



LUANA ALVES DE LIMA

**FAVORABILIDADE HIDROGEOLÓGICA PARA AQUÍFEROS
FRATURADOS-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO DOMINGOS/RJ**

**Trabalho de Conclusão de Curso
(Bacharelado em Geologia)**

**UFRJ
Rio de Janeiro
2007**



UFRJ

LUANA ALVES DE LIMA

**FAVORABILIDADE HIDROGEOLÓGICA PARA AQUÍFEROS FRATURADOS -
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO DOMINGOS /RJ**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
em Geologia do Instituto de Geociências,
Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ,
apresentado como requisito necessário para
obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientador(es):

Gerson Cardoso da Silva Junior

Juliana Magalhães de Menezes dos Santos

Colaborador:

Vinicius da Silva Seabra

Rio de Janeiro

Março de 2007

LIMA, Luana Alves.

Favorabilidade Hidrogeológica para Aquíferos Fraturados –
Bacia Hidrográfica do Rio São Domingos/RJ/ Luana Alves de
Lima – Rio de Janeiro, UFRJ/IGEO, 2006.

vii, 29 p. : il.; 30cm

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) –
Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Instituto de
Geociências – Departamento de Geologia, 2006.

Orientador(es): Gerson Cardoso da Silva Jr, Juliana Magalhães
de Menezes dos Santos

1. Geologia. 2. Setor de Geologia de Engenharia e Ambiental –
Trabalho de Conclusão de Curso. I. Gerson, Cardoso da Silva
Jr, Juliana Magalhães de Menezes dos Santos II. Universidade
Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Programa de
Pós-graduação em Geologia. III. Favorabilidade Hidrogeológica
para Aquíferos Fraturados –Bacia Hidrográfica do Rio São
Domingos/RJ.

LUANA ALVES DE LIMA

**FAVORABILIDADE HIDROGEOLÓGICA PARA AQUÍFEROS FRATURADOS -
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO DOMINGOS /RJ**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
em Geologia do Instituto de Geociências,
Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ,
apresentado como requisito necessário para
obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientador:

Gerson Cardoso da Silva Junior.

Juliana Magalhães de Menezes dos Santos

Colaborador:

Vinicius da Silva Seabra

Aprovada em:

Por:

Orientador: Gerson Cardoso da Silva Junior (UFRJ)

Co- Orientadora: Juliana Magalhães de Menezes dos Santos (UFRJ)

Nelson Ferreira Fernandes (Dep. Geografia – I.Geociências - UFRJ)

Cláudio Limeira Mello (Dep. Geologia – I.Geociências - UFRJ)

Dedico aos meus queridos pais que sempre incentivaram o meu crescimento, me oferecendo amor acima de tudo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus por mais essa oportunidade de vida.

Agradeço aos meus pais amados, que me apoiaram nesses cinco anos de faculdade e não permitiram que eu desistisse desse projeto. Às minhas irmãs Cristiana e Luciana por tanto carinho dedicado a mim. Ao meu sobrinho Pedrinho, que apesar de fazer tanta bagunça, dedica suas orações ao meu sucesso.

Ao meu namorado Rafael pela compreensão e auxílio prestado em todos os momentos. Sem o seu carinho tudo seria mais difícil.

Ao Professor Gerson que sempre acreditou no meu potencial, me apoiando, ensinando e oferecendo infra-estrutura para minha evolução intelectual.

Aos meus queridos amigos e orientadores desse trabalho Juliana Menezes e Vinícius Seabra, que sempre me apoiaram academicamente e com carinho e atenção entendiam meus pontos de vista e me elucidavam com sua experiência. Agradeço de todo coração a Juliana, que me acompanhou passo a passo, e teve muita paciência e dedicação, nunca negando a ajuda necessária.

Aos amigos do laboratório de Hidrogeologia Cynthia, Ana Luiza, Cauê e Rafael por tantos momentos alegres. A Rose pela calma e compreensão nos momentos de estresse, e à Elisa pela amizade, e pelos bons conselhos prestados.

À minha amiga e companheira de todas as horas Ghislaine, pela tranquilidade e alegria de viver, que me ajudou a realizar muitos trabalhos.

À minha querida amiga Carol, por ser tão companheira, exigente e carinhosa, me auxiliando nos momentos difíceis.

Aos meus amigos de turma por tantos momentos bons compartilhados. Em especial a Kátia, Alessandra, Ana Paula, Priscila, Giselle, Alice e Thayana, por tantos momentos agradáveis.

Aos professores que responderam de boa vontade o questionário realizado para o presente trabalho.

À bolsa concedida pela Fundação Universitária José Bonifácio (FUJB).

À Embrapa Solos- RJ e ao DRM -RJ, fundamental para o desenvolvimento da presente pesquisa.

Resumo

LIMA, Luana Alves de. **Favorabilidade Hidrogeológica para aquíferos Fraturados-Bacia Hidrográfica do Rio São Domingos/RJ**. 2007. vii, 29 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

A utilização de recursos hídricos provenientes de aquíferos fraturados é intensa em diversas regiões do Brasil. Entretanto, o uso deste tipo de recurso hídrico subterrâneo apresenta muitos obstáculos devido às características desfavoráveis do aquífero, em particular quanto à dificuldade de prospecção/investigação e às baixas vazões geralmente resultantes. Estudos de favorabilidade hidrogeológica têm sido desenvolvidos com o intuito de diminuir a incerteza na locação de poços e definir o potencial hidrogeológico dos aquíferos cristalinos. O emprego de técnicas de geoprocessamento e Sistemas de Informação Geográfica (SIG) mostrou-se eficiente na determinação de áreas de alto potencial hidrogeológico. A área de estudo do presente trabalho é a Bacia Hidrográfica do Rio São Domingos (BHRSD), localizada no Noroeste do Estado do Rio de Janeiro englobando integralmente o Município de São José de Ubá e uma pequena parte do Município de Itaperuna. O estudo teve como objetivo principal determinar a favorabilidade hidrogeológica da BHRSD, contribuindo tanto para o gerenciamento da água na região como na construção de metodologia de construção de mapa de favorabilidade. Como resultados, elaboraram-se duas cartas de favorabilidade hidrogeológica da BHRSD, contendo cinco classes de favorabilidade, mostrando, de forma geral, dois grandes domínios: a porção central apresentando classes de maior favorabilidade e as cabeceiras da bacia com classes de menor favorabilidade. Concluiu-se que: 1) a favorabilidade da BHRSD tem forte subordinação ao quadro geológico-estrutural da bacia; 2) o método utilizado mostrou-se eficiente na avaliação da favorabilidade hidrogeológica de aquíferos fraturados; e 3) muitas das variáveis utilizadas no estudo de favorabilidade de aquíferos são semelhantes às utilizadas no estudo de vulnerabilidade de aquíferos.

Palavras-chave: aquíferos fraturados; favorabilidade hidrogeológica; SIG.

Abstract

LIMA, Luana Alves de. **Favorabilidade Hidrogeológica para aquíferos Fraturados-Bacia Hidrográfica do Rio São Domingos/RJ**. 2006. vii, 29 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

The use of water resources coming from fractured aquifers is intense in various portions of Brazil. However, the use of this type of groundwater resource presents many obstacles due to the unfavorable characteristics of this type of aquifer, particularly regarding difficulty to investigate and poor resulting withdrawal rates. Studies of aquifer favorability have been developed with the intention to diminish the uncertainty in the location of wells and to define the hydrogeological potential of crystalline aquifers. The use of geoprocessing tools and Geographic Information Systems (GIS) proved efficient in determination of areas with higher hydrogeological potential. The area of study is the São Domingos River Basin (SDRB), located in the Northwestern Region of the State of Rio de Janeiro, including the total area of São José de Ubá city and a small part of Itaperuna city. The study has as main objective to determine the hydrogeological favorability of the SDRB as a contribution to the management of the region's water resources, as well as in elaborating a methodology to create a cartography of "hydrogeological favorability". As a result, two hydrogeological favorability maps of SDRB were elaborated, comprehending five classes of favorability, showing two great domains: the central portion presenting classes of higher favorability and the upper basin with classes of lower favorability. The conclusions are: 1) favorability of the SDRB is strongly subordinated to the basin's geologic-structural settings; 2) the method used proved efficient in the evaluation of the fractured aquifers favorability; and 3) many of the parameters used in the study of aquifer favorability are similar to the ones used in study of aquifer vulnerability.

Keywords: fractured aquifers; hydrogeological favorability; GIS

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Mapa de Localização da BHRSD	11
Figura 2	Mapa Geológico da BHRSD	15
Figura 3	Mapa de Favorabilidade Hidrogeológica com os valores de média	21
Figura 4	Mapa de Favorabilidade Hidrogeológica com os valores de mediana	21
Figura 5	Mapa de Vazões de poços Profundos	23
Figura 6	Localização dos poços cadastrados e pontos de água da BHRSD	24

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Matriz de Favorabilidade Hidrogeológica	18
Tabela 2	Fluxograma de Atividades	19

SIGLAS

BHRSD	Bacia Hidrográfica do Rio São Domingos
SIG	Sistemas de Informação Geográfica
BDG	Banco de Dados Geográficos

Sumário

AGRADECIMENTOS	II
RESUMO.....	III
<i>ABSTRACT</i>.....	IV
LISTA DE FIGURAS.....	V
LISTA DE TABELAS	V
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivos.....	2
2. A VULNERABILIDADE E FAVORABILIDADE DE AQUÍFEROS.....	3
2.1 Favorabilidade	4
2.2 Vulnerabilidade	5
2.3 Principais Condicionantes de Favorabilidade e Vulnerabilidade para aquíferos fraturados.....	6
3. ÁREA DE ESTUDO	10
3.1 Localização	10
3.2 Aspectos Fisiográficos	12
3.3 Geologia Regional e Local.....	14
4. METODOLOGIA.....	16
4.1 Favorabilidade Hidrogeológica	16
4.2 Vulnerabilidade Hidrogeológica	19
5. RESULTADOS	20
5.1 Favorabilidade Hidrogeológica	20
5.2 Vulnerabilidade Hidrogeológica	24

6 CONCLUSÕES.....	25
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26

1. INTRODUÇÃO

Estudos de caráter hidrogeológico que buscam tanto a quantificação do recurso hídrico subterrâneo quanto a avaliação da sua qualidade e vulnerabilidade à contaminação são atualmente de grande relevância. A preservação, gestão e uso adequados das águas subterrâneas são uma preocupação constante à medida que as águas superficiais nem sempre atendem as necessidades de consumo. Portanto, estudos de favorabilidade hidrogeológica de aquíferos são importantes para caracterizá-los de acordo com o seu potencial, auxiliando na gestão desse recurso e garantindo assim a sua sustentabilidade.

O presente estudo tem como área-piloto a Bacia Hidrográfica do Rio São Domingos (BHRSD) localizada no Noroeste do Estado do Rio de Janeiro, contendo integralmente o município de São José de Ubá e parte do município de Itaperuna. É uma região predominantemente agrícola e o abastecimento de água tanto para consumo doméstico, quanto para a agricultura se dá prioritariamente por intermédio de poços rasos (cacimbas) e poços profundos, sendo o recurso hídrico superficial utilizado secundariamente. Episódios de escassez de recursos hídricos na região ocorreram nos últimos anos, intensificando estudos acerca da qualidade da água subterrânea e sua quantificação. A intervenção humana e o uso sem critério das águas em São José de Ubá na produção agrícola foram indicados como um dos possíveis causadores dessa escassez, além da região apresentar clima desfavorável do ponto de vista hidrológico com invernos tipicamente secos e verões chuvosos (Cezar, 2001).

A região está inserida no Sistema Aquífero Cristalino, segundo definido pela CPRM (2000) na cartografia hidrogeológica do estado do Rio de Janeiro. Segundo Ferreira *et al.* (2006), parte da bacia é caracterizada pela existência de aquífero sedimentar raso composto por sedimentos aluviais quaternários variando de 2 a 12 metros de espessura e pelo sistema

aqüífero cristalino onde a água subterrânea ocorre nas fraturas das rochas que estão presentes na região da bacia.

O presente estudo conta com o auxílio de ferramentas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, e teve como base metodológica trabalhos anteriores realizados no país, todos realizados em aqüíferos compostos por rochas cristalinas. Como exemplo, pode-se destacar o mapa de favorabilidade hidrogeológica elaborado em escala regional para todo o estado do Rio de Janeiro na escala 1:250.000, contendo 5 classes de favorabilidade formadas por índices que variam de 1 a 10 (CPRM, 2000). Outras regiões do país foram contempladas com semelhante estudo, como a região de Porto Alegre-RS onde Freitas *et al.* (2000), construíram uma carta de favorabilidade hidrogeológica, contendo 5 classes compostas de índices que variam de 0 a 5 utilizando análise multicritério. Na cidade de Curitiba-PR foi realizado tratamento geoestatístico dos dados das vazões dos poços tubulares profundos, resultando em curvas de isovalores que foram comparadas com o modelo digital do terreno – MDT (Nogueira & Soares, 1996). No município de Rio Bananal-ES foi gerado um mapa de favorabilidade hidrogeológica à ocorrência de água subterrânea, utilizando-se Análise Multicritério dos temas: declividade, densidade de fraturas, solos, uso do solo e cobertura vegetal, litologia e densidade de drenagem (Souza *et al.*, 2003).

1.1Objetivos

O objetivo principal do presente trabalho é determinar a favorabilidade hidrogeológica da Bacia Hidrográfica do Rio São Domingos em sua totalidade, contribuindo tanto para o gerenciamento da água subterrânea da região quanto para a elaboração de metodologia de construção de mapa de favorabilidade dentro do contexto de aqüíferos fraturados.

Como objetivos secundários buscaram-se os seguintes produtos:

- levantamento de variáveis que condicionam a vulnerabilidade desses aquíferos fraturados, buscando uma possível correlação com a metodologia de construção de mapas de favorabilidade hidrogeológica, uma vez que alguns desses fatores podem ser equiparados;
- hierarquizar as variáveis condicionantes da vulnerabilidade de acordo com sua relevância para subsidiar a elaboração de futura metodologia de vulnerabilidade de aquíferos fraturados;

2. A VULNERABILIDADE E A FAVORABILIDADE DE AQUÍFEROS

Este capítulo tem como finalidade apresentar o embasamento teórico da presente pesquisa. Na sua primeira parte aborda definições, aplicabilidade e importância da avaliação de favorabilidade e vulnerabilidade de aquíferos. Posteriormente, discutem-se os fatores determinantes para a quantificação de favorabilidade e vulnerabilidade hidrogeológica de aquíferos fraturados, subsidiando a execução de uma metodologia de criação de mapas de favorabilidade e vulnerabilidade para aquíferos fraturados.

Esse tipo de estudo contribui significativamente para avaliação adequada de recursos hídricos em aquíferos fraturados, já que o terreno pode ser definido como de alta favorabilidade, mas também pode ser potencialmente vulnerável. Por esse motivo, além de abordar os temas do ponto de vista do potencial hidrogeológico, estes também serão analisados de acordo com a sua vulnerabilidade, caso uma carga contaminante seja adicionada ao sistema.

2.1 Favorabilidade

A avaliação de favorabilidade é um estudo idealizado com base em avaliações estatísticas e é utilizada para indicar a existência de depósitos minerais, acumulações de petróleo e água subterrânea, sendo embasada na ponderação de fatores geológicos e geofísicos, com fins exploratórios (Vidal *et al.* 2005). No presente estudo, a favorabilidade hidrogeológica é tida como a determinação de áreas de maior potencial hidrogeológico ou mais favoráveis à ocorrência de água subterrânea, com o objetivo de otimizar a produção de águas para o consumo da região onde o método está sendo aplicado.

No Brasil, temos exemplos de estudos de determinação de favorabilidade hidrogeológica em aquíferos importantes para o abastecimento hídrico das cidades e regiões. Como exemplo, podem ser citados Vidal *et al.* (2005) que estimaram a favorabilidade para a exploração de água subterrânea na região do Médio Tietê, no Estado de São Paulo, utilizando como variáveis a porcentagem de ocorrência de arenitos, distribuição de lineamentos, altitude do terreno e condutividade elétrica com base em ferramentas estatísticas. Podem-se citar ainda os estudos de Souza *et al.* (2003), no município de Rio Bananal, ES; Nogueira & Soares (1996), em Curitiba-PR, e Freitas *et al.* (2000) em Porto Alegre-RS. Uma carta de Favorabilidade Hidrogeológica na escala 1: 250.000 foi confeccionada para o estado do Rio de Janeiro pela CPRM (Barreto *et al.* 2000), utilizando Sistemas de Informação Geográfica (SIG) como ferramenta.

Segundo Barreto *et al.* (2000), os SIG's são uma ótima ferramenta para estudos de favorabilidade hidrogeológica, sobretudo em se tratando de aquíferos fraturados, pois são capazes de organizar diversos temas sob a forma de base de dados, permitindo a sobreposição de temas condicionantes da acumulação de água subterrânea nas rochas. A metodologia

utilizada consiste em reunir diversos temas determinantes para água subterrânea em rochas cristalinas e combiná-los utilizando uma Análise Multicritério (Paralta *et al.*, 2004).

A Análise Multicritério consiste em atribuir pesos aos temas condicionantes e notas às suas classes, de acordo com a potencialidade de cada uma para acumulação de água subterrânea. A combinação dessas notas e pesos em Ambiente SIG proporciona como resultado áreas de maior e menor favorabilidade hidrogeológica.

2.2 Vulnerabilidade

A necessidade de conservação e planejamento da utilização dos recursos hídricos desencadeou um crescente desenvolvimento e utilização de técnicas de controle de proteção das áreas susceptíveis à contaminação. Dentre essas técnicas se destaca a elaboração de índices de vulnerabilidade de aquíferos, que pode ser considerada uma técnica importante para a gestão e proteção do meio ambiente (Hirata, 2001).

O termo vulnerabilidade à contaminação de aquíferos se refere à sensibilidade de um aquífero a uma carga contaminante em função de suas características intrínsecas (Foster, 1987). A escolha do método mais adequado para análise de vulnerabilidade é uma função da disponibilidade de dados e das características da região. Dessa forma, cabe ao pesquisador avaliar se os parâmetros considerados relevantes e o método escolhido se adequam a realidade de dados disponíveis e às características do aquífero.

Os métodos de determinação de índice de vulnerabilidade mais citados na literatura são: DRASTIC e GOD. O método DRASTIC (Aller *et al.* 1985) gera um índice relativo de potencial à contaminação das águas subterrâneas utilizando variáveis hidrogeológicas. Já o método GOD é um dos métodos mais utilizados no Brasil, desenvolvido por Foster (1987). Nesse método, o aquífero é classificado quanto a sua vulnerabilidade em relação a cada um

dos três parâmetros (profundidade do NA, litologia e tipo de aquífero) em uma escala de valores de baixa a alta vulnerabilidade.

Métodos para análise de vulnerabilidade de aquíferos foram desenvolvidos em muitos países, tendo um maior destaque na aplicação de aquíferos porosos e livres, entretanto estudos pertinentes a aquíferos fraturados necessitam de maior aprimoramento. A maioria dos modelos são facilmente empregados em aquíferos formados por rochas sedimentares, de caráter homogêneo. Alguns desses fatores se adequam a aquíferos fraturados e outros não. Surgiu, então, o interesse em estudar os fatores que determinam a vulnerabilidade de aquíferos assentados em terrenos cristalinos, a fim de subsidiar uma metodologia capaz de analisar a vulnerabilidade dos mesmos.

2.3 Principais Condicionantes de Favorabilidade e Vulnerabilidade para aquíferos fraturados

No presente estudo foram pesquisadas as variáveis físicas que condicionam tanto a favorabilidade quanto a vulnerabilidade de aquíferos fraturados, tendo em vista que estas muitas vezes se igualam. O estudo faz uma proposta que pode se tornar, no futuro, uma nova metodologia de determinação de vulnerabilidade para aquíferos fraturados como no caso da área de estudo. Foram utilizadas as seguintes variáveis na avaliação de favorabilidade: densidade de fraturas, declividade, uso e cobertura do solo, tipo de solo e litologia. Para o estudo de vulnerabilidade foram adicionadas na proposta de metodologia mais duas variáveis, além das já apresentadas: a recarga do aquífero e o nível da água, que não estão presentes na metodologia de favorabilidade.

A densidade de fraturas é o comprimento total de fraturas existentes em uma determinada área, dividido por esta mesma área, ou seja, é uma análise adimensional. Em

estudos de favorabilidade para aquíferos fraturados, como os realizados por Barreto *et al.* (2000) e Souza *et al.* (2003), o levantamento estrutural é definido quantitativamente com base na definição de lineamentos estruturais com auxílio de sensoriamento remoto e posteriormente o cálculo de densidade de fraturas, que resulta em um mapa que define áreas de maior e menor densidade de fraturamento.

A declividade é a inclinação da superfície do terreno em relação ao plano horizontal. Dessa forma, a declividade pode ser considerada um fator relevante tanto nos estudos de favorabilidade quanto de vulnerabilidade na medida em que influencia os processos de infiltração das águas meteóricas, onde a inclinação do terreno controla o processo de escoamento superficial condicionando a disponibilidade de água para infiltração na superfície. Pequenas inclinações, por exemplo, aumentam a probabilidade de contaminação das águas subterrâneas, já que aumentam as chances de um contaminante infiltrar no solo. Segundo Aller *et al.* (1985), a declividade também é significativa porque o gradiente e o sentido do fluxo subterrâneo podem ser inferidos pela inclinação da superfície.

O uso e cobertura do solo é um fator que deve ser considerado a parte, pois não é uma variável física, já que envolve também elementos de natureza sócio-econômica, e também por este fator interferir apenas no estudo de favorabilidade hidrogeológica. Quando temos em mente que a vulnerabilidade natural está relacionada às características intrínsecas dos aquíferos, não podemos incluir uma variável de caráter sócio-econômico. Entretanto o fator, uso e cobertura do solo está inserido no capítulo, pois é um fator comumente usado para a determinação de favorabilidade hidrogeológica.

Segundo Barreto *et al.* (2000), o tipo de solo, como a presença de uma cobertura sedimentar ou pedológica sobre o substrato cristalino, pode favorecer ou não o processo de infiltração de águas meteóricas influenciando nos estudos de favorabilidade. Quanto mais espessas e permeáveis, melhores se acham as condições de infiltração, entretanto a

determinação da estrutura e o tipo pedológico fornecem informações de permeabilidade que complementam o estudo. Em estudos de vulnerabilidade à contaminação, o fator tipo de solo apresenta grande relevância. O tipo de solo também tem um impacto significativo na recarga dos aquíferos e, conseqüentemente, na facilidade de um contaminante se mover verticalmente na zona vadosa.

O tipo de rocha (litologia) que compõe o sistema aquífero define sua importância quanto à favorabilidade à exploração. No caso de aquíferos constituídos por rochas do embasamento cristalino, o fator litologia apresenta menor relevância nos estudos de favorabilidade, porque rochas ígneas e metamórficas apresentam porosidade primária praticamente nula, condicionando a ocorrência do recurso hídrico às fraturas da rocha (Costa & Silva, 2000). Logo, esses aquíferos fraturados apresentam menores vazões quando comparados a um aquífero de rocha sedimentar. Barreto *et al.* (2000) elaboraram uma hierarquia que leva em conta a presença de discontinuidades nas rochas, tais como bandamentos, xistosidades, foliações e grau metamórfico que facilitam a intemperização e suscetibilidade da rocha ao fraturamento. Dessa forma, quartzitos e mármore podem ser considerados mais favoráveis em relação a granulitos e granitos, por exemplo. Nos estudos de vulnerabilidade, o mapeamento geológico em escala de detalhe é um fator importante, pois a determinação do tipo litológico, assim como sua xistosidade, bandamento, plano de clivagem, podem determinar áreas de maior ocorrência de recurso hídrico exposto à contaminação.

A estimativa de recarga do aquífero é fundamental para a estimativa do volume de recursos hídricos subterrâneos anualmente renováveis. Uma correta avaliação da recarga é fundamental no cálculo das disponibilidades hídricas para o abastecimento público e agricultura (Paralta *et al.*, 2004). As zonas que apresentam maior recarga podem ser definidas como áreas de maior favorabilidade à exploração de água subterrânea, como também

constituem áreas vulneráveis à entrada de contaminantes. Logo, o estudo desse fator é relevante na determinação de vulnerabilidade de aquíferos fraturados.

O nível d'água do aquífero livre (nível freático), em linhas gerais, acompanha aproximadamente a topografia do terreno. Dessa forma, a determinação da profundidade do nível freático influencia na vulnerabilidade de aquíferos livres à contaminação, pois determina a espessura de material com que um contaminante deve viajar antes de alcançar o aquífero. Para aquíferos fraturados esta superfície se apresenta de forma irregular de acordo com a topografia e obedece ao padrão estabelecido pela família de fraturas que se encontram no maciço rochoso. Porém, estudos estrutural e de conectividade de fraturas que ocorrem nos aquíferos cristalinos podem ser úteis para estimar um nível da água médio.

2.4 Ferramentas de Geoprocessamento e SIG

As expressões “ferramentas de geoprocessamento” e “Sistemas de Informação Geográfica (SIG)” são freqüentemente mal entendidas como sendo sinônimos, quanto na verdade não o são. Segundo Carvalho *et al.* (2000), as ferramentas de geoprocessamento são um termo amplo, que engloba diversas tecnologias de tratamento e manipulação de dados geográficos, por meio de programas computacionais. Dentre essas tecnologias se destacam: o sensoriamento remoto, a digitalização de dados, a automação de tarefas cartográficas, a utilização de sistemas de posicionamento global (GPS) e os Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Logo podemos concluir que o SIG é uma das ferramentas de geoprocessamento, a mais ampla delas, uma vez que pode englobar todas as demais. Entretanto nem toda ferramenta de geoprocessamento é um SIG.

Os Sistemas de Informação Geográficas são sistemas computacionais que permitem realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes em um banco de dados georeferenciados (Câmara *et al.*, 2006).

A essência do presente trabalho consistiu em utilizar ferramentas de geoprocessamento para a obtenção dos temas determinantes a favorabilidade, assim como a integração destes em SIG. Trabalhos como de Barreto *et al* (2000) e outros, utilizam SIG para a criação de mapas. Este método permite trabalhar com diversos temas devidamente georeferenciados simultaneamente, constituindo um método eficiente para a análise de aquíferos assentados em terrenos cristalinos.

3 ÁREA DE ESTUDO

3.1 Localização

A área de estudo compreende a Bacia Hidrográfica do Rio São Domingos (BHRSD) e esta se localiza no Noroeste do Estado do Rio de Janeiro englobando o município de São José de Ubá integralmente e parte do Município de Itaperuna. (Figura 1)

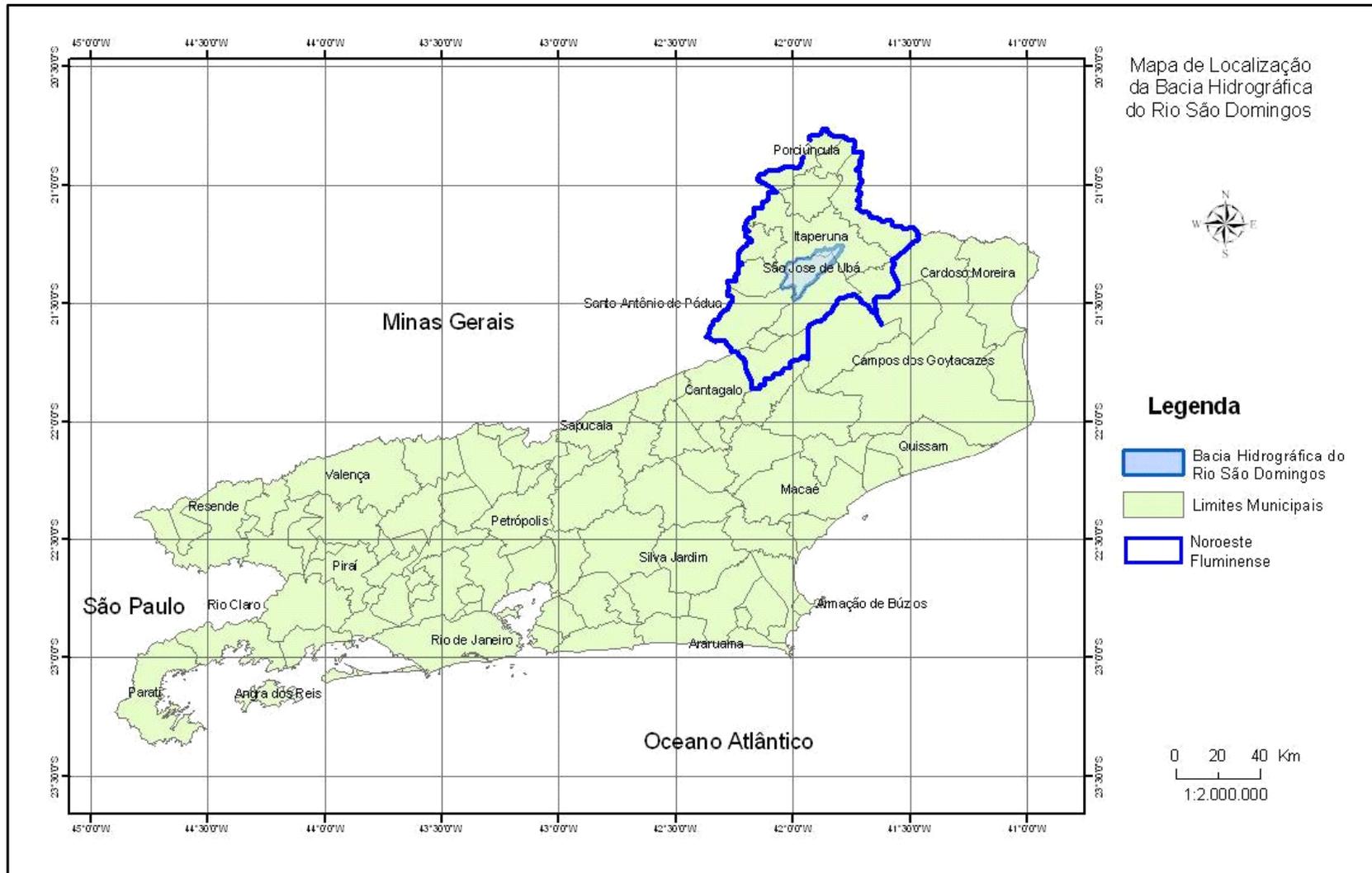


Figura 1 – Mapa de localização da BHRSD.

3.2 Aspectos Fisiográficos

O clima da região estudada assim como todo o Noroeste e Norte do estado segundo o critério de Köppen (1948) é o tropical quente e úmido (Aw), com períodos de secas no inverno e chuvosos no verão. Ortega *et al.* (2006) realizaram o balanço hídrico da região compreendendo dados de estação pluviométrica instalada nas proximidades do município de São José de Ubá no período de 1960 a 1990, comprovando a maior concentração de chuvas no verão e insuficiência de regime hídrico no inverno.

Segundo Ortega *et al.* (2006) a precipitação média anual na BHRSD é de 1171,8 mm, sendo dezembro o mês mais chuvoso, com 218,8 mm, com 19% da precipitação anual, e julho o mês de menor precipitação. A temperatura média anual do ar é de 23,1°C, sendo fevereiro o mês com maior valor.

Quanto à geomorfologia da área de estudo segundo Dantas (2000), a área estudada está situada na unidade geomorfológica Depressão Interplanáltica com Alinhamentos Serranos do Norte-Noroeste Fluminense. Esta unidade consiste em uma zona colinosa, alternada bruscamente por alinhamentos serranos de direção predominante WSW-ENE. O Norte do Estado é caracterizado por essa unidade e a direção preferencial dos alinhamentos serranos mantém semelhança morfológica e estrutural com os alinhamentos que ocorrem no médio vale do rio Paraíba do Sul. Vale a pena destacar que esses alinhamentos serranos apresentam alta vulnerabilidade à erosão devida às elevadas amplitudes de relevo e às vertentes íngremes somadas à retirada de cobertura vegetal.

Os principais tipos de solos na BHRSD obtidos do mapa do CPRM (2000), presentes na BHRSD são Cambissolo Álico, Latossolos vermelhos –escuro álico e solos litólicos eutróficos.

Segundo Lumbreras *et al.* (2006), de forma generalizada, pode-se dividir na bacia a ocorrência de dois domínios de solos ligados às suas feições geomorfológicas regionais. Um domínio restrito às regiões mais baixas (várzeas), representados por Gleissolos e Cambissolos e Planossolos nos sedimentos coluvionares e colúvio-aluvionares nas regiões mais elevadas. Conseqüentemente, a deficiência hídrica regional é minimizada nas baixadas. Nas regiões de morros e montanhas, predominam os argissolos vermelho e vermelho-amarelos que gradam para neossolos litólicos nos relevos mais acentuados. Regiões essas de maior erodibilidade e de deficiência hídrica.

A hidrogeologia da região é caracterizada pela presença de aquíferos fraturados e aquíferos sedimentares rasos, sendo que 57,4 % da população utilizam água oriunda de poço ou nascente. Segundo Barreto *et al.* (2000), o Noroeste Fluminense apresenta favorabilidade hidrogeológica alta, representada pelo Sistema Aquífero Cristalino, que possui vazões médias de 16,50 l/h, valor de vazão bastante elevado se tratando de aquífero fraturado. Ferreira *et al.* (2006) através da técnica de Sondagem Elétrica Vertical (SEV), determinaram o aquífero sedimentar da BHRSD (sedimentos aluviais quaternários), caracterizado por uma camada subhorizontal com espessuras que variam de 2 a 12 metros e o aquífero fissural apresentando faixas de 30 a 50 metros de profundidade, com fraturas apresentando *trend* SW-NE. Mansur *et al.* (2006) definiram um possível controle geológico estrutural entre as áreas de mais alto e baixo nível piezométrico da BHRSD, mostrando a importância do aquífero cristalino no comportamento da água subterrânea.

A taxa de urbanização em São José de Ubá é muito baixa, 36,3%, se comparada com a taxa de toda a região Noroeste Fluminense. Fidalgo & Abreu (2004) diagnosticaram o uso do solo para a BHRSD, onde a classe predominante é a de pastagens.

3.3 Geologia Regional e Local

A região Noroeste Fluminense é constituída por terrenos pré-cambrianos sujeitos a metamorfismo de alto grau incluídos no contexto geotectônico que deu origem à Faixa Ribeira (Almeida 1973 *apud* Tupinambá *et. al.*, 2006). A porção central da Faixa Ribeira apresenta a uma divisão entre domínios ocidental e oriental, sendo que no primeiro ocorrem para e ortognaisses milonitizados com vergência para NW do Domínio Tectônico Juiz de Fora, e na porção oriental aparece o Domínio Tectônico Cambuci, caracterizado por dobramentos verticais a sub-verticais de alto grau de metamorfismo em para e ortognaisses.

Segundo Tupinambá *et al.* (2006), a BHRSD está instalada ao longo do contato tectônico que divide os terrenos ocidental e oriental (Figura 2). A porção Norte e as cabeceiras da bacia são compostas pelo Domínio Tectônico Juiz de Fora e a vertente sul é composta por rochas do Domínio Cambuci. Dessa forma, a BHRSD apresenta um importante contato tectônico onde a vertente norte apresenta rochas granulíticas do Complexo Juiz de Fora, de maior resistência à erosão, e a vertente sul é composta por leucharnoquitos do Domínio Cambuci, que possuem maior suscetibilidade à erosão, por apresentar composição quartzo-feldspática e elevado grau de milonitização.

A seguir, a descrição dos dois domínios que ocorrem na BHRSD descritos por Tupinambá *et. al.* (2006):

Domínio Juiz de Fora: contém rochas de grão médio a grosso, esverdeadas a escuras, com ortopiroxênio (hiperstênio), pouca biotita e hornblenda, quartzo acima de 20% e concentração variada de feldspato potássico e plagioclásio, classificadas como enderbitos e charnoquitos gnaissificados. Os afloramentos se encontram peculiarmente na forma de lajes convexas que sugerem caráter isotrópico da rocha. Entretanto, a petrografia indica a presença de uma fina foliação milonítica, que se intensifica em certos locais. A relativa ausência de

minerais micáceos explica, portanto, a ausência de uma planaridade marcante nos afloramentos. Este fato propicia grau elevado de resistência à erosão das rochas deste complexo, em especial ao longo da BHRSD.

Domínio Cambuci: aflora em sua maior parte como uma rocha leucocrática homogênea, de composição granítica a granodiorítica, com cristais isolados de biotita, piroxênio e anfibólio. Seus planos de foliação se intensificam nas proximidades de zonas de cisalhamento, constituindo lâminas submilimétricas de biotita e opacos, fitas de quartzo centimétricas e por domínios quartzofeldspáticos. Apresenta enclaves de rochas máficas, hornblenda gnaisses bandados, granada gnaisses e rochas calcissilicáticas. Composicionalmente pode ser caracterizada como uma rocha quartzo-feldspática. Apresenta elevada alteração na maioria dos afloramentos. Sua foliação é pronunciada e se desenvolve a partir de fitas de quartzo e feldspato, comprovando o caráter milonítico da rocha.

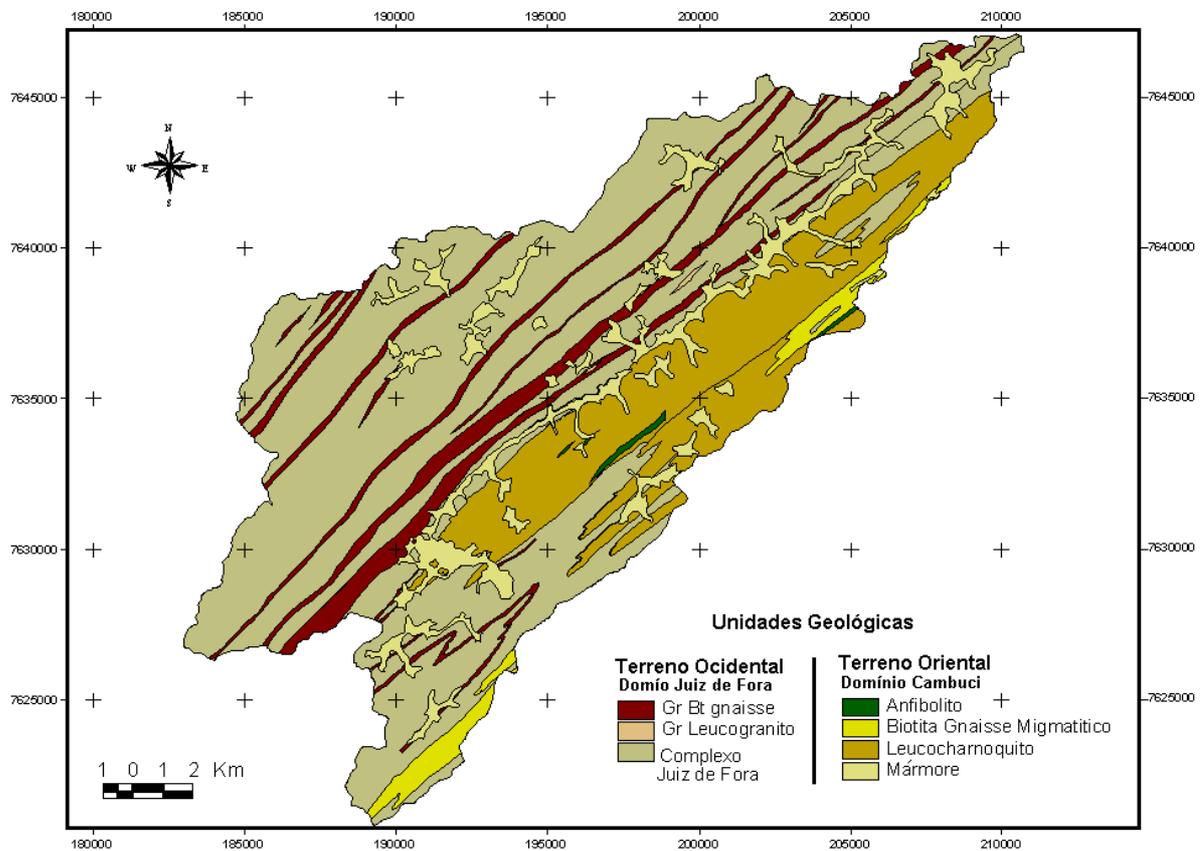


Figura 2- Mapa Geológico da BHRSD (Modificado de Tupinambá *et. al.*, 2006):

4. METODOLOGIA

4.1 Favorabilidade Hidrogeológica

A primeira etapa do trabalho consistiu na discussão dos fatores condicionantes da favorabilidade hidrogeológica, e um levantamento bibliográfico que permitiu a obtenção dos fatores abordados. No presente estudo, a palavra tema se refere ao fator condicionante a favorabilidade hidrogeológica. Os temas escolhidos foram: densidade de fraturas, litologia, tipo de solo, uso e cobertura do solo e declividade. Os temas declividade, uso e cobertura do solo foram obtidos da Embrapa Solos – RJ. O mapa litológico foi cedido pelo DRM, (Tupinambá *et al.* 2006). O mapa de solos foi obtido na CPRM. Estes mapas foram igualmente vetorizados em ambiente SIG (Arc GIS 9.0) para a sua incorporação no Banco de Dados Geográficos (BDG).

O tema Densidade de Fraturas foi confeccionado para o presente estudo, gerado a partir da Imagem Landsat 7 ETM+ que serviu de base para a vetorização de lineamentos estruturais utilizando a ferramenta estatística “ponderador de densidade Kernel”, que gera áreas de influência de acordo com a largura e quantidade de fraturas, onde foi possível elaborar o mapa de densidade de fraturas. O mapa de densidade de fraturas foi igualmente integrado ao BDG juntamente com os outros temas.

Com os temas escolhidos e devidamente vetorizados, georreferenciados e incluídos no BDG, foi possível gerar uma matriz, que recebeu o nome de Matriz de Favorabilidade Hidrogeológica. Essa matriz representa os temas considerados importantes para favorabilidade e suas respectivas classes.

Com a Matriz de Favorabilidade devidamente organizada, transformou-se esta em questionários. Tais questionários foram aplicados a profissionais da área, a fim de que estes

pudessem atribuir pesos aos temas e notas às classes. Cada um, com sua experiência, contribuiu no estudo, elegendo a nota mais adequada a partir do conhecimento e experiências adquiridas. Na tabela 1 é possível observar a matriz de favorabilidade e as notas atribuídas para os temas e classes.

Uma vez com as notas e pesos estabelecidos, esses dados foram tabulados em ambiente SIG e no ArcGIS 8.3 foi utilizada a ferramenta de interseção (*intersect*) onde se realizou a sobreposição dos temas. Os temas tabulados e sobrepostos, facilitou a realização do cálculo do índice de favorabilidade que obedeceu a seguinte expressão.

(4.1)

$$\text{ÍNDICE DE FAVORABILIDADE} = (P_{\text{DENSIDADE FRAT.}} \times N_{\text{DENSIDADE FRAT.}}) + (P_{\text{TIPO DE SOLO}} \times N_{\text{TIPO DE SOLO}}) + (P_{\text{LITOLOGIA}} \times N_{\text{LITOLOGIA}}) + (P_{\text{USO E COBERTURA}} \times N_{\text{USO E COBERTURA}}) + (P_{\text{DECLIVIDADE}} \times N_{\text{DECLIVIDADE}}).$$

Onde P é o peso de cada tema, e N são as notas atribuídas a cada classe, utilizadas para a Análise Multicritério.

No cálculo do Índice de Favorabilidade, ao se trabalhar com variadas notas obtidas por diversas opiniões, foram utilizados dois métodos estatísticos de tendência central para definir os pesos e notas finais que seriam utilizadas na elaboração do Índice. Utilizaram-se os valores de média e mediana, para a confecção dos Índices de Favorabilidade e, como resultado, dois mapas de favorabilidade foram obtidos.

Os Índices de Favorabilidade final, estes foram subdivididos em 5 classes distintas para a realização da análise de favorabilidade: muito pouco fraturado, pouco fraturado, moderadamente fraturado, fraturado e muito fraturado. Foi possível a partir dessa subdivisão de classes elaborar o *Layout* final, tendo como resultado duas cartas de favorabilidade, uma com valores de média e outra com valores de mediana.

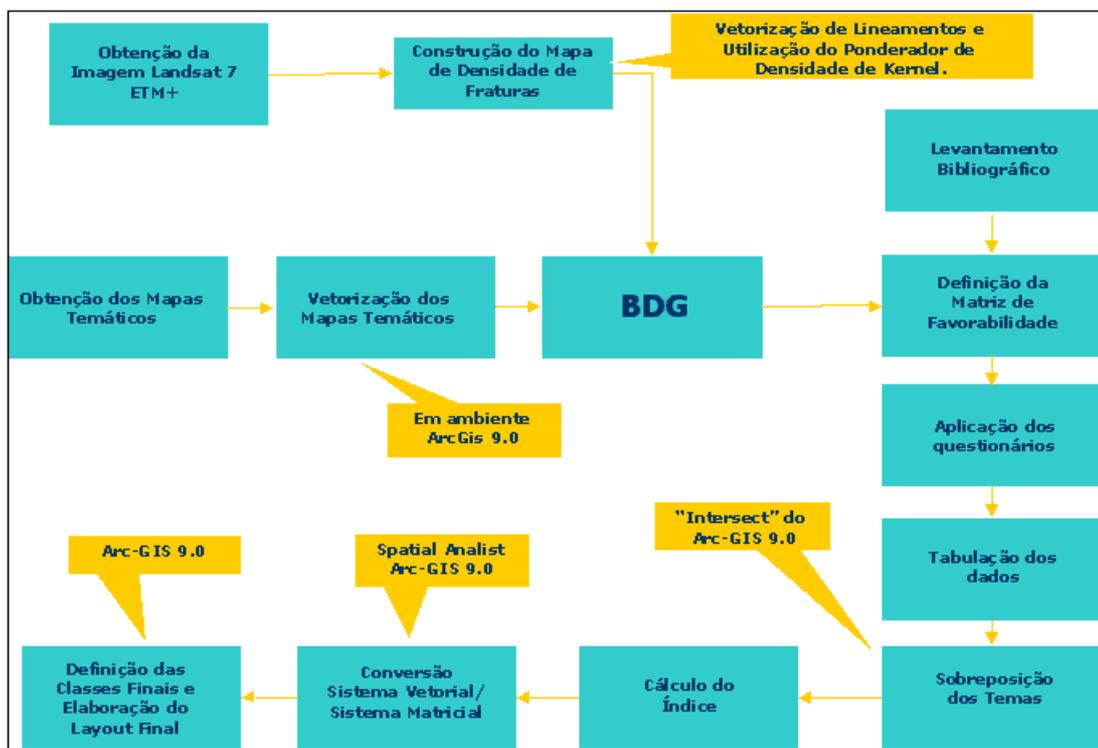
Tabela 1 – Matriz de Favorabilidade Hidrogeologica contendo a média e a mediana das notas atribuídas aos pesos e às classes.

MATRIZ DE FAVORABILIDADE	Nota(Média)	Nota(Mediana)
Densidade de fraturas	9,11	10,00
Litologia	5,89	7,00
Tipo de solo	5,33	6,00
Declividade	6,67	8,00
Uso e cobertura	4,67	5,00
Tema: Densidade de Fraturas		
Substrato Muito Fraturado	9,89	10,00
Substrato Fraturado	8,44	8,00
Substrato Moderadamente Fraturado	6,78	7,00
Substrato Fraturado	4,89	4,00
Substrato Muito Pouco Fraturado	3,56	2,00
Tema: Tipo de Solo		
Cambissolo Álico	6,44	7,00
Latossolo Vermelho-Escuro Álico	6,67	7,00
Solos Litólicos Eutróficos	6,22	5,00
Tema: Litologia		
Granada Biotita Gnaisse	5,90	6,00
Leucogranito	3,50	3,00
Complexo Juiz de Fora	3,50	4,00
Leucocharnoquito	7,50	8,00
Anfibolito	4,50	4,00
Biotita gnaisse migmatito	6,50	6,00
Mármore	7,25	7,00
Tema: Uso e Cobertura do Solo		
Pastagens	6,22	5,00
Área Urbana	2,56	3,00
Floresta Secundária (Mata Alterada)	7,44	8,00
Solo Exposto	5,44	5,00
Afloramento Rochoso	5,00	5,00
Tema: Declividade		
Declividade Alta (>45%)	3,56	4,00
Declividade Moderada (15-30%)	5,89	6,00
Declividade Baixa (5-15%)	7,89	8,00
Declividade Muito Baixa (< 5%)	9,22	10,00

De acordo com as notas finais atribuídas aos temas e suas respectivas classes pode-se dizer que na determinação da favorabilidade hidrogeológica obedece a seguinte hierarquização: densidade de fraturas >declividade>litologia>tipo de solo>uso e cobertura do solo.

Na Tabela 2 é apresentado o fluxograma de atividades para a confecção do mapa de favorabilidade hidrogeológica

Tabela 2 – Fluxograma de Atividades para a confecção do Mapa de Favorabilidade Hidrogeológica da BHRSD.



4.2 Vulnerabilidade Hidrogeológica

Diante dos métodos estudados, como o DRASTIC e o GOD, nem todos os parâmetros utilizados se adequam à problemática do fluxo encontrado em aquíferos fraturados. As metodologias de determinação de índice de favorabilidade são mais difundidas para aquíferos porosos sedimentares livres, expostos à problemática de fontes contaminantes por hidrocarbonetos derivados de petróleo, por exemplo, quadro diferente da presente área de estudo. Na área de estudo em questão, trata-se de aquífero fraturado, sujeito à superexploração desordenada e a contaminantes derivados de pesticidas, como organoclorados e organofosforados, utilizados para agricultura. Dessa forma, foram estudados os itens de vulnerabilidade no item 2.3, de forma que é necessário definir a importância de

cada fator, gerando uma hierarquia que precederá uma nova metodologia de vulnerabilidade futuramente.

5. RESULTADOS

5.1 Favorabilidade Hidrogeológica

Como resultado do presente trabalho, temos dois mapas de favorabilidade hidrogeológica, um para os valores de média e outro para os valores de mediana (figuras 3 e 4). Comparando os dois resultados, verifica-se que o método aplicado com valores de mediana se mostram mais próximos à realidade, pois a avaliação hidrodinâmica no poços existentes mostra maior compatibilidade com os resultados da figura 5.

Observando os dois mapas de favorabilidade hidrogeológica da BHRSD pode-se dizer que existem dois domínios fortemente distintos. A porção central da bacia constitui a de maior favorabilidade, e nas cabeceiras uma tendência menos favorável. Isso pode ser explicado devido ao maior fraturamento nessa área, constituindo uma zona que bordeja o contato tectônico que divide o Domínio Juiz de Fora do Domínio Cambuci. Por sua vez o curso do Rio São Domingos ao longo da bacia está instalado ao longo desse contato tectônico, e as regiões próximas a esse contato são caracterizadas por falhas de empurrão limitando lentes de rochas milonitizadas com foliação subvertical. Esse quadro refletiu um maior número de lineamentos estruturais na porção central e, conseqüentemente, zonas de maior densidade de fraturas. Como o tema densidade de fraturas é o que recebe maior nota no presente estudo este quadro estrutural interferiu diretamente na maior favorabilidade nas regiões mais fraturadas.

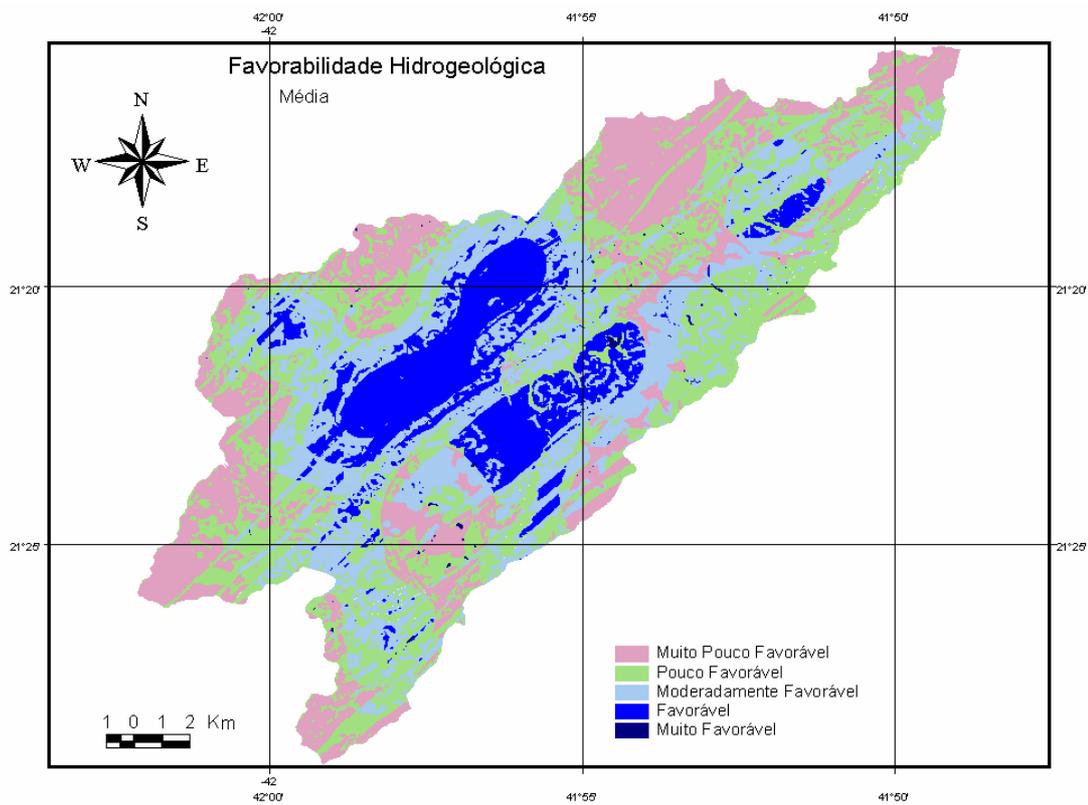


Figura 3 – Mapa de Favorabilidade Hidrogeológica com os valores de média.

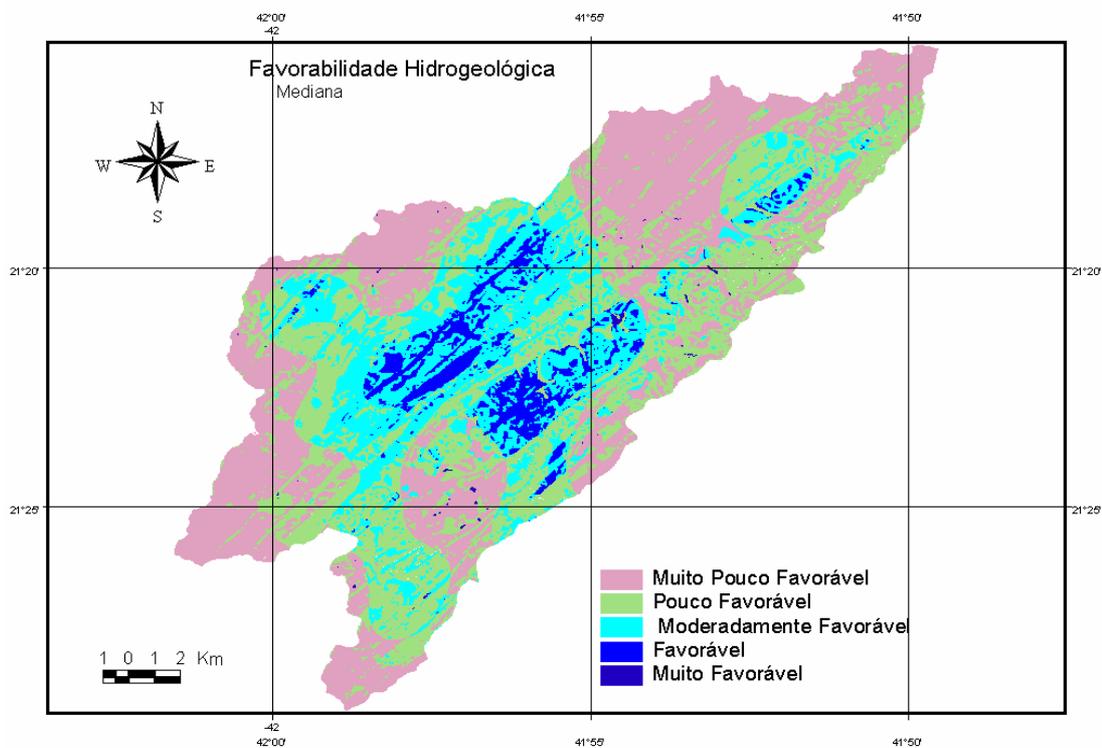


Figura 4 – Mapa de Favorabilidade Hidrogeológica com os valores de mediana.

Outro fator que reforça a maior favorabilidade na porção central, é que além de esta ser a mais fraturada, é composta por unidades geológicas que receberam as maiores notas dentro do tema litologia. Essas unidades são o Leucocharnoquito, mármore e biotita gnaisses que segundo Tupinambá *et al.* (2006), são rochas mais susceptíveis à erosão, devido a sua composição mineralógica e elevado grau de milonitização.

Por outro lado, as regiões menos favoráveis que constituem as cabeceiras da bacia são compostas por rochas do Complexo Juiz de Fora de caráter homogêneo, menos fraturadas e de maior resistência à erosão, apesar de miloníticas, além de apresentarem maior declividade contribuindo para uma menor favorabilidade.

Comparando os mapas de favorabilidade hidrogeológica com o mapa de vazões de poços profundos (figura 5), pode-se observar que as áreas centrais indicadas de maior favorabilidade coincidem com as maiores vazões. Entretanto, observando o mapa de vazões, nota-se que a localização dos poços profundos onde foram realizados os testes de vazão se restringe à área indicada como mais favorável, não existindo poços profundos nas áreas indicadas como de menor favorabilidade. Esse fato é coerente e reafirma a região como de menor favorabilidade, uma vez que a inexistência de poços nessa região é consequência da menor produtividade do aquífero cristalino.

A parte noroeste da BHRSD, região que compreende as localidades de Aré e Toiama, se mostrou, segundo o mapa, altamente desfavorável. Antes da execução do mapa, trabalhos de campo para levantamento de pontos de água e poços, mostraram que nessa região não existem poços, sendo altamente seca e inabitada.

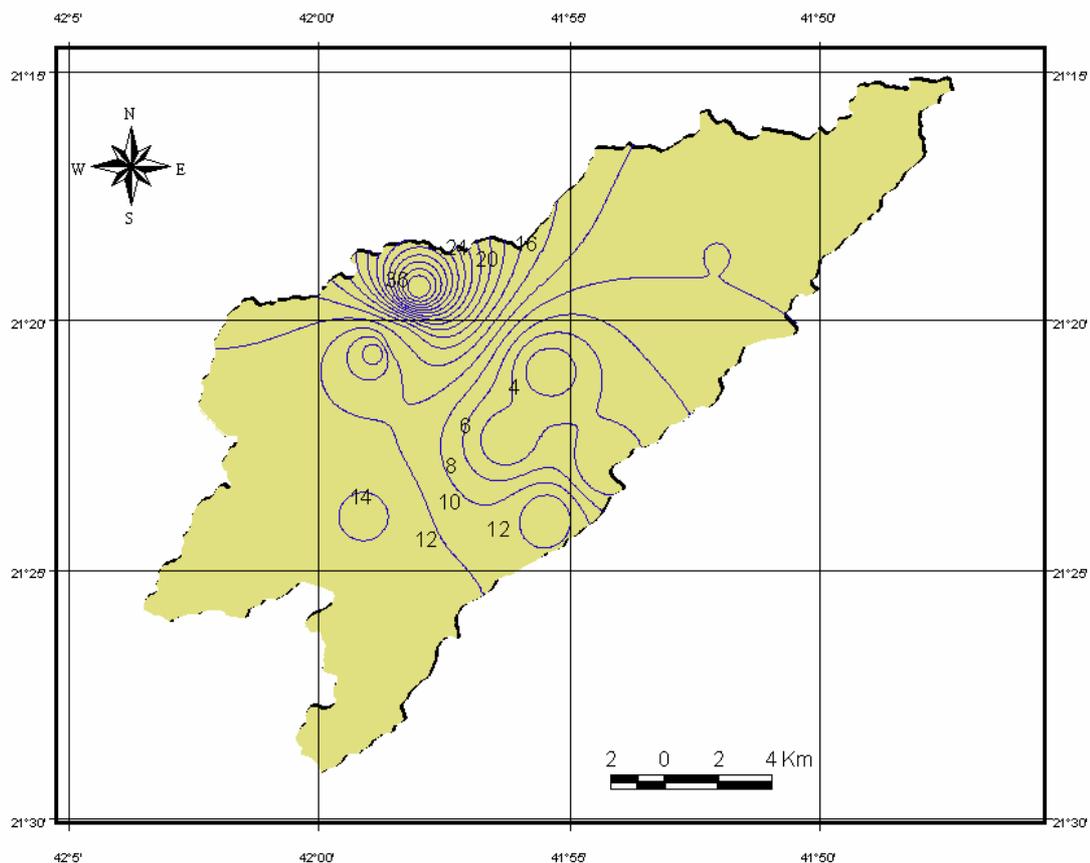


Figura 5 - Mapa de vazões dos poços profundos

Confrontando os mapas de favorabilidade hidrogeológica com a localização dos pontos de amostragem de água na região (figura 6), pode-se observar que a maior concentração de poços profundos e poços rasos se encontra nas zonas mais favoráveis à água subterrânea. Apesar de os poços rasos estarem diretamente ligados ao aquífero sedimentar estes se encontram instalados nos sedimentos aluvionares próximos às drenagens que na bacia são fortemente controladas por lineamentos estruturais; estes lineamentos, por sua vez, acarretam elevado índice de favorabilidade. Segundo Tupinambá *et al.* (2006), as estruturas e falhas apresentam em sua maior parte atitude subvertical, mostrando que, somando a cobertura sedimentar, essas drenagens controladas por estruturas representam uma relevante zona de recarga, apresentando maior favorabilidade e forte ligação entre o aquífero raso e o aquífero cristalino.

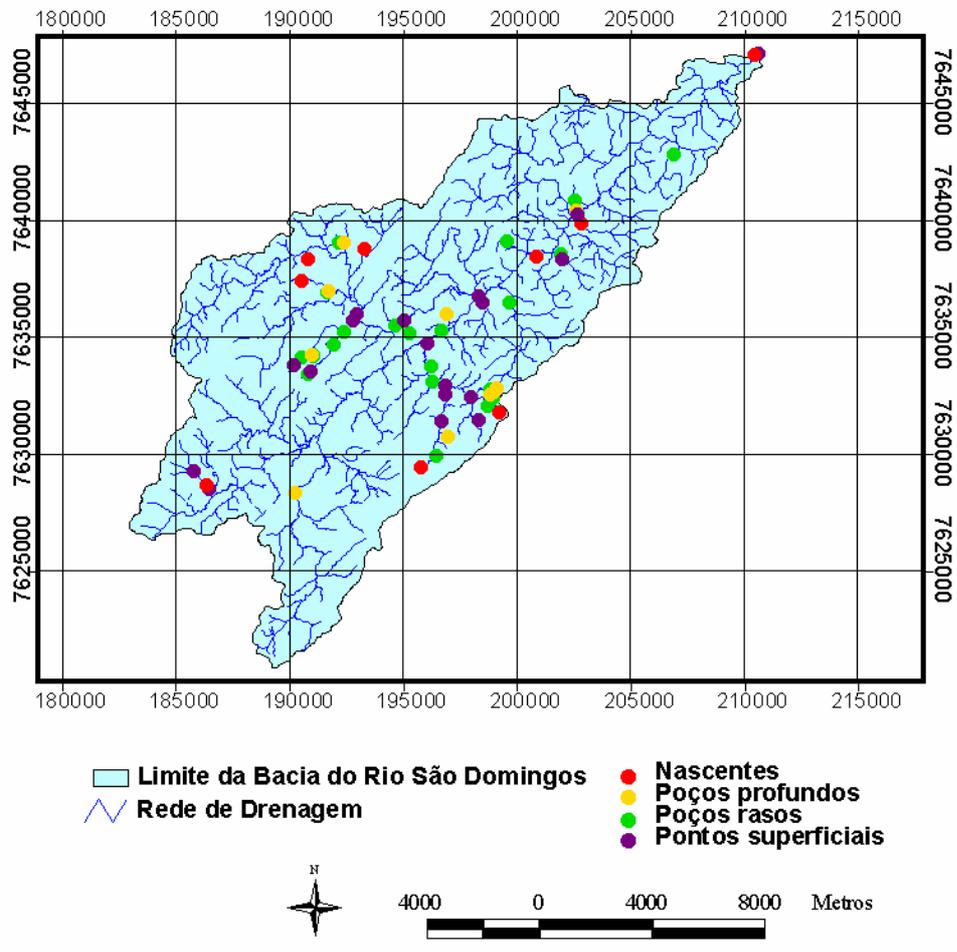


Figura 6 – Localização dos pontos de amostragem de água, classificados pelo tipo de corpo d’água (Prado *et al.*, 2005).

5.2 Vulnerabilidade Hidrogeológica

Como resultado do estudo dos fatores que determinam a vulnerabilidade hidrogeológica de aquíferos fraturados, foi realizada uma hierarquia na qual é definido em ordem decrescente. Estes temas devem futuramente ser integrados ao BDG através de ferramentas de

geoprocessamento a fim de que no futuro possam ser confeccionados cartas de vulnerabilidade.

Hierarquização proposta: densidade de fraturas > declividade > recarga do aquífero > tipo de solo > nível d'água > litologia.

6 CONCLUSÕES

Os resultados apresentados neste trabalho mostram que o modelo utilizado teve boa resposta no contexto regional da BHRSD. O mapa resultante dos valores de mediana das notas dos temas e das classes apresentou melhor resultado, comparado com a realidade vista em campo e através dos mapas de vazões de poços.

O *layout* final de favorabilidade indicou duas zonas distintas, sendo a porção central a mais favorável e nas cabeceiras da bacia menos favorável. Resultado este fortemente ligado ao contexto geológico-estrutural da BHRSD.

O confronto da carta de favorabilidade com o mapa de vazões de poços profundos e com o mapa de pontos de água cadastrados mostrou forte ligação, validando o método utilizado.

As variáveis estudadas para Favorabilidade Hidrogeológica podem ser utilizadas em uma metodologia de Vulnerabilidade Hidrogeológica, mostrando forte ligação entre esses dois temas. Pode-se concluir que as áreas indicadas como mais favoráveis também são as mais vulneráveis à contaminação do ponto de vista hidrogeológico.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLER, L.; BENNET, T.; LEHER, J.; PETTY, R. 1985. **DRASTIC: A standardized system for evaluation groundwater pollution potential using hydrogeologic settings.** USEPA Report .600/2-85/018.
- BARRETO, A. C. DA C. MONSORES, A.L.M. LEAL, A. de S. PIMENTEL, J. 2000. **Hidrogeologia do Estado do Rio de Janeiro**-Texto Explicativo do Mapa de Favorabilidade Hidrogeológica do Estado do Rio de Janeiro. CPRM/DRM.
- CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V.; MEDEIROS, J. S. 2006. Fundamentos epistemológicos da ciência da Geoinformação. In: CÂMARA, Gilberto; DAVIS, Clodoveu; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira (Ed.). *Introdução à ciência da Geoinformação*. São José dos Campos: INPE, 2001. p. 16. Publicado como: INPE-8565-PRE/4309. Disponível na biblioteca digital URLib: <http://mtc-12.sid.inpe.br/rep/sid.inpe.br/sergio/2004/04.19.14.42>. Acesso em: 12 jan. 2007.
- CARVALHO, M. S.; PINA, M. F.; SANTOS, S. M. 2000. **Conceitos Básicos de Informação Geográfica e Cartografia aplicado à Saúde**. Brasília: Organização Panamericana da Saúde, Ministério da Saúde, 124 p.
- CEZAR, H. DA S. 2001. **A Horticultura do Tomate e a Organização do Território em São José de Ubá- Noroeste Fluminense**. 135f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2001.
- CIDE- Centro de Informações e Dados do Rio de Janeiro. **Mapa Político do Estado do Rio de Janeiro**. Escala: 1: 450000.1997.
- COSTA, W. D. & SILVA, A. B. 2000. **Hidrogeologia dos Meios Anisotrópicos**. In: FEITOSA, F. A. C. & FILHO J. M. **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações**. Fortaleza: CPRM, ii, pp. 133-174.

- DANTAS, M. E. 2000. **Geomorfologia do Estado do Rio de Janeiro – Texto explicativo do Mapa Geomorfológico do Estado do Rio de Janeiro.** Escala 1: 50.000. Rio de Janeiro: CPRM, DRM/RJ, 60p.
- FERREIRA, C. R. C.; LA TERRA, E. F.; MENEZES, P. T. L. 2006. **Modelagem Geofísica para Água Subterrânea em Aquíferos Fissurais em São José de Ubá (RJ).** Workshop de integração de informações obtidas no âmbito do projeto PRODETAB AQUÍFEROS. Setembro de 2006
- FIDALGO, E. C. C, ABREU, B. M. 2004. **Uso de Imagens ASTER Para o Mapeamento do Uso e Cobertura da Terra da Bacia Hidrográfica do Rio São Domingos,RJ.** Rio de Janeiro: EMBRAPA SOLOS, 7p.
- FOSTER, S.; HIRATA, R. 1988. **Groundwater pollution risk assessment: a methodology using available data.** WHO-PAHO/HPE-CEPIS Technical Manual, Lima, Peru. 81pp,
- FREITAS, M. A. de. 2000. **Determinação do potencial hidrogeológico de rochas cristalinas através de técnicas de ferramentas de geoprocessamento.** *In:* I Congresso Mundial Integrado de Águas Subterrâneas- ABAS/ ALHSUD. Fortaleza.
- HIRATA,R 2001. **Oito perguntas e oito tentativas de respostas sobre vulnerabilidade à poluição de aquíferos.** Protección de acuíferos frente la contaminación: metodología. Toluca, México.
- LUMBRERAS, J. F.; NAIME, U. J.; MOTTA, P. E. F.; PALMIERI, F.; CARVALHO FILHO, A. de.; BARUQUI, A. M.; CALDERANO, S. B.; FIDALGO, E.C.C.; MOREIRA, D. M. de. 2006. **Solos da Bacia Hidrográfica do Rio São Domingos, Município de São José de Ubá e Itaperuna-RJ.** Workshop de integração de informações obtidas no âmbito do projeto PRODETAB AQUÍFEROS.
- MANSUR, K. L.; MARTINS, A. M.; MEDEIROS, F.; VIEIRA, H.; GOMES, L. C.; SILVEIRA, M. L. 2006. **Estágio Atual do Conhecimento sobre a Dinâmica da Água**

Subterrânea com Base no Monitoramento Piezométrico e na Geologia do Rio São Domingos-RJ. Workshop de integração de informações obtidas no âmbito do projeto PRODETAB Aqüíferos.

NOGUEIRA, F. J & SOARES, P. C.; 1996. **Análise da distribuição da água subterrânea em Curitiba através de ferramentas de geoprocessamento.** *In* : GIS Brasil, Curitiba, 1996, Anais.12p.

ORTEGA, A. G.; FIDALGO, E. C. C.; BASTOS, C. L.; ABREU, M. B. 2006. **Caracterização Climática da Bacia do Rio São Domingos.** Workshop de integração de informações obtidas no âmbito do projeto PRODETAB Aqüíferos.

PARALTA, E.A.; OLIVEIRA, M.M.; LBCZYNSKI, M.W.; RIBEIRO, L.F.; 2004. **Avaliação da Recarga do Sistema Aqüíferos dos Gabros de Beja Segundo Critérios Múltiplos- Disponibilidades Hídricas e Implicações Agro-Ambientais-** Simpósio de Recursos Hídricos dos Países de Língua Portuguesa.

PRADO, R.B.; MENEZES, J.M.; MANSUR, K. L.; MARTINS, A.A; FREITAS, P.; SILVA JUNIOR, G.C. DA; CARVALHO, L.G.; PIMENTA, T.S.; LIMA, L.A. 2005. **Parâmetros de qualidade de água e sua relação espacial com as fontes de contaminação antrópicas e naturais: Bacia Hidrográfica do Rio São Domingos-São José de Ubá,RJ.** *In*:XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos,2005, João Pessoa.

SOUZA,A. L. N.; FERNANDES, V. H.; CARVALHO, L. G.; ANTUNES, M. A. H. 2003. **Ferramentas de geoprocessamento para estudos de potencial hidrogeológico.** Congresso Brasileiro de Cartografia. Setembro de 2003.

TUPINAMBÁ, M.; HEILBRON, M.; ALMEIDA, J.; DUARTE, B.; NOGUEIRA, J. R.; GERALDES, M.; GUIA DE ALMEIDA, C.; MIRANDA, A.; MEDEIROS, F.; MANSUR, K. 2006. **Base Geológica da Bacia Hidrográfica do Rio São Domingos.**

Workshop de integração de informações obtidas no âmbito do projeto PRODETAB
AQÜÍFEROS.

VIDAL, C. A.; ROSTIROLLA, S. P; KIANG, C. H. 2005. **Análise de favorabilidade para a
exploração de água subterrânea na região do médio rio Tietê, Estado de São Paulo.**
Revista Brasileira de Geociências. 475-481.