

Integração de Dados Geológicos, Geomorfológicos, e de Solos Obtidos de Imagens TM-Landsat para Confecção de Carta Geológica na Região do Vale do Paraíba e Litoral Norte de São Paulo

CÉLIO EUSTÁQUIO DOS ANJOS
PAULO VENEZIANI

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

Abstract. The objective of this research is to sustain a regional environmental compartmentation of Paraíba Valley and North Litoral of the São Paulo State TM-Landsat image at 1:100.000 scale was photo interpreted and integrated with, geomorphological and soil data. These integrated maps consider the main physical and chemical properties of the lithological units and promote the understanding of the regional geotecnic characteristics of the region. This, it is a good material for engineers and administrators, for planning land use, urban development, and environmental conservation.

Introdução

Com o objetivo de elaborar um mapa geológico na escala de 1:250.000 que atendesse os requisitos de um projeto de mapeamento (MAVALE), Kurkdjian et al., 1992, procurou-se integrar dados litoestruturais, geomorfológicos e de solos, com ênfase nos primeiros, na região do Vale do Paraíba do Sul e Litoral Norte do Estado de São Paulo. A finalidade da execução de um mapa deste tipo foi a de prover aos planejadores e engenheiros informações auxiliares para planejamento do uso da terra e para a locação, construção e manutenção de estruturas de todos os tipos, considerado o nível de detalhes fornecidos pela escala de trabalho.

É óbvio que uma proposta de elaboração de um mapeamento

geológico que forneça subsídios para indicar províncias mais favoráveis para obras de engenharia, expansão urbana e áreas sujeitas a riscos geológicos, deve ser avaliada em função da escala de trabalho, pois as unidades limitadas neste mapa devem mostrar propriedades e condições geotécnicas exclusivas. Infelizmente, uma das principais dificuldades para preparar mapas geológicos com finalidade geotécnicas desponta do fato de que as propriedades físicas de rochas e solos mudam de modo gradativo. Deste fato decorre que quanto maiores a escala e o volume de amostragens "in situ" maiores serão os graus de homogeneidade e uniformidade da natureza litológica e do estado físico, no mapa.

Na escala de 1:250.000, a homogeneidade e uniformidade têm um caráter genérico. As

unidades mapeadas estão inseridas no contexto de suites litológicas: consistem de vários complexos litológicos que foram desenvolvidos sob condições paleogeográficas e tectônicas similares. Uma uniformidade geral pode ser conferida para as suites em função da existência de características litológicas parciais comuns aos vários complexos que as compreendem.

Tendo em vista as finalidades e limitações acima expostas para elaboração de um mapa geológico para fins de engenharia e, além disso, avaliando-se as dificuldades relativas à complexidade e à escassez de conhecimentos geológicos da área de estudo, somente propriedades litológicas generalizadas puderam ser definidas. É uma característica intrínseca, portanto, que as "unidades" suites mapeadas só podem ser usadas em mapas de pequena escala e, conseqüentemente, assim devem ser avaliadas para fins de engenharia e de ocupação de uma área.

Materiais e Métodos

Foram utilizadas imagens TM-Landsat da banda 4 nas escalas de 1:100.000 e 1:250.000 e mapa da rede de drenagem obtido a partir da redução de folhas topográficas de 1:50.000 para 1:100.000, complementado com informações extraídas das imagens 1:100.000.

Inicialmente realizou-se uma divisão sobre a rede de drenagem. Esta baseou-se na delimitação de zonas homólogas em densidade de elementos texturais de drenagem (Soares e Fiori, 1978). A seguir escolheu-se arbitrariamente uma circunferência com 1 cm de raio

para padrão de amostragem dos seguintes parâmetros: 1- número de nós, isto é de pontos de confluência entre as linhas de drenagem para conseguir uma idéia relativa de freqüência e avaliar indiretamente a permeabilidade; 2- número de feições lineares retilíneas a ligeiramente curvas - com extensão máxima de 3mm excetuando as feições paralelas aos planos de simetria, com o intuito de avaliar o grau relativo de fraturamento; 3- número de feições lineares retilíneas a ligeiramente curvas - paralelas aos planos de simetria, para avaliar a anisotropia relativa e, 4- número de feições lineares retilíneas e formas das encostas (sobre as imagens) - para obter-se uma avaliação relativa da resistência à erosão dos corpos rochosos.

Após a avaliação dos parâmetros acima descritos os números relativos foram associados em índices de permeabilidade, grau de fraturamento, anisotropia e resistência à erosão.

A seguir realizou-se o traçado dos limites dos suites litológicos utilizando-se critérios fotointerpretativos sobre as imagens do TM-Landsat na escala de 1:250.000.

Finalmente integrou-se os dados obtidos sobre a rede de drenagem com dados geomorfológicos, de declividade e de solos. Os dados geomorfológicos e de solos também foram obtidos através da interpretação das imagens. Especificamente consistiram na identificação dos diferentes tipos de relevo, de formas de vales, da natureza dos solos e ou coberturas superficiais quanto a granulometria (predomínio de areia, silte,

argila etc.) e espessura relativa (através da análise das formas de encostas).

Ressalta-se que em função da grande variedade de tipos litoestruturais, tipos de relevo e de solos etc., que conferem uma heterogeneidade acentuada para a área estudada, procurou-se estabelecer uma generalização observando-se a predominância de determinadas propriedades que, sob o ponto de vista regional, caracterizassem de modo uniforme as unidades mapeadas. Por exemplo: tipo litoestrutural predominante-rocha de composição granítica, foliada, muito fraturada; tipo de relevo predominante-serrano, escarpado com vales profundos em "v"; tipo de solo predominante - arenoso, pouco espesso; classe de declividade predominante - acima de 60% etc.

Área de Estudos

A área de estudos englobou os 35 municípios da bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, 3 que não pertencem à bacia (Campos do Jordão, Santo Antônio do Pinhal e São Bento do Sapucaí), 4 municípios do Litoral Norte do Estado de São Paulo e, mais 2 (Biritiba Mirim e Salesópolis) que foram incluídos devido sua identidade sócio-econômica e cultural com os municípios do alto Paraíba. Tal área corresponde a 14 folhas completas na escala de 1: 50.000 mais cerca de 24 folhas parcial na mesma escala. Geologicamente caracteriza-se por estar inserida na região de dobramentos Sudeste (Schobennhaus et al., 1984). Abrange partes do Complexo Costeiro, Grupo (complexo) Paraíba do Sul, do Grupo Açungui (complexos Pilar e

Embu) e do Grupo São Roque, todos pré-silurianos e, a Bacia de Taubaté (Cenozóico).

O Complexo Costeiro (Hasui et al., 1984) engloba litotipos essencialmente de origem metamórfica tais como gnaisses, migmatitos, com intercalações de calcissilicáticas, calcários, metavulcânicas, formações ferríferas, quartzitos e, subordinadamente, corpos máficos e metamáficos e intrusivos (dioritos, monzonitos monzonitos e sienitos).

Além destas associações, destacam-se rochas granulíticas nas formas de núcleos esparsos, bolsões e feixes representados por charnockitos, Kinzigitos, leptinitos e enderbitos.

Todo este conjunto apresenta um grau médio a alto de metamorfismo (anfíbolito-granulito) e foi migmatizado (granitizado) em graus variáveis durante os ciclos Transamazônico e Brasileiro.

O grupo (complexo) Paraíba do Sul (Hasui et al., 1984) constitui-se de gnaisses e migmatitos diversos, bandados, com granitóides e dioritos-monzonitos gnáissicos, subordinados. Mármore dolomíticos, calcissilicáticas, xistos feldspáticos, calcixistos, talcoxistos e metabasitos aparecem como intercalações, além de núcleos mais ou menos migmatizados e dispersos de rochas granulíticas.

Tais rochas, no conjunto, apresentam um grau médio a alto de metamorfismo (anfíbolito e subordinadamente granulito) e sofreram feldspatização, migmatização e intrusões ácidas.

Tanto o Complexo Costeiro como o Grupo (complexo) Paraíba do Sul são ainda muito pouco

estudados, fato este que prejudica e impede discussões mais esclarecedoras e objetivas sobre a origem, a natureza e a distribuição espacial de seus litotipos.

O grupo Açungui (Marini et al., 1967) reúne as sequências que representam a faixa de dobramentos Apiaí (Hasui et al., 1975).

Os sedimentos acumulados supostamente no Proterozóico Superior foram posteriormente metamorfizados durante o ciclo termo-tectônico do Brasiliano. Os litotipos predominantemente metapelíticos incluem filitos e xistos que gradam para rochas migmatíticas.

Subordinadamente, ocorrem calcários, dolomitos, rochas calcissilicáticas, quartzitos, metaconglomerados, calcoxistos, metabasitos e gnaisses. Hasui e Sadowski (1976), dividiram o Grupo Açungui nos complexos Pilar e Embu. Ao primeiro atribuíram os xistos em geral e (com passagem gradual) ao segundo, as rochas feldspatizadas e migmatizadas. O metamorfismo que afetou os litotipos acima descritos é classificado segundo o fácies xisto verde, localmente anfíbolito.

O Grupo São Roque, de acordo com Hasui e Sadowski (1976), apresenta estruturas que indicam uma evolução tectônica particular e, portanto, justificam sua separação do Grupo Açungui. Constitui-se de filitos e xistos, essencialmente, intercalados (subordinadamente) por quartzitos, calcários, dolomitos, calcissilicáticas, metaconglomerados, metarcóseos, metabasitos, anfíbolitos e metavulcânicas. É essencialmente um pacote metapelítico

metamorfizado em fácies xisto-verde de baixa P-T.

Rochas granitóides associadas às supracrustais do Proterozóico Superior (Hasui et al., 1984) constituem uma peculiaridade da região estudada. Foram estudadas ao nível de reconhecimento e agrupadas em duas categorias principais (Hasui et al. 1978a e Wernick 1979a e b).

A primeira abrange a maioria dos corpos mapeados e os relaciona aos granitóides sintectônicos (batolíticos), foliados e alongados paralelamente ao eixo de deformação das supracrustais do Proterozóico Superior. Suas composições variam de tonalítica a granítica.

A segunda é constituída pelos granitóides pós-tectônicos, bem menos abundantes. Exibem composição granodiorítica a granítica e não são foliados.

Como litotipos de idade mesozóica-cenozóica, ocorre uma série de intrusões alcalinas a máficas subordinadas, que na área de estudo estão representadas essencialmente pelos maciços alcalinos da Ilha de São Sebastião e de Passa Quatro e constituem-se representantes da reativação Wealdeniana (Almeida, 1967).

Finalmente, um novo episódio de tectonismo distensivo deu origem ao gráben da Bacia de Taubaté (Hasui et al., 1978b), posteriormente preenchido por sedimentos terciários (Cenozóicos). Suguio (1968) reuniu tais sedimentos no Grupo Taubaté, subdividido por Ponçano (1981) nas formações Tremembé (Almeida, 1955) e Caçapava (Rego, 1938). Na primeira, incluem-se sedimentos

predominantemente pelíticos que ocupam a porção central da bacia. Na segunda, verificam-se sedimentos arenosos e siltosos. Após este último episódio formador de rochas, verificam-se para a região processos denudacionais nas regiões serranas e acumulação de origem aluviocoluvionar.

Tectono-estruturalmente a área caracteriza-se por apresentar registros de um fenômeno de deformação progressiva que envolve faixa de dobramentos - zona de cisalhamento simples (Veneziani et al., 1993).

Resultados

Evidentemente não caberia no presente trabalho uma descrição - discussão de todas unidades mapeadas na região. Tal fato se deve à complexidade da área (mesmo em uma síntese - escala 1: 250.000), e principalmente às normas de publicação dos anais que impõem as necessárias limitações. Desta forma discutir-se-á um exemplo, realçando-se os aspectos metodológicos, significativo da finalidade proposta: prover aos planejadores e engenheiros informações auxiliares para o planejamento do uso da terra e para a locação, construção e manutenção de estruturas variadas. O exemplo figura 1 refere-se às unidades "gt" e "Qm" (Kurkdjian et al., 1992). A unidade "gt" constitui parte dos contrafortes da Serra do Mar. É representada essencialmente por rochas de filiação granulítica. Predominam os charnockitos (granitos a hiperstênio). A unidade "Qm" ocorre nas planícies costeiras e é formada por sedimentos de origem marinha com contribuições aluviais e coluviais.

As principais características avaliadas para estas unidades, segundo a metodologia adotada são as seguintes:

1- Unidade "gt"- alta densidade de drenagem, portanto relativamente pouco permeável; anisotropia moderada a forte, isto é, com tendência moderada a forte de variação das propriedades mecânicas segundo uma direção pré determinada; grau de fraturamento moderado a forte; coesão da rocha são muito elevada; resistência à erosão da rocha são muito elevada; forma de relevo predominantemente escarpada em anfiteatros, separados por espigões de caimento abrupto, topos angulosos, vertentes com perfis retilíneos e vales fechados; declividade acima de 50%; solo nos topos e encostas pouco espesso e colúvios que incluem blocos e matações.

2- Unidade "Qm"- baixa densidade de drenagem implicando em permeabilidade relativa alta a moderada; materiais predominantemente isotrópicos, não coesivos, inconsolidados; grau de fraturamento nulo; resistência à erosão muito fraca embora as áreas de ocorrência da unidade sejam cumulativas (baixo curso dos rios); forma de relevo de terrenos baixos, planos, próximos ao nível do mar; declividade menor que 3%; solos predominantemente arenosos.

Em função do anteriormente descrito algumas características geotécnicas gerais e de adequação de uso podem ser inferidas para as unidades descritas.

Unidade "gt" - erodibilidade: as condições geodinâmicas da unidade conferem a ela um alto e contínuo potencial erosivo; escavabilidade: a unidade é imprópria pois quaisquer modificações que alterem o estado natural irão provocar

instabilidade; obras viárias: a unidade é imprópria pois quaisquer alterações do meio físico irão provocar instabilidades. Devem ser efetuados estudos em grande escala para obter-se um traçado que evite o máximo possível mutilações do meio ambiente, embora serão necessárias obras de engenharia (pontes, túneis, construção de encostas, etc.); desenvolvimento urbano e industrial: a unidade é imprópria; riscos geológicos: relevo escarpado, encostas retilíneas, declividade acentuada, o grau de fraturamento e anisotropia permitem prever um alto potencial de escorregamentos/deslizamentos/ queda de blocos desde que se altere as características naturais da unidade; pedras ornamentais e brita: a unidade possui alto potencial embora não seja recomendável a exploração sem que se faça estudos detalhados para preservação e recuperação do meio ambiente. Unidade "Qm" - erodibilidade: a unidade apresenta características cumulativas; escavabilidade: é adequada por meios mecânicos; materiais de construção: adequada embora requeira obras para solucionar o problema de proximidade da superfície do lençol freático; desenvolvimento urbano: adequada porém com restrições caso o desenvolvimento seja intensivo; desenvolvimento industrial: inadequada para que a proteção do meio ambiente seja efetiva; riscos geológicos: área sujeita a inundações com o agravamento relativo à proximidade da superfície do lençol freático.

Conclusões

Do ponto de vista do planejamento regional na escala de 1: 250.000 a integração de

dados geológicos, geomorfológicos e de solos obtidos de imagens TM-LANDSAT mostrou-se amplamente satisfatória.

A relação custo/benefício, com o emprego de tal metodologia é satisfatória, pois ao ser comparada com aquela relativa a um levantamento aerofotográfico é muito menor. Se por outro lado for considerado o uso de fotos já existentes, além de se perder a visão sinótica de uma região, depara-se com o problema de desatualização. Tal não ocorre, no caso das imagens, devido a possibilidade oferecida pela repetitividade em curtos intervalos de tempo do imageamento da região que se deseja avaliar.

Referências

- Almeida, F. F. M. de (1955) As camadas de São Paulo e a tectônica da Serra da Cantareira. São Paulo. Bol. da Soc. Bras. de Geol., 4(2): 23,40.
- Almeida, F. F. M. de (1967) Origem e evolução da plataforma brasileira. Bol. da Div. de Geol. e Min. do DNPM, n 241, 36p.
- Hasuy, Y. et al., (1975) The Ribeira Jold belt. Rev. Bras. de Geoc., 5(4); 256-257.
- Hasuy, Y.; Sadowski, G. R. (1976) Evolução geológica do pré-Cambriano na região sudeste do Estado de São Paulo. Rev. Bras. de Geoc., 6(3): 180-200.
- Hasuy, Y. et al., (1978a) Os granitos e granitóides da região de dobramentos sudeste nos Estados de São Paulo e Paraná. In: Congres. Bras. de

Hasuy, Y. et al., (1978b) Geologia da região administrativa 3 (Vale do Paraíba) e parte da região administrativa 2 (litoral) do Estado de São Paulo. São Paulo, IPT, 78p.

Veneziani, P. et al., (1983) Reconhecimento de figuras de interferência geradas pela Superposição de dobras flexurais na região do Vale do Paraíba do Sul (SP) com a utilização de sensoriamento remoto. In; Anais VII Simp. Bras. de Sens. Rem., Curitiba, Paraná.

Hasuy, Y. et al., (1984) A parte central da região de dobramentos sudeste e o maciço mediano de Guaxupé. In: Schobennhans et al., coord. Geologia do Brasil. Brasília, DNPM, cap. 7, p. 307-328.

Kurkdjian, M. L. N. O. et al., (1992) Macrozoneamento da região do Vale do Paraíba e Litoral Norte do Estado de São Paulo. São José dos Campos, INPE, 528. 711. 7: 711.2, 176p.

Marini, O. J. et al., (1967) O grupo Açungui no Estado do Paraná. Bol. Par. de Geoc., 23-25: 43-103.

Ponçano, W. L. (1981) As coberturas cenozóicas. In: Almeida, F. F. M. de et al., Mapa Geológico do Estado de São Paulo, São Paulo, IPT. v. 1, cap. 5, p. 82-96.

Rego, L. F. de M. (1938) A geologia do Estado de São Paulo. Bol. do Dep. de Estr. de Rod., 4(2): 197-215.

Soares, P. C.; Fiori, A. P. (1976) Lógica e Sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. Not. Geom. Campinas, S.P. 16(32): 71p.

Suguio, K. (1968) Contribuição à geologia da Bacia de Taubaté, Vale do Paraíba, Estado de São Paulo. 106 p. N Especial do Bol. da FaC de