

INTEGRAÇÃO DE DADOS LANDSAT, SLAR, GEOFÍSICOS E GEOQUÍMICOS PARA
ELABORAÇÃO DE MODELOS DE EVOLUÇÃO TECTÔNICA E PROSPECTIVOS NA
REGIÃO DE MINAÇU - PALMEIRÓPOLIS (GO/TO)

CIDNEY RODRIGUES VALENTE¹
PAULO VENEZIANI²

¹CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
Rua 148, nº 485 - Setor Marista
74.001-970 - Goiânia, GO, Brasil

²INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Caixa Postal 515
12201-970 - São José dos Campos, SP, Brasil

Abstract. The present work is a contribution to the knowledge of tectonic and metalogenetic characteristics of a complex geology area, located between the São Francisco and Amazonic cratons. The study was developed based on interpretation technics obtained from spacial characteristics of remote sensing products derived from TM-Landsat and SLAR images and aeromagnetic data. Structural lineament analysis and interpretation were directed toward the kinematic definition, general characteristics of shear belts as well as their structural/tectonic implications in the control of important known mineralizations of asbesthos and Cu, Pb and Zn massive sulfide deposits. Besides, propositions of tectonic evolution of the area in study is presented as a contribution to the understanding of the regional geology. The same interpretation methodology which was taken as a regional basis, was tested on a pre-selected area, where structural lineaments were integrated with Cu, Pb and Zn geochemical images produced by Geographical Information System (SIG). The results obtained in both regional and semi-detailed scales show that the already know mineralizations in the area are tectonically controlled by a fault system associated to a shear belt. Through the structural lineament analysis, together with geological data, four important deformational phases were recognized in the area, related to different sorts of stress, sometimes compressive, sometimes extensive, associated to transpression and transtension systems. Kinematics differs along the main structural lineaments, which were developed from the Archean to the Tertiary, during the tectonic evolution of the studied area.

Introdução

A elaboração de modelos de
prospecção mineral envolve

processos de longa duração e
que requerem altos investim
entos financeiros de risco.

Uma das tentativas de encurtar prazos e reduzir custos é utilizar uma metodologia de convergência de evidências através da investigação de dados já disponíveis para a região que se quer estudar. É óbvio que os resultados desta metodologia serão dependentes da quantidade e da qualidade dos dados disponíveis.

Com o intuito de desenvolver procedimentos metodológicos através da integração de dados para chegar a um modelo prospectivo, Valente e Veneziani (1990) e Valente (1992) utilizaram dados obtidos de sensores remotos (imagens TM Landsat e mosaicos do Slar), aeromagnéticos, geoquímicos (restritos a área de Palmeirópolis) e de mapeamentos pré-existentes para região localizada na porção norte do Estado de Goiás e sul do Estado de Tocantins, limitada pelos paralelos $12^{\circ}30'00''$ e $14^{\circ}00'00''$ de latitude sul e pelos meridianos $48^{\circ}00'00''$ e $49^{\circ}00'00''$ de longitude oeste.

O presente trabalho mostra os resultados mais significativos obtidos para a região estudada.

Geologia da Área

Do ponto de vista regional a área de estudo engloba unidades infracrustais e supracrustais. As primeiras são representadas por terrenos "sensu latu" graníticos (Maciço Mediano de

Goiás e o complexo granulítico de Canabrava). As supracrustais correspondem às seqüências metavulcano-sedimentares de Mara Rosa e Palmeirópolis e aos metassedimentos das faixas de dobramentos Uruaçu (grupos Serra da Mesa e Arai) e Brasília (Grupo Paranoá). Associa-se um intenso plutonismo ácido e básico (Figura 1).

Todo o conjunto acima mencionado apresenta extrema complexidade litoestrutural-metamórfica, mostrada por ciclos formadores de rochas e orogenéticos superpostos. Tal fato evidencia que os terrenos estudados são policíclicos e polimetamórficos. Suas idades variam desde arqueanas a proterozóicas superiores e estão contidos no Cinturão de Colisão Brasília-Tocantins [Sadowiski, (1983)]. Diferentes fases deformacionais associadas a diferentes regimes de esforços, ora compressivos ora distensivos, deram origem a estruturas dúcteis, rúpteis-dúcteis e rúpteis, observáveis em escalas desde microscópicas até regionais. Os estudos relativos a estas feições estruturais aliados aos litoestratigráficos, sugerem que durante ciclos tectogenéticos, ainda não muito bem definidos no tempo, ocorreram fenômenos de deformação progressiva na região estudada. Particularmente as áreas mineralizadas, escolhidas como exemplos, caracterizam-se geologicamente como se segue.

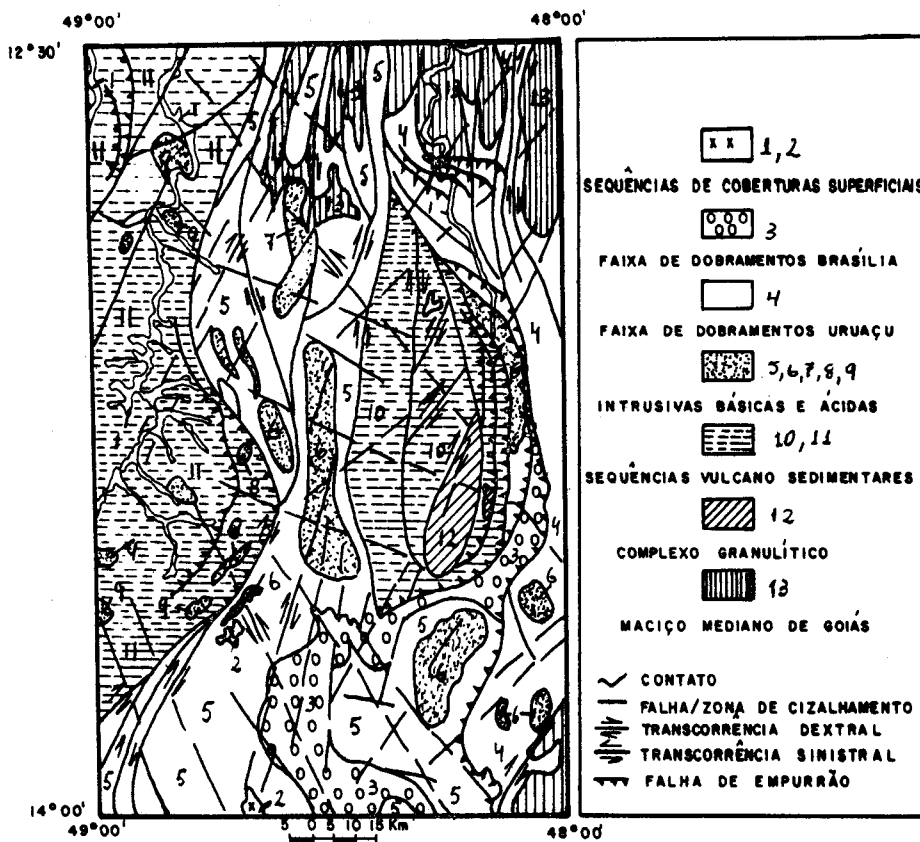


Figura 1: Mapa geológico estrutural da área de estudo (simplificado): 1. Seqüência Clástica de Gravidade; 2. Seqüência Laterítica; 3. Grupo Paranoá; 4. Grupo Arai ; 5. Grupo Serra da Mesa; 6. Granitos da sub-província Tocantins; 7. Complexo Alcalino de Peixe; 8. Granitos da suite Ipueiras; 9. Intrusivas Básicas; 10. Seqüência Metavulcano-Sedimentar de Palmeirópolis; 11. Seqüência Metavulcano-Sedimentar Mara Rosa; 12. Complexo de Canabrava; 13. Complexo Ganaissico-Granitóide.

Na região de Minaçu onde está inserido o Complexo de Canabrava (Complexo Granulítico) ocorrem rochas máficas e ultramáficas, que segundo Milewski et al. (1970), são acumulados e derivados por cristalização fracionada, sob a ação da gravidade, de um magma basáltico. Apresentam-se metamorfisadas no fácies granulito com diafóritos do fácies anfíbolito. Datações destas rochas indicaram cinco conjuntos de idades [Hasui e Almeida, (1970)], [Matsui et al. (1976)]: dois conjuntos arqueanos (+- 4.000 m.a. e +- 2:600 m.a.); um conjunto mais freqüente, Transamazônico, relacionado com a colocação do

mocico: um conjunto Uruaçuano (rejuvenescimento) e finalmente um conjunto relativo ao ciclo Brasileiro. As remobilizações arqueana e trasamazônica foram acompanhadas por serpentinização e mineralização de amianto (fibras "cross" e "slip"). Tardiamente, descontinuidades pré-existentes ou neoformadas permitiram percolações extensivas, induzindo nova serpentinização e desenvolvimento de veios de amianto com fibras "cross" [Hasui e Magalhães (1985)].

Na região de Palmeiropolis ocorrem rochas metavulcanosedimentares subdivididas em três seqüências por Figueiredo et

al. (1981): unidade basal constituída por metavulcânicas gabróicas com intercalações de xistos, quartzitos, calcixistos e metavulcânicas básicas anfibolitizadas; unidade intermediária composta por metassedimentos imaturos e metatufos ácido a intermediários e, a unidade de topo, metapelítica aluminosa. As idades desta seqüência metavulcano sedimentar registraram nitidamente os eventos Transamazônico, Uruaçano e Brasiliano [Girardi et al. (1978)].

Os trabalhos de prospecção da CPRM executados na seqüência Vulcano-sedimentar de Palmeirópolis levaram à descoberta de três corpos de minério, dos tipos maciço e disseminado de Zn, Cu e Pb, denominados corpos C-1, C-2 e C-3. Neste trabalho discutir-se-á somente as características tectônicas e suas implicações no controle do depósito do corpo C-1. É importante destacar que as mineralizações supra-mencionadas (amianto e Zn, Cu e Pb) são essencialmente epigenéticas, o que motivou a realização do estudo tectônico da região e a tentativa de elaboração de um modelo prospectivo.

Procedimentos Metodológicos

Conhecendo-se as características geológicas da área, apresentadas de forma bastante simplificada no item anterior e, de posse das fontes de dados disponíveis, isto é, imagens TM Landsat nas escalas de 1:100.000 e 1:250.000, mosaicos Slar do RADAMBRASIL na escala de 1:250.000, mapas de contorno magnético na escala de 1:100.000 do Projeto Serra da Mesa II [Bentes et al. (1973)]

e, levantamento geoquímicos de solo para Cu, Pb e Zn efetuados pela CPRM na escala de 1:10.000 para a região de Palmeirópolis, realizou-se um trabalho que pode ser resumido em duas etapas principais: elaboração de um modelo de evolução tectônica e procura do controle das mineralizações.

A primeira etapa foi desenvolvida com base na interpretação dos dados de sensoriamento remoto e aeromagnéticos. Elaborou-se um mapa, na escala de 1:100.000, contendo informações litoestruturais. A partir deste construiu-se um modelo evolutivo baseado na geometria dos traços estruturais mapeados e comparou-se tal modelo com aqueles pré-existentes teórico-empíricos (Figura 2).

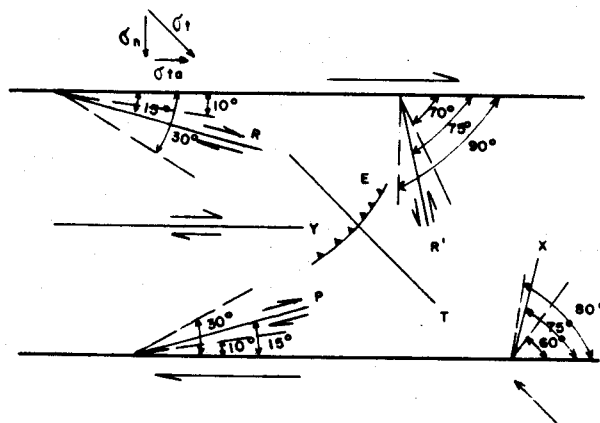


Figura 2: Modelo de cisalhamento dextral. R e R' - sintéticas e antitéticas respectivamente em relação ao movimento principal (Riedel's); P - simétrica a R e sintética em relação ao movimento principal; T - extensão; Y - sintética ao movimento principal e paralela ao mesmo; X - sintética a R'; E - empurrão com direção normal a σ_t ; σ_t - direção de máximo esforço compressivo; σ_n - esforço compressivo normal; σ_{ta} - esforço compressivo tangencial. (Adaptado de

Sadowski, 1983).

A segunda etapa consistiu na integração dos dados estruturais-tectônicos obtidos na etapa anterior com os dados geoquímicos de solo da região de Palmeirópolis. Para isto, utilizou-se um SGI (Sistema de Informações Geográficas) onde gerou-se imagens artificiais. A transformação foi realizada através do MNT (Modelo Numérico do Terreno). Como produtos obteve-se imagens fatiadas, espectrais e de relevo sombreado. Os resultados foram superpostos aos dados estruturais-tectônicos e deste modo elaborou-se um modelo do controle da mineralização para o corpo C-1.

Paralelamente realizou-se trabalhos de campo para verificação dos dados interpretativos.

Resultados Obtidos

A interpretação litoestrutural e dos traços das feições dúcteis, rúpteis-dúcteis e rúpteis observadas nas imagens TM e de radar, juntamente com os alinhamentos magnéticos, permitiram a elaboração dos mapas exemplificados de forma simplificada nas Figuras 1, 3 e 4.

Os dados do trabalho de campo somados aos anteriormente citados permitiram a elaboração de um modelo sobre a evolução tectônica da área, descrito de modo sucinto no presente trabalho.

Pelo menos quatro fases deformacionais regionais cronologicamente distintos e sob regimes diferentes de esforços foram responsáveis pelos movimentos tectônicos que resultaram na configuração

geométrica atualmente observável na região de estudo. As origens, os mecanismos e os processos evolutivos a luz dos conhecimentos atuais e por analogia com modelos teórico-empíricos descritos na literatura (neste trabalho os de Vialon et al., 1976 e Swanson, 1988), podem ser avaliados preliminarmente como se segue:

Fase deformacional compressiva arqueana - nesta fase as rochas arqueanas ensiálicas que podem, em parte, serem representantes de terrenos "granite greenstone belts" e em parte pertencentes a complexos granulíticos, foram, de forma progressiva, dobradas isoclinalmente e cisalhadas dando origem a xistosidade de fluxo (EW), e falhas de empurrão. Os eixos das dobras citadas orientam-se segundo N80W a EW com vergência para SE a S. Registros foram encontrados nas regiões de Formoso Minaçu.

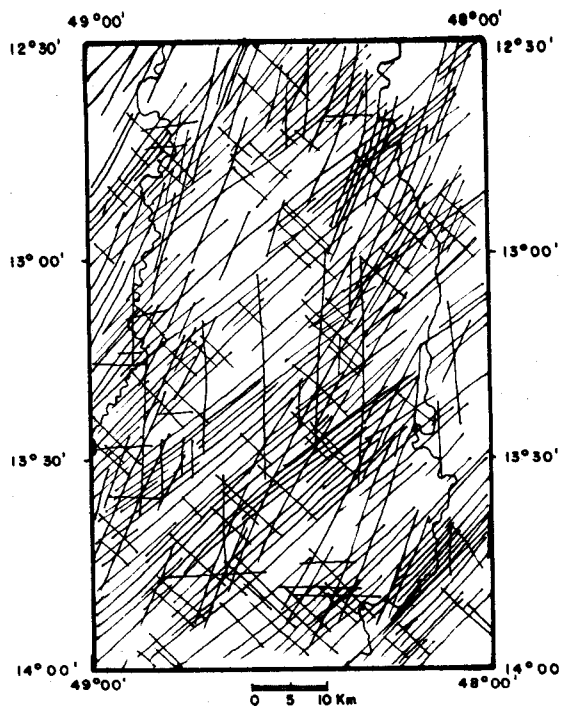


Figura 3: Mapa de lineamentos interpretados de anomalias aeromagnéticas.

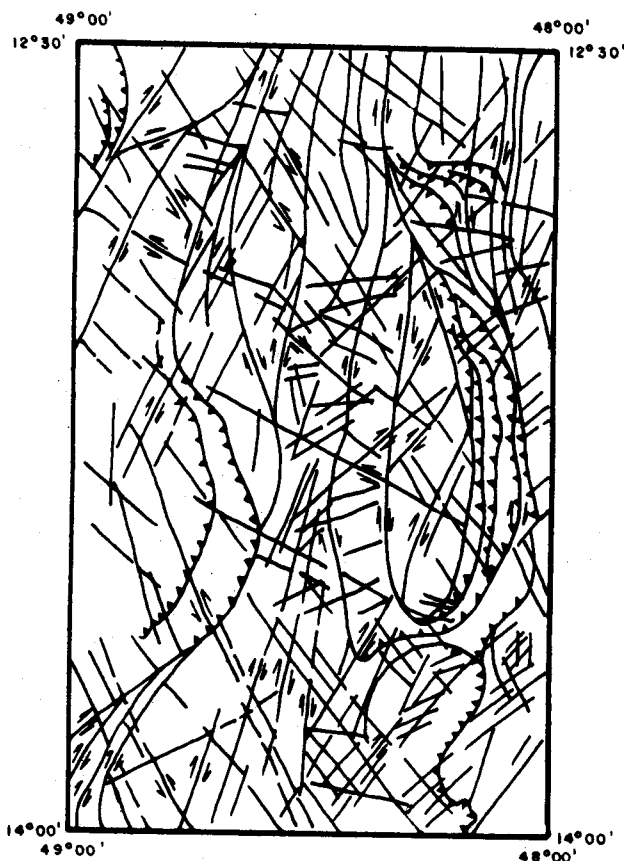


Figura 4: Mapa de lineamentos estruturais interpretados de imagens TM-Landsat a mosaico SLAR do RADAMBRASIL.

As direções estruturais N20-30E, NS; N40-50E, N40-50W e inclusive a EW, ora representam foliações cataclástico-miloníticas verticalizadas, ora conjuntos de zonas de juntas subverticais a verticais, sendo estas últimas bem mais frequentes. As primeiras, com certeza (como será visto a seguir), representam resultados da deformação progressiva arqueana. Inclusive encontram-se registradas em gnaisse tonalítico visitado em Formoso, com arrastos dúcteis ao longo da direção N20-30E indicativos de movimentos sinistrais. Tal fato pode ser explicado ao considerar-se o elipsóide de deformação com 1 submeridiano, isto é, perpendicular à direção do transporte tectônico arqueano (de N para S) que,

representa mais uma evidência confirmativa para a hipótese de cavalgamento para sul do Bloco Crustal Porangatu sobre o Bloco Brasília (H a sui e Magalhães, 1985). Ainda, que a região encontrava-se nesta fase de deformação arqueana sob um regime de transpressão característico de cinturões de cisalhamento.

Fase distensiva deformacional arqueana- proterozóica inferior - a evolução desta fase culminou com uma migração de σ_1 para a vertical. Os primeiros estágios desta migração foram marcados pela mudança de regime do cinturão de cisalhamento (transpressão para transtensão) que resultou na associação de movimentos transcorrentes e de gravidade ("oblique strike slip fault" Reading, 1980), por analogia com os exemplos dos sistemas de San Andreas e Alpino.

O estágio final, já com σ_1 na vertical é marcado por um regime extensional. Tal regime foi responsável pelo rifteamento intracontinental e sobre uma protocrosta siálica granito - gnáissica. As fossas tectônicas são balizadas por falhas normais de direção N-S, com associação de estruturas de horsts e grabens. O sistema de "rifts" foi gerado provavelmente no Proterozóico Inferior. Esses "rifts" sofreram afastamento de seus bordos, por processo provavelmente semelhante ao de deriva continental e, progressivamente, transformaram-se em bacias oceânicas, acompanhadas de deposição de sedimentos e vulcanismo diferenciado de fundo oceânico, de composição basalto-toleítica representado pela Sequência Vulcano-Sedimentar de Palmeirópolis.

Sincronicamente ocorreram a deposição de sedimentos pelíticos e psamíticos dos grupos Serra da Mesa e Arai, com contribuição de vulcanismo andesítico-básico no Grupo Arai (Proterozóico no Grupo Arai (Proterozóico Médio)).

O riftamento, formação de bacia, deposição de sedimentos e vulcanismo representam, sem dúvida alguma, a fase deformacional distensional. Foi durante esta fase que os falhamentos mais antigos da região (direções NS, NW, EW) controlaram a sedimentação e proporcionaram uma distribuição das unidades em mosaicos que até hoje, mesmo após o intenso transporte tectônico, é perceptível nos produtos de sensores remotos. Ainda é desta fase o controle sin-genético das mineralizações que ocorrem na região.

Fase deformacional compressiva do Proterozóico Médio (?), Superior (?) - são desta fase os registros estruturais mais marcantes que podem ser observados nas imagens de sensores remoto da região estudada.

Sob a ação de esforços compressivos o material que preencheu o "rift" foi deformado de maneira progressiva, através de um intenso transporte tectônico de oeste para leste, que dentre outras evidências, permitiu posicionar σ_1 horizontal, com azimute entre 75° a 85° , responsável pela tectogênese - orogênese proterozóica. Tal fase iniciou-se por dobramentos isoclinais (geração de xistosidade de fluxo) com eixos entre N30W e NS, vergência para o cráton do São Francisco e metamorfismo dinamo-termal. Esta tectogênese-orogênese deu origem a formação de dobras

recumbentes, duplicação de camadas, "nappes", "decollément", falhas inversas/empurrões (feições estruturais de nível dúctil e rúptil-dúctil). Progressivamente a zona de cisalhamento principal sofreu movimentação dextral paralela a N20-30E e as demais feições associadas movimentos segundo o modelo adotado (Figura 2).

A "estrutura em flor" de Palmeirópolis está ligada a esta fase compressional, quando a região encontrava-se em regime de transpressão (compressão de oeste para leste combinada com as transcorrências P). É uma estrutura que se desenvolve onde a dilatação na zona de cisalhamento é possível. As lentes de cisalhamento que se desenvolveram nesta fase são delimitadas por falhas anastomosadas e são responsáveis, junto com os controles sinsedimentares, pela disposição atual dos blocos litoestruturais (reflexos de antigas zonas de fraqueza crustal planetárias). Como resultados da fase deformacional em questão ocorreram rotação de unidades geológicas e remo bilizações das principais mineralizações da área, através dos sistemas Y, P e R, conforme o modelo adotado (Figura 2). Durante a deformação compressiva o cinturão de cisalhamento mudou de regime para transpressão. Este fenômeno pode estar associado a obducção do bloco. Porangatu que cavalga para leste o bloco Brasília.

Fase deformacional distensiva mesozóica terciária - é caracterizada por apresentar movimentos distensivos generalizados ao longo das direções estruturais principais da área e responsável pela

reativação destas. Tal reativação mostra a propagação de movimentos gravitacionais profundos e dá origem na superfície a conjuntos de zonas de juntas, distintos daquelas fraturas relacionadas aos dobramentos.

Após a conclusão do modelo evolutivo para a área estudada partiu-se para a análise do controle de mineralizações. Como já foi citado anteriormente, no presente trabalho limitou-se a exemplificar apenas as mineralizações de amianto de Minaçu e Cu, Pb e Zn de Palmeirópolis (corpo C-1).

As mineralizações de amianto estão controladas por fraturas geradas no evento compressivo do Proterozóico Médio (?), Superior (?). A Figura 5 mostra os veios com fibras "cross" preenchendo os sistemas de direção N15W que correspondem à direção principal de cisalhamento Y (Figura 2) e, de direção N75W, relacionado a R'. Secundariamente preenchem os sistemas de direção N50W que correspondem a X e N40-50E a R (Figura 2). Os sistemas Y (transcorrências destrais) em combinação com aqueles R (sintéticas) evoluíram para lentes de cisalhamento que crenularam as fibras "cross". Tais rupturas e deslocamentos foram acompanhados por remobilizações que originaram fibras "slip" ao longo dos planos de descontinuidade. Todos estes dados foram observados no campo. A Figura 5 é um exemplo obtido na cava B da mina de Cana Brava.

Quanto às mineralizações de Cu, Pb e Zn foi analisado o comportamento de zonas geoquimicamente anômalas, sendo consideradas as mais importantes aquelas onde

ocorrem as presenças simultâneas dos três elementos químicos (corpo C-1).

Foram geradas imagens fatiadas, espectrais e de relevo sombreado, que evidenciaram duas anomalias de primeira ordem para o Cu, o Pb e o Zn. As imagens fatiadas foram integradas no SIG com o mapa de fraturamentos (juntas e falhas) da região de Palmeirópolis, obtido através da interpretação de imagens TM e SLAR. A Figura 6a,b,c mostra o resultado desta integração.

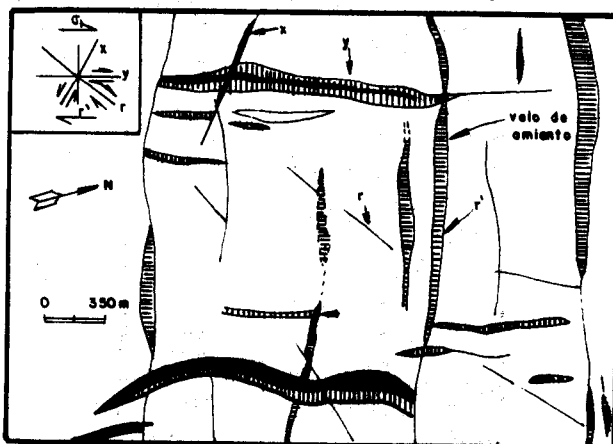
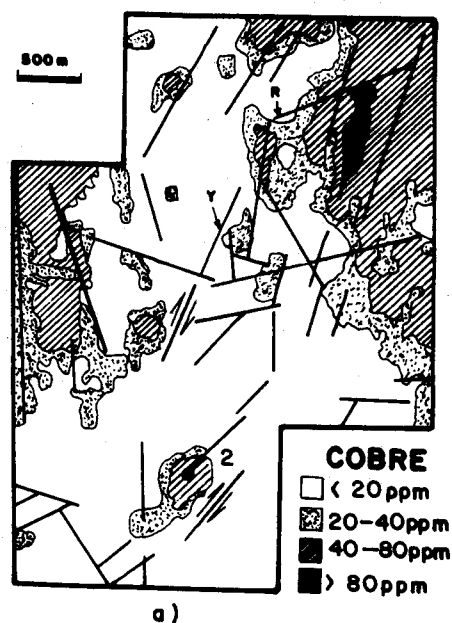
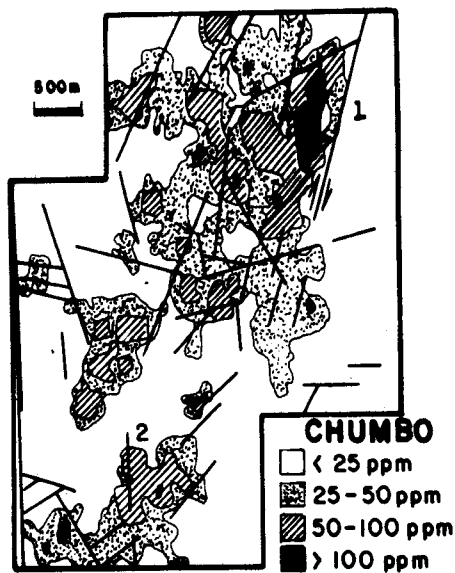
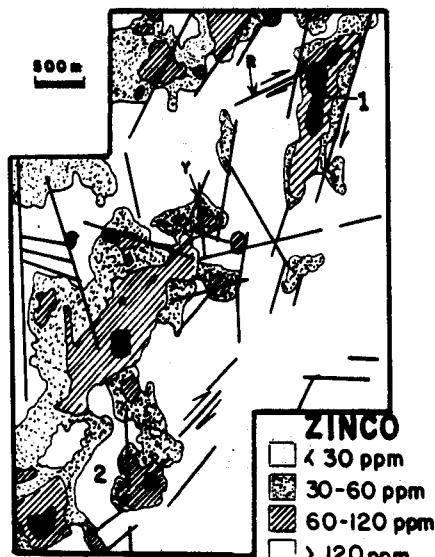


Figura 5: Amianto crisotila do tipo "cross" preenchendo fraturas Y, R' e X. Cava de mina da Canabrava (Minaçu).





b)



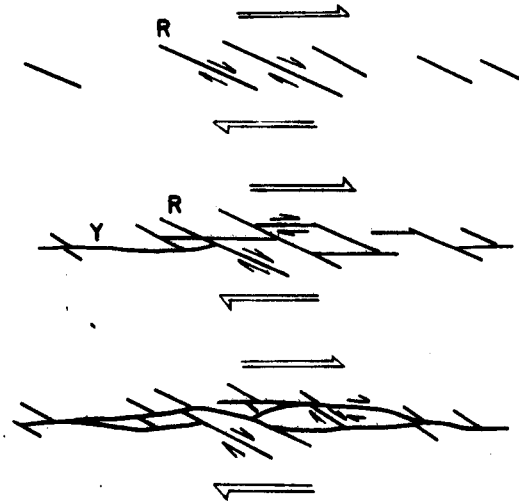
c)

Figura 6: Mapas geoquímicos (obtidos de imagens fatiadas) integrados com lineamentos estruturais. a) cobre; b) chumbo; c) zinco.

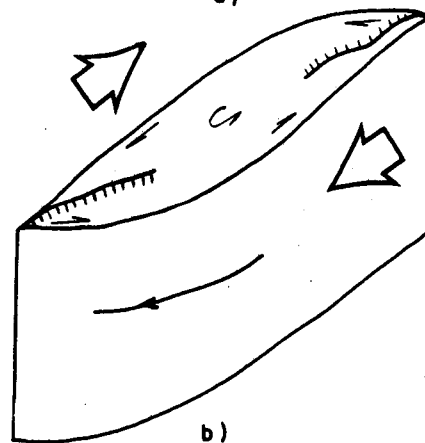
Observa-se que as duas anomalias de primeira ordem para Cu, Pb e Zn, localizadas nas porções NE e SW da figura, posicionam-se nas zonas extensionais de uma lente de cisalhamento formado pelos sistemas de fraturamento Y e R, conforme modelo proposto por Vialon et al., 1976 (Figura 7).

É importante salientar que a anomalia 1 é derivada do corpo

C-1 cuja reserva total soma atualmente 1.740.000 toneladas de minério, com teores médios de 1,25% de Cu, 1,38% de Pb e 5,18% de Zn além de 31,08 g/t para Ag e 123,70 g/t de Cd. Já a anomalia 2 localizada no extremo SW da lente de cisalhamento, ainda não foi investigada através de furos de sonda.



a)



b)

Figura 7: Lentes de cisalhamento e rotação de blocos. a) Evolução de uma zona de cisalhamento a partir de fraturas em "echelon" do tipo R e do plano de cisalhamento (falhas em tranças); b) Esquema de uma lente de cisalhamento formada através dos planos de cisalhamento e o sistema associado R (Vialon et al., 1976).

Referências

- Figueiredo, J.A. de; Leão Neto, R.; Valente, C.R. Depósitos de sulfetos maciços de Zn, Cu e Pb da região de Palmeirópolis, GO. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO CENTRO OESTE, 1., Goiânia. Ata. SBG, Núcleos Centro-Oeste e Brasília, p. 422-441, 1981.
- Girardi, V.A. et al. Algumas considerações sobre a evolução geológica da região de Cana Brava, a partir de dados geocronológicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30. Recife. Anais. SBG v.1, p. 337-348, 1978.
- Hasui, Y; Almeida, F.F.M. de Geocronologia do Centro Oeste Brasileiro. Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia, 19(1):5-26, 1970.
- Hasui, Y.; Magalhães, F.S. Modelo geométrico evolutivo das estruturas geológicas da mina de Cana Brava. Convênio IPT/SAMA. São Paulo. 1985p Inédito.
- Matsui, R. et al. Idades K-Ar do maciço básico-ultrabásico da Cana Brava, Goiás. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 29. Outro Preto. Anais. Belo Horizonte, SBG, p. 269-277, 1976.
- Milewski, J.P. et al. Excursão número 7. Região de Cana Brava. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 24. Brasília. Anais. Brasília, SGB vol. 1 p. 115-130, 1970 (Boletim Especial).
- Reading, H.G. Characteristics and recognition of strike slip fault systems. In: Ballance, P.F., Reading, H.G. Eds., Sedimentation in oblique slip mobile zones. Inter. Assoc. Sediment., 1980 p. 7-26 (sp. Publ. 4).
- Sadowiski, G.R. Sobre a geologia de cinturões de cisalhamento continentais (Tese de Livre Docência) IG/USP, São Paulo, 1988, 108 p.
- Swanson, M.T. Pseudotachylite bearing strike slip duplex structures in the Fort Brittle Zone, S. Maine. Journal of Structural Geology 10(8):813-828, 1988.
- Valente, C.R. Utilização de produtos de sensores remotos com ênfase na tectônica e prospecção mineral (Dissertação de Mestrado) INPE, São José dos Campos, S.P., 1992, 193 p.
- Valente, C.R.; Veneziani, P. Uso da tecnologia de sensoriamento remoto para estudos tectônicos e prospecção mineral. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36. Natal. 1990. Anais. SBG Núcleo Nordeste p. 1517-1528, 1990.
- Vialon, P.; Ruhland, M.; Grolier, J. Éléments de tectonique analytique. Paris, Masson, 1976. 118 p.