

IDENTIFICAÇÃO DE FEIÇÕES MORFOLÓGICAS COM SIGNIFICADO GEOLÓGICO UTILIZANDO FILMAGENS AÉREAS EM PERSPECTIVA, A BAIXAS ALTITUDES



CLIMEP – Climatologia e Estudos da Paisagem, Rio Claro, SP, Brasil – eISSN: 1980-654X – está licenciada sob [Licença Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Heitor Siqueira Sayeg [1]

Gilberto José Garcia [2]

Gustavo Marques Amorim [3]

Olavo Raymundo Júnior [4]

Mônica Giacomassi de Menezes de Magalhães [5]

INTRODUÇÃO

A utilização de filmagens aéreas no Brasil, tendo em vista os recursos existentes para a pesquisa e divulgação de informações geocientíficas, é pequena, especialmente junto à comunidade geológica. O seu uso ainda é restrito e localizado, mas as filmagens servem perfeitamente como ferramenta auxiliar na coleta de dados e pesquisas, que podem ser combinadas com fotos aéreas, imagens digitais e outras mídias. A videografia em perspectiva pode ser utilizada como um instrumento didático com excelente relação custo-benefício, além de possibilitar outras inúmeras aplicações como, por exemplo, servir de banco de dados sobre diversas regiões do país.

As sequências de cenas obtidas por meio de filmagens aéreas, em altitudes entre 600 e 1600 metros e em perspectiva, são amplamente utilizadas como material de apoio em programas de divulgação científica, em especial por renomadas produtoras como *Discovery Channel* e *National Geographic*. Os avanços tecnológicos atuais, relacionados à criação de equipamentos que permitem a aquisição de imagens estáticas e dinâmicas, permitem a captura de imagens com maior nitidez e com maior definição visual. Associada a esses avanços, observa-se

uma grande redução de custos nesses equipamentos, o que possibilita a popularização e o barateamento da logística envolvida.

O uso desse recurso em projetos de geociências ainda não atingiu a escala de utilização que pode alcançar, restando uma ampla lacuna na sua utilização como elemento de apoio às formas já utilizadas atualmente. Pode, por exemplo, propiciar aos interessados o acesso a informações de suas áreas de trabalho, a partir de uma base de dados formada por filmagens aéreas em perspectiva ou filmagens NADIR de baixa altitude.

O presente artigo apresenta exemplos extraídos de Sayeg (2007), cujas filmagens foram realizadas com câmeras digitais portáteis em aeronaves de pequeno porte, em vôos de altitudes que variaram de 600 até 1600m, na região entre os municípios de Rio Claro, Piracicaba e São Pedro, nas áreas de ocorrência do Alto Estrutural de Pitanga (SOUZA, 1997; 2002) e da Depressão de São Pedro (FACINCANI, 1995; 2000), no estado de São Paulo (SP).

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada na porção centro-norte do Estado de São Paulo e delimitada pelas coordenadas 47° 24' W e 48° 15' W / 22° 08' S e 22° 45' S. As principais rodovias existentes na região são as rodovias SP-330 (Anhanguera), SP-348 (Bandeirantes) e a SP-310 (Washington Luis). Além destas rodovias principais, existe uma densa malha viária intermunicipal composta de diversas vias secundárias e vicinais, além de diversas vias de servidão, que permitem o rápido e fácil acesso terrestre a todos os pontos amostrados na área (Figura 1).

No centro da área de estudo está o município de Rio Claro. As cidades de Limeira, Piracicaba, Brotas e Leme atuam como limites referenciais e geográficos da área selecionada (Figura 2).

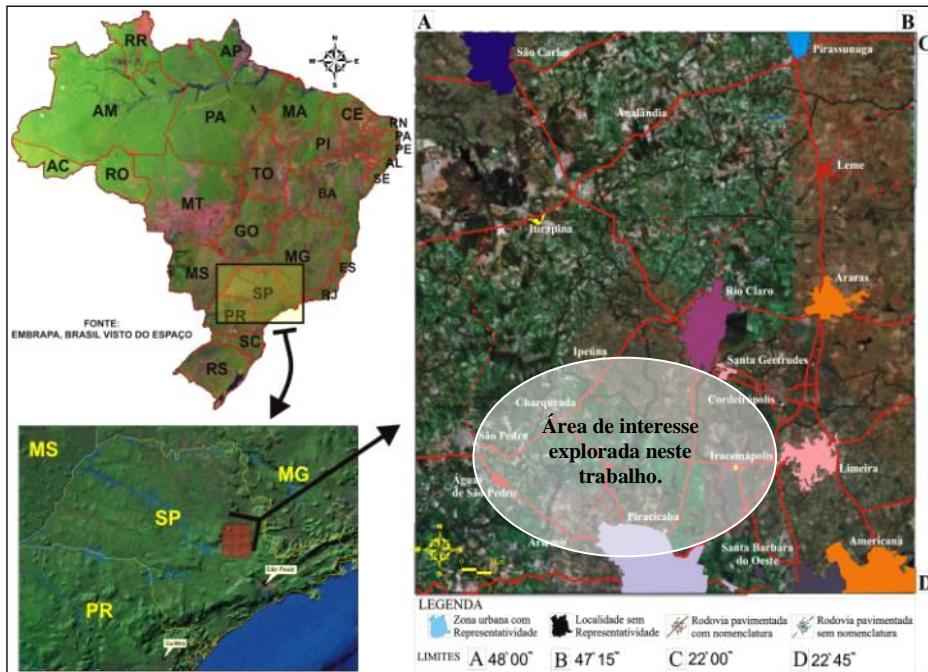


Figura 1 – Localização da área de estudos (Adaptado de: AMORIM, 2005, p.1.)

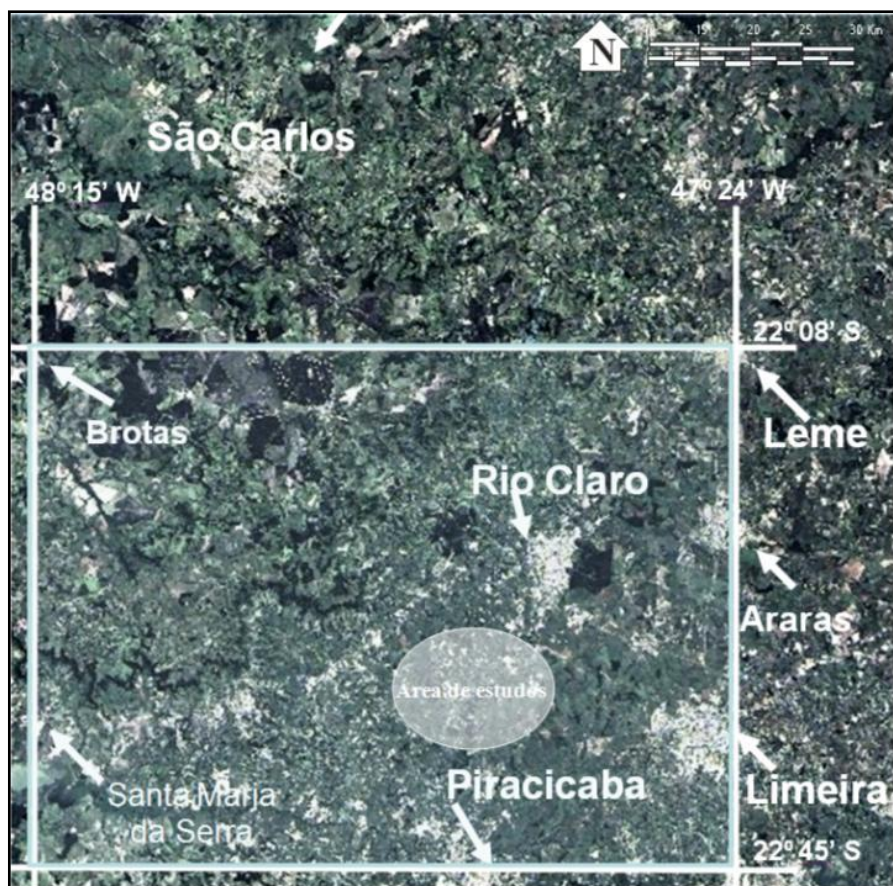


Figura 2 – Cena de satélite “LANDSAT TM 7 ETM+” (WRS 220/075 de 20/08/2000), com a localização da região de interesse.

A coluna estratigráfica para a região de estudo é composta por rochas do setor paulista da Bacia Sedimentar do Paraná (ALMEIDA, 1964), especificamente no flanco nordeste, onde são encontradas diversas unidades litoestratigráficas de idades Paleozóicas, Mesozóicas e Cenozóicas (PERINOTTO; LINO, 2007) (Tabela 1).

ERA	UNIDADE	DESCRIÇÃO: 1 - Litotipos / 2 - Estruturas / 3 - Ambiente de formação da unidade
C E N O Z Ó I C O	Depósitos aluvionais	1- Arenitos Areno-argilosos. 2- Sem estruturas. 3-Atual.
	Coberturas Indiferenciadas	1-Arenitos, argilas e conglomerados. 2-Sem estruturas. 3-Atual
	Formação Rio Claro	1-Arenitos mal selecionados, amarelo - avermelhados. 2-Estratificação cruzada, de corte e preenchimento. 3-O ambiente era de condições continentais maiormente fluviais, localmente com pequenos lagos, em clima semiárido.
	Formação Pirassununga	1- Arenitos, conglomerados. 2-Estratificação plano-paralela e de canal Sem estruturas. 3-Atual.
M E S O Z Ó I C O	Formação Itaqueri (Terciário -Cretáceo)	1- Arenitos e conglomerados com marcante silicificação. 2-Estratificações plano-paralelas e cruzadas. 3- Leques aluviais, correspondentes à reativação do soerguimento da Serra do Mar, em árido a semiárido.
	Formação Serra Geral e Rochas Intrusivas (Eo - Cretáceo)	1-Rochas magmáticas basálticas extrusivas, diques e soleiras de diabásio. 2-Juntas verticais e horizontais. 3-A origem relaciona-se ao extenso magmatismo de fissura ocorrido no início do período Cretáceo.
	Formação Botucatu (Eo - Cretáceo) (Neo - Jurássico)	1- Arenitos bem selecionados, amarelados e avermelhados. 2-Estratificação cruzada de grande porte. 3- A origem dessa unidade está indubitavelmente ligada aos desertos que cobriram a região sul e sudeste do Brasil ao final do Jurássico e início do Cretáceo.
	Formação Pirambóia (Triássico)	1-Arenitos finos e médios, com níveis conglomeráticos (principalmente na base), de cores avermelhadas e amareladas. 2-Estratificação cruzada planar e acanalada e plano paralela. 3-Rochas originadas em situações flúvio-desérticas, com migração de dunas de areia e regiões interdunas mais úmidas.
P A L E O Z Ó I C O	Formação Corumbataí (Neo - Permiano)	1-Siltitos e argilitos cinza-avermelhados /esverdeados e arroxeados. Lentes e camadas de arenitos muito finos. 2-Fraturas conchóide. 3-Ambientes marinhos costeiros e pantanosos (principalmente dominados por marés) e eventualmente lacustres. O clima deveria ser mais quente e seco que o existente na época da geração dos sedimentos da Formação Irati.
	Formação Irati (Permiano)	1-Folhelhos acinzentados do Membro Taquaral (inferior) e as intercalações de calcários dolomíticos e folhelhos pretos pirobetuminosos do Membro Assistência (superior). 2- Laminação paralela, cruzada e marcas de ondas. 3-Corpo marinho fechado, à semelhança de um golfo com águas calmas e rasas.
	Formação Tatuí (Permiano)	1- Siltitos, argilitos, níveis e lentes de arenitos e calcários. 2-Estratificação plano-paralela, cruzada acanalada, marcas de onda. 3- Ambiente pós-glacial associado a ambientes marinhos rasos, às vezes restritos, plataformais, com atuação principalmente de marés e subordinadamente de ondas. Localmente encontram-se processos relacionados a leques costeiros e de mar aberto.
	Grupo Itararé (Neo – Carbonífero)	1- Ritmitos, arenitos dispostos em lentes e camadas, conglomerados, siltitos, argilitos, diamictitos e tilitos. 2- Marcas de onda, laminação cruzada e estratificação plano-paralela. 3- Interação entre correntes aquosas de diferentes intensidades e profundidades, decantação em águas paradas profundas e rasas, ondas, deslizamentos e fluxos gravitacionais. O clima era glacial, com avanços e recuos de geleiras com sedimentos parcialmente ressedimentados em situações fluviais, litorâneas e marinhas.

Tabela 1 - Coluna estratigráfica com descrição das unidades litoestratigráficas presentes na área. Adaptado de Perinotto e Lino, (2007).

O quadro geomorfológico para a área de estudo, segundo Almeida (1964), engloba partes da Depressão Periférica, as “Cuestas basálticas”, e partes do Planalto Ocidental Paulista (Figura 3), sucintamente descritas como:

1 - Depressão Periférica: constituída principalmente de arenitos, com unidades estratigráficas formadas por siltitos, argilitos e calcários. Possui relevo com formas onduladas ou tabuliformes, destacando-se na paisagem esparsos morros testemunhos (notadamente em sua porção ocidental) e pequenas *cuestas*. Predomina na sua maior parte a grande amplitude topográfica, com vales amplos e suaves;

2 - Cuestas Basálticas: formadas principalmente de camadas de rochas areníticas e basálticas. Apresentam-se no relevo como alinhamento de escarpas, com cortes abruptos e íngremes em sua parte frontal e declive suave em seu reverso;



Figura 3 – Mapa Geomorfológico semidetalhado para o estado de São Paulo, com a localização da área de estudo. Adaptado de Almeida (1964).

Os avanços tecnológicos que ocorreram na década de 1990 permitiram a inclusão de novas variáveis em modelos tradicionais. Em estudos recentes, como o elaborado por Ross e Moroz (1997), uma nova classificação de unidades de relevo para o Estado de São Paulo é proposta e leva em conta os litotipos existentes, a rede de drenagem, a altimetria, o clima e a tectônica atuante na formação das unidades atuais (Figura 4). Com base nessa classificação, adota-se a unidade

morfoestrutural da “*Bacia Sedimentar do Paraná*”, caracterizada pela presença de terrenos sedimentares do Devoniano ao Cretáceo, com forte ocorrência de rochas vulcânicas e intrusivas associadas, formadas no Jurássico-Cretáceo, principalmente ao sul da bacia. Utilizando a proposta de Ross e Moroz (1997), na área coberta são observadas as seguintes unidades morfológicas:

1 - Planalto Ocidental Paulista: com relevo levemente ondulado, onde predominam as colinas amplas e baixas com topos aplainados;

a - Planalto Centro Ocidental: Possui formas de relevo denudacionais, onde se destacam as colinas amplas e baixas com topos convexos, aplainados ou tabulares. Os entalhamentos médios dos vales apresentam-se inferiores a 20 metros, as distâncias interfluviais médias situam-se entre 1.750 e 3.750 metros, as altitudes variam entre 400 e 700 metros e as declividades médias das vertentes entre 2% e 10%. Os rios apresentam padrão paralelo com orientações de traçados ligeiramente vergentes em direção ao rio Paraná. A densidade de drenagens é baixa e os vales são pouco entalhados, apresentando baixa dissecação. Em geral, as encostas apresentam baixo nível de fragilidade potencial, porém as vertentes mais inclinadas são extremamente susceptíveis aos processos erosivos;

b - Planalto Residual de São Carlos: Esta unidade situa-se no reverso das cuestas, no domínio do interflúvio Tietê/Mogi-Guaçu. As formas de relevo predominantes são as denudacionais, formadas por colinas de topos convexos e tabulares. O entalhamento dos vales varia de 20 a 80 metros e a distância média dos interflúvios de 250 a 3.750 metros. As altitudes predominantes estão entre 600 e 900 metros, a declividade das vertentes varia de 2% a 30% (estes altos valores são encontrados nos setores mais dissecados, que apresentam nível de fragilidade alto a muito alto). A densidade de drenagens situa-se entre média e alta.

2 - Depressão Periférica Paulista: Esta unidade morfológica coincide quase perfeitamente com a área de ocorrência dos sedimentos paleo-mesozóicos de idades permo-triássicas da bacia do Paraná, no estado de São Paulo. São observados vários modelados derivados da atividade neotectônica, da diversidade de litologias e das diferenciações paleoclimáticas. Na média, as altitudes oscilam entre 600 e 750 metros, possui densa rede de drenagem (os principais rios são: Tietê, Paranapanema, Mogi-Guaçu e Pardo), que possuem curso consequente em direção ao Rio Paraná.

a - Depressão do Médio Tietê: Nesta unidade as formas de relevo são denudacionais com modelado basicamente formado por colinas de topos amplos tabulares e convexos, onde os vales têm entalhamento predominante até 20 m e distâncias interfluviais variando de 750 a 3.750 m. As altimetrias estão entre 500 e 650 m, enquanto as declividades variam entre 5% e 10%. As litologias encontradas nesta unidade são basicamente diabásios e arenitos. A rede de drenagem apresenta-se com alto grau de organização destacando-se o rio Tietê e seus dois afluentes, o rio Piracicaba e o rio Sorocaba.

hélice), estrutura e hélice de madeira e tubos estruturais de aço cromomolibdênio;

– O segundo modelo usado foi um “*Piper J3C-65 L-4 Cub*”, que possui as mesmas características técnicas e operacionais do “*Paulistinha CAP-4*”, mas que difere na posição dos tripulantes. Neste caso, os tripulantes têm seus assentos lado a lado.

– Para capturar as imagens foi utilizada uma filmadora digital semiprofissional portátil SONY, modelo 450;

Após a execução dos voos, as rotas percorridas foram inseridas em imagens de satélite para incrementar o nível de referência regional:

- a) Imagens Digitais de Satélite: Foram utilizadas imagens digitais do satélite LANDSAT TM7, cena completa obtida em agosto de 2000, obtida no Instituto de Geociências e Ciências Exatas (IGCE – UNESP);
- b) Cartas topográficas na escala 1:50.000, elaboradas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), das folhas de Rio Claro, Assistência, Piracicaba, Araras, Limeira, Itirapina;
- c) Mapas temáticos impressos sobre a geologia e a geomorfologia nas escalas 1:100.000 e 1:250.000;
- d) Atividades de campo em áreas previamente escolhidas para controle das informações obtidas por meio das consultas bibliográficas e filmagens.

Tratamento dos Dados

As imagens de satélite apresentadas neste trabalho foram utilizadas como base de trabalho e como figuras ilustrativas. Foram realizados georreferenciamento das imagens e realce de contraste, “*transformação IHS*”, e utilizados os filtros “*Passa-Alta*” e “*Passa-Baixa*”, além de técnicas de filtragem direcional para destacar estruturas de orientação NE e NW. Esses recursos estão disponíveis no *Software Spring*, versão 4.3.3, utilizado pelos autores. Nele, foram elaboradas as composições coloridas, feitas as filtrações de dados, as análises estruturais e a definição de domínios morfológicos, dos padrões de drenagens, e extraídas outras informações. As imagens selecionadas foram salvas nos formatos JPEG ou TIFF e dimensionadas aos tamanhos finais de impressão e visualização nos *softwares CORELDRAW* (versão 12.0) e *Microsoft Office Picture Manager*.

As sequências dinâmicas de filmagens foram efetuadas utilizando-se uma filmadora digital que gerou, aproximadamente, nove horas de fitas de vídeo em formato “Mini-DV”. Este formato de captura de imagens foi escolhido para evitar perda de qualidade no momento da conversão para outros tipos de mídias. O material gerado foi digitalizado no software “MIDIA 100”, instalado em equipamento nos estúdios de produção audiovisual (CETEC) da Fundação Hermínio Ometto – UNIARARAS, cujo uso foi gentilmente autorizado pela direção da instituição.

A conversão para formato digital permitiu que os produtos gerados pudessem ser transferidos para mídias como CD ROM, DVD e *Pendrives*, facilitando o seu manuseio e edição. Os vídeos foram editados nos softwares *Windows Movie Maker* e *Adobe Premiére*, onde foram feitas as seleções de sequências, correções de cor, contraste e luminosidade. Os frames isolados foram tratados no *software Adobe Photoshop*, versão 11, para realçar detalhes ou corrigir eventuais ruídos ou distorções de tons.

A imagem de satélite utilizada neste trabalho foi gerada pelo “LANDSAT TM 7 ETM+”, datada de agosto de 2000 e composta pelas bandas de espectro 1, 2, 3, 4, 5, 6.1, 6.2, 7 e 8 (Tabela 2). Esse conjunto de bandas abrange uma faixa do espectro eletromagnético que inclui das cores do visível até o infravermelho médio, uma faixa “*pancromática*” e duas faixas do infravermelho termal.

Satélite	Landsat TM7	Sensor ETM+	Resolução Espacial
Bandas	Faixa espectral	Banda espectral	
1	0,450-0,515 m	Azul-Verde	30m
2	0,525-0,605 m	Verde	30m
3	0,630-0,690 m	Vermelho	30m
4	0,75-0,90 m	Infravermelho próximo	30m
5	1,55-1,75 m	Infravermelho médio	30m
6	10,4-12,5 m	Infravermelho termal	60m
7	2,09-2,35 m	Infravermelho médio	30m
8	0,50-0,90 m		15m

Tabela 2 – Características do sensor ETM+. Fonte: EMBRAPA, 2007.

A estrutura do trabalho foi elaborada com a conversão da imagem fonte do formato “TIFF” para formato “GRIB” no módulo IMPIMA do *software SPRING*, a

criação de um banco de dados e do projeto, além da definição do modelo de dados e dos diversos planos de informação.

As composições coloridas mais usadas foram (Figuras 5 e 6):

Composição 1:

Banda 1 associada ao canal B

Banda 2 associada ao canal G

Banda 3 associada ao canal R

Composição 2:

Banda 5 associada ao canal B

Banda 3 associada ao canal G

Banda 4 associada ao canal R

A Composição 1 gerou uma imagem construída pelo “*tripleto*” 1B - 2G - 3R, onde o comprimento de onda correspondente à cor azul da banda 1 está associado ao canal B (azul) do monitor RGB. Assim, igualmente, os comprimentos de onda das cores verde (banda 2) e vermelha (banda 3) estão associados aos canais “*Green*” e “*Red*” do monitor RGB nesta composição, que fornece uma base de cores natural.

O ajuste das variáveis “*intensidade - cor - saturação*” ou “*transformação IHS*” foi utilizado para obter melhor resolução espacial, fornecida pela banda pancromática (banda 8, Tabela 2). As operações de “*realce de contraste*” e a aplicação de filtros direcionais “*Passa-Alta*” visaram destacar as principais estruturas geológicas regionais. A imagem resultante foi utilizada como base para o aplicativo desenvolvido em ambiente “*FLASH*”, um dos produtos gerados pelo doutoramento. O aplicativo serviu para integrar informações de vídeo, texto e gráficos, e expor essas informações em uma interface interativa e amigável para públicos diversificados (FIGURA 7).



Figura 5 – Cena de satélite LANDSAT na composição 3R2G1B, tratada com Realce de Contraste por Equalização de Histograma. LANDSAT, 2000.

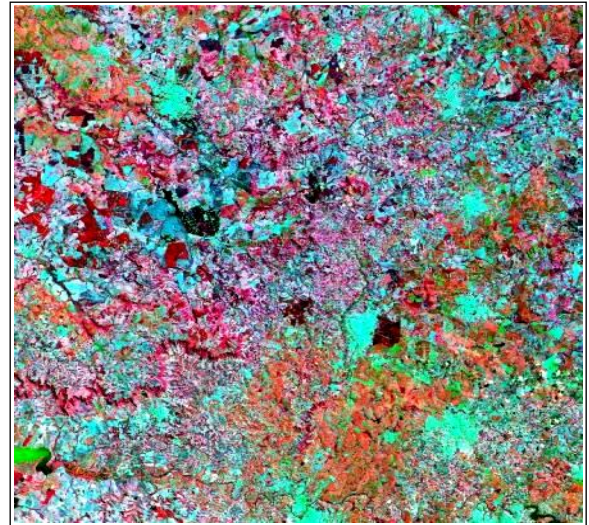


Figura 6 – Cena de satélite LANDSAT na composição 4R3G5B, tratada com Realce de Contraste por Equalização de Histograma. LANDSAT, 2000.

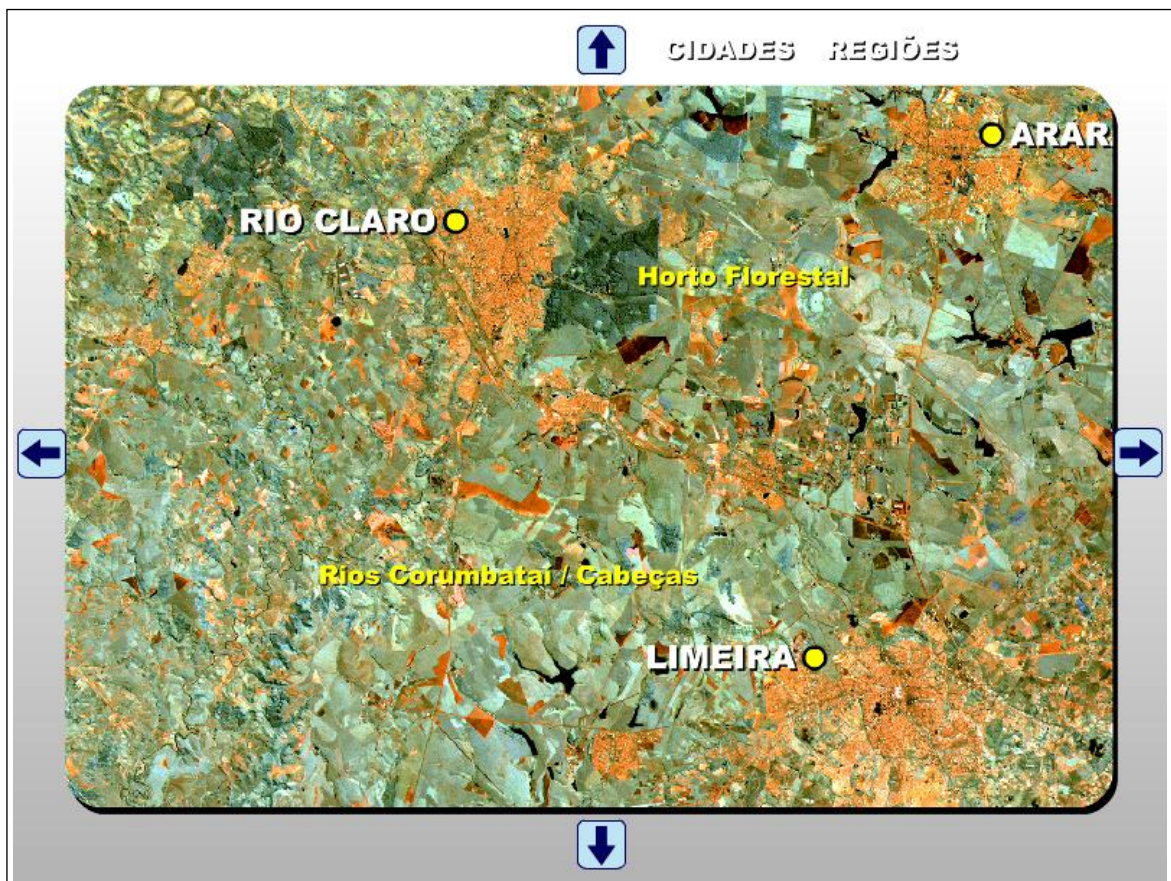


Figura 7 – Apresentação do Flash, com a base cartográfica sobre a qual são lançadas as informações e filmes. (SAYEG, 2007).

EXEMPLOS DE APLICAÇÕES

As áreas filmadas, apresentadas na Figura 8, têm sido continuamente mapeadas, descritas e interpretadas em um grande número de trabalhos com abordagens diversas, ao longo dos últimos 50 anos. As feições que são destaque nas filmagens aéreas, descritas nesses trabalhos, são pertencentes ao Alto Estrutural de Pitanga (ALMEIDA, 1964; RICCOMINI, 1992^a; 1992^b; 1995; MELO, 1995; SOUSA, 2000; 2002; FACINCANI, 2000, entre outros autores). Estão representadas cartograficamente em escalas diversas, em gráficos, plantas, Modelos Tridimensionais de Terrenos (MDT), registradas em imagens de satélites e em fotografias aéreas.



Figura 8 – Localização de algumas das áreas registradas por filmagem aérea. (SAYEG, 2007).

O material obtido pelas filmagens aéreas de baixa altitude foi integrado com outras mídias para testar o seu nível de interatividade e eficiência em transmitir informações para os usuários, complementando outros formatos. Assim, tentou-se verificar a capacidade da videografia para coletar dados geológicos de campo, identificando aspectos relevantes, e explorar a potencialidade e a eficácia da sua aplicação em visadas em perspectiva, associadas com tomadas ortogonais.

O ALTO ESTRUTURAL DE PITANGA (SUL DE RIO CLARO)

O Alto Estrutural de Pitanga, segundo Sousa (1997; 2002), é configurado como uma área fortemente condicionada pelo arranjo de lineamentos orientados a NW, E-W e NE, relacionados às zonas de falhas normais, nos quais os feixes E-W controlam os principais desníveis do relevo, bem como as principais frentes de dissecação.

As estruturas mencionadas acabam por condicionar os padrões de drenagem, visíveis no acentuado paralelismo existente na drenagem (Figura 9). Essa área, ainda hoje, está submetida a processos dinâmicos de estruturação do relevo.

As imagens de satélite fornecidas pelo *software Google Earth* apresentam uma visualização de maior escala da área. Uma visada segundo direção “S-SE”, em voo de baixa altitude (aproximadamente 250 metros do solo), forneceu a visualização da geometria da confluência dos rios Corumbataí e Passa-Cinco, fortemente condicionada por controle estrutural, apresentada na Figura 10.

Estruturas de captura e o estilo de controle estrutural de meandros e de segmentos do curso do rio Corumbataí na região de influência do Alto Estrutural de Pitanga podem ser observados na Figura 11.



Figura 9 – Padrões de drenagem mostrando forte controle estrutural de direção NW. Na parte superior do frame, pode-se observar lineamento NNE truncando o padrão estrutural NW e isolando o domínio morfológico que se estende até as escarpas, ao fundo da foto (SAYEG, 2007), extraído de filmagem realizada em setembro de 2006, altitude de voo 1000 m.



Figura 10 – Confluência dos rios Corumbataí e Passa-Cinco, mostrando forte controle estrutural. Ao fundo na cena, pode-se observar a estruturação horizontal das unidades pertencentes à Formação Corumbataí. As escarpas estão demarcadas pela densa cobertura arbórea. (SAYEG, 2007). Extraído de filmagem realizada em setembro de 2006, altitude de voo 900 m.



Figura 11 – Dobras em cotovelo, paralelismo de curso e estruturas de captura de drenagem. Notar no centro da foto a curiosa geometria dos meandros. (SAYEG, 2007). Extraído de filmagem realizada em setembro de 2006, altitude de voo 1100 m.

As Figuras 12 e 13 apresentam outros exemplos de informação visual comparativa, fornecidos pelas filmagens e por imagens de satélite. A Figura 12, retirada de filmagem realizada em março de 2004, ilustra uma feição geográfica comumente reconhecida em mapas e imagens. A Figura 13 foi extraída de cena do satélite *LANDSAT TM7*, realçada. As setas indicadas nas figuras 12 e 13 apontam o mesmo local da drenagem.



Figura 12 – Comparativo das informações visuais fornecidas pela filmagem de baixa altitude e por satélite. Comparar com a imagem de satélite da figura 11. (SAYEG, 2007). Extraído de filmagem realizada em setembro de 2006, altitude de voo 900 m.

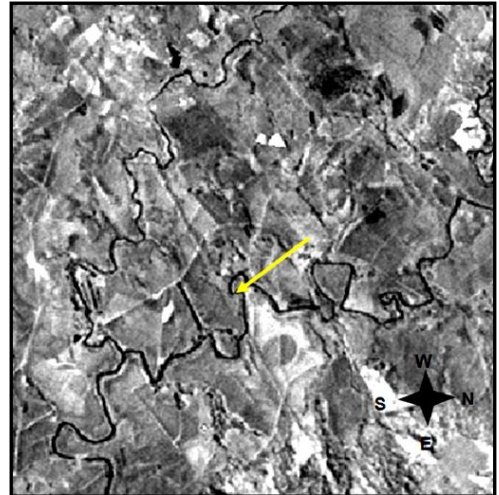


Figura 13 – Detalhe da confluência dos rios Corumbataí e Passa Cinco na área do Alto Estrutural de Pitanga. Imagem realçada. Banda 5 do sensor ETM+ do satélite LANDSAT TM7.

A aplicação das imagens extraídas das filmagens resultou ainda na identificação de zonas morfologicamente homogêneas em escala de detalhe, mostradas nas Figuras 12 e 13. Em altitudes que variam de 100 até 1500 metros de altura do solo, as escalas possíveis de observação são variadas. As altitudes próximas de 300 metros acima do nível do solo são muito eficientes para a identificação destas regiões homogêneas. A Figura 14 ilustra o limite norte do Alto Estrutural de Pitanga, onde ficam evidentes as diferenças na organização dos padrões de drenagem e na morfologia dos elementos de relevo.

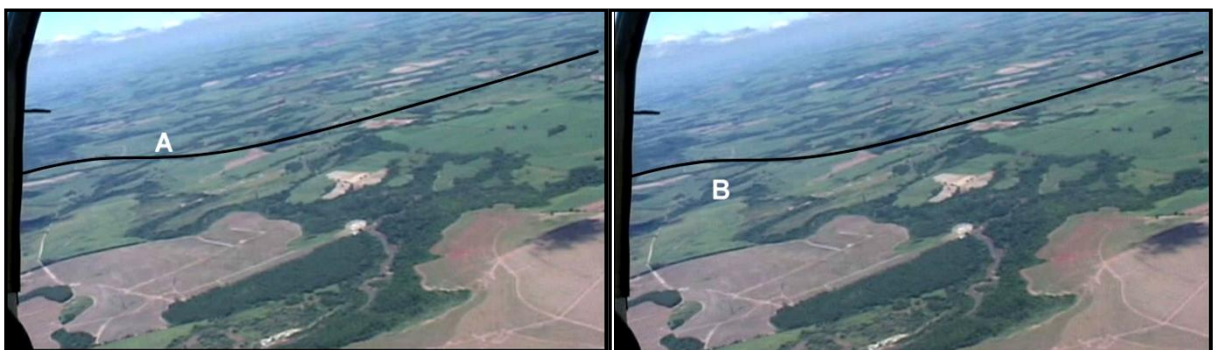


Figura 14 – Região de Assistência, distrito de Rio Claro, SP. Limite norte do Domo de Pitanga, identificado pelos contrastes nos padrões morfotectônicos, destacados pelas drenagens, separados pela linha A e B. (SAYEG, 2007). Extraído de filmagem realizada em setembro de 2006, altitude de voo 1000 m.

REGIÃO A NORTE DO MUNICÍPIO DE IPEÚNA

O frame que compõe a Figura 15 foi extraído de uma filmagem realizada em outubro de 2006. A cena foi tomada em visada de direção WNW, com altitude média do voo em 400 metros do solo. As diferenças de densidade e os padrões de drenagem observados evidenciam a presença de duas zonas morfotectônicas distintas, separadas por divisores de água associados a lineamentos de orientação NNE.



Figura 15 – Região do distrito de Batovi, município de Rio Claro, SP. Ao fundo da imagem observam-se o Morro da Guarita e o Morro do Bizigueli. Observar, entre diversas estruturas notáveis, um lineamento de direção NW (indicado pela seta branca) e o divisor de águas identificado pelo segmento AB, o qual também constitui parte do limite entre domínios morfológicos distintos. (SAYEG, 2007). Extraído de filmagem realizada em setembro de 2006, altitude de voo 1500 m.

A DEPRESSÃO DE SÃO PEDRO

A Depressão de São Pedro, segundo Facincani (1995; 2000), compõe “um dos dois grandes Blocos Morfotectônicos que ocupam a porção ocidental da Depressão Periférica. Esses blocos (I e II) estão delimitados por duas zonas de falhas transcorrentes dextrais de direção E–W”. Foram identificados dois eventos tectônicos na área (CORDANI et al. 1984; HASUI et al. 1989; ZALÁN et al. 1991 apud PIRES NETO, 1996; ZALÁN et al. 1991; HASUI; MIOTO, 1992; LIMA, 1999; RICCOMINI, 1989; 1995; RICCOMINI et al.1991), sendo que o primeiro está relacionado a um regime tectônico distensivo pré-atual e o segundo como sendo de caráter transcorrente dextral e atual.

Sousa (1997; 2002) descreve evidências de movimentação horizontal dextral e sinistral nos sistemas de falhamentos “*Passa Cinco - Cabeças e Ipeúna - Piracicaba*” e identifica esse padrão de movimento preferencialmente nas falhas NW-SE. Segundo a autora, as maiores concentrações de estruturas ocorrem segundo as direções N43E/89SE e N42W/88SW.

O regime distensivo pré-atual condicionou a sedimentação das coberturas terciárias. As falhas de rejeito direcional são decorrentes de movimentação transcorrente atual, ligada à rotação da Placa Sul-Americana para oeste. O regime transcorrente reconhecido na região afeta, inclusive, depósitos coluvionares modernos. Ambos os regimes reativaram descontinuidades preexistentes, evidenciando caráter recorrente do tectonismo na área.

As principais feições estruturais são representadas por falhas normais relacionadas ao regime transtensivo dominante (direção NW/SE); falhas transcorrentes dextrais de direção E–W (Figura 16); falhas transcorrentes sinistrais de direção aproximada N/S e falhas inversas de direção NE–SW (FACINCANI, 2000).



Figura 16 – Expressão morfológica de falhas de direção WNW cortando a imagem. Na parte inferior e na parte superior da foto, podem-se observar padrões morfológicos diferentes, separados por claro lineamento evidenciado pelo ângulo de visada, feita segundo SE. (SAYEG, 2007). Extraído de filmagem realizada em setembro de 2006, altitude de voo 2000 m.



Figura 17 - Aspectos do padrão erosivo da formação Pirambóia, na região a norte de São Pedro. (SAYEG, 2007). Extraído de filmagem realizada em setembro de 2006, altitude de voo 1400 m.



FIGURA 18 - Apresenta uma área sofrendo soerguimento atual, uma feição evidenciada pelo ângulo da visada, onde se nota a vergência das drenagens em sentidos opostos. (SAYEG, 2007). Extraído de filmagem realizada em setembro de 2006, altitude de voo 1800 m.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho apresentou uma das muitas possibilidades vislumbráveis para a visualização de feições geológicas que tenham expressão morfológica por meio de filmagens aéreas em perspectiva, em voos de baixa altitude. A grande vantagem deste método é o baixo custo, fácil operacionalização para obtenção de dados, além da possibilidade destas filmagens serem realizadas por profissionais sem grande experiência com este método.

A aplicabilidade no reconhecimento de feições tectônicas e nas zonas geomorfológicas, apesar da boa relação custo/benefício, ainda está subutilizada, mas no exemplo aqui apresentado as filmagens permitiram uma boa visualização dos padrões determinantes de cada domínio, favorecida pelas imagens dinâmicas. A filmagem realizada possibilitou visualizar a sucessão de paisagens numa escala de observação que variou de regional até ao nível de detalhe em pontos da área de estudo.

Essa característica das filmagens de baixa altitude, de permitirem, em uma única sequência, a captura de cenas sob variados ângulos, fornece um diferencial na análise dos elementos de relevo e de drenagem, nas avaliações de sua organização no espaço e hierarquia.

Os *softwares* voltados ao sensoriamento remoto, como o *Google Earth*, associados a uma nova e poderosa geração de satélites dotados de resoluções espaciais muito superiores aos seus predecessores, proporcionam uma considerável variedade de recursos tecnológicos ao público em geral, e em especial aos pesquisadores, que têm acesso a imagens muito mais detalhadas e nítidas. Paralelamente a essa popularização, o recurso das filmagens (em solo e aéreas) também se tornou extremamente acessível a pesquisadores em muitos locais do interior e de grandes centros urbanos.

Em mídia impressa, como neste caso, existe um grande fator limitante na transmissão do conceito inerente à filmagem aérea, que prejudica a compreensão do papel do elemento *movimento na análise da organização da paisagem* e a versatilidade de visadas oferecidas pelo recurso. O repasse das informações obtidas com imagens dinâmicas, em mídia impressa, fica naturalmente reduzido ao conteúdo estático dos *frames* extraídos dos vídeos, que ainda assim fornecem uma boa base das potencialidades do uso sistemático desse recurso na pesquisa e ensino de Geociências.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F. F. M. Fundamentos geológicos do relevo paulista. **Boletim do Instituto Geográfico e Geológico**, São Paulo, n. 41, p. 169-263, 1964.

AMORIM, G. M. **Construção de um sistema de informações georeferenciadas sobre geoturismo na bacia hidrográfica do Rio Corumbataí - SP**. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Rio Claro. 167 f. 2005.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. Mosaico do Brasil. In: MIRANDA, E. E. de; COUTINHO, A. C. (Coord.). **Brasil Visto do Espaço**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2004. Disponível em: <<http://www.cdbrasil.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: Dez. 2007.

CORDANI, U. G.; NEVES, B. B. B.; FUCK, R. A.; PORTO, R.; THOMAZ FILHO, A.; CUNHA, F.M.B. **Estudo preliminar de integração do Pré-cambriano com os eventos tectônicos das bacias sedimentares brasileiras**. Relatório Ciências, Técnica, Petróleo, v. 15. p. 1-70, 1984.

FACINCANI, E.M. **Morfotectônica da Depressão Periférica Paulista e Cuesta Basáltica**: regiões de São Carlos, Rio Claro e Piracicaba. Rio Claro, Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista – UNESP. Rio Claro. 222 p. 2000.

FACINCANI, E. M. **Influência da estrutura e tectônica no desenvolvimento das boçorocas na região de São Pedro (SP)**: proposta de reabilitação e aspectos jurídico-institucionais correlatos. Dissertação (Mestrado em Geociências). Instituição de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista – UNESP. Rio Claro. 124 p.1995.

HASUI, Y.; MIOTO, J.A. **Geologia estrutural aplicada**. São Paulo: ABGE, 1992.

HASUI, Y; HARALY, N.L.E; MIOTO, J.A; SAAD, A.R; CAMPANHA, V.A; HAMZA, V.M; GALLI, VA; FRANGIPANI, A; PULEGHINI FILHO, P. **A compartimentação estrutural e evolução tectônica do estado de São Paulo**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1989. 2v. (Relatório IPT nº 27394).

LANDSAT. Cena de satélite “LANDSAT TM 7 ETM+”, bandas de espectro 1, 2, 3, 4, 5, 6, 6, 7 e 8, WRS 220/075, 20/08/2000. In: BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. **Sistemas Orbitais de Monitoramento e Gestão Territorial**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2009. Disponível em: <<http://www.sat.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 20 ago. 2000.

LIMA, C.C. **Expressions topographiques et structurales de la compression généralisée de la plaque sud-américaine**. France:1999.350 p. Tese (Doutorado). Université Rennes.

MELO, M. S. **A formação Rio Claro e depósitos associados: sedimentação neocenozóica na Depressão Periférica**. (Tese de Doutorado). Universidade de São Paulo. São Paulo. 144p.1995.

PERINOTTO, J. A.; LINO, I. C. **Geologia, recursos minerais e passivos ambientais**. Atlas Ambiental da Bacia do Rio Corumbataí. Rio Claro: Centro de Análise e Planejamento Ambiental - CEAPLA. Instituto de Geociências e Ciências Exatas. UNESP, Campus de Rio Claro. Disponível em: <<http://ceapla.rc.unesp.br/atlas/geologia.html>>. Acesso em: Fev/2007.

PIRES NETO, A. G. **Estudo morfotectônico das bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá e áreas adjacentes no Planalto Atlântico e Depressão Periférica**. Relatório de Pós-Doutoramento (Projeto Nº 150011/94-96), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, 70p. 1996.

RICCOMINI, C. Evidências geológicas de atividade neotectônica no Estado de São Paulo e regiões adjacentes, **Boletim do Instituto Geológico da Universidade de São Paulo – IG/USP**. Publicação Especial n.12, p. 95-96, 1992a (II Jornadas Científicas).

RICCOMINI, C. Estilos estruturais na região do domo de Pitanga, Bacia do Paraná, SP, **Boletim do Instituto Geológico da Universidade de São Paulo – IG/USP**. Publicação Especial n.12, p.93-94, 1992b. (II Jornadas Científicas).

RICCOMINI, C. **O Rift Continental do Sudeste do Brasil**. Tese (Doutorado). Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo – IG/USP, 256p. 1989.

RICCOMINI, C. **Tectonismo gerador e deformador dos depósitos sedimentares pós-gondvânicos da porção centro-oriental do Estado de São Paulo e áreas**

vizinhas. São Paulo. (Tese de Livre Docência). Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 100p. 1995.

RICCOMINI, C.; MANCINI, F.; HASEBE, F.K.; RIDENTE JR., J.L.; SANT'ANNA, L. G.; FAMBRINI, G. L. Evidências de neotectonismo no Vale do Rio Passa Cinco, Domo de Pitanga, Bacia do Paraná. In: **II Simpósio de Geologia do Sudeste**, 1991, São Paulo. Atas do 2º Simpósio de Geologia do Sudeste, p. 27-28. 1991.

ROSS, J.L.S.; MOROZ, I.C. **Mapa geomorfológico do estado de São Paulo.** São Paulo: Laboratório de Geomorfologia Depto de Geografia FFLCH-USP/Laboratório de Cartografia Geotécnica - Geologia Aplicada - IPT/FAPESP, 1997. 63p

SAYEG, H. S. **Uso de filmagem aérea em perspectiva no apoio à coleta de dados, na pesquisa, no ensino e na divulgação de informações em geociências.** Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, xiii, 146 f. Il. 2007.

SOUSA, M. O. L. **Evolução tectônica dos altos estruturais de Pitanga, Artemis, Pau d'Alho e Jibóia - Centro do Estado de São Paulo.** Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 206 f. 2002.

SOUSA, M. O. L. **Caracterização estrutural do domo de Pitanga-SP.** Dissertação (Mestrado em Geociências). Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Universidade Estadual Paulista. Rio Claro. 116p. 1997.

SOUZA, J. A. **A aplicação das novas tecnologias no processo de ensino-aprendizagem nas escolas públicas estaduais da Grande Florianópolis.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2000.

ZALÁN, P.V.; WOLFF, S.; ASTOLFI, M.A.; VIEIRA, I.S.; CONCEIÇÃO, J.; APPI, V.; NETO, E.; CERQUEIRA, J.R.; MARQUES, A. Tectonics and sedimentation of the Paraná Basin. In: IG-USP, **International Gondwana Symposium**, 7. São Paulo. Proceedings, 83-117. 1991.

RESUMO

A utilização de filmagens em baixa altitude permite uma abordagem dos elementos constitutivos da paisagem e a identificação de zonas morfologicamente homogêneas, com significado geológico. A cobertura de áreas através de filmagens “*não Nadir*” permite visualização de padrões de drenagens e de elementos de relevo que complementam as visualizações oferecidas pelas imagens de satélites e fotos aéreas, Modelos Digitais de Terreno, mapas temáticos e etapas de campo, segundo a ótica de um observador de uma janela de aeronave. A dinâmica obtida com as filmagens oferece a possibilidade de perceber feições num contexto mais amplo e completo, ao mostrar mais detalhes que aqueles obtidos

em cenas estáticas, ainda que se possa trabalhar de modo contínuo em escalas variadas com imagens digitais. Na área foco deste artigo, situada entre Rio Claro e Piracicaba, existem áreas onde o padrão morfológico tem significado tectônico, relacionado a atividades tectônicas e falhamentos, as quais condicionam o surgimento e a evolução do Alto Estrutural de Pitanga. As filmagens, feitas com câmera digital portátil, ocorreram entre os anos de 2003 e 2006, a partir de voos em altitudes que variaram entre 100 e 1500 metros do solo.

Palavras-Chave: Sensoriamento Remoto. Geociências. Videografia. Domo de Pitanga. Rio Claro. Piracicaba.

ABSTRACT

The utilization of filming in low altitudes allows an approach of the constituent elements of the landscape and the identification of morphological homogeneous zones with geological meaning. The cover of areas through "non Nadir" filming allows users to visualize the drainage patterns and elements of relief that complement the visualization offered by the satellites images, aerial photos, digital terrain models, thematic maps and field phases, according to the sight of an observer through airplane window. The dynamic obtained with the filming offers the possibility to perceive features in a complete and broader context, showing more details than those obtained in static scenes, despite it can be worked in a continuous way in varied scales with digital images. In the area focused in this text, situated between the cities of "Rio Claro" and "Piracicaba", there are areas where the morphological pattern has tectonic meaning, related to tectonic activities and faults, which conditioned the rising and the evolution of the structural feature of Pitanga. The filmings, made with portable digital camera, occurred between the years of 2003 and 2006 from flights in altitudes that varied between 100 and 1500 meters from the soil.

Key words: Remote Sensing. Geosciences. Videography. Domo de Pitanga. Rio Claro. Piracicaba.

Informações sobre os autores:

[1] Heitor Siqueira Sayeg – <http://lattes.cnpq.br/6811237989924267>

Centro Universitário Hermínio Ometto / UNIARARAS, Araras (SP).

Contato: hsayeg@uniararas.br

[2] Gilberto José Garcia – <http://lattes.cnpq.br/8703050058057323>

Universidade Estadual Paulista - UNESP/IGCE/CEAPLA, Campus Rio Claro, Rio Claro (SP).

Contato: gilberto@rc.unesp.br

[3] Gustavo Marques Amorim – <http://lattes.cnpq.br/0358663469128742>

Programa de Pós-Graduação em Geologia Regional – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Campus Rio Claro, Rio Claro - SP.

Contato: gmamorim@yahoo.com

[4] Olavo Raymundo Júnior – <http://lattes.cnpq.br/2209791810335750>

Centro Universitário Hermínio Ometto/UNIARARAS, Araras (SP).

Contato: olavo@uniararas.br

[5] Mônica Giacomassi de Menezes de Magalhães – <http://lattes.cnpq.br/5375976921584010>

Universidade Estadual Paulista - UNESP/IGCE/CEAPLA, Campus Rio Claro, Rio Claro (SP).

Contato: mônica@rc.unesp.br