



IV Simpósio de Vulcanismo e Ambientes Associados

Foz do Iguaçu, PR – 08 a 11/04/2008.

POTENCIALIDADE PARA MINERALIZAÇÕES DE NI-CU E EGP NA REGIÃO SUDOESTE DO ESTADO DO PARANÁ

Maisa Bastos Abram¹, Francisco José Fonseca Ferreira², Otávio Augusto Boni Licht³, Hardy Jost¹, Reinaldo Santanna Correia de Brito¹, Wilson Wildner¹, Edir Edemir Arioli³, Carlos Alberto Kirchner¹, Davi Brito de Cerqueira¹

1 CPRM – Serviço Geológico do Brasil. E-mail: maisa @sa.cprm.gov.br; hjost@df.cprm.gov.br; rbrito@df.cprm.gov.br

2 Universidade Federal do Paraná, UFPR/LPGA. E-mail:francisco.ferreira@ufpr.br

3 Minerais do Paraná S.A. – Mineropar. E-mail: olicht@yahoo.com.br; arioli@mineropar.pr.gov.br

Resumo – O artigo aborda o potencial da região sudoeste do Estado do Paraná para depósitos sulfetados de Ni-Cu-EGP como parte de resultados de projeto desenvolvido em parceria da CPRM com a MINEROPAR na província de basaltos da Formação Serra Geral da Bacia do Paraná. Na integração de dados geoquímicos, geofísicos e geológicos, com sua modelagem em ambiente SIG, foi reconhecida anomalia magnética com 50 km de comprimento e 17 km de largura no interior do vale do rio Iguaçu, deslocada por falha transversal NW-SE. Apesar dos resultados absolutos indicarem baixa prospectividade para Cu, Ni e EGP ao longo da falha, há coincidência daquela anomalia com anomalias geoquímicas pontuais de Ni e Cu e, em parte, de Pt e ocorrência de veio de pirita maciça com cerca de 35 cm de largura na falha. As características litológicas da Formação Serra Geral, a atividade tectônica distensiva responsável pela densa injeção de diques máficos e a geometria da anomalia sugere a existência de corpo ultramáfico em profundidade. Não há indícios consistentes da presença de corpos máfico-ultramáficos mineralizados, mas as concentrações de Ni, Cu, Pt e Pd em sedimentos de corrente sugerem a possibilidade de anomalias de vazamento ao longo de falhas extensionais. A aplicação de modelagem em SIG com a lógica fuzzy ressaltou a área delimitada no interior do vale do rio Iguaçu e outras áreas importantes para investigação futura de mineralização sulfetada, possivelmente relacionadas a corpos máfico-ultramáficos ocultos.

Palavras-chave: Formação Serra Geral, mineralizações de Ni-Cu e EGP, anomalias geoquímicas e geofísicas, lógica fuzzy.

Abstract – The article contains a discussion about the potential for Ni-Cu-PGE sulfides in the southwestern portion of the Paraná Basin continental flood basalts in the State of Paraná, as part of a joint research project of CPRM and MINEROPAR. The integration of geochemical, geophysical and geological data and their modeling in GIS environment allowed the recognition of a magnetic anomaly about 50 km long and 17 km wide displaced by a NW-SE fault within the valley of the Iguaçu River. Despite the low prospectivity for Cu, Ni and PGE along the fault indicated by the data, there is a coincidence of the magnetic anomaly with local Cu, Ni and, in part, also PGE geochemical anomalies and the occurrence of a massive pyrite vein 35 cm wide along the fault. The lithologic characteristics of the Serra Geral Formation basalts, the extensional tectonic activity responsible for the massive mafic dike intrusions and the anomaly's geometry suggest the existence of a deep ultramafic intrusion. There is so far no consistent evidence for the presence of mineralized mafic bodies, but the concentration of Ni, Cu, Pt and Pd in stream sediments suggests the possibility for leakage anomalies along extensional faults. The application of GIS modeling with the fuzzy logic enhanced the area within the Iguaçu River valley, as well as other important portions of the study area as targets for future investigation of sulfide mineralization, possibly related to hidden mafic-ultramafic intrusions.

Keywords: Paraná Basin continental flood basalts, Ni-Cu-PGE sulfides, geochemical, geophysical and geological data, fuzzy logic

1. Introdução

Na porção sudoeste do Estado do Paraná, contexto geológico da Bacia do Paraná, a CPRM em parceria com a Mineropar efetuou levantamentos geológicos, geoquímicos, estudos laboratoriais, de sensores remotos e geofísicos, abrangendo seis folhas na escala de 1:100.000 (Figura 1). O trabalho foi desenvolvido no âmbito do projeto Geologia e Recursos Minerais do Sudoeste do Paraná (Wildner *et al.* 2006).

A Bacia do Paraná é uma província com volumes consideráveis de vulcanismo máfico associado a regime de rifteamento. A interação de magmas máficos com crosta continental pode resultar na formação de depósitos minerais, particularmente de sulfetos de Ni-Cu-EGP. Dentre as várias províncias similares, duas contêm importantes depósitos de Ni-Cu-EGP: Duluth, Minnesota, nos Estados Unidos e Noril'sk-Talnakh, na Sibéria. Com base nesta analogia, vários trabalhos foram realizados com vistas a discutir a favorabilidade de depósitos de Ni-Cu-EGP na Bacia do Paraná, a exemplo de Nakamura *et al.* (2002) e Mincato (2004), dentre outros. Algumas ações foram realizadas durante o Projeto Geologia e Recursos Minerais do Sudoeste do Paraná para estudar a potencialidade da região em depósitos desta tipologia.

Neste trabalho será apresentado um dos resultados do projeto, discutindo-se a potencialidade de ocorrências de mineralizações sulfetadas de Ni-Cu-EGP a partir dos fatores que condicionam mineralizações desta natureza, da interpretação dos dados geofísicos, geoquímicos e geológicos levantados e/ou reprocessados e de indícios da presença de sulfetos na região. O estudo permitiu desenvolver a modelagem em SIG, com o uso de técnicas computacionais, aplicando o método da Lógica Fuzzy, diagnosticando a existência de alvos potenciais para Ni-Cu-EGP.

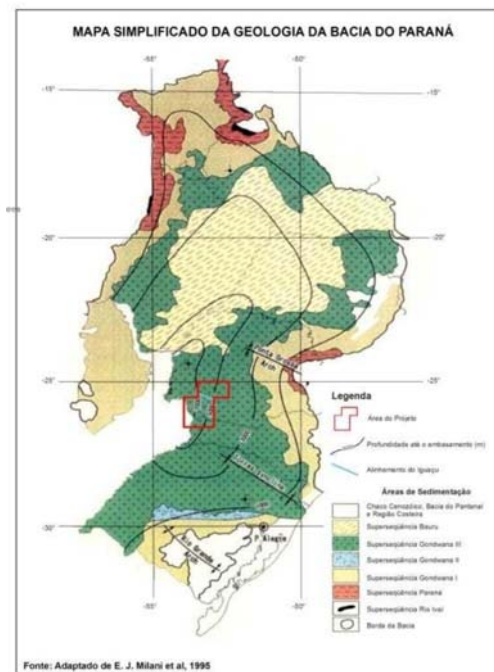


Figura 1 – Localização da área investigada.

2. Características Geológicas da Região Sudoeste do Estado do Paraná

A região Sudoeste do Estado do Paraná se insere na Supersequência Gondwana III, representada pelo conjunto vulcano-sedimentar Botucatu-Serra Geral (Figura 1). Na área pesquisada, a Supersequência Gondwana III compreende rochas da Formação Serra Geral (Milani *et al.*, 1995).

A Formação Serra Geral, topo da Supersequência Gondwana III, é caracterizada por basaltos e basaltos andesíticos tholeiíticos, com porções subordinadas de riolitos e dacitos (Nardy *et al.* 2001). Durante a realização do projeto por Wildner *et al.* (2006), as características faciológicas, estruturais, texturais, petrográficas, assinatura espectral, litogeoquímica e isotópica permitiram dividir a Formação Serra Geral em 5 fácies, que, da base para o topo, compreendem: Nova Laranjeiras, Capanema, Campos Novos, Cordilheira Alta e Campo Erê. Essas fácies são constituídas por derrames basálticos, alguns com feições pegmatóides ou intercalações com rochas sedimentares, como detalhado por Wildner *et al.* (*op.cit.*).

A atividade vulcânica do magmatismo na bacia foi acompanhada da injeção de *sills* e diques ao longo das principais discontinuidades estruturais, alimentadoras do vulcanismo. Na porção sudoeste do Paraná foram identificadas três direções principais NW, NE e E-W (Wildner *et al.*, 2006), os principais elementos tectônicos da Bacia do Paraná (Zalán *et al.* 1990). O mapeamento geológico, as interpretações de sensores remotos e de dados geofísicos demonstraram a importância da direção NW-SE que, na região do vale do Rio Iguaçu, foi palco de densa injeção de diques máficos, atribuída por Soares *et al.* (1992) como reativação de estruturas do

embasamento. Durante o mapeamento geológico do projeto, rochas com textura cumulática e diferenciação magmática não foram identificadas. Entretanto, a intensa atividade intrusiva ao longo do lineamento do Rio Iguaçu sugere possíveis condutos alimentadores de derrames basálticos, abrindo a perspectiva para a presença de corpos máfico-ultramáficos maiores, ocultos, e com possibilidade de hospedar mineralizações sulfetadas.

3. A Interpretação dos Dados Geoquímicos de Sedimento de Corrente e Concentrado de Bateia

Durante o projeto foram analisadas 792 amostras de sedimentos de corrente e 122 amostras de concentrados de bateia. As amostras de sedimento de corrente foram analisadas por ICP-MS. Os concentrados de bateia foram analisados no laboratório da CPRM, Superintendência de Porto Alegre, com determinação semiquantitativa de minerais. Mapas geoquímicos foram produzidos com a aplicação de métodos estatísticos básicos e de análise fatorial.

Para verificar a potencialidade para mineralizações de Ni-Cu-EGP considerou-se a distribuição espacial destes elementos em sedimento ativo de corrente. Verificou-se que as concentrações são, em geral, muito baixas, com teores máximos de Ni de 73 ppm, Cu de 718 ppm e Pt de 23 ppb, resultando em mapas geoquímicos de pouca definição prospectiva, frente à escala de mapeamento. Foram também registradas poucas coincidências entre anomalias de Cu e Ni. A análise dos mapas de distribuição mostrou que as zonas anômalas em Ni e Pt se concentram no interior do vale do Rio Iguaçu, com continuidade para NE e as anomalias de Cu nas proximidades e no divisor de águas do sul. Apesar dos resultados indicarem baixa prospectividade para Cu, Ni e EGP, destacam-se a ocorrência de anomalias coincidentes, mais pontuais, de Ni e Cu no interior do vale do Rio Iguaçu, alinhadas segundo NW-SE na porção norte do vale, interior da zona de enxame de diques máficos (Figuras 2 e 3). Neste setor, teores anômalos de Pt são, em parte, coincidentes com os de Ni e Cu. A superfície dos escores fatoriais de Cr, Fe, Ni e Pt, obtida por estatística multivariada, mostra que os valores mais elevados coincidem com o vale do Rio Iguaçu. A análise mineralógica qualitativa dos concentrados de bateia não demonstrou resultados animadores, mas revelou a presença de calcopirita em amostras de dois pontos (CB-B-41 e CB-B-67), das quais a CB-B-41 foi coletada próximo de uma anomalia magnética, detalhada no item de geofísica. Nesta área delimitada como potencial, ocorre um veio de pirita maciça, com cerca de 35 cm de largura, hospedado por falha que desloca a mencionada anomalia magnética.

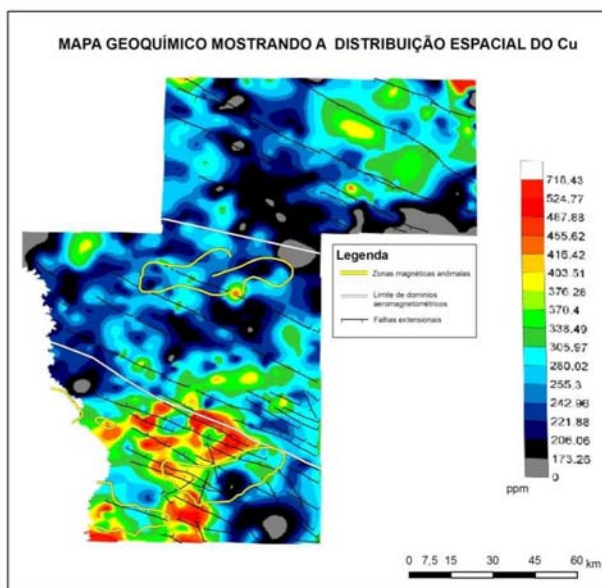


Figura 2 - Mapa geoquímico do cobre

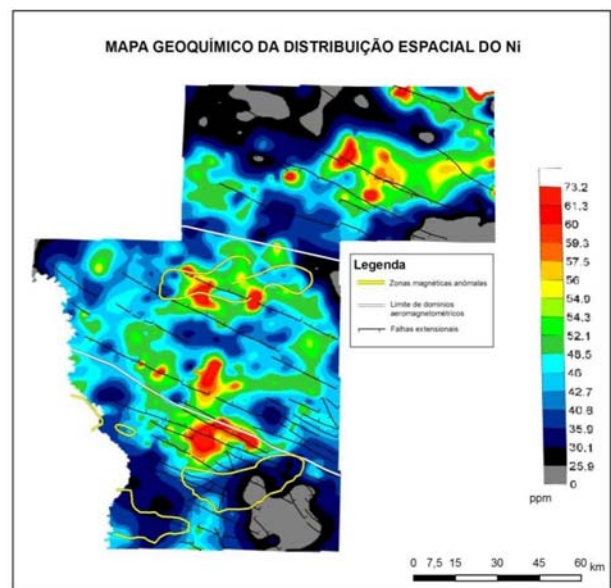


Figura 3 - Mapa geoquímico al do Ni

4. Resultados de interpretação dos dados geofísicos

A reinterpretção de dados aerogeofísicos permitiu separar domínios magnéticos, delimitar algumas anomalias e caracterizar faixas estruturadas. Os estudos geofísicos demonstraram que o alinhamento do Rio Iguaçu coincide com o limite entre dois domínios magnéticos contrastantes, marcados como A e B na figura 4. Como mostra o mapa magnético continuado para 5000 m da figura 4, a área do projeto pode ser subdividida em três domínios. O domínio A é caracterizado por amplitudes magnéticas baixas, ao passo que o domínio B por amplitudes intermediárias e o domínio C pelo predomínio de anomalias de elevadas amplitudes. Os limites entre os domínios A e B e entre B e C têm direção NW-SE e são paralelos ao alinhamento do Rio Iguaçu, o que sugere que podem ser atribuídos também a lineamentos controladores dos diques NW-SE.

No mapa de fase do sinal analítico do gradiente horizontal do campo magnético (Figura 5) se reconhece que nos domínios A e C predominam anomalias razoavelmente lineares dispostas segundo NW-SE e SW-NE e que podem

ser atribuídas às principais direções de lineamentos regionais da Bacia do Paraná nesta área. Isto indica que, nestes domínios, a orientação das anomalias tem forte controle estrutural. Em contraste, o padrão magnético do domínio B é caracterizado por anomalias que, apenas localmente, se orientam segundo NW-SE e NE-SW, mas as principais aparentam padrão elíptico. Dados de campo mostram que este domínio coincide com uma faixa com alta densidade de injeções de diques máficos e, portanto, caracterizada por denso fraturamento crustal. Apesar da orientação preferencial dos diques segundo NW-SE, a resposta magnética não corresponde à orientação dos diques, e as anomalias NE-SW são subordinadas. Neste domínio, no entanto, chamam a atenção, em particular, as anomalias elípticas, a maior segundo EW e as menores segundo NW-SE e NE-SW. A ausência de correlação entre a densidade e orientação dos diques e as anomalias magnéticas nesta faixa sugere que estas podem ser devidas a intrusões maiores não aflorantes. Dentre estas, uma anomalia em particular, aqui denominada de anomalia Nova Prata-Boa Esperança do Iguaçu, foi detalhada com o emprego do mapa da fase do sinal analítico do gradiente horizontal total (Figura 5), para melhor conhecer seus limites e sua geometria. A anomalia tem cerca de 50 km de comprimento e 17 km de largura e está deslocada por falha transversal NW-SE a qual, com base em dados de campo, foi classificada como normal, com alto mergulho para NE, com abatimento do bloco leste. Por outro lado, a anomalia se alinha ao curso do Rio Iguaçu e, portanto, emerge no eixo da depressão elaborada por aquele curso d'água. Considerando as características litológicas da Formação Serra Geral e a atividade tectônica distensiva responsável pela densa injeção de diques máficos neste domínio, a geometria da anomalia sugere a existência de um corpo ultramáfico em profundidade. A sistemática presença desta anomalia nos vários mapas magnéticos processados com diferentes filtros de continuação para cima, indica que a mesma possui raiz profunda.

É interessante mencionar que a ordem de grandeza da anomalia é compatível com a dimensão dos corpos diferenciados da região de Noril'sk, injetados ao longo ou adjacentes à falha Noril'sk-Kharaelakh, de caráter profundo (Naldrett & Macdonald, 1980). Por outro lado, se compararmos os mapas magnéticos com os de geoquímica de sedimentos de corrente (Figs. 3 e 4) se constata a coincidência, no domínio B, das anomalias geofísicas mencionadas com as pontuais de Ni e Cu e, em parte, também de Pt. As maiores concentrações de Ni e Cu se situam ao longo da estrutura que aparentemente desloca a anomalia magnética elíptica maior detalhada na figura 5. Isto sugere que as anomalias geoquímicas podem resultar de possível transferência destes elementos ao longo da falha (*leakage*), a partir do provável corpo profundo para a superfície. No domínio A, as anomalias geoquímicas de Ni e Pt se sobrepõem a anomalias magnéticas lineares NE-SW. A anomalia mais extensa de Cu coincide com tendência magnética na direção NW-SE e a anomalia pontual, mais a sul, está deslocada da resposta magnética. Por outro lado, no domínio C, os teores mais elevados de Ni, Cu e Pt não possuem correspondência com respostas magnéticas.

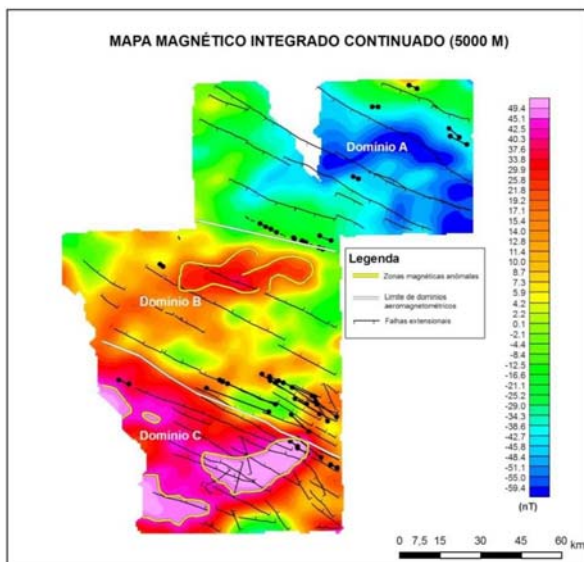


Figura 4 – Mapa magnético continuado para 5000m com indicação dos domínios A, B e C

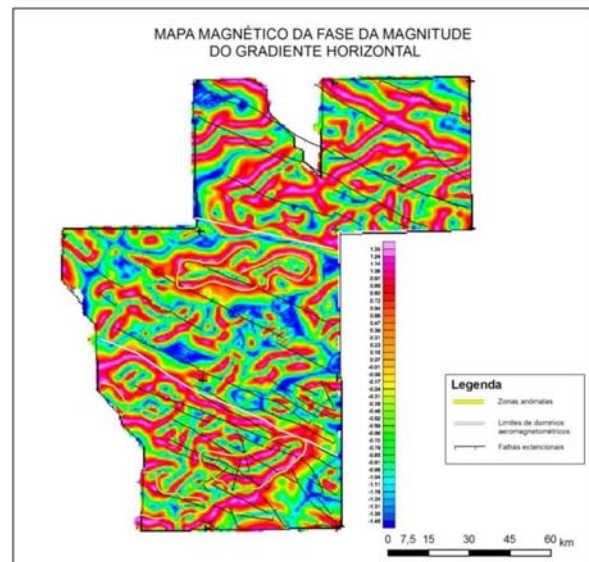


Figura 5 – Mapa magnético da fase do sinal analítico do gradiente horizontal total.

5. A Modelagem em SIG com a Lógica Fuzzy

Com vistas à definição de áreas alvo, tomando-se como premissa que concentrações geoquímicas máximas de Ni, Cu, Pt, Pd, Co, Cr, Ti e V nas amostras de sedimento de corrente seriam devidas a anomalias de vazamento ao longo de falhas extensionais, aplicou-se método de modelagem em SIG com a lógica fuzzy, como descrita em Silva (1999). O primeiro passo foi realizar a fuzzyficação dos temas segundo a sua importância no modelo de mineralização do tipo Noril'sk, (Tabela 1). O processo consiste em atribuir pesos a alguns dos temas de evidências, conforme a hierarquia da importância para o modelo. A seguir foram feitas combinações entre os temas, mediante o

ordenamento lógico das características do depósito e emprego de operadores fuzzy, como ilustrado de acordo com os seguintes passos:

1. Geração de um tema resultante do agrupamento das zonas de concentrações máximas de Ni, Cu, EGP, Cr, Co, Ti e V em amostras de sedimento de corrente, mediante o operador OR;
2. Combinação das estruturas extensionais com as estruturas magnéticas e destaque das estruturas mais importantes no modelo geológico, com emprego do operador AND;
3. Obtenção de um tema final pela combinação do resultado dos dados geoquímicos com os estruturais, mediante um operador AND.

O mapa de favorabilidade resultante (Figura 6) ressalta as áreas importantes para investigação futura de mineralização sulfetada, possivelmente relacionadas a corpos máfico-ultramáficos ocultos, associados a zonas de falhas extensionais. Os mapas ressaltam a importância das estruturas, particularmente a anomalia magnética do domínio B e as situadas ao longo do limite entre os domínios B e C.

Tabela 1 - Fuzzyficação dos temas de evidência da região do Sudoeste do Paraná tendo por modelo o depósitos de Ni-Cu-EGP do tipo Noril'sk

Tema	Membro Fuzzy
Geoquímica de Sedimentos de Corrente – Ni	
Concentração em Ni inferior a 59,3 ppm.	0,1
Concentração em Ni superior a 59,3 ppm.	0,9
Geoquímica de Sedimentos de Corrente – Cu, Pt, Pd, Co	
Concentrações em Cu, Pt, Pd, Co inferiores a 455,62 ppm, 20 ppb, 32 ppb, 105,5 ppm, respectivamente.	0,1
Concentrações em Cu, Pt, Pd, Co superiores a 455,62 ppm, 20 ppb, 32 ppb, 105,5 ppm, respectivamente.	0,8
Geoquímica de Sedimentos de Corrente – Cr, Ti, V	
Concentrações em Cr, Ti, V inferiores a 174,7 ppm, 0,704%, 776 ppm, respectivamente.	0,1
Concentrações em Cr, Ti, V superiores a 174,7 ppm, 0,704%, 776 ppm, respectivamente.	0,7
Estruturas Definidas em Trabalhos de Campo	
Fora da Zona de Influência das estruturas extensionais	0,2
Dentro da Zona de Influência das estruturas extensionais.	0,9
Zonas de Influência de Estruturas Interpretadas por Aeromagnetometria	
Fora da Zona de Influência das estruturas.	0,2
Dentro da Zona de Influência das estruturas.	0,9

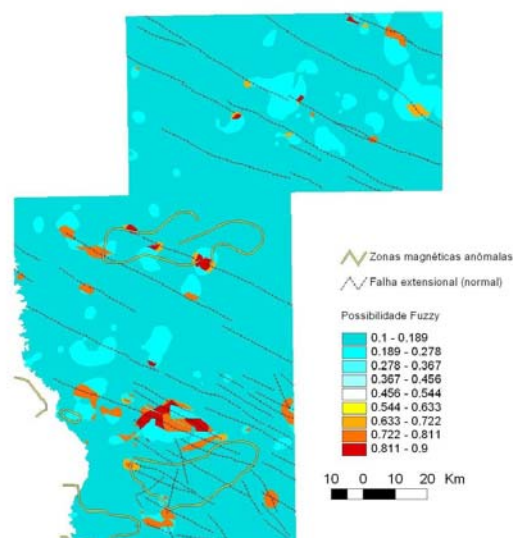


Figura 6 - Resultado da modelagem fuzzy para a combinação das estruturas magnéticas, estruturas extensionais definidas pela geologia e os dados de concentrações máximas para Cu, Ni, Co, EGP, Cr, Ti, V em sedimentos de Corrente. Mostra a favorabilidade para mineralizações sulfetadas na área em vermelho

6. Conclusões

Considerando a inexistência de indícios mais consistentes da possível presença de corpos máfico-ultramáficos mineralizados, os dados de geoquímica de superfície, tectônicos e geofísicos, associados à modelagem fuzzy, ressaltam áreas importantes para investigação futura de mineralização sulfetada, possivelmente relacionadas a corpos máfico-ultramáficos ocultos, associados a zonas de falhas extensionais. Os estudos futuros teriam como finalidade confirmar a efetiva presença e geometria das anomalias geoquímicas e geofísicas e modelar a profundidade dos possíveis corpos. Enfatiza-se a importância da anomalia magnética do domínio B e o limite entre os domínios B e C, pontos centrais da atenção exploratória.

7. Referências

- MILANI, E. J. ; FRANÇA, A. B. ; SCHNEIDER, R. L. Bacia do Paraná. Boletim de Geociências da Petrobrás, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 69-82, 1995.
- MINCATO, R.L. Metalogenia dos Elementos do Grupo da Platina com base na estratigrafia e geoquímica da província ígnea continental do Paraná. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, 172pg., 2004
- NAKAMURA, K., SHIBUYA, A., MASUTA, K., MURAKAMI, T., WILDNER, W., DIAS, A. A., KIRCHNER, C.A.; LESS, A., N. Mineral exploration in the Paraná Basin area, the Federal Republic of Brazil, phase I. Rio de Janeiro, Metal Mining Agency of Japan – MMAJ; CPRM Geological Survey of Brazil, 2002.
- NALDRETT, A. K. E MACDONALD, A. J. Tectonic settings of Ni-Cu sulphide ores: their importance in genesis and exploration. In: D.W. Strangway (Ed.). The continental crusty and its mineral deposits. Geological Association of Canada, Special Paper 20, pp.633-657, 1980
- NARDY, A. J. R., MACHADO, F. B.; OLIVEIRA, M. A.F. Litoestratigrafia da Formação Serra Geral. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 7., 2001, Rio de Janeiro. Boletim de Resumos. Rio de Janeiro, SBG, 2001. p. 77.
- SILVA, A.B. Sistemas de Informações Geo-referenciadas: conceitos e fundamentos. Campinas, UNICAMP, 1999.
- SOARES, P. C.; Barcellos, P. E.; Cordas, S. M.; Mattos, J. T.; Balieiro, M. G.; Meneses, P. R. Lineamentos em imagens Landsat e Radar e suas implicações ao conhecimento tectônico da bacia do Paraná. In: SIMPÓSIO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2, 1982, Brasília, DF. Anais... Brasília, DF : INPE, 1982. v. 2, p. 143-156.
- WILDNER, W.; Brito, R.S.; Boni Licht, O.A.; Arioli, E.E. (coords). 2006. Geologia e Recursos Minerais do Sudoeste do estado do Paraná – Escala 1:200.000, Brasília: CPRM, 95pgs + mapas.
- ZALÁN, P.V.; Wolf, S.; Conceição, J. C. J.; As tolfi, M. A. M.; Vieira, I.S.; Appi, V.I.; Neto E. V. S.; Cerqueira, J. R.; Marques, A. The Paraná basin, Brazil. Tulsa: AAPG, 1990. p. 681-708. (AAPG Memoir, 51).