

## VULNERABILIDADE E PERIGO DE CONTAMINAÇÃO DOS AQUIFÉROS NO ALTO AGUAPEÍ E ALTO PEIXE, SP

*VULNERABILITY AND CONTAMINATION INVENTORY OF THE GROUNDWATER IN THE ALTO  
AGUAPEÍ AND ALTO PEIXE, SP*

**Rafael Carrion Montero<sup>1</sup>, Anna Silvia Palcheco Peixoto<sup>2</sup>**

Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" – Unesp, Faculdade de Engenharia de Bauru, SP.

<sup>1</sup>E-mail: rafacarrion@gmail.com

<sup>2</sup>E-mail: anna@feb.unesp.br

### RESUMO

A caracterização e avaliação da vulnerabilidade natural e do perigo de contaminação dos aquíferos foram realizadas para as unidades aquíferas aflorantes nas subunidades de gestão de recursos hídricos denominadas Alto Aguapeí e Alto Peixe, localizadas no oeste do Estado de São Paulo. Os resultados demonstraram que vulnerabilidades de classificação Extrema estão restritas às planícies fluviais dos dois rios, ocupando 2% da área de estudos, enquanto que as classes Alta e Alta Baixa ocorrem em 65% da área total. A correlação das vulnerabilidades com as fontes potenciais de contaminação demonstraram que os postos de combustível e os locais de disposição de resíduos sólidos apresentam Perigo Alto às águas subterrâneas. As atividades da indústria, por sua vez, apresentam Perigo Alto de contaminação para os distritos industriais das cidades de Garça e Marília e Perigo Moderado para as unidades do setor alimentício, localizadas fora dos distritos. Os resultados permitem concluir, ainda, que os municípios estudados que possuem menores índices de coleta de esgoto possuem maior grau de perigo difuso às águas subterrâneas, o que torna relevante a consideração dos conceitos apresentados na gestão territorial desses municípios.

**Palavras-chave:** Águas Subterrâneas, Sistema Aquífero Bauru, Contaminação, Vulnerabilidade, Perigo.

### ABSTRACT

The characterization and assessment of the natural vulnerability and the contamination risks of aquifers were made for outcropping units on the sub units of water resources management called Alto Aguapeí and Alto Peixe located in the western part of São Paulo State in Brazil. The results indicated that extreme classification vulnerabilities are restricted to the river plains of the two rivers, occupying 2% of the studied area, yet the High and High Low vulnerability part occupy 65% of the total area. The correlation of vulnerabilities with potential sources of contamination demonstrated that the gas stations and places of solid waste disposal have a high risk of groundwater contamination. The industrial activities have a high risk of contamination to the industrial districts of Garça and Marília and moderate risk for units in the food sector, located outside the districts. The results also indicate higher degree of diffuse risk to contamination groundwater in the cities with lower rates of wastewater collection, which is relevant the consideration of the concepts presented in the territorial management of those cities.

**Keywords:** Groundwater, Aquifer System Bauru, Contamination, Vulnerability, Risk.

### 1 – INTRODUÇÃO

A crescente demanda por recursos hídricos subterrâneos nas Bacias Hidrográficas dos Rios Aguapeí e Peixe, localizadas no oeste do Estado de São Paulo, e a presença cada vez maior de substâncias em condições de acesso e contaminação das águas em subsuperfície têm pressionado de forma negativa a disponibilidade hídrica nessas bacias.

Diante do exposto, faz-se necessário o entendimento dos processos de degradação das águas subterrâneas, a caracterização e definição de sua vulnerabilidade natural e do perigo de contaminação que estão submetidas, de forma a gerar procedimentos e ações que visem a sua proteção e a sustentabilidade de seu uso.

O estudo da vulnerabilidade natural de aquíferos consiste em estabelecer as suas características naturais intrínsecas, que determinam a susceptibilidade de um aquífero ser adversamente afetado por uma carga poluente antrópica.

O Mapa de Vulnerabilidade gerado por este trabalho, na escala de reconhecimento regional, foi elaborado a partir da aplicação do método GOD (Ground water hydraulic confinement, Overlaying strata, Depth to groundwater table), proposto por Foster e Hirata (1988).

O perigo de contaminação das águas subterrâneas, por sua vez, consiste em um conceito que pretende associar as características naturais do aquífero em ser afetado adversamente, ou seja, a vulnerabilidade, com a existência, ou previsão de existência, de alguma atividade ou ação poluente desenvolvida em superfície.

Com o intuito de simplificar o cadastro e caracterização da carga contaminante, Foster *et al.* (2006) propõem o método de avaliação das atividades potencialmente contaminantes chamado POSH (Pollutante Origin, Surcharge Hydraulically), que consiste em trabalhar com suposições simplificadas baseadas no tipo de atividade e a probabilidade de existir substância

poluente e a sobrecarga hidráulica com base no uso da água pela atividade analisa.

O método GOD, difundido mundialmente, foi utilizado de forma pioneira no país para a elaboração do Mapa de Vulnerabilidade das Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo em um projeto desenvolvido no âmbito da parceria institucional do Instituto Geológico (IG), Companhia Ambiental do Estado (CETESB) e Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) (IG, CETESB, DAEE, 1997).

Mais recentemente, este estudo sobre a vulnerabilidade das águas subterrâneas do Estado foi utilizado como parâmetro para compor o mapa do zoneamento agroambiental do setor sucroalcooleiro, que foi regulamentado pela Resolução SMA n. 88, de 19 de dezembro de 2008, (SÃO PAULO, 2008) e alterado pela Resolução Conjunta SMA/SAA n. 6, de 24 de setembro de 2009. (SÃO PAULO, 2009).

IPT (2011) realizou avaliações sobre os fatores e atividades com potencial de afetar negativamente as águas da porção aflorante do aquífero Guarani no Estado de São Paulo, caracterizando o perigo de contaminação das águas dessa porção do aquífero a partir da definição da vulnerabilidade natural pelo Método GOD e caracterização das fontes potenciais de contaminação pelo Método POSH.

Além do âmbito estadual e regional, os métodos relatados podem ser aplicados em estudos municipais e de bacias hidrográficas, como as avaliações feitas por Tavares *et al.* (2009) para a Bacia Sedimentar do Araripe e por Souza (2009) para o município de Araguari, MG.

Este estudo tem por objetivo caracterizar e avaliar a vulnerabilidade natural e os perigos de contaminação das formações hidrogeológicas aflorantes constituintes do Sistema Aquífero Bauru (SAB) e de materiais inconsolidados do Quaternário nas subunidades de gestão do Alto Aguapeí e Alto Peixe, localizadas no oeste do Estado de São Paulo.

## 2 – LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

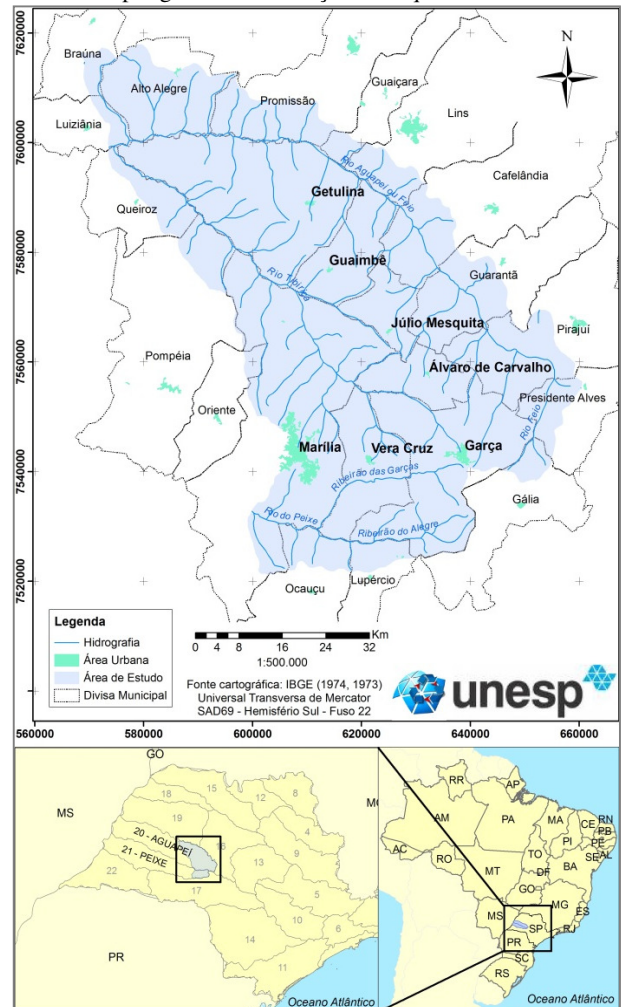
Os estudos foram realizados na região mais Alta das Bacias Hidrográficas dos Rios Aguapeí e do Peixe, denominada Alto Aguapeí e Alto Peixe (CBH-AP, 2008). Essas duas bacias constituem as Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) Aguapeí (20) e Peixe (21), segundo a divisão hidrográfica do Estado de São Paulo, estabelecida pela Lei Estadual 9.034, de 27 de Dezembro de 1994 (SÃO PAULO, 1994). Na Figura 1 é apresentada a área de estudos com os municípios que a compõem e sua localização no Estado de São Paulo e no Brasil.

As subunidades do Alto Aguapeí e Alto Peixe abrangem regiões de nascentes e possuem área de 4.398,72 km<sup>2</sup>, onde estão inseridas as sedes urbanas dos municípios de Álvaro de Carvalho, Garça, Getulina, Guaimbê, Júlio Mesquita, Marília e Vera Cruz, além da área rural de outros 18 municípios. Os municípios com sede na área possuem 295.721 habitantes, o que representa

36,44% (IBGE, 2011) da população residente nas UGRHI Aguapeí e Peixe, além de contar com o município mais populoso da região, de maior densidade industrial: Marília, com 216.576 habitantes.

O município de Marília é responsável por 62% de toda a carga orgânica lançada nos corpos d'água das UGRHI (CETESB, 2011a), uma vez que o mesmo não possui Sistema de Tratamento de Esgotos, lançando-o *in natura* no meio ambiente. O município responde, ainda, por 37% do resíduo sólido gerado por todos os municípios das duas UGRHI, sendo que seu aterro encontra-se interdito pela CETESB, fazendo com que as suas 124 toneladas diárias de lixo sejam transbordadas para outras municípios do Estado (CETESB, 2011c). Por fim, Marília possui 32% das áreas declaradas como contaminadas pela CETESB (2011b).

Figura 1 – Subunidades de gestão do Alto Aguapeí e Alto Peixe, adotadas para a caracterização e avaliação da vulnerabilidade natural e do perigo de contaminação dos aquíferos.



O clima da região é caracterizado como tropical quente e úmido, sendo o verão, com influência da massa Tropical Atlântica, quente e chuvoso entre outubro e abril e com temperaturas oscilando entre 24 °C e 30 °C. O inverno, por sua vez, ocorre entre os meses de maio e setembro, nos períodos em que a atuação da massa polar é mais intensa, resultando em índices pluviométricos mais

baixos e com temperaturas variando de 14 °C a 22 °C. A pluviometria média anual nas subunidades de gestão do Alto Aguapeí e Alto Peixe é de 1.200 mm.

A caracterização hidrográfica da região de estudo foi adaptada da divisão hidrográfica adotada pelo Plano de Bacia (CBH-AP, 2008), sendo consideradas as sub-bacias do Rio Feio e do Rio Tibiriça no Alto Aguapeí e as sub-bacias do Ribeirão das Garças e Ribeirão do Alegre, que formam o Rio do Peixe, a partir de sua confluência no Alto Peixe. A vazão mínima com sete dias de duração e período de retorno de dez anos ( $Q_{7,10}$ ), parâmetro de vazão mínima de referência para a emissão de outorga pelo direito de uso dos recursos hídricos pelo órgão gestor, no exultório da região do Alto Aguapeí é de 7,59 m<sup>3</sup>/s, enquanto no Alto Peixe é de 2,44 m<sup>3</sup>/s (CBH-AP, 2008).

Quanto a Geomorfologia, a área está localizada na unidade geomorfológica do Planalto Ocidental, o qual comporta relevos monótonos, de colinas e morrotes.

O Planalto de Marília está compartimentado na região de estudo, que, segundo IPT (1981), possui as Colinas Amplas como sistemas de relevo predominantes, encerrando-se em boa parte da área em escarpas festonadas desfeitas em anfiteatros. Nesta unidade geomorfológica estão as maiores altitudes e declividades.

Os levantamentos pedológicos indicam a ocorrência generalizada na área das associações pedológicas expressas pelos Argissolos Vermelho-Amarelos Eutróficos. De maneira menos expressiva e subordinada a relevos menos sinuosos como os de colinas amplas, aparecem os Latossolos Vermelhos distróficos. Nas planícies aluviais dos Rios Tibiriça e Feio, ocorrem os Gleissolos Háplicos Eutróficos e Distróficos, caracterizados por sua permanente ou periódica saturação, mal drenados, e pela forte gleização. Por fim, são encontradas associações pedológicas do tipo Neossolos Litólicos Eutróficos, associados às bordas do tabuleiro do Planalto Residual de Marília (CBH-AP, 1997).

Inseridas na Bacia do Paraná, as UGRHI 20 e 21 possuem como substrato geológico aflorante as rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, as rochas sedimentares de idade mesozoica do Grupo Bauru e depósitos aluvionares de idade cenozóica.

Segundo a divisão litoestratigráfica do Grupo Bauru proposta por Paula e Silva, Chang, Caetano-Chang (2003) são aflorantes na área de estudo as unidades geológicas compostas pelas Formações Marília, Adamantina e Araçatuba do Grupo Bauru. Na área ocorrem ainda depósitos cenozóicos do Quaternário, associados às calhas de drenagem atuais. Na Figura 2 são ilustradas as Formações Geológicas que ocorrem na área.

Enfatiza-se a importante capacidade que as rochas do Grupo Bauru possuem em armazenar e transmitir água, compondo importantes aquíferos de extensões regionais. Com base em informações de poços existentes, Paula e Silva, Chang, Caetano-Chang (2005) propuseram a subdivisão hidroestratigráfica do Sistema Aquífero Bauru, ocorrendo na área de estudos o afloramento dos Aquíferos Marília e Adamantina e do Aquífero Araçatuba.

### 3 – MATERIAIS E MÉTODOS

O método GOD pretende a caracterização da vulnerabilidade natural do aquífero à contaminação a partir da atribuição de pesos diferentes para cada variável Hidrogeológica dos parâmetros adotados: confinamento hidráulico da água subterrânea no aquífero em questão; característica hidrogeológica e do grau de consolidação da zona vadosa ou camada confinante que determinam a capacidade de atenuação do contaminante, e; profundidade até o lençol freático ou até o teto do aquífero confinado.

Com base nas informações disponíveis e com a caracterização geológica e hidrogeológica da área, as formações hidrogeológicas de superfície foram classificadas quanto aos parâmetros grau de confinamento e estratos de cobertura utilizando técnicas de geoprocessamento no SIG ArcMap™ 9.3. Na Tabela 1 são ilustrados os pesos atribuídos para cada um desses parâmetros.

Figura 2 – Mapa representando as Formações Geológicas aflorantes nas subunidades de gestão do Alto Aguapeí e Alto Peixe.

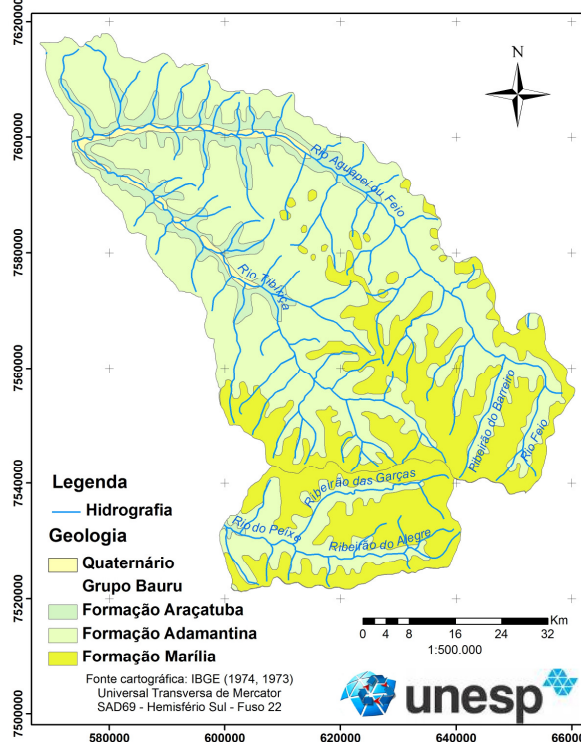


Tabela 1 – Pesos atribuídos para cada formação hidrogeológica aflorante na área conforme parâmetros de avaliação que compõe o método GOD.

Unidade hidrogeológica	Peso atribuído ao parâmetro grau de confinamento	Peso atribuído ao parâmetro estratos de cobertura
Araçatuba	0,900	0,50
Adamantina	0,949	0,79
Marília	0,950	0,80
Quaternário	1,000	0,90

O parâmetro profundidade do lençol freático (D) foi obtido pela interpolação dos níveis estáticos de 175 poços existentes na área, selecionados do cadastro do DAEE e ilustrados na Figura 3. As informações dos poços utilizados foram levantadas junto à Diretoria do Peixe Paranapanema do Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), cuja sede localiza-se no município de Marília.

Com os poços selecionados foi feita a interpolação dos níveis estáticos com a ferramenta *Topo to Raster* do software *ArcMap*™ 9.3. Essa técnica permite que o nível do lençol seja suavizado nas proximidades dos cursos de água.

Uma vez obtida a profundidade do lençol freático foi realizada a reclassificação dos valores em função dos pesos estabelecidos pelo método GOD, conforme Tabela 2.

O mapa de vulnerabilidade natural foi então gerado pelo cruzamento dos mapas do grau de confinamento, estratos de cobertura e profundidade do lençol freático.

Figura 3 – Representação dos poços selecionados para a caracterização do parâmetro Profundidade do Lençol Freático a partir da interpolação dos níveis estáticos.

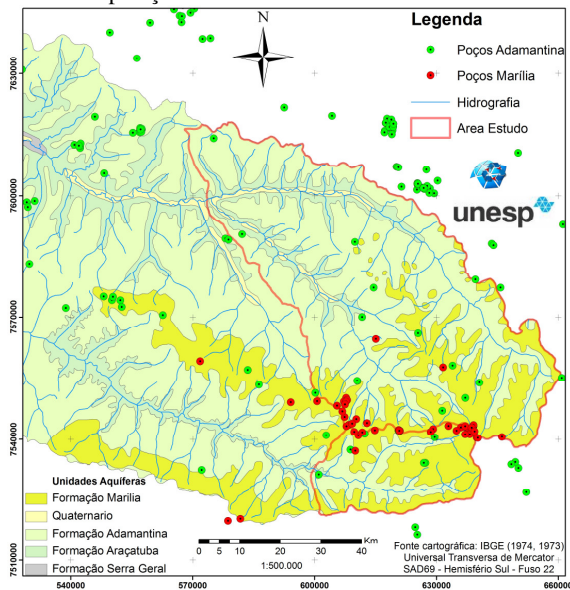


Tabela 2 – Pesos atribuídos, conforme método GOD, para cada profundidade do lençol freático que ocorre na área de estudo.

Profundidade	Peso atribuído
> 50 m	0,6
20–50 m	0,7
05–20 m	0,8
< 5 m	0,9

O Perigo de contaminação de aquíferos num dado local, por sua vez, segundo Foster *et al.* (2006), pode ser obtido a partir da interação entre: a vulnerabilidade do aquífero à contaminação, consequência das características naturais dos estratos que o separam da superfície da terra; e, a carga contaminante que é, será, ou poderá ser aplicada no meio como resultado da atividade humana.

Dessa forma, a avaliação do perigo de contaminação das águas subterrâneas foi feita em três etapas: levantamento de informações em bibliografia e consulta ao cadastro de outorgas do DAEE; visita aos municípios com sede urbana na área de estudos para levantamentos em campo das fontes potenciais de contaminação, e; produção do mapa de perigo de contaminação.

A primeira etapa consistiu no levantamento de informações nos relatórios ambientais publicados pela CETESB (2011a, 2011b e 2011c), consulta aos Planos Diretores Municipais e classificação dos cursos de água de acordo com o Decreto Estadual 10.755, de 22 de novembro de 1977 (SÃO PAULO, 1997).

A CETESB, enquanto órgão estadual responsável pelo licenciamento ambiental, não possibilitou o acesso aos dados de seu cadastro de fontes potencialmente contaminantes e foi realizada, na primeira etapa, consulta ao Cadastro de Outorgas do DAEE para identificação das atividades industriais desenvolvidas na área de estudo. Na segunda etapa, nas visitas aos municípios com sede urbana nas subunidades de gestão do Alto Aguapeí e Alto Peixe, buscou-se cadastrar as fontes potenciais de contaminação.

Os levantamentos em campo foram subsidiados pelas informações preteritamente coletadas junto ao cadastro do DAEE e realizados nos municípios de Álvaro de Carvalho, Garça, Getulina, Guaimbê, Júlio de Mesquita, Marília e Vera Cruz, acompanhados por funcionários do setor de planejamento, meio ambiente ou agricultura das prefeituras municipais.

Para cada fonte potencial de poluição identificada foi feito o levantamento de sua localização geográfica com o auxílio de um receptor de posicionamento global (GPS) e anotada a descrição sucinta do tipo de atividade desenvolvida no local.

Para os municípios de Marília e Garça, além dos levantamentos em campo, foram consultados os Planos Diretores Municipais com o intuito de se definir as áreas destinadas às atividades industriais. Dessa forma, optou-se por não individualizar as fontes quando as mesmas estivessem inseridas em zonas ou áreas definidas como distritos industriais nos Planos Diretores para os dois municípios.

As informações coletadas foram organizadas, tabuladas e classificadas de acordo com o seu potencial de gerar carga contaminante no subsolo, conforme classificação proposta pelo método POSH (Foster *et al.*, 2006). A classificação das zonas e distritos industriais foi feita de acordo com a atividade com maior potencial contaminante identificado.

Com a localização das fontes potencialmente contaminantes foi realizada a delimitação de suas áreas nas imagens de satélite do *Google Earth*, exportando-as na sequência para o SIG *ArcMap*™ 9.3. A delimitação da área foi realizada para todas as fontes poluidoras identificadas, excetuando-se os pontos de combustível, por terem área muito pequena e de difícil identificação.

Concluídas as atividades de levantamento, os dados foram exportados para o SIG *ArcMap*™ 9.3. No SIG foram executados procedimentos de interpolações espaciais entre as fontes potencialmente contaminantes e a

vulnerabilidade natural dos aquíferos para composição dos mapas de perigo de contaminação das águas subterrâneas.

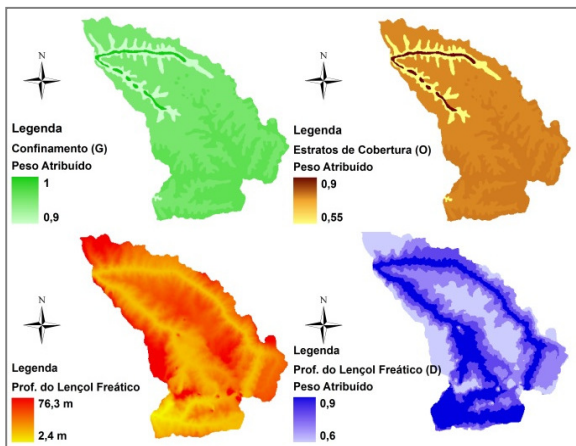
#### 4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos e apresentados a seguir consistem no mapa de vulnerabilidade natural das subunidades de gestão do Alto Aguapeí e Alto Peixe e na avaliação do perigo de contaminação das águas subterrâneas.

##### 4.1 Vulnerabilidade natural

Conforme metodologia apresentada e os pesos apresentados nas Tabelas 1 e 2, as Formações Aquíferas aflorantes nas subunidades de gestão do Alto Aguapeí e Alto Peixe foram caracterizadas quanto os parâmetros do método GOD. Os resultados dessa caracterização são apresentados na Figura 4.

Figura 4 – Representação espacial dos parâmetros do método GOD para as subunidades de gestão do Alto Aguapeí e Alto Peixe.



Com os mapas dos parâmetros que compõem o método GOD definidos para a área de estudo procedeu-se a sua interpolação através da ferramenta Map Algebra e sua função *Times* do software ArcMap™ 9.3, obtendo-se o mapa de vulnerabilidade natural das subunidades de gestão do Alto Aguapeí e Alto Peixe, que está apresentado na Figura 5.

De maneira geral, o mapa de vulnerabilidade fornece informações de âmbito regional sobre o nível de proteção natural dos aquíferos, permitindo estabelecer regras e restrições de ocupação do solo específicas para cada uma das classes obtidas.

Observa-se, na Figura 5, que as áreas com vulnerabilidade Extrema e Muito Alta coincidem com as áreas de ocorrência dos sedimentos do Quaternário. Embora sua ocorrência seja restrita às planícies fluviais dos rios Aguapeí e Tibiriça, ocupando cerca de 2% da área e distantes dos centros urbanos, é aconselhável que sejam impostas restrições rígidas quanto à implantação de atividades poluidoras e manuseio e transporte de substâncias contaminantes nestas áreas.

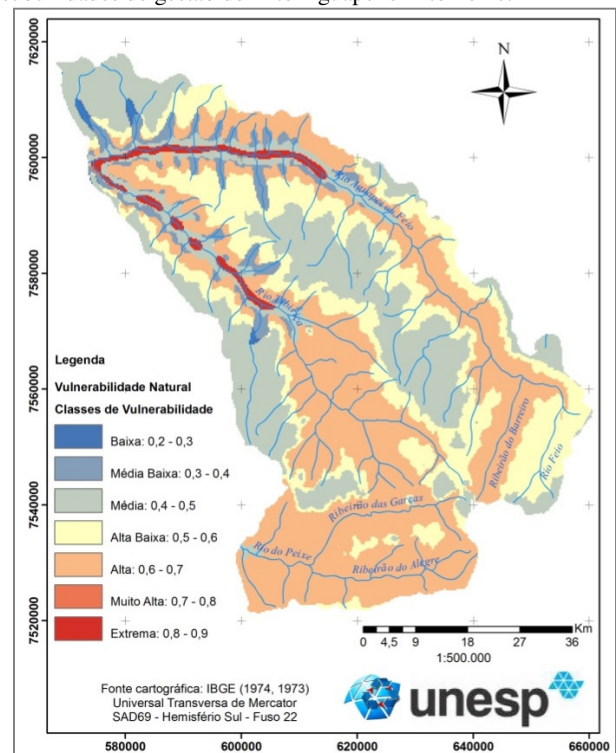
As Altas vulnerabilidades, por sua vez, ocorrem em 41,5% da área das subunidades de gestão do Alto Aguapeí

e Alto Peixe, principalmente ao longo das porções próximas às calhas dos rios Aguapeí e Tibiriça e em praticamente todo o vale do rio do Peixe.

São observadas vulnerabilidades classificadas como Alta Baixa, que ocorrem de forma periférica às Altas vulnerabilidades, em um nível mais intermediário das vertentes das calhas principais e que ocupam 23,7% da área.

As áreas apresentadas como Alta e Alta Baixa vulnerabilidade carecem de programas específicos de regulamentação de uso e ocupação do solo, além do estabelecimento de perímetros de proteção dos poços utilizados para abastecimento.

Figura 5 – Mapa de vulnerabilidade natural dos aquíferos nas subunidades de gestão do Alto Aguapeí e Alto Peixe.



Ao longo dos divisores de água entre bacias, nos limites da região de estudo e nas áreas de ocorrência do Aquitardo Araçatuba, são observadas vulnerabilidades Médias, correspondendo a 28,4% da extensão total das subunidades de gestão. Embora apresentem uma melhor condição natural de proteção dos aquíferos, é preciso atenção quanto à existência de poluentes descartados de forma contínua, como as observadas em vazamentos na rede coletora de esgotos, depósitos de lixo, vazamentos em reservatórios ou tanques subterrâneos, principalmente quanto à presença ou descarte de poluentes de alta mobilidade.

As vulnerabilidades classificadas como Média baixa e Baixa, por sua vez, devem ser analisadas com precaução, pois, embora ocorram em áreas de afloramento do Aquitardo Araçatuba, acredita-se que os baixos valores são originados pelas limitações impostas pelos dados disponíveis para a caracterização da profundidade do lençol freático. Dessa forma, a sua classificação não é

suficiente para ser adotada como critério de desatenção ou descuido, valendo-se das mesmas considerações feitas para as classes de Média vulnerabilidade.

Embora esteja prevista na classificação proposta a classe “Insignificante”, não foram geradas áreas com esse nível de vulnerabilidade natural com base no cruzamento dos dados.

#### 4.2 Perigo de contaminação das águas subterrâneas

Nos levantamentos realizados, foram identificadas, cadastradas e mapeadas as seguintes fontes potenciais de contaminação: distritos industriais definidos nos Planos Diretores Municipais e as unidades localizadas fora dos distritos industriais, os postos de combustível, locais de disposição de resíduos sólidos, estações de tratamento de esgoto, penitenciárias e cemitérios.

Dessa forma, foram identificadas 124 fontes pontuais potenciais de contaminação, relacionadas, de acordo com o tipo de atividade, na Tabela 3. Para cada uma das atividades identificadas, foi feita a classificação do potencial de gerar carga contaminante no subsolo, segundo método POSH (Foster *et al.*, 2006).

Tabela 3 – Fontes potenciais pontuais de poluição levantadas na área das subunidades de gestão do Alto Aguapeí e Alto Peixe.

Fonte	Quantidade (n.)	Classificação do potencial de gerar carga contaminante no subsolo – POSH (Foster <i>et al.</i> , 2006)
Cemitério	9	Reduzido
Penitenciária	4	Reduzido
Posto de Combustível	80	Moderado
Disposição de Resíduos Sólidos	9	Moderado
Estação de Tratamento de Esgoto	7	Reduzido
Indústria Tipo 1	9	Reduzido
Indústria Tipo 3	3	Elevado
Distrito Industrial Tipo 3	3	Elevado

Conforme o método POSH, as Indústrias Tipo 1 pertencem ao setor de madeiras, manufaturas de alimentos e bebidas, destilarias de álcool e açúcar e processamento de materiais não metálicos. As Indústrias Tipo 3, por sua vez, são as oficinas de engenharia, refinarias de gás e petróleo, fábricas de produtos químicos, farmacêuticos, plásticos e pesticidas, curtumes, indústrias eletrônicas e de processamento de metal.

Embora os postos de combustível representem 66% de todas as fontes potenciais descritas, as fontes industriais foram identificadas individualmente somente quando localizadas fora dos Distritos Industriais. Assim, as diferentes metodologias de cadastro não permitem afirmar que os postos de combustível constituem a atividade de potencial contaminante de maior número na área de estudo.

Na caracterização das fontes potenciais de contaminação foi considerado também o relatório

“Relação de Áreas Contaminadas e Reabilitadas no Estado de São Paulo” (CETESB, 2011b). Para fins de classificação do potencial de gerar carga contaminante das áreas contaminadas, considera-se o potencial da atividade poluidora correlata.

Além das fontes pontuais foram incluídas as áreas urbanas municipais como fontes potenciais difusas de contaminação. Essas áreas foram extraídas do Mapa de Uso e Ocupação do Solo apresentado no Plano das Bacias Hidrográficas dos Rios Aguapeí e Peixe (CBH-AP, 2008).

Para a classificação das áreas urbanas quanto ao potencial de gerar carga contaminante, o método POSH utiliza as informações da proporção de esgoto coletado e a densidade populacional. Nesse sentido, na Tabela 4 são apresentadas informações de densidade urbana dos municípios com sede na área de estudos, obtida pela relação entre a população urbana e a sua área urbana e a proporção de esgotos coletados em relação ao total gerado (CETESB, 2011a).

Com relação aos dados foi observado que apenas Júlio Mesquita possui proporção de coleta de esgotos menor que 75%, que é uma das faixas de corte usada pelo Método POSH.

Tabela 4 – Densidade Urbana dos municípios com sede nas subunidades de gestão do Alto Aguapeí e Alto Peixe.

Município	Área Urbana (ha)	População Urbana (n. hab.)	Densidade urbana (hab./ha)	Esgoto coletado (%)
Álvaro de Carvalho	48,8	2.951	60,4	100
Garça	745,2	39.184	52,6	100
Getulina	127,9	8.334	65,1	100
Guaimbê	74,0	4.741	64,0	99
Júlio Mesquita	63,8	4.209	66,0	70
Marília	3.717,3	207.494	55,8	80
Vera Cruz	172,2	9.370	54,4	95

As áreas agrícolas, apesar de também serem importantes nas questões afetas às águas subterrâneas pelo seu potencial de poluição difusa, não foram consideradas nas análises pelo fato de não existir um mapeamento recente da ocorrência das diferentes culturas na área estudada.

Sabe-se, no entanto, que a região tem sofrido forte expansão da cultura da cana de açúcar sobre áreas antes ocupadas por pastagem para pecuária extensiva, o que representa um aporte no potencial poluidor.

Outra questão considerada na caracterização das fontes potenciais de contaminação foi o enquadramento dos corpos de água estabelecido pelo Decreto Estadual 10.755, de 22 de novembro de 1977 (SÃO PAULO, 1977). De acordo com ANA (2007), o enquadramento dos corpos d'água consiste no estabelecimento do nível de qualidade a ser alcançado ou mantido em um segmento de corpo d'água ao longo do tempo.

O Decreto que enquadrava os corpos d'água no Estado de São Paulo tomou por base a situação dos rios e dos usos pretendidos à época, que fez surgir um forte

movimento para que os Comitês de Bacias Hidrográficas discutam e pactuem em suas áreas de atuação uma nova proposta de enquadramento.

No entanto, enquanto esse reenquadramento não é viabilizado, temos um cenário onde alguns rios, por estarem enquadrados em classes menos restritas em termos de qualidade, podem ser utilizados para diluição de efluentes que contenham uma concentração relativamente maior de carga contaminante. Nestes corpos de água, por terem qualidade mais comprometida, podem ocorrer, em determinadas situações, eventos de infiltração de contaminantes no subsolo, com a consequente contaminação das águas subterrâneas.

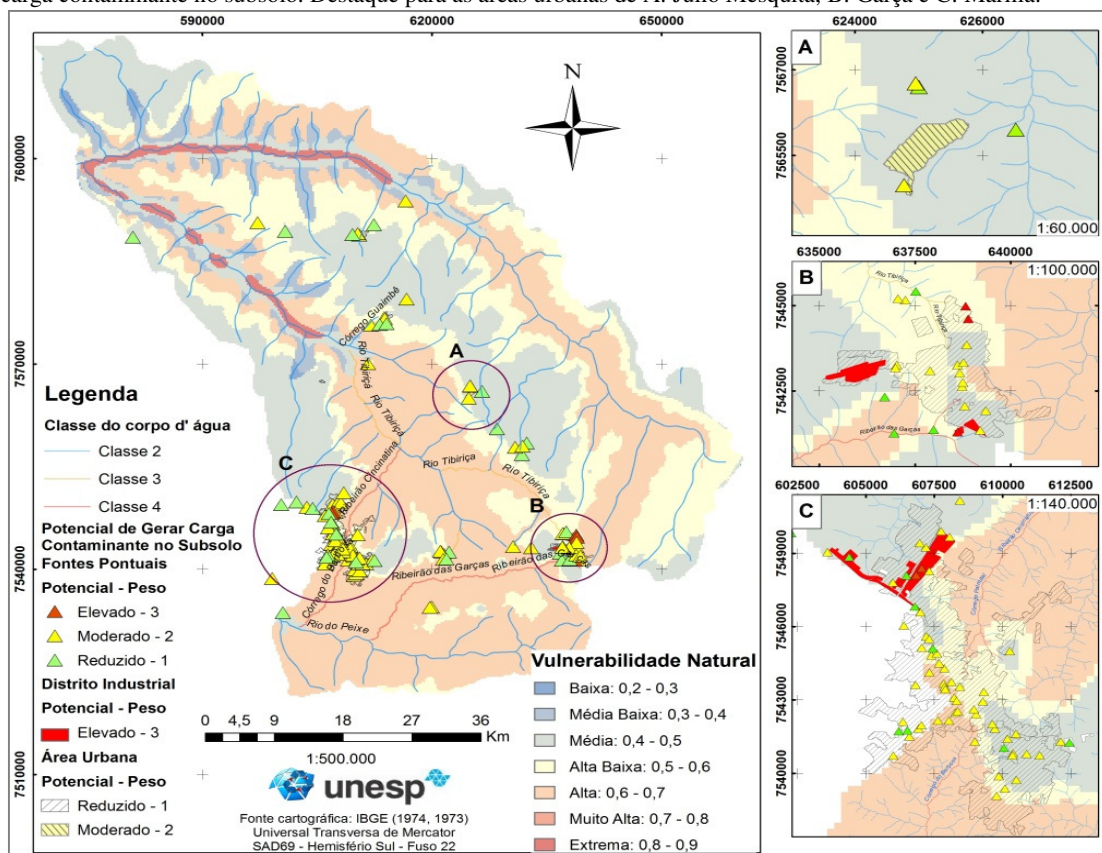
O Método POSH não prevê uma classificação para canais e cursos de água contaminados, de forma que será

utilizado neste trabalho apenas para a composição das análises referentes ao Perigo de Contaminação das Águas Subterrâneas.

Na Figura 6 consta a distribuição das fontes potenciais de contaminação na área de estudo, representadas de acordo com o seu Potencial de Gerar Carga Contaminante no Subsolo.

Conforme classificação discutida, o Potencial Reduzido de gerar carga contaminante está relacionado aos cemitérios, unidades prisionais, estações de tratamento de esgoto e unidades industriais do setor alimentício. Os distritos industriais, por sua vez, correspondem às áreas identificadas como de Potencial Elevado de gerar carga contaminante.

Figura 6 – Vulnerabilidade natural dos aquíferos e fontes potenciais de contaminação mapeadas, classificadas quanto ao seu potencial de gerar carga contaminante no subsolo. Destaque para as áreas urbanas de A: Júlio Mesquita, B: Garça e C: Marília.



As fontes com Potencial Moderado de contaminação correspondem aos postos de combustível e aterros sanitários.

As fontes difusas, limitadas, no âmbito dos estudos efetuados, as sedes urbanas dos municípios, foram classificadas e representadas como de Potencial Reduzido de gerar carga contaminante. Exceção ao município de Júlio Mesquita que em virtude de seus baixos índices de coleta de esgoto, foi classificado como de Potencial Moderado.

Com as informações apresentadas, procedeu-se a interpolação das fontes potenciais de contaminação com

a vulnerabilidade natural dos aquíferos. Os resultados desse cruzamento são apresentados na Figura 7.

Assim, a sede urbana de Júlio de Mesquita, por ter sido considerada de Potencial Moderado de gerar carga contaminante e localizar-se em área de média vulnerabilidade natural, apresenta Perigo Alto de contaminação das águas subterrâneas. As demais sedes apresentam Perigo Moderado de contaminação.

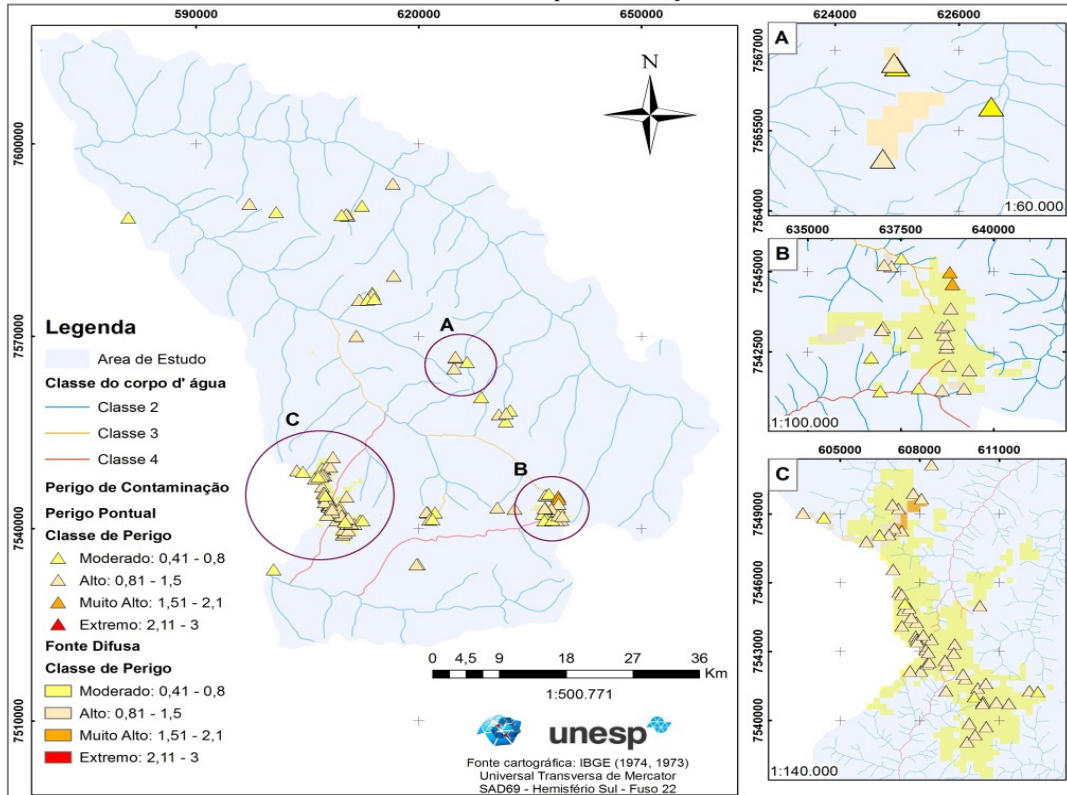
Os resultados demonstram que, embora sejam feitos investimentos buscando a universalização dos serviços de coleta de esgotos, as áreas urbanizadas, para as características dos aquíferos na área, continuarão representando certo perigo de contaminação. Essa constatação remete na necessidade de se introduzir na

gestão territorial estratégias de proteção e gestão das águas subterrâneas.

Os distritos industriais apresentam Perigo Alto de contaminação no Município de Garça e Perigo Alto e

Muito Alto no Município de Marília, sendo que o último acontece pela localização de parte do distrito em área de Alta Baixa vulnerabilidade.

Figura 7 – Perigo de contaminação das águas subterrâneas nas subunidades de gestão do Alto Aguapeí e Alto Peixe. Destaque para as áreas urbanas de A: Júlio Mesquita, B: Garça e C: Marília.



Embora se tenha atribuído a classificação mais alta para o potencial de gerar carga contaminante para os distritos industriais, uma vez que existem na área indústrias com esse potencial, é importante destacar que não existem limitações no Zoneamento quanto a instalação de empresas de maior potencial contaminante.

Essas considerações reforçam a importância de se introduzir no planejamento territorial urbano a questão da hidrogeologia, principalmente no estabelecimento de estratégias de proteção dos poços utilizados no abastecimento público, bem como das respectivas áreas de contribuição.

Com relação às fontes identificadas pontualmente, todos os postos de combustível, independente de sua localização, apresentam Alto perigo de contaminação. Essa constatação corrobora com os dados de áreas contaminadas da CETESB (2011b), que relaciona 11 áreas contaminadas nas subunidades de Gestão do Alto Aguapeí e Alto Peixe, das quais 10 referem-se aos postos de combustível.

Esse cenário decorre do incremento dos instrumentos de gestão ambiental no Estado, que passou a incluir recentemente os postos de combustível entre as atividades sujeitas ao licenciamento, o fato do vazamento de combustíveis de tanques enterrados serem as principais causas de contaminação das águas subterrâneas exige

permanente atenção por parte dos órgãos gestores de meio ambiente e recursos hídricos.

Os locais de disposição de resíduos sólidos também possuem Alto perigo de contaminação, o que deve ser analisado com grande preocupação, pois todos os municípios visitados utilizam a prática de Aterros em valas para esta finalidade. Como o próprio nome retrata essa forma de disposição de resíduos constitui em um buraco aberto no solo, preenchido com resíduos domésticos, não havendo qualquer preocupação com a impermeabilização de fundo.

Todas as outras fontes apresentaram Perigo Moderado de contaminação, e duas indústrias do setor de eletrônicos no Município de Garça apresentaram Perigo Alto à contaminação das águas subterrâneas.

## CONCLUSÕES

A percepção da ocorrência e da importância dos recursos hídricos subterrâneos é limitada na visão de seus usuários como a obra hidráulica poço e pelos hidrólogos como a parcela do ciclo hidrológico responsável pela manutenção da vazão de base dos cursos d'água de superfície.

A dificuldade em inserir o contexto hidrogeológico em estudos de bacias hidrográficas fica clara e evidente quando são analisados os Planos de Recursos Hídricos,



seja em nível de Bacia ou de Estado, que, apesar de constituírem o instrumento de orientação à gestão integrada dos recursos hídricos, estão muito distantes de terem uma análise efetivamente integrada das disponibilidades e demandas hídricas.

Para a efetiva gestão dos recursos hídricos, em especial dos subterrâneos, é preciso que haja a produção, tradução e interlocução dos conhecimentos sobre a dinâmica dos aquíferos e os impactos que atividades em superfície podem desencadear sobre os aspectos de qualidade e quantidade. Além disso, muito mais que a visão de bacia hidrográfica, o grande desafio está em introduzir esses conceitos nas ferramentas de organização do território, que são de responsabilidade dos municípios.

A difusão de conhecimentos e a promoção de discussões sobre as boas práticas de uso e as tecnologias e métodos de gestão e proteção dos recursos hídricos devem ser constantemente exercidos pelos Comitês de Bacias Hidrográficas, e no caso da área de estudo, pelo CBH-AP (COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS AGUAPEÍ E PEIXE, 1997, 2008).

Ao buscar preencher essa lacuna, o mapeamento da vulnerabilidade natural e do perigo de contaminação elaborado, ainda, em nível regional, mostra-se como uma ferramenta indispensável para a gestão das águas subterrâneas, passível de ser incorporada em trabalhos de regulação e planejamento do uso do solo em contexto municipal. Pondera-se, no entanto, que os resultados não devem, em hipótese alguma, serem substituídos por estudos de detalhe, principalmente aqueles necessários na investigação de áreas suspeitas de contaminação.

O método GOD de mapeamento da vulnerabilidade natural dos aquíferos mostrou-se eficaz para as avaliações pretendidas, permitindo inferir o grau de atenção e proteção que os recursos hídricos subterrâneos devem receber nestas unidades. Mostra-se ainda útil na definição de ações de controle e proteção, principalmente nas áreas urbanas, onde as fontes potenciais de contaminação são mais numerosas.

O método POSH, com sua proposta de classificação das fontes potenciais de contaminação, fornece informações sobre o potencial de gerar carga contaminante de maneira direta e simples, constituindo uma ferramenta de fácil aplicação e com resultados que permitem a obtenção do nível do perigo de contaminação dos aquíferos avaliados.

Os resultados podem ser usados para elucidar que os maiores municípios das subunidades de gestão do Alto Aguapé e Alto Peixe, Marília e Garça, possuem as suas sedes urbanas na região de ocorrência do aquífero Marília, em áreas de Média e Alta vulnerabilidade. Para esses municípios, o desenvolvimento de estudos de maior detalhe aliados a estratégias de proteção e monitoramento dos poços de abastecimento é imprescindível, em função de existirem diversificadas atividades com potencial contaminante, conseqüentemente, apresentando maior perigo à contaminação das Águas Subterrâneas.

Para as áreas urbanas dos demais municípios, localizadas em áreas de Média vulnerabilidade, e com dinâmicas sócio econômicas bem menos intensas, as

preocupações devem ser pautadas pela proteção dos poços utilizados no abastecimento público, a partir da definição de suas áreas de proteção, conforme estabelece a Lei 6.134 de 02 de junho de 1988 e seu regulamento.

Os resultados permitem demonstrar que, independente do tamanho do município, os sistemas de saneamento devem ser gerenciados com a inclusão da ótica de que constituem fontes difusas potenciais de contaminação, representando perigo concreto aos aquíferos. Essa preocupação precisa ser internalizada em especial pelo município de Júlio mesquita, por seus baixos índices de coleta de esgoto urbano.

Por fim, os resultados permitem descrever o nível de proteção das águas subterrâneas na região estudada. Conforme colocações realizadas, as extrapolações proporcionadas pelos métodos de interpolação utilizados podem conferir problemas aos produtos gerados. Assim, o maior detalhamento e qualidade de informações dependem de monitoramento do meio físico, bem como de um cadastro com um maior número de poços, principalmente na área de ocorrência da Formação Adamantina. Essa dependência leva a necessidade de se buscar constantemente a inserção de novas informações e dados, através do incentivo e financiamento de projetos que pretendam incrementar a rede de monitoramento, bem como o investimento na estrutura dos órgãos gestores de recursos hídricos do Estado de São Paulo, destacando-se o DAEE e a CETESB.

## REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Panorama do enquadramento dos corpos d'água no Brasil e panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil**. Brasília, 2007. Disponível em: <[www.ana.gov.br](http://www.ana.gov.br)>. Acesso em: 15 jun. 2012.
- COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS AGUAPEÍ E PEIXE (CBH-AP). **Relatório de Situação dos Recursos Hídricos das UGRHI 20 e 21** ("Relatório Zero"). Marília, 1997.
- \_\_\_\_\_. **Plano de bacia das unidades de gerenciamento de recursos hídricos do Aguapé e Peixe** (UGRHI 20 – 21). Marília, 2008.
- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Relatório de qualidade das águas superficiais do Estado de São Paulo**. São Paulo, 2011a. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em: 15 jun. 2012.
- \_\_\_\_\_. Inventário das áreas contaminadas do Estado de São Paulo, 2011b. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em: 15 jun. 2012.
- \_\_\_\_\_. Inventário de resíduos sólidos domiciliares dos municípios paulistas, São Paulo, 2011c. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em: 15 jun. 2012.
- FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. C. A. **Groundwater pollution risk assessment: a methodology using available data**. WHO-PAHO/HPE-CEPIS Technical Manual. Lima, Peru, 1988, 81 p.

FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. **Proteção da Qualidade da Água Subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais.** Tradução: Sônia Vieira. São Paulo: Banco Mundial, Servmar, 2006, 104 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Sinopse do Censo Demográfico 2010.** Brasília, 2011. Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopse/>>. Acesso em: 22 set. 2012.

INSTITUTO GEOLÓGICO (IG); COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB); DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (DAEE). **Mapeamento da vulnerabilidade e risco de poluição das águas subterrâneas no Estado de São Paulo.** São Paulo: IG; CETESB; DAEE, 1997.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo:** 1:1.000.000. v. 2. São Paulo: IPT, 1981. Monografia 5.

\_\_\_\_\_. Coordenadoria de Planejamento Ambiental da Secretaria de Estado de Meio Ambiente. **Sistema Aquífero Guarani: Subsídios ao plano de desenvolvimento e proteção ambiental da área de afloramento do Sistema Aquífero Guarani no Estado de São Paulo.** Cadernos do Projeto Ambiental Estratégico Aquíferos, n. 5, 2011, 102 p.

PAULA E SILVA, F.; CHANG, H. K.; CAETANO-CHANG, M. R. Perfis de referência do Grupo Bauru (K) no Estado de São Paulo. **Revista Geociências:** Universidade Estadual Paulista (UNESP), São Paulo, v. 22, n. Especial, p. 21-32, 2003.

\_\_\_\_\_. Estratigrafia de subsuperfície do Grupo Bauru (K) no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Geociências,** São Paulo, v. 35, n. 1, p. 77-88, 2005.

SÃO PAULO (Estado). **Decreto Estadual n. 10.755,** de 22 de novembro de 1977. Dispõe sobre o enquadramento dos corpos de água receptores na classificação prevista no Decreto n. 8.468, de 8 de setembro de 1976, e dá providências correlatas. São Paulo, 1977. Disponível em: <<http://www.sigrh.sp.gov.br>>. Acesso em: 15 jun. 2012.

\_\_\_\_\_. **Lei Estadual n. 9.034** de 29 de dezembro de 1994. Dispõe sobre o Plano Estadual de Recursos Hídricos – PERH, a ser implantado no período 1994 e 1995, em conformidade com a Lei n. 7.663, de 30 de dezembro de 1991, que instituiu normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos. São Paulo, 1994. Disponível em: <<http://www.sigrh.sp.gov.br>>. Acesso em: 15 jun. 2012.

\_\_\_\_\_. Secretaria do Estado do Meio Ambiente (SMA). **Resolução SMA n. 88,** de 19 de dezembro de 2008. Define as diretrizes técnicas para o licenciamento de empreendimentos do setor sucroalcooleiro no Estado de São Paulo. São Paulo, 2008. Disponível em:

<<http://www.ambiente.sp.gov.br>>. Acesso em: 15 jun. 2012.

\_\_\_\_\_. Secretaria do Estado do Meio Ambiente (SMA). Secretaria de Agricultura e Abastecimento (SAA). **Resolução Conjunta SMA/SAA n. 6,** de 24 de setembro de 2009. Altera o Zoneamento Agroambiental para o setor sucroalcooleiro no Estado de São Paulo. São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://www.ambiente.sp.gov.br>>. Acesso em: 15 jun. 2012.

SOUZA, N. A. **Vulnerabilidade à poluição das águas subterrâneas – um estudo do aquífero Bauru na zona Urbana de Araguari, MG.** 137 f. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2009.

TAVARES, P. R. L.; CASTRO, M. A. H. de; COSTA, C. T. F.; SILVEIRA, J. das G. P.; ALMEIDA JÚNIOR, F. J. B. Mapeamento da vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas localizadas na Bacia Sedimentar do Araripe, Estado do Ceará, Brasil. **Revista Escola de Minas,** v. 62, n. 2, p. 227-236, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0370-44672009000200015>.