



Associação de magnetometria, gamaespectrometria, geoquímica e petrografia para modelamento tridimensional da mineralização de nióbio do depósito Morro do Padre, Goiás, Brasil.

Marta Henriques Jácomo^a, Tereza Cristina Junqueira Brod^b, Augusto César Bittencourt Pires^a, José Affonso Brod^a, Matheus Palmieri^c, Aldo José Duarte Ferrari^c

a - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília.

b - Instituto de Estudos Sócio-Ambientais, Universidade Federal de Goiás.

c - Anglo American Brazil, Catalão.

Copyright 2010, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

Este texto foi preparado para a apresentação no IV Simpósio Brasileiro de Geofísica, Brasília, 14 a 17 de novembro de 2010. Seu conteúdo foi revisado pelo Comitê Técnico do IV SimBGF, mas não necessariamente representa a opinião da SBGf ou de seus associados. É proibida a reprodução total ou parcial deste material para propósitos comerciais sem prévia autorização da SBGf.

Resumo

O depósito primário de Nb do Morro do Padre, no complexo carbonatítico de Catalão II, consiste de concentrações de pirocloro em nelsonitos associados a apatitos, carbonatitos, picritos e piroxenitos, todos intrusivos em rochas metasedimentares fenitizadas (Palmieri et al., 2009).

O nelsonito possui assinatura própria, com valores altos de CT, K, U, Th e susceptibilidade magnética. Há dois tipos de nelsonito no depósito, caracterizados por diferentes valores de K, Th e CT. Os demais litotipos têm assinaturas semelhantes, dificultando sua discriminação, embora alguns perfis geofísicos verticais indiquem dois tipos de carbonatito.

O modelamento geofísico 3D, revela um corpo principal alongado, E-W, que corresponde à região com maior concentração de diques de nelsonito mineralizado.

Introdução

A Província do Alto Paranaíba é uma região de rochas alcalinas do Cretáceo Superior, intrudidas em rochas metasedimentares da Faixa Brasília, entre o Cráton do São Francisco e o nordeste da Bacia do Paraná, e caracteriza-se por alto potencial metalogênico para nióbio, fosfato, titânio, entre outros (Brod et al., 2004). O depósito primário de nióbio do Complexo Carbonatítico de Catalão II (18° 02'S e 47° 52'W) localiza-se no sudeste do estado de Goiás, 300 km a sul de Brasília e 15 Kkm a noroeste da cidade de Catalão. O complexo é pobremente exposto e divide-se em três principais corpos: Coqueiro, Mina de Boa Vista, atualmente lavrado a céu aberto pela Mineração Catalão S.A. (Anglo American) e Depósito de Nb do Morro do Padre (objeto de estudo deste trabalho).

A região do Morro do Padre é marcada por diversas e sucessivas intrusões, incluindo nelsonitos (rocha hospedeira do minério de Nb), apatititos, carbonatitos, picritos e piroxenitos, encaixadas em rochas

metasedimentares fenitizadas. Uma intrusão carbonatítica principal corta os fenitos encaixantes e é formada por carbonato branco acinzentado, muito grosso a médio, relativamente puro. Esse carbonatito e suas encaixantes são subsequentemente intrudidas por diques de nelsonito que aproveitam parcialmente o mesmo sistema de fraturas. Uma geração final de diques milimétricos a centimétricos de carbonatito rico em tetra-ferriflogopita corta todas as rochas anteriores (Palmieri et al., 2009).

Nelsonito e carbonatito são os litotipos principais. Nelsonito é composto por tetra-ferriflogopita, carbonato, apatita, magnetita e pirocloro. Enriquecimento adicional ocorre no perfil de solo desenvolvido sobre a mineralização primária. Carbonatitos são de três tipos: carbonatito branco acinzentado, muito grosso a médio, constituído quase exclusivamente por calcita anédrica, com sulfeto e tetra-ferriflogopita subordinados; o segundo tipo forma bolsões em diques nelsoníticos e consiste de calcita, tetra-ferriflogopita, pobre em magnetita e pirocloro e rico em apatita e sulfetos; o terceiro tipo é uma geração final de diques milimétricos a centimétricos de carbonatito rico em tetra-ferriflogopita (Palmieri et al., 2009).

Esse trabalho faz parte de uma série de estudos geológicos e geofísicos no Morro do Padre a fim de entender os controles metalogênicos do depósito. O projeto foi dividido em duas partes. A primeira detalha a petrografia, mineralogia e evolução magnética do depósito (Palmieri, 2010, em preparação). A segunda é este trabalho, cujo objetivo é identificar indicadores radiométricos e de susceptibilidade magnética capazes de representar o corpo de minério com uma operação simples e de custo reduzido.

Metodologia/ Problema Investigado

Foram descritos 73 testemunhos de sonda e amostrados valores radiométricos e de susceptibilidade magnética em 1295 amostras do depósito Morro do Padre. O espaçamento das medidas é de 2,5m, coincidente com o utilizado para amostragem geoquímica de exploração (Mineração Catalão Ltda). As sondagens estão irregularmente espaçadas com cerca de 50m entre si e profundidades entre 100 e 150m. Não foram utilizadas amostras de solo situadas acima desse nível.

As medidas foram realizadas com o gamaespectrômetro portátil GR-320, fabricado pela Exploranium (Figura 1) e o susceptíbilímetro e condutíbilímetro Hand-Held Meter DDD MPP-EM2S + Multi Parameter Probe, desenvolvido pela GDD Instrumentation Inc (Figura 2), gentilmente cedidos pelo Laboratório de Geofísica Aplicada da Universidade de Brasília.

Durante a medição de susceptibilidade foram feitas três leituras para cada amostra, tomando-se o cuidado de ter sempre o aparelho todo em contato direto com a mesma. O sensor era reinicializado automaticamente a cada 60 segundos e entre cada medida, era exposto ao ar por cerca de 3 segundos, para diminuir o *drift*. Esse procedimento preventivo foi importante para reduzir o risco de erros de medida causados por variações no tempo ou outra causa externa. Para gamaespectrometria, foi utilizado um tempo de contagem $t = 5$ minutos.

Os dados foram tratados computacionalmente de maneira a gerar seções verticais do depósito para contagem total, K, U, Th, suscetibilidade magnética, além de Nb₂O₅ e CaO. Imagens com a respectiva litologia foram feitas para comparação com os dados obtidos.



Figura 1 - Gamaespectrômetro portátil GR-320, fabricado pela Exploranium, utilizado no levantamento de dados.

Utilizando o *software* Voxler, foi feito um modelamento tridimensional com base nos dados geofísicos. O resultado define uma região com maior probabilidade de ocorrer mineralização de Nb (Zona Potencial Indicadora de Minério).

Resultados

O nelsonito apresenta os maiores valores de gamaespectrometria, susceptibilidade magnética, Nb₂O₅ (%), P₂O₅ (%) e Fe₂O₃ (%). Isso resulta da presença de pirocloro (Nb), apatita (P), magnetita (Fe), e tetra-ferriflogopita (K). U e Th podem estar no pirocloro ou em acessórios como monazita. Carbonatito, fenito, piroxenito e picrito têm assinaturas similares e não puderam ser distinguidos na resolução adotada.



Figura 2 - Hand- Held Conductivity & Magnetic Susceptibility Meter DDD MPP-EM2S + Multi Parameter Probe utilizado no levantamento de dados.

A classificação não supervisionada por médias-k (Davis, 1986) dos dados de gamaespectrométricos e magnéticos divide as amostras em 2 classes: 1) 12,36% das amostras, onde 9,51% (ou 77%) são nelsonitos; 2) 87,64% do total das amostras, sendo 96% carbonatitos e fenitos. Podemos afirmar que a classe 1 representa nelsonitos e a classe 2 as demais rochas.

Utilizando essa mesma classificação (para CT, K, U e Th) os nelsonitos possuem duas subclasses: 1a) compreende 59,18% dos nelsonitos, com valores maiores em todos os canais; 1b) compreende 40,82% dos nelsonitos (Tabela 1).

Tabela 1: Média aritmética e desvio padrão das populações de nelsonito.

Populações	CT	K	U	Th
1a	259,97±18,48	31,56±1,47	20,12±1,14	20,78±2,38
1b	231,75±7,08	29,31±0,71	18,49±0,59	17,62±0,81

Embora as diferenças não sejam evidentes nos dados de exploração geoquímica, análises geoquímicas de rocha total (Palmieri, 2010) e dados geofísicos mostram duas populações distintas. A análise estatística dos dados geofísicos foi baseada nos testes t e F, que verificam a não diferença, respectivamente, entre variâncias e entre médias de populações (Davis, 1986).

Perfis verticais mostram que o nelsonito é caracterizado por forte anomalia positiva de susceptibilidade magnética e anomalias positivas nos canais K, U e Th (Figura 3).

O decréscimo brusco da susceptibilidade magnética observado no interior do nelsonito ocorre porque, ao contrário das radiométricas, as medidas de susceptibilidade magnética, são pontuais, e essa medida específica corresponde a um bolsão carbonatítico no nelsonito.

Os carbonatitos produzem picos de CaO (Figura 3), sendo um primeiro tipo definido por anomalia positiva de U e K, ausente no segundo. O teor de CaO sugere que o segundo tipo é um calciocarbonatito mais puro.

Os carbonatitos não magnéticos são classificados (não-supervisionada, médias-k) em duas famílias, com 283 amostras (36.99%) na classe 2a e 482 (63.01%) na classe 2b. A população 2a é caracterizada por elevado teor no canal de Th (> 17 cps) ou, quando Th < 17 cps, K > 29 cps. A classe 2b possui teores mais baixos de Th e K (Figura 3). Os dados geofísicos foram ineficientes para separar fenitos de carbonatitos.

Para o modelamento tridimensional, os dados foram normalizados e posteriormente foi feita uma regressão múltipla linear (software Minitab® 15.1) considerando Nb₂O₅ (%) como variável dependente e K, U, Th, susceptibilidade magnética, U/Th, U/K e Th/K como independentes. Obteve-se a seguinte equação:

$$\text{POI} = 0,224 + 2,62 [\text{Th}] + 0,166 [\text{CT}] - 0,421 [\text{K}] - 1,06 [\text{U}] - 0,000676 [\text{Susceptibilidade magnética}] - 0,863 [\text{U/Th}] + 1,17 [\text{U/K}] - 2,41 [\text{Th/K}]$$

O fator POI, denominado Potencial Indicador de Minério, representa o teor de Nb₂O₅ (%) estimado com base nos parâmetros geofísicos. Esse fator foi utilizado para o modelamento 3D da Zona Potencial Indicador de Minério (software Voxler). A interpolação utilizou o algoritmo inverso da distância, que obteve melhor resultado, comparado às demais opções do programa (métrico e local polinomial).

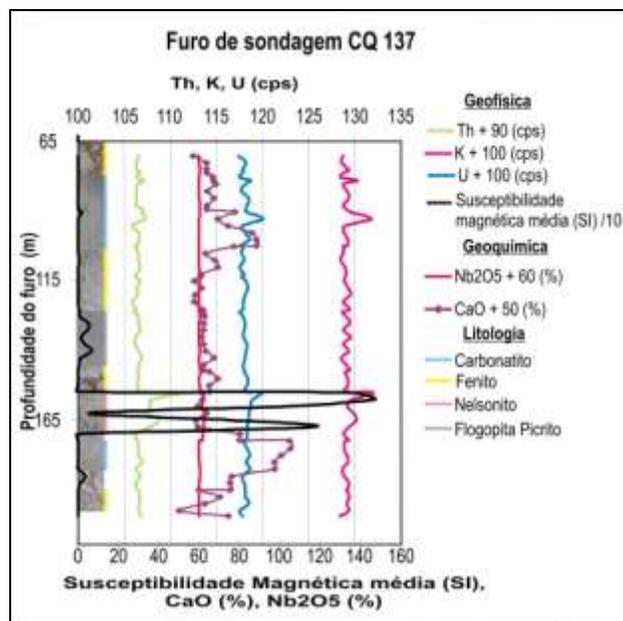


Figura 3 – Log geofísico do furo de sonda CQ137, mostrando correlação entre a anomalia positiva de Nb₂O₅ (%), susceptibilidade magnética (SI) e canais K (cps), U (cps) e Th (cps).

Obteve-se um modelamento com 57,1% dos dados originais, ou 1215 amostras, considerado excelente, visto a complexidade petrográfica do complexo e sua resposta por métodos indiretos.

A superfície criada pelos isovalores de POI, denominada Zona Potencial Indicadora de Minério, foi definida com base nos dados geofísicos e compreende

uma região com elevados teores de Nb₂O₅ (teor de corte de 0,5%) (Figura 4).

Discussão e Conclusões

Os dados gamaespectrométricos e de susceptibilidade magnética permitiram caracterizar o nelsonito (rocha hospedeira do pirocloro) no depósito primário de nióbio do Morro do Padre. Esse litotipo apresenta os maiores valores de CT, K, U, Th, susceptibilidade magnética média, Nb₂O₅ (%) e Fe₂O₃ (%).

Há dois tipos de nelsonito no depósito. O primeiro é caracterizado por valores mais altos de CT, K, U e Th (cps) do que o segundo. Embora essas diferenças não sejam evidentes nos dados de exploração geoquímica, testes estatísticos F e t comprovam que os nelsonitos amostrados pertencem a duas populações diferentes.

Os perfis geofísicos, geoquímicos e litológicos verticais mostram dois tipos de carbonatito, um cálcio-carbonatito quase puro e um flogopita-carbonatito.

A Zona Potencial Indicadora de Minério é uma região propícia à mineralização de Nb, baseada nos dados de gamaespectrometria e susceptibilidade magnética, e coincide com regiões de acúmulo de diques nelsoníticos. O modelo apresentado neste trabalho mostra que o corpo mineralizado principal tem direção E-W e é mais fino na sua porção central. Esse adelgaçamento central provavelmente resulta da menor densidade de furos profundos nessa região, na época da amostragem. Sondagens posteriores mostraram que essa região também contém nelsonitos em profundidade. Portanto, sugere-se que as partes W e E sejam contínuas, formando uma região de concentração de minério única.

A parte interna dessa zona consiste em intrusões de nelsonito, com bolsões de carbonatito ricos em sulfeto e diques de carbonatito ricos em tetraferroflogopita, que cortam toda a sequência. Já a parte externa é formada por rochas encaixantes (fenitos e rochas metasedimentares do Grupo Araxá) e rochas da primeira geração de carbonatitos (brancos, homogêneos, constituídos quase exclusivamente de calcita).

O método proposto é uma ferramenta eficiente, de custo reduzido, para investigar a distribuição do corpo mineralizado, bem como auxiliar na otimização da exploração geoquímica e planejamento de novas sondagens.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pela concessão de bolsas de mestrado e pós-doutorado. Às empresas Copebrás e Mineração Catalão pelo acesso às minas e testemunhos de sondagem. À Universidade de Brasília - Laboratório de Geofísica Aplicada, pelo apoio logístico.

Referências

- Brod J.A.; Ribeiro C.C.; Gaspar J.C.; Junqueira-Brod T.C.; Barbosa E.S.R.; Riffel B.F.; Silva J.F.; Chaban N.; Ferrari A.J.D. 2004. Excursion guide: Geologia e Mineralizações dos Complexos Alcalino-Carbonatíticos da Província Ígnea do Alto Paranaíba. Soc. Bras. Geol.
- Davis, J.C. 1986. Statistics and data analysis in Geology, 1986. Second Edition, New York, Geological Survey.

Palmieri, M.; Silva, S.E.; Brod, J.A.; Ferrari, A.J.D.; Barbosa, P.A.R., Jácomo, M.H.; Junqueira Brod, T.C.; Cordeiro P.F.O. A mineralização de nióbio do Alvo Morro do Padre, Catalão II, GO. XI Simpósio de Geologia do Centro-Oeste, Cuiabá, MT, 2009.

Palmieri, M.P. 2010. Gênese e controles do depósito de Nb do Morro do Padre, Complexo carbonatítico de Catalão II, GO.UnB. Dissertação de Mestrado. Em preparação.

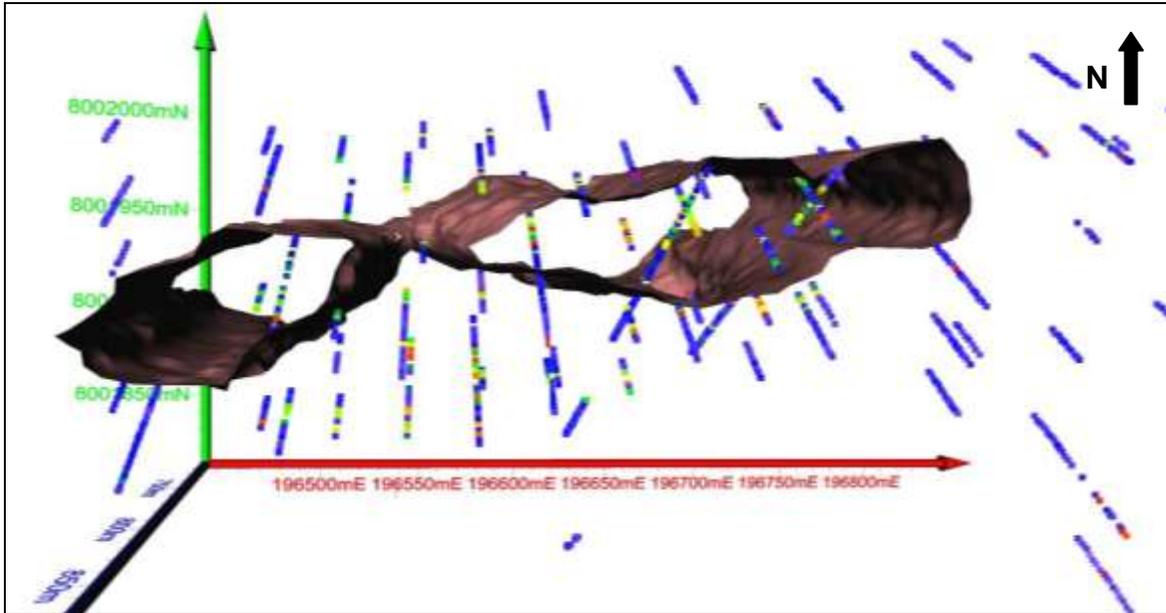


Figura 4 - Zona Potencial Indicadora de Minério, que corresponde à superfície rica em pirocloro-nelsonito, com teor de corte de 0.5% Nb₂O₅. (vista de cima).

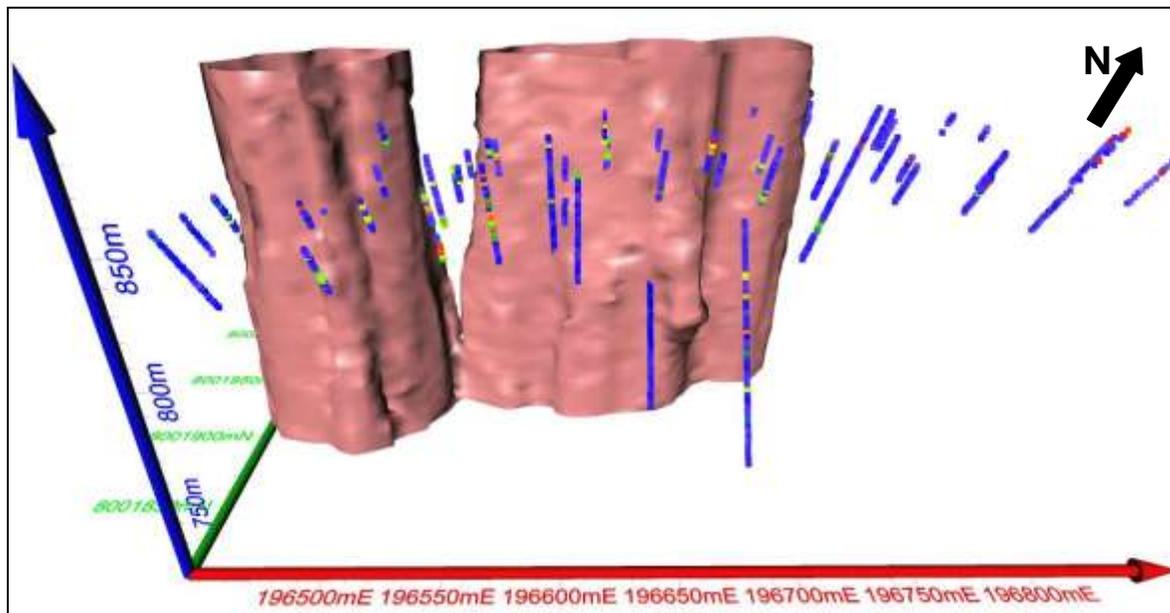


Figura 5 – Zona Potencial Indicadora de Minério, que corresponde à superfície rica em pirocloro-nelsonito, com teor de corte de 0.5% Nb₂O₅. (vista de frente).