um granito intraplaca.

A súmula dos minerais acessórios do Granito Desemborque é representada por: magnetita, martita, columbita, zircão hafnífero, zircão, pirita, molibdenita, cassiterita, fluorita, anfibólio (tremolita-actinolita), biotita (comum e esverdeada), turmalina e topázio. Os minerais de elementos raros são representados pela columbita, zircão rico em Hf, cassiterita e minerais de ETR.

Foram caracterizadas duas fases de formação dos minerais de elementos raros: uma magmática (granítica e pegmatítica) e outra hidrotermal.

O hábito euédrico/subédrico, tamanho diminuto (170 μm e 125 μm) e por estar inclusa em minerais magmáticos (quartzo e feldspato) apontam para a formação da columbita no estágio inicial da cristalização magmática.

A falta de inclusões de zircão nos minerais magmáticos (inclusive na columbita) corrobora a idéia de que esse mineral cristalizou preferencialmente em uma etapa tardia. As evidências para a sua formação também na fase hidrotermal são relacionadas ao seu enriquecimento em Hf e na presença de uma grande variedade de inclusões de minerais hidrotermais (particularmente os dos elementos terras raras).

A ausência de inclusões de cassiterita em minerais magmáticos modais ou acessórios (columbita, zircão) do granito e a sua presença restrita a certas porções do Granito Desemborque apontam para a sua formação nas últimas fases da cristalização, já em um estágio pós-magmático (hidrotermal).

A origem hidrotermal da cassiterita associada ao granito seria evidenciada pelo fato dela incluir cristais correspondentes aos membros finais (mais tardios) do grupo da columbita.

A fase hidrotermal é a responsável pela formação de uma associação de minerais exóticos de REE como: itrofluorita, parisita de Ce, monazita de Ce e óxido de cério. Esses

minerais geralmente apresentam-se com hábito anédrico e/ou estão preenchendo fraturas nos cristais e como inclusões hospedadas neles mesmos.

Minerais de Th e U como torita, torianita, torogumita e uraninita ocorrem associados (como inclusões e ou exsoluções) à cristais de zircão preferencialmente na fase magmática pegmatítica.

A presença de minerais de Th e os teores mais elevados de tório determinados na composição do zircão são provavelmente os responsáveis pela anomalia gamaespectrométrica em tório determinada neste corpo.

O Granito Desemborque, em termos de modelo, se aproxima dos granitos peralcalinos mineralizados a metais raros possuidores de depósitos ou ocorrências de nióbio, zircônio e terras raras e com um grande conteúdo de lantanídeos pesados e ítrio. As restrições a esse enquadramento são as de que o Granito Desemborque corresponde a um granito do tipo alcalino e que apesar de possuir certo enriquecimento em Y (até 217 ppm), os minerais xenotímio e monazita não fazem parte da sua composição mineralógica.

Os potenciais minerais de Y e ETR registrados no Granito Desemborque ocorrem, particularmente, como inclusões minerais (poucas) hospedadas nos grãos de zircão (itrofluorita) e de itrofluorita (parisita de Ce e monazita de Ce).

A falta de concentrações minerais econômicas de Nb-Hf-Sn associadas ao Granito Desemborque pode ser imputada ao caráter anídrico do magma (tipo-A), a ausência ou limitação do fraturamento hidráulico. A ausência de concentrações minerais econômicas em virtude da remoção erosiva da zona de cúpula, conforme sugerido por diversos autores para este e outros corpos semelhantes encontrados na região do Vale do Ribeira não se coaduna com os resultados prospectivos encontrados, onde a constante presença da cromita nas amostras coletadas no cerne do corpo granítico indica a preservação de restos de pendentes de teto da rocha encaixante (ortognaisses com boudins de rochas ultrabásicas).

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, F.F.M. de, HASUI, Y., BRITO NEVES, B.B. 1976. The Upper Precambrian of South America. *Bol. IG-USP*, São Paulo, **7**: 45-80.

BASEI, M.A.S., SIGA JÚNIOR, O., MACHIAVELLI, A., MANCINI, F., 1992. Evolução tectônica dos terrenos entre cinturões Ribeira e Dom Feliciano (PR-SC). *Rev. Bras. Geoc.* **22**(2): 216-221.

BATCHELOR, R.A., BOWDEN, P. 1985. Petrogenetic interpretation of granitoid rocks series using multicationic parameters. *Chem. Geol*., **48** (1), 43-55.

BELKASMI, M., CUNEY, M., POLLARD, P.J., BASTOUL, A. 2000. Chemistry of Ta-Nb-Sn-W oxide minerals from the Yichun rare metal granite (SE China): genetic implications and comparison with Maroccan and French Hercynian examples. Mineralogical Magazine, **64**(3): 507-523.

BEUS, A.A. 1982. Metallogeny of Precambrian rare-metal granitoids. *Rev. Bras. Geoc.* **12**(1-3): 410-413.

BOIN, M.N., SILVA, J.R.B., SILVA, R.B., MELLO, I.S.C. 1982. Mineralizações polimetálicas hidrotermais, associadas aos granitóides alcalinos de Mandira, SP. *In*: Cong. Bras. Geol., 22. *Anais*, v.3, p. 945-955.

BOYNTON, W.V. 1984. Cosmochemistry of the rare earth element: meteorite studies. *In*: Henderson, P. (ed.), *R. Earth Element Geochem.* Amsterdan, Elsevier, pp: 63-114.

CAMPAGNOLI, F. 1996. Considerações sobre a seqüência Turvo Cajati, na região do Alto Rio Jacupiranguinha (SP). Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 93 p.

CAMPO NETO, M.C. 2000. Orogenic Systems from Southwestern Gondwana: na approach to Brasiliano-Pan African cycle and orognic collage in southeastern Brazil. In: CORDANI, U.G. & MILANI, E.J. & THOMAZ FILHO, A. & CAMPOS, D.A. Tectonic Evolution of South América, Rio de Janeiro, 2000, p. 335-365.

CORDANI, U.G. & BITTENCOURT, I. 1967. Determinações de idades potásio/argônio em rochas do Grupo Açungui. *In*: SBG, Cong. Bras. Geol., 21, *anais*, p. 159-165.

_____; KAWASHITA, K. 1971. Estudos geocronológicos pelo método Rb/Sr de rochas graníticas intrusivas no Grupo Açungui. *In*: SBG, Cong. Bras. Geol., 25, *anais*, v.1, p. 105-110.

_____; GIRARDI, V.A.V., GOMES, C.B., LELLIS, H.S., MELCHER, G.C., MELFI, A.J. 1971. Geologia da Folha Eldorado (SP). *In*: SBG, Cong. Bras. Geol., 25, *anais*, p. 176.

CUNEY, M., MARIGNAC, C., WEISBROD, A.1992. The Beauvoir Topaz-Lepidolite Albite Granite (Massif Central, France): The disseminated magmatic Sn-Li-Ta-Nb-Be mineralization. *Economic Geology*, **87**(3):1766-1794.

DENISENKO, V.K., DUKHOVSKIY, A.A. 1980. Three-dimensional models of rare-metal ore zones. *Transactions (Doklady) of the USSR Academy of Sciences.***252**: 69-71.

DOSTAL, J., CHATTERJEE, A.K. 2000. Contrasting behaviour of Nb/Ta and Zr/Hf ratios in a peraluminous granitic pluton (Nova Scotia, Canada). Chemical Geology, 163: 207-218.

GAINES, R.V., SKINNER, H.C.W., FOORD, E.E., MASON, B. Dana's New Mineralogy. 8ª ed. New York: John Wiley & Sons, Inc; 1997.

HASUI, Y & OLIVEIRA, M.A.F. 1984. Províncias Mantiqueira setor central. *In*: Almeida, F.F.M. de & Hasui, Y. (eds.). *O Pré-cambriano do Brasil*. Edgard Blücher, pp.: 308-344.

_____; CARNEIRO, C.D.R., COIMBRA, A.M. 1975. The Ribeira folded belt. *Rev. Bras. Geoc.* **5**(4): 257-262.

HUANG, X.L., WANG, R.C., CHEN, X.M., HU, H., LIU, C.S. 2002. Vertical variations in the mineralogy of the Yichun Topaz-lepidolite Granite, Jiangxi Province, southern China. The Canadian Mineralogist, 40: 1047-1068.

IBGE, 1987. Folha Rio Guaraú 1:50.000SG-22-X-B-VI-4. Mapa Topográfico.

ISHIHARA, S. 1979. The magnetite-series and ilmenite – series granitoids and their bearing on tin mineralization, particularly of the Malay Península region. *Geol. Soc. Malaysia Bulletin*. **11**:103-110.

KAUL, P.F.T., ISSLER, R.S., FERNANDES, E., BONOW, C.W., COUTINHO, J.B.L. 1984. Suíte Intrusiva Serra do Mar. *Rev. Mineração. e Metalurgia.* **51**(484): 31-37.

_____. 1997. O magmatismo na Serra do Mar e adjacências (sul do Brasil) no final do Neoproterozóico e seus condicionantes tectônicos. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 293 p.

_____; CORDANI, U.G. 2000. Geochemistry of the Serra do Mar granitoid magmatism and tectonic implications, southern Brazil. *Rev. Bras. Geoc.* **30**(1): 115-119.

KOVALENKO, V.I., 1978. The genesis of rare metal granitoids and related ore deposits. *In*: STEMPROK, M., BURNOL, L., TISCHENDORF, G., eds. Metalization associated with acid magmatism, v.3, Prague Geological Survey p.235-247.

_____; KOVALENKO, N.I. 1976. Ongonites (topaz-bearing quartz-keratophyres) subvolcanic analogues of rare-metal Li-F granites. Nauka, 124p.

_____, YARMOLYUK, V.V. 1995. Endogenous rare metal ore formations and rare metal Metallogeny of Mongolia. *Economic Geology*, **90**(3):530-547.

LAHTI, S. I. 1987. Zoning in columbite-tantalite crystals from the granitic pegmatites of Erajarvi area, southern Finland. Geochimica et Cosmochimica Acta, 51: 509-517.

LEHMANN, B. 1990. Metallogeny of tin. Berlin, Springer-Verlag, 211p.

MARINI, O.J., TREIN, E., FUCK, R.A. 1967. O Grupo Açungui no Estado do Paraná. Boletim Paranaense Geociências, Curitiba, 23/25: 43-104.

MARINE, O.J., QUEIROZ, E.T., RAMOS, B.W. 2005. Caracterização de depósitos minerais em distritos mineiros da Amazônia. ADIMB/DNPM. Brasília, DF.

MARTINS, F.A.G., SILVA, A.C.G., OLIVEIRA, M.C.B. 2004. Petrografia, petroquímica e metalogenia do Granito Serra do Paratiú, Cananéia, Estado de São Paulo. *Bol. Paranaense de Geociências*, **54**:19-39.

MORTEGAL, A., BATOLLA JÚNIOR, F., PINTO, G.G., PAIVA, I.P., DRUMOND, J.B.V. 1975. Projeto Sudelpa: relatório final. São Paulo:CPRM, 18V.

NASCIMENTO, M.A.L, SOUZA, Z.S., NASCIMENTO, R.S.C., GALINDO, A.C. 2003. *Rev.Bras. Geoc.* **33**(2): 225-236.

CORREIA NEVES, J.M.; LOPES NUNES, J.E. & SAHAMA, G. 1974. High hafnium of the zircon-hafnon series from the granite pegmatites of Zambézia, Mozambique. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **48**(1): 73-80.

OLIVEIRA, M.C.B, RODRIGUES, E.P. COUTINHO, J.M.V., MARTINS, F.A.G., FIGUEIREDO, M.C.H., ZAPAROLLI, L.H., 1987. Petrologia de parte do maciço granítico Guaraú - SP. *In*: SBG, Simp. Sul-Brasileiro Geol., *Atas*, v. **2**: 571-594.

PASSARELLI, C.R. 2001. Caracterização estrutural e geocronológica dos domínios tectônicos da porção sul-oriental do Estado de São Paulo. Inst. Geociências, USP, São Paulo, Tese de Doutorado, 254 p.

_____. 2004. Geocronologia e geologia isotópica dos terrenos pré-cambrianos da porção sul-oriental do Estado de São Paulo. *Rev. USP Sér. Cient.* **4**(1): 55-74.

PEARCE, J.A., HARRIS, N.B.W., TINDLE, A.G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Jour. Petrol.*, **25**(4): 956-983.

PEREIRA, R.M., ÁVILA, C.A., MENDES, J.C., NEUMANN, R., CASTRO, C.C. 2007. Granito Desemborque: exemplo de corpo a metais raros (Nb, Zr, Hf) e estanho no Estado de São Paulo. *Rev.Bras. Geoc*. (*aceito*).

PIEKARZ, G.F. 1981. Reconhecimento de unidades correlacionáveis à seqüência mineralizada do Perau, Estado de São Paulo. *In*: SBG, SIMP. REG. DE GEOL, 3, *Atas*, v. **1**: 148-154.

POLLARD, P.J. 1995. Geology of rare metal deposits: an introduction and overview. *Economic Geology*, **90**(3):489-494.

_____; NAKAPADUNGRAT, S., TAYLOR, R.G. 1995. The Phuket Supersuite, southwest Thailand: Fractionated I-type granites associated with tin-tantalum mineralization. Economic Geology, **90**(3):586-602.

POVARENNYKH, M.Y., KULIKOVA, I.M., DYAKIN, V.I., POGIBEL'NYY, A.A. 1990. Composition, physical properties, distribution and relationships of tantalite-columbite and wolframite in different fácies of a rare-metal granite pluton. *Transactions (Doklady) of the USSR Academy of Sciences*.**303**(4): 191-195.

PUPPIN, J.P. 1980. Zircon and granite petrology. *Contrib. Mineral. Petrol*, **73**: 207-220.

RAIMBOULT, L., CUNEY, M., AZENCOTTE, C., DUTHOU, J.L., JORON, J.L., 1995. Geochemical evidence for a multistage magmatic genesis of Ta-Sn-Li meralization in the granite at Beauvoir, French Massif Central. *Economic Geology*, **90**:548-576.

RUCHENG, W., GUANGTAO, Z., DEZI, W., JIANJUN, L., SHIJIN, X. 2000. Differentiation and accumulation of fluids in A-type granites: Evidence from accessory mineral study. Chinese Science Bulletin, **45**(17): 1609-1613.

SCHWARTZ, M.O. 1992. Geochemical criteria for distinguishing magmatic and albite-enrichment in granitoids – examples from the Ta-Li granite Yichun (China) and the Sn-W deposit Tikus (Indonesia). *Mineral Deposita*. 27: 101-108.

SIGA JR, O. 1995. Domínios tectônicos do sudoeste do Paraná e nordeste de Santa Catarina: geocronologia e evolução crustal. Inst. Geociências, USP, São Paulo, Tese de Doutorado, 212p.

STRECKEISEN, A.C. 1976. To each plutonic rock its proper name. *Earth Sci. Rev.*, 12, p.1-33.

VASCONCELOS, C.S., DEHLER, N.M., YAMATO, L. A., LOPES Jr., I, OBATA, O.R., SINTONI, A. 1999. Projeto Jacupiranga-Rio Guaraú. Convênio Secretaria de Estado de Energia / CPRM - Serviço Geológico do Brasil, São Paulo.

WANG, R.C., FONTAN, F., XU, S J., CHEN, X.M., MONCHOUX, P. 1997. the association of columbite, tantalite and tapiolite in the Suzhou Granite, China. The Canadian Mineralogist, 35: 699-706.

_____; ZHAO, G.T., LU, J.J., CHEN, X.M., XU, S.J., WANG, D.Z. 2000. Chemistry of Hf-rich zircons from the Laoshan I- and A-type granites, Eastern China. Mineralogical Magazine, Wang et al 2000 (5): 867-877.

_____; FONTAN, F., XU, S.J., CHEN, X.M., MONCHOUX, P. 1996. Hafnian zircon from the apical part of the Suzhou Granite, China. The Canadian Mineralogist, 34: 1001-1010.

WHALEN, J.B., CURRIE, K.L., CHAPPELL, B.W. 1987. A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. *Contrib. Mineral. Petrol*, **95**: 407-419.

WILLIAMS, H., TURNER, F.J. & GILBERT, C.M. 1970. Petrografia. Editora Polígono, São Paulo, SP.

ANEXO A

Ao todo, analisaram-se seis seções polidas no MEV-EDS, enumeradas abaixo com a quantidade, o mineral, gênese e ponto de ocorrência:

1. Quatro grãos de columbita-tantalita do granito (ponto RG-06-12D);
2. Dez grãos de cassiterita do granito (ponto RG-06-12B);
3. Três grãos de cassiterita do pegmatito (ponto RG-06-02);
4. Dez grãos de zircão do granito (cinco do ponto RG-06-07 e cinco do ponto RG-06-04);
5. Cinco grãos de zircão do pegmatito (ponto RG-06-02 e 5E);
6. Seis grãos de zircão do pegmatito (ponto RG-06-05A).