Projeto Recarga Relatório Final

CARACTERIZAÇÃO DE ÁREAS DE RECARGA COM ANÁLISE INTEGRADA DE DADOS ORBITAIS –TM -LANDSAT- E DADOS HIDROGEOLÓGICOS-

REGIÃO DO MÉDIO VALE DO RIO PARAÍBA DO SUL - ESTADO DE SÃO PAULO.

MC – GEOLOGIA E MEIO AMBIENTE S/C LTDA

São José dos Campos - SP Junho/2008



1. INTRODUÇÃO	7
1. INTRODUÇÃO	7
1.1 APRESENTAÇÃO	7
1.2 ASPECTOS GERAIS	8
1.2.1. Localização da área do projeto de recarga	8
1.2.2. Clima	11
2. MATERIAIS E MÉTODOS	11
2.1. MATERIAIS	11
2.1.1. Uso de ferramentas de geotecnologias	11
2.1.2. Dados cartográficos digitais e bibliográficos	13
2.2. MÉTODO	17
2.2.1. Compartimentação topológica e geomorfológica	18
2.2.2. Interpretação de litoestruturas da área do projeto recarga	18
2.2.3. Análise integrativa e mapeamento dos domínios	18
2.2.4. Dados cartográficos e bibliográficos	19
2.2.5. Interpretação da litoestrutura da área do projeto de recarga	19
2.2.6. Análise hidrogeológica	19
2.2.7. Balanço hídrico potencial	19
2.3. OBJETIVOS	21
2.3.1. Objetivo geral	21
2.3.2. Objetivos específicos	21
2.4. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	21
2.5. RESULTADOS ESPERADOS	23
2.6. IMPACTOS DO PROJETO	23
2.6.1. Impactos científicos	23
2.6.2. Impactos tecnológicos	24
3. GEOMORFOLOGIA	26
3.1 ASPECTOS GERAIS	26
3.2. CARACTERÍSTICAS MORFODINÂMICAS	
3.2.1. Áreas de agradação	
3.2.2. Relevos de degradação em planaltos dissecados	
4. GEOLOGIA REGIONAL	30
4.1. GEOLOGIA ESTRUTURAL	40
4.2. RESULTADOS:	40
4.2. 2 ANÁLISE DE DADOS ESTRUTURAIS	48
4.2.2.1. Mapa de fraturas/zonas de juntas	49
4.2.2.2. Mapa de lineamentos estruturais	58
4.2.4. MAPA MORFOESTRUTURAL DE CONDICIONANTES HIDROGEOLOGICOS	58
5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	64
5.1 ASPECTOS GERAIS	64
5.2 SINTESE RELATIVA AO MAPA GEOLOGICO ESTRUTURAL / LITOESTRUTURAL	73
5.3 SÍNTESE RELATIVA A ÁREAS DE RECARGA MORFOESTRUTURAL X ATRIBUTOS FÍSI	[COS77
5.3 SÍNTESE DA CORRELAÇÃO ENTRE ÀREAS DE ALTA DENSIDADE DE FRATURAS E X	_
ESTRUTURAS	80
5.3 ESTUDO DE CASO NA HIERARQUIZAÇÃO DE AREA DE RECARGA	85
6 – HIDROGEOLOGIA	87
6.1. HIDRODINÂMICA DOS AQUÍFEROS	87



6.2. DETERMINAÇÃO DOS TIPOS DE AQÜÍFEROS ATRAVÉS DA INTERPRETAÇÃO DOS TESTES
DE VAZÃO94
6.2.1 MODELOS HIDROGEOLÓGICOS (THEIS (1935) , HANTUSH E NEUMAN (1972),)
6.2.5 . EVOLUÇÃO HISTÓRICA DOS NÍVEIS DINÂMICOS NOS POÇOS DE EXTRAÇÃO DA
SABESP DO VALE DO PARAÍBA105
6.2.5.1. POÇOS CONTENDO NÍVEIS DINÂMICOS CRESCENTES E VAZÕES DECRESCENTES 105
6.2.52. POÇOS CONTENDO NÍVEIS DINÂMICOS CRESCENTES E VAZÕES CRESCENTES 108
6.2.5.3. POÇOS CONTENDO NÍVEIS DINÂMICOS DECRESCENTES E VAZÕES CRESCENTES.110
6.2.5.4. POÇOS CONTENDO NÍVEIS DINÂMICOS DECRESCENTES E VAZÕES DECRESCENTES
6.2.6. INDUÇÃO DA RECARGA PROVENIENTE DE FONTES SUPERFICIAIS119
7.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS
7.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS



INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO EM RELAÇÃO AO ESTADO DE	
SÃO PAULO E VISÃO SINÓTICA DA ÁREA EM COMPOSIÇÃO COLORIDA TM-LANDSAT	
ILUMINADA	9
FIGURA 2 – DIVISÃO POLÍTICO-ADMINISTRATIVO – MUNICÍPIOS PERTENCENTES AO	
MÉDIO VALE DO RIO PARAÍBA DO SUL	10
TABELA 1 – CARTA TOPOGRÁFICA NA ESCALA DE 1:50.000 (IBGE) UTILIZAD.	A
PARA OBTENÇÃO DE REDE DE DRENAGEM	15
FIGURA 3 – FLUXOGRAMA DE TRABALHO – OMTG	16
FIGURA 4 – DIVISÃO TOPOGRÁFICA – CARTAS DE DRENAGEM (1:50.000)	20
TABELA 2. RELAÇÃO DOS MUNICÍPIOS DO VALE DO RIO PARAÍBA DO SUL	23
FIGURA 5 – DIVISÃO GEOMORFOLÓGICA DO ESTADO DE SÃO PAULO – SEGUNDO	
ALMEIDA (1964) – FONTE IPT – 1981	27
FIGURA 7. MAPA DA DISTRIBUIÇÃO DAS UNIDADES TECTONO-ESTRATIGRÁFICAS DO	
ESTADO DE SÃO PAULO. IN: MAPA GEOLÓGICO DO ESTADO DE SÃO PAULO (CPRM, 200	5). 31
FIGURA 8. COMPARTIMENTAÇÃO TECTÔNICA DO EMBASAMENTO DA BACIA DE TAUB.	ATÉ
(HASUI E PONÇANO, 1978)	34
FIGURA 9. MAPA ESTRUTURAL SÍSMICO EM PROFUNDIDADE	
(EMBASAMENTO). MODIFICADO DE MARQUES (1990)	35
TABELA 3 – RESUMO HISTÓRICO LITOESTRATIGRÁFICO PROPOSTO POR	
DIVERSOS AUTORES PARA A BACIA DE TAUBATÉ ATÉ A DÉCADA DE 1990.	
(MODIFICADO DE SAAD, 1990).	37
FIGURA 10 – MAPA LITOESTRUTURAL NA ESCALA DE 1:100.000, DA REGIÃO DE ESTUDO.	(
MODIFICADO DE INPE, 1992)	39
FIGURA 11. MAPA DE DENSIDADE DE FRATURAS, TODAS AS DIREÇÕES	51
FIGURA 12. MAPA DE DENSIDADE DE FRATURA N10E-N10W	52
FIGURA 13. MAPA DE DENSIDADE DE FRATURA N15-35E	53
FIGURA 14. MAPA DE DENSIDADE DE FRATURA N15-35E	54
FIGURA 15. MAPA DE DENSIDADE DE FRATURA N15-35E	55
FIGURA 16. MAPA DE DENSIDADE DE FRATURA N45-65E	56
Figura 17. Mapa de densidade de fratura N80W-N80E	57
FIGURA 18. MAPA DE LINEAMENTOS ESTRUTURAIS, E PONTOS CRUZAMENTOS	60
FIGURA 19. MAPA DE DENSIDADE DE LINEAMENTOS ESTRUTURAIS.	61
FIGURA 20. MAPA DE CONDICIONANTES HIDROGEOLOGICOS DE CARATER ESTRUTURA	AL 62
FIGURA 21. MAPA DE ÀREAS DE RECARGA E FLUXO DE ÀGUA SUBTERRÂNEA	63
FIGURA 22. ESQUEMA DO MODELO DE DEFORMAÇÃO DE RIEDEL (1929).	68
FIGURA 23. REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS SISTEM	IAS
DE LINEAMENTOS NA AREA DE ESTUDO Σ1 (SIGMA1) DIREÇAO DE ESFORÇO PRINCIPAI	Ĺ
SEGUNDO O MODELO ADOTADO. FONTE PROJETO MAVALE 1992.	69
FIGURA 24. REPRESENTAÇÃO ESQUEMATICA DO PAR CONJUGADO R-R1, DOS SISTEMAS	S DE
FRATURAS DISTENSIVAS (A) E DIREÇAO DOS EIXOS DE DOBRAS (B). ADAPTADO DO	
PROJETO MAVALE, (1992)	70
FIGURA 25. MAPA DE INTERVALOS DE DECLIVIDADE DA REGIAO DO MEDIO VALE DO	
	71
TABELA 4 – VALORES RELATIVOS E EMPIRICOS ADOTADOS COMO INDICES DE	
AVALIAÇAU DUS ATKIBUTUS FISICUS LEVANTADUS PAKA A KEGIAU DU MEDIO VALE dio dada ída dio cui	
KIU YAKAIBA DU SUL.	73
ALAMEDA HARWEY U. WEEKS, 14, SL. UI – ED. NEW CENTER - SJCAMPC	15/ SP

TAX(12) 3902-8555 E-MAIL- mc_geologia@yahoo.com.br ou celioea@yahoo.com.br



TABELA 5 - CORRELAÇÃO ENTRE UNIDADES GEOLÓGICO -LITOESTRUTURAIS X	
DENSIDADE FRATURAS- OCORRÊNCIA DE FEIXES DE FRATURAS(UNI – BI E	
MULTIDIRECIONAIS – DECLIVIDADE E FLUXO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA7	6
TABELA 6 - SÍNTESE DA CORRELAÇÃO ENTRE ÁREAS DE RECARGA X SUBDIVISÕES DESTAS	;
ÁREAS RECARGA VERSUS ÁREA DE ALTA E MEDIA DENSIDADE DE FRATURAMENTO;	
ÁREAS DE ALTA DENSIDADE DE LINEAMENTOS + O CRUZAMENTO ENTRE LINEAMENTOS	
DE DIREÇÕES DIVERSAS. 8	1
TABELA 7 – SÍNTESE DA CORRELAÇÃO ENTRE DE ÁREAS DE ALTA DENSIDADE DE	
FRATURAS VERSUS, KM2 / FEIXE DE FRATURAS – KM2 / CRUZAMENTO DE LINEAMENTOS .	
8	2
FIGURA 26 – MAPA INTEGRADO ENTRE, ÁREAS DE RECARGA E FLUXO DE ÁGUA	
SUBTERRÂNEA , ÁREA DE ALTA DENSIDADE DE FRATURAMENTO8	3
FIGURA 27 – MAPA INTEGRADO ENTRE ÁREAS DE RECARGA, ALTA DENSIDADE FRATURAS	5
E FEIXES DE FRATURAMENTO8	4
FIGURA 28A. MODELO DE CIRCULAÇÃO REGIONAL PARA O SISTEMA AQÜÍFERO	
SEDIMENTAR DA BACIA DE TAUBATÉ9	0
FIGURA 28B. MODELO DE CIRCULAÇÃO REGIONAL PARA O SISTEMA AQÜÍFERO	
CRISTALINO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL9	1
FIGURA 30. MÉTODO DA FUNÇÃO DE HANTUSH (1956), PARA DETERMINAÇÃO DA	
TRANSMISSIVIDADE DO AQÜÍFERO SEMI-CONFINADO NO LOCAL DO POÇO Nº 33 DA	
SABESP, EM CAÇAPAVA. EXEMPLO DE POÇO EM.AQÜÍFERO SEMI CONFINADO. ALTA	
CONTRIBUIÇÃO DO MANTO DE ALTERAÇÃO9	6
FIGURA 31. GRÁFICO DA FUNÇÃO DE NEUMAN (1972), DO POÇO 2 DA SABESP EM	
CAÇAPAVA.CURVA SUPERIOR AQQUIFRO PRINCIPAL (FM.TREMEMBÉ) E CURVA INFERIOR	
A DIREITA (FREÁTICO OU LIVRE FM.PINDMONHANGABA)9	8
TABELA 8. PARÂMETROS HIDRODINÂMICOS E TIPOS DE AQÜÍFEROS	
DETERMINADOS EM POÇOS COM TESTES DE VAZÃO10	2
FIGURA 32. MAPA DA DISTRIBUIÇÃO DA TRANSMISSIVIDADE DOS AQÜÍFEROS	
SEDIMENTAR DO VALE DO PARAÍBA10	4
FIGURA 33. GRÁFICOS CONTENDO A EVOLUÇÃO DOS NÍVEIS DINÂMICOS E DAS VAZÕES	
EXTRAÍDAS DO POÇO SABESP № 50 EM SÃO JOSÉ DOS CAMPOS10	7
FIGURA 34. GRÁFICOS CONTENDO A EVOLUÇÃO DOS NÍVEIS DINÂMICOS E DAS VAZÕES	
EXTRAÍDOS DO POÇO SABESP № 01 EM GUARAREMA10	8
FIGURA 35. GRÁFICOS CONTENDO A EVOLUÇÃO DOS NÍVEIS DINÂMICOS E AS VAZÕES	
EXTRAÍDAS DO POÇO SABESP № 94 EM SÃO JOSÉ DOS CAMPOS10	9
FIGURA 36. GRÁFICOS CONTENDO A EVOLUÇÃO DOS NÍVEIS DINÂMICOS E AS VAZÕES	
EXTRAÍDAS DO POÇO SABESP № 96 EM SÃO JOSÉ DOS CAMPOS. MOSTRA VAZÕES	
CRESCENTES E NÍVEIS DINÂMICOS CRESCENTES10	9
TABELA 10. RELAÇÃO DOS POÇOS CONTENDO NÍVEIS DINÂMICOS	
CRESCENTES E VAZÕES CRESCENTES11	0
FIGURA 37. GRÁFICOS CONTENDO A EVOLUÇÃO DOS NÍVEIS DINÂMICOS E AS VAZÕES	
EXTRAÍDAS DO POÇO SABESP Nº 61 EM SÃO JOSÉ DOS CAMPOS11	1
FIGURA 38. GRÁFICOS CONTENDO A EVOLUÇÃO DOS NÍVEIS DINÂMICOS E AS VAZÕES	
EXTRAIDAS DO POÇO SABESP Nº 24 EM CAÇAPAVA11	1
TABELA 11. RELAÇÃO DOS POÇOS CONTENDO NÍVEIS DINÂMICOS	
DECRESCENTES E VAZOES CRESCENTES11	2



FIGURA 39. GRÁFICOS CONTENDO A EVOLUÇÃO DOS NÍVEIS DINÂMICOS E AS VAZÕES	
EXTRAÍDAS DO POÇO SABESP № 3 EM JAMBEIRO	_114
FIGURA 40. GRÁFICOS CONTENDO A EVOLUÇÃO DOS NÍVEIS DINÂMICOS E AS VAZÕES	
EXTRAÍDAS DO POÇO SABESP № 19 EM CAÇAPAVA	_114
TABELA 12. RELAÇÃO DOS POÇOS CONTENDO NÍVEIS DINÂMICOS	
DECRESCENTES E VAZÕES DECRESCENTES	_115
FIGURA 41 MAPA POTENCIOMÉTRICO DA VALE DO PARAÍBA. COM ÊNFASE A ÁREA DA	
BACIA DE TAUBATÉ	_118
FIGURA 42. MAPA DE LOCALIZAÇÃO DE POÇOS TUBULARES PROFUNDOS DA REGIÃO DO	O
VALE DO PARAÍBA.	_121
FIGURA 43 MODELO DE RIO INFLUENTE TÍPICO DE REGIÕES SEMI-ÁRIDAS (MODIFICADO	0
DE CETESB, 1974)	_122
FIGURA 44. MODELO DE RIO EFLUENTE TÍPICO DE REGIÕES ÚMIDAS (MODIFICADO DE	
CETESB, 1974)	_122
TABELA 13. IDENTIFICAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DOS POÇOS TUBULARES	
PROFUNDOS NA REGIÃO DO VALE DO PARAÍBA	_123
FIGURA 45– MAPA POTENCIOMÉTRICO NA REGIÃO OESTE DA BACIA DE TAUBATÉ.	_133
FIGURA 46 – MAPA COM DISTRIBUIÇÃO DE TIPOS DE AQÜÍFEROS NA REGIÃO DA BACIA	A
DE TAUBATÉ.	_148
FIGURA 47 – MAPA COM DISTRIBUIÇÃO CORRELAÇÃO ENTRE NÍVEIS DINÂMICOS X	
VAZÃO NA REGIÃO OESTE DA BACIA DE TAUBATÉ	_149
FIGURA 48. MAPA COM A LOCALIZAÇÃO DAS SECÇÕES GEOLÓGICAS E DOS	
POÇOS UTILIZADOS	_151
FIGURA 49. SECÇÃO GEOLÓGICA A-A'	_153
FIGURA50. SECÇÃO GEOLÓGICA B-B'	_154
FIGURA 30. SECÇÃO GEOLÓGICA C-C'	_155



1. INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

Este é um projeto com ênfase no estudo do potencial hidrogeológico contemplando a identificação, caracterização e avaliação da importância de áreas de recarga do aqüífero subterrâneo no Médio Vale do Rio Paraíba do Sul. Está baseado na integração de dados fotointerpretados de produtos de sensoriamento remoto, cadastro e resultados da análise e processamento de dados de poços profundos. Resulta uma base para a composição de um banco de dados na escala de 1:100.000, capaz de proporcionar aos usuários uma fonte de consulta sobre o meio físico em geral, com uma sólida base de dados hidrogeológico, geológicos, estruturais, morfológicos, meteorológicos, apresentados, através de mapas analíticos e cartas temáticas apropriadas à gestão dos recursos hídricos subterrâneos.

Os estudos geológicos e hidrogeológicos são importantes para o desenvolvimento do Estado de São Paulo, em especial para o Médio Vale do Rio Paraíba do Sul, uma vez que grande parte do abastecimento público de água para as populações locais, consumo industrial e mesmo agrícola tem como fonte as águas subterrâneas oriundas da exploração de poços tubulares profundos.

A geologia pode ser considerada a base para a definição das diferentes características do ambiente, que constitui os aqüíferos: porosos e /ou fissurado, principalmente a litologia e o desenvolvimento das feições tectônicas associadas, estrutura morfológicas, e pedológicas que determinam o potencial hidrogeológico de uma região.

Este estudo teve como objetivo geral à determinação de áreas favoráveis a recarga e a descarga de águas subterrâneas: na escala de 1:100.000.

Foram utilizados dados litoestruturais interpretados dos produtos de sensoriamento remoto, dados de campo, cadastramento de poços e dados planialtimétricos geológicos e topográficos.

A geologia da região é representada em sua maioria por rochas cristalinas de idade neoproterozóicas pertencentes aos grupos Açungui e São Roque, e secundariamente por rochas sedimentares de idade terciária da Bacia de Taubaté do Grupo Taubaté. A sua configuração atual é decorrente dos eventos deformacionais Brasilianos e dos efeitos neotectônicos desenvolvidos no Cenozóico. Neste contexto a área possui dois domínios hidrogeológico principais, o Poroso e o Fraturado.

As informações aqui levantadas e integradas permitem avançar no conhecimento do potencial hidrogeológico e das principais áreas de recarga de água subterrânea da Média Bacia do Rio Paraíba do Sul no Estado de São Paulo.

A identificação destas áreas de recarga e planejamento permitirá a adoção de estratégias de planejamento para a preservação e conservação dos recursos hídricos. O desenvolvimento deste projeto foi realizado por um grupo de profissionais que trabalham em diferentes instituições, e contempla a aplicação de metodologias apropriadas e inovadoras a pesquisa, manejo e o gerenciamento dos recursos hídricos subterrâneos, utilizando o modelo de gestão por bacia, conforme preconiza o Comitê das Bacias Hidrográficas do Rio Paraíba do Sul (CBH-PS).



O Médio Vale do Rio Paraíba do Sul apresenta características geológicas e hidrogeológicas anômalas e importantes, se comparadas às demais regiões do Estado de São Paulo. A bacia de Taubaté, formada por reativações neotectônicas é o principal responsável por essas características. Esses aqüíferos são heterogêneos e anisotrópicos. Os fluxos hídricos percolam em direção à calha do Rio Paraíba do Sul. Nessa área, o fluxo é interrompido devido ao contraste hidrogeológico brusco na borda falhada do graben, causando acúmulo e mistura de águas. Essas características são acentuadas em função do aumento do gradiente potenciométrico pela exploração.

A bacia do Rio Paraíba do Sul situa-se na região Sudeste do Brasil e ocupa aproximadamente 55.400 km², compreendendo os estados de São Paulo (13.500 km²), Rio de Janeiro (21.000 km²) e Minas Gerais (20.900 km²). A bacia abrange 180 municípios, com uma população total de 5.588.237, 88,79% da qual vive nas áreas urbanas. A bacia situa-se na região da Mata Atlântica, que se estendia, originariamente, por toda a costa brasileira. No entanto, somente 11% da sua área total é ocupada pelos remanescentes da floresta, a qual se pode encontrar nas regiões mais elevadas e de relevo mais acidentado.

1.2 ASPECTOS GERAIS

1.2.1. Localização da área do projeto de recarga

A área de estudo situa-se na região do Médio Vale do Rio Paraíba do Sul (Figura 1). Abrange os limites de trinta e cinco (35) Municípios. A figura 2, mostra os limites dos municípios na área do projeto.

Situado na Região Sudeste do Brasil, bacia do rio Paraíba do Sul no trecho do Estado de São Paulo, ocupa uma área de aproximadamente 13.500 Km². O rio Paraíba do Sul resulta da confluência a 800 metros de altitude, dos rios Paraibuna e Paraitinga no estado de São Paulo, e percorre 1.150 km até desaguar no norte fluminense, no município de São João da Barra.

O vale do rio Paraíba do Sul estende-se na direção leste-oeste entre as Serras do Mar e da Mantiqueira, situando-se numa das poucas regiões do país de relevo muito acidentado, com colinas e montanhas de mais 2.000 metros nos pontos mais elevados, e muito poucas áreas planas. A região é caracterizada por um clima predominantemente tropical quente e úmido, com variações determinadas pelas diferenças de altitude e entradas de ventos marinhos. A bacia situa-se na região da Mata Atlântica, que se estendia, originariamente, por toda a costa brasileira (do Rio Grande do Norte ao Rio Grande do Sul) numa faixa de 300 km. Segundo dados somente 11% da sua área total é ocupada por remanescente florestal, a qual se pode encontrar nas regiões mais elevadas e de relevo mais acidentado.



FIGURA 1. MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO EM RELAÇÃO AO ESTADO DE SÃO PAULO E VISÃO SINÓTICA DA ÁREA EM COMPOSIÇÃO COLORIDA TM-LANDSAT ILUMINADA.



FIGURA 2 – DIVISÃO POLÍTICO-ADMINISTRATIVO – MUNICÍPIOS PERTENCENTES AO MÉDIO VALE DO RIO PARAÍBA DO SUL.

1.2.2. Clima

O estado de São Paulo encontra-se na faixa de transição entre o clima tropical a subtropical, sendo fortemente influenciado por fatores ligados à topografia e a dinâmica atmosférica (massas de ar polares equatoriais e tropicais, marítimas e continentais). O clima de São José dos Campos, conforme classificação de Koeppen é de Cwa - Mesotérmico Úmido (MOLION, 1980).

Os tipos climáticos variados da região são função principalmente do acentuado desnível topográfico, onde predominam: um clima subtropical e de montanha na Serra da Mantiqueira; um clima tropical úmido na região de Serra do Mar e, um clima tropical com invernos secos e verões úmidos bem definidos na região do Vale de Rio Paraíba do Sul.

A temperatura media do mês mais frio é inferior aos 18 °C graus e a do mês mais quente ultrapassa os 22 °C (graus centígrados). A precipitação média anual na Bacia é de 1200 a 2500 mm (DAEE 1977a), com o volume das chuvas sofrendo influencia direta da Serra do Mar e Mantiqueira.

Precipitações do tipo orográfico são produzidas pelas escarpas de direção NE - SW, que bordejam a área da bacia, o que produz, maiores volumes de chuvas nas faces da serra voltadas para o oceano. Na região do fundo do Vale, a média varia entre 1200 a 1600 mm, com volumes de 1200 a 1300 mm no período chuvoso e 250 a 300 mm no período seco.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. MATERIAIS

2.1.1. Uso de ferramentas de geotecnologias

Optou-se pela utilização de geotecnologias neste trabalho, devido à disponibilidade de grande quantidade de dados e a facilidade de identificar e avaliar mais criteriosamente os diferentes padrões das unidades temáticas consideradas. Embora o conceito de geotecnologias seja bastante abrangente, nesta análise utilizaremos principalmente dados de Sensoriamento Remoto (imagens de satélites), dados de altimetria do SRTM, dados cartográficos do IBGE, cartas temáticas de geologia, geomorfologia, hidrogeologia e os dados processados a partir dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), e outros softwares como: SPRING 4.1, ARCVIEW 3.2, AUTOCAD MAP 2000, SURFER 8.0, VISUAL GROUNDWATER, BALASC.

(a) Dados de Sensoriamento Remoto:

• LANDSAT TM 5: as imagens do satélite Landsat TM 5 datadas de 28/9/2000, correspondente às órbitas/pontos 219/076 e 218/076, com resolução espacial de 30x30 m (900 m²). Foram utilizadas as imagens das bandas 3, 4 e 5 do sensor TM 5.

• Dados SRTM: as informações sobre o projeto SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission), foram obtidas do sítio do JPL (Jet Propulsion Laboratory) da NASA. Os dados processados para formação de Modelos Digitais de Elevação (MDE) mundial. Estes dados verificados e ajustados aos padrões norte – americanos de exatidão de mapas, são disponibilizados ao público através do USGS (United States Geological Survey).



Estes dados foram disponibilizados com uma resolução de 90 metros ou "3" ou 0,00833°. O datum e o elipsóide de referencia são WGS84, com dados de "z" em metros inteiros. VALERIANO, (2004) avalia e tece considerações sobre o potencial e limitações do uso do MDE. A exatidão altimétrica absoluta é pouco exigida e sendo estimados erros de até 6 metros (HEIPKE et al. 2002). Ainda segundo VELERIANO, (2004), o coeficiente angular da equação de regressão, associado ao coeficiente de regressão (ambos muito próximos a 1) pode indicar que a altimetria do modelo SRTM, no preparo do MDE através da interpolação dos dados por krigagem, guardam alta correlação com a altimetria registrada pelas cartas do IGC na escala de 1:50.000O.

Neste sentido a interpolação para arcos de um (1) arcseg, reduzem os efeitos indesejáveis de objetos sobre o terreno e de ocasionais artefatos, favorecendo a geração de curvas de nível, podendo ser considerados viáveis para estudos de microbacias nas escalas de 1:50000 de modo geral e até 1:10.000.

Nesta análise as imagens SRTM utilizadas foram dos quadrantes S23ºW45º, S23ºW46º, S24ºW45º, S24ºW46º do ano de 2000. O tratamento destes dados foi elaborado para a geração de imagem sombreada com exagero vertical de 5x. e utilizou-se a combinação de imagens com Azimute 135º – elevação 45º na banda vermelha, azimute 225º e elevação 45º, na banda verde. Estes dados foram também utilizados para o cálculo das informações de declividade.

(b) Softwares:

- SPRING 4.1: foi utilizado como plataforma para a elaboração e apresentação do banco de dados. Elaboração de carta de curvas de nível e de classes de declividade, realização de alguns cálculos como os dados de declividade, etc.;
- ARCVIEW 3.2: foi o principal sistema auxiliar utilizado na elaboração do referido projeto, a sua utilização se justifica pela facilidade de manipular dados vetoriais (pontos, linhas, polígonos), tabelas, e representação dos dados como mapas temáticos;
- AUTOCADMAP 2000: empregado na digitalização e vetorização de alguns dados do meio físico, juntamente com outras bases de dados disponíveis (rodovias, cidades, etc.);
- SURFER 8.0: este software foi potencialmente utilizado para a interpolação e elaboração de cálculos das áreas de densidade de fraturamento, interpolação dos dados climatológicos (DAEE, 1977a ; b), análise hidrogeológica ou potencial hidrogeológico;
- VISUAL GROUNDWATER: Modelagem do comportamento e características do sistema aqüífero. Analise de dados de compartimentação topográfica, litológica e geomorfológica;
- BALASC: indicado para o tratamento dos dados de precipitação e temperatura (neste caso, as médias mensais). Neste sentido foram realizados os cálculos de evapotranspiração, excedente a déficit hídrico.



2.1.2. Dados cartográficos digitais e bibliográficos

Procedeu-se o levantamento das informações disponíveis sobre a área de estudo e sobre o tema em questão. Em seguida foi elaborada uma interface entre bancos de dados geográficos e sistemas de informação geográfica a qual possibilitou inferir análises espaciais. Seqüencialmente os processos foram:

(*a*) Compilação, digitalização e georreferenciamento de dados cartográficos digitais e bibliográficos em diferentes escalas, sendo posteriormente ajustados quando necessário para a escala de 1:100.000. Dados geológicos (KURKDJIAN, 1992; IBGE, 1986); geotécnico e geomorfológico (IPT, 1981); hidrogeológico (DAEE, 1979).

(b) Integração dos dados bibliográficos e digitais em um único banco de dados;

(c) Vetorização e descrição dos atributos dos dados digitais temáticos.

(d) Obtenção do Sistema Hidrográfico da Bacia do Médio Vale do Paraíba do Sul

Foram utilizadas cartas topográficas (escala 1:50 000) incluindo as cartas listadas abaixo (Tabela. 1). Inicialmente procedeu-se à delimitação do Sistema Hidrográfico da Área do Projeto Recarga, e à reconstituição da rede de canais, destacando-se as diversas bacias hidrográficas que convergem diretamente para a calha do Rio Paraíba do Sul (Figura 4 - Mapa do Sistema Hidrográfico).

ID	NOME	ROTULO	AREA	PERIMETRO
12897	Virgínia	SF-23-Y-B-III-4	712215168	106819,6719
13233	Camanducaia	SF-23-Y-B-IV-4	709918912	106654,6172
13139	Campos do Jordão	SF-23-Y-B-V-2	711025216	106733,9766
13140	Monteiro Lobato	SF-23-Y-B-V-3	709825984	106647,6406
13141	Tremembé	SF-23-Y-B-V-4	709757952	106642,5234
13050	Delfin Moreira	SF-23-Y-B-VI-1	710986432	106731,0547
13051	Lorena	SF-23-Y-B-VI-2	710957824	106728,9063
13052	Pindamonhangaba	SF-23-Y-B-VI-3	709715136	106639,2891
13053	Guaratinguetá	SF-23-Y-B-VI-4	709690432	106637,4609
13414	Piracaia	SF-23-Y-D-I-1	708759296	106571,3047

Drenagem: Cartas 1:50.000, inseridas no Projeto Recarga



13415	Igaratá	SF-23-Y-D-I-2	708631680	106561,7422
13416	Itaquá	SF-23-Y-D-I-3	707457664	106477,3828
13417	Santa Isabel	SF-23-Y-D-I-4	707336512	106468,2891
13322	São José dos Campos	SF-23-Y-D-II-1	708542784	106555,0391
13323	Taubaté	SF-23-Y-D-II-2	708472896	106549,7813
13324	Jacareí	SF-23-Y-D-II-3	707247360	106461,5703
13325	Paraibuna	SF-23-Y-D-II-4	707176704	106456,2656
13226	São Luiz	SF-23-Y-D-III-1	708429952	106546,5547
13227	Lagoinha	SF-23-Y-D-III-2	708405632	106544,7188
13228	Natividade da Serra	SF-23-Y-D-III-3	707129600	106452,7188
13229	Ubatuba	SF-23-Y-D-III-4	707112768	106451,4375
13619	Mogi das Cruzes	SF-23-Y-D-IV-2	706027456	106373,8594
13522	Salesópolis	SF-23-Y-D-V-1	705939840	106367,2422
13523	Pico do Papagaio	SF-23-Y-D-V-2	705868672	106361,8828
13418	Caraguatatuba	SF-23-Y-D-VI-1	705823104	106358,4453
12808	Passa Quatro	SF-23-Z-A-I-3	712223744	106820,2969
12809	Agulhas Negras	SF-23-Z-A-I-4	712235712	106821,2188
12970	Cruzeiro	SF-23-Z-A-IV-1	710959808	106729,0469
12971	São José do Barreiro	SF-23-Z-A-IV-2	710980928	106730,6563
12972	Campos de Cunha	SF-23-Z-A-IV-3	709691520	106637,5391
12973	Rio Mambucaba	SF-23-Z-A-IV-4	709709696	106638,8984
12882	Bananal	SF-23-Z-A-V-1	711031360	106734,4297
12883	Volta Redonda	SF-23-Z-A-V-2	711100096	106739,6016



12884	Frade	SF-23-Z-A-V-3	709761408	106642,7656
12885	Mangaratiba	SF-23-Z-A-V-4	709824064	106647,4922
13134	Cunha	SF-23-Z-C-I-1	708404096	106544,6094

TABELA 1 – CARTA TOPOGRÁFICA NA ESCALA DE 1:50.000 (IBGE) UTILIZADA PARA OBTENÇÃO DE REDE DE DRENAGEM.





PROJETO RECARGA – MÁDIO VALE DO RIO PARAÍBA DO SUL/SP FLUXOGRAMA DE TRABALHO

FIGURA 3 – FLUXOGRAMA DE TRABALHO – OMTG



2.2. *MÉTODO*

Uma visão geral da metodologia aplicada para a identificação e Caracterização de áreas de recarga da região do Médio Vale do Rio Paraíba do Sul – Estado de São Paulo. Encontra-se apresentada na figura 3 (Fluxograma de trabalho), que evidencia a seqüência lógica em que as atividades foram executadas.

O passo inicial foi estabelecer as interfaces interdisciplinares necessárias à execução dos objetivos do projeto. Para a execução da análise foi necessário utilizar a mão-de-obra de pessoal qualificado: dois geólogos, um Geógrafo, um especialista em processamento de dados, cinco estagiários da das áreas de geologia, geografia e engenharia Ambiental da Universidade de São Paulo (USP), Universidade de Taubaté (UNITAU), e Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI). Terceirização de alguns serviços, para a análise dos recursos materiais e financeiros envolvidos.

Envolveu a seleção de informações sobre a características e dinâmica do meio físico, como (geologia, geomorfologia, hidrogeologia, geotecnia) as quais integradas e interpretadas conduziram a identificação e a caracterização dos distintos compartimentos e ambientes que compõe a área de intervenção e áreas adjacentes.

O trabalho teve um caráter interdisciplinar com enfoque analítico, (diagnóstico) e sistêmico (integração, prognóstico e síntese), buscando-se perceber a dinâmica que surge da interdependência destes componentes.

Foram realizadas fotointerpretações de imagens de satélite e fotografias aéreas, a partir de uma análise lógica e sistemática dos elementos de textura da imagem segundo VENEZIANI e ANJOS (1982), onde se consideram as relações métricas e geométricas, o grau e a ordem de estruturação de elementos texturais de relevo e drenagem, analisados por processos indutivos e dedutivos, informações bibliográficas, levantamentos, observações, ensaios de campo e de laboratórios, os quais conduziram ao significado físico (caracterização hidrogeologica; geológico – estrutural; litoestrutural; e geomórfica) do Médio Vale do Rio Paraíba do Sul.

A seqüência metodológica aplicada encontra-se apresentada na figura 3, que evidencia a seqüência lógica em que as atividades foram executadas:

a) Compilação e georreferenciamento de dados cartográficos digitais e bibliográficos em diferentes escalas, sendo posteriormente ajustados quando necessário para a escala de 1:100.000;

Elaboração de banco de dados com os seguintes produtos:

b) Vetorização das cartas de drenagem para toda a área do Vale;

c) Compartimentação topográfica, litológica e geomorfológica;

- d) Fotointerpretação das Imagens de satélite TM -Landsat;
- e) Confecção de mapa de densidade de faturamento;
- f) Elaboração de mapa morfoestrutural e de condicionantes hidrogeológica;

g) Elaboração de mapa de lineamentos estruturais;

h) Elaboração de carta de curvas de nível e de classes de declividade;



- i) Elaboração de cadastro de poços profundos, para toda a área do vale;
- j) Processamento dos dados de poços em ambiente (Programa VISUAL GROUNDWATER);
- Compartimentação topográfica, litológica e geomorfológica;
- f) Análise hidrogeológica ou hidro Potencial;

2.2.1. Compartimentação topológica e geomorfológica

A geomorfologia da superfície terrestre é um produto tri-dimensional, evidenciado por dois elementos fundamentais: o relevo, visto através das diferenças de altitudes entre dois pontos (gradiente); e a forma geométrica, vista através da configuração morfológica das curvas de nível que reproduzem o relevo em planta (convexas, côncavas ou retilíneas). A bacia de drenagem é a unidade geomorfológica básica que conduz à leitura integrada desses dois elementos, em visão tri-dimensional, dentro de cada nível hierárquico no qual se reproduz na paisagem.

Seguindo a ótica acima, optou-se por representar o fator geomorfologia através da reconstituição de um mapa do sistema hidrográfico e de um mapa de compartimentação do relevo, conforme IPT (1981).

Finalmente o mapeamento foi reduzido para a escala 1:100 000 e o produto final foi então digitalizado e editado - ver o mapa de Compartimentação do relevo (Figura 5).

2.2.2. Interpretação de litoestruturas da área do projeto recarga

Foi realizada na escala 1:100 000, a partir da análise das propriedades texturais e estruturais de elementos de relevo e drenagem, obtidas através do processo de fotointerpretação de imagem de satélite e cartas topográficas para identificação das unidades fotolitológicas / litoestruturais, parametrizadas por dados bibliográficos e integradas sobre mapas geológicos regionais preexistentes, (IPT, 1981; PONÇANO e CARNEIRO, 1981; KURKDJIAN et al. 1992) e integradas com as cartas litoestruturais da área de estudo.

2.2.3. Análise integrativa e mapeamento dos domínios

Essa etapa foi conduzida aplicando-se o método analítico-integrativo, COELHO NETTO et al. (1993). O método envolve sucessivas etapas de análises, indutivas e dedutivas, intercaladas pelo cruzamento de mapas temáticos submetidos a diferentes etapas de agregações das informações cartografadas. Dentre estes foram incluídos mapas referentes a litoestrutura, lineamentos, morfoestrutural e de condicionantes hidrogeológicos, densidade de fraturas e declividade.

Os mapas temáticos relativos a aspectos hidrogeológicos e hidrodinâmicos gerados pelo processamento de banco de dados de cadastro de poços tubulares.



2.2.4. Dados cartográficos e bibliográficos

A elaboração da interface entre bancos de dados geográficos e sistemas de informação geográfica permitiu inferir análises espaciais.

Este pode ser determinado conforme o exemplo abaixo:

- (a) Integração dos dados bibliográficos e digitais em um único banco de dados;
- (b) Vetorização e descrição dos atributos dos dados digitais temáticos.

2.2.5. Interpretação da litoestrutura da área do projeto de recarga

A fotointerpretação foi realizada na escala 1:100 000, a partir das propriedades texturais e estruturais de elementos de relevo e drenagem para identificação das unidades fotolitológicas / litoestruturais parametrizadas por dados bibliográficos e integradas sobre mapas geológicos regionais preexistentes, (IPT, 1981; PONÇANO e CARNEIRO, 1981; e KURKDJIAN et al. 1992).

2.2.6. Análise hidrogeológica

Dados de análise hidrogeológica foram obtidos a partir da fotointerpretação de imagens orbitais, cartas de drenagem, de dados altimétricos, cadastro de poços, processamento e análise de dados e resultados.

Foram adotados critérios de fotointerpretação de produtos de sensoriamento remoto MATTOS e VENEZIANI (1985); ANJOS (1986); KURKDJIAN et al. (1992).

2.2.7. Balanço hídrico potencial

Não sendo conhecido um coeficiente de drenagem subterrânea usado e apropriado para a região e quando se depara com condições específicas de solo, este pode ser determinado conforme o exemplo abaixo:

(a) Infiltração potencial; (b) Retenção de umidade pelo solo; (c) Lâmina potencialmente drenável; (d) Evapotranspiração; (e) Lâmina a ser escoada pelo sistema de drenagem; (f) Ascensão do lençol freático; (g) Cálculo estimativo do coeficiente de drenagem subterrânea ou recarga

NOGIA E MEIO AMBIENTE



FIGURA 4 – DIVISÃO TOPOGRÁFICA – CARTAS DE DRENAGEM (1:50.000).



2.3. OBJETIVOS

2.3.1. Objetivo geral

• Mapear e avaliar áreas de recarga dos aqüíferos subterrâneos na região abrangida pelo Médio Vale do Rio Paraíba do Sul – SP.

2.3.2. Objetivos específicos

- Fotointerpretação de imagens de imagens de satélite TM 5 Landsat, para caracterização física da área em tela;
- Elaboração de carta morfoestrutural e de condicionantes hidrogeológico da região do Médio Vale do rio Paraíba do Sul Trecho Paulista;
- Execução e análise de mapa de densidade de fraturamento da região em tela;
- Execução de mapa de lineamentos estruturais;
- Elaboração de carta de declividade da região em estudo;
- Levantamento e avaliação hidrogeológica da região a partir de cadastramento de dados de poços profundos disponíveis;
- Integrar os resultados obtidos dos dados multifontes. Identificar as principais áreas de recarga da região do Médio vale do Paraíba incluindo, as áreas cristalinas e área sedimentar da Bacia de Taubaté;
- Realizar estimativas de potencial hidrogeológico dos diversos compartimentos geológicos/ litológicos, estruturais geomorfológicos da área de estudo;
- Buscar inter-relações entre áreas de recarga com aspectos morfológicos, e feições estruturais / dimensionais;
- Realizar a classificação hierárquica relativa das áreas de recarga do aqüífero subterrâneo através da integração e correlação de dados fotointerpretados e bibliográficos.
- Disponibilizar os resultados do projeto via Internet em página hospedada na UNITAU

2.4. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Os trabalhos discriminados no escopo desta proposta serão realizados na região do Médio Vale do Rio Paraíba do Sul. Esta área abrange, os seguintes municípios (Tabela 2):

ID	MUNICÍPIOS	MICRORREGIÃO
1	Aparecida	Guaratinguetá
2	Arapei	Bananal
3	Areias	Bananal
4	Arujá	Guarulhos
5	Bananal	Bananal



6	Caçapava	São José dos Campos
7	Cachoeira Paulista	Guaratinguetá
8	Canas	Guaratinguetá
9	Cruzeiro	Guaratinguetá
10	Cunha	Paraibuna/Paraitinga
11	Guararema	Moji Das Cruzes
12	Guaratinguetá	Guaratinguetá
13	Igaratá	São José dos Campos
14	Jacareí	São José dos Campos
15	Jambeiro	Paraibuna/Paraitinga
16	Lagoinha	Paraibuna/Paraitinga
17	Lorena	Guaratinguetá
18	Monteiro Lobato	Campos do Jordão
19	Natividade da Serra	Paraibuna/Paraitinga
20	Paraibuna	Paraibuna/Paraitinga
21	Pindamonhangaba	São José dos Campos
22	Potim	Guaratinguetá
23	Redenção da Serra	Paraibuna/Paraitinga
24	Roseira	Guaratinguetá
25	Santa Branca	São José dos Campos
26	Santa Isabel	Guarulhos
27	São Jose do Barreiro	Bananal
28	São Jose dos Campos	São José dos Campos
29	São Luis do Paraitinga	Paraibuna/Paraitinga
30	Silveiras	Bananal



TABELA 2. RELAÇÃO DOS MUNICÍPIOS DO VALE DO RIO PARAÍBA DO SUL.

O embasamento cristalino que perfaz mais de 75% dos tipos litológicos aflorantes na região, é constituído predominantemente por rochas granulíticas do Arqueano, migmatíticas – gnáissicas, graníticas e metassedimentares do Pré-Cambriano e do Proterozóico.

Sedimentos terciários da Bacia sedimentar de Taubaté, e coberturas colúvio-aluvionares terciárias e aluviões recentes completam o quadro geológico da região.

2.5. RESULTADOS ESPERADOS

O Projeto pretende identificar áreas de recarga potenciais, com base na integração e análise de produtos de sensoriamento remoto de tecnologia GIS. Com dados hidrogeológicos obtidos de cadastramento de poços profundos.

Em sua conclusão, espera-se obter dados e informações que permitam melhorar o conhecimento do potencial hidrogeológico da região do Médio Vale do Rio Paraíba do Sul, associado aos sistemas aqüíferos cristalinos, aqüíferos sedimentar e a depósitos colúvio aluvionares de cobertura em áreas do embasamento cristalino.

O Projeto prevê também a produção dos seguintes mapas básicos e temáticos da região em escala de 1:100.000, oriundos da interpretação de imagens de sensoriamento remoto dos satélites LANDSAT 7, SRTM; processamento de dados hidrogeológicos e cadastro de poços profundos; drenagem; curvas de nível; geológico; litoestrutural; lineamentos; densidade de drenagem; classes de declividade; morfoestruturas e de condicionantes hidrogeológicos com indicação de áreas de recarga; áreas de recarga e de fluxo de água subterrânea; densidade de fraturamento e .

Adicionalmente será produzido um modelo digital de elevação utilizando-se tanto o mapa de curvas de níveis e pontos, de onde será extraído a o mapa de declividades.

- --Hierarquizar as áreas de recarga, segundo seu potencial hidrogeológico;
- Relatórios e disponibilização dos resultados pela Internet.

2.6. IMPACTOS DO PROJETO

2.6.1. Impactos científicos

Pelo já exposto, pode-se prever que o impacto científico do Projeto consistirá no aumento do conhecimento científico sobre os aqüíferos sedimentares e sistemas aqüíferos cristalinos da área em tela, e na oportunidade de aplicação de métodos indiretos de sensoriamento remoto como ferramenta coadjuvante associada com metodologias clássicas de investigação hidrogeológica e o desenvolvimento de novos métodos de pesquisa e investigação de recursos hídricos subterrâneos. Os estudos realizados serão difundidos no âmbito do projeto



para a comunidade científica com a veiculação do banco de dados através da na rede mundial de computadores.

2.6.2. Impactos tecnológicos

Com relação aos impactos tecnológicos do Projeto destacamos a adoção de uma metodologia que associa recursos tradicionais como o cadastramento de poços profundos, à realização de processamento de dados com uso de modernos programas de modelagem de água subterrânea e às técnicas de análises espaciais de dados de sensoriamento remoto fotointerpretados e tratados com geoprocessamento, o que possibilitará o desenvolvimento e/ou ajuste de modelos mais precisos para a avaliação do tema investigado.

O estudo proposto tem, implícita, a avaliação do potencial hidrogeológico utilizando a integração de produtos gerados a partir análises qualitativas e quantitativas de dados obtidos de das imagens (TM-LANDSAT) e o processamento e análises de dados de cadastramento de poços profundos.

A integração de dados foi usada como uma técnica útil e atual para este estudo, que consta de levantamento litoestrutural, análise, morfoestrutural e estudos hidrogeológicos entre outros. Essa técnica permite que sejam consideradas e integradas diversas informações de origens distintas gerando um resultado final mais próximo da realidade do terreno.

Fez-se uso dessa ferramenta de pesquisa, para ampliar os conhecimentos geológicoestrutural /hidrogeológico e identificar as principais áreas de recarga do vale.

Ênfase foi dada à identificação das fraturas abertas porque mantêm e regulam a alimentação e predominantemente constituem os sistemas aqüíferos no domínio fraturado.

O empilhamento estratigráfico e a geologia estrutural apresentam os litotipos granítico, gnáissico e xistosos dos grupos Açungui e São Roque, como os controladores do ambiente hidrogeológico por apresentarem características geológicas rúpteis e alojarem as fraturas abertas.

Tais fraturas, somados ao padrão de interferência de dobras de domo-bacia, que, caracterizam zonas apicais de charneiras. Áreas de altos relacionados a flexura de blocos estruturais intensamente fraturadas que se mostram como zonas alimentadoras dos aqüíferos. Área da cobertura sedimentar da Bacia de Taubaté, que se desenha como a principal área de recarga em todo o médio Vale do Rio Paraíba do Sul.

O produto final integrado fornece indicadores para localizar aqüíferos fraturados e identificar áreas de recarga dos aqüíferos. Ampliação do conhecimento litoestrutural e / potencial hidrogeológico, apresentam propostas para o manejo dos recursos hídricos subterrâneos da hidrogeologia da região, e propõem uma nova metodologia alternativa rápida e eficiente para identificar possíveis áreas e estruturas armazenadoras de água, como aqüíferos fraturados.

2.6.3. Impactos ambientais

O mapeamento e a avaliação da potencialidade hídrica dos aqüíferos (áreas de recarga) é, antes de tudo um instrumento de gestão e uma preciosa informação sobre os recursos ambientais de uma região.

Além de todo o nicho ecológico associado, há a questão da preservação dos recursos hídricos. Com base no tipo de informação a que se propõe fornecer este tipo de pesquisa, é



possível a orientação de políticas públicas e de planejamento para a proteção dos recursos hídricos.



3. GEOMORFOLOGIA

3.1 ASPECTOS GERAIS

A região onde se insere a área de estudo, segundo a proposta de divisão geomorfológica do Estado de São Paulo, ALMEIDA (1964), faz parte da Província do Planalto Atlântico, abrangendo as zonas da Serra da Mantiqueira e Médio Vale do Paraíba (Figura 5).

Esta província se desenvolve sobre rochas cristalinas Proterozóicas e coberturas sedimentares terciárias da Bacia de Taubaté além de alguns depósitos colúvio aluvionares quaternários restritos.

Caracteriza-se por apresentar relevo intensamente dissecado, onde alinhamentos serranos destacam-se condicionados pelo conjunto de estruturas de ruptura regionais, e associados às litologia mais resistentes; à alternâncias de climas tropicais úmidos a secos que ocorreram desde o final do Terciário.

A região que se subdivide em dois conjuntos litológicos principais, aos quais estão associadas feições geomórficas diferenciadas. O primeiro conjunto é o das unidades mais antigas (Grupo Açunguí), que corresponde à subzona geomórfica da Serra da Mantiqueira Ocidental, definida como constituída de montanhas complexas, cujo frontão serrano recuou profundamente de seu alinhamento por processos erosivos, pela expansão da bacia do Rio Paraíba do Sul. A Segunda subzona corresponde Morros Cristalinos e as Colinas Sedimentares (ALMEIDA, 1964).

A subzona de Morros Cristalinos exibe padrões de relevo e drenagem muito adaptados a litologia, às estruturas associadas e aos ciclos erosivos a que estiveram sujeitos, abrangendo parte da subzona da Serra da Mantiqueira Ocidental.





FIGURA 5 – DIVISÃO GEOMORFOLÓGICA DO ESTADO DE SÃO PAULO – SEGUNDO ALMEIDA (1964) – FONTE IPT – 1981.

Neste compartimento, se observa altitudes de até 1.400 m, talhadas em rochas mais resistentes as quais possuem orientação ENE a NNE, coincidindo com a direção dos corpos intrusivos e das litologias metassedimentares, típicas da área do empreendimento, evidenciando forte condicionamento tectônico.



3.2. CARACTERÍSTICAS MORFODINÂMICAS

Segundo dados do IPT, (1981) na compartimentação topomorfológica da região é possível identificar e individualizar unidades de relevo, em função dos condicionantes litoestruturais e morfológicos (declividade, amplitudes topográficas e nivelamentos altimétricos, formas de vertentes, padrão e densidade de drenagem, etc.) que sugerem diferentes suscetibilidades morfodinâmicas, sendo reconhecidas às Áreas de Agradação e Relevo de degradação em planaltos dissecados.

3.2.1. Áreas de agradação

Corresponde a áreas de sedimentação, normalmente circunscritas ou contíguas aos relevos de degradação, sujeitos a processos de dissecação (áreas intermontanas), devido aos processos erosivos e deposicionais. Correspondem a depósitos recentes das planícies aluviais, desenvolvidos junto ás margens dos rios e sujeitos periodicamente a inundações.

3.2.2. Relevos de degradação em planaltos dissecados

Representam as áreas sujeitas à processos erosivos (denudação) confinados, sobre as áreas planálticas do estado que criou um modelado de relevo de degradação.

Esse tipo de compartimento morfogênico pode ser subdividido em três unidades: Relevo de Colinas, Relevo de Morrotes, Relevo de Morros e Escarpas Festonadas. A distribuição destas unidades de relevo, realizada pelo IPT, (1981) encontra-se apresentada no mapa geomorfológico regional (Figura 6).



Figura 6. Mapa Geomorfológico da região do médio vale do Rio Paraíba do Sul, Fonte Modificado de IPT 1981 (Legenda em edição).



4. GEOLOGIA REGIONAL

Considerando a escala regional utilizada para desenvolvimento do trabalho, torna-se importante uma consideração do ponto de vista da tectônica da área, dada a importância e relação entre eventos e feições associadas, à definição dos comportamentos litoestruturais identificados e mapeados na região.

O mapa geológico da CPRM, (2005), registra no leste paulista, a ocorrência dos por ela chamados: Terreno Embu, Terreno Apiaí, Terreno Socorro -Guaxupé e Terreno Serra do Mar e Bacias Terciárias como mostrado no mapa geológico do estado de São Paulo (Figura 7).



FIGURA 7. MAPA DA DISTRIBUIÇÃO DAS UNIDADES TECTONO-ESTRATIGRÁFICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. IN: MAPA GEOLÓGICO DO ESTADO DE SÃO PAULO (CPRM, 2005).



A geologia do médio vale do Rio Paraíba do Sul foi apresentada por VENEZIANI e ANJOS, no Projeto Mavale em 1992, no qual se inclui a área do projeto. Faz parte da Região de Dobramentos Sudeste, conforme divisão proposta por SCHOBENNHAUS et al. (1984), caracterizada por mobilização tectônica brasiliana e engloba unidades litoestruturais que provavelmente foram acumuladas durante o proterozóico superior. Esta região contém áreas afetadas pelo Ciclo Brasiliano, e complexos litoestruturais consolidados no Arqueano e Proterozóico inferior, retrabalhados em ciclos termotectônicos pré e sin-brasilianos. Evidências de transformações geodinâmicas e geoquímicas caracterizam para a Região de Dobramentos Sudeste, uma evolução policíclica e polimetamórfica (HASUI et al. 1984).

As faixas de dobramentos estruturadas provavelmente durante o Ciclo Brasiliano, inclusas na região considerada são extensões das faixas Apiaí e São Roque. A este Ciclo atribuem-se intensos retrabalhamentos de faixas consolidadas anteriormente (grupos Amparo e Paraíba do Sul), bem como de partes expostas do embasamento Arqueano (Complexo Costeiros e Juiz de Fora) e dos maciços medianos (Maciço Guaxupé).

Apesar do intenso retrabalhamento os núcleos granulíticos arqueanos foram preservados, inseridos no contexto das faixas retrabalhadas e dos maciços medianos (HASSUI et al. 1984).

A sua exposição na superfície sugere a ocorrência de deslocamentos de grande amplitude, possíveis após sucessivos ciclos tectônicos, fato que reafirma o policiclismo da região.

A área do Vale do Paraíba do Sul 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 (HASSUI et al. 1984), engloba litotipos de origem essencialmente metamórfica tais como gnaisses, migmatitos, com intercalações de calcissilicáticas, calcários, metavulcânicas, formações ferríferas, quartzitos e subordinamente, corpos máficos, metamáficos e intrusivos (dioritos, monzonitos e sienitos).

Destacam-se também rochas granulíticas nas formas de núcleos esparsos, bolsões e feixes representados por charnockitos, kinzigitos, leptinitos e enderbitos.

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

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

Estas rochas, no conjunto, apresentam um grau médio a alto de metamorfismo (anfibolito e subordinamente granulito) e sofreram feldspatização, migmatização e intrusões ácidas.

A falta de estudos ainda mais detalhados limitam o conhecimento sobre a distribuição espacial, tanto o Complexo Costeiro como o Grupo (complexo) Paraíba do Sul, fato que limita discussões mais objetivas sobre a origem, dos litotipos.

O Grupo Açungui (MARINI et al. 1967) reúne as seqüências que representam a faixa de dobramentos Apiaí (HASSUI 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 grada para rochas migmatíticas. Subordinamente ocorrem, calcários, dolomitos, rochas calcissilicáticas, quartzitos, metaconglomerados, calcixistos, metabasitos e gnaisses.

HASUI e SADOWSKI (1976) dividiram o Grupo Açungui nos complexos Pilar e Embu. Ao primeiro absorveram os xistos em geral e (com passagem gradual) ao segundo, as rochas feldspatizadas e migmatizadas. O metamorfismo que afetou estes litotipos é classificado segundo a fáceis xisto verde, localmente anfibolito.

O grupo São Roque apresenta estruturas que indicam uma evolução tectônica particular e, portanto, justificam sua separação do Grupo Açungui. Constitui-se essencialmente metapelítos representados por filitos e xistos, intercalados (subordinadamente) por quartzitos, calcários, dolomitos, calcissilicáticas, metaconglomerados, metarcóseos, metabasitos, anfibolitos e metavulcânicas, metamorfizados em fáceis xisto-verde de baixa pressão e temperatura (HASUI e SADOWSKI, 1976).

Rochas granitóides associadas às supracrustais do Proterozóico superior (HASUI et al. 1984), constituem uma peculiaridade da região do Vale do rio Paraíba do Sul. Foram estudadas ao nível de reconhecimento e agrupadas em duas categorias principais (HASUI et al. 1978a; WERNICK, 1979 a; b).

A primeira abrange a maioria dos corpos mapeados e os relaciona aos granitóides sintectônicos (batolíticos), foliados a 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. Exibe composição granodiorítica a granítica e não são foliados.

Como litotipos de idade mesozóico-cenozóica, ocorre uma série de intrusões alcalinas a máficas essencialmente pelos maciços alcalinos da Ilha de São Sebastião e de Passa Quatro e constituem-se representantes da reativação Wealdeniana (ALMEIDA, 1976).

Finalmente, um novo episódio de tectonismo distensivo deu origem ao Graben da Bacia de Taubaté (HASUI et al. 1978b), posteriormente preenchido por sedimentos terciários (Cenozóico). SUGIO (1968), reuniu tais sedimentos no Grupo Taubaté, subdividido por PONÇANO (1981), nas formações Tremembé (ALMEIDA, 1955), e Caçapava (REGO, 1983). 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 regiões serranas ocorre acumulação de sedimentos de origem alúvio-coluvionar.

Esta bacia faz parte de um conjunto de bacias tafrogênicas continentais, "o sistema de rifts da Serra do Mar", de ALMEIDA (1976) e, mais recentemente denominado de "Rift Continental do Sudeste do Brasil", de RICCOMINI (1989).

A Bacia de Taubaté se desenvolve sobre o complexo cristalino pré-cambriano do leste paulista, no bloco Tectônico Paraíba do Sul, (HASUI e PONÇANO, 1978) limitado a norte pela falha do Buquira e a sul pela falha do Alto da Fartura.



Os grandes falhamentos transcorrentes definidos na região como a Zona de Transcorrência São Paulo (HASUI et al. 1975), estão representados pelos falhamentos Monteiro Lobato, descrito por SADOWISKI e CARNEIRO (1974); do Rio Jaguari, descrito por CAVALCANTE e KAEFER (1974) e os de Buquira e Bom Retiro (CARNEIRO et al. 1976).

As falhas normais do Palmital, Parateí, São José e Rio Comprido, descritas por CARNEIRO et al.(1976) são descontinuidades recentes que estão relacionadas à própria evolução da Bacia de Taubaté.

A origem desta bacia está relacionada com a reativação de falhas transcorrentes E-NE, do assoalho Pré-Cambriano, durante o processo de abertura do Atlântico Sul, ao longo das quais, segundo COLTRINARI (1992), ocorreram deslizamentos gravitacionais e basculamento de blocos (Figura 8).



FIGURA 8. COMPARTIMENTAÇÃO TECTÔNICA DO EMBASAMENTO DA BACIA DE TAUBATÉ (HASUI E PONÇANO, 1978).

Os compartimentos apresentam-se como grábens assimétricos, com basculamento ora para SE, ora para NW, possuindo assim um caráter distinto daquele postulado por vários outros autores, que admitiam o basculamento dos blocos somente para NW (HASUI e POÇANO, 1978; MELO *et al.* 1983; RICOMINI, 1989).

As espessuras admitidas para a Bacia de Taubaté variam de 500m (HASUI *et al.* 1978; MELO *et al.* 1983) até 850 m na porção próxima a Serra da Mantiqueira, na sub-bacia de Roseira (MARQUES, 1990).

RICCOMINI (1989), ainda propõe que a bacia de Taubaté teria sua compartimentação regida por uma série de falhamentos com direções NE-SW, NW-SE e N-S, baseando-se em mapeamento geológico e análise de imagens de sensores remotos.

MARQUES (1990), estuda a compartimentação tectônica e reconhece seis depocentros individuais ao longo do strike da Bacia de Taubaté. As subbacias separam-se por altos estruturais tranversais associados a falhamentos normais de direção NO-SE (Figura 9).



FIGURA 9. MAPA ESTRUTURAL SÍSMICO EM PROFUNDIDADE (EMBASAMENTO). MODIFICADO DE MARQUES (1990).

A sedimentação ocorreu de maneira sintectônica (SOUZA, 2004), com típicos depósitos psefíticos, decorrentes de processos de *debris-flow*, atuantes nas bordas falhadas da bacia, além de depósitos psamíticos e pelíticos, na parte central da bacia, sendo estes, ligados a sistemas flúvio-lacustres.

De acordo com os conhecimentos disponíveis, as seguintes informações de caráter geral sobre a Bacia do Paraíba, foram organizados por DINIZ,(2005) podem ser discernidas:

• trata-se de uma bacia de formato alongado (170 km de comprimento por cerca de 10-20 km de largura), situada na parte nordeste do Estado de São Paulo, entre as coordenadas geográficas de 22°30' e 23°30' de latitude sul e 44°45' e 46°30' de longitude oeste (Figura 7);

• é de origem essencialmente tectônica e está relacionada à evolução do sistema de fossas tectônicas (rifts) continentais que bordejam o sudeste brasileiro;

• corresponde a um graben assimétrico, com subsidência acentuada na borda norte;

• é parcialmente seccionada por três altos estruturais transversais (Alto de Caçapava, Alto Capela Nossa Senhora do Socorro e Alto Capela Santa Luzia), que formam um conjunto de quatro sub-bacias, intituladas, de



norte para sul, Lorena, Roseira, Quiririm e Eugênio de Melo (MARQUES, 1990).

HASUI e PONÇANO (1978) elaboraram uma coluna estratigráfica para esta bacia reunindo no Grupo Taubaté a Formação Tremembé e a Formação Caçapava, sendo esta designação proposta por CARNEIRO *et al.* (1976) para os depósitos de canais e planícies de rios anastomosados na região de São José dos Campos e Caçapava.

APPI et al. (1986) e CHANG et al. (1992) apresentam, de forma análoga, a evolução da Bacia de Taubaté em três fases principais, utilizando a análise de seqüências. A sedimentação é iniciada com o desenvolvimento de um sistema de leques aluviais, com a deposição de fácies de fluxo gravitacional, caracterizada por lamitos e lamitos arenosos (FASE I). Com a continuidade da subsidência, se implantaria um sistema lacustre (FASE II), que se estenderia até seu ápice, durante a deposição dos folhelhos betuminosos da região de Tremembé. Os depósitos de inunditos são interpretados como derivados de cheias episódicas. Um grande evento de ressecamento seria responsável pela formação de uma camada de calcário tipo caliche, que para estes autores representaria um marco estratigráfico regional. Na última fase (FASE III) a bacia sofreu o assoreamento decorrente da implantação de um sistema fluvial meandrante, que persistiu até o Holoceno.

DIVISÃO LIT	AUTOR	
Sedimentos p	pliocênicos no Vale do Paraíba	PISSIS (1842)
Camadas Paraíba do Sul		FLORENCE E PACHECO (1930)
Seção Inferior (Lacustrina e pelítica)	Seção Superior (Fluvial e arenosa)	WASHBURNE (1930)
Camadas Paraíba do Sul	Camadas São Paulo	MORAES REGO (1933)
Formação Tremembé	mação membé	
Unidade Inferior Terciária	Unidade Superior Quaternária	SETZER (1955, 1956)


	Formação Taubaté			AB'SA (1958)	ABER)			
Grupo Taubaté								
Formação Tremembé	Formação São Paulo				(1961-	(1961-1962)		
Grupo Paraíl	oa do Sul							
Formação Tremembé	Fm. São José dos Campos Fm. Paratei do Meio			(1968)	(1968)			
	Formação Caçapava				CARN al. (19	NEIRO et 976)		
Grupo Taubaté HASUI				JI E				
Formação Tremembé	Formação Caçapava			PONG (1978)	ÇANO)			
Formação Tremembé	Fm. Jacareí Fm.Ca		Fm.Caç	çap	ava	VESP (1984)	UCCI)	
Formação Tremembé	Fm. Resende Forma		Formaç	ção	São Paulo	RICC (1989)	OMINI),	
	Formação Caçapava							
Formação Tremembé	Fm. Resende	Fo Sã Pa	rmação o ulo	F It	orm. aquaquecetuba	IPT (1	IPT (1991),	

TABELA 3 – RESUMO HISTÓRICO LITOESTRATIGRÁFICO PROPOSTO POR DIVERSOS AUTORES PARA A BACIA DE TAUBATÉ ATÉ A DÉCADA DE 1990. (MODIFICADO DE SAAD, 1990).

A Tabela 3 apresenta um resumo histórico da litoestratigrafia proposta por diversos autores, desde o começo dos estudos (PISSIS, 1842) até a década de 1990.

BRANDT NETO *et al.* (1991) subdividem o Grupo Taubaté em duas sequências. A inferior, de idade paleogênica (Oligoceno), corresponde a um sistema de leques aluviais associados à planície aluvial de rios entrelaçados (*braided*), basal e lateral na bacia (Formação Resende), um sistema lacustre, mais propriamente caracterizável como *playa-lake* (Formação Tremembé), e



um sistema fluvial meandrante (Formação São Paulo). A seqüência superior, separada da anterior por discordância angular, corresponde a outro sistema fluvial meandrante, de idade neogênica, bem desenvolvido na porção central da bacia, sendo denominada Formação Pindamonhangaba.

FRANCO F. e SOUZA (1994), ao analisarem a explotação de água em São José dos Campos, reconhecem na Bacia Sedimentar de Taubaté duas unidades, a Formação Tremembé, na base, constituída por folhelhos com níveis pirobetuminosos e argilitos de cores verde acinzentadas, com intercalações centimétricas à decimétricas de arenitos, siltitos e brechas intraformacionais, originadas em ambiente lacustre. Na parte superior descrevem a Formação Caçapava, que é constituída por sedimentos arenosos e siltosos, com intercalações pelíticas, nas cores cinza, amarelo e vermelho, originadas em ambiente fluvial.

CAMPANHA (1994), discute a coluna sedimentar com base no modelo evolutivo de quatro bacias de Taubaté. A primeira Bacia de Taubaté corresponde à seqüência basal. A segunda Bacia de Taubaté é constituída por depósitos de leques aluviais, sistemas fluviais entrelaçados e meandrantes e sistema lacustre correspondentes às seqüências Taubaté e Tremembé. A terceira Bacia é constituída por sistemas de leques aluviais, sistema meandrante pelítico e psamítico correspondendo à Seqüência Pindamonhangaba. A quarta Bacia é constituída por depósitos pliocênicos e recentes correspondendo à seqüência Vale do Paraíba.

MANCINI (1995), analisa as litologias, estruturas sedimentares e a tectônica da Formação Pindamonhangaba, proposta por RICCOMINI (1989), caracterizando as suas litofácies e realizando a elaboração de um mapa geológico 1:100.000 da Formação Pindamonhangaba e do Grupo Taubaté.

figura 10 apresenta distribuição das principais А а unidades litoestruturais/geológicas da região de estudo, resultado da integração de multifontes sobre mapeamentos geológicos preexistentes, dados particularmente do projeto Mavale, 1992, IPT 1981.



FIGURA 10 – MAPA LITOESTRUTURAL NA ESCALA DE 1:100.000, DA REGIÃO DE ESTUDO. (MODIFICADO DE INPE, 1992).



4.1. GEOLOGIA ESTRUTURAL

Devido à complexidade tectono - evolutiva da região este trabalho apresenta um resumo das sínteses existentes (de cunho regional), contemplando aspectos meramente descritivo das principais feições estruturais observáveis na escala de 1:100.000 e discutem-se algumas considerações especulativas sobre suas possíveis origens e evoluções destacando-se os fraturamentos, falhamentos e feixes de concentração de fraturas.

Os falhamentos estão representados essencialmente por transcorrências que se concentram em feixes anastomosados. As ramificações e interseções destas descontinuidades caracterizam uma estrutura em blocos justapostos que se repetem para além da área estudada e delimitam os grandes complexos litológicos. A direção preferencial destes feixes é NE-SW. Aos falhamentos associam-se expressivas faixas de rochas cataclásticas com foliação predominantemente vertical, lineações de baixo ângulo e feições características de cisalhamento dúctil e rúptil. HASUI et al. (1984), atribuem seu desenvolvimento ao Proterozóico superior, idade da última movimentação transcorrente. Neste conjunto destacam-se importantes sistemas de fraturamentos transversais à direção SE-SW (NNW-SSE, EW e NNE-SSW), os quais em conjunto com a direção principal de transcorrência formam um complexo mosaico de blocos.

Todos estes sistemas de falhamentos foram supostamente gerados sob regimes de esforços diversos e apresentam movimentação relativa diferenciada ao longo da complexa história evolutiva da região. Evidências de campo e geológicas demonstraram que do final do Proterozóico Superior até tempos recentes, os deslocamentos de blocos foram essencialmente verticais, com picos no Mesozóico e no Terciário. Entretanto na medida em que se recua no tempo (a partir do Proterozóico Superior), a falta de estudos e mapeamentos em detalhes não permitem ou dificultam uma reconstituição dos esforços envolvidos e as suposições são meramente especulativas. É evidente que fases compressivas e distensivas dos vários ciclos formadores de rochas que estruturaram a área estudada implicaram em movimentos ora cisalhantes, ora gravitacionais, respectivamente.

A mesma problemática se apresenta em relação aos dobramentos que deformaram plasticamente as rochas dos complexos rochosos da região.

De conclusivo, apresenta-se uma estruturação em calhas sinclinoriais (Hasui et al. 1984). Com várias fases, estilos e intensidade de deformação caracterizando uma área policíclica – polimetamórfica que preservam desde núcleos de origem discutível, remontante aos tempos arqueanos até supra- crustais do Proterozóico Superior (Grupo Açungui).

4.2. **RESULTADOS**:

4.2.1. GEOLOGIA

As unidades constantes do mapa geológico / litoestrutural (Figura 10) foram delimitadas procurando-se manter uma uniformidade, mesmo que genérica dos complexos litológicos individualizáveis a luz dos conhecimentos adquiridos (bibliografia), processamento de dados obtidos de fotointerpretação, de imagens de satélite e dados altimétricos de SRTM na escala de 1:100.000.

Tendo em vista os objetivos do estudo as dificuldades para a caracterização petrologica e estratigráfica das unidades adotou-se aquelas propostas pela literatura disponível e utilizou-



se como critério de individualização a característica física das litologias. Em escala regional, as propriedades gerais (coesão, permeabilidade relativa, anisotropia, grau de fraturamento e resistência à erosão) estarão refletindo diretamente as características genéricas de tais litologias predominantes de cada unidade. Estas unidades avaliadas por KURKDJIAN (1992) do ponto de vista destas características; são apresentadas a seguir.

4.2.1.1 SEDIMENTOS INCONSOLIDADOS (Qc, Qm)

A unidade é constituída essencialmente por rochas sedimentares inconsolidadas de idade Quaternária. Predominam aluviões areno-argiloso ou argilo -arenoso (Qc), principalmente na várzea do Rio Paraíba do Sul, e sedimentos marinhos e mistos essencialmente arenosos e subordinadamente mais finos nas planícies costeiras (Qm).

Origem	Sedimentos em áreas predominantemente cumulativas
Coesão	Materiais não coesivos, inconsolidados
Permeabilidade relativa	Alta a moderada
Anisotropia	Materiais predominantemente isotrópicos
Grau de fraturamento	Nulo
Resistência à erosão	Materiais fracamente resistentes embora não estejam sofrendo erosão, pois representam áreas cumulativas.

OBSERVAÇÕES: A área de distribuição destes tipos de materiais não se restringe apenas àquelas delimitadas no mapa geológico. Ocorrem de maneira generalizada em pequenas áreas e margens de drenagem as quais, devido a sua pouca expressão em largura e mesmo profundidade, não foram individualizadas na escala do trabalho. Uma característica de destaque dos tipos de materiais em questão é o fato de geralmente terem o lençol freático muito próximo a superfície.

4.2.1.2. ROCHAS SEDIMENTARES QUE COMPÕEM A BACIA DE TAUBATÉ (FORMAÇÕES CAÇAPAVA, Tca E TREMEMBÉ, Trt)

A unidade é constituída, essencialmente, por material inconsolidado de granulação fina a grosseira. Sedimentos predominantemente fluviais, arenitos finos e, subordinadamente, folhelhos e termos conglomeráticos predominam nas bordas da bacia (Tca). Sedimentos essencialmente lacustrinos, folhelhos e argilitos, localmente pirobetuminosos, com intercalações de brechas sedimentares, localizam-se nas porções centrais da bacia (regiões de Caçapava, Taubaté, Pindamonhangaba).

Origem	Rochas inconsolidadas de origem sedimentar.
Coesão	Materiais não coesivos.
Permeabilidade relativa	Fraca a moderada permeáveis, localmente muito permeáveis.
Anisotropia	Materiais isotrópicos

ALAMEDA HARWEY C. WEEKS, 14, SL. 01 – ED. NEW CENTER - SJCAMPOS / SP / FAX(12) 3902-8555 E-MAIL- mc_geologia@yahoo.com.br ou celioea@yahoo.com.br



Grau de fraturamento	Nulo a muito baixo, porém reflexos de fraturas embasamentais são freqüentes.
Resistência à erosão	Fraca, embora o potencial erosivo (erodibilidade de material inconsolidado) também seja fraco em função do relevo e da declividade apresentados pela unidade.

4.1.1.3. MACIÇOS ALCALINOS

Corresponde aos maciços alcalinos de Passa Quatro (HASUI et al. 1984). No primeiro, predominam nordmarkitos, nefelina sienitos, foiaitos e terralitos. No segundo, nefelina sienitos, alcalissienitos e brechas magmáticas cortadas por álcali-granito.

Origem	Rochas cristalinas ígneas intrusivas.
Coesão	Rochas fortemente coesivas.
Permeabilidade relativa	Muito pouco permeáveis.
Anisotropia	Fracamente anisotrópicos
Grau de fraturamento	Moderado
Resistência à erosão	Rochas fortemente resistentes, embora o potencial erosivo da associação solo-rocha alterada seja muito alto em função do relevo e da declividade das áreas de ocorrência dos maciços.

4.2.1.4. ROCHAS METASEDIMENTARES DE ORIGENS E IDADES DIFERENTES

Corresponde aos conjuntos litológicos fortemente encaixados nos sistemas de falhas de Taxaquara -Cubatão (MS) e aqueles localizados a norte da represa de Igaratá (MU), limitados pelas falhas de Jundiuvira e Monteiro Lobato.

HASUI et al. (1984), consideram estes conjuntos como representantes dos grupos Açungui e São Roque, respectivamente.

UNIDADE "ms"

A unidade "ms" é um pacote essencialmente metapelítico, que corresponde ao complexo Pilar de HASUI E SADOWSKI (1976). Predominam xistos e filitos (biotita-quartzo muscovita xistos, silimanita-granada-mica-quartzo xistos, xistos grafitosos, filitos e quartzo filitos) e, subordinadamente, quartzitos, calcários, dolomitos, calcissilicáticas, metagrauvacas, calcixistos e metabasitos. Tais rochas na área do Vale, freqüentemente exibem feições resultantes de cisalhamento e encontram-se fortemente estiradas.

Origem	Rochas cristalinas, metamórficas.
Coesão	Moderada a fortemente coesas.

ALAMEDA HARWEY C. WEEKS, 14, SL. 01 – ED. NEW CENTER - SJCAMPOS / SP / FAX(12) 3902-8555 E-MAIL- mc_geologia@yahoo.com.br ou celioea@yahoo.com.br



Permeabilidade relativa	Muito pouco permeáveis.
Anisotropia	Fortemente anisotrópicas devido à natureza dos litotipos e ao cisalhamento.
Grau de fraturamento	Moderadamente fraturadas
Resistência à erosão	Predominantemente moderada, fraca e forte localizadamente, função da composição mais ou menos quartzosa e/ou carbonática.

UNIDADE "mu"

A unidade "mu" que ocorre na região do Vale, corresponde ao grupo São Roque (HASUI e SADOWSKI, 1976). Predominam filitos rítmicos alternando metassiltitos, sericita xistos, quartzitos finos, turmalina-sericita xisto, muscovita-quartzo xistos, a turmalina; biotita-quartzo sericita xistos, com intercalações locais de metarenitos finos, micáceos e feldspáticos; muscovita-biotita quartzitos, biotita-quartzito feldspáticos, biotita-muscovita-quartzo xistos com níveis de anfibolitos quartzoso; metarcóseos finos e micáceos alternados com quartzo xistos. Subordinadamente, calcários, dolomitos, calcissilicáticas, metabasitos e metavulcânicas intermediárias podem estar presentes.

Origem	Rochas cristalinas, metamórficas, essencialmente metapelítos.		
Coesão	Moderadamente coesas, podendo localmente ser fraca ou fortemente coesas.		
Permeabilidade relativa	Muito baixa a moderadamente permeáveis.		
Anisotropia	Fortemente anisotrópicas devido à foliações metamórficas e aos efeitos cisalhantes.		
Grau de fraturamento	Moderadamente a localmente forte.		
Resistência à erosão	Moderada e localizadamente forte, devido essencialmente a composição quartzosa ou carbonática.		

UNIDADE "gms"

A unidade "gms" representa, na área de estudo, o complexo Embu do grupo Açungui, segundo a conceituação de Hasui e Sadowski (1976). Predominam rochas feldspatizadas e migmatizadas resultantes de processos afins que transformaram os litotipos do complexo Pilar. Observam-se migmatitos heterogêneos estromatíticos com paleossoma xistoso e gnaisses laminados, paragnaisses associados a quartzitos, calcissilicáticas anfibolitos e migmatitos homogêneos de estruturas variadas.



Origem	Rochas cristalinas de origem metamórficas feldspatizadas e migmatizadas.
Coesão	Fortemente coesivas (localmente moderada).
Permeabilidade relativa	Moderada a baixa.
Anisotropia	Rochas moderadamente anisotrópicas (faixas cataclásticas)
Grau de fraturamento	Moderado.
Resistência à erosão	Rochas fortemente resistentes embora o material de alteração e o solo apresentem erodibilidade alta devido ao relevo e à declividade das áreas ocupadas pela unidade.

4.2.1.5. ROCHAS METAMÓRFICAS DE FÁCEIS ANFIBOLITO E SUBORDINADAMENTE GRANULITO QUE SOFRERAM FELDSPATIZAÇÃO E MIGMATIZAÇÃO

Apresentam-se os conjuntos litológicos que representam porções dos complexos Paraíba do Sul e Costeiro, segundo a conceituação de HASUI et al. (1984).

UNIDADE "gnm"

Corresponde ao Grupo (complexo) Paraíba do Sul, cuja ocorrência é pouco conhecida sua ocorrência na área de estudo. Predominam gnaisses grosseiros porfiroblásticos (sillimanita granada gnaisses, granada biotita gnaisses, gnaisses granodioríticos) e migmatitos diversos (migmatitos heterogêneos estromáticos com paleossoma gnáissico e migmatitos homogêneos). Subordinadamente intercalados, aparecem quartzitos, mármores, calcissilicáticas, dioritos, anfibolitos, calcixistos, talcoxistos, metabasitos e granulitos básicos. Estes últimos são bastante expressivos na região de São Francisco Xavier e foram classificados como hiperstênio granitos (charnockitos), segundo a folha Camanducaia.

Origem	Rochas cristalinas metamórficas e metaígneas feldspatizadas e migmatizadas.
Coesão	Rochas fortemente coesivas.
Permeabilidade relativa	Muito pouco permeáveis.
Anisotropia	Fracamente anisotrópicas (localmente fortemente anisotrópicas nas faixas cataclásticas.
Grau de fraturamento	Moderado a alto.
Resistência à erosão	Rochas muito resistentes, embora o potencial erosivo da associação solo-rocha alterada seja alto devido ao relevo e à declividade das áreas de ocorrência da unidade.

ALAMEDA HARWEY C. WEEKS, 14, SL. 01 – ED. NEW CENTER - SJCAMPOS / SP / FAX(12) 3902-8555 E-MAIL- mc_geologia@yahoo.com.br ou celioea@yahoo.com.br



UNIDADE "gnm(c)"

Representa, na área estudada, a continuação de parte da faixa do Complexo Costeiro (HASUI et al. 1984), que se estende desde o estado de Sta. Catarina e se prolonga até o estado do Espírito Santo.

Predominam rochas gnáissicas bandadas de composição muito variável, granito-gnaisse, milonito gnaisse e migmatíticas estromáticas com paleossoma gnáissico. Intercalações minoritárias aparecem representadas por níveis de quartzitos, mica-xistos, quartzitos feldspáticos, calcissilicáticas, metavulcânicas, corpos máficos e ultramáficos como o bairro do Marisco, em Caraguatatuba.

Origem	Rochas cristalinas metamórficas e metaígneas feldspatizadas e migmatizadas.
Coesão	Rochas fortemente coesivas.
Permeabilidade relativa	Muito pouco permeáveis.
Anisotropia	Moderada a fortemente anisotrópicas.
Grau de fraturamento	Moderado.
Resistência à erosão	Moderada, embora o potencial erosivo da associação solo- rocha alterada seja alto em função do relevo e da declividade das áreas de ocorrência da unidade.

4.2.1.6. ROCHAS SENSU STRICTU GRANÍTICAS: GRANITÓIDES, MIGMATITOS HOMOGÊNEOS E CHARNOCKITOS DO COMPLEXO COSTEIRO

Apresentam-se os conjuntos litológicos que representam na área estudada, os granitóides (Gr), parte do Grupo (complexo) Paraíba do Sul ("gnm", migmatitos heterogêneo e homogêneos) e parte do Complexo Costeiro ("gnmc", migmatitos homogêneos e "gt" charnockitos) segundo conceitos de HASUI et al. (1984).

UNIDADE Gr

São granitóides que normalmente apresentam composição heterogênea, variando de tonalítica a granítica, são foliados e entende-se de forma alongada e paralela aos eixos de dobramento de uma das fases do Proterozóico Superior. Seus limites com as demais unidades são difusos (gradativos) ou abruptos. Estes tipos de granitóides são os predominantes e classificam-se como corpos sintectônicos. Subordinadamente, podem ocorrer corpos de composição granodiorítica, não foliados (pós-tectônicos). Tipos alaskíticos, alcalinos e sub-alcalinos também podem estar presentes.



Origem	Rochas cristalinas ígneas sin-e- pós-tectônicas (mais raras).
Coesão	Rochas fortemente coesivas.
Permeabilidade relativa	Muito pouco permeáveis.
Anisotropia	Fracamente anisotrópicas, localmente fortemente anisotrópicas (faixas cataclásticas).
Grau de fraturamento	Moderado a muito alto.
Resistência à erosão	Muito alta, embora o potencial erosivo da associação solo- rocha alterada apresente um potencial erosivo muito alto a moderado em função do relevo e da declividade das áreas de ocorrência.

UNIDADE gnm(cmig)- MIGMATITOS HOMOGÊNEOS

Predominam rochas de composição granítica variável, estruturadas oftálmicas, nebulíticas "schollen" e migmatíticas principalmente, policíclica. Subordinadamente ocorrem granitóides e recorrência de litotipos das unidades "gnm" e "gnm(c)".

Origem	Rochas cristalinas metamórficas feldspatizadas e migmatizadas.
Coesão	Fortemente coesivas.
Permeabilidade relativa	Muito pouco permeáveis.
Anisotropia	Moderada a forte.
Grau de fraturamento	Moderado a forte.
Resistência à erosão	Rochas muito resistentes embora o potencial erosivo da associação solo-rocha alterada seja alto devido ao relevo e da declividade das áreas de ocorrência das unidades.

UNIDADE gt

É representada, essencialmente, por rochas de filiações granulíticas. Predominam os charnockitos (granitos a hiperstênio).

Origem	Rochas cristalinas ortometamórficas.



Coesão	Fortemente coesivas.
Permeabilidade relativa	Fracamente anisotrópica.
Anisotropia	Moderada a forte.
Grau de fraturamento	Fraco
Resistência à erosão	Muito resistentes embora o potencial erosivo da associação solo-rocha alterada seja alto devido ao relevo e a declividade das áreas de ocorrência das unidades.

4.2.1.7. ZONAS DE CATACLASE

Embora não estejam delimitadas no mapa geológico, e sim apenas apresentadas por símbolos específicos, nos locais onde puderam ser identificadas nas imagens de satélite Landsat TM, é importante que se dê destaque às faixas de ocorrência de rochas cataclásticas importantes por dois motivos:

a. A área de estudo, faz parte da faixa de Cisalhamento São Paulo. Evidentemente, esta denominação se deve ao intenso cisalhamento de natureza transcorrente rúptil, rúptil-dúctil, dúctil que deforma a área e que transcende os limites da área citada. Tal evento está situado no tempo entre o final do précambriano inicio do Cambriano (HASUI et al. 1978b), e que afetou todas as rochas pré-cambrianas da região.

b. Além de gerar intensa foliação cataclástica (milonítica), estiramentos, rotações e feições de arrasto dúctil em níveis profundos, clivagem de fratura e zonas de juntas em níveis médio-superiores, este cisalhamento ainda foi responsável pelo desenvolvimento de rochas protomiloníticas, miloníticas, ultramiloníticas e blastomiloníticas.

Estes materiais existentes nas faixas cataclásticas associadas às zonas de falhamentos transcorrentes tem origem e natureza secundárias, resultantes da deformação dos litotipos afetados pelo cisalhamento.

Nestas zonas cataclásticas não foram individualizados os termos litológicos associados a catáclase devido a escala de trabalho de 1: 100.000 que não permite um detalhamento sobre os materiais afetados pela deformação. É importante destacar que os graus de homogeneidade e uniformidade dos litotipos e seu estado físico são diferentes daqueles apresentados pelas rochas originais não deformadas pelo evento em questão.

c. Os granitóides classificados como sintectonico são predominantes. Normalmente apresentam composição heterogênea, variando de tonalítica a granítica, são foliados e com formas alongadas e paralelas aos eixos de dobramento de uma das fases do Proterozóico Superior. Seus contatos com as demais unidades são difusos (gradativos) ou abruptos. Subordinadamente, podem ocorrer corpos de composição granodiorítica, não foliados (póstectônicos). Tipos alaskíticos, alcalinos e sub -alcalinos também podem estar presentes.

Origem	Rochas cristalinas ígneas sin-tectônicas -e- pós-tectônicas (mais raras).
Coesão	Rochas fortemente coesivas.
Permeabilidade relativa	Muito pouco permeáveis.
Anisotropia	Fracamente anisotrópicas, localmente fortemente anisotrópicas (faixas cataclásticas).
Grau de fraturamento	Moderado a muito alto.
Resistência à erosão	Muito alta, embora o potencial erosivo da associação solo- rocha alterada apresente um potencial erosivo muito alto a moderado em função do relevo e da declividade das áreas de ocorrência.

4.2. 2 ANÁLISE DE DADOS ESTRUTURAIS

Com objetivo de se localizar áreas de recarga e descarga de água subterrânea, realizou-se um estudo tectono estrutural, de caráter fotointerpretativo (baseado em imagens TM Landsat e na sua integração sobre mapas de trabalhos anteriores) que resultou na confecção de mapas na escala de 1:100.000. Foram obtidos mapas de densidade de fraturas de lineamentos estruturais, mapa de condicionantes hidrogeológico e mapa interpretativo com indicação de áreas favoráveis a recarga. fluxo e descarga de água subterrânea, mapa de densidade de fraturas para cada intervalo de direção tectônica, correlacionada ao modelo de Riedel.

Considerando que a metodologia adotada tem um caráter interpretativo sem dados de campo, as avaliações tectono estruturais consideram dados bibliográficos preexistentes, quase sempre inexistentes na escala de detalhe, devendo ter em conta as seguintes colocações segundo Kunkdjian (1992):

A – Os lineamentos são reflexos de zonas de fraqueza crustal na área em tela considerados de caráter policíclico. O modelo tectônico adotado e indicação do movimento relativo são para uma determinada fase de um ciclo tectônico compressivo, provavelmente o mais recente deles, situado no pré-cambriano Superior. Estes lineamentos estiveram sujeitos a fases reativação de caráter distensivo, em episódios posteriores e podem ter portanto um caráter favorável a infiltração e percolação de água subterrânea;

B – As curvas de condicionante hidrogeológica / contorno estrutural não cotado obtida por interpretação da assimetria da drenagem e da tropia da rede de drenagem, são de caráter regional, haja vista a escala das cartas analisadas. Analises de detalhe podem indicar localmente sentidos diversos daqueles mapeados.

C –As áreas mapeadas como sendo de recarga não são exclusivas, podendo ser indicados outros locais em escalas diversas. Sua associação com altos estruturais e ou topográficos, são uma predominância, não uma exclusividade. Portanto sua identificação é apenas indicativa,



sendo necessária a sua avaliação através da análise de dados de poços profundos ou outros métodos indicados para sua confirmação.

Os procedimentos adotados contemplaram

1. Obtenção e vetorização de cartas da rede de drenagem na escala de 1:50.000 e redução para a escala de 1:100.000;Utilizando como fonte cartas topográficas do IBGE.

2. Fotointerpretação de conjuntos de zonas de juntas / feixes de fraturamentos, sobre cartas de rede de drenagem.

3. Análise de densidade de fraturas para cada direção tectônica considerada.

4. Fotointerpretação de lineamentos estruturais (falhas e fraturas) sobre imagens de satélite, cartas de drenagem parametrizados e integrados aos dados mapeamentos regionais preexistentes.

5. Análise de densidade de lineamentos estruturais (falhas e feições lineares).

6. Análise de assimetria da rede de drenagem conjugada com elementos de relevo observáveis sobre imagens de satélite; com traçado de curvas inferidas de contorno estrutural não cotada e direção dos fluxos (de água subterrânea) áreas de recarga e descarga.

7. Obtenção de cartas de intervalo de declividade a partir de dados de altitudes de SRTM.

8. Integração dos mapas resultantes dos itens 1 à 4 seguida da avaliação dos tipos de combinações e associações entre elementos estruturais mapeados.

4.2.2.1. Mapa de fraturas/zonas de juntas

Para a identificação e traçado das fraturas, adotou-se a definição de elementos texturais de drenagem SOARES e FIORI (1976), VENEZIANI e ANJOS, (1981). Desta forma os elementos texturais de drenagem foram interpretados como traços de fraturas. Estes elementos são costumeiramente indicados diretamente pelas linhas de drenagem, estão associados diretamente com falhamentos e podem indicar tectonismo profundo.

Estas fraturas, após a sua identificação sobre carta de drenagem são tratados em sistema SIG na escala de 1: 100. 000, a partir da adoção de áreas de análise com 25 km² e confeccionado um mapa de densidade fraturas (Figura 11).

A geração do mapa de densidade de traço de fraturas visou o zoneamento da área quanto a sua porosidade secundaria relativa e seu potencial de recarga / descarga de água subterrânea (a determinação de antigas linhas de fraqueza crustal).

O valor da densidade foi calculado pelo numero de elementos de traços de fraturas, compreendidos por uma célula com 5 km de lado . O valor obtido foi então atribuído ao ponto central da célula de amostragem.

As operações de calculo de densidade e de atribuição de seu valor ao ponto central da respectiva célula de amostragem foi repetida para células quadradas cobrindo todo o mapa. A contagem e cálculos foram realizados com o uso do software Arcwiew, e outras equações de cálculos estatísticos.



Este ambiente, foi utilizado para executar-se uma interpolação onde foram tratados ma população de 48.000 mil traços de fraturas através de método de kriggagem, adotando-se quatro (4) classes de densidade relativa de fraturas e o traçado de isolinhas.

A análise do mapa de densidade de fraturas foi à base para a obtenção e identificação de eixos de máximo de fraturamento. Os eixos de máximo de zonas de fraturamento foram obtidos a partir dos eixos maiores das formas elípticas configuradas pela curvas de isodensidade de fraturamento que apresentaram as maiores concentrações de fraturas. Estes mesmos eixos foram posteriormente considerados na elaboração do mapa de lineamentos estruturais.

Em um refinamento dessa análise, nessa população de traços de fraturas, foram separadas seis (6) direções tectônicas associadas a um modelo de formação tectônica aceito para a área (RIEDEL, 1929), e uma discreta direção de fraturas apresentadas pelos intervalos de direção, a saber:

N15º - 35ºW; N35º - 55ºW; N45º- 65ºE; N80ºW – N80ºE; N10ºE- N10ºW; N15º- 35ºE (Figuras 12, 13, 14, 15, 16 e 17, respectivamente).



UKA 11. MAPA DE DENSIDADE DE FRATURAS, TODAS AS DIREÇÕES.



FIGURA 12. MAPA DE DENSIDADE DE FRATURA N10E-N10W.



FIGURA 13. MAPA DE DENSIDADE DE FRATURA N15-35E.



FIGURA 14. MAPA DE DENSIDADE DE FRATURA N15-35E.



FIGURA 15. MAPA DE DENSIDADE DE FRATURA N15-35E.



FIGURA 16. MAPA DE DENSIDADE DE FRATURA N45-65E.



Figura 17. Mapa de densidade de fratura N80W-N80E.



4.2.2.2. Mapa de lineamentos estruturais

Os lineamentos estruturais foram assim considerados no sentido de O'Leary et al. (1976), que o define como uma feição linear mapeável, simples ou composta, contínua ou descontinua da superfície terrestre retilínea ou ligeiramente curvo. Os lineamentos identificados na área foram associados aos alinhamentos das feições lineares de relevo e drenagem. Foram também considerados lineamentos estruturais, os alinhamentos de drenagem dos elementos texturais de drenagem correspondestes a traços de fraturas. Os lineamentos estruturais mapeados podem ser considerados com parte ou segmentos de grandes lineamentos estruturais de amplitude regional, de pequena curvatura, razão pela qual apresentam traçado retilíneo na escala deste trabalho.

Informações sobre movimentos, foram obtidas da análise de indicadores de rotação e arrastos relativos entre os elementos texturais de relevo e drenagem analisados.

Podendo ser associados a falhamentos e a fraturamento. Desta interpretação gerou-se o mapa de lineamentos estruturais (Figura 18).

Considerando ainda a importância destas feições, não só como elemento isolado, para acúmulo, percolação e infiltração, mas a freqüência de sua ocorrência em determinadas áreas; considerando ainda a interação com as principais áreas de fraturamento que se constitui no principal elemento de porosidade de rocha cristalina, foi realizada a análise de sua distribuição por área, segundo os mesmos critérios adotados para a análise de fraturamento, que deu origem a um mapa de densidade relativa de lineamentos.

Este produto permite visualizar em área a influência destas feições no entorno de seus principais elementos.

Este resultado é apresentado na figura 19, Mapa de densidade de lineamentos estruturais.

4.2.4. MAPA MORFOESTRUTURAL DE CONDICIONANTES HIDROGEOLOGICOS

O mapa de condicionantes hidrogeológicos foi executado a partir do mapa de drenagens e do mapa de lineamentos estruturais.

A sua execução fundamentou-se na identificação das relações de simetria entre os canais de drenagem conseqüentes e obsequentes e delineamento das linhas de contorno estrutural não cotadas da área de estudo (Figura 20).

Em áreas sedimentares pouco deformadas, cujo tectonismo originou estruturas essencialmente verticais, as formas assimétricas de drenagens indicam a inclinação dos estratos que mergulham no sentido dos afluentes mais longos (drenagens conseqüentes). Nas áreas intensamente deformadas , onde predominam rochas metamórficas e ígneas que sofreram movimentações vertical e direcional por esforços distensivos, as linhas de contorno estrutural são identificadas utilizando a simetria da rede de drenagem, em relação aos limites dos blocos estruturais. Estes limites de blocos representam antigas linhas de fraqueza impostas por fraturamentos regionais e que definem eixos que podem configurar altos e baixos estruturais.

A associação de dobramentos flexurais com movimentos distensivos pode prover informações sobre a distribuição de água subterrânea ao longo dos altos e baixos estruturais



e indicar alguns aspectos sobre o comportamento do fluxo de água em uma determinada região, conseqüentemente possibilitando inferir sobre a favorabilidade de estruturas a recarga e ao armazenamento e direção de fluxo de água subterrânea (VENEZIANI et al.1993)

Os principais elementos considerados para a construção de linhas de contorno estrutural não cotada nas áreas de predominância de rochas pré-cambrianas retrabalhadas foram a atitude da foliação metamórfica milonítica/cataclástica; a atitude do lineamentos regionais mais significativos que exercem influencia sobre a estruturação geral da área; a determinação de estruturas mais importantes (falhas e fraturas) que possam favorecer o processo de infiltração e percolação de águas subterrâneas ao longo dos altos e baixos estruturais.

Como complemento as informações apresentadas por este mapa, e com vistas a propiciar uma visão integrada da distribuição das áreas de recarga, descarga e de fluxo de água subterrânea, foi elaborada a carta de áreas de recarga e fluxo da água subterrânea.Figura 21



FIGURA 18. MAPA DE LINEAMENTOS ESTRUTURAIS, E PONTOS CRUZAMENTOS



FIGURA 19. MAPA DE DENSIDADE DE LINEAMENTOS ESTRUTURAIS.



FIGURA 20. MAPA DE CONDICIONANTES HIDROGEOLÓGICOS DE CARÁTER ESTRUTURAL



FIGURA 21. MAPA DE ÁREAS DE RECARGA E FLUXO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA



5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1 ASPECTOS GERAIS

A região de estudo é representada principalmente por terrenos cristalinos, e em menor proporção pela área sedimentar d aBacia de Taubaté.

Nas áreas cristalinas a infiltração e acumulo de água subterrânea relaciona-se e é controlado pela ocorrência e características de sistemas fraturados. Estes sistemas fraturados, que podem formar verdadeiras redes aqüíferas, estão geneticamente ligados à ocorrência de sistema de fraturas abertas (juntas e/ou falhas) e interligação dos planos destas estruturas (cruzamento).VENEZIANI et al.(1992). A sua capacidade produtiva é dependente da densidade com que estas estruturas ocorrem, e o quanto estão interligadas. Quanto maior a densidade de fraturas e maior a interligação maior o potencial do aqüífero é maior a expectativa de produção em um poço profundo.

Os coeficientes de permeabilidade, transmissividade e armazenamento em rochas cristalinas são parâmetros que dependem, essencialmente, da intensidade de fraturamento da intercomunicação das fraturas e, secundariamente, da formação de bolsões por dissolução das rochas (ex: rochas calcáreas), enquanto que para as rochas e /ou materiais não coesivos dependem genericamente da porosidade. Assim sendo, a acumulação de água em sub superfície nas regiões onde há a dominância de rochas coesivas relacionam-se à existência das redes aqüíferas.

A área estudada apresenta-se intensamente fraturada e deformada plasticamente. O fraturamento é conseqüência da reação dos corpos rochosos quando submetidos a tensões direcionadas.

"Quando a coesão interna da rocha que está sendo deformada se rompe dentro de seu campo elástico, diz-se que a rocha é friável (rúptil) e que as condições de tensão no momento da ruptura definem os critérios de ruptura para o estado friável Por outro lado, se no lugar da fratura, se originar uma zona intensamente esmagada onde as fissuras se multiplicam sub paralelamente ou, então se formaram zonas planares de deformação plástica intensa, ter-se-ia deformações ao longo de zonas de fluxo dúctil". (Sadowski 1983).

Além de sistemas de fraturas, friável ou rúptil, segundo VENEZIANI e ANJOS (1982) observam-se, na região estudada, estruturas formadas em níveis intermediários rúptildúcteis e níveis inferiores dúcteis.

As principais feições tectônicas e estruturais e suas principais características e correlações são:

a) Fraturamentos - feixes de fraturamentos: são estruturas representantes dos níveis rúpteis e rúptil-dúcteis. Distribuem-se generalizadamente por toda a área, transcendendo seus limites. Nas imagens TM-Landsat e cartas da rede de drenagem aparecem controlando os canais de drenagem e dão origem à "trends" unidirecionais preferenciais.

Trends de fraturamento retilíneos cortam litologias de origem e idades diferentes sob a forma de fraturas de juntas retilíneas, com espaçamento rigoroso (cm a m), paralelas e com mergulhos entre 70 e 90°(VENEZIANI , 1987). Revela que os feixes de fraturamentos relacionam- se com a propagação, na vertical, de estruturas profundas (falhamentos). Foram identificadas, na escala de trabalho 6 direções preferenciais e associadas aos conjuntos de



zonas de juntas: N45 à 65E, N15 à 35W, N80W à N80E - N25-35E, N10W-N10E e N35-45W. Outras direções de zonas de juntas foram mapeadas, porém apresentaram uma distribuição discreta, isto é, com direções variando entre 0 e 360 graus.

b) Os lineamentos estruturais: foram inferidos como tal, a partir da correlação dos alinhamentos de feições lineares fotointerpretados à estruturas de caráter rúptil rúptil-dúctil e dúctil conhecidas na literatura. Este fato permite considerar e tratar estes lineamentos estruturais como policíclico, devido a caráter policíclico da região, associáveis à diferentes tipos de movimentos relativos e a vários episódios ora compressivos, ora distensivos que ocorreram durante a evolução tectônica da citada região.

Os principais movimentos relativos, associados às direções preferenciais é destral (Sadowski, 1974; Sadowski, 1983; Hasui et al, 1984) para os falhamentos de Cubatão, Taxaquara e para - Zona de cisalhamento São Paulo. Além deste suporte bibliográfico, feições características, como as de arrasto dúctil, perfeitamente identificadas nas imagens TM- Landsat da região, evidenciam um caráter destral para os falhamentos / lineamentos orientados segundo N45^o-65^oE.

Estes lineamentos e suas movimentações relativas e o arcabouço tectônico da área, admitidos e relacionado ao final Proterozóico início do Paleozóico, foram correlacionados ao modelo de evolução tectônica de Riedel, VENEZIANI (1987), adotado empiricamente, como plausível (considerando as devidas restrições). A geometria métrica configurada pela distribuição dos lineamentos no espaço é idêntica à do modelo original de Riedel (Figura 21).

Adotando-se este modelo, ajustes foram feitos quanto a variação de direções estabelecidas com as seguintes correlações estabelecidas: N45-65E transcorrências destrais paralelas à direção principal de cisalhamento; N15-35W antitéticas e N80W-N80E sintéticas, correspondentes a R1 e R (Riedels) formando o par conjugado de cisalhamento N15-35E transcorrências destrais correspondentes às fraturas P; e N35-45W, fraturas distensivas correspondentes a T. Uma outra direção bastante freqüente de lineamentos é a NW - N10E, que dá origem a uma família de fraturas aparentemente não correlacionadas com o modelo empiricamente adotado (Figuras 22 e 23). Embora exista uma analogia entre a geometria métrica dos lineamentos extraídos das imagens e as feições geradas em modelos experimentais, possibilitando a comparação entre uma e outras. VENEZIANI alerta sobre a contemporaneidade destes conjuntos de lineamentos e a falta de estudos de detalhe na região aliada a sua extrema complexidade, que deveria ser mapeada com levantamentos detalhados de campo.

c) As foliações foram identificadas a partir da interpretação das feições lineares constituídas por elementos de drenagem de primeira ordem e elementos de relevo, paralelas aos eixos principais de assimetria sobre as imagens TM-Landsat. São foliações cataclásticas, foliações metamórficas relacionadas provavelmente a última fase de dobramentos que afetou a região com direção em torno de N50E e clivagens de fratura associadas aos falhamentos.

Na área em tela a permeabilidade do substrato é função tanto do material inconsolidado – área da Bacia de Taubaté, como da densidade de fraturamento das rochas cristalinas.

Sua natureza dúctil e rúptil-dúctil auxiliaram na inferência de movimentos relativos (arrastos) e interpretação do modelo evolutivo,. Apresentam-se essencialmente com. alto ângulo a verticalizadas e podem, eventualmente, constituir faixas favoráveis à infiltração de



água sendo consideradas oe na elaboração do mapa de curvas inferidas do fluxo da água subterrânea.

Trabalhos de maior detalhe, requeridos para a investigação das estruturas de falhas na área relatam prováveis movimentos distensivos ocorridos ao longo das principais direções de fraturamentos identificadas que teriam dado origem a estruturas rúpteis, correlacionáveis aos sistemas de fraturas obtidos das imagens.

Os sistemas transcorrências destrais de idade pré- cambriana superior-siluriana (Hasui et al., 1984), podem apresentar como estruturas de fraturamentos N50-60E, já reativadas durante a ocorrência de fenômenos tectônicos distensivos mesozóicos (Reativaçã Wealdeniana) descritos por Almeida et al (1976) e possivelmente durante o Cenozóico (Terciário). Hasui et al.(1978b) determinaram a formação de um graben contendo a Bacia de Taubaté e consideraram sua origem correlata ao soerguimento epirogênico das serras do Mar e da Mantiqueira, iniciado no Cretáceo Superior. Após um período de calmaria tectônica, em tempos oligo-miocênicos a pliocênicos, teriam se instalado falhamentos e a subsidência do graben em questão, que se orienta segundo a direção N50-60E, bem como as referidas serras.

Tais constatações, além de reafirmarem as origens polifásicas e policíclicas dos sistemas de lineamentos N50-60E, explicam a existência de estruturas rúpteis (feixes de fraturamentos e mesmo falhas de rejeito vertical), alinhadas segundo esta mesma direção e que em função de sua origem distensiva, constituem faixas favoráveis para a infiltração-percolação de água subterrânea.

Pode-se considerar que estes tectonismo distensivo do Mesozóico e Cenozóico que são responsáveis pelo magmatismo alcalino representado na região pelas intrusões da Ilha de São Sebastião e Passa Quatro, também seja responsável pela reativação de direções de fraqueza pré-existentes e pela gênese de falhamentos normais, com ênfase na primeira, pois o caráter de tais direções é um fator condicionante. Por este motivo, estruturas rúpteis estão associadas também às demais direções preferenciais de lineamentos e feixes de fraturamentos reconhecidos neste trabalho, alem da representada pela família de falhamentos paralela à direção principal de cisalhamento N50-60E, e podem constituir-se em sistemas de infiltração e percolação de água.

As seguintes direções principais de estruturas rúpteis distribuídas regionalmente, podem ser verificadas na área de estudos:

N45W, que corresponde à direção das fraturas T do modelo de Riedel (Figura 22), geradas durante o desenvolvimento da zona de cisalhamento orientada segundo N50-60E.

N45E, relativa ao soerguimento das cunhas geradas pelo par conjugado de cisalhamento R, R1. Figura 23;

N20-30W, N80W-EW, N20-30E, NS-10E e N50-60E, como resultantes das reativações anteriormente mencionadas ao longo de direções de fraqueza pré-existentes.

Este quadro de deformação tem reflexos nos sedimentos inconsolidados da Bacia de Taubaté, através do desenvolvimento de estruturas sinsedimentares e até deslocamento de camadas.

Um importante aspecto a ser considerado nas fraturas / feixes de fraturamentos, delineados a partir das imagens TM-Landsat, é comm relação ao mergulho dos planos das fraturas São



definidos (entendidos) (VENEZIANI, 1987) como normalmente formando conjuntos com espaçamento rigoroso e o alto ângulo de mergulho (70 a 90 graus).

Diagramas de igual área (Schimidt-Lambert) em 130 pontos para a região, realizados por Hasui et al. (1978b) referentes a medidas de fraturas no campo, confirmam para as direções N45-65E, N15- 35W, N15-35E, N80W-N80E, N10W-N10E e N45W um caráter essencialmente vertical e uma distribuição generalizada por toda a região estudada. Ainda, para outras direções de fraturas (diferentes das acima citadas), mergulhos mais suaves são uma característica marcante.

O conjunto destes fatos constitui mais uma evidência de que os feixes de fraturamentos representam a propagação de movimentos relacionados às reativações distensivas Mesocenozóicas de antigas e profundas linhas de fraqueza crustal.

Quanto à direção N45E, não tão destacada nas imagens devido à sua origem (Figura 24) e por ser subparalela à foliação mais evidente da área, observa-se no referenciado mapa de Hasui et al (1978b) uma alta freqüência, distribuição generalizada e mergulho dos planos também vertical a subvertical.

Pelas características apresentadas, sua distribuição, seu inter-relacionamento, este sistema de fraturamentos possui os requisitos necessários para constituir uma rede aqüífera de qualidade mediana.





FIGURA 22. ESQUEMA DO MODELO DE DEFORMAÇÃO DE RIEDEL (1929).





FIGURA 23. REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS SISTEMAS DE LINEAMENTOS NA ÁREA DE ESTUDO Σ1 (SIGMA1) DIREÇÃO DE ESFORÇO PRINCIPAL SEGUNDO O MODELO ADOTADO. FONTE PROJETO MAVALE 1992.





FIGURA 24. REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO PAR CONJUGADO R-R1, DOS SISTEMAS DE FRATURAS DISTENSIVAS (A) E DIREÇÃO DOS EIXOS DE DOBRAS (B). ADAPTADO DO PROJETO MAVALE, (1992).

MAPA DE DECLIVIDADE

A declividade da área foi analisada a partir de dados obtidos do SRTM, processados e interpolados com uso de técnicas de krigagem em ambiente SPRING - cujo resultado é apresentado como áreas com predominância de intervalos de declividade (Figura 25). Foram adotados três intervalos de declividade conforme sua maior probabilidade de infiltração: (1) 0% - 15% declividade baixa; (2) 15% - 30% declividade média; e (3) > 30% declividade alta a muito alta.



FIGURA 25. MAPA DE INTERVALOS DE DECLIVIDADE DA REGIÃO DO MÉDIO VALE DO PARAÍBA DO SUL.



A integração dos dados estruturais obtidos durante a fase de interpretação, e sua correlação a dados litológicos, de declividade e morfoestruturais foi realizada a criação de tabelas de síntese de dupla entrada.

Estas tabelas à semelhança de uma matriz de correlação, permitirá avaliar ocorrências atributos físicos, obtidos no processo de mapeamento, interpretação ou de dados bibliográficos sobre áreas/ unidades temáticas individualizada por serem consideradas a base para se compreender, identificar, compartimentar e qualificar zonas de maior interesse hidrogeológicos como, áreas de recarga, áreas de descarga e fluxo de água subterrânea.

Para esta correlação elegeu-se as cartas bases, cujos atributos são reconhecidamente, aquelas mais importantes na formação e definição de um aqüífero de água subterrânea

- O mapa geológico / litoestrutural cujas unidades se constituem o próprio aqüífero.

- O mapa de densidade de fraturas, por estas se constituem basicamente a porosidade das rochas cristalinas onde se desenvolve o sistema aqüífero.

- A tabela com o mapa de áreas de recarga e fluxo de água subterrânea – um produto resultante da interpretação e integração de dados morfológicos e estruturais.

Utilizando-se estas cartas bases foram construídas tabelas de dupla entrada. Carta Base X Atributos para obterem-se sínteses capazes de conduzir a identificação, classificação e hierarquização das áreas de recarga

Esta última tabela tem o objetivo de classificar e hierarquicamente as áreas de recarga já identificadas pelo método de análise morfoestrutural.

A região apresenta um compartimento de baixa importância no contexto de recursos hidrogeológicos, que é a Bacia Sedimentar de Taubaté.

Constituída por expressivos pacotes sedimentares, diferentemente da área cristalina sua porosidade é intergranular proporcionado por depósitos flúvio / lacustres de idade terciária

É o aqüífero mais importante da região do Médio Vale do Rio Paraíba do Sul.

Este aqüífero, por suas características, geológicas particulares, tem uma menor influencia das estruturas geológicas, fato que foi devidamente considerado na analise realizada. Por outro lado trata-se de um aqüífero de melhor qualidade que contribui com mais de 90% do volume dos recursos de água subterrânea para a região, e conseqüentemente dispõe de um número expressivo de dados de poços profundos os quais permitem a uma caracterização adequada de suas características hidrodinâmicas e hidrogeologica.

Os valores relativos a cada atributo utilizado na composição das tabelas de síntese foram:

Densidade de Fraturas -	Valor 1 = baixa densidade
	Valor 2 = média densidade
	Valor 3 = alta densidade
Fluxo de Água Subterrânea -	Valor 1 =fluxo discordante convergente áreas de recarga
	Valor 2 = fluxo concordante – área de fluxo unidirecional


Classes de Declividade -	Valor 3 = Declividade Baixa de 0% - 15%
	Valor 2 = Declividade Média de 15% - 30%
	Valor 1 = Declividade Alta > 30%
Feixes de Fraturas -	Valor 0 =não ocorrência de feixes
	Valor 1 = ocorrência de feixes de 1 direção
	Valor 2 = ocorrências de feixes de 2 direções
	Valor 3 = ocorrências de feixes em 3 ou mais direções
Densidade e Cruzamento de -	Valor 1 = Media Densidade
Lineamentos	Valor 2 = Alta Densidade
	Valor 1 = Cruzamento de Lineamento
	Valor 2 = Media Densidade+ Cruzamento de Lineamento
	Valor 1 = Alta Densidade + Cruzamento de Lineamento

Valor 3 = fluxo discordante divergente - áreas de recarga

TABELA 4 – VALORES RELATIVOS E EMPÍRICOS ADOTADOS COMO ÍNDICES DE AVALIAÇÃO DOS ATRIBUTOS FÍSICOS LEVANTADOS PARA A REGIÃO DO MÉDIO VALE DO RIO PARAÍBA DO SUL.

5.2 SINTESE RELATIVA AO MAPA GEOLOGICO ESTRUTURAL / LITOESTRUTURAL

Potencial de recarga e percolação de água subterrânea . considerando as características físicas das rochas na região quanto a sua granulação, tropia, e manto de infiltração associado atribui-se de maneira empírica valores relativos para os grandes compartimentos litoestruturais da área baseado em suas características físicas

Os valores adotados para classificar as unidades litoestruturais da área do projeto quanto sua capacidade de fluxo de água subterrânea refletem sua maior ou menor capacidade de recarga e percolação de água subterrânea .

Valor 1 = menor capacidade (rochas metassedimentares)

Valor 2 = média capacidade (rochas graníticas e granitóides)

Valor 3 = maior capacidade (áreas sedimentares);



CORRELAÇÃO RECARGA E FLUXO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA

O mapa litoestrutural representa a distribuição das unidades existentes na área onde cada uma delas tende apresentar características físicas particulares, como tipo de rocha, ambiente de formação, intensidade e resposta diferenciada aos eventos tectônicos, estruturais, e a ação de processos geomorfológicos a que estiveram expostas. Esta tabela permite o cruzamento e correlação da análise integrada de alguns atributos físicos aqui estudados, como fraturamentos, deformação tectônica da área, condicionante hidrogeológicos, classes de declividade, fluxo de água com cada unidade litoestrutural mapeada. Permite a identificação e a um conhecimento relativo da participação e importância de cada uma das unidades na dinâmica, qualificação e quantificação do aqüífero subterrâneo.

O mapa de fluxo de água subterrânea apresenta algumas principais características citadas a seguir.

Área Norte – Noroeste da Bacia de Taubaté:

Esta área é marcada pela predominância de um fluxo concordante em direção a calha do Rio Paraíba do Sul na Bacia de Taubaté. Alterna áreas alongadas de fluxo discordante divergente (recarga), alinhados para NE, situadas principalmente sobre faixas de rochas graníticas e migmatíticas com discretas áreas de descarga.

Área Sul – Sudeste da Bacia de Taubaté:

Alternam faixas alongadas de áreas de fluxos discordantes divergentes (recarga) orientadas para NE situadas predominantemente sobre unidades graníticas e granitóides com faixas de discordantes convergentes (descarga) paralelas situadas predominantemente sobre áreas de metassedimentos e rochas metamórficas migmatíticas . Estas duas faixas se distribuem sobre amplas áreas caracterizadas como de fluxo concordante em direção a Bacia de Taubaté, a noroeste.

Área da Bacia Sedimentar de Taubaté:

Caracteriza-se por uma região onde predomina um fluxo discordante convergente em sua parte central, alongado na direção longitudinal da Bacia próxima a calha do Rio Paraíba do Sul, ladeada por áreas de fluxo concordante no sentido da calha do rio.

Esta área composta por rochas sedimentares é caracterizada como uma área de recarga em toda sua extensão por apresentar porosidade intergranular.

O fluxo de água subterrânea analisado a partir de condicionantes morfoestruturais, revelaram três situações principais as quais foram associados padrões de fluxo que identificavam áreas de recarga, áreas de descarga e áreas de escoamento de água subterrânea. Para identificação destas condições diferenciadas foram atribuídos valores empíricos a saber : (1) fluxo discordante convergente – áreas de descarga; (2) fluxo concordante – áreas de fluxo unidirecional; (3) fluxo discordante divergente – áreas de recarga.

CORRELAÇÃO COM DENSIDADE DE FRATURAS:

Para execução do mapa de densidade de fraturamento foram adotados quatro intervalos de densidade relativa classificados como *baixo, médio, alto e muito alto.*



A distribuição da densidade revela dois domínios principais em termos de concentração. O primeiro é correlacionado a área da Bacia Sedimentar onde o fraturamento apresenta a mais baixa densidade e o segundo relacionado aos terrenos cristalinos do médio Vale do Rio Paraíba do Sul onde as mais altas densidades estão associadas às rochas graníticas e granitóides e secundariamente às rochas migmatíticas.

CORRELAÇÃO COM DECLIVIDADE

À declividade das encostas e vertentes no relevo de uma região, estão intrinsecamente relacionadas a intensidade de escoamento e da infiltração de águas pluviais. Áreas de maior declividade apresentam maior índice de escoamento e menor índice de infiltração e vice versa.

CORRELAÇÃO COM FEIXES DE FRATURA:

Na região estudada foram identificados feixes de fraturamento de direções diversas, os principais feixes foram correlacionados a direções tectônicas sobre a área e apresentam as seguintes direções associáveis ao Modelo de Riedel. Principal destral: N45 – 65E; direção R1: N15 – 35W; direção P: N15 – 35E; direção T: N35 – 55W; direção R: N80E – N80W; e direção de fraturamento discreto não associada ao Modelo de Riedel N10W – N10E.

As populações de fraturas pertencentes a intervalos representativos de feixes das direções tectônicas acima mencionadas tiveram sua distribuição analisada apartir de mapas de densidade de fraturas. Como resultado identificou-se as áreas de alta à muito alta densidade e feixes de fraturas associados a cada direção tectônica.

A correlação entre o número destes feixes de fraturas, sabidamente importante como elemento de recarga, descarga e percolação da água subterrânea foi estabelecida na tabela de síntese. Adotaram-se valores empíricos e relativos correlacionando à ocorrência e ao numero de feixes de fraturas sobre determinada unidade geológica com valores crescentes com o maior potencial de infiltração e fluxo de água subterrânea.

IC NOGIA E MEIO AMBIENTE

									TABELA 0	5 - UNII	DADES	LITOESTRUTU	RAIS / AQUÍF	FEROS			
								ROCHAS GRANITOIDES METASSEDIMENTO				DIMENTOS	ROCHAS METAMÓRFICAS				
PLANOS DE	INFORMAÇÕES						Gnm	Gnm (c)	Gr	MS	MV	Gns	Gnm	Gnm (gt)	Gnm (C)	&	
				FORMAÇÃO Caçapava	FORMAÇÃO TREMEMBÉ	Qa ALUVIÕES	MIG HOM	MIG OFTALMICO	GRANITOS	XISTOS	FILITOS	Mig Heterogêneos	GNAISSE GROSSEIRA XISTOSA	GNAISSE COMPALEOSSOMA GRANULITICO	GNAISSE BANDADOS	MACIÇO Alcalino	
Atributos	Características dos Atrib	outos															
POTENCIAL DE RECARGA			3	3	3	3											
E PERCOLAÇÃO			2				2	2	2	1	1	1	2	2	2	2	
MAPA DENSIDADE			4			0				'	<u>'</u>	1					
FRATURAS (TODAS			3			0	3	3	3								
DIREÇÕES)			2			0								2	2	2	
			1	1		0				1	1	1	1				
		C	3			0	3	3	3								
N/5-65E	Principal destal (C)	D	2	1	2						1	1	1	2	2	3	
N4J-UJL		С	3		•	0								-	-		
	(Dist)	D	2			0		2	2	2	2	2		3			
N10-N10E			1	1	1	U							2		4	2	
	R1	Dist	2								2-3	1-3	1-2	0	2-3	2	
N15-35W			1	0-1	0-1	0	1	2-3	3	0							
	_		3									_		_			
N15 25E	Р	C	2	0-1	0-1	0	0-1	2-3	2-3	2	2-3	2	1-2	0	2	1	
NID-DDE			3														
	Т		2	0-1	0-1	0	0-1	0-1	2-3	2	2	2-3	2	2	2	2	
N35-55W			1														
			3												<u> </u>		
	? R	Dist	2	1	1	0	2	2	2-3	1-2	1-2	2	1-2	2	1	2	
MAPA CLASSE	0-15% - Baixa		1	1	1	1											
DECLIVIDADE	15-30% - Médio	-	2	1	1	- '	2	3	3-2	2	1-2	2	3	3	1-2	3	
	> 45% - Alto		3			<u> </u>	3	· · ·	~-			-	v	Ť	··-		
	Discordante Convergente		1	2		2			1	1			1	1	1		
MAPA FLUXO - AGUA	Concordante		2						-		2	2					
	Discordante Divergente		3				3	3	3	3			3		3	3	

TABELA 5 - CORRELAÇÃO ENTRE UNIDADES GEOLÓGICO -LITOESTRUTURAIS X DENSIDADE FRATURAS- OCORRÊNCIA DE FEIXES DE FRATURAS(UNI – BI E MULTIDIRECIONAIS – DECLIVIDADE E FLUXO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA.



5.3 SÍNTESE RELATIVA A ÁREAS DE RECARGA MORFOESTRUTURAL X ATRIBUTOS FÍSICOS

Esta síntese utiliza como mapa base o Mapa de Recarga e Fluxo de água subterrânea, o qual determina as principais áreas de recarga (fluxo discordante divergente), descarga (fluxo discordante convergente) e concordante (fluxo unidirecional).

Neste mapa foram identificados as 16 principais áreas de recarga. São porções alongadas orientadas NE, paralelas a estruturação da área e ao alongamento das unidades litoestruturais.

ÁREAS DE RECARGA	ÁREAS POTENCIAIS - ALTA DENSIDADE DE FRATURAS
	Extremo Norte da área de recarga (Sudeste de Lorena) - Porção Centro-Sul (Sul de Moreira César)- / Extremo Sul (Sudeste de Taubaté) –.
Área de Recarga 1	
Área de Recarga 2	Metade Sul da área de recarga (Sul de Silveiras).
	Extremo Norte da área de recarga (Sudoeste de São José do Barreiro), porção central (Norte de Lagoinha), e porção centro-sul (Norte redenção da Serra).
Área de Recarga 3	
	Extremo Norte da área de recarga (Região de Jambeiro)- / Extremo sul (Sul de Jacareí)
Área de Recarga 4	
	Extremo Norte da área de recarga (Sul de Cunha), centro-norte (Leste de Catuçaba) e porção central (Leste de Natividade da Serra).
Área de Recarga 5	
	Região Central da área de recarga (Arapeí).
Área de Recarga 6	
Área de Recarga 7	Região central da área de recarga (Sul de Natividade da Serra).
Área de Recarga 8	Centro-Sul da área de recarga (Sudeste de São José do Barreiro).
Área de Recarga 9	
Área de Recarga 10	
Área de Recarga 11	Extremo Norte da área de recarga (Sul de Bananal), e extremo sul Sul de São José do Barreiro).
Área de Recarga 12	Extremo Norte da área de recarga (Noroeste de São José dos Campos), extremo sul (Região de Arujá) e centro-norte (Região de Igaratá).



Área de Recarga 13	
Área de Recarga 14	Extremo Norte da área de recarga (Norte de Queluz)/porção central Oeste de Piquete).
Área de Recarga 15	Toda área de recarga (Monteiro Lobato).
Área de Recarga 16	Toda área de recarga (São Francisco Xavier).

Correlação Áreas de recarga morfoestrutural com Densidade Fraturas- Direções Gerais

Dentre os atributos estruturais analisados elegeu-se a interação entre a densidade de fraturas e as áreas de recarga como a mais importante para a hierarquização de sub-áreas quanto a sua importância ao processo de recarga.

O cruzamento - integração - entre as áreas de recarga morfoestrutural, e as áreas que apresentavam densidades de fratura altas a muito altas insejou a identificação de porções das áreas de recarga com o maior potencial a infiltração e a percolação do fluxo da água subterrânea. As porções identificadas como potenciais da área de recarga, encontram-se localizadas sobre o mapa de síntese de analise das áreas de recarga e podem ser descritas como abaixo:

Correlação – Áreas de recarga x Intervalos de declividade

As áreas de recarga foram numeradas de 1 à 11 a Sul da Bacia de Taubaté e as áreas de recarga foram numeradas de 12 à 16 a Norte da Bacia de Taubaté;

A influencia da declividade média nas áreas de alta densidade de fraturas foi avaliada no processo de recarga do aqüífero, foi considerado adotando-se três situações onde a utilização e escoamento de águas fluviais são inversamente proporcionais à declividade, adotou-se valores empíricos e relativos para esta avaliação – baixa, média e alta declividade.

<u>Área de recarga 1:</u> Ocorre sobre uma região de declividade media à alta;

<u>Área de recarga 2:</u> Ocorre sobre uma região de declividade alta;

<u>Área de recarga 3:</u> Se estende desde a região de redenção da Serra ate São José do Barreiro, ocorrendo; variação na declividade no terço sul, declividade média - alta, na porção central declividade média (região de lagoinha), porção norte declividade alta;

<u>Área de recarga 4</u>: Ocorre sobre uma região de declividade média, na região de Guararema e média - alta na região de Jambeiro;

<u>Área de recarga 5</u>: Se estende da região de Paraibuna a cunha e esta na região de declividade alta;



<u>Área de recarga 6</u>: Encontrasse predominantemente numa região de declividade alta e a norte atravessa uma porção de declividade média (Arapei);

<u>Área de recarga 7:</u> Encontrasse numa região de declividade média;

<u>Área de recarga 8</u>: Encontrasse sua metade sul numa região de declividade alta e a sua metade norte encontrasse declividade média (Bananal)

Área de recarga 9: Próximo à represa de Paraibuna com declividade média – alta;

Área de recarga 10: Ocorre sobre região de declividade média, ao extremo Sul da área.

Área de recarga 11: Ocorre sobre uma região de declividade alta a Sul de bananal;

<u>Área de recarga 12:</u> Ocorre sobre uma região de declividade baixa entre Arujá e Igaratá e média até são José dos campos;

<u>Área de recarga 13:</u> Ocorre sobre uma região de declividade média com a porção central apresentando declividade baixa próximo a Cachoeira Paulista;

<u>Área de recarga 14:</u> Ocorre sobre uma região de declividade alta no limite norte da área, à norte de Piquete e Monteiro Lobato;

<u>Área de recarga 15:</u> Ocorre sobre uma região de declividade alta na região de Monteiro Lobato;

<u>Área de recarga 16</u>: Ocorre sobre uma região de declividade alta a norte de monteiro Lobato;

Correlação Áreas de Recarga morfoestrutural x densidade somado a cruzamento de lineamento

Os lineamentos / feições lineares mapeados em toda região tiveram sua distribuição analisada através da construção de um mapa de densidade o qual considerou o valor linear dessas feições em células de 5km de lado adotadas para amostragem. A grade gerada dessa analise propiciou a confecção de um mapa de densidade de lineamentos baseado na interpolação usando método de Krigagem. Valores relativos de densidade foram adotados arbitrando-se intervalos Baixo / Médio / Alto para a representação de sua distribuição no espaço.



A analise do mapa de lineamentos permitiu a identificação de cruzamentos entre essas feições, as quais apresentaram direções diversas. É sabido que estas feições bem como os pontos de cruzamentos entre elas representam importantes feições para a infiltração, a percolação e a comunicação entre sistemas aqüíferos distintos existentes em terrenos cristalinos. A diferentes tipos de associação entre elas foi atribuído valor empírico E relativo, segundo seu grau de importância no desenvolvimento das áreas de recarga.

As tabelas 6 , resume a síntese da correlação realizada entre as áreas de recarga morfoestrutural e o resultados obtidos com o mapeamento e processamento dos atributos físicos .

5.3 SÍNTESE DA CORRELAÇÃO ENTRE ÀREAS DE ALTA DENSIDADE DE FRATURAS E X ESTRUTURAS

As áreas com alta densidade de fraturas têm se reveledo como áreas potenciais nos estudos hidrogeológicos. Estas áreas podem associas as melhores condições para a infiltração, percolação e acumulação de águas subterrâneas. É o principal elemento condicionante dos aqüíferos cristalinos por constituir a porosidade nestas rochas, denominada porosidade secundária, e promover a interconexão entre sistemas aqüíferos isolados, comuns nos aqüíferos cristalinos.

As áreas de alta densidade de fraturamentos foram analisadas quanto a sua densidade geral e quanto as suas direções específicas (identificando eixos de máximos fraturamentos), correlacionados ao modelo de deformação de RIEDEL (1929), que definem feixes de fraturamentos.

A correlação entre estas áreas de alta densidade de fraturas e a freqüência média de feixes de fraturamentos em cada uma, permitiu avaliar cada uma das áreas quanto ao seu potencial hidrogeológico, mormente aquele associado às zonas de recarga.

Adotaram-se valores proporcionais de ocorrência dos feixes de fraturas, considerando todas as direções analisadas.

Foram delimitadas onze (11) áreas, identificada como de alta densidade. Essas áreas foram divididas pelo número de feixes de fraturas existentes sobre cada uma dela e o resultado conduziu a elaboração de uma escala de pesos de 1 a 3, cujos valores individuais foram adotados para classificar cada área.

As áreas de interação entre características dos lineamentos (densidade de lineamentos e cruzamentos); feixes de fraturas e alta densidade de fraturamento, apontam regiões que podem ser interpretadas como áreas de percolação com melhor qualidade e/ ou capacidade a infiltração, portanto de maior potencial para a recarga de água subterrânea. A figura 27. mostra a distribuição e a relação entre os feixes de fraturas, as áreas de recarga morfoestrutural e áreas de alta densidade de fraturas

A tabela 7, resume a síntese ad correlação realizada entre áreas de alta densidade de fraturamento e o resultados obtidos com o mapeamento e processamento dos atributos físicos.



			TABELA 06 - ÁREAS DE RECARGA MORFO-ESTRUTURAL																																					
			1 2 3 4 5									I		6		T		7					8																	
	_															Р	rinc	ipai	is T	rechos	s da	Åre	ea de	e Re	ecar	ga														
PLANOS DE INFORMAÇOES		Α	В	С	R	RI	N	Α	R	М	Α	R	R	R	R	М	A	В	R	М	Α	В	С	R	R	R	М	Α	R	R	М	A	R	R		М	Α	R	R	М
Densidade Relativa de Fraturas/Trecho	Alto = 3 Baixo = 1	3	3	3	1	1 2	.2	3	1	2	3	1	1	1	1	1.4	3	3	1	2.33	3	3	3	1	1	1	2	3	1	1	1.67	3	1	1	1	.67	3	1	1	1.67
Densidade + Cruzamento de Lineamentos Estruturais	MD ou C = 1 AD ou MD+C =2 AD+C =3	3	3	1	2	1	2	3	2	2.5	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2.67	3	3	3	2	3	3	2.83	2	3	3	2.67	3	3	3		3	3	3	2	2.67
Soma dos Atributos Hierarquização das Áreas Recarga		6	6	4	3	2 4	1.2	6	3	4.5	6	4	4	4	4	4.4	4 6	6	3	5	6	6	6	3	4	4	4.83	5	4	4	4.3	3 6	6 4	4	Ļ	4.67	6	4	3	4.33
			9	10)		11				1	2			Ι	13			14			15			16															
									Pri	incip	ais	Tre	cho	s da	Ar Ar	ea de	e Re	ecar	ga																					
PLANOS DE INFORMAÇOES		R	М	R	M	A	२	М	Α	В	С	R	R	М	R	М	A	В	R	М	Α	R	М	Α	R	Μ														
Densidade Relativa de Fraturas/Trecho	Alto = 3 Baixo = 1	1	1	1	1	3	1	2	3	3	3	1	1	2.2	1	1	3	3	1	2.33	3	1	2	3	1	2														
Densidade + Cruzamento de Lineamentos Estruturais	MD ou C = 1 AD ou MD+C =2 AD+C =3	3	3	2	2	2	3	2.5	3	3	1	3	3	2.6	1	1	2	3	3	2.67	3	2	3	3	3	3														
Soma dos Atributos Hierarquização das Áreas Recarga		4	4	3	3	5	4	4.5	6	6	4	4	4	4.8	2	2	2 5	6	4	5	6	3	5	6	4	5														

TABELA 6 - SÍNTESE DA CORRELAÇÃO ENTRE ÁREAS DE RECARGA X SUBDIVISÕES DESTAS ÁREAS RECARGA VERSUS ÁREA DE ALTA E MEDIA DENSIDADE DE FRATURAMENTO; ÁREAS DE ALTA DENSIDADE DE LINEAMENTOS + O CRUZAMENTO ENTRE LINEAMENTOS DE DIREÇÕES DIVERSAS.

			TABELA 07 - ÁREAS DE ALTA DENSIDADE DE FRATURAMENTO														
Atributos	Características		ÁREA 1	ÁREA 2	ÁREA 3	ÁREA 4	ÁREA 5	ÁREA 6	ÁREA 7	ÁREA 8	ÁREA 9	ÁREA 10	ÁREA 11	ÁREA 12	AREA 13	AREA 14	AREA 15
N145-65E	Principal desta	l (c)	6	7	2	1	4	5	3	2	1	2	0	0	1	2	0
N10E-N10W	(Dist)		13	12	5	2	1	9	2	2	1	4	2	1	0	0	1
N15-35W	R1		5	7	2	1	1	3	7	8	1	1	1	1	0	1	1
N15-35E	Р		12	2	3	0	2	2	1	0	1	0	0	0	1	0	0
N35-55W	т		5	7	1	0	0	3	1	2	2	3	0	1	1	1	1
N80W-N80E	?R		3	6	4	1	1	2	3	1	0	3	0	0	1	1	0
DENSIDADE- NUMERO DE / KM2/ FEIXE FRATURA-	Intervalo de áreas em Km2/Feixe Fraturas	0-15km2=3 15- 30km2=2 >30km2=1	2	1	2	1	2	1	3	3	3	2	2	3	3	3	3
FALHAMENTOS REGIONAIS	Densidade		2	2	2	2	2	2	2	1	0	2	2	2	2	2	2
CRUZAMENTO DE LINEAMENTOS	Km2 / Cruzamento	0-10km2=3 10- 20km2=2 >20km2=1	1	1	1	1	2	2	3	3	1	1	3	2	3	3	3
POTENCIAL DE INTERLIGAÇÃO ENTRE SITEMAS AQÜÍFEROS	SOMATÓRIO DOS ÍNDICES		5	4	5	4	6	5	8	7	4	5	7	7	8	8	8

TABELA 7 – SÍNTESE DA CORRELAÇÃO ENTRE DE ÁREAS DE ALTA DENSIDADE DE FRATURAS VERSUS, KM2 / FEIXE DE FRATURAS – KM2 / CRUZAMENTO DE LINEAMENTOS .



FIGURA 26 – MAPA INTEGRADO ENTRE, ÁREAS DE RECARGA E FLUXO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA , ÁREA DE ALTA DENSIDADE DE FRATURAMENTO.



PROJETO RECARGA-MÉDIO VALE DO RIO PARAÍBA DO SUL-SP

FIGURA 27 – MAPA INTEGRADO ENTRE ÁREAS DE RECARGA, ALTA DENSIDADE FRATURAS E FEIXES DE FRATURAMENTO.



5.3 ESTUDO DE CASO NA HIERARQUIZAÇÃO DE AREA DE RECARGA

A correlação de dados estruturais representadas pelas tabelas de correlação constitui-se em valioso instrumento de avaliação e para a priorização das principais áreas de recarga e àquelas áreas de descarga mais favoráveis a exploração da água subterrânea.

Áreas Sedimentares

As áreas sedimentares apresentam-se naturalmente como as de mais potencial a recarga do aqüífero de água subterrânea na região do Médio Vale do Paraíba do Sul e ainda como um dos aqüíferos mais importantes de toda a região, constituindo pelos sedimentos terciários da Bacia de Taubaté.

Nesta área, identificada naturalmente como a melhor área de recarga da região, a correlação entre as unidades litológicos/litoestruturais e atributos físicos, mostra pequena influência dos atributos estruturais na formação e caracterização dos aqüíferos.

Estes são assim melhor caracterizados pelos aspectos litoestratigráficos das formações sedimentares que o constituem.

Distinguem-se três aqüíferos principais na escala do trabalho adotada – Formação Caçapava, Tremembé , terciárias e aluviões e terraços quaternários.

Um exemplo de indicação do potencial a recarga destas unidades é mostrada na análise da tabela (05)

- Com relação ao potencial infiltração e percolação, valores relativos – empíricos foram adotados variando entre 1 a 10, admitindo-se a máxima infiltração para sedimentos arenosos da Formação caçapava e Aluviões e terraços quaternários, arenosos, com índice "10" e o valor d "7", para áreas mais argilosas, associadas a sedimentos lacustres da Formação Tremembé.

- Com relação à ocorrência e densidade de fraturas, estes atributos são considerados, como tendo importância mais relacionada a possibilitar a comunicação entre camadas aqüíferas, (fácies arenosos) confinados por intercalações de camadas muito argilosas. Foi atribuído o mesmo índice para os sedimentos da bacia;

- Os atributos declividade, classificam este compartimento como sendo de baixa declividade, portanto apresentando uma situação altamente favorável ao processo de infiltração de águas pluviais;

- Quanto ao fluxo de água subterrânea, revela-se como uma área com duas situações – áreas de fluxo concordante(grandes porções com fluxo predominante unidirecional,) e propício a recarga e uma importante área de fluxo discordante, convergente, considerada de alto potencial à acumulação e descarga de águas subterrâneas.

Áreas Cristalinas

As áreas apontadas como favoráveis para a recarga e descarga de água subterrânea, permitiram a identificação de dois tipos de classificação:

- Àquelas, associadas a regiões de altos e baixos estruturais, definidos pela análise morfoestrutural como áreas de fluxo divergente e áreas de fluxo convergente, respectivamente, em relação aos eixos longitudinais das regiões delimitadas



- O segundo tipo de área de recarga e de descarga foi identificado e delimitado pela associação de áreas de altas densidades de fraturas com áreas de alta densidade de lineamentos, somados a existência de cruzamento de lineamentos.

A determinação da prioridade ou hierarquia das áreas de recarga e/ou descarga pode ser obtida a partir da análise das seguintes informações:

a) As áreas de recarga principais são aquelas determinadas pela análise morfoestrutural;

b) áreas de recarga consideradas secundárias são aquelas determinada pela ocorrência de alta densidade de fraturas X densidade + cruzamento de lineamentos

c) O índice empírico e relativo utilizado na correlação dos atributos físicos (fraturas, lineamentos _falhas e feições lineares_) com estas áreas de recarga, propiciou a sua compartimentação em sub áreas e a classificação de cada uma delas quanto a seu potencial de recarga.

O mesmo princípio de analise para a hierarquização de áreas de descarga pode ser utilizado considerando as principais características físicas associadas.

Um exemplo do uso das tabelas foi utilizado na área de recarga 1 a sul de Moreira César – sudeste de Lorena.

- a correlação da área de recarga 1 com a densidade de fraturas, densidade de lineamentos somados a cruzamento de lineamentos, apresentou um índice relativo de potencial para recarga de 4.2, sendo que o índice máximo seria o de número 6;

- a correlação com feixes de fraturas representados por km²/feixe para esta área apresentou o índice de número 2 em um valor máximo de 3;

- Somados os dois índices acima mencionados obtém-se o índice de potencial a recarga de água subterrânea de 6.2 num máximo de 9.

- Identifica-se na área 1, duas sub áreas com índice relativo de 6, e uma sub área com índice relativo 5 (cinco), portanto de alto potencial de recarga;

- Identifica-se nesta mesma área duas sub áreas com índices relativos de potencial de recarga igual a 2, portanto de menor potencial de recarga.

A tabela que sintetiza a correlação de aspectos litoestruturais com estruturas, declividade, e manto de alteração fornece índices relativos e empíricos quanto ao potencial de cada unidade (litoestrutural) a recarga.

O uso desta tabela permite ainda um detalhamento com relação à ocorrência de feixes de fraturas em uma, duas ou mais direções e de eixos de máximo fraturamento.



6 – HIDROGEOLOGIA

A ênfase trabalho de pesquisa é o conhecimento do potencial hídrico subterrâneo contemplando principalmente a identificação de áreas de recarga na bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul em sua porção Paulista.

O levantamento do potencial hídrico subterrâneo da bacia do rio Paraíba do Sul, no Estado de São Paulo integrado a investigação sobre o controle geológico da água subterrânea, realizado por métodos de interpretação de dados orbitais, possibilita uma caracterização mais completa dos aqüíferos e de parâmetros de uso e conservação destes recursos.

Surge como uma base que possibilita desenvolver a adoção de manejos como soluções para equacionar problema do gerenciamento dos recursos hídricos subterrâneos, utilizando o modelo de gestão por bacia, conforme é preconizado e adotado internacionalmente.

Visando uma melhor compreensão da área de estudo, esta etapa do projeto foi estruturada segundo etapas, necessárias para conseguir-se os seguintes objetivos:

a) descrição geológica regional, descrição geológica local detalhada, elaboração de mapas geológicos, elaboração de modelos geológicos tectono-estruturais tridimensionais e de secções geológicas transversais e longitudinais utilizando dados levantados de perfis de poços tubulares profundos;

b) definição dos aspectos hidrogeológicos e hidrodinâmicos, com base em informações geradas através da interpretação de testes de vazão, de mapas de níveis estáticos, níveis dinâmicos e vazões de poços tubulares profundos cadastrados;

c) verificação das tendências dos níveis dinâmicos e vazões dos poços frente à exploração das águas subterrâneas;

d) estimativa dos volumes de águas subterrâneas explorados mensalmente, na região e informações locais de alguns municípios;

6.1. HIDRODINÂMICA DOS AQUÍFEROS

Logo após o término da construção dos poços, as empresas de perfuração realizam testes de vazão para fins de dimensionar o equipamento de extração de água. Nestes testes de vazão são medidos: o nível estático, os valores de rebaixamento do nível d'água em função do tempo de bombeamento, a vazão e a recuperação do nível d'água após cessado o bombeamento.

Os testes de vazão são realizados com compressor ou bomba submersa. Eventualmente são realizados testes escalonados com variação controlada da vazão extraída. Este tipo de teste somente pode ser realizado com bomba submersa.

A partir da interpretação dos dados dos testes de vazão, pode-se calcular: Capacidade Específica do Poço, Transmissividade, Condutividade Hidráulica, Coeficiente de Armazenamento do aqüífero no local do poço e a vazão ótima de explotação.

A Capacidade Específica do Poço é obtida através da razão entre a vazão extraída e o rebaixamento produzido. Tem a dimensão (L^2/T). Os parâmetro variam com o tempo e com a vazão extraída (TOOD, 1967). Assim, não é adequado dimensionar um equipamento para explotação de água do poço, baseando-se unicamente neste parâmetro.



A Transmissividade do aqüífero no local do poço é um parâmetro que pode ser obtido com razoável precisão mesmo quando o rebaixamento ou recuperação, durante o teste de vazão, é medido no próprio poço bombeado, isto é, quando não se dispõe de um poço de observação. Sob esta condição, o ponto de observação é considerado como sendo as paredes do poço. Assim, a distância do poço onde a água está sendo extraída até o ponto de observação é tomada como sendo o raio do poço (FREEZE e CHERRY, 1979).

De acordo com KRESIC, (1997) a Condutividade Hidráulica também pode ser obtida a partir do conhecimento da transmissividade (T) e espessura das camadas aqüíferas (b). Relacionase através da expressão K=T/b , onde b é a espessura da camada aqüífera.

O Coeficiente de Armazenamento de uma camada aqüífera é caracterizado pelo volume de água desprendido ou armazenado como resultado de uma mudança de pressão unitária ou mudança de uma unidade do potencial hidráulico (KOVÁCS, 1981).

O volume compreende a água desprendida por uma área unitária horizontal da camada multiplicada pela altura unitária da camada.

Para os aqüíferos sedimentares, livres, duas aproximações devem ser levadas em conta quando se calcula o Coeficiente de Armazenamento: a ausência do poço de observação e as mudanças na relação entre a espessura saturada e insaturada das camadas geológicas devido ao bombeamento dos poços.

6.2. HIDROGEOLOGIA DA BACIA RIO PARAÍBA DO SUL

Na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Rio Paraíba do Sul -UGRHI-2 - há dois sistemas aqüíferos principais: o das coberturas sedimentares cenozóicas (Formações Caçapava e Tremembé, e sedimentos quartenários), e o das rochas cristalinas. Os terrenos sedimentares cenozóicos formam o principal e melhor aqüífero da região. Suas características não são uniformes e variam segundo a litologia do pacote sedimentar.

As rochas cristalinas ígneas e metamórficas do pré-Cambriano não formam um aqüífero regional mas apresentam localmente condições aqüíferas e por conseqüência são explotados por algumas dezenas de poços tubulares profundos.

O sentido dos fluxos subterrâneos é predominantemente efluente, isto é, do aqüífero freático para os rios e córregos. Segundo DAEE (1977a), de Jacareí até São José dos Campos, o fluxo é influente, ou seja, os aqüíferos recebem água proveniente do rio Paraíba do Sul. Provavelmente isto é provocado pelas condições de exploração dos poços nestes municípios, que sob condições severas de exploração, induzem a recarga dos aqüíferos a partir de águas permanentemente disponíveis superficialmente.

Segundo DAEE (1977a), a maior parte da região está sob condições freáticas pouco confinadas, enquanto algumas áreas limitadas ficam sob pressão, formando raros aqüíferos confinados.

6.2.1. O SISTEMA AQÜÍFERO SEDIMENTAR PARAÍBA DO SUL OU TAUBATÉ

O levantamento efetuado por Consórcio ICF KAISER-LOGOS (1999) mostra que o Sistema Aqüífero Sedimentar do Vale do Paraíba do Sul (SASPS) é formado pelas rochas do Grupo Taubaté (Formação Resende e Tremembé) e



da Formação Pindamonhangaba, segundo a divisão litoestratigráfica proposta por RICCOMINI (1989), de idade terciária, além de sedimentos quaternários. É o mais intensamente explorado, sendo do tipo livre a semiconfinado, de porosidade primária e bastante heterogêneo. Também recebe a denominação de Sistema Aqüífero Taubaté (SAST).

O modelo de circulação regional aceito para a SASPS, (CONSÓRCIO ICF KAISER-LOGOS, 1999), mostra que as águas das chuvas recarregam os aqüíferos em toda a sua extensão não impermeabilizada (Figura 28). Uma vez ingressando no aqüífero, as águas fluem em direção às drenagens superficiais, suas áreas de descarga. Suas características hidrogeológicas estão intimamente relacionadas aos ambientes de deposição da Bacia Sedimentar de Taubaté. Neste sentido, pode-se distinguir, regionalmente, duas unidades com diferentes comportamentos hidráulicos.

A primeira, nas porções sudeste e noroeste da bacia sedimentar (respectivamente, Jacareí / São José dos Campos e Lorena / Cachoeira Paulista), associadas ao ambiente fluvial, com altas vazões em poços tubulares profundos que podem superar 200 m³/h, vazões médias de 40 m³/h, e Transmissividades médias em torno de 100 m²/dia. A segunda, na região entre Taubaté / Pindamonhangaba, no centro da bacia sedimentar, está associada ao ambiente lacustre, apresentando valores menores de vazão, da ordem de 20 a 30 m³/h, e Transmissividades variando entre 10 a 50 m²/dia.

Regionalmente, tanto os sedimentos do ambiente fluvial, quanto do ambiente lacustre, formam um aqüífero do tipo livre, localmente semiconfinado, e apresentando, na porção centro-oeste do Vale, zona de artesianismo. A recarga do aqüífero faz-se em toda a sua extensão e a área de descarga está associada ao rio Paraíba do sul, que representa o nível de base regional (fluxo efluente). As curvas equipotenciais acompanham a topografia, descendo de ambos os lados das serras para o centro do vale. Os gradientes hidráulicos variam de 2 a 20 por mil, e são função da topografia e da permeabilidade do material sedimentar (DAEE, 1977a).

Embora o rio Paraíba do Sul represente a zona de descarga regional dos aqüíferos, seus afluentes comportam-se como áreas de descarga local, conferindo curtos tempos de trânsito às águas subterrâneas. É reconhecido, através da geometria do aqüífero e, pela composição química das águas, a presença de uma circulação regional de longo período.



Embasamento

FIGURA 28A. MODELO DE CIRCULAÇÃO REGIONAL PARA O SISTEMA AQÜÍFERO SEDIMENTAR DA BACIA DE TAUBATÉ.

6.2.2. O SISTEMA AQÜÍFERO CRISTALINO

Grandes falhas regionais atravessam a área da Bacia Hidrográfica do rio Paraíba do Sul, na direção NE-SW, existindo um sistema de juntas e alinhamentos em direções diagonais, dos quais predominam os sistemas WNW, NNW e NNE (SOUZA, 2004). Em zonas de falhamento, de juntas e em zonas meteorizadas estão as melhores condições para a circulação das águas subterrâneas, existindo alguns poços profundos que exploram o aqüífero cristalino nestas condições. Os rendimentos mais comuns dos poços construídos sobre rochas cristalinas são geralmente pequenos, de somente alguns m³/h e com grande rebaixamento de nível. Apesar disso, poços bem localizados, considerando os lineamentos tectônicos, podem render uma vazão maior, da ordem de 10 a 20 m³/h (DAEE, 1977a).

Segundo o comportamento hidráulico das rochas é possível distinguir duas unidades neste sistema: a primeira, relacionada às rochas intemperizadas, compreendendo um aqüífero de porosidade primária granular, de natureza livre, bastante heterogêneo, formado pelo manto de alteração, com espessuras médias de até 50 m (Figura 28b).

Sob o manto de intemperismo e, muitas vezes conectado a este hidraulicamente, ocorre o aqüífero cristalino propriamente dito, onde as águas circulam por descontinuidades rúpteis da rocha (fraturas e falhas abertas). Esta unidade é de caráter livre a semi-livre, heterogêneo e anisotrópico (FITTS, 2002).



FIGURA 28B. MODELO DE CIRCULAÇÃO REGIONAL PARA O SISTEMA AQÜÍFERO CRISTALINO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL.

secundária por fraturamento

6.1.3 CADASTRAMENTO DOS POÇOS TUBULARES PROFUNDOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL.

Para o levantamento hidrogeológico, a técnica empregada neste trabalho foi, primeiramente, o cadastramento de todos os dados de poços tubulares profundos disponíveis.

Foram cadastrados, 446 poços tubulares profundos, distribuídos em sua maioria dentro da Bacia Sedimentar de Taubaté. O cadastro realizado nesta pesquisa foi efetuado utilizando-se a base de dados da Companhia de Processamento de Dados do Estado de São Paulo - PRODESP (1998); do Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE (1979) e da SABESP . Este levantamento teve a finalidade da obtenção de um banco de dados hidrogeológico amplo e consistente. Os cadastros da PRODESP e do DAEE foram obtidos no Relatório Zero da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (CPTI, 2000), trabalho efetuado por uma equipe técnica do IPT- Instituto de Pesquisa Tecnológica para o Comitê Técnico da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul.

Uma vez estabelecida a base de dados inicial, contendo estes dados levantados, continuou-se o cadastramento através de visitas freqüentes à sede do DAEE, situado na Rua Boa Vista, 170 Bloco 5, Sobreloja, em São Paulo, e na Diretoria da Bacia do Paraíba e Litoral Norte do DAEE, localizado no Largo Santa Luzia, 25, em Taubaté na sede da SABESP em Taubaté. A partir daí, efetuou-se trabalhos de campo para a checagem dos dados, junto aos usuários, obtendo-se com precisão as coordenadas UTM e as características atuais e/ou faltantes nas fichas descritivas dos poços, tais como, estado do poço, vazões de exploração e níveis dinâmicos.



Os arquivos contendo dados de poços foram impressos na Seção de Sondagens do Instituto Geológico, e transformados em base de dados Excel 2003.

6.1.4. ORGANIZAÇÃO DOS DADOS HIDROGEOLÓGICOS (Metodologia de Cadastramento dos poços.)

Os dados hidrogeológicos foram organizados numa planilha eletrônica do software Excel 2003, segundo a metodologia desenvolvida por DINIZ e MICHALUATE (2002), partindo-se inicialmente para a identificação do local da perfuração, através de colunas contendo:

• o número da folha topográfica onde o poço pode ser localizado, assim como a escala e referências;

• o número do poço, de forma seqüencial segundo a ordem de cadastramento;

• o nome e o endereço do proprietário, assim como o nome e telefone do responsável pela manutenção;

• o número do poço da empresa perfuradora, acompanhado do número local (fornecido pelo proprietário);

- o nome do projetista e a data da construção do poço;
- as coordenadas UTM do local, norte-sul e leste-oeste e a cota da boca.

Na seqüência da planilha seguem as características do sistema de explotação e uso da água, a seguir:

- tipo de uso destinado à água;
- estado atual do poço;
- períodos de bombeamento;
- equipamento de explotação.

Uma vez identificada a localização do poço e as características de explotação e uso da água, digitalizaram-se as características construtivas da obra, em colunas do software Excel 2003, contendo:

- diâmetros e profundidades correspondentes da perfuração;
- diâmetro, profundidade e espessura do tubo de boca;
- diâmetro útil do poço;
- intervalos revestidos e tipo de revestimento;

• intervalos contemplados com seções filtrantes (profundidade do início e do término dos filtros).

Na planilha de cadastramento, seguem as características hidrogeológicas no local da perfuração, que são:

- tipo de aqüífero;
- nível estático;
- nível dinâmico;



- vazão;
- tipo de teste de vazão;
- medidas de rebaixamento x tempo;
- data e duração do teste de vazão;
- capacidade específica do aqüífero no local.

Após a caracterização da obra na planilha digital, esta foi expandida com as características geológicas das formações atravessadas pela perfuração, que são:

- tipo e profundidades das litologias encontradas;
- tipo e espessuras do solo;
- tipo e espessuras da rocha alterada;
- tipo e profundidades da rocha sã;
- topo do embasamento;
- entradas de água das fraturas.

Quanto aos dados geológicos inseridos no cadastro, utilizou-se a coluna estratigráfica proposta por HASUI e PONÇANO (1978), desmembrando-se esta coluna em: Solo, Formação Caçapava, Formação Tremembé, ambas pertencentes ao Grupo Taubaté, e Rochas Cristalinas. Para obtenção deste perfil, utilizou-se o cadastro digital de poços, em Access (software de base de dados), fornecido pelo DAEE, que é constituído pelo número da folha IBGE, número do poço DAEE, e profundidades das litologias e coluna estratigráfica encontrada na perfuração de cada poço. A Formação Tremembé, foi assim definida como constituída por folhelhos cinza a cinza-esverdeados e negros, argilitos esverdeados, com freqüentes intercalações de arenitos conglomeráticos e arcóseos presentes, enquanto que a Formação Caçapava, caracteriza-se por conglomerados, arcóseos, arenitos, siltitos e argilitos, freqüentemente de colorações róseas a variegadas. Adicionou-se assim ao cadastro, a identificação do solo de cobertura da Formação Caçapava, da Formação Tremembé e das rochas do embasamento cristalino, nos locais onde afloram.

O cadastro obtido, assim, foi utilizado como fonte de dados para a elaboração de mapa de direção de fluxo, através de medidas de nível dinâmico; mapa de extração de vazão, através de medidas de vazão; mapas de volumes extraídos, através de medidas obtidas em poços da SABESP; mapa de direção do fluxo subterrâneo, através de tendências do nível dinâmico e do nível estático; mapa de distribuição de tipos de aqüíferos, através de modelamento obtido com os dados de testes de vazão; e outros mapas, gráficos e tabelas com os demais dados obtidos, como de hidroquímica e de transmissividades



6.2. DETERMINAÇÃO DOS TIPOS DE AQÜÍFEROS ATRAVÉS DA INTERPRETAÇÃO DOS TESTES DE VAZÃO

A totalidade dos poços construídos em sedimentos apresentam 4 tipos de comportamento distintos frente aos rebaixamentos observados durante os testes de vazão e que definem o tipo do aqüífero em que captam água. Frente a estes 4 tipos de comportamentos os aqüíferos considerados podem ser: livres, confinados, semi-livres e semi-confinados.

6.2.1 MODELOS HIDROGEOLÓGICOS (THEIS (1935), HANTUSH E NEUMAN (1972),)

6.2.1.1 MÉTODO DA SUPERPOSIÇÃO DE THEIS (1935)

THEIS (1935) (1935) desenvolveu um método muito preciso para calcular graficamente os parâmetros hidrodinâmicos *T* e *S* para os aqüíferos confinados. Ele observou que na equação há duas incógnitas para serem determinadas (*T* e *S*) e apenas uma equação. Para resolver o problema, elaborou o método da superposição. Neste método THEIS (1935) partiu do pressuposto que a curva de dados $s \times t$, representada em papel bi-logarítmico, é análoga à curva da Função $W(u) \propto 1/u$ também representada em papel bi-logarítmico na mesma escala da anterior.

Assim, sobrepondo a curva de dados $s \times t$ à curva da Função $W(u) \ge 1/u$, coincidindo o maior número possível de pontos, já que as curvas são semelhantes, para qualquer ponto comum teremos duas equações e duas incógnitas ($T \in S$) e o problema pode ser resolvido.

Os valores da Função $W(u) \ge 1/u$ foram tabelados para a construção da curva, por diversos autores e são encontrados em diversas publicações (DAVIS e DEWIEST, 1966; WALTON, 1970; CUSTODIO e LLAMAS, 1983; BOWEN, 1986, KRESIC, 1997, RAGHUNATH, 1982, FITTS, 2002).

Na Figura 29 é mostrado um exemplo da obtenção da Transmissividade e do Coeficiente de Armazenamento utilizando o método da superposição de THEIS (1935), e utilizando o programa para interpretação gráfica, o Origin 5.0, da Microcal Inc.





Figura 29. Método de superposição de THEIS (1935), para cálculo dos parâmetros hidrodinâmicos do Poço 15 da SABESP em Lorena.

6.2.2 A FUNÇÃO DE HANTUSH PARA CÁLCULO DOS PARÂMETROS HIDRODINÂMICOS DOS AQUÍFEROS SEMICONFINADOS

Para poços que captam água de aqüíferos situados sob um aquitarde, HANTUSH (1956) desenvolveu um método onde é possível calcular o rebaixamento para qualquer vazão passível de ser extraída.

Devido à constante recarga proporcionada pelo aquitarde ao aqüífero, o nível d'água em um poço se estabiliza quando este escoamento se iguala à vazão extraída.

O parâmetro que determina o escoamento do aquitarde para o aqüífero é conhecido como fator de gotejamento (r/B). Este fator relaciona a Condutividade Hidráulica do Aquitarde (K'), a espessura do aquitarde (b') e a Transmissividade do Aqüífero (T), e pode ser calculado pela expressão: $B^2 = T/(K'/b')$.

A partir de valores tabelados da função $W(u,r/B) \ge 1/u$, para valores de r/B apropriados, pode-se construir a família de curvas da Função de HANTUSH.

A família de curvas de HANTUSH possibilita o cálculo dos parâmetros hidrodinâmicos dos aqüíferos semi-confinados, sem armazenamento importante no aquitarde, através do método da superposição, semelhante ao método proposto por THEIS (1935), comparando-a com os dados de rebaixamento × tempo obtidos em testes de vazão (Figura 30).





FIGURA 30. MÉTODO DA FUNÇÃO DE HANTUSH (1956), PARA DETERMINAÇÃO DA TRANSMISSIVIDADE DO AQÜÍFERO SEMI-CONFINADO NO LOCAL DO POÇO Nº 33 DA SABESP, EM CAÇAPAVA. EXEMPLO DE POÇO EM.AQÜÍFERO SEMI CONFINADO. ALTA CONTRIBUIÇÃO DO MANTO DE ALTERAÇÃO

Visando simplificar a aplicação do seu método, HANTUSH (1956) substituiu a função W(u,r/B) pela expressão $K_0(r/B)/2$.

A expressão $K_0(r/B)/2$ proporciona o cálculo rápido do rebaixamento do nível d'água dos poços construídos em aqüíferos semi-confinados a partir do conhecimento da Transmissividade, para qualquer vazão possível de ser extraída.

A função K_0 é conhecida como função de Bessel, modificada, de segundo tipo e ordem zero e, a relação r/B é conhecida como fator de gotejamento (HUISMAN, 1972).

6.2..3. REBAIXAMENTO EM POÇOS PERFURADOS EM AQUÍFEROS SEMI-LIVRES: A FUNÇÃO DE NEUMAN (1972),

Para poços inteiramente penetrantes em aqüíferos semi-livres), isto é, aqüíferos que produzem um retardamento da função rebaixamento × tempo devido à contribuição da água armazenada na camada aqüífera freática, superior, a função $s \times t$ é complexa pois considera os parâmetros



hidrodinâmicos da camada aqüífera freática que se superpõe ao aqüífero principal.

A água é extraída de um aqüífero semi-livre, através do bombeamento de um poço, por dois mecanismos. Primeiramente a água provém do armazenamento da camada aqüífera principal (S), da mesma forma como ocorre em aqüíferos confinados. À medida em que o nível d'água sofre rebaixamento, em decorrência da drenagem da água contida na camada aqüífera freática que abastece a camada aqüífera principal, a água que está sendo extraída passa a derivar do armazenamento específico dessa camada freática (S_y) .

Assim, há três fases distintas nas relações rebaixamento × tempo. Primeiramente a água provém do aqüífero principal, o fluxo é horizontal e deriva de toda a espessura desta camada aqüífera. Durante este período, a função rebaixamento × tempo do nível d'água do poço tem o comportamento análogo ao de um aqüífero confinado e segue a curva de THEIS (1935), para fluxo transitório (FITTS, 2002).

Após esta fase, o nível d'água continua sofrendo rebaixamento e, agora, a água passa a derivar da drenagem gravitacional do aqüífero, havendo então dois tipos de fluxos: vertical, proveniente da camada freática, drenada, e horizontal, proveniente da camada aqüífera principal. A função rebaixamento × tempo do nível d'água do poço passa a ter, então, um comportamento quase linear e horizontal.

À medida que o tempo passa, o rebaixamento prossegue e o fluxo volta a se tonar somente horizontal, só que agora provém inteiramente do específico freática superior. armazenamento da camada А função rebaixamento × tempo do nível d'água do poço tem, então, um comportamento análogo ao de um aqüífero livre cujo Coeficiente de Armazenamento Específico é S_y e segue o comportamento da curva de THEIS (1935) para fluxo transitório (FETTER, 1988).

NEUMAN (1972), (1972) desenvolveu curvas-padrão que mostram a resposta dos aqüíferos semi-livres ao bombeamento dos poços.

A equação do fluxo é dado pela expressão:

$$s = \frac{Q}{4 \pi T} W(u_A, u_B, \Gamma)$$

onde W(u_A,u_B,) é a função dos aqüíferos semi-livres.

Sendo:

S = Coeficiente de Armazenamento do aqüífero principal;



 $u_{A} = \frac{r^{2}S}{4 T t} \quad \text{(para os dados do início do rebaixamento)}$ $u_{B} = \frac{r^{2}S_{y}}{4 T t} \quad \text{(para os dados médios e finais do rebaixamento)}$ $\Gamma = \frac{r^{2}K_{y}}{b^{2} K_{h}}$

Sy = Coeficiente de Armazenamento Específico (do aqüífero freático);
Kh = Condutividade Hidráulica Horizontal, da camada aqüífera;
Kv = Condutividade Hidráulica Vertical, da camada freática;
b = espessura saturada da camada aqüífera.

Dois conjuntos de curvas-padrão são usados para a solução gráfica do problema. O conjunto com padrão A é bom para os dados do início até o meio do rebaixamento e o conjunto com padrão B é usado para os dados medianos até o final do rebaixamento (BEAR, 1979).



FIGURA 31. GRÁFICO DA FUNÇÃO DE NEUMAN (1972), DO POÇO 2 DA SABESP EM CAÇAPAVA.CURVA SUPERIOR AQQUIFRO PRINCIPAL (FM.TREMEMBÉ) E CURVA INFERIOR A DIREITA (FREÁTICO OU LIVRE FM.PINDMONHANGABA)



Foram cadastrados em todos os municípios pertencentes ao Vale do Paraíba um total de 446 poços tubulares profundos, dos quais cerca de 136 tinham dados dos testes de vazão. Os dados dos testes de vazão realizados nestes 136 poços foram dispostos em planilhas do Microsoft Excel, contendo as medidas de campo de tempo × rebaixamento dos testes de vazão. Estas medidas, em colunas, foram copiadas para as planilhas do software Origin 5.0, específico para a construção de gráficos, com o qual foram realizadas interpretações gráficas utilizando o método de superposição de THEIS (1935) para aqüíferos livres e confinados, e das funções de HANTUSH, para aqüíferos semi-confinados, e de NEUMAN (1972), para aqüíferos semi-livres, conforme descrito por DINIZ e MICHALUATE (2002).

Obtiveram-se nos locais dos poços, a Transmissividade (m²/h) dos aqüíferos, o Coeficiente de Armazenamento (somente para os aqüíferos livres e confinados) e, para alguns poços, onde foi realizado testes de vazão escalonados, a função do poço. Todos os dados obtidos estão na Tabela 5.

Dessa forma, através da análise dos gráficos obteve-se os tipos de aqüíferos onde os poços captam água, na região do Vale do Paraíba e as características de produtividade descritas pelos valores de Transmissividade obtidos.

Através do software Surfer 8.0, foi realizado um mapa contendo a localização dos poços tubulares, os tipos de aqüíferos e a distribuição da Transmissividade nas diferentes áreas do Vale do Paraíba (Figura 10).

Para completar a interpretação dos aqüíferos utilizou-se também, os testes de vazão escalonados que, através da função do poço obtida, e com o auxílio do perfil geológico destes poços, conforme os dados cadastrados, possibilitaram relacionar os aqüíferos com as respectivas camadas geológicas e litológicas.

6.2.4. DISTRIBUIÇÃO DAS TRANSMISSIVIDADES DOS AQUÍFEROS E INTERPRETAÇÃO DOS TESTES DE VAZÃO

Através da interpretação dos testes de vazão de 136 poços cadastrados no municípios do Vale do Paraíba obteve-se a Transmissividade dos aqüíferos nos locais dos poços e a caracterização destes aqüíferos.

A interpretação desses testes de vazão possibilitou conhecer quais são as melhores áreas do Vale do Paraíba para a construção de poços para captação de água subterrânea e, os locais impróprios.

De acordo com os dados dos testes de vazão interpretados (curvas de rebaixamentos e recuperações), o aqüífero da Formação Caçapava, do Grupo Taubaté, sedimentar, é caracterizado como sendo formado por quatro tipos de aqüíferos principais: livre, semi-livre, semi-confinado e confinado.

Aqüíferos do tipo confinado na região do Vale do Paraíba, são caracterizados pela existência de uma camada impermeável (no caso da Formação Caçapava quando ocorrem camadas predominantemente argilosas ou siltosas) sobreposta à camada aqüífera (formada por depósitos arenosos e conglomerados da Formação Caçapava), que por sua vez é confinada por



outra camada impermeável, subjacente, no caso, as argilas verdes montmoriloníticas da Formação Tremembé. Em cerca de 26, dos 136 poços avaliados, foram perfurados em sedimentos multicamadas da Formação Caçapava (sobrepostos aos sedimentos impermeáveis da Formação Tremembé) que constituem aqüíferos do tipo confinado (Tabela 8).

O tipo livre é um aqüífero em que o nível d'água está sob pressão atmosférica. São aqüíferos rasos e podem ser sensíveis à poluição oriunda da superfície. Dos 136 poços avaliados, 37 foram perfurados em sedimentos que constituem aqüíferos do tipo livre, conforme pode ser visto na Tabela 8.

No tipo de aqüífero semi confinado, o semi-confinamento é produzido por camadas que constituem aquitardes, como a existência de lentes argilosas intercaladas nas camadas aqüíferas arenosas. É típico de aqüíferos multicamadas, como ocorre com os sedimentos da Formação Caçapava. Quanto às rochas metamórficas e ígneas que constituem o sistema aqüífero cristalino, os dados dos testes de vazão invariavelmente mostraram aqüíferos do tipo semi-confinado. Isto se deve, provavelmente, à existência do nível d'água no manto de alteração das rochas, que forma aquitardes, ou seja, camadas geológicas com permeabilidade menor que o aqüífero fraturado subjacente. Na tabela 8 são descritos os trinta e quatro (34) poços avaliados, foram perfurados em aqüíferos do tipo semi-confinado.

O tipo semi-livre é constituído por um aqüífero muito permeável, sobreposto por camadas aqüíferas menos permeáveis, livres, que constituem o aqüífero freático. Entre os poços cadastrados trinta e nove (39), foram perfurados em sedimentos que constituem aqüíferos do tipo semi-livre (Tabela 8).

Em toda área do Vale do Paraíba os poços estão distribuídos aleatoriamente, assim como os tipos de aqüíferos. Estes tipos de aqüíferos são constituídos pela relação do aqüífero principal com as camadas superpostas que podem alternadamente constituir aquitardes com fluxo predominantemente vertical na direção da camada aqüífera subjacente (formando aqüíferos do tipo semiconfinados), camadas que contém o nível freático superposto a aqüíferos profundos muito permeáveis (formando aqüíferos do tipo semilivre), aqüíferos contendo o nível d'água sob pressão atmosférica (formando aqüíferos do tipo livre) ou aqüíferos confinados por camadas argilosas, sobrejacentes.

No mapa de Transmissividade dos aqüíferos na região do Vale do Paraíba é possível verifica-se que, no município de Jacareí, as Transmissividades obtidas para o aqüífero sedimentar possuem valores baixos, menores que 1 m²/h, mostrando que é pouco produtivo. Isso se deve à localização dos poços que estão situados próximos ao contato geológico da bacia sedimentar com o embasamento cristalino, onde a espessura dos sedimentos permeáveis não é muito profunda, sendo que as rochas cristalinas funcionam como barreiras hidrogeológicas. Em São José dos Campos as profundidades dos sedimentos permeáveis são maiores, pois a bacia sedimentar está se afastando do contato geológico com o embasamento cristalino, dessa forma, os valores de



Transmissividade dos aqüíferos são maiores (chegando a 9 m²/s), tornando-os muito produtivos.

No Distrito Eugênio de Melo, em São José dos Campos divisa de Caçapava, ocorre um alto estrutural que limita a espessura dos sedimentos diminuindo, conseqüentemente, os valores de Transmissividade dos aqüíferos (em média $2m^2/s$).

Até o município de Lorena, as Transmissividades obtidas possuem valores muito baixos (menor que 1m²/h) devido à Formação Tremembé, cuja espessura de sedimentos, formada principalmente por argilitos, é maior nesses locais. A Formação Tremembé está localizada na base da Bacia Sedimentar do Taubaté, parte dessa formação foi erodida pelo contínuo basculamento da bacia, que originou torrentes que removeram os sedimentos previamente depositados. Esses poços estão localizados onde a Formação Tremembé encontra-se preservada, tornando-os pouco produtivos.

Em Lorena há valores elevados de Transmissividade, pois há novamente a presença da Formação Caçapava, cuja espessura de sedimentos permeáveis são maiores. Para o resto da Bacia volta a Formação Tremembé, caracterizando-se por aqüíferos pouco produtivos e obtendo-se um baixo valor de Transmissividade nos aqüíferos (menor que 1 m²/h).



TABELA 8. PARÂMETROS HIDRODINÂMICOS E TIPOS DE AQÜÍFEROS DETERMINADOS EM POÇOS COM TESTES DE VAZÃO



No DA EE	Proprietário	No local	Município	Bairro	Coordenadas	Coordenadas	Cota	Transmis.	Coef de	Teste	*Ti po de	Prof.	Prof	Sistema
	Prensil	2	Jacareí	Remédios	388,61	7419,90	640	0,032		não	3	124	118	sedimen tar
	Rohm and Haas	12	Jacareí	Rio Abaixo	400,35	7425,03	555	1,594	0,000422	sim	4	76,5	74	sedimen tar
	Fairway	6	Jacareí	Jd das Indústrias	402,42	7423,90	570	1,070	0,0055	sim	1	130	126	sedimen tar
SAB 72	Sabesp	72	São José dos Campos	LIMOEIRO	403,500	7428,900	534	0,420		não	2	134	120	sedimen tar
306 133	Holdercim Brasil	1	São José dos Campos	RIO COMPRIDO	403,620	7428,590	580	0,170		não	3	120		sedimen tar
	Construhab	1	Jacareí	Vila Branca	403,85	7425,75	610	0,170		sim	2	149,5		sedimen tar
306 142	Monsanto do Brasil	3	São José dos Campos	JD PÔR DO SOL	403,850	7429,800	550	8,050	0,009	não	1	169		sedimen tar
306 141	Monsanto do Brasil	2	São José dos Campos	JD PÔR DO SOL	403,950	7429,400	550	11,990	0,027	não	1	105	102	sedimen tar
	Latapack	1	Jacareí	Pedregulho	404,27	7425,40	620	0,960	0,0043	sim	1	151		sedimen tar
	Solac	1	Jacareí	Pedregulho	404,50	7423,70	650	0,009		não	3	152		sedimen tar
306 011	Johnson e Johnson	1	São José dos Campos	CHÁCARA REUNIDAS	404,900	1 7428,770	Alamed Fax(12) 585	A HARWEY C 3902-8555 e 4,150	. WEEKS, 1 -MAIL– <u>mc</u> 0,48	4, SL. 01 – ED <u>geologia@yał</u> não	NEW 000.com	CENTER - <u>.br</u> ou cel 105	SJCAN ioea@	v pos/SP y sedimen .br tar
206			Cão Iocá dos	JD DAS						<u> </u>				oristalin



PROJETO RECARGA - MÉDIO VALE DO RIO PARAÍBA DO SUL - SP

FIGURA 32. MAPA DA DISTRIBUIÇÃO DA TRANSMISSIVIDADE DOS AQÜÍFEROS SEDIMENTAR DO VALE DO PARAÍBA



6.2.5 . EVOLUÇÃO HISTÓRICA DOS NÍVEIS DINÂMICOS NOS POÇOS DE EXTRAÇÃO DA SABESP DO VALE DO PARAÍBA

Para a finalidade desta pesquisa efetuou-se um cadastro histórico da exploração dos poços da SABESP dos municípios do Vale do Paraíba, quanto ao monitoramento dos níveis dinâmicos e vazões exploradas. Obtiveram-se, em 78 dos poços em exploração pela SABESP, medidas mensais de níveis dinâmicos e vazões. As medidas foram plotadas em gráficos e interpretadas através da reta média, ou reta de tendência.

A taxa de crescimento é definida como sendo a inclinação da reta de tendência dos níveis dinâmicos e vazões de cada poço observado em uma série histórica de medidas.

Para a determinação das taxas de crescimento foram realizadas medidas de níveis dinâmicos e vazões, com freqüência mensal, nos poços explorados pela SABESP, na região do Vale do Paraíba. O período avaliado vai de janeiro de 1997 até setembro de 2005. Com estes dados foram gerados gráficos contendo a evolução temporal da profundidade do nível dinâmico e da vazão para cada poço. Foi utilizada a linha de tendência, na forma y = ax + b, obtida nestes gráficos e delas pode-se utilizar as regras de calculo diferencial e derivar a equação na forma $\partial y = a\partial x$, obtendo-se a taxa de crescimento (coeficiente angular da reta tangente).

Os valores obtidos foram distribuídos em mapa através do software Surfer 8.0 com a finalidade de observarem-se os diversos tipos de reta de tendência e seu significado hidrogeológico.

6.2.5.1. POÇOS CONTENDO NÍVEIS DINÂMICOS CRESCENTES E VAZÕES DECRESCENTES

Nos gráficos comparativos da evolução dos níveis dinâmicos e das vazões 23 poços tubulares profundos (Tabela 9) apresentam linhas de tendência de níveis dinâmicos crescentes e vazões decrescentes (com exemplo nas Figuras 33 e 34).

Nº do Poço da SABESP	Coordenadas UTM EO	Coordenadas UTM NS	Taxa de cresc. dos níveis dinâmicos	Taxas de cresc. das vazões
Caçapava 03	424,58	7435,58	y = 0,003x	y' = -0,0068x'
Caçapava Guamirim 06	424,58	7435,58	y = -0,0022x	y' = -0,0014x'
Caçapava VilaMariana 01	422,25	7442,25	y = -0,0316x	y'= -0,0064x'

Tabela 9. Relação dos poços que possuem níveis dinâmicos crescentes e vazões decrescentes.

ALAMEDA HARWEY C. WEEKS, 14, SL. 01 – ED. NEW CENTER - SJCAMPOS / SP / FAX(12) 3902-8555 E-MAIL – <u>mc_geologia@yahoo.com.br</u> ou celioea@yahoo.com.br



Guararema Parateí 01	384,63	7419,84	y = -0,0034x	y'= -0,0043x'
Guararema Parateí 03	384,64	7419,82	y = -0,0039x	y'= -0,0012x'
São José dos Campos 33	415,674	7437,025	y = -0,001x	y' = -0,0003x'
São José dos Campos 35	409,029	7431,13	y = -0,0016x	y'= -0,0049x'
São José dos Campos 40	412,65	7435,69	y = -0,002x	y'= -0,0012x'
São José dos Campos 43	409,65	7431,65	y = -0,0025x	y'= -0,0062x'
São José dos Campos 50	409,049	7428,786	y = -0,01x	y'= -0,0079x'
São José dos Campos 63	418,12	7440	y = -0,0012x	y'= -0,0166x'
São José dos Campos 71	418,59	7435,58	y = -0,00145x	y'= -0,0012x'
São José dos Campos 87	411,172	7436,343	y = -0,00104x	y'= -0,0217x'
São José dos Campos 106	412,29	7436,29	y = -0,00079x	y'= -0,00254x'
São José dos Campos 108	408,82	7430,16	y = -0,00067x	y'= -0,00072x'
São José dos Campos 109	412,7	7433,45	y = -0,0048x	y'= -0,00299x'
São José dos Campos 117	421,084	7441,426	y = -0,0019x	y'= -0,0089x'
São José dos Campos 129	407,72	7428,36	y = -0,0053x	y' = -0,0018x'
São José dos Campos 141	419,97	7433,48	y = -0,00027x	y'= -0,0077x'



São José dos Campos 82	419,85	7434,37	y = -0,0014x	y'= -0,001x'
São José dos Campos 145	414,1	7429,38	y = -0,00158x	y'= -0,0011x'
São José dos Campos 161	418,72	7436,02	y = -0,0004x	y'= -0,003x'

O fato dos níveis dinâmicos estarem subindo (recuperação do poço) em função da queda de vazões é uma situação comum e previsiva, principalmente quando há queda do rendimento do equipamento de extração de água do poço, o que pode ser provocado pelo desgaste da motobomba submersa.

Poços com problemas construtivos também podem ter este tipo de comportamento.

Na figura 42 é mostrada a localização destes poços. Verifica-se que ocorrem distribuídos por toda a área da Bacia Sedimentar.



FIGURA 33. GRÁFICOS CONTENDO A EVOLUÇÃO DOS NÍVEIS DINÂMICOS E DAS VAZÕES EXTRAÍDAS DO POÇO SABESP Nº 50 EM SÃO JOSÉ DOS CAMPOS.





FIGURA 34. GRÁFICOS CONTENDO A EVOLUÇÃO DOS NÍVEIS DINÂMICOS E DAS VAZÕES EXTRAÍDOS DO POÇO SABESP Nº 01 EM GUARAREMA.

6.2.5..2. POÇOS CONTENDO NÍVEIS DINÂMICOS CRESCENTES E VAZÕES CRESCENTES

Nos gráficos comparativos da evolução dos níveis dinâmicos e das vazões, 7 poços tubulares profundos (Tabela 10) apresentaram linhas de tendência crescente do nível dinâmico e tendência crescente das vazões (Figuras 35 e 36).

É uma típica situação onde o bombeamento do poço induz a recarga dos aqüíferos e que ocorre principalmente em poços que captam água de aqüíferos livres e situados próximos a cursos d'água ou lagos.

Quando um aumento de vazão corresponde a uma subida do nível dinâmico observa-se а tendência de mudanças positivas das vazões serem positivas dos acompanhadas de mudanças níveis dinâmicos. Este comportamento mostra que o rebaixamento do potencial hidráulico do aqüífero em função do bombeamento do poço tem como resposta compensatória a indução da recarga proveniente das fontes superficiais (águas infiltradas provenientes de lagos ou rios).




FIGURA 35. GRÁFICOS CONTENDO A EVOLUÇÃO DOS NÍVEIS DINÂMICOS E AS VAZÕES EXTRAÍDAS DO POÇO SABESP Nº 94 EM SÃO JOSÉ DOS CAMPOS.



FIGURA 36. GRÁFICOS CONTENDO A EVOLUÇÃO DOS NÍVEIS DINÂMICOS E AS VAZÕES EXTRAÍDAS DO POÇO SABESP Nº 96 EM SÃO JOSÉ DOS CAMPOS. MOSTRA VAZÕES CRESCENTES E NÍVEIS DINÂMICOS CRESCENTES.



TABELA	10.	RELAÇÃO	DOS	POÇOS	CONTENDO	NÍVEIS	DINÂMICOS
CRESCEN	ITES	E VAZÕES	CRES	CENTES.			

Nº do Poço da SABESP	Coordenadas UTM EO	Coordenadas UTM NS	Taxas de cresc. dos níveis dinâmicos	Taxas de cresc. das vazões	
Caçapava 33	428,83	7443,76	y = 0,0055x	y' = 0,0108x'	
São José dos Campos 94	408,93	7429,45	y = -0,00315x	y' = 0,00233x'	
São José dos Campos 96	417,46	7437,86	y = -0,00154x	y' = 0,00308x'	
São José dos Campos 100	410,06	7431,35	y = -0,0058x	y' = 0,00331x'	
São José dos Campos 122	417,62	7437,1	y = -0,00205x	y' = 0,00267x'	
São José dos Campos 127	419,93	7441,18	y = -0,000374x	y' = 0,00001x'	
São José dos Campos 139	414,4	7436,06	y = -0,0003x	y' = 0,0028x'	

A localização dos poços da SABESP que possuem níveis dinâmicos e vazões com taxas crescentes é mostrada na Figura 11. Verifica-se que ocorre em um alinhamento equidistante 5 km do rio Paraíba do Sul, o que mostra que a recarga provém de locais (curso do rio Paraíba do Sul) relativamente distantes.

6.2.5.3. POÇOS CONTENDO NÍVEIS DINÂMICOS DECRESCENTES E VAZÕES CRESCENTES

Nos gráficos comparativos da evolução dos níveis dinâmicos e das vazões, 22 poços tubulares profundos (Tabela 11) apresentam linhas de tendência de nível dinâmico decrescente enquanto a tendência das vazões é crescente (exemplo mostrado nas Figuras 37 e 38).

Esta condição é a mais previsível, pois um aumento da taxa de exploração provoca normalmente um aumento do rebaixamento do nível dinâmico. Contudo valores altos da taxa de crescimento indicam aqüíferos pobres, enquanto valores baixos indicam bons aqüíferos.





FIGURA 37. GRÁFICOS CONTENDO A EVOLUÇÃO DOS NÍVEIS DINÂMICOS E AS VAZÕES EXTRAÍDAS DO POÇO SABESP Nº 61 EM SÃO JOSÉ DOS CAMPOS.



FIGURA 38. GRÁFICOS CONTENDO A EVOLUÇÃO DOS NÍVEIS DINÂMICOS E AS VAZÕES EXTRAÍDAS DO POÇO SABESP Nº 24 EM CAÇAPAVA.



O mapa, com os poços que possuem este tipo de comportamento, mostra que a sua distribuição ocorre por toda a área da Bacia Sedimentar e, também, no aqüífero cristalino.

TABELA 11. RELAÇÃO DOS POÇOS CONTENDO NÍVEIS DINÂMICOS DECRESCENTES E VAZÕES CRESCENTES.

nº do Poço da SABESP	Coordenadas UTM EO	Coordenadas UTM NS	Taxas de cresc. dos níveis dinâmicos	Taxas de cresc. das vazões
Caçapava 24	428,04	7443,32	y = 0,0052x	y' = -0,0066x'
Caçapava 25	428,35	7442,7	y = 0,0054x	y' = -0,001x'
Caçapava 31	428,74	7443,69	y = 0,0156x	y' = -0,0032x'
Caçapava Velha 03	433,9	7444,00	y = 0,0042x	y' = -0,0014x'
Jambeiro 05	424,4	7420,38	y = 0,0023x	y' = -0,0112x'
São José dos Campos 51	409,4	7428,83	y = 0,0009x	y' = -0,000054x'
São José dos Campos 60	415,51	7436,45	y = 0,0016x	y' = -0,0048x'
São José dos Campos 64	418,93	7437,25	y = 0,0127x	y' = -0,00185x'
São José dos Campos 69	416,95	7436,57	y = 0,00086x	y' = -0,01x'
São José dos Campos 95	415,47	7429,08	y = 0,0011x	y' = -0,0064x'
São José dos Campos 101	419,83	7434,93	y = 0,0046x	y' = -0,0036x'
São José dos Campos 104	405,19	7430,95	y = 0,0011x	y' = -0,0033x'
São José dos Campos 105	405,4	7446,75	y = 0,015x	y' = -0,00515x'
São José dos Campos 107	407,07	7433,29	y = 0,0004x y' = -0,000717x	
São José dos	408,87	7434,9	y = 0,0018x	y' = -0,0064x'



Campos 110				
São José dos Campos 114	411,69	7426,42	y = 0,0055x	y' = -0,0016x'
São José dos Campos 120	406,03	7431,49	y = 0,0003x	y' = -0,0057x'
São José dos Campos 128	415,52	7436,46	y = 0,0067x	y' = -0,00385x'
São José dos Campos 130	414,57	7427,85	y = 0,0035x	y' = -0,0037x'
São José dos Campos 140	419,33	7434,31	y = 0,00006x	y' = -0,008x'
São José dos Campos 152	420,85	7440,9	y = 0,00008x	y' = -0,0034x'
São José dos Campos 155	415,59	7428,31	y = 0,004x	y' = -0,0086x'

6.2.5.4. POÇOS CONTENDO NÍVEIS DINÂMICOS DECRESCENTES E VAZÕES DECRESCENTES

Nos gráficos comparativos da evolução dos níveis dinâmicos e das vazões, 27 poços tubulares profundos (Tabela 12) apresentam linhas de tendência decrescente enquanto a tendência das vazões é decrescente (Figuras 39 e 40).

Esta condição geralmente é ocasionada por exploração exagerada do aqüífero frente às suas condições hidráulicas. Indica, também, que esta explotação exagerada pode ter causado incrustações de carbonatos / óxidos de ferro nas paredes / filtros dos poços e/ou corrosão do tubo edutor.

O mapa com os poços que possuem este tipo de comportamento, mostra que a sua distribuição ocorre por toda a área da Bacia Sedimentar.





FIGURA 39. GRÁFICOS CONTENDO A EVOLUÇÃO DOS NÍVEIS DINÂMICOS E AS VAZÕES EXTRAÍDAS DO POÇO SABESP Nº 3 EM JAMBEIRO.



FIGURA 40. GRÁFICOS CONTENDO A EVOLUÇÃO DOS NÍVEIS DINÂMICOS E AS VAZÕES EXTRAÍDAS DO POÇO SABESP № 19 EM CAÇAPAVA.



TABELA 12. RELAÇÃO DOS POÇOS CONTENDO NÍVEIS DINÂMICOS DECRESCENTES E VAZÕES DECRESCENTES.

Nº do Poço da SABESP	Coordenadas UTM EO	Coordenadas UTM NS	Taxas de cresc. dos níveis dinâmicos	Taxas de cresc. das vazões
Caçapava 18	429,75	7445,15	y = 0,0052x	y' = 0,00006x'
Caçapava 19	430,1	7444,6	y = 0,0067x	y' = 0,0094x'
Caçapava 21	427,31	7444,76	y = 0,0011x	y' = 0,0061x'
Caçapava 22	427,32	7442,33	y = 0,0035x	y' = 0,0138x'
Caçapava 23	427,85	7443,65	y = 0,0071x	y' = 0,0065x'
Caçapava 26	428,6	7442,1	y = 0,0073x	y' = 0,0016x'
Caçapava 27	428,3	7443,9	y = 0,002x	y = 0,027x
Caçapava 28	427,4	7444,02	y = 0,005x	y = 0,0065x
Caçapava 29	427,2	7442,9	y = 0,0013x	y = 0,0048x
Caçapava 30	429,62	744,466	y = 0,0052x	y = 0,0065x
Caçapava 32	428,15	7443,76	y = 0,0089x	y = 0,0124x
Caçapava Guamirim 07	424,91	7437,08	y = 0,0029x	y = 0,0012x
Caçapava Velha 01	433,6	7443,3	y = 0,0036x	y = 0,0006x
Guararema Guanabara 01	381,78	7417,00	y = 0,0015x	y = 0,006x
Guararema Guanabara 02	381,76	7416,98	y = 0,0025x	y = 0,0043x
Guararema Parateí 04	386,28	7420,94	y = 0,0056x	y = 0,0028x
Jambeiro 03	428,55	7426,5	y = 0,0187x	y = 0,0032x
São José dos Campos 61	408,76	7427,37	y = 0,003x	y' = 0,0055x'
São José dos	417,59	7437,35	y = 0,00213x	y' = 0,000765x'

MOCIA E MEIO AMPIENTE
UGIA E MIEIO AMDIENTE

Campos 62				
São José dos Campos 85	405,58	7430,81	y = 0,01576x	y' = 0,000714x'
São José dos Campos 86	411,55	7435,3	y = 0,00103x	y' = 0,00245x'
São José dos Campos 99	405,96	7432,08	y = 0,00178x	y' = 0,00506x'
São José dos Campos 103	406,57	7433,87	y = 0,00248x	y' = 0,00409x'
São José dos Campos 113	407,22	7428,79	y = 0,00038x	y' = 0,00266x'
São José dos Campos 151	420,35	7440,44	y = 0,0017x	y' = 0,0006x'
São José dos Campos 156	419,21	7436,72	y = 0,0012x	y' = 0,0008x'
São José dos Campos 161	415,4	7436,4	y = 0,024x	y' = 0,0013x'

Na figura 46 é mostrado o mapa com as direções do fluxo d'água subterrânea, obtido com base em 78 poços pertencentes à SABESP, na porção ocidental do Vale do Paraíba e cujos níveis dinâmicos foram monitorados desde o ano de 1997 até outubro de 2005.

Verifica-se que, neste mapa de vetores da direção do fluxo subterrâneo, que não há uma mudança muito significativa entre as direções e amplitudes dos gradientes hidráulicos entre os anos de 1997 e 2005.

De uma forma geral o fluxo se dirige do sopé da Serra da Mantiqueira, na parte norte em direção ao centro geométrico da Bacia Sedimentar de Taubaté e, da Serra do Jambeiro, na parte sul, também para o centro geométrico da Bacia Sedimentar. Isto indica que a parte central da Bacia Sedimentar é a que sofre os maiores bombeamentos, causados pelo intensivo uso das águas subterrâneas, principalmente ao longo do eixo da rodovia Presidente Dutra.

As maiores mudanças de direção do fluxo subterrâneo estão na parte norte da Bacia Sedimentar de Taubaté, no Distrito de Eugênio de Melo e em São José dos Campos. Isto se deve ao aumento no número de perfuração de poços, ao longo desta última década, nesta parte do Vale do Paraíba.

Verifica-se no mapa da Figura 42 que, decorrente do bombeamento dos poços, os gradientes hidráulicos do fluxo subterrâneo são mais acentuados na



parte central da Bacia Sedimentar, no Município de Caçapava. Isto se deve a uma super exploração do aqüífero pela SABESP, decorrente das grandes demandas do Município.

As diferentes relações apresentadas entre o crescimento da vazão e do nível potenciométrico, permite inferir a dinâmica atua do aqüífero, ou o comportamento do processo de recarga nos locais dos poços analisados. Pode-se identificar quatro tipos de situações, as quais foram espacializadas em um mapa para mostrar áreas de comportamento similares na região oeste da bacia de Taubaté.



FIGURA 41 MAPA POTENCIOMÉTRICO DA VALE DO PARAÍBA. COM ÊNFASE A ÁREA DA BACIA DE TAUBATÉ



6.2.6. INDUÇÃO DA RECARGA PROVENIENTE DE FONTES SUPERFICIAIS

Para efeitos de visualização espacial dos dados de nível d'água subterrânea, a bacia sedimentar de Taubaté foi compartimentada em dois blocos (leste e oeste), sendo que o bloco oeste vai de Jacareí a Caçapava e o bloco leste, de Caçapava a Cachoeira Paulista. Esta compartimentação foi necessária pois os dados de distribuição dos poços são concentrados principalmente no bloco oeste (Jacareí, São José dos Campos e Caçapava), e dispersos na parte leste havendo uma maior quantidade de poços do bloco leste, principalmente no Município de Lorena.

Foram cadastrados 368 poços tubulares profundos na bacia sedimentar de Taubaté, no bloco oeste, entre o "cotovelo" de Guararema e o Município de Caçapava (entre as coordenadas aproximadas de 380000 m e 430000 m UTM E/W), e 78 poços tubulares profundos no bloco leste, entre o Município de Caçapava e o Município de Arapeí (entre as coordenadas aproximadas de 430000 m e 580000 m UTM E/W). Subtraiu-se o resultado encontrado para o nível d'água (nível estático) do valor da cota dos poços, obteve-se o nível potenciométrico.

Os dados de localização dos poços de ambas as compartimentações encontram-se na Tabela 13. Os números adotados são apenas para localização dos poços no mapa e não tem relação com o número do poço DAEE ou SABESP.

Foi produzido um mapa da localização dos poços da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (Figura 42), que foi compartimentado segundo os mesmos critérios adotados para as análises de nível potenciométrico. Na porção oeste os poços apresentam-se com freqüência de 5 em 5 pontos e na porção leste com freqüência de 3 em 3 pontos. Isso foi necessário para que fosse possível a visualização, de forma clara, da disposição espacial dos poços utilizados para a coleta de dados sem a superposição dos mesmos no mapa da Figura 42. A identificação e as coordenadas de localização dos poços estão na Tabela 1.

Através da interpolação dos dados dos níveis estáticos dos poços cadastrados nos municípios inseridos à Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, utilizando o software Surfer 8.0, foi confeccionado um mapa de isolinhas equipotenciais dos níveis d'água dos aqüíferos (Figura 41).

Observa-se que o fluxo d'água subterrânea regional, converge das Serras da Mantiqueira (ao Norte) e do Jambeiro e Quebracangalha (ao Sul) para o rio Paraíba do Sul.

A cota média do rio Paraíba do Sul nos Municípios de São José dos Campos, Jacareí e Caçapava é de aproximadamente 540 m e no Município de Lorena é aproximadamente de 510 metros, indicando uma mudança de gradiente nessa área, onde o rio desce cerca de 30m. A análise das isolinhas ao longo do curso do rio mostrou a presença de níveis estáticos menores que os níveis de base do rio Paraíba do Sul, determinando a classificação do rio Paraíba do Sul como influente nessas áreas, ou seja, a água do rio alimenta os



reservatórios subterrâneos quando o nível do rio é mais elevado que o da superfície do aqüífero e quando o leito do rio é permeável (Figura 43). Estes dados obtidos são concordantes com os dados do DAEE (1977) e reforçam a tese de que o rio Paraíba do Sul é influente em grande parte do seu percurso no Município de São José dos Campos (desde Jacareí até Caçapava), no bloco oeste e no Município de Lorena, no bloco leste.

O sentido dos fluxos subterrâneos é predominantemente efluente, isto é, do aqüífero freático para os rios e córregos. Segundo DAEE (1977), de Jacareí até São José dos Campos, o fluxo é influente, ou seja, os aqüíferos recebem água proveniente do rio Paraíba do Sul. Provavelmente isto é provocado pelas condições de exploração dos poços nestes municípios, cujo bombeamento dos poços tubulares profundos, está em atividade no Vale do Paraíba, desde a década de 30, sob condições severas de exploração, induzem a recarga dos aqüíferos com água proveniente dos cursos d'água, que infiltram no seu leito e percolam suprindo o aqüífero sedimentar. A quantidade desta recarga não é conhecida, pois, para tanto, seria necessária a existência de medições de vazões de descarga antes do rio Paraíba do Sul atravessar os sedimentos Terciários (o que ocorre no Município de Jacareí), e após percorrer o Município de Caçapava (para o bloco oeste) e antes do rio Paraíba do Sul entrar no Município de Lorena e após percorrer este município (para o bloco leste). Sabe-se que, atualmente, o INPE - Instituto de Pesquisas Espaciais, cogita de realizar estimativas destas vazões.

Os rios influentes são típicos de regiões semi-áridas e este comportamento não é esperado em rios do Sudeste brasileiro. Isto demonstra que o bombeamento dos poços tubulares profundos, em atividade no Vale do Paraíba, desde a década de 30, induz a recarga das águas provenientes dos cursos d'água, que infiltram no seu leito e percolam suprindo o aqüífero sedimentar. A quantidade desta recarga não é conhecida, pois, para tanto, seria necessária a existência de medições de vazões de descarga antes do rio Paraíba do Sul atravessar os sedimentos Terciários (o que ocorre no Município de Jacareí), e após percorrer o Município de Caçapava (para o bloco oeste) e antes do rio Paraíba do Sul entrar no Município de Lorena e após percorrer este município (para o bloco leste). Sabe-se que, atualmente, o INPE – Instituto de Pesquisas Espaciais, cogita de realizar estimativas destas vazões.



FIGURA 42. MAPA DE LOCALIZAÇÃO DE POÇOS TUBULARES PROFUNDOS DA REGIÃO DO VALE DO PARAÍBA.



Em outras áreas da bacia sedimentar como na região de Taubaté e Tremembé, as isolinhas equipotenciais mostram valores superiores ao nível de base ao longo do percurso do rio, indicando que o rio Paraíba do Sul é efluente, típico de região úmida, onde a água do lençol freático é despejada nas fontes que alimentam o rio, pois a superfície livre do aqüífero freático está em cota mais elevada que o nível de base do rio (Figura 44).



FIGURA 43 MODELO DE RIO INFLUENTE TÍPICO DE REGIÕES SEMI-ÁRIDAS (MODIFICADO DE CETESB, 1974).



FIGURA 44. MODELO DE RIO EFLUENTE TÍPICO DE REGIÕES ÚMIDAS (MODIFICADO DE CETESB, 1974).



TABELA 13. IDENTIFICAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DOS POÇOS TUBULARES PROFUNDOS NA REGIÃO DO VALE DO PARAÍBA.

Nº do Poço	Coordenada E (m)	Coordenada N (m)	Nº do Poço	Coordenada E (m)	Coordenada N (m)
1	372190	7424720	54	406040	7431500
2	388150	7419750	55	406070	7429400
3	388610	7419900	56	406100	7429440
4	399300	7424550	57	406150	7429900
5	400350	7425030	58	406200	7427400
6	401150	7443500	59	406200	7427420
7	401520	7427030	60	406200	7427400
8	402350	7424140	61	406240	7434210
9	402420	7423900	62	406290	7430890
10	403500	7428900	63	406340	7434330
11	403620	7428590	64	406400	7428300
12	403850	7425750	65	406450	7430450
13	403850	7429650	66	406470	7430750
14	403850	7429800	67	406500	7433400
15	403950	7429400	68	406500	7434650
16	404000	7428000	69	406500	7429410
17	404100	7429850	70	406500	7431600
18	404100	7427900	71	406500	7431600
19	404150	7428100	72	406530	7434050
20	404200	7427800	73	406570	7433870
21	404200	7428100	74	406600	7433460



22	404250	7427900	75	406700	7430900
23	404270	7425400	76	406750	7427200
24	404350	7428700	77	406800	7431300
25	404430	7424600	78	406850	7430650
26	404500	7423700	79	406850	7426760
27	404600	7429200	80	406900	7427750
28	404600	7427600	81	406950	7429900
29	404650	7429350	82	407000	7429950
30	404650	7438100	83	407050	7430650
31	404700	7429250	84	407070	7433290
32	404700	7429350	85	407170	7428790
33	404800	7429050	86	407250	7429500
34	404900	7428770	87	407250	7432400
35	405017	7428426	88	407250	7431350
36	405194	7430950	89	407300	7439400
37	405310	7429700	90	407350	7431800
38	405400	7446750	91	407660	7425060
39	405570	7429120	92	407700	7428200
40	405580	7430810	93	407720	7428360
41	405750	7427300	94	407750	7432120
42	405800	7438100	95	407800	7426350
43	405900	7430000	96	407900	7431450
44	405900	7430150	97	407900	7431700
45	405900	7430050	98	407950	7433200



46	405900	7430250	99	408050	7433800
47	405950	7430150	100	408050	7433850
48	405950	7430150	101	408070	7431900
49	405950	7431750	102	408120	7426280
50	405950	7438100	103	408180	7428450
51	405962	7432080	104	408200	7429900
52	406000	7430200	105	408250	7430100
53	406000	7430100	106	408300	7438400
107	408350	7424800	158	410140	7429410
108	408430	7426250	159	410150	7431300
109	408435	7432227	160	410150	7434450
110	408450	7423900	161	410300	7435650
111	408500	7429930	162	410370	7430900
112	408500	7432250	163	410420	7436450
113	408550	7438000	164	410500	7436450
114	408600	7432400	165	410800	7434100
115	408610	7431960	166	410900	7439850
116	408640	7426930	167	411050	7438600
117	408700	7429920	168	411050	7438600
118	408700	7425250	169	411150	7442970
119	408700	7424330	170	411169	7436338
120	408740	7424600	171	411200	7424800
121	408750	7428100	172	411550	7435300
122	408750	7438350	173	411600	7436250



123	408760	7427370	174	411634	7427988
124	408780	7426830	175	411691	7426418
125	408800	7438100	176	411950	7431120
126	408800	7437850	177	412000	7431100
127	408820	7430160	178	412040	7432890
128	408820	7432470	179	412050	7433450
129	408850	7438180	180	412100	7432950
130	408870	7434900	181	412100	7431000
131	408930	7429450	182	412110	7436260
132	408980	7438240	183	412215	7431242
133	409000	7431150	184	412230	7431350
134	409000	7434800	185	412293	7436292
135	409000	7438200	186	412300	7431230
136	409050	7431100	187	412300	7430850
137	409060	7426650	188	412300	7431200
138	409120	7426430	189	412300	7435100
139	409130	7427930	190	412300	7435250
140	409200	7434450	191	412350	7435100
141	409200	7434850	192	412350	7435250
142	409210	7426160	193	412350	7435100
143	409220	7431400	194	412350	7435100
144	409220	7431400	195	412350	7436100
145	409400	7428830	196	412350	7436050
146	409500	7427350	197	412400	7431500
-	-				-



147	409520	7431150	198	412480	7431300
148	409550	7431250	199	412500	7430630
149	409600	7437200	200	412500	7430450
150	409600	7433450	201	412500	7434850
151	409640	7431630	202	412600	7430630
152	409650	7431650	203	412650	7431550
153	409800	7434000	204	412650	7431600
154	409800	7434150	205	412650	7435990
155	410000	7427550	206	412650	7435350
156	410000	7434100	207	412700	7431290
157	410060	7431350	208	412700	7433740
209	412700	7435500	262	416510	7436560
210	412850	7434950	263	416550	7435850
211	413000	7431300	264	416660	7438080
212	413000	7435400	265	416660	7437460
213	413720	7436100	266	416950	7436570
214	414020	7429400	267	417430	7414450
215	414095	7429377	268	417460	7437860
216	414300	7436300	269	417500	7436800
217	414300	7436300	270	417590	7437350
218	414400	7436060	271	417620	7437100
219	414470	7429260	272	417625	7437102
220	414500	7436300	273	417700	7436000
221	414570	7427850	274	417750	7428550
	-				



222	414600	7433000	275	418000	7438600
223	414700	7442200	276	418120	7440000
224	414800	7428370	277	418150	7439400
225	414800	7436400	278	418400	7430110
226	414800	7425960	279	418420	7435770
227	414900	7438100	280	418500	7435750
228	415090	7437720	281	418590	7435580
229	415100	7437950	282	418630	7434100
230	415150	7438000	283	418690	7436060
231	415170	7437420	284	418720	7436020
232	415250	7438100	285	418760	7437500
233	415300	7437750	286	418800	7432330
234	415350	7436470	287	418810	7434810
235	415400	7436400	288	418900	7438900
236	415400	7436400	289	418930	7437250
237	415470	7429080	290	418990	7438610
238	415477	7429081	291	419020	7434370
239	415500	7438250	292	419160	7440750
240	415500	7438150	293	419200	7441600
241	415510	7436450	294	419210	7436720
242	415517	7436459	295	419250	7438800
243	415590	7428310	296	419307	7434292
244	415595	7428311	297	419310	7434310
245	415640	7437910	298	419650	7439000



246	415650	7437700	299	419800	7434050
247	415670	7437050	300	419830	7434930
248	415670	7434910	301	419850	7434370
249	415700	7437100	302	419900	7438900
250	415800	7435300	303	419930	7441180
251	415900	7438000	304	420000	7438700
252	415900	7437700	305	420000	7440100
253	416150	7438190	306	420000	7440050
254	416200	7438200	307	420200	7439850
255	416300	7437750	308	420350	7440440
256	416400	7438100	309	420850	7440900
257	416450	7436900	310	421110	7441480
258	416470	7437890	311	421250	7443700
259	416500	7435500	312	421350	7440800
260	416500	7437900	313	421370	7440780
261	416500	7436950	314	421873	7440783
315	421900	7421900	366	429320	7425120
316	422250	7442250	367	429620	7444660
317	422300	7441100	368	429750	7445150
318	422450	7440790	369	430100	7444600
319	422450	7440790	370	430220	7445530
320	422550	7440700	371	430610	7437910
321	422650	7441450	372	431850	7448540
322	423490	7441000	373	433000	7443500



323	423750	7441750	374	433600	7443300
324	423900	7433150	375	433900	7444000
325	424240	7420200	376	433900	7444000
326	424400	7420380	377	434080	7459320
327	424550	7435000	378	434200	7443400
328	424580	7435580	379	434460	7460240
329	424910	7437080	380	436650	7451650
330	425100	7436650	381	436800	7451100
331	425100	7420850	382	441500	7451700
332	425200	7435350	383	445250	7435500
333	425360	7421280	384	445610	7396610
334	425890	7443470	385	446150	7451200
335	426040	7440970	386	447300	7457250
336	426050	7436800	387	452500	7458500
337	426220	7448540	388	464040	7466120
338	426450	7444430	389	466400	7466950
339	426960	7442360	390	468100	7432000
340	426960	7442360	391	468100	7439000
341	427200	7442900	392	468250	7432400
342	427220	7422450	393	478900	7446850
343	427300	7442350	394	479700	7447500
344	427310	7444760	395	480200	7478400
345	427320	7442330	396	480210	7477170
346	427400	7442400	397	480250	7448200



347	427400	7444020	398	480400	7447300
348	427500	7444650	399	483550	7480950
349	427510	7441510	400	485930	7488920
350	427550	7445800	401	485990	7490280
351	427850	7443650	402	486000	7484150
352	428040	7443320	403	486300	7488900
353	428150	7443760	404	486300	7488980
354	428300	7443900	405	486550	7485500
355	428300	7443900	406	486750	7484300
356	428350	7442700	407	486800	7484750
357	428550	7426500	408	487120	7485450
358	428550	7444220	409	487640	7483910
359	428560	7439150	410	487700	7483950
360	428600	7442100	411	487800	7484300
361	428690	7444850	412	487800	7484300
362	428740	7443690	413	487840	7486050
363	428830	7444340	414	488400	7485950
364	429050	7427000	415	488550	7485050
365	429160	7428250	416	488800	7485300
Nº do Poço	Coordenada E (m)	Coordenada N (m)			
417	489000	7484600			
418	489250	7484300			
419	489250	7487350			
420	489250	7484450			

ALAMEDA HARWEY C. WEEKS, 14, SL. 01 – ED. NEW CENTER - SJCAMPOS / SP / FAX(12) 3902-8555 E-MAIL – <u>mc geologia@yahoo.com.br</u> ou celioea@yahoo.com.br



421	489340	7485570
422	489390	7485420
423	489450	7485300
424	489500	7484300
425	490060	7484990
426	490800	7499050
427	494300	7488300
428	495300	7457800
429	495300	7499500
430	495710	7499260
431	496250	7497450
432	507050	7494490
433	518650	7465500
434	556800	7492800
435	557500	7492250
436	582350	7493750
437	582400	7492500

O comportamento do fluxo da água subterrânea na região oeste da Bacia de Taubaté, mostrando o caráter influente do fluxo, devido a grande exploração a que é submetida o aqüífero nesta região, pode ser vista no mapa potenciométrico da figura 45.



PROJETO RECARGA-MÉDIO VALE DO RIO PARAÍBA DO SUL-SP



Mapa do Potenciométrico de São José dos Campos





FIGURA 46 – MAPA COM DISTRIBUIÇÃO DE TIPOS DE AQÜÍFEROS NA REGIÃO DA BACIA DE TAUBATÉ.



FIGURA 47 – MAPA COM DISTRIBUIÇÃO CORRELAÇÃO ENTRE NÍVEIS DINÂMICOS X VAZÃO NA REGIÃO OESTE DA BACIA DE TAUBATÉ.

6.2.7. Bloco Oeste da área do Vale o Paraiba

DINIZ,(2005)confeccionou partir dos dados litológicos dos poços cadastrados três secções geológicas, localizadas no mapa da Figura 48. Duas destas secções (A-A' e B-B') possuem direção NW-SE e incluem os limites da Bacia Sedimentar, sendo perpendiculares a esta, enquanto que uma terceira (C-C') localiza-se no interior da Bacia Sedimentar, sendo paralela ao seu eixo e possui direção SW-NE. As secções apresentam alto exagero vertical (escala vertical maior que 30 vezes a escala horizontal) devido ao contraste existente entre a profundidade dos poços e as distâncias entre eles.

A seção geológica A-A' (Figura 49) reúne dados geológicos de 11 poços e apresenta, a noroeste, um contato tectônico por falha normal entre as rochas do embasamento gnáissico do Complexo Embu e os sedimentos da Bacia Sedimentar de Taubaté. Na zona central do perfil a bacia apresenta maior profundidade. Os sedimentos da base consistem de argilitos cinza esverdeados da Formação Tremembé, Grupo Taubaté, que segundo RICCOMINI (1989) estão em contato interdigitado com os sedimentos da Formação Caçapava. Este mesmo autor afirma que a discordância referida por ALMEIDA (1955) entre as formações Tremembé e a unidade naquela época denominada Camadas de São Paulo, que corresponde hoje à Formação Caçapava, se faz, na realidade, entre a Formação Tremembé e sedimentos de idade mais recentes, possivelmente neocenozóica.

Na seção A-A' o contato Tremembé-Caçapava ocorre entre as cotas 375 a 430 m. A base da Formação Caçapava apresentou camadas de siltito cinza em contato interdigitado com camada de arenito conglomerático cinza claro a cinza esverdeado com matriz silto-argilosa. Rumo ao topo ocorre uma intercalação entre camadas de arenito fino a grosso mal a regularmente selecionado, com matriz argilosa ou carbonática, por vezes feldspático e com máficos, em contato interdigitado com arenito conglomerático, argilito e conglomerado cinza, a noroeste. Na parte sudeste da seção não foi observado contato entre a Formação Caçapava e Tremembé, ocorrendo predominância de arenito com lentes de argilito. Nesta região o contato com o embasamento gnáissico ocorre na cota 480 m.



FIGURA 48. MAPA COM A LOCALIZAÇÃO DAS SECÇÕES GEOLÓGICAS E DOS POÇOS UTILIZADOS.

A seção B-B' (Figura 50) reúne dados geológicos de 8 poços e também inclui o contato tectônico por falha normal entre o embasamento cristalino e os sedimentos da bacia. Na região central da seção a bacia também apresenta maior profunidade. Na base predominam argilitos da Formação Tremembé em contato interdigitado nas cotas 400 a 425 m com arenitos da Formação Caçapava semelhante ao observado na seção A-A'. Rumo ao topo da Formação Caçapava ocorre intercalação entre arenito, lentes de argilito, arenito conglomerático e conglomerado, porém estas lentes possuem menor espessura e ocorrem em menor proporção em relação à seção A-A'.

A seção C-C' (Figura 51) localiza-se no interior da bacia e apresenta dados de 9 poços encaixados estritamente nos sedimentos do grupo Taubaté. Como nas outras seções, os sedimentos da base pertencem à Formação Tremembé e consistem de argilitos/folhelhos com raras lentes de arenito. O contato entre a Formação Tremembé e Caçapava ocorre desta vez entre

as cotas 425 e 470 m. A Formação Caçapava apresenta intercalações de arenitos e lentes de argilitos em maior proporção e espessura que em outras duas seções. Lentes de arenitos conglomeráticos, silitos e conglomerados são raras ocorrendo somente no centro da seção (centro da bacia).



FIGURA 49. SECÇÃO GEOLÓGICA A-A'.



FIGURA50. SECÇÃO GEOLÓGICA B-B'.



FIGURA 30. SECÇÃO GEOLÓGICA C-C'.

7.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise, baseada na convergência de evidencias, fornecida pela integração de informações obtidas nas diferentes tabelas de correlações executada, enfocando aspectos físicos diferenciados da região estudada, permitiu a identificação de áreas cujos atributos as indicam como sendo as mais importantes **áreas de recarga** e **áreas de descarga** do Médio Vale do Paraíba.

- O mapa da figura 26, traz indicada as principais áreas de recarga, identificadas a partir da análise morfoestrutural que mapeia regiões de altos estruturais determinados pelas curas de contorno estrutural não cotada. Nesta mesma figura a correlação entre áreas de recarga e área de alta e média densidade de fraturamentos, identifica trechos nestas, com maior potencial a recarga do aqüífero subterrâneo;

- Como era de se esperar, os métodos utilizados para a realização do trabalho nesta escala, apresentaram resultados opostos quanto a sua eficiência, para as regiões cristalinas e as regiões sedimentares da Bacia de Taubaté.

-No cristalino – porosidade secundária- o potencial de obtenção de dados geológicos , estruturais e tectônico e a possibilidade da caracterização física geral, baseados na geologia e em atributos de relevo, drenagem , tropia, declividade- topografia e etc, tornam o método de fotointerpretação e analise de imagens uma ótima ferramenta para a identificação , e qualificação de áreas de recarga e de descarga., por outro lado, a avaliação do comportamento hidrodinâmico deste aqüífero é comprometido pela rápida variação em área, de parâmetros e características geológicas e estruturais que compõem os sistemas aqüíferos , e não permitam estender uma correlação hidrogeologica entre dados interpretados a nível regional. Esta condição e ainda agravada pela pouca numero de poços profundos, executado sobre o cristalino, considerando toda a região.

- Na região do aqüífero sedimentar, constituído por camadas sub-horizontais, relevo suave caracterizado pela porosidade intergranular, o aqüífero e poroso, estando pouco dependente dos sistemas de fraturas. Apresenta unidades mais homogêneas e com grande extensão lateral.

A sua melhor caracterização é obtida por meio de análise de dados obtidos de poços profundos por métodos tradicionais, em testes de bombeamento e de vazão. A intensa exploração do aqüífero sedimentar na região do Vale, resulta na disponibilização de uma amostragem razoável de dados sobre o aqüífero poroso. A análise destes dados permite a identificação dos tipos, de aqüíferos, o seu comportamento frente a exploração, e ainda interpolar e extrapolar, o conhecimento para áreas , geológica e estratigráfica e estruturalmente similares dentro da bacia sedimentar. com menor conhecimento, na área sedimentar .

- Embora, na escala de trabalho adotada, não tenha sido individualizados as várias unidades sedimentares, constituintes da Bacia de Taubaté, informações de poços profundos, demonstram uma maior produtividade média em aqüíferos associados a formação Caçapava

– sedimentos fluviais – fácies fluviais), e de menor produtividade a sedimentos lacustres da formação Tremembé;

- A análise da correlação das várias unidades litoestruturais / área sedimentar com os atributos físicos, demonstram a particularidade da região da Bacia de Taubaté como aqüífero, e o colocam em sua totalidade como a mais importante área de recarga da região do Médio Vale do Rio Paraíba do Sul;

- Em uma avaliação geral ,pode considerar que os dados de origem fotointerpretados contribuem com aproximadamente 80% , enquanto que dados hidrodinâmicos contribuem com cerca de 20% das informações para o conhecimento sobre o aqüífero cristalino nesta escala de trabalho., enquanto que o os dados de caráter hidrodinâmicos, oriundos de cadastramento de poços profundos, e de uma análise destes dados, contribuem com cerca de 80 -90 % para a definição e conhecimento do aqüífero cristalino, enquanto que os dados interpretados de imagens e outros produtos de sensores remotos, contribuem com cerca de 10-20% de informações para a caracterização dos aqüíferos sedimentares na bacia de Taubaté, no estágio atual de conhecimento .

- A integração dos dados estruturais obtidos durante as fases de interpretação e a aplicação das tabelas 5, 6 e 7 como ferramenta de avaliação conduziu a identificação das principais áreas de recarga e aquelas mais favoráveis para exploração da água subterrânea. A determinação do grau de potencialidade das áreas, apontadas como os mais favoráveis para recarga e para exploração de água subterrânea podem ser feitos considerando dois aspectos :

- Na soma dos índices atribuídos a cada um dos atributos analisados em cada tabela para cada uma das áreas de recarga, quanto maior o valor alcançado pela soma dos índices analisados, maior a potencialidade da área ao processo de recarga;

-A análise qualitativa – avaliação de características geológicas favoráveis ou não ao desenvolvimento de áreas de recarga, não contempladas na caracterização geral das áreas, por associarem aspectos locais e muito particulares;

- Correlação das áreas de recarga com, tipos de aqüíferos, mais produtivos, e potencialmente mais produtivos, determinados através de parâmetros hidrogeológicos obtidos de cadastramento de poços profundos;

Sobre as primeiras, deve ser evitada sempre que possível a exploração intensiva de água subterrânea. Um caso de uso das tabelas, foi exemplificado acima) utilizando uma área localizada a sul de Moreira César - Roseira (Mapa de indicação de área de recarga, Figuras 26).

A análise de dados de testes de vazão interpretados através de gráficos do software Origim 5.0, revelou tipos de aqüíferos que ocorrem na região do Médio Vale do Rio Paraíba do Sul. Foram identificados aqüíferos do tipo livre, confinado , semi livre, semi confinados assim correlacionados;

- Para a Formação Caçapava, foi caracterizado os quatro tipos de aqüíferos;

- Na Formação Tremembé predomina os aqüíferos do tipo confinado;

- No domínio das rochas cristalinas os aqüíferos se mostraram invariavelmente do tipo semiconfinado; - Os aqüíferos livres associados ao manto de intemperismo são encontrados em todas a litologias.

- A transmissividade dos aqüíferos nos locais do poços na região de Jacareí, mostram valores variáveis, menores que 1m2/h, para aqüíferos sedimentares próximo ao contato geológico com as rochas cristalinas; até 9m2/s ns região de São José dos Campos, onde a espessura dos sedimentos são maiores, e afastado do contato com as rochas cristalinas. Valores em torno de 2m2/s em áreas de altos estruturais onde a espessura do sedimento é limitada, como em Caçapava, por exemplo. Entre Caçapava até Lorena ocorrem valores baixos (menor que 1m2/h) devido a presença da Formação Tremembé.

Em Lorena, os valores aumentam com a presença de sedimentos da Formação Caçapava, voltando a valores baixos (menor que 1m2/h) para o restante da Bacia, também devido a presença da Formação Tremembé.

- O mapa de distribuição das transmissividade, para a área da bacia de Taubaté foi interpolado entre estes valores;

- Com relação a ocorrência e densidade de fraturas, estes atributos são considerados como tendo uma importância restrita na formação destes aqüíferos. Sua importância está mais relacionada a possibilitar a comunicação entre camadas aqüíferas (fácies arenosos) confinados por intercalação de camadas muito argilosas. Foi atribuído o índice , relativos e empíricos quanto ao potencial de recarga, para estas diferentes sedimentos da Bacia

- O atributo declividade, classifica, este compartimento como sendo de baixa declividade, em relação a área total do Vale, portanto apresentando uma condição altamente favorável ao processo de infiltração de águas superficiais;

- Quanto ao fluxo de água subterrânea, revela-se como uma área com duas situações situação distintas: grandes áreas de fluxo unidirecionais , e propicio a recarga , e uma importante área de concentração de fluxo discordante convergente, Ambas são consideradas como de alto potencial a recarga e acumulação e água subterrânea.

Os resultados finais do projeto (inclusive a íntegra deste relatório) estão disponíveis tanto para leitura quanto para download pelo site do projeto localizado no seguinte endereço <u>http://www.agro.unitau.br/recarga/index.htm</u>. Por essa página também serão incluídos novos dados geográficos e informações relacionadas a áreas de recarga pela equipe do Laboratório de Geoprocessamento (LAGEO) da Universidade de Taubaté (UNITAU), mesmo após a conclusão do Contrato FEHIDRO No. 371/2003.
8.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SABER, A.N. Novos Conhecimentos sobre os depósitos da Bacia de Taubaté. Notícia Geomorfológica, São Paulo, v.1, p.13-18. 1958.

ALMEIDA, F.F.M. de. As camadas de São Paulo e a tectônica da Serra da Cantareira. Boletim Sociedade Brasileira de Geologia, São Paulo, v. 4, n. 2, p. 23-40. 1955.

ALMEIDA, F.F.M. Fundamentos geológicos do relevo paulista. Boletim do Instituto Geográfico e Geológico, São Paulo, v.41, p.167-263. 1964.

ALMEIDA, F.F.M. de. The system of continental rifts bordering the Santos Basin, Brazil. Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 48 (supl.), p. 15-26. (Proceedings of the International Symposium on Continental Margins of Atlantic Type, October 1975). 1976.

ANJOS, C. E. dos. Tectônica da borda da bacia do Paraná e de seu embasamento na região Itajaí-Lajes-Santa Catarina : uma abordagem com imagens fotográficas do Sistema Landsat e mosaicos de radar. 160 p. (Tese de Doutorado). Universidade de São Paulo – USP - São Paulo, 1986.

APPI, C. J., FREITAS, E. L. e CASTRO, J. C. Faciologia e Estratigrafia da Bacia de Taubaté. Comunicação Técnica. Rel. Interno CENPES/PETRORÁS, 1986.

BOWEN, R. Groundwater. Elsevier Applied Sciense Publishers, Essex, 427p. 1986.

BRANDT NETO, M.; RICCOMINI, C.; COIMBRA, A.M.; MATOS, S.L.F. 1991. Argilominerais da Bacia de Taubaté, SP. Boletim IGc-USP, Publicação Especial no 9, Jornadas Científicas, São Paulo, p.111-115.

CAMPANHA, V.A. A arquitetura deposicional da Bacia Sedimentar de Taubaté, SP, como subsídio à delimitação das zonas de produção mineral. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, v.1: 194p, v.2: 91p. 1994.

CARNEIRO, C.D.R.; HASUI, Y. E GIANCURSI, F.D. Estrutura da Bacia de Taubaté na região de São José dos Campos. Congresso Brasileiro de Geologia, 29, SBG, Ouro Preto. Anais... Ouro Preto, 1976, v.4, p.247-256. 1976.

CARNEIRO, C.D.R. 1977. Geologia e evolução geológica da Folha de São José dos Campos, SP. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 106 p.

CAVALCANTE, J.C.; KAEFER, L.Q. Geologia da folha de Santos (parcial). Congresso Brasileiro Geologia, 30, SBG, Recife. Anais... Recife, 1978, v.4. p.227-245. 1974.

CHANG, H.K.; KOWSMANN, R.O.; FIGUEIREDO, A.M.F. e BENDER, A.A. 1992. Tectonica and stratigraphy of East Brazilian Rift System: an overview. Tectonophisics, v.213, n.1/2, p.97-138. 1992

COELHO NETTO, A.L. Evolução de cabeceiras de drenagem no médio Vale do Rio Paraíba do Sul (SP/RJ): a Formação e o crescimento da Rede de Canais sob Controle Estrutural. Revista Brasileira de Geomorfologia, 2: 69-100. 2003.

COLTRINARI, L. Geomorfologia e dinâmica quaternária no sudeste do Brasil. Revista do Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas - FFLCH/USP, São Paulo, n.6, p.7-16. 1992.

COMPANHIA DE PROCESSAMENTO DE DADOS DO ESTADO de SÃO PAULO – PRODESP. Dados De Postos Pluviométricos e Fluviométricos. São Paulo: DAEE. 1998.

CPTI. Relatório de situação dos recursos hídricos da Unidade de Gerenciamento da Bacia do Paraíba do Sul (UGRHI-2). Comitê das Bacias Hidrográfias do Paraíba do Sul e Mantiqueira (CBH-PSM), São Paulo, 205p. 2000.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS– SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM/SGB). 2005. Mapa Geológico do Estado de São Paulo. Escala 1:750.000, Ministério de Minas e Energia, Secr.Geol.Min. e Transf.Mineral, São Paulo, 1 mapa.

CUSTODIO E.; LLAMAS M.R. Hidrogeologia Subterrânea. Ed.Omega, Barcelona, 1157 p (Tomo I). 1983.

DAEE – DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. 1977a. Estudo de águas subterrâneas: Região Administrativa 3 – S.J. dos Campos e faixa litorânea. Enco/DAEE, São Paulo, v.1, 112 p (texto).

DAEE – DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. 1977b. Estudo de águas subterrâneas: Região Administrativa 3, S.J. dos Campos e faixa litorânea. Enco/DAEE, São Paulo, v.5, 160p (mapas e tabelas).

DAVIS S.N. e DEWIEST R.J.M. 1966. Hydrogeology. John Wiley e Sons, New York, 466p.

DAEE - DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. 1979. Estudo de águas subterrâneas - região administrativa 2 - Santos. Governo do Estado de São Paulo, Secretaria de Obras e Meio Ambiente, Departamento de Águas e Energia Elétrica. Relatório interno, v.1 - texto, v.2 - mapas, v.3 - anexos.

DINIZ, H. N. caracterização do potencial hidrogeológico e histórico da utilização das águas subterrâneas no município de são josé dos campos. Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - no: 2003/06507-8. 2005

DINIZ H.N.e MICHALUATE W.J. 2002. Interpretação de testes de vazão em poços tubulares profundos – Dimensionamento e especificações de bombas submersas. Instituto Geológico, Boletim no 16, São Paulo, 78p.

FETTER C.W. Applied hidrogeology. 2 Ed., Macmillan Publ.Comp., New York, 592p. 1988.

FITTS C.R. Groundwater Science. Academic Press, Londres, 450p. 2002.

FLORENCE, G.; PACHECO, J. Carta geológica do Estado de São Paulo, Brasil. Escala 1:2000000. Comissão Geográfica e Geológica do Estado de São Paulo, São Paulo, 1 mapa. 1929.

FRANCO FILHO, F.W.B. e SOUZA J.C.S. Explotação de água subterrânea em São José dos Campos – efeitos observados ao longo do tempo. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Recife, ABAS, 113-123p. 1994.

FREEZE, R.A. e CHERRY, J.N. Groundwater. Prentice – Hall, New Jersey, 604p. 1979.

HANTUSH, M.S. Analysis of data from pumping tests in leaky aquifers. American Geophysical Union Transaction, Washington, n.37, p.702-714. 1956.

HASUI, Y.; Novo modelo geológico do Vale do Ribeira. São Paulo. IPT, 296p (Relatório 23. 742). 1986.

HASUI, Y.; e OLIVEIRA, M.A.F., 1984. Província Mantiqueira. In: F.F.M. Almeida and Y. Hasui (Eds). O Précambriano do Brasil. Ed. Edgard Bucher, São Paulo, p. 308-344.

HASUI, Y.; PONÇANO, W. Organização estrutural e evolução da bacia de Taubaté. Congresso Brasileiro Geologia, 30, SBG, Recife. Anais... Recife, 1978b, v.1, p.368-381. 1978b.

HASUI, Y.; CARNEIRO, C.D.R. E COIMBRA, A.M. The Ribeira Folded Belt. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v.5, n.4, p.257-266, 1975.

HASUI, Y. e SADOWSKI, G.R. Evolução geológica do Pré-Cambriano na região sudeste do Estado de São Paulo. Rev.Bras. Geoc., 6(3): 180-200. 1976.

HEIPKE, C.; KOCH, A.; LOHNANN, P. Analysis of SRTM DTM – Metodology and Practical Results. ISPRS Commission – IV Symposium. Ottawa. 2002.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Levantamentos de Recursos Naturais – Vol. 26. 1986.

ICF - KAISER e LOGOS. Relatório Zero UGRHI. Dados disponíveis na Internet. 2002

IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Mapa geomorfológico do estado de São Paulo. São Paulo: IPT. 1981. 94p. (IPT. Monografias 5 – nº 1183).

KOVÁCS C.E. Seepage hydraulics. Developments in Water Science, 10, Elsevier Scientific Publishing Company, Budapeste, 730p. 1981.

KRESIC N. Quantitatice Solutions in Hidrogeology and Groundwater Modeling. Lewis Publishers, Flórida, 460p.1997.

KURKDJIAN, M. L. N. O; VALÉRIO FILHO, M; VENEZIANI, P; PEREIRA, M. N.; FLORENZANO, T. G.; DOS ANJOS, C. E.; OHANA, T.; DONZELI, P.L.; ABDON, M. N.; SAUSEN, T. M.; PINTO, S.A. F.; BERTOLDO, M. A.; BLANCO, J. G.; CZORDAS, S. M. Macrozoneamento da Região do Vale do Paraíba e Litoral Norte do estado de São Paulo. São José dos Campos, 1992, 176. (INPE- 5381-prp/165). 1992.

MATTOS, J.; VENEZIANI, P.; Coord. Projeto Recife: Relatório preliminar. Convênio INPE/SEPLAN – SE. Aracaju, INEP. 1985.

MARQUES, A. Evolução tectono-sedimentar e perspectivas exploratórias da Bacia de Taubaté, São Paulo, Brasil. Boletim de Geociências, Petrobrás, Rio de Janeiro, v.4, n.3 (julho/setembro), p253-262. 1990.

MELO, M.S.; CAETANO, S.L.V.; COIMBRA, A.M. Tectônica e sedimentação nas áreas das bacias de São Paulo e Taubaté. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34, 1986, Goiânia. Anais... Goiânia, Sociedade Brasileira de Geologia, v. 1, p. 321-336. 1986.

MEZZALIRA, S. Novas Ocorrências de Vegetais Fosseis Cenozóico no Estado de São Paulo. O IGG, Instituto Geográfico e Geológico, São Paulo, v.5, p73-95. 1962.

MORAES REGO, L.F. 1933. Contribuição ao Estudo das Formações Pré-devonianas de São Paulo. Revista do Instituto Astronômico e Geofísico, São Paulo, 43p.

NEUMAN (1972), S.P. Theory of flow in unconfined aquifers considering delayed response of the water table. Water Resources Research, 8: 1031-1045. 1972.

O'LEARY, D. W.; FRIEDMAN, J. D.; POHN, J. A. Lineament linear linear lineation: some proposed new standards for old terms. Bulletim of Geological Society of America, v.87, n.10, p. 1463-1476. 1976.

PISSIS, A. Considérations générales sur lês terrains du Brésil. Bulletin Soc.Géol.France, Paris, n.13, p.282-290. 1842.

PONÇANO, W.L.; CARNEIRO, C.D.R.; ALMEIDA, F.F.M.; PRANDINI, F.L. Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo. São Paulo: IPT, 1981. 94 p. (Monografia 5). 1981.

RAGHUNATH, H.M. Groundwater. Wiley Eastern Limited, New Delhi, 456p. 1982.

RICCOMINI, C. 1989 O Rift continental do sudeste do Brasil. São Paulo: Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 256p. (Tese de Doutorado). 1989.

RIEDEL, W. Zur mechanik geologischer bucherscheinungen. Central bl. f. Blatt F. Min. Geol. Und. Pal., 8: 354-368, 1929.

SADOWSKI, G.R. Sobre a geologia de cinturões de cisalhamento continentais. Tese de Livre Docência, Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências. São Paulo, 108p. 1983.

SADOWSKI, G.R.; CARNEIRO, C.D.R. O charnoquito de São Francisco Xavier, São Paulo. Congresso Brasileiro de Geologia, 28, SBG, Porto Alegre. Anais..., Porto Alegre, 1974, v.4, p.207-211. 1974.

SETZER, J. 1948. Algumas contribuições geológicas aos estudos de solos realizados no Estado de São Paulo. Revista Brasileira de Geografia, Rio de Janeiro, v.10, n.1, p.41-104.

SOARES, P. C. e FIORI, A. P. Lógica e Sistemática na Análise e Interpretação de Fotografias Aéreas em Geologia. Not. Geomorfológica, Campinas, v. 16, n. 32, 1976.

SOUZA, J.C.S. Estudo hidrogeológico da região de Lorena. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 174p. 2004.

SUGUIO, K. Contribuição à geologia da Bacia de Taubaté. São Paulo. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 106p. 1968.

THEIS (1935), C.V. The relation between the lowering of piezometric surface and the rate and duration of a well using ground-water storage. American Geophysical Union Transaction, Washington, Part II, p.519-524. 1935.

TOOD, D.K. Hidrogeologia das águas subterrâneas. Edgard Blücher Ltda, São Paulo, 319p. 1967.

VENEZIANI, P.; ANJOS, C.E. Metodologia de interpretação de dados de sensoriamento remoto e aplicações em geologia. São José dos Campos: INPE, 1982. 54 p. 1982.

VENEZIANI, P. Análise de movimentos da tectônica rúptil e rúptil-dúctil através da interpretação de produtos de sensores remotos na região do Espinhaço Meridional (MG): uma correlação com processos evolutivos. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 186p. 1987.

VESPUCCI, J.B.O. 1984. Sistemas deposicionais e evolução tectono-sedimentar da Bacia de Taubaté, SP. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 98p. WALTON, W.C. Groundwater Resource Evaluation. McGraw–Hill, New York, 664p. 1970. WASHBURNE, C. 1930. Petroleum Geology of the State of São Paulo, Brazil. Commissão Geográfica e Geológica do Estado de São Paulo, Boletim 22, São Paulo, 282p.

WERNICK, E. O magmatismo granitóide das regiões de dobramento nordeste e sudeste do Brasil – p. 122-139. 1979.

Equipe Técnica

Coordenador do Projeto: Prof. Dr. Nelson Wellausen Dias - UNITAU

Pesquisador Dr. Célio Eustaquio dos Anjos - MC Geologia e Meio Ambiente

Pesquisador Dr. Hélio Nóbile DINIZ - IG-SP

Pesquisador Dr. Marcelo dos Santos Targa – UNITAU

Pesquisadora: Geografa Wanja Janayna de Miranda Lameira (Aluna de mestrado da Universidade de São Paulo - USP), e consultora técnica da MC Geologia e Meio Ambiente.

Pesquisador: Geólogo Thiago Rabelo (Aluno de mestrado do Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE).

Pesquisador: Geógrafo Celso de Souza Catelani (Aluno de mestrado do PPGCA da UNITAU)

Técnico: Tiago dos Santos Agostinho - LAGEO/UNITAU

Estagiário: Tiago Casagrande Cundari

Informação de Contato

Laboratório de Geoprocessamento da Universidade de Taubaté. Estrada Dr. José Cembranelli, 5000, Bairro Itaim, Taubaté, SP, CEP 12081-010. Fone (12) 3625-4116 / 3625-4212, Fax (12) 3632-8956. Email: nelson.dias@unitau.br

ALAMEDA HARWEY C. WEEKS, 14, SL. 01 – ED. NEW CENTER - SJCAMPOS / SP / FAX(12) 3902-8555 E-MAIL – <u>mc geologia@yahoo.com.br</u> ou celioea@yahoo.com.br