

## APLICAÇÃO DAS IMAGENS LANDSAT/TM E DADOS AEROGEOFÍSICOS NA PROSPECÇÃO DE SULFETOS DO *GREENSTONE BELT* RIO DAS VELHAS – MG.

SELMA MARIA FERNANDES<sup>1</sup>  
VANDERSONI MONTEIRO VIEIRA DE MORAES<sup>1</sup>

<sup>1</sup>DEGEO – Universidade Federal de Ouro Preto  
Campus Morro do Cruzeiro  
CEP 35400-000 – Ouro Preto – MG  
{Selma} selma@degeo.ufop.br  
{Vandersoni} vandersoni@aluno.degeo.ufop.br

**Abstract.** The combination of Landsat / TM, potassium aerogammaespectrometric and a aeromagnetic images permits an identification of hydrothermal alteration zones and the presence of sulfides areas (pyrite, pyrrhotite and chalcopyrite), with gossans, situated in the south of Greenstone Belt Rio das Velhas – Quadrilátero Ferrífero - MG. The microprobe analysis identified sulfide minerals.

**Key words:** Landsat / TM, aerogeophysical, sulfides, greenstone belt, gossan.

### 1 - Introdução

O Quadrilátero Ferrífero representa uma região geológica importante do Pré-cambriano brasileiro, devido às suas mineralizações, principalmente de ouro, ferro manganês e topázio. Por isto tem sido alvo de estudos sistemáticos desde meados do século XIX.

Acredita-se que com o desenvolvimento do Projeto Aerogeofísico Rio das Velhas, dos conseqüentes trabalhos de mapeamento e sensoriamento remoto que partiram deste, aliados a uma geoquímica criteriosa e possíveis datações, atingiremos uma compreensão melhor deste complexo geológico.

### 2 – Objetivos

O principal objetivo deste trabalho foi aplicar o estudo integrado de dados de sensoriamento remoto – Imagens Landsat/TM , aerogeofísica, petrografia, além de análises de microsonda, associados aos estudos da porção sul das seqüências geológicas do tipo *Greenstone Belt* do Supergrupo Rio das Velhas.

Faz-se necessário um trabalho descritivo de seqüências *Greenstone Belt*, já que as mesmas são de grande importância para a pesquisa mineral e geologia econômica.

Objetivou-se também definir litounidades dentro do Grupo Nova Lima de acordo com as respostas diferenciadas que se obteve com os resultados parciais e integrados obtidos das várias técnicas utilizadas.

### 3 – Localização e acesso

A área estudada situa-se na extrema porção sudeste do Quadrilátero Ferrífero – MG, localizada ao norte da cidade de Mariana e a leste da cidade de Ouro Preto, sendo delimitada pelos paralelos 20°09' e 20°23' de latitude sul e pelos meridianos 43°39' e 43°45' de longitude oeste. Possui uma extensão aproximada de 100 km<sup>2</sup> dentro dos distritos de Mariana e Ouro Preto, abrangendo parte de três folhas topográficas 1:50.000 do IBGE: Ouro Preto (Folha SF.23-X-A-III-4), Mariana (Folha SF.23-X-B-I-3) e Acuruí (Folha SF.23-X-A-III-2). A delimitação da área foi feita de acordo com a subdivisão do Projeto Rio das velhas (*in* Hildebrand, J.D., 1993), correspondendo ao bloco III deste levantamento aerogeofísico.

O acesso mais facilitado ao longo de toda borda oeste da área, é feito através da rodovia MG-356 (Belo Horizonte/Mariana), que faz conexão com estradas vicinais na cidade de Mariana (do bairro São Sebastião em direção à localidade de Catarina Mendes), pelo trevo de Saramenha em direção ao distrito de São Bartolomeu ou através do distrito de Cachoeira do Campo.

#### **4 – Aspectos geológicos**

A área em estudo constitui uma seqüência de rochas de idade arqueana pertencentes ao Supergrupo Rio das Velhas, que representa a base da coluna litoestratigráfica do Quadrilátero Ferrífero, que é delineado pelos metassedimentos do Supergrupo Minas – cobertura plataformar do Proterozóico Inferior. Sotoposto ao Supergrupo Rio das Velhas encontra-se o Embasamento que é constituído regionalmente por vários complexos gnáissicos: Bonfim, Caetés, Bação e Congonhas.

Geotectonicamente, o Quadrilátero Ferrífero situa-se na borda sudeste do Cráton São Francisco (Almeida, 1977), cuja região é composta basicamente de terrenos granito-gnáissicos arqueanos e transamazônicos, *greenstone belt* arqueanos e seqüências supracrustais do Proterozóico Inferior, Médio e Superior.

Nalini (1993), estudando a região conclui que a geometria das estruturas é consequência da atuação de dois eventos tectônicos, um de natureza extensional (pré-Brasiliano) e outro compressional (Brasiliano), o que corrobora com os modelos de evolução propostos por Chemale Jr. et al. (1991). Que o evento extensional foi responsável pela compartimentação geral da área, ou seja, a estruturação do Anticlinal de Mariana é reflexo de um regime extensional motivado por soerguimento generalizado de blocos do embasamento originado pelo evento extensional teve importância fundamental no condicionamento dos falhamentos e estruturas associadas ao evento compressional posterior. Os efeitos das deformações Brasilianas sobre as litologias presentes na área estudada, podem ser englobadas em um evento progressivo compressional, com vetores tectônicos dirigidos de leste para oeste.

Na tentativa de associar estes eventos à geologia econômica, Nalini op. cit. conclui que a mineralização da área ocorreu nos estágios finais do evento deformacional compressivo, já que se associa a uma paragênese de sulfetos tardi-tectônicos, os quais se posicionam em veios e fraturas. Assim, resta saber se, originalmente, os fluidos mineralizantes são pré-compressivos, isto é, percolaram durante evento extensional, sendo o ouro economicamente concentrado pelo evento compressivo, ou se são decorrentes do evento compressional.

#### **5 – Metodologia**

##### **5.1 – Sensoriamento Remoto**

O sensoriamento remoto consiste de um conjunto de técnicas e equipamentos que permite obter a distância, informações de alvos na superfície da terra através da captação da radiação eletromagnética emitida ou refletida pelos mesmos. O sol é a principal fonte de energia eletromagnética disponível para o sensoriamento remoto da superfície terrestre.

As imagens multiespectrais Landsat/TM 5, bandas 1, 2, 3, 4, 6 e 7 gravadas em fitas ccts foi um dos materiais básicos utilizados nessa pesquisa. Estas são referentes às órbitas 217.74 e 218.74, obtidas em 08/02/90 (estação úmida) e 25/07/90 (estação seca), respectivamente.

A diferenciação das estações úmida e seca é bem caracterizada nas imagens da área estudada. No período seco as imagens se apresentam mais nítidas, pois é minimizado o problema de cobertura por nuvens e a interferência da vegetação.

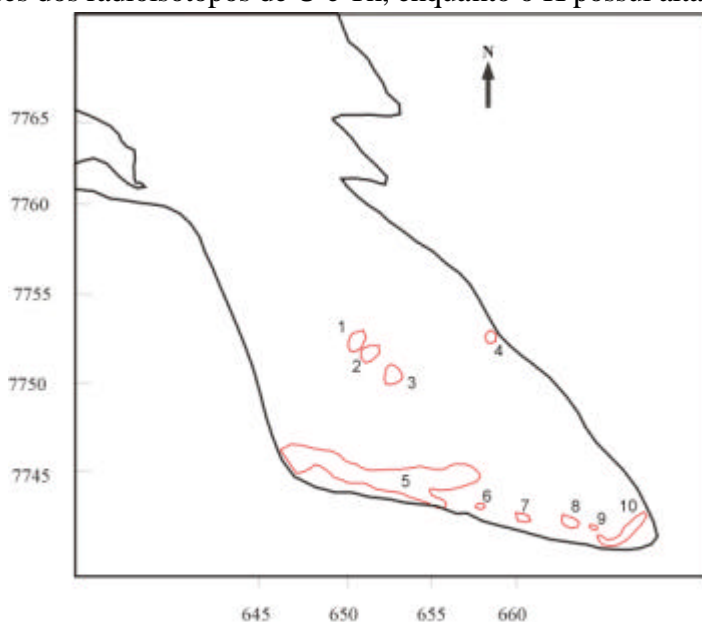
Foi necessário confeccionar um mosaico a partir das duas órbitas para melhor representar a área estudada que se dividia nestas duas imagens. A escala usada foi 1:80.000.

Foram utilizadas técnicas de realce de imagens como: aumento de contraste, composição colorida – RGB e razão entre bandas.

## 5.2 – Dados Aerogeofísicos

Os dados geofísicos empregados foram cedidos gentilmente em disquetes pela Rio Tinto Desenvolvimentos Minerais Ltda – RTZ, provenientes do levantamento aerogeofísico Projeto Rio das Velhas, realizado em 1992 pela Prospec S.A., na região do Quadrilátero Ferrífero, financiado pelo DNPM e um grupo de empresas mineradoras. As linhas de vôo foram projetadas perpendicularmente à orientação preferencial das litologias para melhor discriminação dos grupos Nova Lima e Maquiné, variando de N50E, na porção sul da área a N40W nas porções norte. O espaçamento dos perfis foi fixado em 250 m e altura de vôo em 60 m (Hildebrand, 1993).

As rochas de ocorrência na área de estudo são essencialmente metamórficas, sendo os protólitos de origem ígnea básica a ultrabásica e sedimentar; portanto apresentam baixos teores dos radioisótopos de U e Th, enquanto o K possui altas concentrações.



**Figura 1** – Esboço do mapa magnetométrico do Projeto Rio das Velhas (Fonte: CPRM, 1995). Anomalias magnéticas (□); 1, 2 e 3- rochas ultramáficas; 4- carbonato magnético; 5- itabiritos magnéticos (serra de O. Preto); 6 a 10- latossolo vermelho magnético.

## 5.3 – Observação direta no campo

Pelo princípio metodológico adotado iniciou-se a etapa de campo após o processamento e interpretação das imagens *Landsat/TM* e geofísicas. No campo pode ser confirmadas a interpretação feita nas imagens e sua relação com a vegetação, geomorfologia e solos.

Não houve mapeamento sistemático de campo numa escala pré-estabelecida; tanto as anomalias aerogeofísicas quanto as informações das imagens de satélite foram localizadas no *ER-Mapper* através das coordenadas UTM e em seguida transferidas para os mapas

topográficos na escala 1:50.000, com os quais trabalhou-se no campo para confirmação ou não das observações feitas no processamento digital.

A verificação de campo constatou a presença das anomalias magnéticas 1, 2 e 3 da **Figura 1** na unidade máfica (unidade ferrosa com argilominerais do tipo clorita e esmectita predominantemente), ao sul do distrito de São Bartolomeu (Fazenda Granjeiras e Catarina Mendes). Estas ocorrem em clorita-xistos, às vezes recobertas por *gossans*, os quais são importantes metalotectos, das mineralizações auríferas.



**Foto 1** – Afloramento da Fazenda Granjeira onde os clorita xistos se apresentam na forma de *gossans* (G) que são estruturas em *box-work* características de zonas sulfetadas.

#### 5.4 – Petrologia e Microsonda

Foram confeccionadas 20 lâminas delgadas que após sua descrição inicial foram selecionadas algumas e estudadas em microsonda para melhor interpretação dos sulfetos encontrados nas mesmas.

Amostras	CM1	CM2	CM3	CM4
Elementos				
As	0,002	0,000	0,000	0,000
Fé	60,258	29,923	60,009	60,417
Cu	0,019	34,400	0,019	0,006
Co	0,000	0,000	0,000	0,000
Ni	0,447	0,353	0,289	0,210
Zn	0,009	0,015	0,014	0,001
S	38,598	35,166	38,713	38,454
Pb	0,000	0,000	0,007	0,008
Concentração Total (%)	99,332	99,857	99,052	99,097
Mineralogia	Pirrotita	Calcopirita	Pirrotita	Pirrotita

**Tabela I** – Resultados das análises dos sulfetos em microsonda.

#### 6 – Obtenção dos Dados e Análise dos Resultados

Utilizando-se dos dados obtidos através da razão de bandas das imagens do *Landsat/TM*, junto à sobreposição dos dados aerogeofísicos foi possível identificar fortes anomalias magnéticas. O trabalho de campo com a utilização do *GPS* localizou de forma precisa essas

anomalias de *gossans* com textura *box-work* Foi coletada amostra dessa unidade que posteriormente foram descritas petrograficamente, além das análises em microsonda, para confirmação da presença dos sulfetos.

## 7 – Conclusões

A tecnologia de processamento digital de imagens de satélite *Landsat/TM* conjugada aos dados aerogeofísicos regionais mostrou-se eficiente na distinção das principais unidades litológicas da área estudada.

Os dados de aerogamaespectrometria de K apresentam resultados bastante positivos principalmente na discriminação de litologias, sendo que as unidades máficas foram identificadas pela ausência de K.

Os dados de aeromagnetometria, a observação direta no campo, assim como os estudos petrográficos associados às análises de microsonda tiveram um papel fundamental e decisivo na pesquisa e prospecção dos sulfetos e Au.

Localizaram-se as zonas de alteração hidrotermal e as áreas sulfetadas através das razões de bandas das imagens TM (3/2 e 5/7), gamaespectrometria de potássio (K), trabalho de campo, petrografia, difratometria de raios -X (DRX) e microsonda.

Devido à deformação, metamorfismo e silicificação generalizada é difícil afirmar ou garantir o protólito exato destas unidades, sem um controle mais rígido de geoquímica e datações para proposição de modelos evolutivos para a área pesquisada.

Presença de zona de alteração hidrotermal apresentando-se na porção sudoeste da área, ao sul de São Bartolomeu, onde há presença de *gossans*, pirita, pirrotita, calcopirita e Au. A zona de alteração hidrotermal foi caracterizada pelas seguintes seqüências mineralógicas:

Zona Propilítica (plagioclásio alterado, clorita, epidoto, carbonato e esmectita);

Zona Argilítica (quartzo, caolinita, clorita e esmectita);

Zona Filítica (quartzo, sericita e pirita);

Zona Argilítica Avançada (quartzo, aluminita, pirofilita, caolinita e illita);

Zona Silicificada (quartzo, aluminita, pirofilita, caolinita e illita).

As concentrações de sulfetos (pirrotita, pirita e calcopirita) e a indicação de processos hidrotermais constituem evidências favoráveis ao desenvolvimento de mineralizações de ouro na área, principalmente na unidade máfica do Grupo Nova Lima do Supergrupo Rio das Velhas. A unidade máfica foi caracterizada pela ausência de potássio e presenças marcantes de argilominerais 2:1 e minerais ferríferos, concentra-se na porção sudoeste da área. Minerais predominantes: sulfetos (pirita, calcopirita, pirrotita), goethita, clorita, esmectita, anfibólio e biotita. Minerais de ocorrência secundária: quartzo, caulinita, talco, granada, carbonato, interstratificado de illita/esmectita.

## 8 – Agradecimentos

Os autores agradecem ao Prof. Gilberto Amaral (*in memoriam*) pelo apoio dado no início dessa pesquisa.

## 9 – Referências Bibliográficas

Almeida, F.F.M. 1977. O Craton do São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*. v.7. p. 349-364.

Bicho, C.P. - 1994. Processamento digital de imagens aerogeofísicas, Landsat/TM e Radar na Folha Presidente Médice/RO com ênfase na caracterização metalogenética da suíte granítica Rio Pardo. Campinas: Inst. de Geociências da Unicamp, 1994. 93p. (Dissertação de Mestrado).

CHEMALE JR., F.; ROSIÉR, C.A.; ENDO, I. 1991. Evolução tectônica do Quadrilátero Ferrífero, MG.- Um modelo. *Rev. Pesquisas*, Porto Alegre, v.18, n.2, p.104-127.

CPRM , 1995. Projeto Rio das Velhas. Coletânea de Artigos Técnicos. SUREG/BH. Belo Horizonte, outubro/95.

Crósta, A.P. 1993. Caracterização espectral de minerais de Interesse-prospecção mineral e sua utilização em processamento digital de imagens. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 7, 1993, Curitiba. *Anais...* Curitiba: INPE, maio/1993. p.202-209.

Ferreira Jr., L.G.; Meneses, P.R.; Martins, E.S. 1993. Efeitos do intemperismo sobre o comportamento espectral de produtos de alteração hidrotermal. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 7, 1993, Curitiba. *Anais...* Curitiba: INPE, maio/1993. p. 28-35.

Filho, J.L.S.; Araújo, A.H.; Carvalho Jr.,O.A. 1994. Expresso geofísica da alteração hidrotermal no Greenstone Belt de Guarinos, Goiás. *In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO CENTRO OESTE*, 4, Brasília. *Anais...* Brasília: SBG. p.92-94.

Filho, R.A.; Vitorello, I. 1993. Uso combinado de imagens Landsat e fotografias áreas de alteração hidrotermal: uma nova abordagem em pesquisa mineral. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 7, 1993, Curitiba. *Anais...* Curitiba: INPE, maio/1993. p. 145-147.

Hildebrand, J.D. 1993. Projeto Rio das Velhas - O emprego de um multisistema aerogeofísico para prospecção de ouro na região do Quadrilátero Ferrífero-MG. *Coletânea de artigos técnicos- Projeto Rio das Velhas*. DNPM./CPRM. p. 439-444.

Meneses, P.R.; Silva, F.H.F.; Paradella, W.R.; Júnior, L.G.F. 1993. O comportamento espectral e radiométrico dos filitos carbonosos portadores de mineralizações auríferas na faixa Brasília. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 7, 1993, Curitiba. *Anais...* Curitiba: INPE, maio/1993. p.266-274.

Nalini, H.A. 1993- Análise estrutural descritiva e cinemática do flanco sul e terminação periclinal do anticlinal de Mariana e adjacências, região SE do Quadrilátero Ferrífero, MG. Belo Horizonte: UFMG/IGC, 1993. 134p. (Dissertação de Mestrado).