

AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE À CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA BACIA
HIDROGRÁFICA TETÊ/JACARÉ – UGRHI-13

Claudio B. B. LEITE

*Doutor em Geociências e Meio Ambiente, Professor Adjunto da UNIFESP, Campus de Diadema/SP,
claudio.leite@unifesp.br*

Maria José A. N. HENRIQUES

Geóloga, Núcleo de Águas Subterrâneas, LNEC, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, mjhenriques@lneec.pt

Claudia Z. TOPOROVSKI

Engenheira Ambiental, IPT, Av. Prof. Almeida Prado, 532, 05508-901, São Paulo, claudiaz@ipt.br

João Paulo LOBO FERREIRA

*Doutor em Engenharia Civil, Núcleo de Águas Subterrâneas, LNEC, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa,
lferreira@lneec.pt*

RESUMO

Apresenta-se os resultados preliminares consolidados do projeto “Avaliação da vulnerabilidade e risco de contaminação das águas subterrâneas”, Processo 476868/2006-8, Edital MCT/CNPq 02/2006 – Universal, desenvolvido em parceria entre o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT (São Paulo/Brasil) e o Laboratório Nacional de Engenharia Civil – LNEC (Lisboa/Portugal), no âmbito do projeto CIAS (Cooperação Internacional em Águas Subterrâneas). As atividades desenvolvidas neste projeto objetivam o estudo, a adaptação, a aplicação e a consolidação de metodologia apropriada para a avaliação de vulnerabilidade e risco de contaminação das águas subterrâneas, considerando os procedimentos disponíveis na literatura, em bacia hidrográfica piloto situada no Estado de São Paulo, Brasil (Bacia Hidrográfica Tietê/Jacaré – UGRHI-13).

Nesta comunicação apresenta-se os resultados da aplicação da metodologia DRASTIC, desenvolvida por Aller *et al.* (1985, 1987), utilizando-se dados secundários disponíveis, com a utilização do peso Normal da metodologia, 27,1% da área da Bacia apresentam vulnerabilidade baixa, 63,6% vulnerabilidade média (moderada) e 9,4% vulnerabilidade alta, e que considerando a utilização do peso Pesticida, o estudo indicou que 1,9% da área da Bacia apresenta vulnerabilidade baixa, 60,2% vulnerabilidade média (moderada), 36,8% vulnerabilidade alta e 1,0% vulnerabilidade muito alta.

Em termos formacionais, o estudo indicou que nas condições de ocorrência dos aquíferos na Bacia, somente os Aquíferos Serra Geral e Sedimentos Aluvionares apresentam vulnerabilidade Alta, respectivamente 21,3% e 14,5% da área de ocorrência destas unidades. Para as condições de uso agrícola todas as unidades aquíferas da Bacia apresentam percentuais significativos de vulnerabilidade Alta, e os aquíferos Botucatu, Sedimentos Aluvionares e Pirambóia apresentam vulnerabilidade Muito Alta, respectivamente 4,6%, 5,6% e 1,9% da área de ocorrência destas unidades.

Como recomendação, considerando a predominância de vulnerabilidades Média para a condição não agrícola e Média e Alta para condições de uso agrícola para o território da Bacia Hidrográfica do Tietê/Jacaré, propõe o aprofundamento dos estudos para o aprimoramento dos índices de vulnerabilidade, e a avaliação criteriosa e cuidadosa frente a utilização ou instalação de empreendimentos com utilização de grandes cargas contaminantes.

Palavras-chave: Vulnerabilidade; DRASTIC, contaminação; aquíferos.

1 INTRODUÇÃO

As águas subterrâneas, pelo modo de ocorrência na natureza, apresentam potencialidades a ser preservadas, não apenas quanto a quantidade, mas também quanto a qualidade. Essas potencialidades resultam da sua resiliência a efeitos de flutuações climáticas sazonais e a processos de contaminação, apresentando uma forte estabilidade tanto quanto reserva de água (quantidade), como da qualidade oferecida pelos processos naturais de purificação.

Não obstante, a natureza do processo de recarga das águas subterrâneas implica na passagem da água da superfície através do perfil do solo, o que resulta que a sua quantidade e qualidade esta intimamente ligada ao uso e ocupação do solo e de todas as atividades e pressões existentes na superfície, para além das características naturais do meio.

Neste contexto, importa-se avaliar as implicações em termos de riscos e de oportunidades, no estado quantitativo e qualitativo das águas subterrâneas como forma de garantir este recurso para usos estratégicos.

No Estado de São Paulo, cerca de 50% dos municípios paulistas são abastecidos integralmente por águas subterrâneas, outros 25% são abastecidos parcialmente por elas e apenas 25% dos municípios são abastecidos apenas por água superficial (www.abas.org/noticias_d.php?id_news=53). Embora predominem entre estes últimos, os municípios com menos de dez mil habitantes, cidades como Ribeirão Preto, Matão, Tupã, Andradina, Sertãozinho, Cajamar e Lins utilizam integralmente a água subterrânea para seu abastecimento.

As potencialidades a ser preservadas e a crescente utilização das águas subterrâneas para abastecimento público remetem para a importância acerca da proteção destes aquíferos diante do aumento intensivo da ação antrópica, e conseqüentes atividades potencialmente poluidoras.

Considerando as dificuldades técnicas e os altos custos envolvidos na recuperação de aquíferos contaminados, a melhor solução para a garantia da qualidade desses recursos consiste na utilização de práticas comprometidas com a sua preservação. Em consequência, projetos que contemplem estudos sobre a susceptibilidade natural dos aquíferos e os riscos de contaminação frente a usos diversos, destacam-se como importantes instrumentos no gerenciamento da ocupação do espaço físico, objetivando a garantia da qualidade e sustentabilidade dos recursos hídricos subterrâneos, entendidos como reservas estratégicas para abastecimento de gerações atuais e futuras e, portanto, com um grande valor econômico e social.

2 O MÉTODO UTILIZADO

O conceito de vulnerabilidade à contaminação foi introduzido no início dos anos 60 na França e Estados Unidos (Legrand, 1964, 1965 e 1970; Margat, 1968; Albinet & Margat, 1970), para qualificar o grau de proteção que o ambiente natural fornece contra o acesso de contaminantes às águas subterrâneas.

Nas décadas seguintes vários outros autores ampliaram essa discussão, propondo novas abordagem e procedimentos para a avaliação da vulnerabilidade de aquíferos (Taltasse, 1972; Aller *et al.*, 1985 e 1987; Bachmat & Collin, 1987; Foster, 1987; Foster & Hirata, 1988; Civita *et al.*, 1990; Lobo Ferreira, 1998; Chachadi & Lobo-Ferreira, 2001; Lobo-Ferreira & Oliveira, 2004; Stigter *et al.*, 2006).

No final da década de 90 Hirata & Rebouças (1999) apresentaram uma relação dos principais métodos disponíveis para a determinação da vulnerabilidade e perigo de contaminação de aquíferos, citando Le Grand, 1964 e 1983; Taltasse, 1972; Hargerty *et al.*, 1973; Philips *et al.* 1977; Kufs, 1980; Western Michigan University, 1981; Caldwell *et al.*, 1981; Aller *et al.*, 1985; Rao *et al.*, 1985; Carter *et al.*, 1987; Foster & Hirata, 1988; Civita *et al.*, 1990; Adams & Foster, 1992.

Vrba e Zaporozec (*ob. cit.*) apresentaram uma revisão síntese das definições propostas na "International Conference", onde estão incluídas as formuladas por Bachmat e Collin (1987), Foster (1987) e Committee on Techniques for Assessing Ground Water Vulnerability (1993), entre outras, propondo uma definição final de vulnerabilidade como "uma propriedade intrínseca do sistema de águas subterrâneas que depende da sensibilidade do sistema frente aos impactos humanos e/ou naturais" (vulnerabilidade intrínseca).

A vulnerabilidade intrínseca refere-se, portanto, à vulnerabilidade da água subterrânea aos contaminantes resultantes das atividades antrópicas ou naturais, e pode ser definida como a facilidade com que um contaminante introduzido na superfície do terreno pode atingir e se difundir na água subterrânea (Margat 1968; Vbra & Zaporozec 1994; Duijvenbooden & Waegeningh, 1987). É uma propriedade relativa, adimensional e não-mensurável que depende das características do aquífero bem como das características do ambiente geológico e hidrogeológico como a zona vadosa, o solo, o relevo, a taxa de recarga, etc. (Vbra & Zaporozec, *ob. cit.*).

Lobo Ferreira (1998) destaca a importância de se reconhecer que o mapeamento da vulnerabilidade de um aquífero depende também do tipo de poluente potencial, isto é, a água subterrânea pode ser muito vulnerável a uma carga de nitratos, originada por práticas agrícolas incorretas, e, no entanto ser pouco vulnerável a cargas patogênicas (devido à degradação natural dos agentes patogênicos). Considerando, portanto, esta realidade, é cientificamente defensável avaliar a vulnerabilidade à poluição em relação a casos específicos de poluição, como nutrientes, poluição de origem orgânica, metais pesados, etc. (vulnerabilidade específica).

Este ponto de vista já foi expresso por vários outros autores, nomeadamente por Foster, (1987), e trabalhos de mapeamento de vulnerabilidade específica já foram desenvolvidos, dentre outros, por Canter *et al.* (1987), para a poluição por nitratos de origem agrícola.

Reconhecendo que o mapeamento específico de vulnerabilidade é do ponto de vista científico mais consistente, verifica-se, no entanto, que em geral a quantidade de dados disponíveis nem sempre são suficientes para a elaboração do mapeamento específico. Torna-se assim necessário optar por conceitos mais adequados à utilização dos dados, em geral, disponíveis. Resultam daí, as proposições de vários sistemas de avaliação e de mapeamento da vulnerabilidade, como por exemplo, os propostos por Albinet & Margat (1970), Haertle (1983), Aller *et al.* (1987) e Foster (1987).

Alguns desses sistemas incluem *índices de vulnerabilidade* formados por parâmetros hidrogeológicos, morfológicos e outras formas de parametrização das características dos aquíferos, de um modo bem definido. A adoção de índices de vulnerabilidade tem a vantagem, em princípio, de eliminar ou minimizar a subjetividade inerente aos processos de avaliação.

Com esta abordagem, identifica-se o modelo baseado em índices desenvolvido por Aller *et al.* (1985, 1987) para a Agência de Protecção Ambiental dos Estados Unidos, denominado DRASTIC, acrónimo dos sete termos em inglês envolvido na avaliação (**D**ePTH to water, **R**echarge, **A**quifer media, **S**oil media, **T**opography, **I**mpact of vadose zone media, and hydraulic **C**onductivity of the aquifer) e que vem se transformando em um dos modelos mais amplamente utilizado/considerado por especialistas e pesquisadores.

2.1 O Método DRASTIC

O método DRASTIC foi desenvolvido a partir dos pressupostos (Aller *et al.*, 1987):

- 1) contaminante é introduzido na superfície do terreno;
- 2) o contaminante é transportado verticalmente até a zona saturada do o aquífero pela água de infiltração;
- 3) o contaminante tem a mobilidade da água; e
- 4) a área mínima avaliada pelo DRASTIC é de 0,4 km².

O índice DRASTIC corresponde ao somatório ponderado dos valores correspondentes aos parâmetros ou indicadores hidrogeológicos (Aller *et al.*, 1987): D – Profundidade do Topo do Aquífero; R – Recarga do Aquífero; A – Material do Aquífero; S – Tipo de Solo; T – Topografia; I – Influência da Zona Vadosa; C – Condutividade Hidráulica do Aquífero.

A vulnerabilidade surge assim como um conceito que permite integrar vários parâmetros caracterizadores do meio subterrâneo e da sua especificidade (Figura 01). Cada um dos sete parâmetros DRASTIC foi dividido quer em escalas quer em tipos de meio significativos que condicionam o potencial de poluição. A cada uma das divisões atribuiu-se um índice que varia entre 1 e 10, exceto para o índice R que varia entre 1 e 9, e cujo valor se relaciona diretamente com o potencial de poluição.

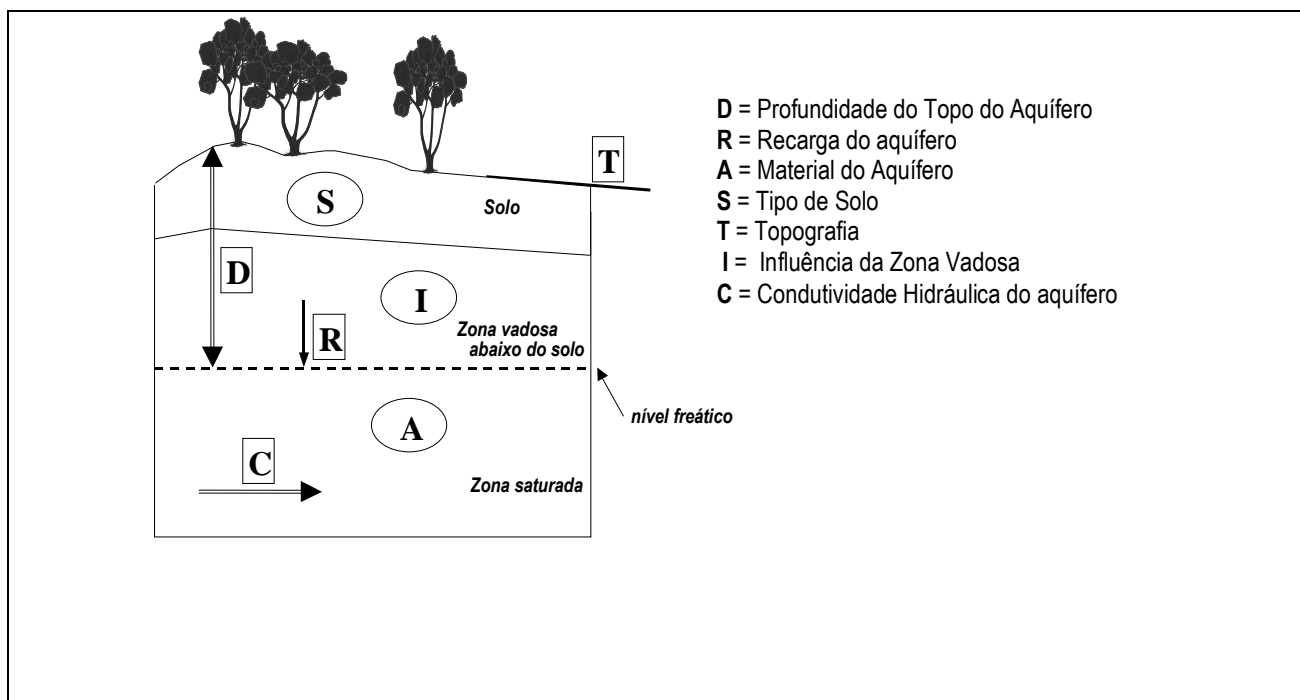


Figura 01 - Parâmetros incorporados no método DRASTIC (adaptado de OLIVEIRA, 2002)

Considerando a importância relativa de cada parâmetro, Aller *et al.* (1987) estabeleceram pesos específicos para cada Índice (Tabela 01).

Tabela 01 - Pesos para cálculo do Índice de Vulnerabilidade segundo Aller *et al.* (1987).

| Parâmetro | D | R | A | S | T | I | C |
|-------------------------|---|---|---|---|---|---|---|
| Peso DRASTIC | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 5 | 3 |
| Peso DRASTIC PESTICIDAS | 5 | 4 | 3 | 5 | 3 | 4 | 2 |

O índice de vulnerabilidade DRASTIC é obtido por meio da seguinte expressão:

$$DRASTIC = D_p \times D_i + R_p \times R_i + A_p \times A_i + S_p \times S_i + T_p \times T_i + I_p \times I_i + C_p \times C_i$$

onde i é o índice atribuído ao elemento em causa e p é o seu peso.

Este procedimento gera valores para o índice de vulnerabilidade (Tabela 02), variando entre 23 (mínima vulnerabilidade) até 226 (máxima vulnerabilidade) e para áreas com atividades agrícolas valores variando entre 29 (mínima vulnerabilidade) até 256 (máxima vulnerabilidade).

2.2 Descrição dos Índices DRASTIC

Apresenta-se a seguir uma síntese dos vários parâmetros considerados na avaliação da vulnerabilidade segundo Aller *et al.* (1985, 1987)

Índice D - Profundidade do Nível d'Água

A profundidade do Nível d'Água condiciona a espessura de material que um poluente terá que atravessar para atingir a zona saturada do aquífero. Num aquífero livre, a profundidade é a distância da superfície do terreno até o nível freático. No caso de aquífero confinado, a profundidade é a distância ao topo do aquífero. No caso de aquífero semi-confinado deve-se optar entre a distância ao nível freático ou ao topo do aquífero.

Índice R - Recarga do Aquífero

A recarga do aquífero condiciona o transporte de um poluente na zona não saturada e a disponibilidade de água para processos de dispersão e diluição tanto na zona vadosa como na zona saturada. De uma maneira geral, quanto maior a recarga, maior será o potencial de poluição de águas subterrâneas. No entanto, um grande volume de recarga favorece a diminuição do potencial de poluição pois possibilita a diluição das substâncias poluentes.

Índice A - Material do Aquífero

O Índice A - Material do Aquífero, refere-se à capacidade do aquífero para atenuar os efeitos dos poluentes. Para além deste efeito principal, o material do aquífero condiciona o fluxo de água subterrânea que, a par da condutividade hidráulica e do gradiente hidráulico, determinam o tempo disponível para a ocorrência dos processos de atenuação.

Índice S - Tipo de Solo

O Índice S - Tipo de Solo, refere-se ao material da zona alterada da superfície terrestre, com uma espessura normalmente inferior a 2 m. O tipo de solo tem um significativo impacto na quantidade de recarga, mas é sobretudo pelo seu potencial atenuador da poluição que é considerado no índice DRASTIC.

São as seguintes propriedades de um solo que condicionam o potencial de poluição:

- espessura do solo;
- textura do solo;
- expansibilidade/contratibilidade do solo;
- teor em matéria orgânica do solo.

Índice T - Topografia

A topografia refere-se ao declive do terreno. Este parâmetro condiciona a probabilidade de um poluente escoar superficialmente ou de permanecer à superfície durante o tempo suficiente para se infiltrar. Influencia ainda o desenvolvimento de solos condicionando, desta forma, o efeito de atenuação do contaminante.

Índice I - Influência da Zona Vadosa

O tipo de material da zona vadosa condiciona o tempo de contacto com o poluente, permitindo a ocorrência de diversos processos: biodegradação, neutralização, filtração mecânica, reacção química, volatilização e dispersão. A fracturação nesta zona é particularmente importante, pois facilita a percolação vertical do poluente até ao aquífero.

Parâmetro C - Condutividade Hidráulica do Aquífero

Este parâmetro refere-se à capacidade do aquífero para transmitir água, que, conjuntamente com o gradiente hidráulico, controla o fluxo de água subterrânea. A condutividade hidráulica depende da quantidade e conectividade dos espaços vazios dentro do aquífero, que podem ser poros, fracturas, cavidades ou planos de estratificação.

Tabela 02 - Parâmetros, classes, índice - DRASTIC (modificado de MATIAS, 2010)

| Parâmetro | Classes | Índice - I | Peso | | I x N | I x N |
|----------------------------------|--|------------|------------------|------------------|-------|-------|
| | | | N ⁽¹⁾ | P ⁽²⁾ | | |
| D - Profundidade do Nível d'água | 0 - 1,5 | 10 | 5 | 5 | 50 | 50 |
| | 1,5 - 4,6 | 9 | 5 | 5 | 45 | 45 |
| | 4,6 - 9,1 | 7 | 5 | 5 | 35 | 35 |
| | 9,1 - 15,2 | 5 | 5 | 5 | 25 | 25 |
| | 15,2 - 22,9 | 3 | 5 | 5 | 15 | 15 |
| | 22,9 - 30,5 | 2 | 5 | 5 | 10 | 10 |
| | > 30,5 | 1 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| R - Recarga | < 51 | 1 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| | 51 - 102 | 3 | 4 | 4 | 12 | 12 |
| | 102 - 178 | 6 | 4 | 4 | 24 | 24 |
| | 178 - 254 | 8 | 4 | 4 | 32 | 32 |
| | > 254 | 9 | 4 | 4 | 36 | 36 |
| A - Material do Aquífero | Xisto argiloso, argilito | 1-3 (2) | 3 | 3 | 6 | 6 |
| | Rocha metamórfica/ígnea | 2-5 (3) | 3 | 3 | 9 | 9 |
| | Rocha metamórfica/ígnea alterada | 3-5 (4) | 3 | 3 | 12 | 12 |
| | Arenito, calcário e argilito estratificados | 5-9 (6) | 3 | 3 | 18 | 18 |
| | Arenito maciço | 4-9 (6) | 3 | 3 | 18 | 18 |
| | Calcário maciço | 4-9 (6) | 3 | 3 | 18 | 18 |
| | Areia e balastro | 4-9 (8) | 3 | 3 | 24 | 24 |
| | Basalto | 2-10 (9) | 3 | 3 | 27 | 27 |
| | Calcário carsificado | 9-10 (10) | 3 | 3 | 30 | 30 |
| S - Tipo de Solo | Fino ou ausente | 10 | 2 | 5 | 20 | 50 |
| | Balastro | 10 | 2 | 5 | 20 | 50 |
| | Areia | 9 | 2 | 5 | 18 | 45 |
| | Turfa | 8 | 2 | 5 | 16 | 40 |
| | Argila agregada e/ou expansível | 7 | 2 | 5 | 14 | 35 |
| | Franco arenoso | 6 | 2 | 5 | 12 | 30 |
| | Franco | 5 | 2 | 5 | 10 | 25 |
| | Franco siltoso | 4 | 2 | 5 | 8 | 20 |
| | Franco argiloso | 3 | 2 | 5 | 6 | 15 |
| | Argila Orgânica | 2 | 2 | 5 | 4 | 10 |
| | Argila não agregada e não expansível | 1 | 2 | 5 | 2 | 5 |
| T - Topografia (Declividade - %) | 0 - 2 | 10 | 1 | 3 | 10 | 30 |
| | 2-6 | 9 | 1 | 3 | 9 | 27 |
| | 6-12 | 5 | 1 | 3 | 5 | 15 |
| | 12-18 | 3 | 1 | 3 | 3 | 9 |
| | > 18 | 1 | 1 | 3 | 1 | 3 |
| I - Influencia Zona Vadosa | Camada confinante | 1 | 5 | 4 | 5 | 4 |
| | Argila/Silte | 2-6 (3) | 5 | 4 | 15 | 12 |
| | Xisto argiloso, argilito | 2-5 (3) | 5 | 4 | 15 | 12 |
| | Rocha metamórfica/ígnea | 2-8 (4) | 5 | 4 | 30 | 16 |
| | Calcário | 2-7 (6) | 5 | 4 | 30 | 16 |
| | Arenito | 4-8 (6) | 5 | 4 | 30 | 16 |
| | Arenito, calcário e argilito estratificados | 4-8 (6) | 5 | 4 | 30 | 16 |
| | Areia e balastro com percentagem significativa de silte e argila | 4-8 (6) | 5 | 4 | 30 | 16 |
| | Areia e balastro | 6-9 (8) | 5 | 4 | 40 | 32 |
| | Basalto | 2-10 (9) | 5 | 4 | 45 | 36 |
| Calcário carsificado | 8-10 (10) | 5 | 4 | 50 | 40 | |
| C - Condutividade hidráulica | 0 - 4,1 | 1 | 3 | 2 | 3 | 2 |
| | 4,1 - 12,2 | 2 | 3 | 2 | 6 | 4 |
| | 12,2 - 28,5 | 4 | 3 | 2 | 12 | 8 |
| | 28,5 - 40,7 | 6 | 3 | 2 | 18 | 12 |
| | 40,7 - 81,5 | 8 | 3 | 2 | 24 | 16 |
| | > 81,5 | 10 | 3 | 2 | 30 | 20 |

⁽¹⁾ – Peso Normal; ⁽²⁾ – Peso para Pesticidas

Relativamente às classes de vulnerabilidade, com base na bibliografia consultada, adotou-se neste trabalho as classes ou intervalos de vulnerabilidade conforme Tabela 03.

Tabela 03 - Classes de vulnerabilidade. Valores correspondentes ao índice de vulnerabilidade DRASTIC e seus respectivos intervalos (Aller *et al.*, 1987).

| Classes | Valores Correspondentes |
|------------|-------------------------|
| Baixa | Menor que 79 |
| | 80 – 99 |
| | 100 – 119 |
| Média | 120 – 139 |
| | 140 – 159 |
| Alta | 160 - 179 |
| | 180 - 199 |
| Muito Alta | Maior que 200 |

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

3.1 Localização

A Bacia Hidrográfica do Tietê/Jacaré definida como a UNIDADE DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS Nº 13 (UGRHI-13) pela Lei nº 9.034/94, também identificada como UGRHI Tietê/Jacaré (UGRHI-TJ) e escolhida como Bacia Piloto para este projeto, possui área total de 11.784,6 km², com perímetro de 570 km (IPT, 2000).

Esta UGRHI é definida pelas bacias dos rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira e seus tributários, além de porções de áreas drenadas diretamente para o Rio Tietê, no trecho situado entre a Usina Hidrelétrica de Ibitinga, a jusante, e a Usina de Barra Bonita a montante

A UGRHI-13 localiza-se na porção central do Estado, e faz limite a norte e oeste com a UGRHI-16 (Tietê/Batalha), a leste e sudeste com a UGRHI-5 (Piracicaba/Capivari/Jundiá), a sul com as UGRHI-10 e 17 (Tietê/Sorocaba e Médio Paranapanema, respectivamente) e a nordeste com a UGRHI-9 (Mogi-Guaçu). A Figura 02 apresenta a localização da UGRHI-13 em relação às demais UGRHI definidas para o Estado.

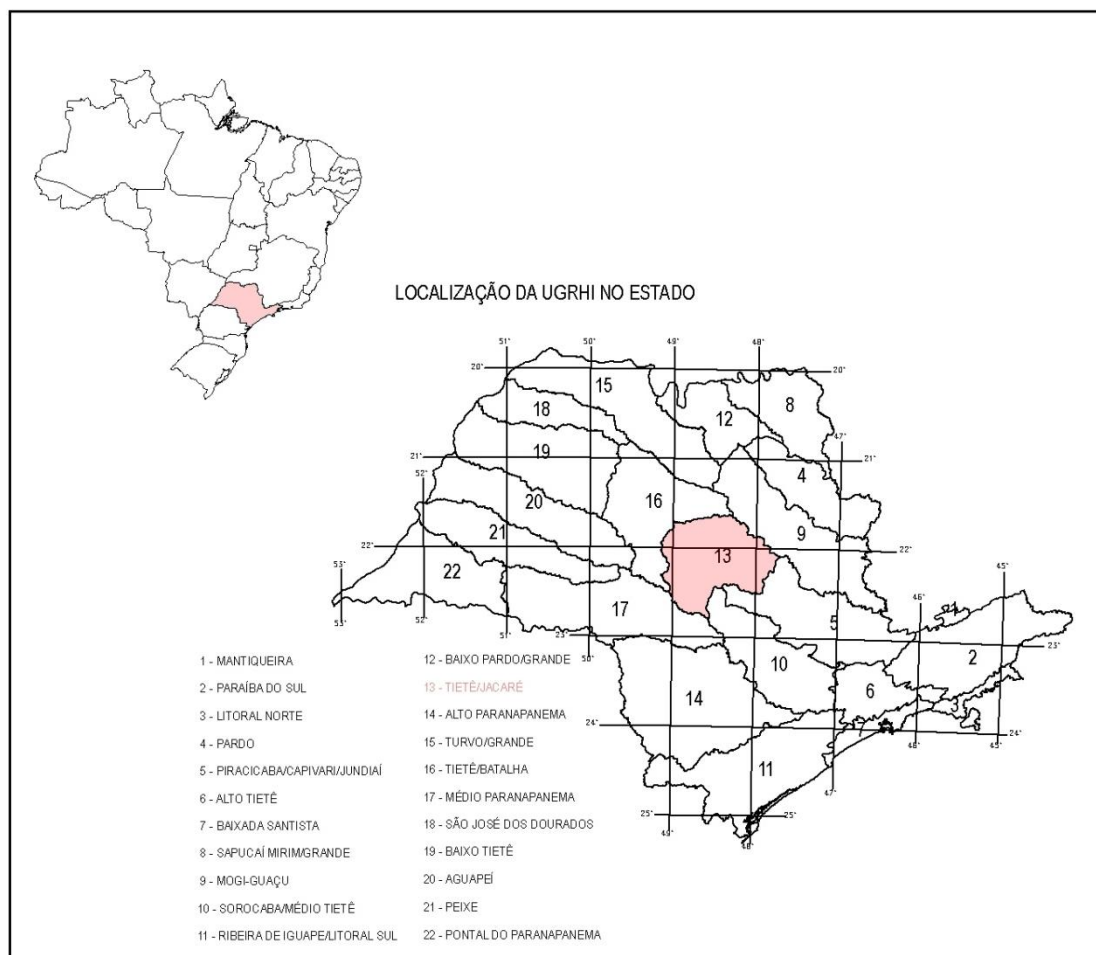


Figura 02 – Localização da área de estudo - Bacia Hidrográfica Tietê/Jacaré – UGRHI 13

3.2 Geologia

As unidades geológicas que afloram na área da Bacia Hidrográfica Tietê/Jacaré são os sedimentos clásticos predominantemente arenosos e as rochas ígneas basálticas do Grupo São Bento (Mesozóico da Bacia do Paraná), as rochas sedimentares predominantemente areníticas do Grupo Bauru (pertencentes à Bacia Bauru, do Cretáceo Superior), os sedimentos arenosos pertencentes à Formação Itaqueri e depósitos arenosos correlatos (das serras de São Carlos e Santana), de idade cretácica a cenozóica, e pelos depósitos aluvionares associados à rede de drenagem, além dos coluviões e eluviões.

A área da Bacia Tietê/Jacaré é enfocada em três trabalhos de âmbito regional, com mapas geológicos contendo a totalidade ou partes de sua área: Mapa Geológico do Estado de São Paulo na escala 1:500.000 (IPT, 1981); Geologia das folhas Campinas e Ribeirão Preto, na escala 1:250.000 (IPT, 1993); e Mapa Litoestratigráfico da Parte Oriental da Bacia Bauru, em escala 1:1.000.000 (Fernandes, 1998).

3.3 Hidrogeologia

A ocorrência das águas subterrâneas na UGRHI-13 é condicionada pela presença de quatro unidades aquíferas, a saber: Aquífero Cenozóico, Sistema Aquífero Bauru, Aquífero Serra Geral e Aquífero Botucatu (constituído pelas formações Botucatu e Pirambóia), em suas porções livre e confinada.

As denominações dos aquíferos adotadas neste relatório seguem os estudos de âmbito regional no Estado de São Paulo, realizados por DAEE (1976), Rebouças (1976), DAEE (1988), Campos (1993) e IG/CETESB/DAEE (1997), sendo as mesmas utilizadas no Primeiro Plano Estadual de Recursos Hídricos (DAEE, 1990). Deve-se registrar, entretanto, que o Aquífero Botucatu foi informalmente denominado de Aquífero Guarani, pelo geólogo uruguaio Danilo Anton, em memória do povo indígena da região, segundo ROCHA (1996).

3.4 Solos

Para este trabalho considerou-se as associações pedológicas apresentadas em IPT (2000):

AQd - Areias Quartzosas associadas a Latossolo Vermelho-Amarelo com inclusões de Latossolo Vermelho-Escuro e Podzólico Vermelho-Amarelo. Areias Quartzosas limita-se a superfícies aplainadas, subordinadas ao arenito das formações Botucatu e Pirambóia,

LEa e LR - Associação de Latossolo Vermelho-Escuro e Latossolo Roxo com inclusões de: Podzólico Vermelho-Amarelo, Latossolo Vermelho-Amarelo e Solos Litólicos. Estão associados às zonas de contato de rochas basálticas da Formação Serra Geral com arenitos pertencentes às formações Vale do Rio do Peixe e Botucatu. Estas associações pedológicas são evidenciadas em relevos de morros amplos, morrotes e espigões alongados.

LEa - Latossolo Vermelho-Escuro associado a Latossolo Vermelho-Amarelo com inclusões de Areias Quartzosas, Podzólico Vermelho-Escuro, e Podzólico Vermelho-Amarelo. Na UGRHI-TJ, estes solos encontram-se subordinados à ocorrência de arenitos pertencentes às formações Marília, Vale do Rio do Peixe, e Botucatu, em extensas áreas de relevo pouco movimentado, constituídos por colinas amplas com topos aplainados e vertentes com baixa declividade.

LRd e LRa - Latossolo Roxo com inclusões de Latossolo Vermelho-Escuro, Latossolo Vermelho-Amarelo e Terra Roxa Estruturada.

LVa - Associação de Latossolo Vermelho-Amarelo, Latossolo Vermelho-Escuro e Podzólico Vermelho-Amarelo com inclusão de: Podzólico Vermelho-Amarelo.

LVd - Latossolo Vermelho-Amarelo associado a Latossolo Vermelho-Escuro, com inclusões de Latossolo Roxo, Podzólico Vermelho-Amarelo, Litólico, Cambissolo, e Areias Quartzosas. Esta associação pedológica está relacionada aos arenitos das formações Pirambóia, Botucatu e Itaqueri, em relevos de transição colinas amplas/colinas médias e morros amplos.

Pla - Planossolo associado a Solos Orgânicos e Glei Húmico, com inclusões de Glei Pouco Húmico e Solos Aluviais. Caracteristicamente, são solos que apresentam processos de hidromorfia, notando-se colorações variadas nos horizontes subsuperficiais, com predomínio de cores brunadas e acinzentadas, refletindo a condição de solos mal drenados. Esta situação de drenagem interna deve-se, fundamentalmente, à topografia praticamente plana em que estes solos se encontram. Esta associação pedológica ocorre em áreas restritas de várzea.

PVa e LEa - Associação de Podzólico Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho-Escuro com inclusões de Podzólico Vermelho-Escuro. A associação pedológica revela áreas com predominância de solos com mudança textural abrupta e áreas com predominância de solos com baixa gradiente textural. Respectivamente, os primeiros (solos com horizontes abruptos) correspondem, na Depressão Periférica, aos arenitos das formações Itaqueri e Pirambóia, em relevo de colinas médias, morrotes e morros amplos e morros arredondados. Eles ocorrem, principalmente, nas sub-bacias do Médio Jacaré-Guaçu e do Alto

Jacaré-Pepira. Os solos com baixa gradência textural correspondem aos arenitos das formações Marília e Vale do Rio do Peixe, em relevos de colinas amplas, médias e morrotes ao longo do Rio Tietê.

PVa - Podzólico Vermelho-Amarelo associado a Podzólico Bruno-Acinzentado com inclusões de Solos Litólicos e Latossolo Vermelho-Amarelo.

RE - Solos Litólicos associados a Podzólico Vermelho-Amarelo e Terra Roxa Estruturada com inclusões de afloramentos de rocha e Cambissolo. Estão condicionados aos relevos movimentados, em posições de vertentes de alta declividade.

TRe - Terra Roxa estruturada associada a Latossolo Roxo. A Terra Roxa Estruturada ocorre em associação com o Latossolo Roxo em áreas de substrato basáltico, porém associadas a relevos relativamente mais movimentados.

4 APLICAÇÃO DO MÉTODO DRASTIC

Para a aplicação do método DRASTIC na Bacia Hidrográfica do Tietê/Jacaré foram estimados os valores dos vários parâmetros (índices).

4.1 Parâmetro D

Para gerar o mapa de isopropriedade do nível d'água (Índice D), no âmbito deste projeto, considerou-se a assunção de que todas as drenagens da bacia são efluentes, e portanto, as cotas topográficas do terreno, no cruzamento das linhas topográficas com as drenagens representam as cotas (altitudes) do nível d'água no local, além das informações dos poços do cadastro do Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo – DAEE utilizados na elaboração do Mapa Hidrogeológico do Estado de São Paulo localizados na área de estudo. Com estas informações, no ambiente SIG, por meio de interpolação foi gerado um mapa potenciométrico do aquífero livre para toda a bacia, que após cruzamento com o mapa topográfico obteve-se a profundidade do nível d'água e após nova interpolação obteve-se o mapa de isopropriedade das águas subterrâneas. Foram obtidos valores de profundidade do nível d'água variando entre 0 e 30,5m, com predominância de profundidades inferiores a 1,5 metros, predominando, portanto o índice valor igual a 10.

4.2 Parâmetro R

Para estimativa do volume de recarga e geração do mapa deste parâmetro considerou-se a metodologia desenvolvida pelo DAEE (Liazi *et al.*, 1988.) para estimativa das disponibilidades hídricas para as bacias hidrográficas. Para tanto, a área do projeto foi subdividida em várias sub-bacias menores, e utilizando a rotina disponibilizada na internet (<http://www.sigrh.sp.gov.br/cgi-bin/regnet.exe?liq=podfp>) estimou-se o valor de recarga para as sub-bacias, considerando o valor da recarga como igual ao volume de água correspondente à vazão para 95% de permanência (Q_{95}). Para a quase totalidade da área obteve-se valores de recarga entre 102 e 178mm/dia. Somente para uma pequena sub-bacia obteve-se recarga superior a 254mm/dia.

4.3 Parâmetro A

Para estabelecimento do parâmetro Meio Aquífero considerou-se a metodologia DRASTIC. As associações obtidas para este parâmetro foram: Formação Serra Geral e Sedimentos aluvionares índice valor igual a 9; Formação Botucatu e Coberturas da Serra de São Carlos e Similares índice valor igual a 8; Formação Vale do Rio do Peixe índice valor igual a 7; Formação Pirambóia e Formação Itaqueri índice valor igual a 6; e Formação Marília índice valor igual a 5.

4.4 Parâmetro S

Para a estimativa do parâmetro S – Tipo de Solo, conforme apresentado anteriormente no item 3.4, foram estabelecidas as associações como segue: Associação AQd com índice valor igual a 9; Associação LEa com índice valor igual a 6; Associações LVa, LVd, Pla, PVa, e RE com índice valor igual a 5; associações TRe, LEa-LR com índice valor igual a 3.

4.5 Parâmetro T

O mapa do padrão de declividade – parâmetro T foi obtido a partir do mapa topográfico da região. Em ambiente SIG, a partir das curvas topográficas foi gerado um mapa da superfície do terreno e a partir deste gerado o mapa de declividades. Para a Bacia Tietê-Jacaré obteve-se todos os intervalos de declividade, com forte predominância de declividades inferiores a 2%, predominando portanto o índice valor 10 para a área de estudo.

4.6 Parâmetro I

Para estabelecimento do parâmetro influência da Zona Vadosa (Parâmetro I) considerou-se a síntese geológica apresentada no Desenho XX, que resultou nas seguintes associações: Formação Itaqueri e formação Marília com índice valor igual a 5; Formação Vale do Rio do Peixe e Coberturas da Serra de São Carlos e similares com índice valor igual a 6; Formação Pirambóia e Formação Botucatu com índice valor

igual a 7; Sedimentos aluvionares com índice valor igual a 8; e Formação Serra Geral com índice valor igual a 9.

4.7 Parâmetro C

O mapa do padrão de condutividade hidráulica – Índice C foi obtido a partir da ponderação de informações disponíveis na literatura (DAEE, 1974; ARAUJO *et al.*, 1995; CORRÊA, 1995; SRACEK & HIRATA, 2002; GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2005; LASTORIA *et al.*, 2006; WAHNFRIED, 2010), confrontando-se com as litologias locais (FREEZE & CHERRY, 1979). Foram definidos somente dois índices para toda a área. Isto se deve ao fato de que os valores de condutividade hidráulica encontrados nas bibliografias consultadas, para praticamente todas as formações geológicas presentes na área, foram inferiores a 4,1m/dia, o que implica em que o índice C, para a quase totalidade da área corresponda ao índice valor igual a 1. Somente nos vales das drenagens mais importantes da área, como resultado das litologias observadas, estimou-se condutividade hidráulica ente 4,1 e 12,2m/dia, o que caracteriza esses locais como índice valor igual a 2.

5 RESULTADOS OBTIDOS

Apresenta-se nas Tabelas 04, 05 e 06 e nas Figuras 03 e 04, respectivamente as percentagens das várias classes de vulnerabilidade obtidas para a Bacia e para as várias formações aquíferas, e os Mapas de Vulnerabilidade das Águas Subterrâneas para condições de uso não agrícola e agrícola (Pesticidas).

6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A aplicação da Metodologia DRASTIC indicou para a Bacia Hidrográfica Tietê/Jacaré – UGRHI-13 índices de vulnerabilidade variando entre os valores de 82 a 181, com classes de vulnerabilidade variando entre baixa a alta.

Predominam na Bacia (Figura 02), classe de vulnerabilidade média a baixa, representando mais de 90% de toda a área (27,1% vulnerabilidade Baixa e 63,6% vulnerabilidade Média). As áreas de ocorrência de vulnerabilidade Alta, correspondente somente a 9,4% da área total da Bacia, compreende os vales das principais drenagens da área, sendo que os parâmetro D, A, S, T, e I apresentaram importâncias equivalentes para esta classificação. Os parâmetros R e C, por serem praticamente constante para toda área apresentaram menor interferência na diferenciação dos resultados.

Destaca-se uma área classificada com vulnerabilidade Alta no extremo leste da Bacia (Figura 02), não coincidente com vales das principais drenagens, no entorno do município de Itirapina, onde os parâmetros D e S se sobressaem em relação aos demais para a classificação da vulnerabilidade como Alta da área.

Para o Mapa de Vulnerabilidade – PESTICIDAS (Figura 03), no geral permanece o mesmo padrão de distribuição das classes de vulnerabilidade, com índices variando entre os valores 87 a 219, sendo que se observa um deslocamento entre as classes, vulnerabilidade Baixa migrando para Média, e assim sucessivamente para as demais classes. A vulnerabilidade Baixa praticamente deixa de existir (1,9% de toda a área), a vulnerabilidade Média continua a dominar a área (60,2% de toda área), a vulnerabilidade Alta passa a ter uma expressão significativa na Bacia (36,8% de toda a área) aparecendo o termo vulnerabilidade Muito Alta para a região extremo leste da Bacia (1,0%).

Para essa migração entre as classes, para as condições de uso agrícola (PESTICIDAS), os parâmetros S e T foram os determinantes, uma vez que os pesos associados a esses parâmetros são maiores que os considerados para uso não agrícola.

Tabela 04 – Porcentagens das várias classes de Vulnerabilidade obtidas para a Bacia.

| Classe | Valores | Porcentagem da área total | | | |
|------------|-----------|---------------------------|------|------------------------|------|
| | | DRASTIC (%) | | DRASTIC PESTICIDAS (%) | |
| Baixa | 23 – 79 | 0,0 | 27,1 | 0,0 | 1,9 |
| | 80 – 99 | 2,8 | | 0,0 | |
| | 100 – 119 | 24,2 | | 1,9 | |
| Média | 120 – 139 | 35,7 | 63,6 | 23,0 | 60,2 |
| | 149 – 159 | 27,9 | | 37,2 | |
| Alta | 160 – 179 | 9,4 | 9,4 | 29,7 | 36,8 |
| | 180 – 199 | 0,0 | | 7,1 | |
| Muito Alta | 200 – 226 | 0,0 | 0,0 | 1,0 | 1,0 |

Tabela 05 - Porcentagem das classes de vulnerabilidade para as várias formações aquíferas na Bacia.

| Formações Aquíferas | DRASTIC | | | |
|---|---------|-------|------|------------|
| | Classes | | | |
| | Baixa | Média | Alta | Muito Alta |
| Coberturas da Serra de São Carlos e similares | 53,2 | 46,8 | 0,0 | 0 |
| Fm Adamantina | 44,6 | 52,6 | 2,8 | 0 |
| Fm Botucatu | 32,3 | 67,7 | 0,0 | 0 |
| Fm Itaqueri | 60,5 | 38,5 | 1,0 | 0 |
| Fm Marília | 65,8 | 34,3 | 0,0 | 0 |
| Fm Pirambóia | 41,6 | 56,2 | 2,2 | 0 |
| Fm Serra Geral | 1,3 | 77,4 | 21,3 | 0 |
| Sedimentos Aluvionares | 3,3 | 82,3 | 14,5 | 0 |

Tabela 06 - Porcentagem das classes de vulnerabilidade para as várias formações aquíferas na Bacia.

| Formação Aquífera | DRASTIC PESTICIDAS | | | |
|---|--------------------|-------|------|------------|
| | Classes | | | |
| | Baixa | Média | Alta | Muito Alta |
| Coberturas da Serra de São Carlos e similares | 3,2 | 72,2 | 24,6 | 0,0 |
| Fm Adamantina | 0,7 | 76,4 | 22,9 | 0,0 |
| Fm Botucatu | 1,0 | 43,7 | 50,7 | 4,6 |
| Fm Itaqueri | 18,9 | 66,9 | 14,2 | 0,0 |
| Fm Marília | 1,7 | 79,4 | 18,9 | 0,0 |
| Fm Pirambóia | 1,4 | 59,3 | 37,3 | 1,9 |
| Fm Serra Geral | 0,1 | 53,3 | 46,2 | 0,4 |
| Sedimentos Aluvionares | 0,0 | 31,9 | 62,5 | 5,6 |

7 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos demonstram fragilidade moderada dos aquíferos na área de estudo, indicando a necessidade de se considerar desde já um ordenamento do uso da terra tanto em áreas agrícolas como em áreas onde a expansão urbana apresente grande crescimento.

A aplicação da metodologia DRASTIC indicou que 27,1% da área da Bacia apresenta vulnerabilidade baixa, 63,6% vulnerabilidade média (moderada) e 9,4% vulnerabilidade alta.

Para a condição de uso agrícola, considerando a utilização do peso Pesticida, o estudo indicou que 1,9% da área da Bacia apresenta vulnerabilidade baixa, 60,2% vulnerabilidade média (moderada), 36,8% vulnerabilidade alta e 1,0% vulnerabilidade muito alta.

Em termos formacionais observa-se que nas condições de ocorrência das formações aquíferas na Bacia, somente os Aquíferos Serra Geral e Sedimentos Aluvionares apresentam vulnerabilidade Alta, respetivamente 21,3% e 14,5% da área de ocorrência destas unidades. Para as condições de uso agrícola todas as unidades aquíferas da Bacia apresentam percentuais significativos de vulnerabilidade Alta, e os aquíferos Botucatu, Sedimentos Aluvionares e Pirambóia apresentam vulnerabilidade Muito Alta, respetivamente 4,6%, 5,6% e 1,9% da área de ocorrência destas unidades.

Como pode ser observado nos resultados, quando considerado o padrão de uso agrícola para a área, a fragilidade potencial do meio é significativamente alterada, com aumento importante do índice de vulnerabilidade Alta, que varia de 9,4% para 36,8%. Da mesma forma que se observa diminuição do índice de vulnerabilidade Baixa de 27,1% para 1,9% da área da Bacia.

Como recomendação, considerando a predominância de vulnerabilidades Média para a condição não agrícola e Média e Alta para condições de uso agrícola para o território da Bacia Hidrográfica do Tietê/Jacaré, e considerando a existência de fontes potenciais de contaminação no interior da Bacia, propõe o aprofundamento dos estudos para o aprimoramento dos índices de vulnerabilidade, e a avaliação criteriosa e cuidadosa frente a utilização ou instalação de empreendimentos com utilização de grandes cargas contaminantes.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq (Brasil) pelo suporte financeiro, ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. – IPT (Brasil) pelo apoio e contrapartida em mão de obra, e ao Laboratório Nacional de Engenharia Civil – LNEC (Portugal) pelo apoio material no desenvolvimento deste trabalho.

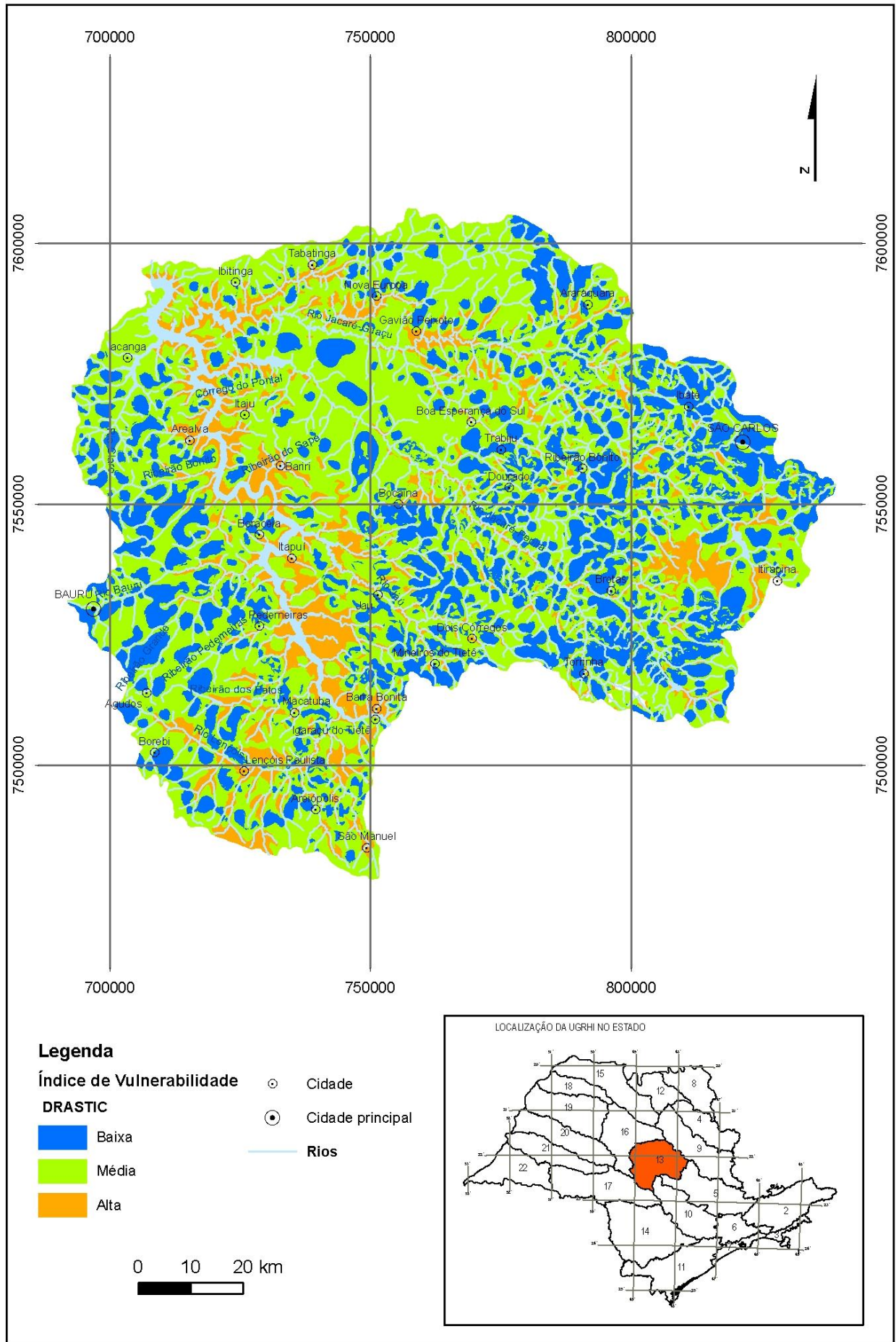


Figura 03 – Mapa de Vulnerabilidade das Águas Subterrâneas - Bacia Hidrográfica Tietê/Jacaré – UGRHI 13, Índice DRASTIC (Aller *et al.*, 1987).

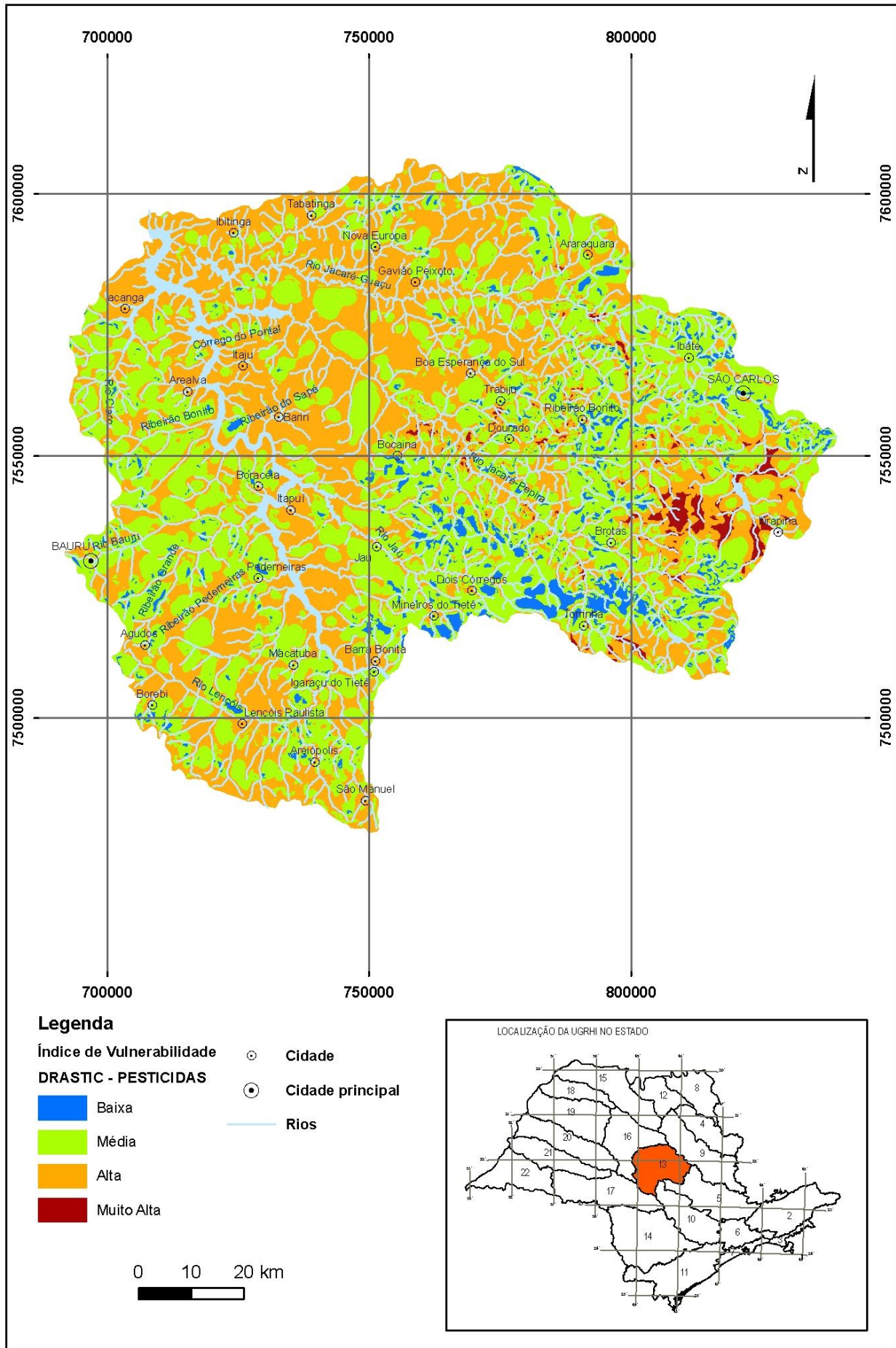


Figura 04 – Mapa de Vulnerabilidade das Águas Subterrâneas – Bacia Hidrográfica Tietê/Jacaré – UGRHI 13, Índice DRASTIC - PESTICIDAS (Aller *et al.*, 1987)

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMS, B. & FOSTER, S. 1992. Land-surface zoning for groundwater protection. Jour. Institution of Water and Environmental Management, n. 6, pp. 312-320.
- ALBINET, M. & MARGAT, J. 1970. Cartographie de la vulnérabilité à la pollution des nappes d'eau souterraine. Bull BRGM 2me Series: 3 (4): 13-22.
- ALLER, L.; BENNET, T.; LEHER, J.H.; PETTY, R.J. 1985. DRASTIC: a standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic setting. USEPA Report 600/02-85/018.
- ALLER, L.; BENNET, T.; LEHER, J.H.; PETTY, R.J.; HACKETT, G. 1987. DRASTIC: a standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic setting. USEPA Report 600/02-87/035.
- ARAÚJO, L. M.; FRANÇA, A. B.; POTTER, P. E. Aquífero gigante do Mercosul - Brasil, Argentina, Uruguai e Paraguai: mapas hidrogeológicos das Formações Botucatu, Pirambóia, Rosário do Sul, Buena Vista, Misiones e Tucarembó. Curitiba, UFPR/PETROBRÁS. 1999.
- BACHMAT Y. & COLLIN M. (1987) Mapping to assess groundwater vulnerability to pollution. In: Van Duijvenbooden W, Van Waegeningh HG (eds) Vulnerability of soil and groundwater to pollutants, Proceedings and Information no. 38, TNO Committee on Hydrological Research, The Hague, pp 297–307
- CALDWELL, S; BARRET, K; CHANG, S. 1981. Ranking system for releases of hazardous substance. En: Conf. on Management of Uncontrolled Hazardous Waste Sites. Hazardous Materials Control Research Institute, Silver Spring, Maryland.. pp. 14-20.
- CAMPOS, H. C. N. S. Caracterização e cartografia das províncias hidrogeoquímicas do Estado de São Paulo. 1993. 117 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.
- CANTER, L.W., 1997, Nitrates in groundwater: Boca Raton, CRC Press, Inc., 263 p.
- CARTER, A.; PALMER, R.; MONKHOUSE, R. 1987. Mapping the vulnerability of groundwater to pollution from agriculture practice particularly in respect of nitrate. In: Inter. Conf. Vulnerability of Soil and Groundwater to Pollutant, Nordwijk, Proc...Nordwijk, Países Baixos. IHAS.
- CHACHADI A.G. & LOBO-FERREIRA, J.P (2001), Sea water intrusion vulnerability mapping of aquifers using GALDIT method. Proc. Workshop on modelling in hydrogeology, Anna University, Chennai, pp.143-156, in COASTIN A Coastal Policy Research Newsletter, Number 4, March 2001. New Delhi, TERI, pp. 7-9.

- CIVITA, M.; FORTI, P.; MARINI, P.; MICHELI, L.; PICCINI, L.; PRANZINI, G. 1990. Carta da vulnerabilità all'inquinamento degli acquiferi delle Alpi Apuane. Mem. explic, Monografia GNDCI. - CNR. n399, Firenze, 56 pp.
- COMMITTEE ON TECHNIQUES FOR ASSESSING GROUND WATER VULNERABILITY (1993). Ground water vulnerability assessment: predicting relative contamination potential under conditions of uncertainty. US National Research Council, National Academy Press, Washington, DC, 204 pp
- CORRÊA, U. M. P. 1995. Estudo das Águas Subterrâneas das Bacias Hidrográficas dos Rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira no Estado de São Paulo. Dissertação de Mestrado, EESCUSP. 2 v., 107 p.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA - DAEE. 1974. Estudo das águas subterrâneas. Região administrativas 6, (Ribeirão Preto). São Paulo, 2vol
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA - DAEE. 1976. Estudo das águas subterrâneas. Regiões administrativas 7, 8 e 9 (Bauru, São José do Rio Preto e Araçatuba). São Paulo, 3 vol
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA - DAEE. 1988. Água subterrânea: reserva estratégica. Rev. Águas e Energia Elétrica, São Paulo, ano 5, n. 13, p. 14-23.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA - DAEE. 1990. Plano Estadual de Recursos Hídricos: primeiro plano do Estado de São Paulo - Síntese. São Paulo: DAEE. 120p. il
- Duijvenbooden, WV and Waegeningh, HGV. Vulnerability of Soil and Groundwater to Pollutants, Proceedings and Information No. 38 of the International Conference held in the Netherlands, in 1987, TNO Committee on Hydrological Research, Delft, The Netherlands.
- FERNANDES, L.A. 1998. Estratigrafia e evolução geológica da parte oriental da Bacia Bauru (Ks, Brasil). São Paulo. (Tese de Doutorado apresentada ao Instituto de Geociências - USP).
- FOSTER S.S.D. (1987) Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy. In: Van Duijvenbooden W, Van Waegeningh HG (eds) Vulnerability of soil and groundwater to pollutants, Proceedings and Information no. 38, TNO Committee on Hydrological Research, The Hague, pp 69–86
- FOSTER, S & HIRATA, R. 1988. Groundwater pollution risk evaluation: the methodology using available data. CEPIS Tech. Report. (WHO-PAHO-CEPIS), Lima, Perú.
- FREEZE, R.A. & CHERRY, J.A. 1979. Groundwater. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ, 604 pp.
- GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. 2005. Mapa de águas subterrâneas do Estado de São Paulo em 1:1.000.000. São Paulo, DAEE/IG-SMA/IPT/CPRM, em CD-ROM.
- HAERTLE, A. (1983) Method of working and employment of EDP during the preparation of groundwater vulnerability maps, IAHS Publ. 142(2).
- HARGERTY, D.; PAVONI, L. HEER, J. 1973. Solid water management. Van Nostrand Reinhold, New York.

- HIRATA, R. & REBOUÇAS, A. 1999. La protección de los recursos hídricos subterráneos: una visión integrada, basada en perímetros de protección de pozos y vulnerabilidad de acuíferos. Boletín. Geol. Minero. Vol. 110(4):423-436
- INSTITUTO GEOLÓGICO (IG-SMA)/ COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB) / DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (DAEE). Mapeamento da vulnerabilidade e risco de poluição das águas subterráneas no Estado de São Paulo. IG; CETESB, 1997.129p.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT. 1981. Mapa Geológico do Estado de São Paulo. Escala 1:500.000. São Paulo. 2v. (IPT. Monografias, 6. Publicação, 1 184).
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT. 1993. Geologia das folhas Campinas (SF.23-Y-A) e Ribeirão Preto (SF.23-V-C). São Paulo. (IPT. Relatório, 31 723).
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT. 2000. Diagnóstico da situação atual dos Recursos Hídricos e estabelecimento de diretrizes técnicas para a elaboração do Plano da Bacia Hidrográfica do Tietê/Jacaré – Relatório Final. São Paulo. (IPT. Relatório, 40.674)
- KUFS, C. 1980. Rating the hazard potential on waste disposal facilities. En: Nat. Conf. on Management of Uncontrolled Hazardous Waste Sites. Proc. Silver Spring. Hazardous Material Control Research Institute. 30-41 pp.
- LASTORIA, G. *et al.*, 2006. HIDROGEOLOGIA DA FORMAÇÃO SERRA GERAL NO ESTADO DE MATO GROSSO DO SUL. Águas Subterráneas, v.20, n.1, p.139-150, 2006
- LEGRAND, H. 1964. System for evaluating contamination potential of some waste sites. American Water Work Association Journal. Vol 56 (8):959-974
- LEGRAND, H.E 1983. A standardized system for evaluating waste disposal sites. NWWA, Worthington, OH: 49 pp.
- LEGRAND, H.E. 1965. Pattern of contaminated zones of water in the ground. Water Resources Research 1, nº 1:83-95
- LEGRAND, H.E. 1970. Coparative hydrogeology: Na example of its use. Geological Society of America Bulletin 81, 1243-1248.
- LIAZI, A. *et al.* 1988. Regionalização Hidrológica no Estado de São Paulo. Revista Águas e Energia Elétrica. São Paulo, Ano 5, n. 14, p. 4 –10. 1988.
- LOBO FERREIRA, J.P. 1998. Vulnerabilidade à Poluição de Águas Subterráneas: Fundamentos e Conceitos para uma melhor Gestão e Protecção dos Acuíferos de Portugal. Lisboa: Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, 1998.

- LOBO FERREIRA, J.P.C.; OLIVEIRA, M.M. (2004) - Groundwater vulnerability assessment in Portugal. *Geofísica Internacional* (2004), Vol.43, Num.4.
- MARGAT, J (1968) Ground water vulnerability to contamination (in French). *Bases de al cartographie*, (Doc.) BRGM, 68 SGC 198 HYD, Orleans, France.
- OLIVEIRA, M.M. 2002. Cartografia da vulnerabilidade à poluição das águas subterrâneas do Concelho de Montemor-o-Novo utilizando o Método DRASTIC. LNEC, Rel. 46/02-GIAS, Março, 2002.
- PHILIPS, C.; NATHWANI, J.; MOOIJ, H. 1977. Development of a soil-waste interaction matrix for assessing land disposal of industrial wastes. *Wat. Research*. (11):859-868.
- RAO, P.; HORNSBY, A.; JESSUP, R. 1985. Indices for ranking the potential for pesticide contamination of groundwater. En: *Cong. Soil Crop Sciences Soc. of Florida. SCSSF*. 44:1-8.
- REBOUÇAS, A.C., 1976. Recursos hídricos subterrâneos da Bacia do Paraná: Análise de pré-viabilidade, São Paulo, Tese de Livre Docência, apresentada ao Instituto de Geociências – USP.
- ROCHA, G. A. Mega reservatório de água subterrânea do cone sul: bases para uma política de desenvolvimento e gestão. Contribuição ao seminário internacional "Aqüífero Gigante do Mercosul". Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 1996
- SRACEK, O.; HIRATA, R. Geochemical and Stable Isotopic Evolution of the Guarani Aquifer System in the State of São Paulo, Brazil. *Hydrogeology Journal*, 2002. N. 10, 643 – 655.
- STIGTER, T. Y.; RIBEIRO, L. e CARVALHO DILL, A.M.M. 2006. Evaluation of an intrinsic and a specific vulnerability assessment method in comparison with groundwater salinisation and nitrate contamination levels in two agricultural regions in the south of Portugal. Alemanha: Springer Berlin / Heidelberg, 2006.
- TALTASSE, P. 1972. Mapas da vulnerabilidade à poluição dos lençóis aqüíferos do município de Campinas (SP). Universidade de São Paulo (IGc). Publ. Avulsa n.1.
- VRBA J. & ZAPOROZEC A (eds) (1994) Guidebook on mapping groundwater vulnerability, vol 16. In: *International contributions to hydrogeology*, Heise, Hannover, Germany, 131 pp
- WAHNFRIED, I. 2010. Modelo Conceitual de fluxo do aquífero Serra Geral e do sistema aquífero Guarani na região de Ribeirão Preto, SP. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, São Paulo, 124p.
- WESTERN MICHIGAN UNIVERSITY. 1981. *Hydrogeologic Atlas of Michigan*. Dept. of Geology. Kalamazoo, Michigan. Estados Unidos.