

Definição de zonas de captura e concentração de águas subterrâneas, em parte do Vale do Paraíba e serras do Mar e Mantiqueira - SP: Uma Abordagem por Sensoriamento Remoto Orbital

Juécio Tavares de Mattos ¹
Anderson Rodrigo da Silva ¹
Bruno Laisner Prata ¹

¹ Universidade Estadual Paulista – UNESP/FEG
Av. Dr. Ariberto Pereira da Cunha, 333, CEP 12.516-410 – Guaratinguetá – SP – Brasil.
juercio@feg.unesp.br; ander_rodrigo@hotmail.com; brunoprata@linkway.com.br

Abstract: This research is based on a study of landforms using remote sensing techniques. A satellite image and topographic maps were used for identifying groundwater resources. Precipitation information and well flow data were also used. The final result is a thematic map showing the location of recharge areas, circulation and concentration of groundwater.

Palavras-Chave: underground hydric resources, remote sensing, analysis environmental, recursos hídricos Subterrâneos, sensoriamento remoto, análise ambiental.

1. Introdução

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, a pesquisa realizou uma Análise Morfoestrutural, que permitiu caracterizar formas de relevo (positivas e negativas), as quais apresentam um significado geológico-estrutural na definição de altos e baixos estruturais, os quais estão relacionados às zonas de captura 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 foram realizadas investigações orientadas, 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 Unidades Básicas de Compartimentação (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 Unidades Geoambientais de Recursos Hídricos Subterrâneos (UGRHS) pretendidas.

A análise Morfoestrutural feita sob a rede de drenagem da área, permitiu o traçado de linhas de contorno estrutural não cotodas, as quais evidenciaram os altos e baixos estruturais correspondentes a zonas de captura e concentração de água subterrânea.

Além da análise do meio físico, realizou-se uma avaliação de dados meteorológicos de precipitação, obtidos do site Sistema de Informação para Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (SIGRH), e dados de vazão de poços artesianos adquiridos no Departamento de Água e Energia Elétrica (DAEE) de Taubaté-SP. Os resultados foram espacializados, na forma de isovalores, utilizando-se do Programa Surfer 6.0.

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°30' S e as longitudes 45°00' W e 46°00' W.

Os resultados da pesquisa e a cartografia temática obtida permitiram uma visão espacial das Unidades Básicas de Compartimentação (UBC's) mapeadas, suas respectivas propriedades físicas e posteriormente transformadas em Unidades Geoambientais de Recursos Hídricos Subterrâneo (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.

2. Objetivo

A Presente pesquisa teve como objetivo mapear e cartografar Unidades Geoambientais para Recursos Hídricos Subterrâneos (UGRHS) e realizar uma análise Morfoestrutural para definição espacial de áreas propícias a pesquisa de água subterrâneas, utilizando-se de imagens de satélite Landsat TM, cartas topográficas e de dados de isovalores de precipitação e de vazão de poços artesianos.

Para atingir o objetivo da pesquisa adotou-se como meta a seguinte seqüência operacional:

- Interpretar em imagens Landsat TM os elementos texturais de relevo e drenagem para definir Unidades Básicas de Compartimentação (UBC's).
- Individualizar e caracterizar as UBC's pelas propriedades: tropia, assimetria, resistência à erosão, plasticidade/ruptibilidade e permeabilidade. Definir o Mapa de Unidades Geoambientais de Recursos Hídricos Subterrâneo (UGRHS).
- Extrair e interpretar a rede de drenagem para obter as feições correspondentes aos baixos e altos estruturais e obter um mapa Morfoestrutural contendo linhas de forma (contorno estrutural não cotado), altos e baixos estruturais.
- Cruzar as informações das Unidades Geoambientais de Recursos Hídricos Subterrâneo (UGRHS) com o mapa Morfoestrutural e posteriormente associar com dados de isovalores de precipitação e de vazões de poços artesianos.
- Estabelecer e hierarquizar as áreas mais favoráveis à captura e concentração de água subterrânea.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Materiais

Foram utilizados como instrumentos de pesquisa produtos de sensoriamento remoto, sendo imagens Landsat TM (Orbita 218, Ponto 76, No formato Digital e Analógico, Bandas 4(R), 5(G) e 7(B), escala 1:100.000 e passagem 20/08/1994); documentos cartográficos (Cartas do IBGE na escala 1:50.000, folhas de: Guaratinguetá, Jacareí, Lagoinha, Monteiro Lobato, Natividade da Serra, Paraibuna, Pindamonhangaba, São José dos Campos, São Luís do Paraitinga, Taubaté, Tremembé e Ubatuba); dados meteorológicos de precipitação do Sistema de Informações para Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (SIGRH); e de vazões de poços artesianos do Departamento de Água e Energia Elétrica (DAEE) na cidade de Taubaté - SP.

3.2. Métodos

A metodologia empregada baseou-se em técnicas de interpretação analógica e digital, usando produtos de sensoriamento remoto disponíveis (imagens Landsat TM) e cartas topográficas, avaliação de dados meteorológicos de precipitação e de vazões de poços artesianos. Os trabalhos foram desenvolvidos segundo o que se segue:

3.2.1. Análise Bibliográfica e Síntese Temática

Nesta fase foram analisadas todas as informações temáticas disponíveis (informações climáticas, geológicas-estruturais, pedológicas e geomorfológicas). Essas informações foram avaliadas nas imagens de satélite, utilizando-se da interpretação dos elementos texturais das mesmas. Procurou-se integrar todas as informações existentes inclusive as interpretações de imagens TM – Landsat e das cartas topográficas.

3.2.2. Interpretação de Imagem de Satélite

- Extração de elementos de relevo e drenagem das imagens de satélite e cartas topográficas.
- Definição de unidades texturais de imagens.
- Definição de zonas homólogas (Unidades Básicas de Compartimentação - UBC_S).
- Caracterização das propriedades de relevo e drenagem (plasticidade, ruptibilidade, assimetria, resistência a erosão, tropia e permeabilidade) e equivalência para definição de Unidades Geoambientais de Recursos Hídricos Subterrâneo (UGRHS).

Para a extração e interpretação textural das imagens de satélite utilizou-se das metodologias interpretativas segundo SOARES, FIORI e MATTOS (1978); VENZAANI e ANJOS (1982) e VEDOVELLO (1993).

Como síntese interpretativa das metodologias acima mencionada apresentamos:

- (a) Elementos de relevo e drenagem nas imagens são as menores superfícies contínuas e homogêneas e passíveis de repetição. O arranjo delas representa as diferentes unidades texturais de imagens que quando interpretadas constituem as Unidades Básicas de Compartimentação - UBC_S (Classificadas segundo quatro grandes grupos: densidade muito alta, alta, moderada, baixa e nula).
- (b) Também os elementos de relevo e drenagem quando fortemente estruturados unidirecionalmente foram interpretados como lineações podendo representar sistemas de fraturamentos (juntas e falhas) ou foliações das rochas.

- (c) As propriedades de relevo e drenagem (plasticidade/ruptibilidade, assimetria, resistência a erosão, topia e permeabilidade) foram utilizadas para caracterização de Zonas Homólogas e definição das Unidades Básicas de Compartimentação (UBC's).
- (d) As Unidades Básicas de Compartimentação associadas as suas propriedades: plasticidade, ruptibilidade, assimetria, resistência a erosão, topia e permeabilidade passaram a constituir as Unidades Geoambientais.
- (e) As Unidades Geoambientais classificadas segundo sua ruptibilidade e permeabilidade permitiram estabelecer classes de percolação de águas subterrâneas gerando o mapa de Unidades Geoambientais de Recursos Hídricos Subterrâneos (UGRHS).

3.2.3. Interpretação de Cartas Topográficas: Análise Morfoestrutural

A análise Morfoestrutural foi realizada com o objetivo de se obter linhas de contorno estruturais não contadas e que caracterizassem os altos e baixos estruturais da área, independentemente de um vínculo topográfico. As atividades foram assim desenvolvidas:

- Extração em carta topográfica de toda a rede de drenagem, completada com as curvas de níveis e imagens de satélite.
- Elaboração do Mapa Morfoestrutural contendo linhas de formas com o indicação do fluxo de água subterrânea e altos estruturais (zona de recarga) e baixos estruturais (zonas de concentração)

3.2.4. Obtenção e Avaliação de Dados de Precipitação

Foram trabalhados dados de precipitações dos últimos cinco anos de dados disponíveis (1995 a 1999), visto que já existia para a área informações detalhada de pluviometria de uma série de dados pluviométricos com 30 anos Silva (1999), o que favoreceu um conhecimento prévio da situação climática.

3.2.5. Obtenção e Avaliação de Dados de Vazões de Poços

A localização dos poços artesianos já se encontrava em coordenadas UTM. A análise do comportamento espacial das vazões dos poços artesianos do embasamento cristalino foram tratadas obtendo-se um mapa de contorno de isovalores (isolinhas) e Superfície 3-D (Wireframe) para visualização espacial das variáveis (vazões de poços).

3.2.6. Integração dos Mapas, dados de precipitação e dados de vazão de poços

Foi feita uma associação das áreas contendo altos e baixos estruturais (do mapa Morfoestrutural) com as classes de percolação de água subterrânea do mapa de Unidades Geoambientais de Recursos Hídricos Subterrâneos (UGRHS). Esse resultado foi comparado com isovalores de precipitação e vazão de poços artesianos.

3.2.7. Priorização de Áreas de Captura e Concentração de Água Subterrânea

A priorização foi realizada sempre admitindo que a captura e/ou concentração de água ocorria nos altos e baixos estruturais, respectivamente, nas classes de alta a moderada percolação e que houvesse valores altos de precipitações confirmados com vazão de poços artesianos.

4. Resultados

4.1. Mapa de Unidades Geoambientais

O mapa de Unidades Geoambientais para Recursos Hídricos Subterrâneos (UGRHS) (**Figura 1**) foi elaborado visando a caracterização de áreas de percolação de água subterrânea, áreas estas divididas em quatro classes de percolação: alta, moderada, baixa e nula.

A classe de alta percolação foram consideradas as UBC's que apresentavam muito fraturado (Cristalino) ou muito permeável (Sedimentar).

A classe de moderada percolação foram consideradas as UBC's que apresentavam fraturado (Cristalino) ou permeável (Sedimentar).

A classe de baixa percolação foram consideradas as UBC's que apresentavam pouco fraturado (Cristalino) ou pouco permeável (Sedimentar).

A classe de percolação nula foram consideradas as UBC's que apresentavam não fraturado (Cristalino) ou não permeável (Sedimentar).

Observando o Mapa de UGRHS, verifica-se 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 mostra-se 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.

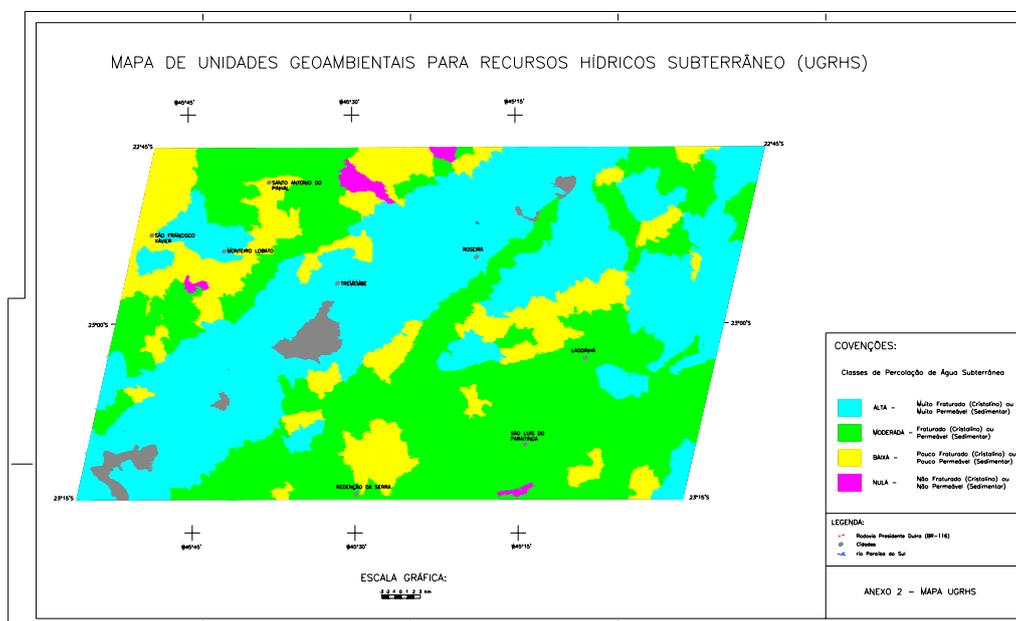


Figura 1 – Figura do Mapa de Unidades Unidades Geoambientais de Recursos Hídricos Subterrâneos - UGRHS - Parte do Vale do Paraíba e das serras do Mar e Mantiqueira-S.P.

4.2. Mapa Morfoestrutural

O mapa Morfoestrutural (**Figura 2**) representa a distribuição espacial da deformações plásticas que ocorreram na área em uma fase de intenso cisalhamento tectônico. Portanto, esse

mapa configura linhas de contorno estrutural (não cotado) das camadas geológicas com indicações de seus mergulhos e evidenciando seus altos e baixos estruturais.

Deve-se ressaltar que os altos estruturais sempre desenvolvem um intenso fraturamento discreto (várias direções) e aberto, o que torna essas regiões com alta percolação de água que aqui chamamos de zona de captura de água. Já os baixos estruturais são menos fraturados e seu fraturamento é fechado, o que favorece que a água possa ficar armazenada, por essa razão que consideramos essas áreas como zona de conservação de água subterrânea.

Já as demais linhas de contorno estrutural dão indicação do fluxo das águas que percolam pelos altos estruturais e concentram nos baixos estruturais.

Portanto, quando associamos esse mapa Morfoestrutural com Mapas topográficos da área verifica-se que em um baixo topográfico que contenha um alto estrutural constitui uma das áreas mais promissoras a captura de água. Já em um baixo topográfico com um baixo estrutural estaremos diante de áreas mais favoráveis a concentração de áreas subterrâneas.

Do mapa Morfoestrutural podemos observar que a melhor região de concentração de água subterrânea é a porção nordeste da área, representada por seis baixos estruturais, iniciando a oeste da cidade de Tremembé passando por Pindamonhangaba e toda a sua porção norte rumando para as cidades de Roseira, sul de Aparecida, Guaratinguetá até Lorena. Também é de grande destaque como zonas armazenadoras de água as regiões ao sul da cidade de São José dos Campos, todo o município de Jambeiro e Redenção da Serra. A sudeste de Paraíba existe um grande baixo estrutural, que marca uma zona favorável a concentração de água subterrânea.

Ainda, na serra do Mar, um dos maiores e melhor aquífero, encontra-se com seu eixo para nordeste entre a cidade de Lagoinha e São Luís do Paraitinga.

Na serra da Mantiqueira as zonas de concentração de água (aquíferos) ocorrem ao sul e sudeste de Monteiro Lobato e a noroeste rumando para oeste de Santo Antônio do Pinhal. Deve-se destacar que nessa serra as zonas de recarga (altos estruturais) são bem maiores o que favorece a maior captura e consequentemente concentração de água subterrânea nos aquíferos mencionados.

Finalmente, no mapa Morfoestrutural pode-se verificar que a maioria de zonas de captura de água (altos estruturais) são regiões pequenas e estreitas quando comparada com os baixos estruturais. Isso permite deduzir que existe uma necessidade de que esses altos estejam muito fraturados e que os índices de precipitação também sejam elevados para que possamos ter os baixos estruturais preenchidos e consequentemente constituírem aquíferos.

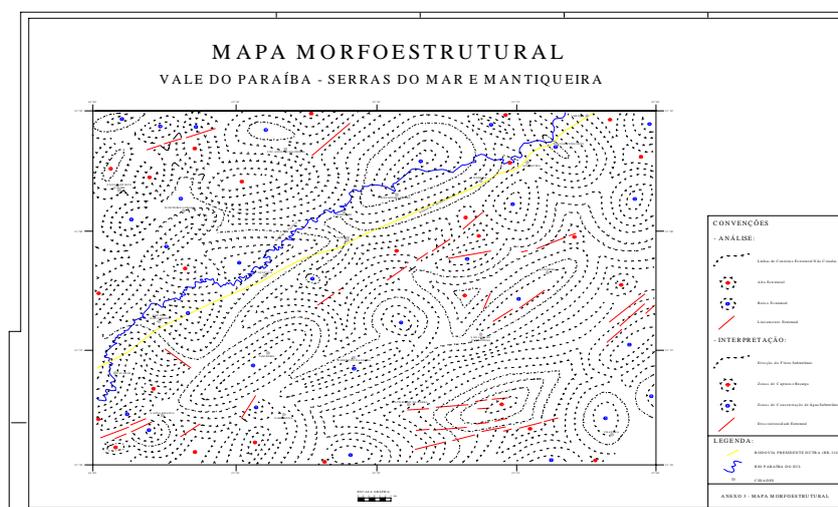


Figura 2 – Figura do Mapa Moroestrutural - Parte do Vale do Paraíba e das serras do Mar e Mantiqueira-S.P

4.3. Integração dos Resultados

Nesta fase de integração correlacionou o mapa Morfoestrutural com o mapa de Unidades Geoambientais para Recursos Hídricos Subterrâneo (classe de percolação de água), para associar as estruturas geológicas com os diferentes graus de percolação (dados pelo fraturamento ou permeabilidade das rochas).

Com os resultados da integração Morfoestrutural e Unidades Geoambientais, foi feita uma comparação com os isovalores de precipitação e vazões de poços artesianos.

Dos mapas Morfoestrutural e Unidades Geoambientais, verificou-se que a melhor região de concentração de água subterrânea é a porção nordeste da área, representada por seis baixos estruturais, iniciando a oeste da cidade de Tremembé passando por Pindamonhangaba e toda a sua porção norte rumando para as cidades de Roseira, sul de Aparecida, Guaratinguetá até Lorena. Estas regiões também mostram no mapa de isovalores de precipitação que são a de maior precipitação, porém quanto ao isovalores de vazão são valores médios a baixo. Isso deverá ser confirmado com mais perfurações ou detalhamento dessas informações.

Também é de grande destaque como zonas armazenadoras de água as regiões ao sul da cidade de São José dos Campos, todo o município de Jambeiro e Redenção da Serra. A sudeste de Paraibuna existe um grande baixo estrutural, que marca uma zona favorável a concentração de água subterrânea. Os dados de precipitação corroboram onde as cidades de São José dos Campos e o eixo noroeste que passa de São Luiz do Paraitinga, Redenção da Serra até Monteiro Lobato de São Francisco Xavier, apresentam altas precipitações em torno de 340 mm. Os dados de vazões também apresentam altos índices de vazões nas regiões citadas incluindo Paraibuna até Monteiro Lobato.

Ainda, na serra do Mar, um dos maiores e melhor aquífero, encontra-se com seu eixo para nordeste entre a cidade de Lagoinha e São Luís do Paraitinga. Os dados de precipitação mostram que a região de São Luiz do Paraitinga é a abastecedora do aquífero. Porém os dados de vazões não são altos o suficiente para caracterizar a região como um bom aquífero.

Na serra da Mantiqueira as zonas de concentração de água (aquíferos) ocorrem ao sul e sudeste de Monteiro Lobato e a noroeste rumando para oeste de Santo Antônio do Pinhal. As precipitações mostraram altos valores na região de Monteiro Lobato e São Francisco Xavier. Esses dados foram confirmados com grandes valores de vazões nas regiões citadas.

5. Conclusões

Baseado nas informações integradas dos dados de altos e baixos estruturais, classes de percolação, dados de precipitação e vazão de poços, podemos concluir que as regiões mais favoráveis a constituírem aquíferos subterrâneos são as que passam de Monteiro Lobato por São José dos Campos, rumando para Jambeiro e São Luiz do Paraitinga. A segunda região mais favorável corresponde a área de Pindamonhangaba até Lorena.

Um fato a se destacar é que na área correspondente a Serra Mar os altos estruturais são estreitos, isso implica que haverá uma necessidade de uma demanda maior de precipitação de água para que os aquíferos possam ter boas vazões. Portanto, em um período de estiagem (por exemplo, mais de 5 anos) provavelmente os aquíferos perderão suas vazões e terão baixa produtividade de água.

Já na Serra da Mantiqueira a situação é diferente visto que os altos estruturais (zona de captura) são mais amplos e com isso favorece o armazenamento de água, bastando apenas chuvas regulares que em período de estiagem manterão os níveis de vazões apropriados para aquíferos exploráveis.

Finalmente, deve-se ressaltar que estudos de semi detalhe e mesmo de detalhe deverão ser realizados na área de estudo para confirmação dos altos e baixos estruturais visando à definição precisos de futuros poços artesianos para abastecimento, tanto urbano, industrial ou agrícola.

6. Referências Bibliográficas

Artigos em Revistas:

ALMEIDA, F. F. M. **Fundamentos geológicos do relevo paulista Instituto Geográfico e Geológico.** Geologia do Estado de São Paulo, IGG, 1964. (Boletim 41).

OLIVEIRA, V. de; COSTA, A.M.R. da; AZEVEDO, W.P. de Pedologia. In: Brasil. **Projeto Radambrasil Folha SF23/SF24** – Rio de Janeiro/Vitória. Rio de Janeiro, p.385-552. (Levantamento de Recursos Naturais, 32). 1983.

SETZER, J. **Atlas climático e ecológico do estado de São Paulo.** São Paulo, Comissão Estadual da Bacia Paraná-Uruguaí, 61 p. 1966

Tese:

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.

SILVA, J. U. de L. e. **A dinâmica atmosférica e a distribuição das chuvas na região “oriental” paulista.** 1999. 212f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1999.

VEDOVELLO, R. **Zoneamento Geotécnicos, por sensoriamento remoto, para estudos de planejamento do meio físico-aplicação em expansão urbana.** (Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto)-Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, INPE, 1993. 73p.

Eventos:

SOARES, P.C.; FIORI, A.P.; MATTOS, J.T. de. **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 CNPq/INPE 1978, volume 2, págs. 616-627.

Relatório Técnico:

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. 17p.

DAEE. Departamento de Águas e Energia Elétrica. **Relatório de usuários públicos por diretoria de bacia.** BPB – Bacia do Paraíba e do Litoral Norte. Taubaté. 2003. 37p.

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).

Referências de Internet:

SIGRH. Sistema de Informação para Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo. Secretaria de Recursos Hídricos Saneamento e Obra, Conselho Estadual de Recursos Hídricos, Comitês de Bacias Hidrográficas, Fundo Estadual de Recursos Hídricos, Departamento de Água e Energia Elétrica. Disponível em:<<http://www.sigrh.sp.gov.br>>. Acesso em: setembro 2003.