



O USO DA AEROGEOFÍSICA NA DELIMITAÇÃO FACIOLÓGICA PETROGRÁFICA DO BATÓLITO GRANÍTICO ABONARI, NORDESTE DO ESTADO DO AMAZONAS, BRASIL.

Julio Cesar Lombello¹, Valmir da Silva Souza², Ivaldo Rodrigues da Trindade³, Antonio Charles da Silva Oliveira¹, Miquéas Barroso da Silva¹, Desaix Paulo Balieiro Silva¹, Marcelo Esteves Almeida¹, Ulisses Antônio Pinheiro Costa¹, Marceley Pereira Neves¹.

1 - CPRM - Serviço Geológico do Brasil; 2 - Unb - Universidade de Brasília; 3 - UFAM - Universidade Federal do Amazonas

Copyright 2011, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 12th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, August 15-18, 2011.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 12th International Congress of the Brazilian Geophysical Society and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

Abstract

The Abonari granitic batholith is placed in the northeast part of Amazonas State, belonging to the Mapuera suite, Guianas Shield, Amazon Craton. Through the integration of geological and geophysical data it was possible not only define the batholith itself and the surrounding rocks, but the inner litho-geophysical heterogeneities, where the gamaspectrometric domains 1, 2 and 3, are the geophysical responses of the microgranitic, sieno-monzogranitic and alkali-feldspar granitic petrographic facies, respectively. These results indicate the use of gamaspectrometry as a valuable tool to facilitate the mapping and determination of petrographic faciology of granitic bodies.

Introdução

A região nordeste do cráton Amazonas hospeda volumoso registro de magmatismo paleoproterozóico de natureza plutônica e vulcânica ocorridos entre 1,90 e 1,79 Ga. Neste contexto o batólito granítico Abonari está localizado na região nordeste do estado do Amazonas, inserido na folha Igarapé Santo Antônio do Abonari (S.A-20-X-D-III). Os dados aerogeofísicos de alta densidade foram extraídos do Projeto Aerogeofísico Pitinga (Figura 01). Estes dados associados aos dados de campo e à caracterização faciológica petrográfica, possibilitaram identificar e cartografar três fácies, denominadas em: microgranítica, sieno a monzogranítica e alcali-feldspato granítica.



Figura 1 – Localização do Projeto Aerogeofísico Pitinga, em vermelho e localização da área de abrangência do Batólito Granítico Abonari.

Contexto Geológico Regional

O batólito granítico Abonari está localizado no extremo sul do Escudo das Guianas, Cráton Amazonas (Almeida *et al.* 1981). Este está inserido no domínio da Província Ventuari-Tapajós (1.95-1.8 Ga, Tassinari & Macambira 1999 e 2004) ou Tapajós-Parima (2.1-1.87 Ga, Santos *et al.* 2000). O batólito granítico Abonari está associado à suíte intrusiva Mapuera e intrude rochas cálcio-alcálicas paleoproterozóicas representadas pela suíte intrusiva Água Branca. Essa unidade é caracterizada como uma série granítica expandida, formada por monzogranitos, tonalitos, granodioritos a quartzo dioritos. Geoquimicamente apresenta padrões de uma série cálcio-alcálica do tipo I normal ou pouco fracionada, metaluminosa a fracamente peraluminosa de alto-K. Dados geocronológicos estabelecem idade de cristalização dessas rochas entre 1.898 e 1.890 Ma (CPRM 2000, Faria *et al.* 2000, Almeida *et al.* 2002, Almeida 2006, Reis *et al.* 2006, Valério *et al.* 2006). O termo suíte intrusiva Mapuera foi aplicado por Veiga Jr. *et al.* (1979) para designar dezenas de *stocks* e batólitos graníticos intrusivos nas rochas vulcânicas do grupo Iricoumé e nas rochas cálcio-alcálicas da suíte intrusiva Água Branca. É representada por álcali-feldspato granitos, sienogranitos a monzogranitos com quartzo sienitos, monzonitos e granófiros subordinados. Apresentam cor rósea a acinzentada, equigranulares a inequigranulares, de granulação média a grossa, e hospedam enclaves máficos e xenólitos das encaixantes. Apresentam composição meta a peraluminosa, subalcálica de alto K, com características de granitos do tipo A (Araújo Neto & Moreira 1976, Costi *et al.* 1984, Valério 2006). Dados geocronológicos revelam idade para esse plutonismo entre 1888 a 1871 Ma (Valério 2006, Santos *et al.* 2001b, Reis *et al.* 2006).

Características do Aerolevanteamento e metodologia

Os dados aerogeofísicos utilizados foram cedidos pela Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais (CPRM) – Serviço Geológico do Brasil, relativos ao Projeto Aerogeofísico Pitinga, levantamento efetuado pela LASA – Levantamentos Aerofotogramétricos S.A. O aerolevanteamento foi realizado com medidas gamaespectrométricas e magnetométricas ao longo de linhas de voo na direção norte-sul, espaçadas em 500 metros e altura de voo de 100 metros, caracterizando um levantamento de alta-densidade, com resolução compatível com escala de mapeamento de até 1:50.000. As etapas de pré-processamento dos dados aerogeofísicos foram realizadas pela empresa executora do levantamento. Já o processamento e seus produtos são descritos a seguir:

Dados Gamaespectrométricos (Figura 02): O processamento dos dados gamaespectrométricos permitiu delimitar e diferenciar as unidades geológicas no mapeamento, além de caracterizar fácies litogeofísicas no Batólito granítico Abonari. Inicialmente foram gerados *grids* com tamanho de célula de 125 m, pelo método de mínima-curvatura, dos canais contagem total, potássio, tório e urânio; Esses *grids* foram micronivelados pelo método proposto por Blum (1999), e a partir desses produtos foram gerados mapas de razões normalizadas de K/eTh e eU/eTh e de combinações ternárias utilizando os padrões RGB e CMY, por fim essas imagens foram fundidas a um modelo digital de terreno. A interpretação desses produtos foi realizada segundo a metodologia proposta por Silva *et al.* (2003), segundo a qual é feita uma classificação qualitativa das imagens gamaespectrométricas, e a integração dessas classes gera o mapa litogeofísico para a área.

Dados Magnetométricos (Figura 03): O processamento dos dados magnetométricos teve como objetivo uma melhor visualização de anomalias e realçar mudanças bruscas de propriedades físicas, o que em termos geológicos representou o mapeamento das unidades geológicas, em especial os corpos de composição máfica e bordas de intrusões graníticas, além da grande contribuição para estruturação geotectônica. Nesse processamento foram gerados novos produtos a partir dos gradientes horizontais e vertical, do campo magnético anômalo (MagIGRF), esse por sua vez foi obtido pelo método de *gridagem* bidirecional com tamanho de célula de 125 m, esses produtos são:

- Imagens de derivada direcional (1Dx, 1Dy e 1Dz), estas realçam as altas frequências fornecendo informações sobre contatos, descontinuidades e lineamentos;
- Imagem amplitude de sinal analítico (ASA), que apresenta a assinatura centralizada das fontes magnéticas e realça as bordas de corpos geológicos (Blum, 1999), este produto é resultado da derivada dos três gradientes ortogonais, representado pela seguinte expressão:

$$ASA = \sqrt{\frac{\partial x^2}{\partial x} + \frac{\partial y^2}{\partial x} + \frac{\partial z^2}{\partial x}};$$

- E imagem composta ternária RGB (ASA, 1Dy e 1Dz), que permite análises conjuntas de domínios e lineamentos magnéticos (De Sordi *et al.*, 2006).

Por fim, a interpretação desses produtos foi realizada a exemplo dos dados gamaespectrométricos, segundo a metodologia proposta por Silva *et al.*, (2003), gerando um mapa de magneto-fácies.

Resultados

Os diversos produtos geofísicos (gamaespectrometria e magnetometria) foram analisados individualmente e integrados, gerando um mapa litogeofísico, que por sua vez é integrado aos dados geológicos, petrográficos e estruturais. Dessa análise multifontes obtém-se a caracterização geológica-geofísica das unidades aflorantes (e subaflorantes) na área de pesquisa. Com

relação ao batólito granítico Abonari, as análises petrográficas revelaram que esse corpo internamente tem três fácies petrográficas, já a análise geofísica caracterizou três domínios gamaespectrométricos; o reconhecimento das assinaturas geofísicas das fácies petrográficas permitiu espacializar às informações geológicas pontuais, segundo a malha regular da aerogeofísica, com ganhos significativos de custo, tempo e acuracidade.

Suíte Intrusiva Mapuera

Os granitóides Mapuera são caracterizados por concentrações gamaespectrométricas elevadas, com concentrações médias de 25,29 ppm de eTh, 3,06 ppm de eU, e 0,58 % de K (Figura 04), as quais são representadas nas imagens individuais gamaespectrométricas pelas cores laranja-vermelho e magenta (Figura 02). Magneticamente os granitóides Mapuera apresentam-se nas imagens de derivada direcional com texturas lilás, e na imagem de amplitude de sinal analítico suas bordas são destacadas, e internamente apresentam baixos valores magnéticos (Figura 03). Quanto a gamaespectrometria, as imagens individuais para cada canal mostram esses granitóides sem grande contraste entre si, no entanto os produtos da razão entre canais, em especial eU/eTh, E as composições ternárias RGB e CMY revelam diferenciações tanto entre esses corpos, quanto internamente como é o caso do batólito granítico Abonari (Figura 02).

Batólito Granítico Abonari

O batólito Abonari não apresenta magnetismo significativo, o que é comprovado pelas imagens ASA e de derivadas direcionais, cuja contribuição para o mapeamento dessa unidade, é dada por destacarem a borda do corpo. Também caracterizam na borda norte do corpo uma intensa estruturação NW, associada espacialmente a diques máficos (Figura 03). Por outro lado, os dados gamaespectrométricos apresentam esse batólito com grande contraste interno, o que é realçado nas imagens de razão eU/eTh, através da qual é possível identificar os vetores alteração/fracionamento, do batólito segundo suas fácies, contudo nas imagens de composição ternária RGB e CMY a observação de fácies internas nesse batólito é muito clara; diante dessas evidências, foram individualizados no batólito três fácies gamaespectrométricas caracterizadas a seguir (Figura 04):

Fácies Gamaespectrométrica 1 (F1)

Esta fácies esta localizada na borda norte do batólito, sendo caracterizada por um empobrecimento dos elementos gamaespectrométricos, relativo às outras fácies do corpo, com concentrações em média de 13,00 ppm de eTh, 2,70 ppm de eU, e 0,52 % de K; a correlação entre os elementos eTh e eU mostra que esta fácies tem significativo enriquecimento em urânio, o que é confirmado pela observação da imagem RGB (K, Th e U), onde esta apresenta-se em tons azuis-lilás (Figura 02).

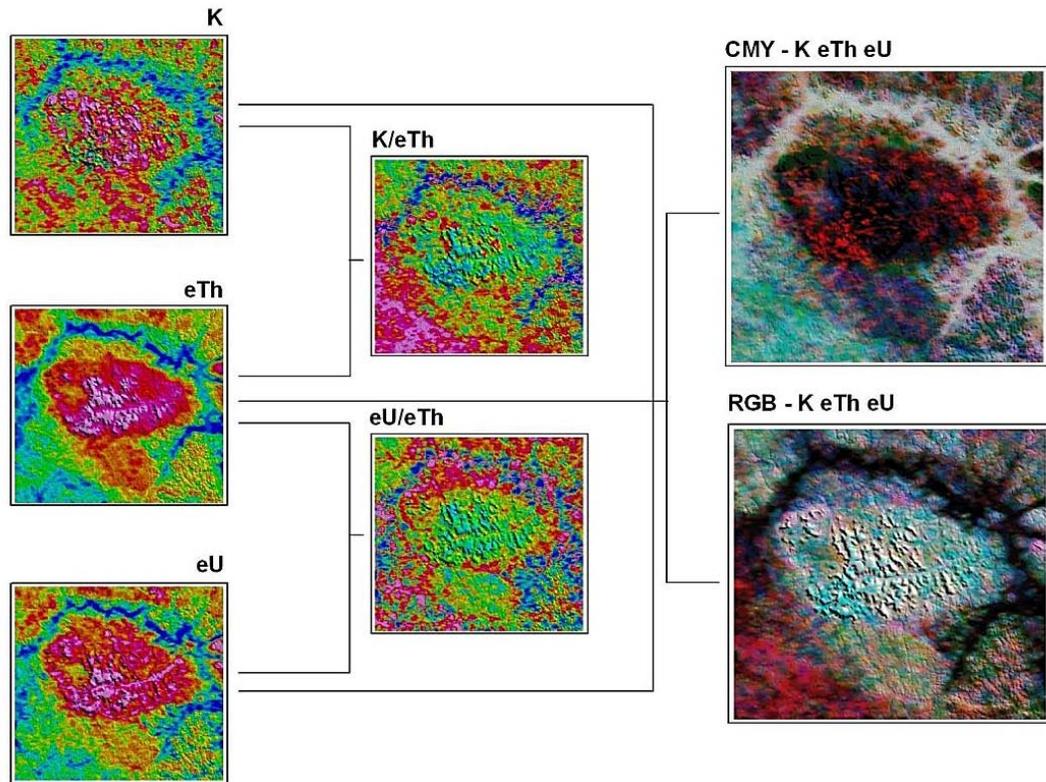


Figura 02 – Organograma Gamaespectométrico, mostrando os diversos produtos geofísicos gerados para a individualização das fácies petrográficas do batólito granítico Abonari. Nas imagens com *degradê* colorido as maiores concentrações são representadas pela cor magenta, e conseqüentemente as menores concentrações são representadas pela cor azul.

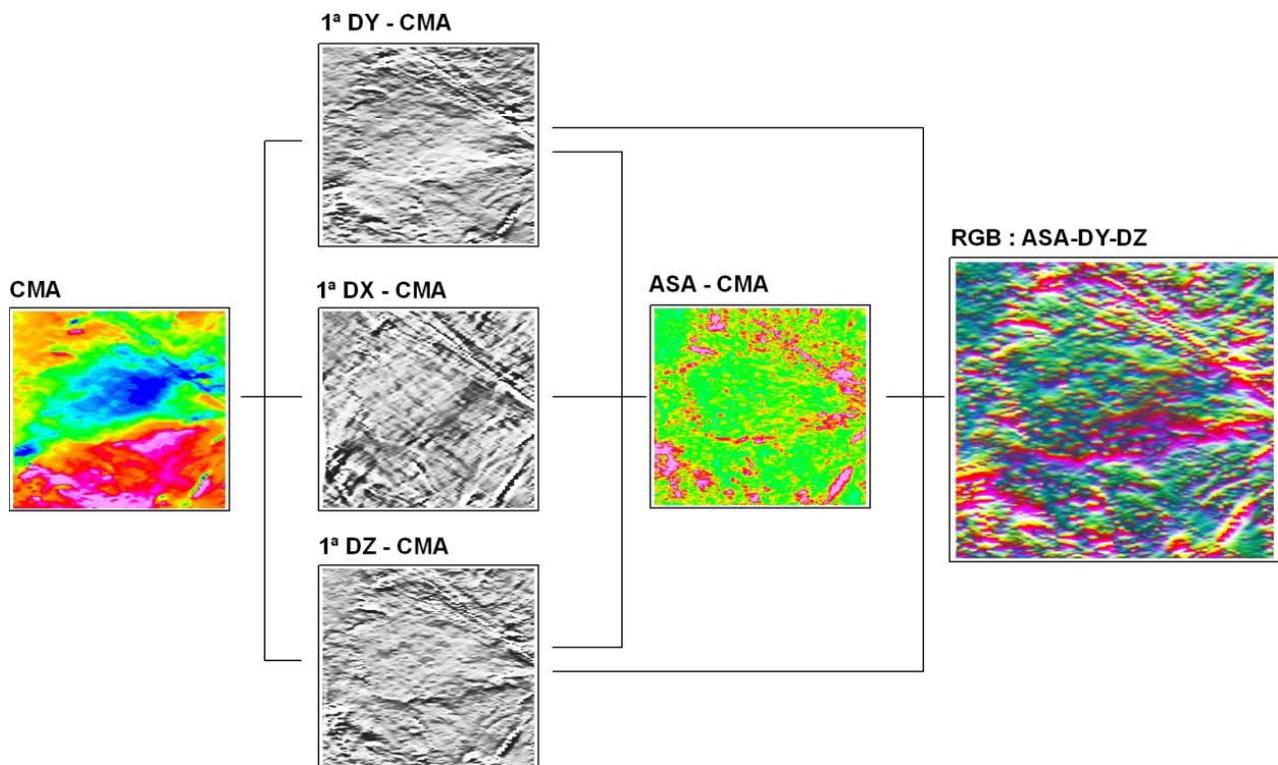


Figura 03 – Organograma Magnetométrico, mostrando os diversos produtos geofísicos gerados para individualização das fácies petrográficas do batólito granítico Abonari. Nas imagens com *degradê* colorido, as maiores concentrações são representadas pela cor magenta, e conseqüentemente as menores concentrações são representadas pela cor azul.

Fácies Gamaespectrométrica 2 (F2)

Esta é a fácies dominante no batólito Abonari, responsável por 55% (270 km²) do que aflora do corpo, sendo de caráter gamaespectrométrico típico dos granitóides Mapuera, com médias de 25,14 ppm de eTh, 3,20 ppm de eU, e 0,59 % de K. Em mapa observa-se concentrações elevadas em todos os elementos gamaespectrométricos, com discreta depleção de K em relação aos demais elementos, o que é representado na imagem RGB por uma cor ciano (Figura 02).

Fácies Gamaespectrométrica 3 (F3)

Esta apresenta concentrações gamaespectrométricas muito elevadas, sendo encontrados os maiores valores de eTh (ppm), eU (ppm) e K. No entanto, com o uso de imagens de razão eU/eTh e K/eTh foi possível caracterizar esse domínio como sendo composto por valores entre 0 e 1, o que caracteriza uma contribuição maior de tório, em relação aos outros elementos, esse enriquecimento de eTh passou despercebido nas imagens de composição ternária RGB e CMY, que mostram essa fácies nas cores branca e preta, respectivamente, dando uma falsa impressão de homogeneidade entre os elementos.

Faciologia Petrográfica

Após o mapeamento geológico-estrutural e análises de lâminas delgadas, foi possível identificar e cartografar três fácies (Figura 5), corroborando assim com os resultados obtidos na interpretação dos dados aerogeofísicos. Tais fácies petrográficas foram separadas e denominadas em: uma fácies de borda classificada como microgranítica; uma fácies de composição predominantemente sienogranítica a monzogranítica e uma fácies predominantemente álcali-feldspato granítica. O estudo petrográfico, a disposição e localização das amostras, juntamente com os aspectos aerogeofísicos, conduziram a caracterização e a delimitação cartográfica das respectivas fácies. Das 3 fácies cartografadas, a microgranítica é a mais precoce, e a de menor abrangência, estando restrita a uma faixa estreita e alongada na direção leste-oeste, com aproximadamente 20 km de comprimento, largura máxima de 6 km, localizada no setor norte e caracterizando a borda do batólito granítico Abonari. Esta fácies é representada predominantemente por microsienogranitos a micro álcali-feldspato granitos. A fácies sienogranítica a monzogranítica tem uma área de ocorrência em campo na forma de uma grande auréola envolvendo a fácies predominantemente álcali-feldspato granítica. Estes tipos petrográficos apresentam amplo predomínio nas porções ocidental e oriental do batólito granítico Abonari. Ao microscópio essa fácies apresenta comumente uma textura fanerítica, inequigranular a equigranular grossa com termos cataclásticos a protocataclásticos subordinados. A fácies álcali-feldspato granítica domina a região central do corpo batolítico e é envolvida totalmente pela fácies sienogranítica a monzogranítica. Ao microscópio esta fácies é caracterizada predominantemente por álcali-feldspato granitos, e em geral por uma textura inequigranular a porfirítica, de granulação grossa. Zonação normal de plagioclásios, que exibem um núcleo mais cálcico, bastante alterado para epidoto e uma borda mais sódica sem alteração são frequentemente diagnosticados em todas as fácies. Também foi possível observar uma gradual escassez de minerais máficos, das extremidades para o centro do corpo batolítico.

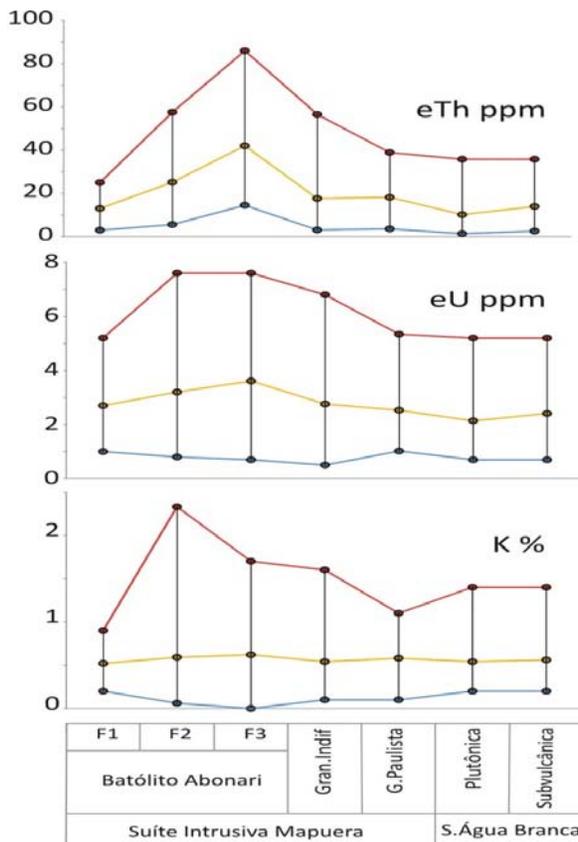


Figura 04 – Gráficos de assinaturas gamaespectrométricas das unidades geológicas que afloram na área de pesquisa. São plotadas as concentrações máxima-mínima e a média para cada elemento.

Conclusões

Através da integração entre dados geológicos e geofísicos foi possível não apenas mapear o batólito granítico Abonari, e as unidades que o cercam, como também foram individualizadas compartimentações internas petro-geofísicas desse batólito, onde os domínios gamaespectrométricos Fácies 1, Fácies 2 e Fácies 3, são as respostas geofísicas das fácies petrográficas Microgranítica, Sieno-Monzogranítica e Álcali-feldspato Granítica, respectivamente (Figura 05). O crescimento da porcentagem modal de álcali-feldspato da borda para o centro, diagnosticado no arranjo cartográfico das fácies petrográficas (Figura 05), coincide com o aumento progressivo da presença de K nos mapas gamaespectrométricos utilizados, a medida que se aproxima ao centro do batólito. Este fato induz que o principal mecanismo de segregação e diferenciação magmática que regeu no corpo granítico, foi de cristalização fracionada. Esta hipótese é reforçada pela

zonação normal dos plagioclásios, que exibem um núcleo mais cálcico, bastante alterado para epidoto e uma borda mais sódica sem alteração. Além disso, a gradual escassez de minerais máficos, das extremidades para o centro do corpo batolítico, indicam resfriamento crescente em sentido ao interior do plúton, sugerindo uma cristalização do pretérito magma, a partir da borda em direção ao núcleo. Fato corroborado pela presença de uma granulometria mais fina representada pela fácies microgranítica, exposta na borda norte do corpo. Os termos protocataclásticos a cataclásticos evidenciados por cristais de álcali-feldspato e quartzo visivelmente fraturados estão vinculados a zonas de cisalhamento rúpteis de direções preferenciais NE-SW e NW-SE.

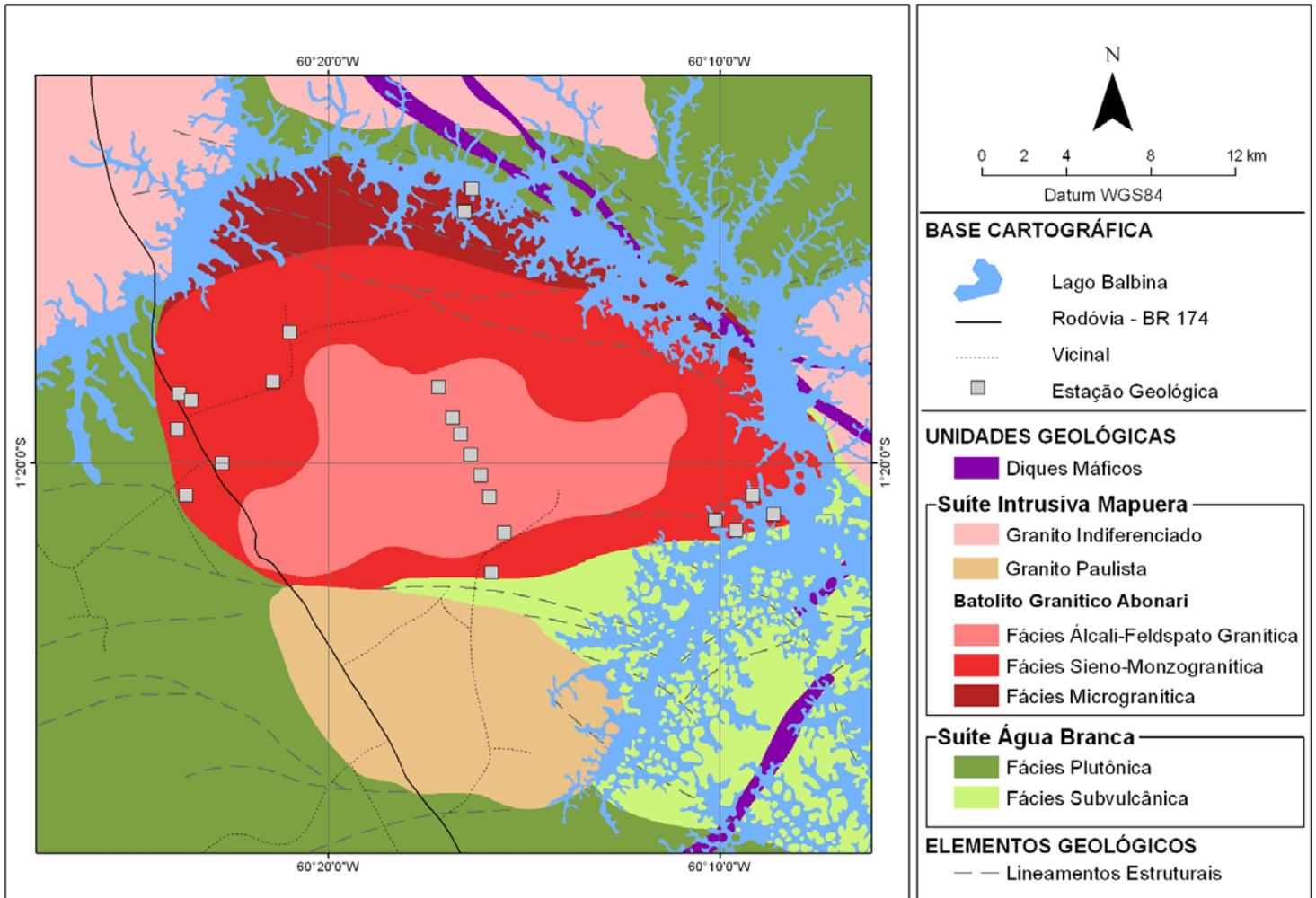


Figura 05 – Mapa geológico final resultante da integração geofísica-geológica da área em estudo, com enfoque para a facilogia petrográfica do Batólito Granítico Abonari.

Referências Bibliográficas

- Almeida F.F.M., Hasuy Y., Brito Neves B.B., Fuck R.A. 1981. *Brazilian structural provinces: an introduction*. Earth Science Reviews, 17:1-29.
- Almeida M.E. 2006. *Evolução geológica da porção centrosul do Escudo das Guianas com base no estudo geoquímico, geocronológico e isotópico dos granitóides paleoproterozóicos do sudeste de Roraima, Brasil*. Tese de Doutorado, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, 227p.
- Almeida M.E., Macambira M.J.B., Faria M.S.G. 2002. *A Granitogênese paleoproterozóica do sul de Roraima*. In: SBG, 41º Congresso Brasileiro de Geologia, Anais. p.434
- Araújo Neto H. & Moreira H.L. 1976. *Projeto Estanho de Abonari*. MME/DNPM/CPRM. Brasília, vol.1, 232p.
- Blum, M.L.B. 1999. *Processamento e Interpretação de Dados de Geofísica Aérea no Brasil Central e sua Aplicação à Geologia Regional e à Prospecção Mineral*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 229 p.
- Costi H.T., Santiago A.F., Pinheiro S.S. 1984. *Projeto Uatumã-Jatapu*. MME/CPRM, Manaus, 133p.
- CPRM 2000. *Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Caracará, Folhas NA.20-Z-B e NA.20-Z-D inteiras e parte das folhas NA.20-Z-A, NA.20-Z-C, NA.21-Y-C e NA.21-Y-A. Estado de Roraima*. Escala 1:500.000. Brasília, CD-ROM
- De Sordi, D.A.; Fuck, R.A.; Pires, A.C.B.; Dantas E.L.; Chiarini, M.F.N. *Aerogeofísica da Folha Santa Terezinha de Goiás: Contribuição Para o Mapeamento e Interpretação do Arco Magmático de Goiás, Brasil Central*. In: XLIII Congresso Brasileiro de Geologia, 2006, Aracaju. XLIII: Sociedade Brasileira de Geologia -SBG, 2006. v. 1. p. 301-301.
- Faria M.S.G., Luzardo R., Oliveira M.J.R. 2000. *Suíte Intrusiva Água Branca. Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, Folha Caracará (RR)*, 1:500.000. Manaus, CPRM-AM, 3:57-82
- Reis N.J., Almeida M.E., Riker S.L., Ferreira A.L. 2006. *Geologia e recursos minerais do Estado do Amazonas*. MME/CPRM/CIAMA, Programa de Geologia do Brasil (mapas geológicos estaduais, escala 1:1.000.000), Manaus, 125p.
- Santos J.O.S., Hartmann L.A., Gaudette H.E., Groves D.I., McNaughton N.J., Fletcher I.R. 2000. A New understand of the provinces of the Amazon Craton based on integration of field mapping and U-Pb and Sm-Nd geochronology. *Gondw. Res.*, 3(4):453-488.
- Santos J.O.S., Faria M.S.G., Hartmann L.A., McNaughton N.J., Fletcher I.R. 2001b. Oldest charnockite magmatism in the Amazon Craton: zircon U-Pb SHRIMP geochronology of the Jaburu Charnockite, southern Roraima, Brazil. In: SBG-NO, Simp. Geol. Amaz., 7, Belém, Atas, p. 4. CD- Rom.
- Silva, A.M.; Pires, A.C.B.; McCafferty, A.E.; Moraes, R.A.V.; Xia, H. 2003. Application of airborne geophysical data to mineral exploration studies in the uneven exposed terrains of the Rio das Velhas Greenstone Belt. *Revista Brasileira de Geociências*(2003),33(2-Supl.):17-28
- Tassinari C.C.G. & Macambira M.J.B. 1999. Geochronological provinces of the Amazonian Craton. *Episodes*, 22(3):174-182.
- Tassinari C.C.G. & Macambira M.J.B. 2004. A evolução tectônica do Cráton Amazônico. In: Mantesso-Neto V., Bartorelli A., Dal Ré Carneiro C., Brito-Neves B.B. (eds.) *Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo, Ed. Beca, p.471-485.
- Valério C.S. 2006. *Magmatismo Paleoproterozóico do extremo sul do Escudo das Guianas, município de Presidente Figueiredo (AM): geologia, geoquímica e geocronologia Pb-Pb em zircão*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Geociências, Universidade Federal do Amazonas, 112p.
- Valério C.S., Souza V.S., Macambira M.J.B., Galarza M.a. 2006. Geoquímica e geocronologia Pb-Pb em zircão da Suíte Intrusiva Água Branca, município de Presidente Figueiredo (AM): evidências de colisão no paleoproterozóico da Amazônia ocidental. *Revista Brasileira de Geociências*, 36(2):359-370.
- Veiga Jr. J.P., Nunes A.C.B., Souza E.C., Santos J.O.S., Amaral J.E., Pessoa M.R., Souza S.A. 1979. *Projeto Sulfetos de Uatumã*. Manaus, DNPM/CPRM, Relatório Final, v.6.