

SENSORIAMENTO REMOTO PARA ESTUDO DE RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS UTILIZANDO MAPEAMENTO GEOAMBIENTAL. Anderson Rodrigo da Silva, Juércio Tavares de Mattos. – subárea – Engenharia Civil – Departamento de Engenharia Civil – Faculdade de Engenharia – Campus de Guaratinguetá.

O presente trabalho visou à utilização de técnicas de Sensoriamento Remoto, relacionando basicamente a seleção de parâmetros e desenvolvimento de procedimentos interpretativos de imagens de satélite, no sentido de avaliar os diversos elementos de relevo e drenagem que permitam uma compartimentação fisiográfica da área em Unidades Básicas de Compartimentação (UBC's) e posteriormente em Unidades Geoambientais para Recursos Hídricos Subterrâneos (UGRHS).

Também, na pesquisa realizou-se, nas imagens de satélite, uma análise das formas de relevo e drenagem de tal forma que quando interpretadas apresentassem um significado geológico-estrutural na definição das estruturas rúpteis da área as quais estão relacionadas às zonas de captura, circulação e concentração de águas subterrânea. O uso de produtos de Sensoriamento Remoto, principalmente aqueles gerados por sistemas orbitais, devido ao seu caráter sinóptico e bandas espectrais distintas têm mostrado ser de grande valia para investigações orientadas ao estudo de áreas com grande diversidade de relevo, de vegetação e de recursos naturais, cujas informações são necessárias para a realização de qualquer planejamento integrado dos recursos naturais (potenciais), tão rápida e economicamente possíveis. Neste contexto, os elementos texturais de relevo e drenagem são estruturados e esculpidos por processos endógenos e exógenos, sendo, portanto elementos fundamentais para a caracterização de propriedades físicas e químicas do meio físico.

Nesse trabalho foi realizada investigação orientada, seguindo um processo de planos relativamente normalizados. Isto é, desde o reconhecimento inicial das propriedades do relevo e drenagem até sua caracterização como fatores determinantes na compartimentação física do terreno (zonas homólogas). A partir dessas zonas foi possível obter as UBC's.

Nessas UBC's foram definidas suas propriedades (plasticidade, ruptibilidade, assimetria, resistência a erosão, tropia e permeabilidade) que posteriormente foi feita uma equivalência entre elas obtendo – se assim as UGRHS pretendidas.

A análise estrutural dos traços de juntas e dos lineamentos estruturais com o uso de sua representação espacial de isovalores de densidades e modelos 3-D favorece uma caracterização em área, de zonas de maior variação de tensão e conseqüentemente áreas de captura e circulação de água. Os resultados foram espacializados, na forma de isovalores, utilizando-se do Programa Surfer 8.0, e sobrepostos ao mapa de Unidades Geoambientais.

A área do presente estudo está localizada entre as cidades de São José dos Campos e Guaratinguetá (Vale do Paraíba e serra da Mantiqueira) e as cidades de Salesópolis e Ubatuba (serra do Mar) - SP. Localiza-se a sudeste do estado entre as latitudes 22°45'S e 23°25'S e as longitudes 45°45'W e 45°15'W.

Os resultados da pesquisa e a cartografia temática obtida permitiram uma visão espacial das UBC's mapeadas, suas respectivas propriedades físicas e posteriormente transformadas em UGRHS. Tais Unidades associadas ao Mapa Morfoestrutural, contendo os altos e baixos estruturais, podem estabelecer as zonas favoráveis à captura, circulação e concentração de água subterrânea. Finalmente as informações obtidas foram cruzadas com os dados de isovalores de precipitação e de vazão de poços artesianos que permitiram fazer um diagnóstico e prognóstico das principais áreas de captura, circulação e concentração de água subterrânea.

Foi utilizado como instrumentos de pesquisa produtos de sensoriamento remoto (imagens de satélite) e documentos cartográficos do IBGE e bibliografia temática da área. As imagens de satélite utilizadas para desenvolvimento do projeto foi a do Sistema Landsat TM 5, como as suas especificações mostradas na Tabela 1.

Tabela 1. Especificações da Imagem de Satélite.

DATA DA PASSAGEM	26/06/97	20/07/94	17/07/87
ÓRBITA	218	218	218
PONTO	76	76	76
CENA OU QUADRANTE	INTEIRA	W	W
FORMATO	Digital e Analógico	Digital e Analógico	Digital e Analógico
BANDAS	3(B), 4(G), 5(R)	4	4
ESCALA	1:250.000	1:100.000	1:100.000

(B) = azul, (G) = Verde, (R) = Vermelho.

As cartas topográficas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE na escala 1:50.000 corresponde às folhas de: Guaratinguetá, Jacareí, Lagoinha, Monteiro Lobato, Natividade da Serra, Paraibuna, Pindamonhangaba, São José dos Campos, São Luís do Paraitinga, Taubaté, Tremembé e Ubatuba.

O trabalho tem como procedimento metodológico, a utilização de imagens Landsat TM onde critérios analíticos e interpretativos dos elementos de relevo, sendo as UBC's individualizadas segundo cinco tipos de densidades texturais: muito alta, alta, moderada, baixa e nula.

Essas UBC's, correspondem a menor divisão de diferenças texturais de imagens que quando interpretadas sob o ponto de vista ambiental correspondem a menor compartimentação do meio físico que conservam sua identidade nas imagens.

Também utilizando – se das imagens Landsat TM definiu as propriedades físicas das UBC's (Resistência à erosão, Plasticidade/Ruptibilidade, Tropicidade, Assimetria de relevo, e Permeabilidade) essas propriedades forma divididas seguindo quatro classes distintas (alta, Moderada, baixa e nula) para cada propriedade analisada. As propriedades foram definidas e agrupadas nas seguintes categorias:

- **Resistência a Erosão:** é a propriedade que permite definir o grau de alterabilidade do maciço em função de processos endógenos (estruturais) e exógenos (climáticos).
- **Plasticidade/Ruptibilidade:** é a capacidade que o material tem de se deformar sem ruptura e a ruptibilidade é o inverso da plasticidade.
- **Tropia:** é a propriedade dos elementos se desenvolverem segundo uma direção preferencial (unidirecional, bi, tri ou isotrópica).
- **Assimetria de Relevo:** é a propriedade que permite caracterizar a posição espacial dos corpos geológico desde a posição horizontal até a vertical, passando por todas as posições intermediárias.
- **Permeabilidade:** é a propriedade dos materiais de apresentarem maior ou menor facilidade de percolação do fluido no meio poroso.

Como resultado das interpretações elaborou o mapa de zonas homologas as quais representam áreas com propriedades distintas. Essas zonas homólogas são aqui denominadas de Unidades Básicas de Compartimentação UBC's (Figura 3).

Com a equivalência entre UBC's em função de suas propriedades pode-se caracterizar e cartografar as Unidades Geoambientais (UGA's).

O mapa de Unidades Geoambientais para Recursos Hídricos Subterrâneos (UGRHS) visa à caracterização de áreas de percolação de água subterrânea. Essas áreas estão aqui subdivididas em quatro classes de percolação: alta, moderada, baixa e nula.

A classe de alta percolação foi considerada como as UBC's que apresentavam muito fraturados (Cristalino) ou muito permeáveis (Sedimentar).

A classe de moderada percolação foi considerada como as UBC's que apresentavam fraturados (Cristalino) ou permeáveis (Sedimentar).

As classes de baixa percolação foram consideradas como as UBC's que apresentavam pouco fraturados (Cristalino) ou pouco permeáveis (Sedimentar).

As classes de percolação nulas foram consideradas as UBC's que apresentavam não fraturados (Cristalino) ou não permeáveis (Sedimentar).

Verificamos assim que toda a região do Vale do Paraíba correspondente a Bacia Sedimentar de Taubaté, apresenta-se com uma zona de alta percolação de água, exceto a porção noroeste de Pindamonhangaba que se mostra com baixa percolação. Já na serra do Mar, na sua porção nordeste (entre Guaratinguetá e Lagoinha) é a região de mais alta percolação e na sua porção sudoeste as vazões apresentam moderada percolação com pequenos núcleos de baixa percolação. Na serra da Mantiqueira, verifica-se uma alternância de áreas com moderada a baixa percolação ocorrendo apenas um núcleo de alta percolação a norte de Monteiro Lobato.

Das interpretações dos traços de junta obteve-se o mapa de traço de junta (Figura 4). Também da análise estatística de isovalores de traço de juntas obteve-se o diagrama 3-D (Figura 1) estabeleceu também uma representação dos traços de juntas no diagrama de roseta (Figura 2).

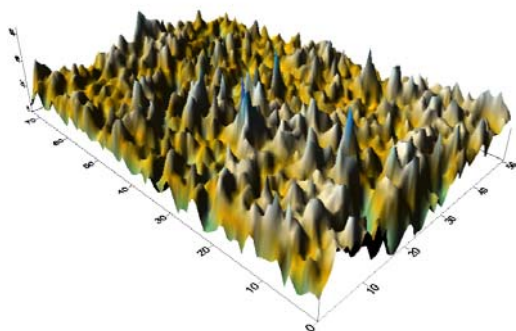


Figura 1 – Representação 3D da densidade de traços de Junta

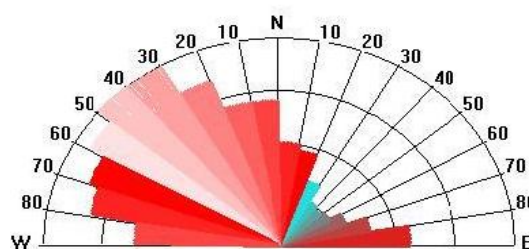


Figura 2 – Representação do Diagrama de Roseta das densidades de direção de traços de junta.

Os traços de junta na realidade são Sistemas de Juntas que podem estar abertas (preenchidas ou não) e fechadas. Podem formar séries (feixes, “trends”), sistemas e sistemas conjugados dependendo de suas distribuições em área e uma direção estar interceptando a outra e é interceptada por essa.

No mapa de isovalores de densidade de traço de juntas pode-se observar que a densidade de fraturamento é igual praticamente em toda a região estudada. Pode-se verificar que os picos de maior densidade de traço de junta se orientam segundo 8 direções principais formando eixos kilométricos que cortam toda a área. Deve-se destacar um eixo aproximadamente N60E que se estende da cidade de Jacareí até Guaratinguetá (Bacia Sedimentar de Taubaté) paralela a esse eixo rumando para o sul encontramos um segundo eixo na direção N60E que vai da cidade de Santa Branca em direção a cidade de Jambuí.

Um terceiro eixo na direção N50E alinha anomalias entre as cidades de Salesópolis e Paraíba, apenas um eixo N70W foi encontrado na área unindo as cidades de Caçapava Jambuí e Natividade da Serra. Dois Eixos EW alinham anomalias entre as cidades de Pindamonhangaba e Lorena na porção nordeste da área e Salesópolis e norte de Caraguatatuba na porção Sudoeste da área, finalmente dois eixos de menor extensão ocorre entre as cidades de São José dos Campos e Monteiro Lobato a oeste da área e Natividade da Serra rumo a Caraguatatuba na porção leste da área.

Pode-se estabelecer a priori, que esses eixos constituem verdadeiros corredores de percolação de água constituindo-se nas áreas mais favoráveis a captura de água sob o ponto de vista de sistema de juntas (descontinuidades abertas).

A figura 5 é o resultado do mapeamento dos lineamentos estruturais extraídos na área. Nesses lineamentos procurou-se estabelecer as principais direções (predominantes) e suas intersecções para se obter as direções de maior esforço na área (σ_1).

No Mapa de lineamentos estruturais definiu-se cruzamentos de lineamentos com ângulos de $60 \pm 5^\circ$ de tal forma que pudesse estar caracterizando um elipsóide de deformação cuja bissetriz estaria no σ_1 . Também nesses cruzamentos foram definidos os blocos soerguidos (altos estruturais) e os blocos rebaixados (baixos estruturais) devido a deformação cisalhante.



Figura 3 – Representação do Mapa de UBC's

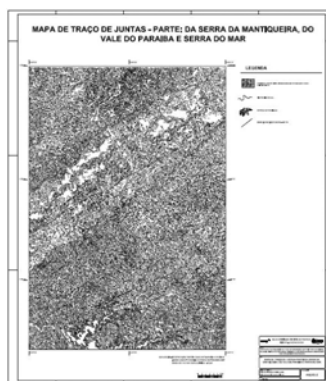


Figura 4 – Representação do Mapa de traço de junta



Figura 5 – Representação do Mapa de Lineamentos Estruturais

Foi feita uma integração das Unidades Geoambientais UGA's com os traços de junta e falhamentos estruturais. Pode-se caracterizar assim áreas favoráveis a captação de águas, onde ocorriam: uma alta ruptibilidade, alta densidade de junta e alta densidade de lineamento. Já as áreas de concentração de água subterrânea foi observado nas porções onde encontramos uma baixa ruptibilidade, baixa densidade de lineamentos e baixa densidade de juntas.

Na integração dos resultados fez-se uma convergência de evidências onde se pode priorizar as zonas favoráveis a captura/concentração de água segundo quatro categorias de concentração: alta, moderada, baixa e nula. Assim a equivalência de informações de captação e concentração de recursos hídricos subterrâneos veio confirmar a importância da integração das UGA's com as densidades de juntas e de lineamentos estruturais (falhamentos).

O uso de Sensoriamento Remoto para foi de extrema importância para a caracterização do meio Físico e mostrou-se promissor quando se explora os atributos espaciais das imagens de satélite através de análises texturais de imagem. A integração das Unidades Geoambientais com a distribuição espacial dos isovalores dos traço de junta e dos lineamentos estruturais permitiu com maior segurança e confiabilidade estabelecer e delimitar as áreas que representam as zonas favoráveis à captura, circulação e concentração de águas subterrâneas.

Referências Bibliográficas

- ALMEIDA, F. F. M. **Fundamentos geológicos do relevo paulista Instituto Geográfico e Geológico.** Geologia do Estado de São Paulo, IGG, 1964. (Boletim 41).
- DAEE. Departamento de Águas e Energia Elétrica. **Relatório de usuários privados por diretoria de bacia.** BPB . Bacia do Paraíba e do Litoral Norte. Taubaté. 2003. 17 e 37p.
- MATTOS, J.T. de; SOARES, P.C.; FIORI, A.P. **A lógica de interpretação de fotografias aéreas convencionais aplicadas a imagens de satélite.** In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 1978. São José dos Campos, anais
- OHARA, T. **Zoneamento Geoambiental da região do alto-médio Paraíba do Sul (SP) com sensoriamento remoto.** 1995. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) . Instituto de Geociências e Ciências Exatas de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1995.
- VENEZIANI, P.; ANJOS, C.E. dos. **Metodologia de Interpretação de Dados de Sensoriamento Remoto e Aplicação em Geologia.** São José dos Campos, INPE, 1982, 61 pags. (INPE2227-MD1014).

Bolsa: CNPq/PIBIC