



Aplicação de técnicas de processamento digital de imagens e classificação não supervisionada em dados aerogeofísicos: o exemplo do *Greenstone Belt* Rio das Velhas, Quadrilátero Ferrífero, MG

Alexandre de Amorim Teixeira, UnB, Adalene Moreira Silva, UNICAMP, Augusto César Bittencourt Pires, UnB & Roberto Alexandre Vitória de Moraes, UnB.

Copyright 2003, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 8th International Congress of The Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, 14-18 September 2003.

Contents of this paper was reviewed by The Technical Committee of The 8th International Congress of The Brazilian Geophysical Society and does not necessarily represents 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

A group of image-processing methods and an unsupervised classification were applied to the Rio das Velhas airborne geophysical data. The products show potential application to mineral exploration, because the enhancement improved the information content of the single geophysical channels. The images have been processed with various combinations. The best product was the analytical signal amplitude and phase integrated by IHS transformation. Information extracted maps the geology and lineament patterns at regional and local scales. The K-means technique was applied to the geophysical data and resulted in 10 classes. These classes show the lithologies mapped by the field geologists at the 1:100.000.

Introdução

No que tange a integração de dados para mapeamento geológico, não existe uma técnica consensual que contemple a variedade e complexidade de diversos litotipos encontrados em terrenos pré-cambrianos brasileiros. Diversos esforços têm sido empregados na geração de novas metodologias que auxiliem a definição de domínios que correlacionem, espacialmente e espectralmente, diferentes litotipos e auxiliem o mapeamento geológico (Silva 1999).

A região do *Greenstone Belt* Rio das Velhas, Quadrilátero Ferrífero, é um excelente laboratório para este esse tipo de pesquisa, devido ao grande acervo de dados geológicos, geoquímicos e aerogeofísicos. Além disto, hospeda alguns dos mais importantes depósitos auríferos do país. O principal objetivo desse trabalho é apresentar vários produtos derivados da integração de dados aerogeofísicos (magnetometria, gamaespectrometria e eletromagnetometria no domínio da frequência), visando auxiliar a interpretação geológica na área citada. Também será apresentada uma discussão com as vantagens de cada produto integrado neste estudo de caso.

Contexto Geológico

O Quadrilátero Ferrífero (QF) situa-se na borda sul do Cráton do São Francisco e representa parte preservada de um antigo núcleo maior denominado de Cráton Paramirim (Almeida 1977).

Os litotipos aflorantes abrangem uma área de aproximadamente 7190 km² e são constituídos de terrenos granitos-gnáissicos (TTGs), *greenstone belt* Arqueano (Supergrupo Rio das Velhas), sequências supracrustais do Paleoproterozóico (Supergrupo Minas) e do Paleo-Mesoproterozóico (Supergrupo Espinhaço) (Chemale et al. 1994) (Figura 1).

Os TTGs apresentam uma forma dômica e compreendem os complexos de Caeté, Bonfim, Belo Horizonte e Santa Rita. São polideformados e os contatos com as unidades supracrustais são de natureza tectônica. Eles são constituídos por ortogneisses, migmatizados ou não, representados por granitóides, anfíbolitos e pegmatitos, gerados no Arqueano e Transamazônico (Cordani et al. 1980, Chemale et al. 1994; Alkmim & Marshak 1998).

As rochas do *Greenstone Belt* arqueano (Schorsch 1978) são agrupadas no Supergrupo Rio das Velhas (SGRV), o qual se divide nos Grupos Nova Lima e Maquiné. Ladeira (1980) propôs dividir o Grupo Nova Lima em três unidades, da base para o topo: unidade metavulcânica, unidade metassedimentar química, unidade metassedimentar clástica.

O Supergrupo Minas sobrepõe-se aos dos TTG's e SGRV, geralmente em contato tectônico. Este se divide em três grupos, da base para o topo: Caraça, Itabira e Piracicaba (Dorr 1969).

As principais feições estruturais observadas no *Greenstone Belt* Rio das Velhas são as zonas de cisalhamento São Vicente e Tapera, o Sinclinal Vargem do Lima, e a Falha do Bem-te-vi.

Dados Aerogeofísicos

Os dados aerogeofísicos utilizados nesse trabalho foram processados por Silva (1999) e, parte deles, reprocessados por Fuck (2001). O processamento destes dados envolveu a edição e posicionamento de quatro blocos para uma base de dados comum, bem com a extração de dados espúrios da base citada. Após esta etapa, os dados foram interpolados e micronivelados utilizando-se técnicas diferenciadas, ou seja, de acordo com a natureza do dado estudado. Para os dados

magnetométricos e eletromagnetométricos (resistividade aparente), o método de interpolação mais eficiente foi o bi-direcional (implementado no Oasis Montaj como *bi-grid*), com célula quadrada de 50 metros de lado. No caso dos dados gamaespectrométricos utilizou-se o método da curvatura mínima (Fuck 2001). Os dados foram micronivelados com um algoritmo desenvolvido por Fuck (2001), que aprimora o método de Minty (1991), e modificado por Blum (1999). O principal avanço do método em questão, é a possibilidade de se estabelecer diferentes parâmetros para o micronivelamento dos dados aerogeofísicos em trechos distintos de um mesmo levantamento por meio da construção de janelas (Fuck 2001).

Magnetometria

A análise do relevo referente ao campo magnético anômalo foi auxiliada por suas transformações lineares, principalmente das referentes à amplitude do sinal analítico, na demarcação da posição das fontes magnéticas. A fase do sinal analítico possui um padrão textural que auxilia a caracterização dos domínios magnéticos e a caracterização das feições lineares. A utilização das derivadas, principalmente das verticais, ajudou na compreensão das posições espaciais relativas destas fontes e as horizontais, ajudaram na demarcação em mapa.

A Figura 2 apresenta um dos mapas de soluções de Euler gerados neste trabalho (índice $N=1$), na tentativa de se compreender o comportamento dos falhamentos em sub-superfície. Calculou-se a estimativa de profundidade dos corpos magnéticos de índice estrutural 1, visto que esse índice se aproxima mais do modelo de falha. Seguindo a proposta de Reid *et al.* (1990), utilizou-se janela de 10 x 10 células da malha do campo magnético anômalo com dimensões espaciais de 50, 125, 250 e 500 metros. Essa ação visa a determinação de corpos em maiores profundidades à medida que se aumenta o tamanho da janela. Para tanto, também se calculou a profundidade dos corpos com incerteza relativa de 5, 10 e 15 % para todas as malhas. Quanto maior é a incerteza relativa e menor é o tamanho da célula da malha, maior é o número de ocorrências calculadas. Desse modo, a escolha da incerteza relativa ao cálculo da ocorrência para cada tamanho de célula visou limitar a grande quantidade de ocorrências geradas pelas células menores e ampliar o número das ocorrências calculadas pelas células maiores. Assim escolheu-se as ocorrências com incerteza relativa de 5% para as malhas com células de 50 e 125 metros, limite de 10% para a malha com células de 250 metros e, por fim, 15% para a malha com célula de 500 metros.

Por fim, retirou-se da estimativa de profundidade das ocorrências a altura nominal de vôo (45 metros). As 99 ocorrências que apresentaram profundidades negativas ou iguais a zero foram excluídas. A frequência das ocorrências de acordo com a profundidade estimada apresenta uma distribuição log-normal. Assim, calculou-se o valor logarítmico das profundidades, o que resultou em distribuição normal. Esse procedimento permitiu que as ocorrências fossem reclassificadas em 7 classes de

acordo a média \pm o desvio padrão do logaritmo da profundidade estimada (Tabela 1).

Tabela 1 – Reclassificação das estimativas de profundidade

Intervalo da Profundidade Estimada (metros)	Classificação
0 – 62	Muito Raso
62 – 119	Raso
119 – 230	Pouco Raso
230 – 436	Pouco Profundo
436 – 852	Profundo
852 – 1643	Médio Profundo
1643 – 3706	Muito Profundo

Gamaespectrometria

O procedimento utilizado na interpretação dos dados gamaespectrométricos envolveu: a) a comparação da imagem correspondente a cada canal discriminado (K, U, e Th) com a topografia para estudar a influência do relevo sobre estes dados; b) a análise do canal de contagem total para a definição de grandes domínios gamaespectrométricos, bem como a análise da contribuição relativa de cada um dos outros canais; c) o uso de composições em falsa cor (imagem ternária) do tipo RGB e CMY, com os canais de K, Th e U, usando ou não o modelo digital de terreno como uma quarta componente e seu estudo espacial para definir unidades e/ou domínios com assinaturas gamaespectrométricas semelhantes; d) uso das razões U/Th, Th/K e U/K na análise da sua correlação com os diversos domínios gamaespectrométricos e com as regiões onde estão mapeadas as mineralizações na região.

Eletromagnetometria

Os canais com frequências de 935, 4175 e 33000 Hz foram interpolados com célula de 50 metros, micronivelados e convertidos para condutividade (1/resistividade), segundo metodologia proposta por Silva (1999).

Processamento Digital de Imagens Aerogeofísicas (PDI)

Neste trabalho utilizou-se as seguintes técnicas de PDI: Composição Colorida RGB, IHS e Principais Componentes.

Composição Colorida RGB

As composições coloridas falsa-cor no espaço RGB utilizadas para realçar e combinar os dados aerogeofísicos são: RGB (K, Th e U) e RGB (Amplitude do Sinal Analítico, Condutividade-canal de 4.175Hz e Canal de Contagem Total) (Figura 3).

Na figura 3, as áreas vermelhas representam regiões com alta susceptibilidade magnética, baixa condutividade e baixos valores de radiação gama. Já as áreas amarelas representam áreas com alta susceptibilidade magnética e alta condutividade, mas com baixa radiação.

Sistema IHS

Utilizou-se, também, esta transformação IHS para integrar as informações aerogeofísicas desse trabalho. Assim, fundiu-se a fase do sinal analítico e a primeira derivada vertical do campo magnético anômalo com as imagens de amplitude do sinal analítico, condutividade (4.175Hz) e composição colorida falsa-cor RGB(K, Th e U). Os melhores resultados são aqueles provenientes da integração dos dados eletromagnéticos e amplitude do sinal analítico, pois realçam domínios magnéticos e condutivos que são sabidamente conhecidos por hospedar mineralizações auríferas em BIFs facies óxido na região.

Principais Componentes

Aplicou-se a análise por principais componentes aos dados gamaespectrométricos (K, Th, U), juntamente com a amplitude do sinal analítico e o canal de condutividade de 4.175Hz, utilizando a matriz de covariância. A tabela 3 apresenta os autovetores gerados por principais componentes.

Tabela 3 – Tabela de autovetores da transformada por principais componentes

	K	Th	U	ASA	C(4.175 Hz)	Auto valores (%)
PC1	-0,64	-0,37	-0,17	+0,47	+0,427	37,70
PC2	+0,03	+0,36	+0,19	+0,79	-0,432	23,90
PC3	-0,56	-0,21	-0,04	-0,27	-0,752	18,65
PC4	+0,51	-0,74	-0,23	+0,24	-0,245	14,40
PC5	-0,02	-0,34	+0,93	-0,03	+0,07	5,3

Observa-se pela tabela 3 que, de uma forma geral, os canais gamaespectrométricos apresentam peso semelhante ao longo de todas as principais componentes. Isso ocorre principalmente por causa da afinidade geofísica desses elementos em comparação com as propriedades físicas dos outros planos de informação, como susceptibilidade magnética e

condutividade. A melhor composição efetuada, utilizando-se principais componentes, que realça domínios litológicos conjuga a PC1 no vermelho, a PC4 no Verde e a PC2 no Azul (Figura 4). Observa-se que a PC1 possui maior peso da amplitude do sinal analítico e da condutividade, em contrapartida, a contribuição dos canais gamaespectrométricos é negativa. Por meio da PC1 pode-se ressaltar domínios magnéticos ou condutivos. Esses domínios são estratégicos para exploração mineral na região do Grupo Nova Lima. Já a PC4 possui peso positivo para o canal de potássio e para a amplitude do sinal analítico, realçando assim, domínios magnéticos com possível alteração hidrotermal. Por fim, a PC2 possui contribuição positiva de todos os canais com exceção do canal condutivo. A escolha dessa componente no canal azul é para homogeneizar a composição dos planos de informação na imagem colorida. Essa composição colorida, com apenas três bandas, sintetiza 76% da variância total das informações gamaespectrométricas, magnetométrica e condutiva.

Classificação não supervisionada via Média K

A maioria das técnicas hierárquicas pode necessitar da criação e manipulação matrizes de similaridade extremamente grandes se o número de amostras for elevado, o que é comum nos dados produzidos pelas técnicas de geofísica aérea. Por isso, foram concebidos procedimentos de agrupamento usando um número limitado de centros arbitrários de grupos visando reduzir a dificuldade computacional. Provavelmente o mais usado dentre estes é o procedimento da média-K (*K-means*). Nesta técnica, *k* pontos caracterizados por *m* variáveis são designados como centróides iniciais dos grupos. Uma matriz de similaridades entre os *k* centróides e as *n* amostras é calculada e as amostras mais similares são agrupadas ao centróide mais próximo. Novos centróides são então calculados e o processo segue iterativamente até todas as amostras terem sido classificadas. Em princípio, o centróide se deslocará rapidamente em direção ao centro verdadeiro de um grupo em crescimento, na medida em que informações verdadeiras sobre este se sobrepuserem àquela inicialmente arbitrária.

Neste artigo foram testadas diversas combinações de informações visando se definir o que melhor caracterizasse os diferentes litotipos da região estudada, e conseqüentemente, as rochas hospedeiras da mineralização aurífera. Os dados foram exaustivamente testados para diferentes classes e diferentes interações. As classificações estatísticas efetuadas mostraram que os dados possuem em média dez classes. Portanto, foi efetuado um grupamento em dez classes, após dez interações utilizando as seguintes informações: canais de potássio, tório, urânio, bem como a amplitude do sinal analítico e o canal de condutividade (4.175Hz). Todos os dados foram reescalados para 8 bits, ou 256 tons de cinza.

A figura 5 mostra a assinatura geofísica das classes resultantes da classificação não supervisionada por média-k. Todos os planos de informação, bem como todas as classes pertencentes aos mesmos, foram

reclassificados em relação à sua média em baixo, baixo-médio, médio, médio-alto e alto.

Discussões e Conclusões

O melhor produto resultante da transformação IHS para interpretação estrutural é a amplitude do sinal analítico com a fase do sinal analítico no canal de intensidade (Figura 6). Assim, ao mesmo tempo em que se identifica a posição da fonte magnética, pode-se identificar uma assinatura do mergulho do gradiente da anomalia. Observa-se que a Zona de Cisalhamento São Vicente varia o mergulho de falha ao longo da sua extensão, o que é validado pelos trabalhos anteriores na área (Araújo 2001). As áreas mineralizadas ao longo da falha apresentam assinatura padrão com valores de fase do sinal analítico próximo a zero. As estimativas de profundidade das fontes magnéticas por meio da deconvolução de Euler auxiliam o entendimento do comportamento geométrico dessa falha em profundidade. No geral, a falha apresenta pouca profundidade (200 a 400m) com algumas áreas profundas (400 a 800m). A análise qualitativa da fusão Fase/Amplitude do sinal analítico e da deconvolução de Euler permite a determinação de zonas homólogas a partir da textura da fase do sinal analítico, dos valores de amplitude do sinal analítico e dos lineamentos das estimativas de profundidade da deconvolução de Euler.

A partir das classes obtidas pela classificação por média-k dos dados aerogeofísicos, pôde-se associar a assinatura de algumas classes (figura 7) com unidades litoestratigráficas do Supergrupo Rio das Velhas mapeadas no projeto Rio das Velhas (Pinto 1996) na escala 1:100.000. Assim, os Bifs, de uma forma geral, se correlacionam com a classe 10, caracterizada principalmente por baixos valores de radiação e alta amplitude do sinal analítico. A formação Quebra-Osso, composta por magmas ultramáficos com textura spinifex e sills cumuláticos, se correlaciona com a classe 1 e apresenta baixos valores radiométricos e alta condutividade. Localmente, correlaciona-se a classe 2 com essa formação onde ela é mais magnética, porém, não condutiva. A Formação Morro Vermelho caracteriza a classe 8 e diferencia-se da classe 1 por possuir médios valores de radiação, porém, muito condutiva. Essa formação caracteriza-se por pequenas lentes de sedimentos químicos exalativos como BIFs do tipo algoma, metacherts e xistos carbonáticos. A classe 7 se correlaciona com a Formação Ribeirão Vermelho composta por rochas metassedimentares vulcanoclásticas e constituem-se de tufo dacíticos piroclásticos e aglomerados de baixo fluxo. Essa classe caracteriza-se por altos valores de radiação de K, Th e U e por médio a baixos valores magnéticos e condutivos. A Formação Córrego do Sítio representa as rochas metassedimentares de fontes mistas do Grupo Nova Lima (Pinto & Silva 1996) e caracteriza-se por finas intercalações de quartzo-sericita-clorita xisto e feldspato-quartzo xisto interpretados como metapelitos e metagrauvas com finas intercalações de xistos carbonáticos e BIFs. Essa unidade correlaciona-se com as classes 4 e 5. Na parte norte há uma predominância

da classe 4 que possui assinatura com médios a médio-baixos valores dos dados geofísicos. Porém, na região ao longo da Zona de cisalhamento São Vicente que apresenta mineralizações do tipo *load*, há a predominância da classe 5, que reflete, provavelmente, a alteração hidrotermal da classe 4 caracterizada pelo alto valor relativo de K e baixo valor de Tório. Pode-se correlacionar a classe 5 com a PC4 da Análise por Principais Componentes dos dados aerogeofísicos descrita anteriormente.

Referências

- Alkmim F.F. & Marshak S.** 1998. Transamazonian Orogeny in the Southern São Francisco Craton Region, Minas Gerais, Brazil: evidence for Paleoproterozoic collision and collapse in the Quadrilátero Ferrífero. *Precambrian Research*, 90:29-58.
- Almeida F.F.M.** 1977. O Cráton São Francisco. *RBG*, 7(4): 349-364.
- Araújo J. G. M.** 2001. Influência das zonas de cisalhamento de São Vicente e Tapera na mineralização aurífera do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. Instituto de Geociências. Universidade de Brasília. Brasília. Dissertação de mestrado. 100 p
- 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. Inst. de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, Tese de Doutorado.
- Carneiro M.A., Noce C.M.; Teixeira W.** 1995. Evolução policíclica do Quadrilátero Ferrífero: uma análise fundamentada no conhecimento atual da geocronologia U-Pb e geoquímica isotópica Sm-Nd. *Revista da Escola de Minas*, 48 (4): 264-273.
- Chemale Jr. F., Rosière C.A., Endo I.** 1994. Tectonic Evolution Of The Quadrilátero Ferrífero, Mg, Brazil. *Precambrian Research*, 65:25-54.
- Cordani U.G., Kawashita K., Mueller G., Quade H., Reimer V., Roeser H. P.** 1980. Interpretação tectônica e petrológica de dados geocronológicos do embasamento do bordo sudeste do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. *Acad. Bras. Cienc., Anais...Rio de Janeiro*, 52:785-799.
- Cordani U.G., Teixeira W., Siga Jr. O.** 1989. Geocronologia do Quadrilátero Ferrífero. In: XXI Semana de Estudos de Ouro Preto, SICEG, Ouro Preto, Bol. 21:27-44
- Dorr II J.V.N.** 1969. Physiographic, Stratigraphic, And Structural Development Of The Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. *U.S.G.S. Paper*, 641-A:1-110.
- Fuck R.F.** 2001, Reprocessamento dos Dados Aerogeofísicos do Projeto Rio das Velhas. Relatório bolsa RHA.E. CNPq.
- Ladeira E. A. & Viveiros, J.F.M.** 1984. Hipótese sobre a estruturação do Quadrilátero Ferrífero com base em

dados disponíveis. Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia-Núcleo Minas Gerais, 4:1-14.

Ladeira E. A. 1980. Metallogenesis of Gold at the Morro Velho Mine, and in Nova Lima District, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. Unpubl. PhD thesis, University of Western Ontario, London, 272pp.

Machado N. & Carneiro M.A. 1992. U-Pb evidence of late Archaean tectono-thermal activity in the southern São Francisco shield, Brazil. Canadian Journal of Earth Sciences, 29(11):2341- 2346.

Machado N., Noce C. M., Belo de Oliveira O.A., Ladeira E. A. 1989. Evolução geológica do Quadrilátero Ferrífero Arqueano e Proterozóico Inferior, com base em geocronologia U/Pb. In: 5º Simpósio de Geologia do Núcleo Minas Gerais – 1º Simpósio de Geologia Do Núcleo

Marshak S & Alkmim F. F. 1989. Proterozoic Extension/Contraction Tectonics Of The São Francisco Craton And Adjacent Regions, Minas Gerais, Brazil: A Kinematic Model Relating Quadrilátero Ferrífero, São Francisco Basin And Cordilheira do Espinhaço. Tectonics, 8 (3):555-571.

Minty B.R.S. 1991. Simple micro-levelling for aeromagnetic data. Expl. Geophys. 22:591-592

Nabighian M.N. 1972. The analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-sections: its properties and use for automated anomaly interpretation. Geophysics, 37, 507-517.

Noce C.M. 1995. Geocronologia dos Eventos Magmáticos, Sedimentares e Metamórficos do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. São Paulo. 128p. Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. Tese de Doutorado.

Pinto P.C. & Silva L.C. 1996. Contrasting Tectono-Stratigraphic Domains in The Rio das Velhas Greenstone Belt (RVGB), MG, Brazil. In: SBG, Symposium Archaean Terranes Of The South American Platform. Brasília, Anais, 23-25.

Pinto P.C. 1996. Explanatory notes / Rio das Velhas project. Rel. téc. DNPM – SUREG/BH

Reid A.B. Allsop J.M., Granser H., Millett A.J., I.W. Somerton. 1990. Magnetic interpretation in three dimensions using Euler deconvolution. 58th Annual International Meeting. Society of Exploration Geophysicists.

Schorscher H.D. 1978. Komatiitos na estrutura greenstone belt Série Rio das Velhas. Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. XXX Congr. Bras. Geol., Anais...Recife, Bol. Esp. 1:292-293.

Silva A. M. 1999. Geophysical and Geological Data Integration Using a New Statistical Approach for Mineral Target Selection Applied to the Rio das Velhas Greenstone Belt, Quadrilátero Ferrífero. Inst. de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, Tese de Doutorado.

Teixeira W. 1985. A Evolução Geotectônica da Porção Meridional do Cráton São Francisco, com Base em Interpretações Geocronológicas. São Paulo. 207p. (Tese de Doutorado, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo).

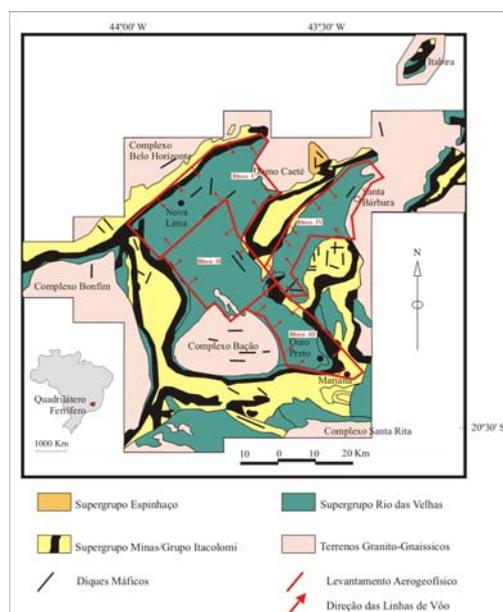


Figura 1 – Mapa Geológico do Quadrilátero Ferrífero, MG (Modificado de Dorr 1969 in Silva 1999).

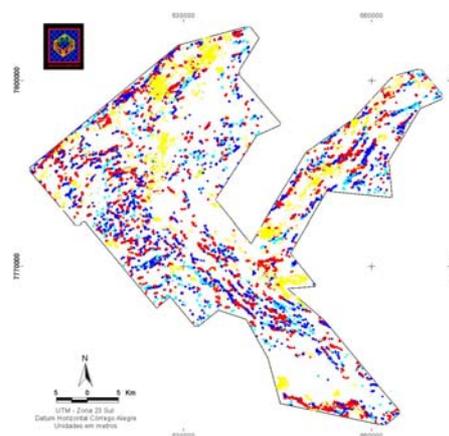


Figura 2 – Mapa de estimativa de profundidade de fontes magnéticas por deconvolução de Euler. Legenda: Muito Raso, Raso (ciano claro), Pouco Raso (ciano escuro), Pouco Profundo (azul), Profundo (vermelho), Médio Profundo (amarelo claro), Muito Profundo (amarelo escuro)

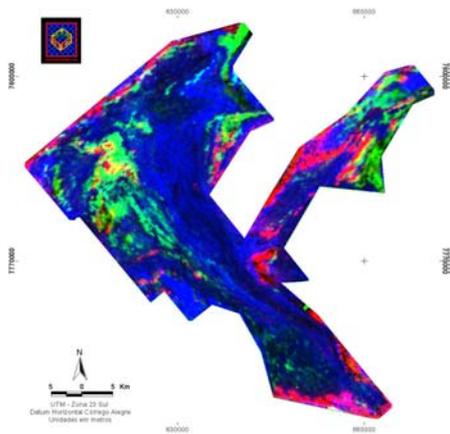


Figura 3 – Composição colorida falsa-cor RGB (Amplitude do sinal Analítico, Condutividade no canal 4.175Hz e Canal de Contagem Total).

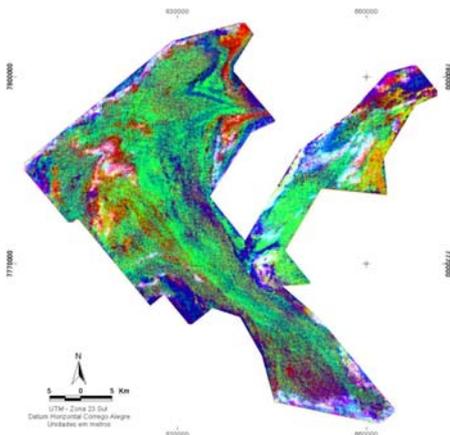


Figura 4 - Composição colorida falsa-cor RGB (PC1, PC4 e PC2).

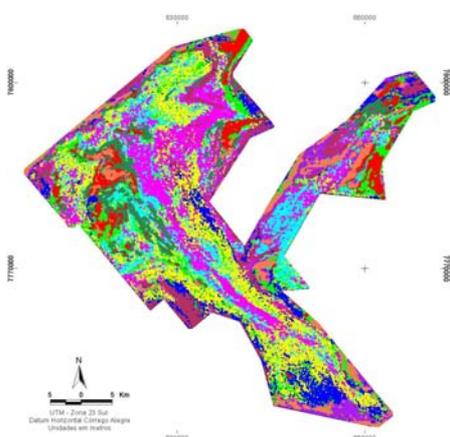


Figura 5 – Classes resultantes da aplicação da técnica de classificação não supervisionada por média-k. Legenda: Classe 1: vermelho, Classe 2: verde claro, Classe 3: azul marinho, Classe 4: amarelo, Classe 5: ciano, Classe 6: magenta, Classe 7: marrom escuro, Classe 8: verde escuro, Classe 9: roxo e Classe 10: marrom claro.

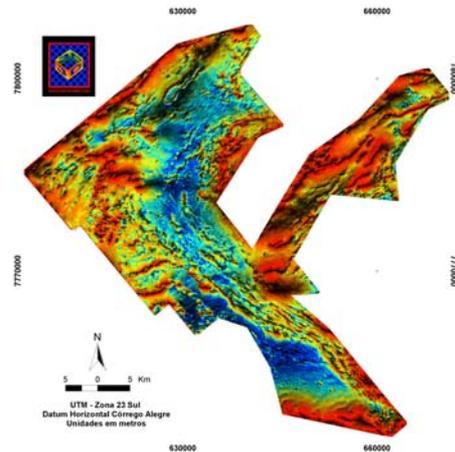


Figura 6 – Imagem fundida da Amplitude do Sinal Analítico e Fase do sinal analítico (intensidade).

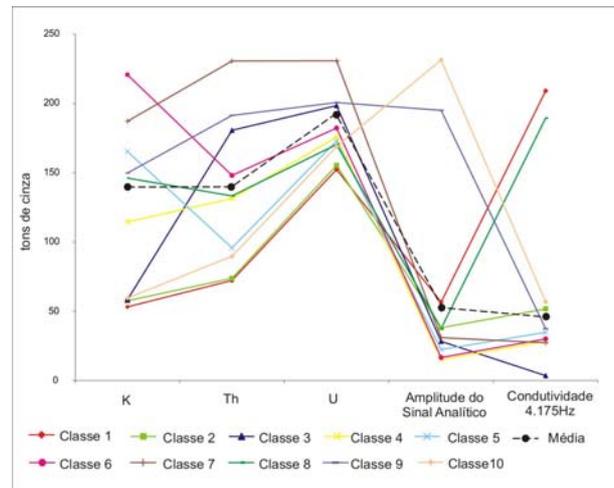


Figura 7 – Assinatura Geofísica das classes resultantes da classificação não supervisionada por média-k