

MINERALOGIA MAGNÉTICA E ASM DAS FÁCIES RAPAKIVI GRANITO E ALBITA GRANITO DO PLUTON MADEIRA, PROVINCIA MINERAL DE PITINGA, AM-BRASIL

Astrid Siachoque Velandia^{1*}, Carlos Alejandro Salazar¹

¹ Programa de Pós-Graduação em Geociências Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Brasil.

* astridsial116@hotmail.com

ABSTRACT

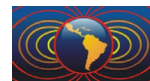
The Madeira granite body is elongated in a NE-SW direction. The granite is classified as an A-type and contains four facies: i) Rapakivi granite (RG), ii) Biotite granite (BG), iii) Hypersolvus granite (HG) and iv) Albite granite (AG). The latter facies (AG) hosts a world-class Sn, Nb, Ta, F (Y, REE, Li) deposit and is subdivided in two subfacies, the core Albite granite (CAG) and the border Albite granite (BAG). Magnetic susceptibility data shows high values of susceptibility in the RG facies related with crystals of magnetite-ilmenite into hornblende and biotite grains that are associated to early magmatic events. In the CAG the magnetic mineral markers are crystals of magnetite, pyrrhotite and goethite related with late magmatic events. The BAG have low magnetic susceptibilities, suggesting that the susceptibility fabrics were influenced by hydrothermal process carried by paramagnetic minerals like hematite, associated with fluorite and chlorite. The measured AMS subvertical foliations coincide with observed high angles (down dip) lineations. This fabric was interpreted as S_0 magmatic foliation resulting from primary deformation stages linked with mechanism of emplacement in the upper crust by nested pluton process. During this process, the older facies (RG) have fabric S_{0A} in a NW-SE direction. In the latter facies (AG), the fabric S_0 is NE-SW with plunges into S (S_{0B}) to N (S_{0C}) trends. The AMS fabrics in the Madeira granite would have been dominated by a NW-SE-non-coaxial shortening regional strain, which remained active during the crystallization of different magmatic pulses.

Keywords: Magnetic mineralogy, S_0 primary foliation, Pluton emplacement processes

RESUMO

O granito Madeira é um plúton alongado NE-SW classificado como do tipo A constituído por quatro fácies: i) Rapakivi granito (RG), ii) Biotita granito (BG), iii) granito Hipersolvus (GH) e, iv) Albita granito (AG). Esta última fácies hospeda um depósito classe mundial de Sn, Nb, Ta, F (Y, ETR, Li), subdivida em duas subfácies: Albita granito de núcleo (AGN) e, Albita granito de borda (AGB). A susceptibilidade magnética para a fácies RG tem valores altos relacionados com a ocorrência de magnetita-ilmenita de origem magmática inclusos em hornblenda e biotita. Na subfácies AGN os minerais marcadores magnéticos são cristais de magnetita, pirrotita e goethita relacionados a processos tardi-magmáticos. Na subfácies AGB a susceptibilidade magnética baixa se relaciona com a presença de óxidos de Fe-Ti paramagnéticos como hematita, associada a fluorita e clorita, cuja origem é atribuída a processos de alteração hidrotermal. As tramas magnéticas são caracterizadas por planos de foliação subverticais contendo lineações de alto ângulo (*down dip*), interpretada como foliação S_0 magmática, resultante de estágios de deformação primária relacionada a mecanismos de alojamento na crosta superior mediante *nested plútons*, onde a fácies RG, mais precoce, registra trama S_{0A} orientada NW-SE, e na fácies AG, mais tardia, a trama primária se orienta NE-SW com mergulhos ora para o sul (S_{0B}) ora para o norte (S_{0C}). O registro da trama magnética neste granito teria sido controlado por um vetor regional de encurtamento não coaxial orientado NW-SE que se manteve ativo durante a cristalização dos diferentes pulsos magmáticos.

Palavras Chave: Mineralogia magnética, Foliação primária S_0 , Mecanismos de alojamento plutônico.



Resultados.

A porção SE do Domínio lito-tectônico Uatumã-Anauá, localizado ao NE do Estado do Amazonas, Cráton Amazônico, Brasil, registra a ocorrência de granitos tipo A classificados a partir de dados petrogenéticos, de idade entre 1.88-1.86 Ga (Suíte Mapuera) e de 1.82 Ga (Suíte Madeira). A origem e contexto tectônico de formação destas rochas tem sido alvo de vários estudos com enfoque principalmente geoquímico, geocronológico e metalogenético (Almeida, 2006; Costi *et al.* 2000a; Bastos Neto *et al.*, 2014; Santos *et al.* 2000; Valério *et al.*, 2006, 2009, 2012). No entanto, falta compreender as características da deformação interna dessas rochas e como esta se relaciona ao contexto geodinâmico em que esse plutonismo foi alojado na crosta. Com o intuito de entender os mecanismos de posicionamento dos plútons de interesse esta pesquisa teve como objetivo geral determinar os mecanismos de alojamento da fácies mais tardia, Albita granito, em relação com às fácies mais precoces, fácies Rapakivi, do granito Madeira. Inclui determinar os mecanismos de deformação apoiados na análise de anisotropia de susceptibilidade magnética.

Os métodos aplicados consistiram em: coleta de amostras orientadas em 40 afloramentos segundo levantamento de perfis estruturais, cada cilindro foi cortado em espécimes com 2,2cm de comprimento. Cada amostra foi colocada no susceptibilímetro *Kappabridge* modelo MFK1-FA (AGICO, Ltda) para medir o valor da susceptibilidade magnética a partir de três posições perpendiculares. Um software especial combina as medidas da susceptibilidade magnética representada pelos três eixos principais (k_1 : lineação magnética, k_2 : eixo intermediário e, k_3 : polo da foliação magnética) do elipsoide magnético (trama ASM). O mesmo software fornece os parâmetros escalares (grau de anisotropia: P_j e, forma: T). Para identificar a mineralogia magnética, foi usado além de análise petrográficas, análise texturais de óxidos de Fe-Ti no microscópio eletrônico de varredura (MEV) em amostras selecionadas considerando a variação susceptibilidade magnética. Estudos de curvas termomagnéticas para medir a variação da susceptibilidade com a temperatura ($k-T$ °C) a partir de um ciclo de aquecimento que vai desde -190°C até 700°C e, um ciclo de resfriamento desde 700° C até temperatura ambiente. Assim como, estudo de curvas que relacionam a medida da magnetização remanente (curvas de MRI) quando a amostra é submetida a campos magnéticos variáveis a partir de 0 e até 2000 mT, em temperatura ambiente.

Na fácies Rapakivi granito, a susceptibilidade magnética (k) varia entre 0.10 mSI e 24.3 mSI, com média (km) de 5.56 mSI. O Albita granito de núcleo apresenta valores de k entre 0.14 mSI e 15.7 mSI e valor central km de 2.4 mSI. No Albita granito de borda a km é de 0.51 mSI com valores entre 0.25 mSI e 6.91 mSI. Foram selecionadas amostras com valores de k representativos da susceptibilidade magnética encontrada em cada unidade geológica para análise de termomagnetismo e magnetização remanente. Os resultados quando comparados com curvas características de óxidos de ferro indicaram correspondência entre valores altos de k (principalmente da fácies Rapakivi granito), com diagramas de IRM com crescimento rápido e estabilização em aproximadamente 100 mT para um *plateau* de saturação magnética típico de rochas que contem óxidos com baixa coercividade como a magnetita, e com diagramas termomagnéticos caracterizados por ter ciclo de aquecimento com clara transição de Verwey em -160° C e temperatura de Curie-Weiss (T_c) em 580° C, assim como ciclo de resfriamento reversível. Este comportamento magnético é característico da magnetita (Fig. 1A). Esta magnetita ocorre como cristais hipidiomórficos de tamanho fino a médio (360 μ m), inclusos em hornblenda e biotita principalmente. Amostras com valores de susceptibilidade magnética entre 2 e 6 mSI (frequentes na subfácies de núcleo do Albita granito) possuem características magnéticas da presença de magnetita que ocorre na rocha como cristais finos isolados em matriz feldspática, assim como, cristais de hábito acicular dispostos em planos de clivagem de micas como annita e polilitionita. Os resultados de IRM nestas amostras refletem a presença de óxidos de ferro com maior coercividade já que não atinge total saturação magnética. Nas curvas termomagnéticas o comportamento é variável mostrando efeito Hopkinson dividido em dois segmentos. Interpretado como provável presença de goetita e de pirrotita idiomórfica

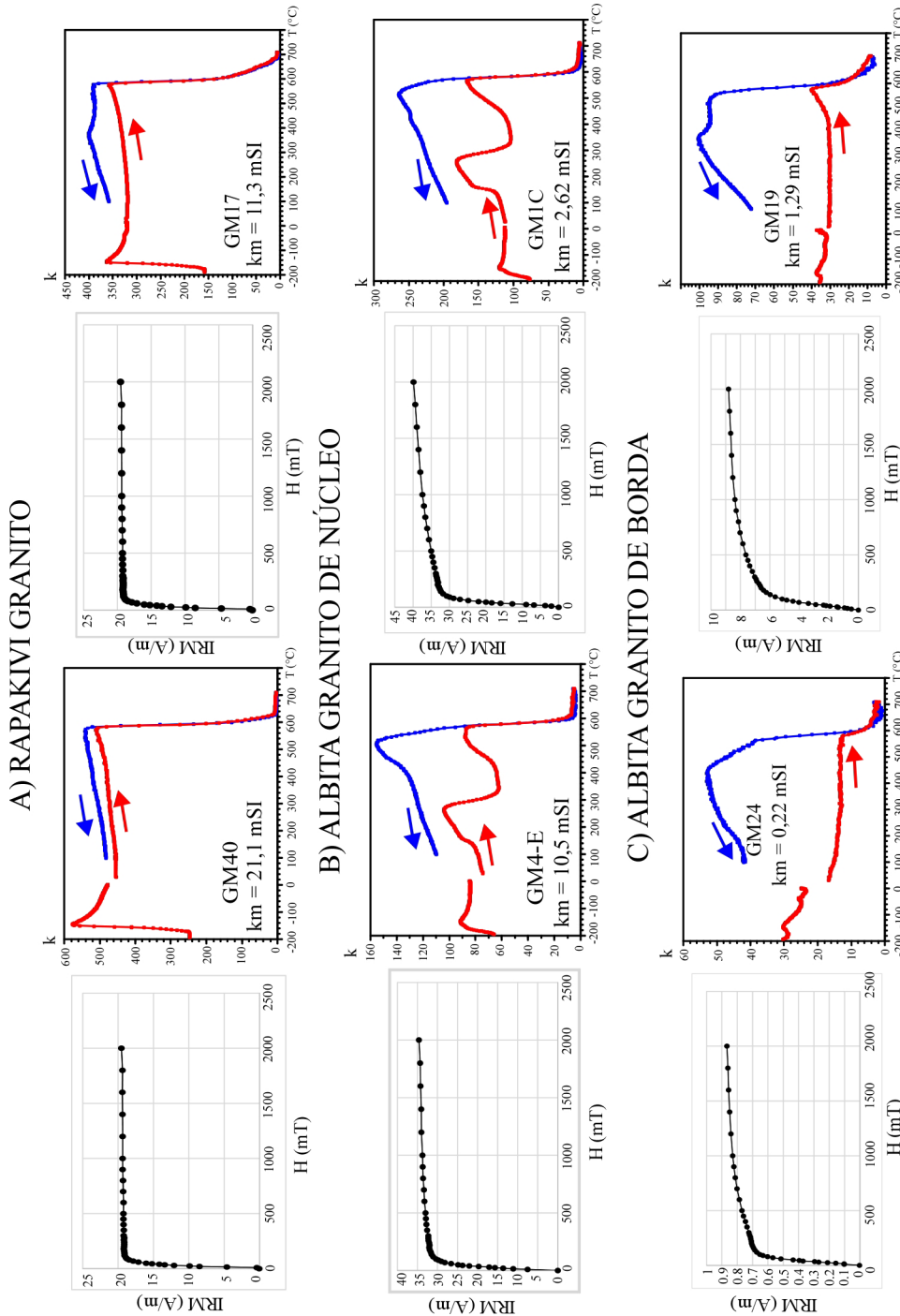


Figura 1. Curvas de IRM e termomagnéticas da fácies Rapakivi e subfácies de núcleo e bordo do Albita granito.

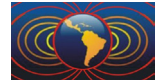
disseminada na matriz feldspática, que se associam a processos tardi-magmáticos no Albita granito (Figura 1B). Os menores valores de susceptibilidade magnética ($k < 0.3$ mSI), predominam na subfácies de borda do Albita granito. Nas amostras analisadas as curvas de IRM mostram *loop* com início exponencial, em 200 mT queda da inclinação, mas insaturáveis até 2000 mT. Nas curvas termomagnéticas a transição de Verwey embora presente é pouco expressiva, se observa a transição de Morin em -11 °C. Este comportamento indica a presença de frações paramagnéticas e ferrimagnéticas (cristais finos de hematita-magnetita) nestas rochas (Fig. 1C). Os óxidos de Fe-Ti observados nestas amostras são característicos de alteração de silicatos máficos, associados a ocorrência de fluorita e clorita.



Microestruturas em regime dúctil observadas nestas rochas mostram que esta deformação se manifesta em intervalos de temperaturas intermediários a altos em cristais de K-feldspato e albita, os quais exibem migração de borda, extinção ondulante e geminação mecânica, assim como, em fenocristais de quartzo com extinção ondulante em textura xadrez, deslizamento cristaloplástico (segundo o eixo $\langle a \rangle$) e, rotação de subgrãos. Localmente esta deformação é sobre imposta por deformação cataclástica a qual deforma fenocristais de quartzo por recristalização dinâmica, redução de tamanho de grão e, microfraturas intragranulares. A trama magnética registrada está intimamente vinculada com essa deformação dúctil primária e com a formação de uma foliação magmática S_0 observada em escala de afloramento principalmente no Albita granito de núcleo. Os resultados de ASM mostram um elipsoide com anisotropia magnética (P_j) variável e forma (T) plano linear (Tabela 1). Elipsoides com baixa anisotropia ocorrem para os limites da fácies Rapakivi granito e subfácies Albita granito de borda. Na subfácies de núcleo predominam elipsoides com anisotropia entre 1.02 e 1.04, e $P_j (\geq 1.04)$ para o norte. Os parâmetros direcionais da trama magnética mostram foliação magnética com atitude principal SW-NE (predominante nas subfácies do Albita granito) com mergulho variável entre 50-89° ora para N, ora para o S, com lineação magnética *down dip* disposta para os intervalos de 270°-300° e 80°-115°. Uma foliação magnética subordinada NW-SE, mais frequente na fácies Rapakivi granito também

UNID	SITIO	UTM		n	Pj	T	k ₁			k ₃			Fol Mag	
		X	Y				Dec	Incl	$\alpha 1$	Dec	Incl	$\alpha 3$	Dec	Incl
AGN	GMIC	822274	9916548	10	1,037	0,511	278	58	27,3	91	32	11,5	181	58
	GM2	822278	9916543	22	1,032	-0,16	244	70	29,9	132	8	28,9	222	82
	GM3	821920	9917110	16	1,032	0,08	218	69	25,5	333	9	28,5	68	81
	GM4-E	822070	9917196	7	1,046	-0,037	199	77	22,4	26	12	31,7	116	78
	GM5	822130	9917132	16	1,055	-0,038	185	50	26,1	323	32	27,8	53	58
AGB	GM4-A	822070	9917196	9	1,067	-0,573	351	82	13,7	220	5	29,8	310	85
	GM6	822098	9917220	23	1,043	0,166	9	86	25,2	108	1	21,7	198	89
	GM7	821933	9917180	18	1,029	-0,246	276	88	13,5	117	2	27,4	207	88
	GM8	822214	9917030	20	1,032	-0,117	95	83	10,7	343	3	29,5	73	87
	GM9	821393	9916363	14	1,047	-0,085	79	84	7,6	318	3	29,8	48	87
	GM10	821510	9916300	16	1,025	-0,116	35	84	4,6	296	1	30	26	89
	GM19	821037	9915938	19	1,04	0,324	96	69	17,4	331	12	14,4	61	78
	GM20	820692	9916048	13	1,019	0,298	272	70	28,5	69	19	28,1	159	71
	GM22	820922	9915706	10	1,022	0,106	102	72	20,8	354	6	24,9	84	84
	GM24	821084	9916467	19	1,02	0,635	297	76	24,8	165	9	25,7	255	81
	GM25	821270	9916556	20	1,031	0,003	47	85	11,1	161	2	28	261	88
	GM28	821139	9916824	14	1,025	0,419	87	85	28,7	343	1	14,1	73	89
	GM29	822458	9916374	20	1,035	0,112	70	64	23,6	240	26	23,4	330	64
RG	GM11	821630	9916575	16	1,024	-0,032	267	81	19,9	147	5	30,3	237	85
	GM12	822647	9916659	25	1,029	0,23	55	63	29,5	164	10	19,6	254	80
	GM13	822880	9916424	25	1,019	0,187	255	71	23,9	354	3	19,4	84	87
	GM14	822827	9916251	22	1,02	0,184	229	63	26,8	359	18	29,8	89	72
	GM15	821207	9916092	20	1,021	-0,098	167	82	10	360	8,3	13,9	90	82
	GM16	822712	9915276	6	1,029	-0,312	7	9	28,4	106	45	28,5	196	45
	GM17	822686	9915975	20	1,027	-0,129	100	39	16,7	328	40	26,1	58	50
	GM21	820863	9916098	11	1,023	0,541	300	67	29,4	36	2	25,5	126	88
	GM23	822851	9915493	10	1,03	0,159	54	80	28,2	173	5	26	263	85
	GM26	820373	9915935	14	1,035	0,068	117	71	22,6	232	8	16,8	332	82
	GM27	820466	9917038	12	1,04	-0,127	33	50	16,8	125	2	25,5	215	88
	GM30	821522	9916886	10	1,017	-0,357	178	85	11,2	57	2	28,4	147	88
	GM31	833949	9927943	17	1,028	0,568	47	11	29,2	141	20	20,2	231	70
	GM32	837950	9917427	18	1,021	-0,057	299	79	8,4	169	8	28,7	259	82
	GM39	828305	9919060	15	1,047	-0,143	300	33	12	76	47	13	166	42
	GM40	827421	9918778	7	1,021	0,308	91	16	31,8	339	53	15,5	69	37
	GM41	821425	9913081	14	1,029	-0,117	132	4	16,6	229	62	21	319	38
	GM42	823379	9914265	12	1,024	0,077	98	50	28,3	263	39	25	353	61
	GM43	821259	9915063	12	1,027	0,373	192	75	14,3	102	1	29,7	192	89
	GM44	822437	9916512	16	1,028	0,343	87	79	26	356	1	22	84	89
GM45	821303	9916357	19	1,015	-0,137	209	80	12,8	308	1	27,6	38	89	

Tabela 1. Resultados analíticos de ASM para as rochas do plúton Madeira.



apresenta lineação de alto ângulo mais dispersa (Fig. 2).

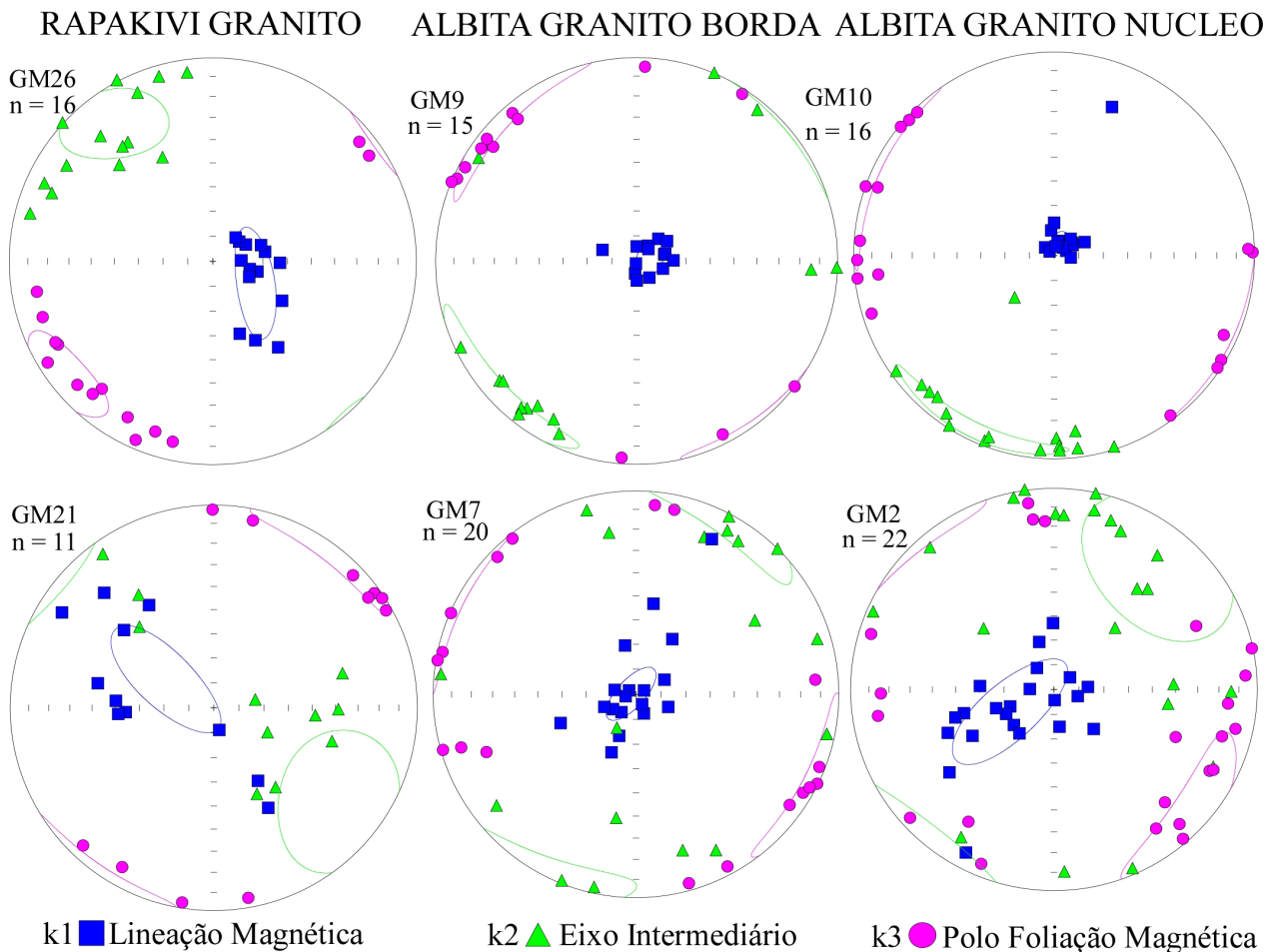


Figura 2. Anisotropia de susceptibilidade magnética (ASM) da fácies Rapakivi e subfácies de núcleo e bordo do Albita granito.

O registro da foliação primária S_0 se interpreta como relacionado a processos de cristalização durante a colocação plutônica de pulsos magmáticos. Assim a cristalização de magnetita-ilmenita na fácies Rapakivi granito representaria o estágio mais precoce do alojamento plutônico, as paragêneses minerais magnetita-hematita e de magnetita-fluorita-clorita-sulfetos, os estágios mais avançados de acomodação e residuais de cristalização magmática, respetivamente. Entende-se que as tramas magnéticas nestas rochas, resultaram de transporte de massa condicionado por um vetor de encurtamento orientado NW-SE, que gerou foliação S_0 orientada SW-NE com alto ângulo de inclinação. Seguidamente, uma deformação dúctil-rúptil caracterizada pela ocorrência de veios hidrotermais e falhas normais formados na orientação do vetor de encurtamento, assim como, diques pegmatíticos e zonas de cisalhamento paralelas à componente extensional do campo de esforços, sugere que o posicionamento destas rochas esteve controlado por um campo de deformação regional que se manteve na mesma posição durante a evolução da deformação e completa cristalização deste granito.

Agradecimentos

À FAPEAM pelo financiamento do projeto, processo número 1036-2011.

À Mineração Taboca, pelo apoio logístico para a realização dos trabalhos de campo e amostragem.

Ao programa de Pós-graduação em Geociências da Universidade Federal do Amazonas (UFAM)



À CAPES pela bolsa de Mestrado.

Referências

- Costi H. T., Dall'agnol R., Moura, C. A. V., 2000a. Geology and Pb-Pb Geochronology of Paleoproterozoic Volcanic and Granitic rocks of Pitinga Province, Amazonian Craton, Northern Brazil. *International Geology Reviews*, 42, 832-849.
- Bastos Neto, A. C., Ferron, J. M. T M., Chauvet, A., Chemale J R, F., Lima, E. F., Barbansone, L., Costa, C. F. M., 2014. U–Pb dating of the Madeira Suite and structural control of the albite-enriched granite at Pitinga (Amazonia, Brazil): Evolution of the A-type magmatism and implications for the genesis of the Madeira Sn–Ta–Nb (REE, cryolite) world-class deposit. *Journal of South American Earth Sciences*, 243, 182-196.
- Marcelo Almeida, 2006. Evolução geológica da porção centro-sul do Escudo das Guianas com base no estudo geoquímico, geocronológico e isotópico dos granitoides paleoproterozóicos do sudeste de Roraima, Brasil. Tese de Doutorado, UFPA, Brasil, Belém, 241 pp.
- Santos, J. O. S, Hartman, L. A., Gaudette, H. E., Groves, D. I., Mcnaughton, N. J., Fletcher, I. R., 2000. A new understanding of the Provinces of the Amazon Craton based on integration of Field mapping and U-P band Sm-Nd geochronology. *Gondwana Research*, 3, 453-488.
- Valério, C. S., Souza, V. S., Macambira, M. J. B., Galarza, M. A., 2006. Geoquímica e geocronologia Pb-Pb da Suíte Intrusiva Água Branca, Município de Presidente Figueiredo (AM): evidência de colisão no Paleoproterozóico da Amazônia Ocidental. *Rev. Bras. Geociências*, 36 (2), 359-370.
- Valério, C. S., Souza, V. S., Macambira, M. J. B., 2009. 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*, 28, 304-320.
- Valério, C. S., Macambira, M. J. B., Souza, V. S., 2012. Field and petrographic data of 1.90 to 1.88 Ga I- and A-type granitoids from the central region of the Amazonian Craton, NE Amazonas State, Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, 42 (4), 690-712.