

DETECÇÃO E EXTRAÇÃO DE LINEAMENTOS LOCAIS (SUJEITOS AO CONTROLE ESTRUTURAL REGIONAL) DE IMAGENS DE RELEVO, DERIVADAS DE DADOS DA SRTM

Jaime R. Anazco Palacios¹ e Rúbia Ribeiro Viana²

Recebido em 3 maio, 2010 / Aceito em 2 agosto, 2011
Received on May 3, 2010 / Accepted on August 2, 2011

ABSTRACT. In this work, it was introduced a new method to identify and to extract local lineaments, controlled by structural regional lineaments derived of SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) system satellite radar data. Its based on azimuthal class specific parameterization. This approach introduces a textural reduction (class decrease for analysis) and an increase of the lineaments continuity in the curves portions, improving the resolution and delimitation of these lineaments, and also simplifying the extraction significantly.

Keywords: structural lineaments, shear zones, Chapada dos Veadeiros, gold mineralization, remote sensing.

RESUMO. Neste trabalho, introduzimos um novo método para a identificação e extração de lineamentos locais, controlados por lineamentos estruturais regionais, derivados dos dados de radar do satélite SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) e baseados em uma parametrização de classes azimutais. Esta nova proposição introduz uma redução textural (diminuição de classes para análise) e um incremento da continuidade dos lineamentos nas suas porções curvas, o que melhora a resolução e delimitação desses lineamentos, simplificando significativamente sua extração.

Palavras-chave: lineamentos estruturais, zonas de cisalhamento, Chapada dos Veadeiros, mineralizações auríferas, sensoriamento remoto.

¹ *in memoriam*

² Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Mato Grosso, MT, Brasil. Tel.: (65) 3615-8952; Fax: (65) 3615-8952 – E-mail: rubia@cpd.ufmt.br

INTRODUÇÃO

Os lineamentos estruturais, entendidos como resposta superficial a evolução tectônica da crosta, mostram padrões relativamente complexos devido à sobreposição de efeitos de diferentes épocas, profundidades e escalas dos processos crustais. Por isso, estes lineamentos, nos produtos derivados de imagens de sistemas orbitais, apresentam descontinuidades, ondulações, dispersão azimutal, entre outros, que dificultam a sua detecção, extração e interpretação (Pressinotti et al., 1992; Franzoni, 2005).

A existência de lineamentos estruturais de escala regional ou continental, de padrões praticamente retilíneos, que é um reflexo da tectônica profunda, tem sido revelada ou confirmada com sucesso em mapeamentos produzidos a partir de dados espectrais e espaciais de sensores remotos, particularmente, devido à sua escala sinóptica tradicional (Ouattara et al., 2004). Hoje, com o incremento da resolução destes sensores é possível detectar feições estruturais locais que, entendidas como anomalias estruturais locais, produziram a falta de linearidade e continuidade dos lineamentos regionais. Anomalias estruturais que produzem estes efeitos são domos e depressões produzidos por corpos intrusivos e caldeiras vulcânicas, respectivamente, associadas a lineamentos locais quase-anelares e/ou radiais (Carvalho Júnior et al., 2001; Almeida & Pinheiro, 2007; Silva, 2007).

Particularmente, lineamentos locais associados a certas anomalias estruturais, aparecem alinhados (controlados), em alguma proporção, com lineamentos ou tendências regionais da área, como acontece com alguns casos de lentes de cisalhamento contidos em zonas de cisalhamento, nas proximidades de falhas transcorrentes, por exemplo, em Carvalho Júnior et al. (2001) e Cunha (2007). Esse realinhamento poderia corresponder a um regime dúctil relativamente homogêneo ou próximo no tempo, tanto para o lineamento regional como para o lineamento local.

Produtos derivados das imagens de relevo, obtidas de dados de radar da SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), apresentam esses lineamentos locais numa escala de centenas de metros a dezenas de km, em agrupamentos do tipo sequência de segmentos, segmentos paralelos, segmentos ou trechos semicirculares, entre outros (Cunha, 2007; Desidério et al., 2007).

Existem vários métodos para visualizar e extrair lineamentos de imagens de sensores orbitais e estimar e modelar a suas propriedades, baseados em técnicas de contraste e de filtragem direcional de imagens espectrais (Monteiro et al., 2007), sombreamento de relevo de imagens de radar (Mike & Clark, 2005; Desidério et al., 2007; Roldan, 2007; Valentim da Silva et al., 2007) ou de imagens integradas de diversos tipos (Justo, 2006; Valentim da Silva et al., 2007).

Neste trabalho, propõe-se um método para detectar e extrair esses lineamentos locais, que são controlados por um lineamento ou tendência regional, a partir de uma classe de lineamentos construída homogeneizando azimutes de lineamentos, no intervalo $\pm 45^\circ$ ao redor do azimute do lineamento regional.

O método é testado na área do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros (PNCV), localizado na região norte do Estado de Goiás (14°S , 48°W ; $14^\circ30'\text{S}$, $47^\circ30'\text{W}$). Esta área foi selecionada porque apresenta, confirmada por dados de campo e modelamento, uma zona de cisalhamento, claramente controlada por uma tendência regional NE-SW (Carvalho Júnior et al., 2001).

OBJETIVOS

O objetivo desse trabalho é desenvolver um método para detectar e extrair lineamentos locais, levando em conta o controle estrutural de lineamentos ou tendências regionais sobre os mesmos, através de uma parametrização específica da variação azimutal. Isso irá permitir a construção de dois mapas, um de classe “estendida” para detectar os lineamentos e outro vetorial, que facilitará a indicação desses lineamentos. Esse método poderá ser útil na rápida confecção de mapas para dar suporte a trabalhos de campo.

MÉTODOS

A metodologia utilizada nesta pesquisa foi desenvolvida através da realização das seguintes etapas:

1. Aquisição da *Imagem de Relevo da área de estudo* (IR) – Esta imagem que apresenta o relevo de uma parte da área do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros (PNCV), localizado na região norte do Estado de Goiás (14°S , 48°W ; $14^\circ30'\text{S}$, $47^\circ30'\text{W}$), foi extraída do mosaico de imagens do Projeto Brasil em Relevo, produzido e disponibilizado via internet, pela equipe da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária EMBRAPA – monitoramento por Satélite. As imagens de relevo desse mosaico são o produto do processamento e remodelamento dos modelos digitais de elevação derivados de dados de radar, oriundos da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), uma parceria das agências espaciais dos Estados Unidos (NASA e NIMA), Alemanha (DLR) e Itália (ASI), realizada em 2000 (Miranda, 2005). Esta imagem tem uma resolução de 120 m por 120 m, compatível com a escala 1:100,000.
2. Confecção do *Mapa de Relevo Sombreado* (MRS) – Este mapa é obtido da imagem de relevo, por simulação direcional da iluminação solar (azimute e elevação solar

de 360° e 30° respectivamente, com a função *Analytical hillshading*) e um incremento de contraste por equalização do histograma, que ao ressaltar a variação tonal das bordas (entre elas os lineamentos) das feições geomorfológicas do terreno, aproximadamente normais à direção de iluminação, facilita a detecção e visualização das feições lineares do relevo.

3. Confecção do *Mapa de Multiclasses* (MMC) – O MMC foi derivado a partir do MRS, onde os gradientes tonais são praticamente normais às feições lineares em cada ponto, a função *Aspect*, aplicada a este mapa, estima um mapa dos azimutes destes gradientes, onde as feições lineares podem ser identificadas como classes de azimutes, tendo assim o mapa de multiclasses azimutais.
4. Confecção do *Mapa de Classe Estendida* (MCE) – O MCE é um mapa de feições lineares classificadas por valores azimutais (de 0° a 360°), derivado do MMC. Para incluir os trechos curvos dos lineamentos locais, induzidos pela tendência estrutural da área, NE-SW, o MMC então foi renomeado de MME, após a homogeneização dos azimutes dos lineamentos no intervalo $\pm 45^\circ$ ao redor NE-SW e zerando os azimutes restantes, criando-se assim, uma classe única, que chamaremos de classe estendida.
5. Confecção do *Mapa de Indicadores de Lineamentos* (MIL) – Segmentando o MCE em células de 1 km \times 1 km, detectando e traçando segmentos com um comprimento mínimo de 6 *pixels* (800 m), dentro de cada célula, confecciona-se um mapa vetorial que assinala os lineamentos desses comprimentos em cada célula.

O processamento das imagens e produtos derivados foi feito com as funções *Analytical hillshading* e *Aspect* do módulo *Surface*, do (GIS) IDRISI (Clark University, 1992) e o MIL com programas de computador desenvolvidos pelos autores para este trabalho.

RESULTADOS

O MRS (Fig. 1) é um excelente visualizador dos lineamentos estruturais desta zona de cisalhamentos, justificado, por enquanto, pela alta similaridade entre as localizações das feições lineares e à dos traços azuis, digitalizados no MCE (Fig. 3)

O Mapa de Multiclasses – MMC (Fig. 2) é um mapa de classes azimutais, onde trechos retilíneos de bordas, entre elas os lineamentos, ficam localizados por retas de azimute comum. Os lineamentos mais evidentes, nesta figura, são os da tendência

regional da área (NE-SW), representados por um sistema de “altos” e “baixos” paralelos, um para o sentido NE (traços vermelhos) e outro, redundante, para o sentido SW (traços verdes). Assim sendo, a tendência regional (NE-SW), é descrita por trechos de lineamentos ou lineamentos estritamente retos, isto é, por linhas retas, formadas por *pixels* estritamente vermelhos (azimute NE, 45°) que, como é notório e era de esperar-se, têm uma alta frequência de aparição na imagem em questão.

Comparando o MCE com do MMC (Fig. 2), nota-se que a simplificação textural (diminuição de classes) e a homogeneização de azimutes ao redor da tendência regional (que incrementa a continuidade nas regiões curvas dos lineamentos), facilitam a identificação e digitalização de lineamentos locais. Estes efeitos tornam-se mais evidente, quando se compara a região em detalhe, destacada das Figuras 1, 2 e 3 (Fig. 4).

A porção do MRS (Fig. 4(a)) visualiza claramente o lineamento estrutural correspondente à rama curva (Carvalho Júnior et al., 2001), visualmente, nesta figura, a rama é contínua. Isto já não é tão certo na versão da rama mostrada na porção do MMC (Fig. 4(b)), aqui a rama tem um trecho reto contínuo (no lado direito da figura) formado por *pixels* vermelhos (azimute 45°) e outro relativamente curvo (no lado esquerdo da figura), que inclui uma mistura de *pixels* com azimutes entre 45° e 90°, introduzindo descontinuidades no lineamento.

Isto é concertado na versão da rama curva, na porção do MCE (Fig. 4(c), agora em traços pretos), ao homogeneizar os azimutes dos *pixels* do intervalo 0°-90° ao valor do azimute da tendência regional (NE = 45°), regenera-se a continuidade, evidente na inspeção visual na porção do MRS (Fig. 4(a)), de toda a rama curva.

Os indicadores de lineamentos locais, traços vermelhos, sobrepostos na porção do retângulo do MCE (Fig. 4(d)), mostram segmentos de lineamentos contínuos de comprimentos maiores de 800 m, seguindo, particularmente a rama curva.

A classe estendida (Fig. 3) permite visualizar, localizar e digitalizar lineamentos locais (com porções curvas) controlados estruturalmente, neste caso, por uma tendência regional NE-SW, com maior facilidade que outros métodos.

Particularmente, considerando que os lineamentos locais, para esta área de estudo, obtidos com dados de campo e um modelo digital de terreno (não dados de satélite), no trabalho de Carvalho Júnior et al. (2001) têm a sua natureza crustal suficientemente confirmada, começamos a digitalizar trechos de lineamentos no MCE, que foram reflexos dos trechos dos lineamentos do mapa deles. Desta forma obteve-se os lineamentos (traços azuis) que aparecem sobrepostos no MCE (Fig. 3). Acontece que estes

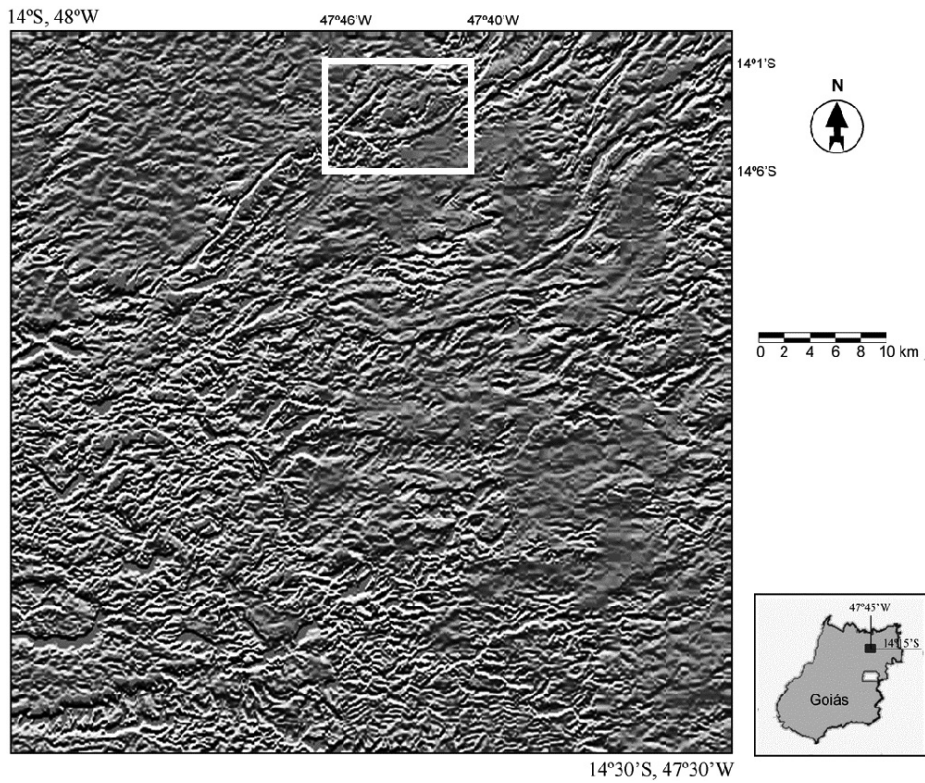


Figura 1 – *Mapa de Relevo Sombreado* (MRS) obtido da imagem de relevo por simulação direcional da iluminação solar (azimute e elevação solar de 360° e 30°), correspondente à área de estudo, Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros (PNCV), localizado na região norte do Estado de Goiás.

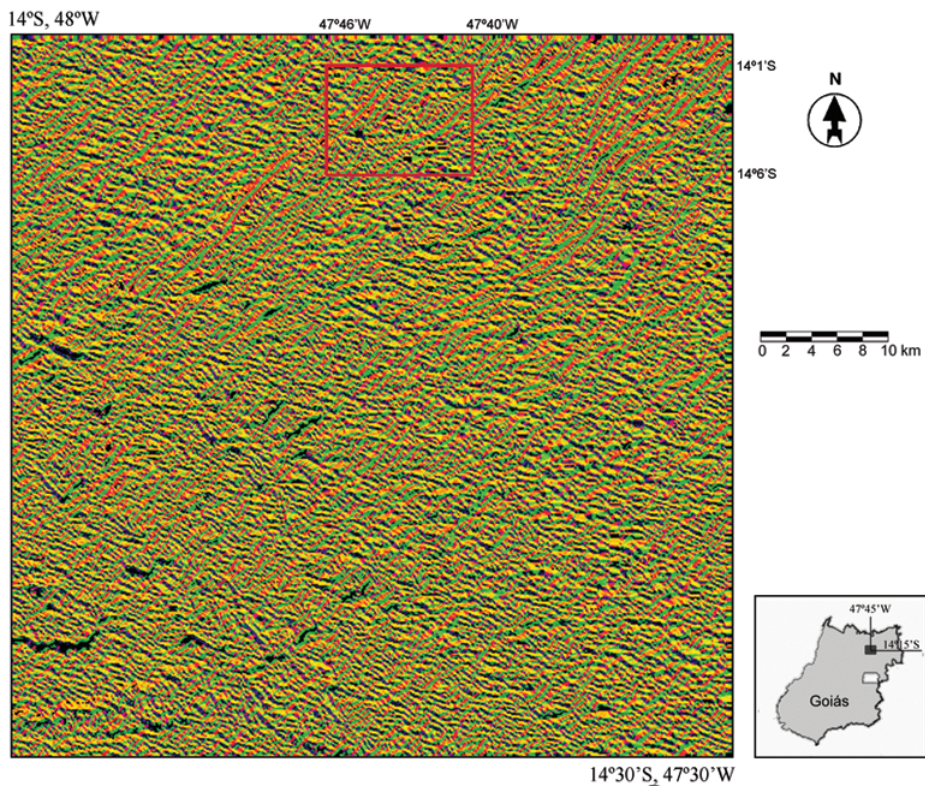


Figura 2 – *Mapa de Multiclasses azimutais* (MMC) onde trechos retilíneos de bordas, entre eles lineamentos, ficam localizados por retas de azimute comum.

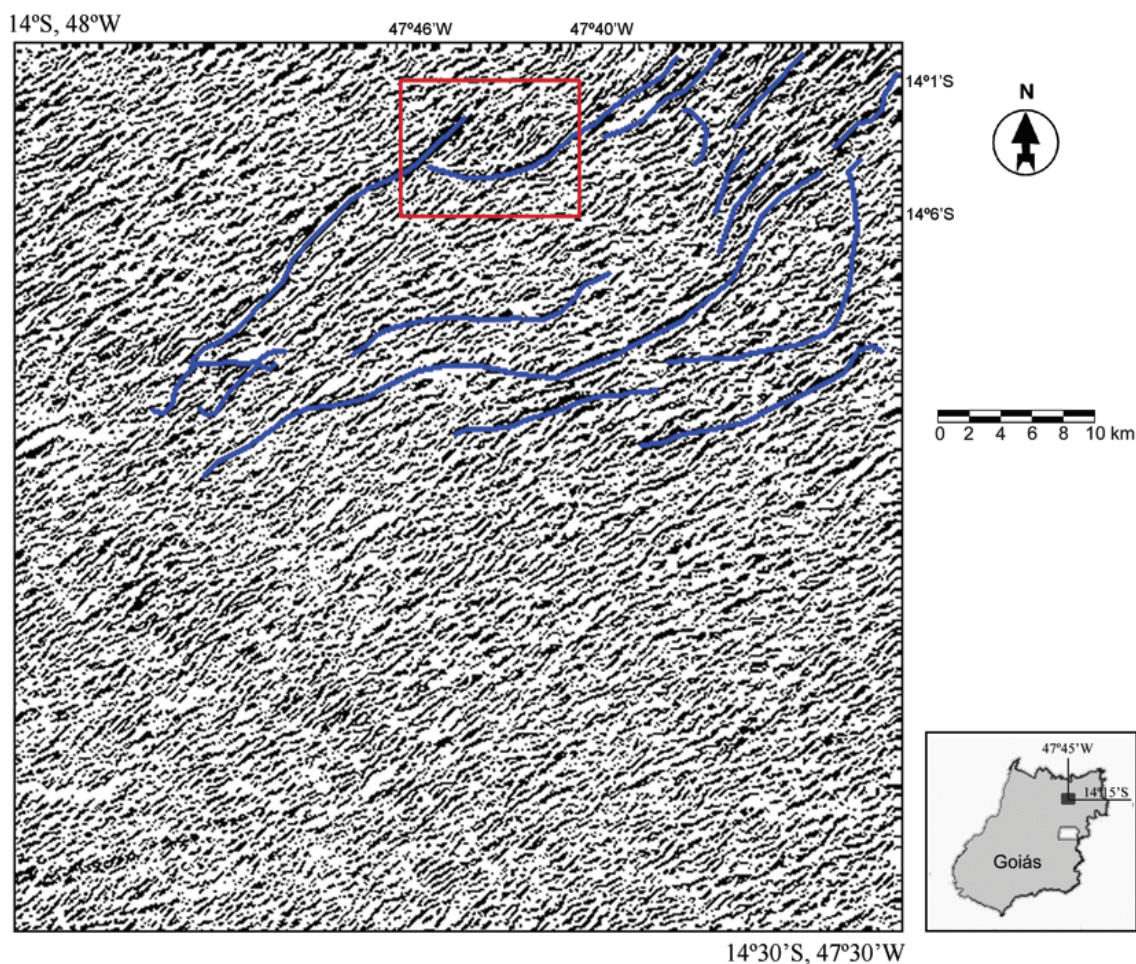


Figura 3 – Mapa de Classe Estendida (MCE) construída re-classificando MMC, homogeneizando todos os azimutes das classes, do intervalo N-E ao do azimute da tendência regional NE (45°).

lineamentos, são muito próximos aos localizados por eles, o qual é auspicioso se levamos em conta que estamos comparando lineamentos localizados por satélite com lineamentos localizados por dados de superfície de alta resolução. Por isso, falávamos, anteriormente, que o MRS (Fig. 1), é um excelente visualizador de lineamentos porque, praticamente, reproduz feições correspondentes aos trechos azuis.

CONCLUSÕES

- 1) O método proposto neste trabalho, que identifica e extrai lineamentos locais, controlados por tendências ou lineamentos regionais, a partir de um Mapa de Classe Estendida construído segundo uma reclassificação de classes azimutais, permite uma maior delimitação e definição desses lineamentos, quando comparado com os métodos de visualização e identificação qualitativa existentes.

- 2) Este método poderá ser empregado como importante subsídio na identificação e localização de feições que acompanham esses lineamentos, como sequências de pequenos corpos intrusivos, lentes e veios minerais.
- 3) A detecção e extração de lineamentos estruturais locais, não controlados por tendências ou lineamentos regionais, devido a uma variação azimutal atípica, por exemplo, pode ser altamente facilitada, se primeiramente forem isolados, removendo os lineamentos locais controlados e as tendências regionais, estimados, em uma etapa prévia, pelo nosso método.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi patrocinado pelo CNPq através de uma bolsa DCR (Processo: 350169/20007-1) e pela FAPEMAT segundo um auxílio de pesquisa (Processo: 1132/06).

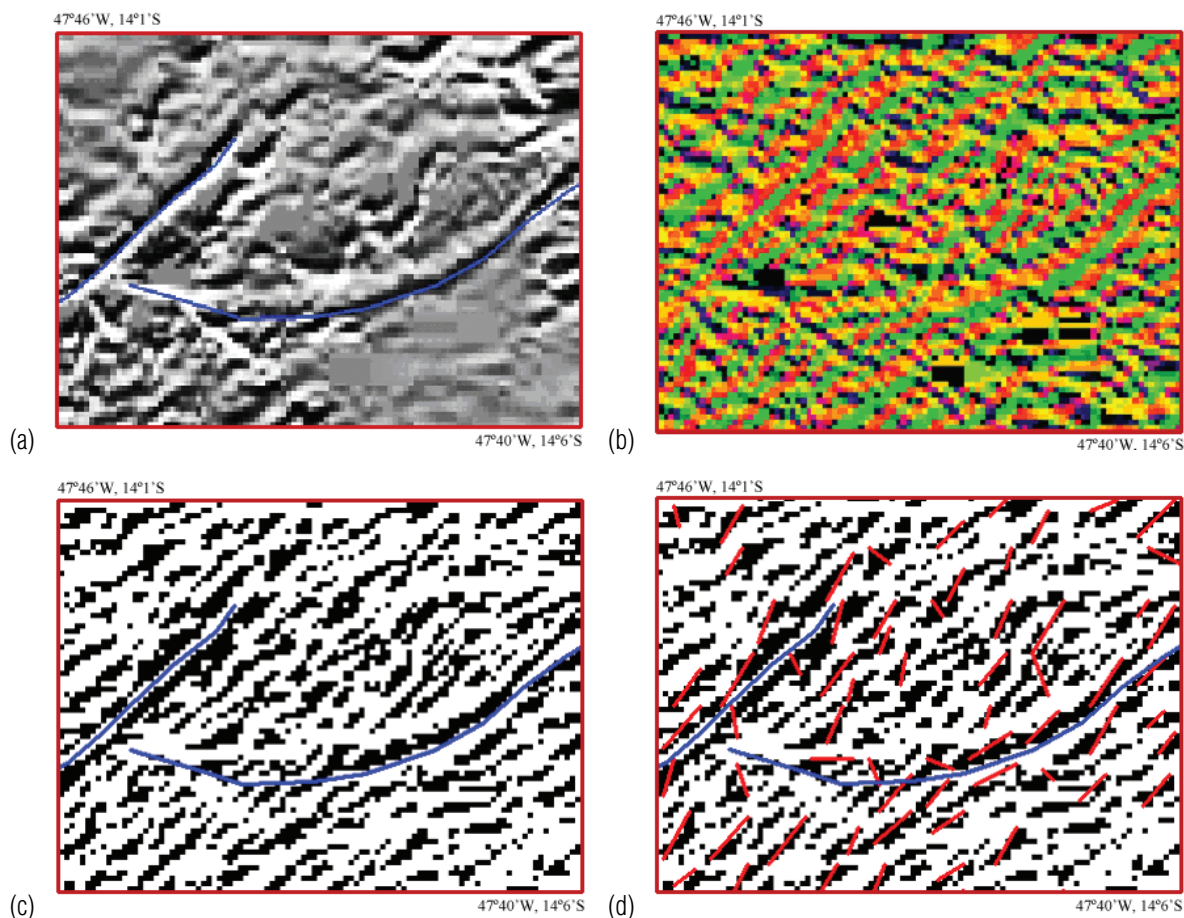


Figura 4 – Porções dos mapas (áreas em destaque): (a) do MRS (Fig. 1), (b) do MMC (Fig. 2), (c) do MCE (Fig. 3) e (d) do MIL (Fig. 3).

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA C & PINHEIRO RVL. 2007. O Papel das falhas na história tectônica do Domo de Monte Alegre, Bacia do Médio Amazonas (PA). In: PDPETRO, 4., 2007, Campinas. Anais... Campinas: ABPG, 2007. p. 1.10189.1-8.
- CARVALHO JÚNIOR OA, MARTINS EDS, GUIMARÃES RF & CARVALHO APF. 2001. Compartimentação geomorfológica do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros baseada em técnicas de geoprocessamento (Planaltina DF). Documentos. Embrapa Cerrados, 34, 20 p.
- CUNHA FSS. 2007. Condicionamento Estrutural das Zonas de Cisalhamento da Região de Forquilha, Domínio Ceará Central: uma Abordagem Integrada de Sensoriamento Remoto e Geologia Estrutural. Tese de Doutorado, PPGG/UFRN, Natal, 151 p.
- CLARK UNIVERSITY. 1992. IDRISI for Windows, User's Guide. Clark University Graduate School of Geography. Worcester. Massachusetts.
- DESIDÉRIO R, VALE R & FRANCA-ROCHA W. 2007. Aplicações de geotecnologias na compartimentação de unidades geomorfológicas da Carta de Livramento de Brumado – BA. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto 13., 2007. Florianópolis. Anais... São José dos Campos: INPE, 2007. p. 2517–2524.
- FRANZONI A. 2005. Diagnóstico das áreas favoráveis à expansão urbana da ilha de Santa Catarina a partir de técnicas de sensoriamento remoto como subsídio à gestão ambiental. In: Encontro Nac. de Eng. de Produção, XXV., 2005. Porto Alegre. Porto Alegre: ABEPRO, 2005. v. 1. p. 34–48.
- JUSTO AP. 2006. Sistemas Orbitais e Aéreos Aplicados à Análise Multi-Escala de Lineamentos na Borda Sudeste da Bacia do Parnaíba. Dissertação de Mestrado (Geodinâmica e Geofísica), PPGG/UFRN, Natal, 115 p.
- MIKE JS & CLARK CD. 2005. Methods for the visualization of digital elevation models for landform mapping. *Earth Surface Processes and Landforms*, 30: 885–900.
- MIRANDA EE. (Coord.). 2005. Brasil em Relevo. Campinas: Embrapa monitoramento por satélite. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 27 fev. 2009.

- MONTEIRO CF, MARQUES GC, SILVA A, OLIVEIRA C & DANTAS EL. 2007. Análise e interpretação de dados aerogeofísicos aplicados ao mapeamento geológico no arco magmático de Mara Rosa, Goiás, Brasil Central. In: International Congress of the Brazilian Geophysical Society, 10., 2007, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: SBGf, 2007. 6 p. CD-ROM.
- OUATTARA T, COUTURE R, BOBROWSKY PT & MOORE A. 2004. Remote Sensing and Geosciences. Geological Survey of Canada, Open File 4542, 102 p.
- PRESSINOTTI PC, SILVA RB DA, STEFANI FL, HASUI Y, TRINDADE M & COSTA MO. 1992. Análise de lineamentos na exploração mineral: aplicação no Sudeste Paulista. Rev. IG, São Paulo, 13(2): 17–29.
- ROLDAN LF. 2007. Tectônica Rúptil Meso-Cenozóica na Região do Domo de Lages, SC. Dissertação de Mestrado (Geoquímica e Geotectônica), (USP-IGEO), 121 p.
- SILVA MF DA. 2007. Aerogeofísica, Litogeoquímica e Geologia na Caracterização do Rifte Intracontinental da Faixa Paraguai. Dissertação de Mestrado (Geociências) (IG/UnB), Brasília-DF, 115 p.
- VALENTIM DA SILVA DR, AMARO VE, SOUTO MV, PEREIRA BR, SOUZA DS & SOUZA AS. 2007. Imagens SRTM Aplicadas à Análise do Comportamento Morfotectônico da Paisagem, como Auxílio ao Monitoramento Ambiental no Litoral Setentrional do Rio Grande do Norte. In: PDPETRO, 4., 2007, Campinas. Anais... Campinas: ABPG, 2007. p. 6.2.356.1-8

NOTAS SOBRE OS AUTORES

Jaime Rinau Anazco Palacios. *in memoriam.* Possui graduação em Física – Universidad Nacional Mayor de San Marcos (1974), mestrado em Geofísica pelo Observatório Nacional (1993) e doutorado em Geofísica pelo Observatório Nacional (1998). Tem experiência na área de Geociências, com ênfase em Geoprocessamento de Dados e Sensoriamento Remoto Satelital (SRTM, LANDSAT, MAGSAT e NOAA), atuando principalmente nos seguintes temas: indicadores morfológicos de terreno derivados do SRTM e LANDSAT, anomalias magnéticas crustais derivadas do MAGSAT, campos advectivos litorâneos derivados das imagens infravermelhas do NOAA, ressurgência, derrames de petróleo e poluentes marinhos.

Rúbia Ribeiro Viana. Possui graduação em Engenharia Geológica pela Universidade Federal de Ouro Preto (1993), mestrado em Evolução Crustal e Recursos Naturais pela Escola de Minas (1997) e doutorado em Evolução Crustal e Recursos Naturais pela Universidade Federal de Ouro Preto (2002). Atualmente é professora adjunta da Universidade Federal de Mato Grosso. Tem experiência na área de mineralogia, atuando principalmente nos seguintes temas: pegmatitos, geoquímica e estrutura cristalina de minerais, difração de raios X, fluorescência de raios X e espectroscopia no ultravioleta visível.