DOI: 10.5935/0100-929X.20130006 Revista do Instituto Geológico, São Paulo, 34 (2), 1-26, 2013.

PROPOSTA DE CLASSIFICAÇÃO DAS FONTES POTENCIAIS DE CONTAMINAÇÃO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

Mara Akie IRITANI
Denise ROSSINI-PENTEADO
Sibele EZAKI
Geraldo Hideo ODA

RESUMO

Identificar as atividades que têm potencial de contaminar a água subterrânea auxilia na priorização de ações de proteção dos recursos hídricos, especialmente nas regiões com expressivo crescimento urbano e econômico. Nesse sentido, este trabalho apresenta o levantamento das fontes potenciais de contaminação nos municípios de Capivari, Elias Fausto, Indaiatuba, Monte Mor, Rafard e Salto (SP) e propõe uma classificação da carga contaminante associada, de forma a auxiliar na identificação de áreas com maior perigo de contaminação da água subterrânea. A metodologia para classificação é aqui denominada de POSH-IG e foi adaptada do consagrado método POSH (*Pollutant Origin, Surcharge Hydraulically*), que classifica a carga contaminante das fontes potenciais de contaminação em três níveis qualitativos (reduzido, moderado e elevado), com base na origem do contaminante e na existência de sobrecarga hidráulica que promova o transporte advectivo do contaminante ao aquífero. No método POSH-IG foram efetuadas adequações, como a inserção de parâmetros disponíveis no Sistema Paulista de Licenciamento Ambiental para a classificação da carga potencial contaminante das fontes pontuais e a integração de informações obtidas pelo mapeamento do uso e cobertura da terra, da tipologia e do padrão da ocupação para a classificação das fontes difusas, associadas aos sistemas de saneamento na área urbana e às atividades agropastoris na área rural. Além da avaliação das áreas de expansão urbana, foi também considerado como critério de classificação das fontes difusas relacionadas aos sistemas de saneamento, a densidade de ocupação das áreas de uso Residencial/Comercial/Serviços, como indicador indireto da densidade populacional. Foram cadastradas 1918 fontes pontuais de contaminação, sendo que os empreendimentos geradores de maior carga contaminante são as indústrias de produtos químicos, metalurgia, produtos metálicos, eletroeletrônicos e de engenharia mecânica, o comércio de produtos perigosos e a disposição inadequada de resíduos. A maior carga potencial de contaminação por fontes difusas nas áreas urbanas está concentrada nas porções mais antigas das cidades, onde ocorrem elevadas densidades de ocupação. A maior expressão em área ocorre nos municípios de Indaiatuba e Salto, onde houve intensa urbanização, e em Monte Mor, onde menos de 45% da cidade possui rede coletora de esgoto. Nas áreas rurais, a canavicultura, predominante nos municípios de Capivari e Rafard, destaca-se pelo elevado potencial de contaminação da água subterrânea.

Palavras-chave: fontes potenciais de contaminação, sistema de classificação, método POSH, carga potencial de contaminação.

ABSTRACT

PROPOSAL FOR THE CLASSIFICATION OF POTENTIAL POLLUTION SOURCES FOR GROUNDWATER CONTAMINATION. The identification of activities with the potential for groundwater contamination aids in the prioritization of actions to protect water resources, especially in areas with significant urban and economic development. This study presents a survey of potential pollution sources in the municipalities of Capivari, Elias Fausto, Indaiatuba, Monte Mor, Rafard and Salto (State of São Paulo) and proposes a classification of the associated contaminant load in order to identify the areas of highest hazard of groundwater contamination in this region. The classification developed here is called POSH-IG and is adapted from the renowned POSH (*Pollutant Origin, Surcharge Hydraulically*) method, which ranks the contaminant load of the potential pollution sources in three qualitative levels (low, moderate and high) based on the origin of the contaminant and the presence of a hydraulic surcharge promoting advective transport to the aquifer. In the POSH-IG method adjustments were made for the classification of the contaminant load of point sources, inserting available parameters from the Environmental Licensing System of São Paulo State. Land use mapping, the type and pattern of occupation was integrated to classify the contaminant load of diffuse pollution sources associated with sanitation systems in urban areas and farming and livestock activities in rural areas. Besides the evaluation of urban expansion areas, the density of occupation of residential, commercial, and services areas – an indirect indicator of population density – was also considered as a criterion for classification of diffuse sources related to sanitation systems. Of the 1918 point sources of contamination registered in this study, the activities with highest contaminant load are mainly related to the chemical, metallurgical, metal product, electronics and mechanical engineering industries, storage of hazardous products and inadequate waste disposal. In urban areas the greater potential contamination load from diffuse sources is concentrated in the older portions of the cities where higher occupation densities occur. The largest such areas occur in the municipalities of Indaiatuba and Salto, where there has been intense urbanization and in Monte Mor, where less than 45% of the city is served by the sanitary system. In rural areas, sugar cane cultivation, prevalent in the municipalities of Capivari and Rafard, stands out because of its high potential for groundwater contamination.

Keywords: potential pollution sources, rating system, POSH method, potential contaminant load.

1 INTRODUÇÃO

A carga contaminante de uma atividade antrópica é um elemento comumente utilizado na avaliação do risco de contaminação da água subterrânea. FOSTER *et al.* (2002) consideram como carga contaminante o potencial que uma atividade antrópica tem de liberar substâncias nocivas para o ambiente, que possam atingir e degradar a qualidade da água subterrânea. DE KETELAERE *et al.* (2004) denominam esse potencial como "perigo".

No presente estudo adotou-se as nomenclaturas e os conceitos de FOSTER *et al.* (2002), que definem o "perigo de contaminação da água subterrânea" como o resultado da interação entre a carga contaminante relacionada à fonte potencial de contaminação e à vulnerabilidade do aquífero.

FOSTER & HIRATA (1991) mostraram que o potencial de contaminação associado a uma atividade ou empreendimento é determinado por sua carga contaminante que, por sua vez, pode ser caracterizada por quatro fatores: 1) a classe do contaminante; 2) a intensidade da contaminação; 3) o modo de descarga do contaminante no subsolo e 4) a duração do evento contaminador.

No sentido mais amplo e voltado ao planejamento e gestão do uso do solo e dos recursos hídricos, especialmente em áreas com grande número e

diversidade de atividades, a avaliação do potencial de contaminação permite identificar os empreendimentos prioritários para as ações de controle e prevenção.

Em vista disso fez-se necessário desenvolver uma metodologia para classificar as fontes de contaminação com base em uma abordagem sistemática, abrangente e que permita a avaliar qualquer tipo de contaminante, bem como a comparação das diferentes atividades ou empreendimentos.

Assim, este trabalho propõe um método de classificação e localização das fontes de contaminação tomando-se como área piloto do estudo uma região com demanda crescente de água subterrânea para o abastecimento público, bem como para o desenvolvimento econômico, com destaque para o setor industrial.

A metodologia aqui desenvolvida e denominada de POSH-IG, incorpora modificações ao método POSH (FOSTER *et al.* 2002), como a inserção de parâmetros disponíveis no sistema de licenciamento ambiental do Estado de São Paulo e adaptações ao cenário de uso e ocupação do solo na área de estudo.

1.1 Área de estudo

A área de estudo escolhida para a aplicação do método abrange os municípios de Indaiatuba, Salto, Monte Mor, Elias Fausto, Capivari e Rafard, localizados na porção sudeste do Estado de São Paulo (Figura 1) e que cobrem aproximadamente 1.342 km^2. Inserem-se na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos da Bacia dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (UGRHI 5). Apenas Salto e Rafard têm uma pequena área inserida, também, na UGRHI 10, na Bacia dos rios Sorocaba e Médio Tietê.

Esses municípios apresentam diferenças socioeconômicas e do processo de desenvolvimento. No Município de Elias Fausto predominam atividades agropecuárias, enquanto em Capivari, Rafard e Monte Mor destaca-se a cultura canavieira voltada para a agroindústria. A industrialização tem avançado rapidamente em todos os municípios e desempenha papel fundamental no desenvolvimento econômico e na expansão urbana, principalmente em Indaiatuba e Salto, que apresentam a maior população e grau de urbanização (Tabela 1).

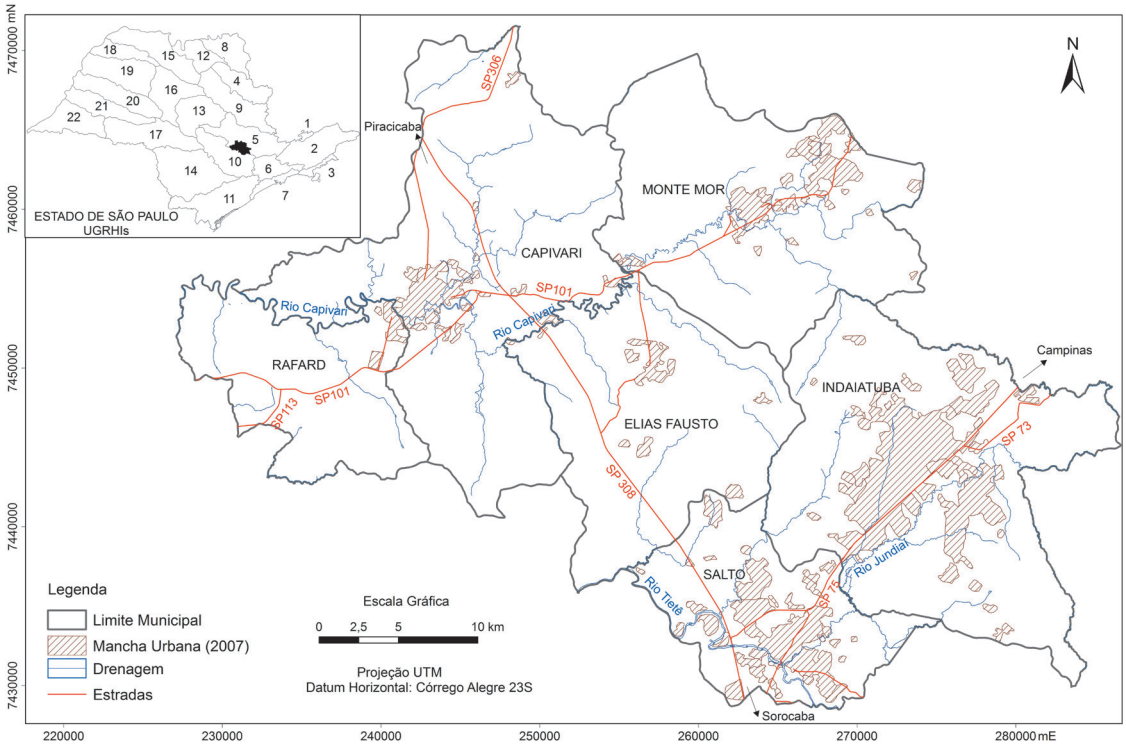

FIGURA 1 – Localização da área de estudo.

TABELA 1 – Índices socioeconômicos dos municípios estudados (IBGE 2006, 2010).

Característica	*Ano*	*Capivari*	*Rafard*	*Elias Fausto*	*Monte Mor*	*Indaiatuba*	*Salto*
Território e População							
Área (km^2)	2005	319	140	203	236	299	160
População	2010	48.576	8.612	15.775	48.949	201.619	105.516
Densidade Demográfica (Habitantes/km^2)	2010	150,53	70,93	77,83	203,55	647,54	792,17
Infraestrutura urbana							
Grau de urbanização (%)	2005	84,08	87,28	78,29	93,56	98,79	98,97
Abastecimento de água – nível de atendimento (%)	2000	98,5	97,89	96,28	96,35	94,37	98,03
Esgoto sanitário – nível de atendimento (%)	2000	94,4	96,4	90,41	44,37	91,93	92,53
Lixo domiciliar/comercial com destinação adequada (%)	2003	100	–	100	100	100	–

Todos os municípios são providos com água e esgotamento sanitário acima de 90%, exceto Monte Mor onde apenas 44% da área urbana apresenta rede coletora de esgoto (Tabela 1).

O abastecimento público de água é totalmente suprido pela água subterrânea em Elias Fausto e Rafard e parcialmente em Capivari e Monte Mor. Além disso, a água subterrânea tem importância crescente para os usuários privados, como constatado pelo grande número de poços profundos construídos nas últimas décadas. De acordo com o levantamento realizado por IG (2012), o número de poços com data de perfuração entre 1971 e 1990 somava um total de 340, enquanto nos 20 anos seguintes, de 1991 a 2010, foram contabilizados 675 poços construídos no período.

1.2 Hidrogeologia

A principal unidade hidroestratigráfica da área estudada é o Sistema Aquífero Tubarão (Figura 2), que compreende rochas sedimentares do Subgrupo Itararé – Grupo Tubarão, representadas por litotipos bastante variáveis, descontínuos e com intercalações e/ou associações de arenitos, siltitos, folhelhos, argilitos, diamictitos e ritmitos (PETRI & PIRES 1992, PETRI *et al.* 1996). Nessa região a espessura de sedimentos aumenta no sentido oeste, superando os 350 metros em Capivari (ODA *et al*. 2012).

O Sistema Aquífero Tubarão é caracterizado como granular, de porosidade predominantemente primária, heterogêneo e apresenta condições de confinamento e/ou semiconfinamento. Por sua extensão e espessura é a unidade com maior taxa de explotação, mas de forma geral, esse sistema possui baixa produtividade, exceto em alguns locais restritos dos municípios de Capivari, Rafard, Elias Fausto e Monte Mor.

Os fluxos subterrâneos rumam dos espigões para os principais rios como o Tietê, Jundiaí, Capivari e Capivari-Mirim. Na região de Capivari, onde há explotação intensiva dos poços, observam-se indícios de rebaixamento da superfície potenciométrica (IG 2012).

Na porção leste dos municípios de Salto e Indaiatuba ocorre o Sistema Aquífero Cristalino, constituído predominantemente por gnaisses e intrusões granitóides (HASUI *et al*. 1981, GALEMBECK 1997, NEVES 2005), onde o armazenamento e a circulação das águas subterrâneas ocorrem nas fraturas das rochas e/ou no manto de alteração.

As rochas intrusivas básicas relacionadas à Formação Serra Geral, representadas por sills e diques de diabásio, ocorrem de forma irregular, especialmente nas porções oeste e norte da área estudada, e formam, eventualmente, um aquífero local de pouca importância, denominado de Aquífero Diabásio.

De forma geral, a qualidade da água subterrânea é boa (EZAKI *et al*. no prelo) e adequada a qualquer tipo de uso, mas apresenta, localmente, anomalias naturais de fluoreto acima do padrão de potabilidade (estipulado em 1,5 mg dm^{-3} pelo MINISTÉRIO DA SAÚDE 2011), associadas à alteração das rochas sedimentares (Sistema Aquífero Tubarão) e de granitos (Sistema Aquífero Cristalino) (EZAKI *et al*. 2009, HYPOLITO *et al*. 2010, EZAKI 2011).

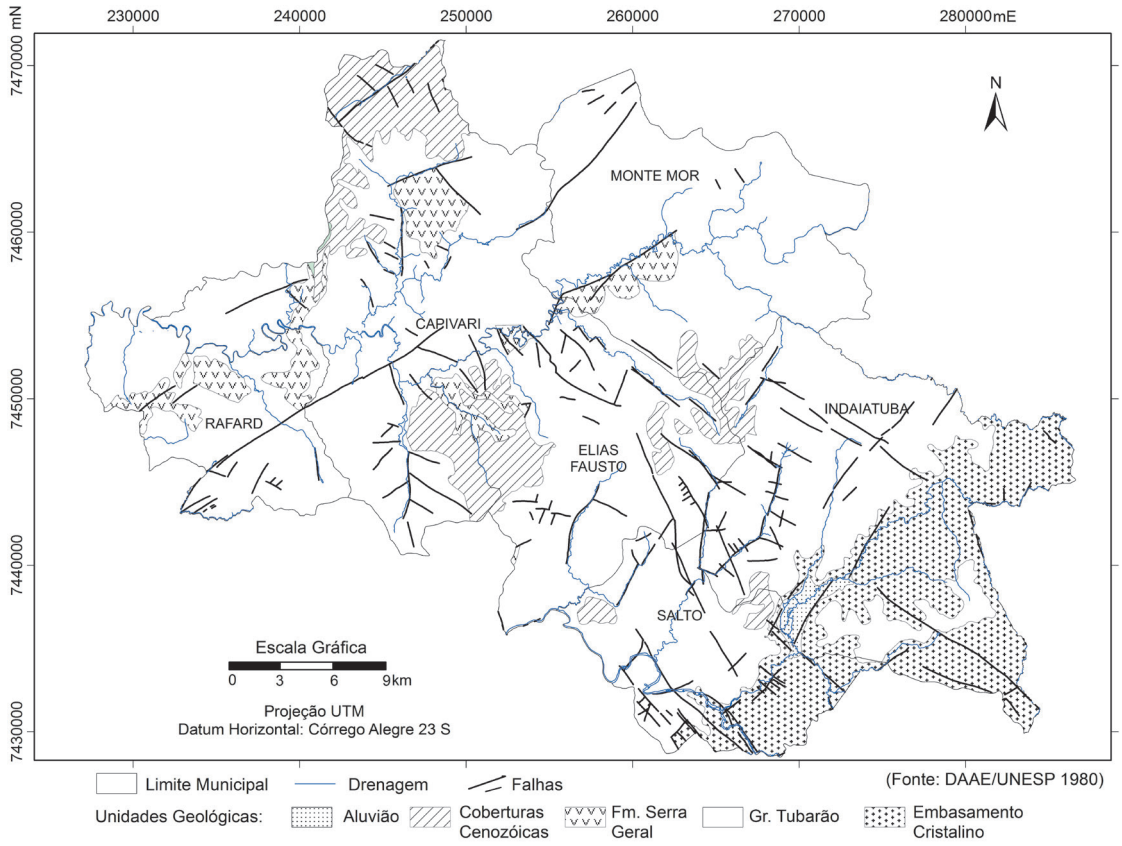

FIGURA 2 – Mapa geológico simplificado da área de estudo.

2 BASE CONCEITUAL E METODOLÓGICA

Segundo NONNER (2004), diferentes atributos podem ser considerados para a classificação das fontes de contaminação, tais como: modo de liberação do contaminante, origem ou tipo da atividade, tipo químico do contaminante, localização em relação à superfície do solo e distribuição espacial.

FOSTER *et al.* (2002), por exemplo, com base na distribuição espacial da carga contaminante, primeiramente dividem as fontes em dois tipos: difusas e pontuais. Na sequência, os mesmos autores classificam as atividades antrópicas segundo a sua origem: urbana, agrícola, industrial e mineração. DE KETELAERE *et al.* (2004) denominam as fontes de contaminação como "perigo" e utilizam as tipologias de uso do solo como sendo o primeiro critério de classificação; fazem ainda, uma diferenciação entre categorias considerando a existência de infraestrutura, atividades industriais e agricultura/criação animal, para, em seguida, subdividi-las por tipo de atividade ou tipo de resíduo (líquido ou sólido).

Não existem muitos métodos de abordagem ampla que envolvam sistemas direcionados à avaliação de qualquer tipo de contaminante para classificar as fontes potenciais de contaminação e que também possibilitem uma avaliação comparativa entre as diferentes atividades. Conforme o levantamento de JOHANSSON & HIRATA (2004) os métodos desenvolvidos apresentam, normalmente, uma abordagem específica: o destaque está numa atividade ou contaminante específico como, por exemplo, a avaliação do perigo de contaminação do aquífero por agrotóxicos ou nitrato, onde, muitas vezes, a carga contaminante é um parâmetro inserido na avaliação da vulnerabilidade específica (LAKE *et al*. 2003, STIGTER *et al*. 2006, ANTONAKOS & LAMBRAKIS 2007, MILHOME *et al.* 2009).

Em outros estudos a classificação das fontes potenciais de contaminação foi desenvolvida para uma determinada área de estudo, onde o enfoque foi dado apenas para os tipos de atividades existentes (GEMITZI *et al.* 2006), não permitindo extrapolação para outras regiões.

Alguns métodos de classificação do potencial perigo associados às áreas contaminadas ou potencialmente contaminadas (CCME 2008, CETESB 2001) são bastante complexos e requerem informações detalhadas das atividades e dos empreendimentos, as quais, muitas vezes, não são compatíveis, seja com a escala de trabalho, tempo ou com os recursos disponíveis para os estudos regionais voltados ao planejamento.

No âmbito das Diretivas da Comunidade Européia, DE KETELAERE *et al.* (2004) desenvolveram um sistema semiquantitativo para classificar a carga, fundamentado numa abordagem ampla onde são considerados três parâmetros na determinação do índice de perigo (HI). Para interpretar esses índices, com valores entre 0 a 120 pontos, os autores sugerem a definição de cinco ou seis classes para permitir a comparação qualitativa das atividades e facilitar o seu entendimento e aplicação.

O primeiro parâmetro no sistema de classificação das fontes potenciais de contaminação proposto por DE KETELAERE *et al.* (2004) consiste na aplicação de pesos (H) para cada tipo de atividade, o que permite a comparação da periculosidade entre os tipos de atividades estabelecidos. O sistema de pesos (variável de 10 a 100) foi estabelecido com base em estudos de áreas-piloto, no conhecimento tácito de especialistas e a partir de fórmula estabelecida no método SINTACS, utilizado no mapeamento da vulnerabilidade (CIVITA *et al.* 2000 *apud* DE KETELAERE *et al.* 2004). As atividades que possuem maior peso são áreas sem saneamento, lagoas de efluentes, mineração, refinarias, indústrias químicas, curtumes, armazenamento e disposição de resíduos industriais.

O segundo parâmetro no sistema proposto por DE KETELAERE *et al.* (2004) considera a quantidade de substância perigosa (Q_n), variável de 0,8 a 1, e permite a comparação relativa de empreendimentos do mesmo tipo de atividade. O terceiro e último parâmetro é um fator de redução (R_f), variável de 0 a 1, utilizado para refletir as condições físicas e operacionais do empreendimento, como, por exemplo, manutenção e segurança. O índice de perigo (HI) é definido por $H = H^* Q_n * \sqrt{R_f}$.

Para definir os dois últimos parâmetros é necessário o levantamento de dados específicos de operação de cada fonte potencial de contaminação. Em alguns casos essas informações não estão facilmente disponíveis, o que implica em maior tempo e custo no levantamento de dados.

Sistemas simples de classificação e de fácil aplicação, que requerem apenas dados mínimos e facilmente disponíveis, podem ser utilizados em processos de planejamento e de priorização de áreas ou ações de controle das fontes potenciais de contaminação. Com esse foco, FOSTER *et al.* (2002) e JOHANSSON & HIRATA (2004) propõem sistemas simples e qualitativos, onde os tipos de atividades são separados em três classes em função da carga potencial contaminante (elevada, moderada e reduzida). Essas classificações podem ser aplicadas em regiões complexas como as grandes áreas metropolitanas, onde existe variedade de atividades do tipo comercial, industrial e de serviço, como mostrou o estudo de HIRATA & FERREIRA (2001).

Na classificação proposta por JOHANSSON & HIRATA (2004) os principais tipos de atividades com elevado potencial de carga contaminante são as áreas urbanas com ausência de saneamento, algumas minerações, indústrias farmacêuticas, químicas, petroquímicas e metalúrgicas, refinarias, lagoas de efluentes e disposição de resíduos perigosos.

Outro método de abordagem ampla para classificar as fontes potenciais de contaminação é o método POSH (acrônimo em inglês de *Pollutant Origin and Surcharge Hydraulically*), desenvolvido por FOSTER *et al*. (2002), que considera as substâncias geralmente presentes em cada tipo de atividade humana e na sobrecarga hidráulica associada, capaz de gerar um transporte de contaminantes para o aquífero. Este sistema de classificação tem caráter qualitativo e considera as fontes pontuais e difusas de contaminação, conforme apontado nas tabelas 2, 3 e 4.

Para fontes pontuais de contaminação o método POSH distingue as atividades de deposição de resíduos sólidos, áreas industriais, lagoas de águas residuárias, exploração mineral e outras atividades urbanas (Tabela 2).

De acordo com a natureza dos contaminantes encontrados nas plumas de contaminação, as atividades industriais foram agrupadas em 3 tipos (Tabela 3). O terceiro tipo agrupa as indústrias com maior potencial para contaminação, devido à presença de compostos orgânicos ou metais pesados em grande quantidade no processo produtivo ou no efluente.

TABELA 2 – Sistema POSH de classificação de fontes pontuais de contaminação (FOSTER *et al.* 2002).

Potencial de gerar carga contaminante no subsolo	*deposição de resíduos sólidos*	*áreas industriais**	*lagoas de águas residuais*	*outras (urbanas)*	*mineração e exploração de petróleo*
Elevado	resíduo industrial tipo 3**, resíduo de origem desconhecida	indústria tipo 3*** ou qualquer atividade que manuseie > 100 kg/dia de produtos químicos perigosos	todos os resíduos industriais tipo 3**, qualquer efluente (exceto esgoto residencial) se a área > 5 ha		operações em campos de petróleo, mineração de metais
Moderado	chuva > 500 mm/ ano com resíduos residenciais/ agroindustriais/ industriais tipo 1**, ou todos os demais casos	indústria tipo 2***	esgoto residencial se a área > 5 ha, demais casos não relacionados acima ou abaixo	postos de gasolina, vias de transporte com tráfico regular de produtos químicos perigosos	algumas atividades de mineração/ extração de materiais inertes
Reduzido	chuva < 500 mm/ ano com resíduos residenciais/ agroindustriais/ industriais tipo 1	indústria tipo 1***	águas residuais residenciais, urbanas mistas, agro industriais e de mineração de não metálicos se a área < 1 ha	cemitérios	

* solos contaminados de indústria abandonada devem ter a mesma classificação que a indústria
** resíduos e efluentes provenientes de cada tipo de indústria elencado na tabela 3
*** tipo de indústrias: consultar tabela 3

TABELA 3 – Agrupamento das indústrias de acordo com o potencial de contaminação da água subterrânea (FOSTER *et al*. 2002).

Potencial de carga contaminante para cada tipo de atividade		
Tipo 1	*Tipo 2*	*Tipo 3*
Minerais não metálicos, alimentos e bebidas, madeira	Ferro e aço, metais não ferrosos, artefatos de borracha, papel e celulose, sabão e detergentes, têxteis, fertilizantes, açúcar e álcool, usina termoelétrica	Processamento de metal, engenharia mecânica, refinarias de gás e petróleo, produtos plásticos, produtos químicos orgânicos e inorgânicos, produtos farmacêuticos, curtume, pesticidas, elétricos e eletrônicos

FOSTER *et al*. (2002) consideram o saneamento *in situ* e as práticas agrícolas como fontes difusas de contaminação. A primeira está relacionada aos contaminantes como o nitrato, microbiológicos e, eventualmente, compostos químicos orgânicos sintéticos. Os contaminantes associados às práticas agrícolas incluem o nitrato e os compostos agroquímicos (Tabela 4).

O método POSH é bastante conhecido e tem sido amplamente utilizado no Brasil devido à facilidade de sua aplicação e por demandar poucas informações, geralmente disponíveis nos órgãos de controle. O método foi usado em estudos regionais e locais como destacado em SMA/SSE (2009), CARVALHO *et al.* (2009), CUTRIM & CAMPOS (2010) e IPT/CPLA (2011).

TABELA 4 – Sistema POSH de classificação das fontes difusas de contaminação (FOSTER *et al*. 2002).

Potencial de carga contaminante	*Saneamento in situ*	*Práticas agrícolas*
Elevado	Cobertura da rede de esgoto inferior a 25% e densidade populacional superior a 100 pessoas/ha	Culturas comerciais intensivas e a maioria das monoculturas em solos bem drenados em climas úmidos ou com baixa eficiência de irrigação, pastagem intensiva com intenso uso de fertilizante
Moderado	Situação intermediária entre elevado e reduzido	
Reduzido	Cobertura da rede de esgoto superior a 75% e densidade populacional inferior a 50 pessoas/ha	Rotação de culturas, campos de pastagem extensiva, sistemas de cultivo agroecológico, plantações com alta eficiência de irrigação em áreas áridas

3 METODOLOGIA

Considerando os inúmeros empreendimentos na área de estudo e o cadastro de informações disponíveis no Sistema de Licenciamento Ambiental, desenvolveu-se um sistema simplificado de classificação de fontes potenciais de contaminação, baseado em um método amplamente utilizado e aceito no Estado de São Paulo.

A metodologia aplicada, adaptada do método POSH (FOSTER *et al.* 2002), busca contemplar as especificidades dos empreendimentos dentro de um mesmo grupo de atividade, considerando o cenário de informações disponíveis.

Para este trabalho o levantamento das fontes pontuais baseou-se no cadastro de empreendimentos fornecido pelo órgão de licenciamento ambiental, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), enquanto as fontes difusas foram identificadas a partir do mapeamento do uso da cobertura da terra e do solo urbano.

3.1 Fontes pontuais

3.1.1 Levantamento das fontes

O Decreto Estadual nº 47.397/02 (SÃO PAULO 2002), que modifica o Decreto nº 8.468/76 (SÃO PAULO 1976a) de regulamentação da Lei Estadual nº 997/76 (SÃO PAULO 1976b), relaciona a lista de atividades consideradas como fontes potenciais de poluição e que necessitam de licença do órgão ambiental para instalação e funcionamento. As classes e subclasses das atividades foram elencadas a partir da Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE) estabelecida pelo IBGE.

O Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas (CETESB 2001) relaciona nos capítulos 3100 e 3101 as atividades que possuem potencial de contaminação do solo e da água subterrânea, utilizando-se da classificação de atividade econômica adotada pelo IBGE (1984 *apud* CETESB 2001).

A Resolução Conjunta SMA/SERHS/SES nº 3/06 (SMA/SERHS/SES 2006), tomando como base a lista do Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas e a classificação de atividades adotada no Decreto Estadual nº 47.397/02 (SÃO PAULO 2002) supracitado, reagrupa aquelas atividades que podem ser consideradas como fontes pontuais com potencial de contaminação do solo e da água subterrânea.

A Deliberação CRH nº 52/05 (CRH 2005), no Apêndice III, também elenca algumas atividades com potencial de contaminação que devem ser consideradas na implantação das Áreas de Restrição e Controle de uso das águas subterrâneas e inclui, na listagem, os corpos d'água receptores de efluentes.

Considerando essas informações, foram levantados junto à CETESB os empreendimentos industriais e de serviços que estão cadastrados no Sistema de Controle de Poluição - SIPOL. A listagem é composta por dados de identificação, localização (endereço), caracterização da atividade desenvolvida (descrição, código IBGE e fator de complexidade W) e porte do empreendimento (área construída e número de funcionários).

O IBGE estabelece um código para cada atividade desenvolvida, que atualmente é denominado de Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE). O IBGE tem publicado várias revisões dessa classificação e o código da atividade utilizado no banco de dados dos empreendimentos da CETESB, também acompanhou essa evolução. Desta forma, como os dados fornecidos pela CETESB incluem todos os empreendimentos (ativos ou desativados) registrados no banco de dados, existem registros com código de atividade baseado em diferentes edições do código utilizado pelo IBGE.

O Fator de Complexidade (W) de cada tipo de atividade é aplicado pela CETESB no licenciamento dos empreendimentos com potencial de poluição do meio ambiente e está estabelecido no Decreto Estadual nº 47.397/02 (SÃO PAULO 2002).

3.1.2 Identificação e registro das fontes

Nesta etapa verificou-se que as informações sobre localização dos empreendimentos na listagem da CETESB eram incompletas no que se referem às coordenadas geográficas e se restringiam, apenas, ao endereço local.

O levantamento de campo foi necessário para identificar e registrar a localização dos empreendimentos, não importando se este estava ativo ou desativado, uma vez que o fato de determinada atividade ter sido desenvolvida no local já implica na existência de um potencial passivo ambiental. Alguns empreendimentos não foram localizados no decorrer deste trabalho devido à alteração ou insuficiência de detalhes sobre o endereço. Por outro lado, outros empreendimentos que não constavam da lista de registros da CETESB, foram identificados, gerando um cadastro total com 1918 registros.

Algumas atividades classificadas como de potencial poluidor reduzido e muito reduzido não foram registradas em campo. Incluem-se nesses casos as minerações de insumos básicos para a construção civil e algumas atividades agrosilvopastoris, pois em geral estão localizadas na área rural, além de algumas serralherias e empreendimentos de processamento de materiais não metálicos, como marmorarias.

As atividades agrosilvopastoris caracterizam, de forma geral, fontes dispersas, mas os empreendimentos voltados à criação intensiva de animais como aves e suínos, foram cadastrados como fontes pontuais.

O levantamento dessas atividades permitiu o registro cartográfico de 1636 empreendimentos, representados em mapa pelo símbolo de um ponto. Nos casos em que num mesmo endereço tenham funcionado diferentes empreendimentos, a representação em mapa foi efetuada por apenas um ponto.

3.1.3 Consolidação dos dados

A análise da natureza da atividade desenvolvida permitiu reunir os empreendimentos em 5 grupos: 1) *Atividade Agrosilvopastoril;* 2) *Mineração;* 3) *Indústrias de Transformação;* 4) *Comércio e Serviço;* 5) *Resíduos e Efluentes*.

Ainda, em cada grupo, os empreendimentos foram classificados em função do tipo de atividade praticada, tomando-se como referência a descrição registrada no cadastro e na classificação CNAE 2.0 (IBGE 2007).

O cadastro original da CETESB possui escassos registros de atividades com carga potencial de contaminação relacionada a *Comércio e Serviço*, uma vez que elas não são licenciáveis ou passaram a ser há pouco tempo, como, por exemplo, cemitérios e oficinas de manutenção. Os cemitérios antigos, instalados antes das exigências de licenciamento não constam da listagem da CETESB, mas foram inseridos no cadastro. Em relação às oficinas de manutenção, que incluem funilarias e oficinas mecânicas, atividades não licenciadas pela CETESB, destaca-se que a quantidade existente é muito maior que aquela registrada na listagem original ou levantada em campo, tendo sido considerados somente os registros existentes no banco de dados da CETESB.

No grupo *Resíduos e Efluentes*, as atividades foram classificadas segundo o tipo em: Destino Final de Resíduos Sólidos, Reciclagem e Recuperação de Sucatas, Óleos e Produtos Químicos e Tratamento de Efluentes. No tipo Reciclagem e Recuperação incluem-se os empreendimentos de recuperação de sucatas (metálicas ou não). Entretanto, assim como as oficinas de manutenção, o cadastro limitou-se àqueles previamente registrados, visto que há inúmeros pequenos sucateiros.

A estruturação dos empreendimentos cadastrados por grupo e tipo de atividade serviu de base para a classificação das fontes pontuais quanto ao potencial de contaminação da água subterrânea.

3.1.4 Sistema de classificação da carga potencial de contaminação

Para classificar as fontes pontuais de contaminação, em especial as indústrias, foi necessário adaptar o Método POSH às informações disponíveis no Sistema Paulista de Licenciamento Ambiental, incluindo-se os parâmetros tamanho de área e o fator de complexidade na avaliação do potencial poluidor dos tipos de atividade.

Foram consideradas e avaliadas as seguintes informações:

- *Potencial de Poluição* estabelecido pela Lei Federal nº 10.165/00 (BRASIL 2000), para o licenciamento ambiental no Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA;

- *Critério Principal 1* – Ficha de Pontuação de Áreas Contaminadas do Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas (Capítulo 7100 e 7101, CETESB 2001);
- Critérios para classificação de empreendimentos de baixo potencial poluidor (CETESB 2010a), utilizado pela CETESB no Sistema de Licenciamento Simplificado (SILIS);
- *Fator de complexidade* (W), definido pelo Decreto Estadual nº 47.397/02 (SÃO PAULO 2002), para o licenciamento ambiental de empreendimentos na CETESB (SÃO PAULO 2002).

O Potencial Poluidor, estabelecido pela Lei Federal nº 10.165/00 (BRASIL 2000), estabelece uma avaliação ponderada da carga contaminante dos diferentes tipos de atividade.

O Sistema de Pontuação utilizado para priorizar Áreas Contaminadas, conforme definido no Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas (CETESB 2001), é composto por quatro partes denominadas de Critérios Principais. O Critério Principal 1 enfatiza os dados gerais, enquanto nos demais Critérios, as informações sobre resíduos, bens a proteger e vias de propagação são detalhadas.

Considerando a generalidade do atual estudo e os dados disponíveis no levantamento dos empreendimentos, avaliou-se apenas o Critério Principal 1, que aplica pesos de 1 a 3 para cada grupo de atividade conforme seu potencial contaminador.

O Sistema de Licenciamento Simplificado (SILIS) adotado pela CETESB também elenca as atividades e os critérios para identificar os empreendimentos com baixo potencial poluidor (CETESB 2010a). Essas informações auxiliaram no refinamento do método de classificação adotado neste estudo e também permitiu identificar empreendimentos com menor potencial de contaminação, quando pertencentes ao mesmo grupo ou tipo de atividade.

O Fator de Complexidade (W) varia de 1 a 5 e reflete uma ponderação entre as características relacionadas à natureza, à complexidade e ao potencial poluidor do empreendimento ou atividade. Assim, é possível fazer comparações entre os tipos de atividade dentro de um mesmo grupo. Para os registros que não possuíam informação, o índice W foi estimado com base na descrição da atividade.

Assim, tendo como base o método POSH, o Fator de Complexidade (W) e os critérios estabelecidos no SILIS, elaborou-se o sistema POSH-IG, o qual classifica as fontes pontuais de contaminação em quatro classes: Elevada, Moderada, Reduzida e Muito Reduzida. Esta última classe não existe no método POSH, mas foi incluída no sistema POSH-IG, pois há alguns empreendimentos que não representam potencial significativo de contaminação da água subterrânea como, por exemplo, alguns subtipos de atividades de *Alimentos e Bebidas* ou *Madeira*, porém estão sujeitos ao licenciamento ambiental.

A exclusão dos empreendimentos com baixa carga potencial de contaminação dos solos e águas subterrâneas procura auxiliar a priorização das ações operacionais de controle e fiscalização.

Para cada grupo de atividade classificada por FOSTER *et al.* (2002) foram levantados os tipos de atividades envolvidas conforme o código CNAE e comparadas as informações sobre o Critério Principal, Potencial Poluidor, Fator de Complexidade e seu enquadramento no SILIS. Por exemplo, de acordo com a correspondência do código CNAE, o tipo *Processamento de materiais não-metálicos* agrupa diversos subtipos de atividades como Fabricação de vidro e cimento, Fabricação de artefatos de concreto, de cimento e de barro, Produtos cerâmicos, Marmorarias e Britamento. Segundo o método POSH, esta atividade possui potencial de carga contaminante reduzida, já no método POSH-IG utilizou-se o Fator de Complexidade (W) para identificar aqueles subtipos de atividade com carga contaminante considerada muito reduzida ou mesmo desprezível. Assim, as atividades com $W \leq 2$, como a Fabricação de artefatos de cimento e barro cozido, foram classificadas com carga potencial contaminante muito reduzida.

No caso do tipo *Comércio e armazenamento de combustíveis e outros produtos perigosos* utilizou-se o Fator de Complexidade para diferenciar os empreendimentos que manipulam produtos químicos ou petroquímicos perigosos. Aqueles com valor de $W \geq 2{,}5$, geralmente associados ao comércio atacadista de produtos perigosos, foram classificados como de carga elevada, enquanto aqueles com valor de $W < 2{,}5$, como moderada.

A tabela 5 apresenta o sistema de classificação POSH-IG, desenvolvido neste estudo.

TABELA 5 – Sistema de classificação POSH-IG para fontes pontuais de contaminação.

Grupo de atividade	*Tipo de atividade*	*Classe da carga potencial contaminante*			
		Elevada	*Moderada*	*Reduzida*	*Muito reduzida*
Mineração de extração	*Minerais Metálicos*	Extração e beneficiamento de minerais metálicos			
	Minerais Não Metálicos		Extração e beneficiamento de minerais não metálicos associados à fabricação de fertilizantes, produtos químicos e outros produtos não especificados	Extração e beneficiamento de minerais não metálicos associados à construção civil	
	Petróleo, Gás Natural, Carvão Mineral	Extração e beneficiamento de petróleo, gás natural, xisto, carvão mineral, areias betuminosas, linhito, turfa, antracito, hulha			
Indústria de transformação	*Refino de Petróleo e Gás*	Fabricação de coque e produtos derivados do petróleo			
	Álcool e açúcar			Produção de álcool e açúcar	
	Processamento de Materiais Não Metálicos			Fabricação de vidro e cimento com $W \geq 3$; produtos cerâmicos refratários ou esmaltados; produtos minerais não metálicos não especificados com $W \geq 2,5$	Fabricação de artefatos de cimento e barro cozido; Marmorarias e Britamento; Outros com $W \leq 2,0$
	Metalurgia e Produtos de Metal	Metalurgia; Fabricação de produtos de metal com $W \geq 3,0$ ou qualquer atividade que manipule resíduos, efluentes ou produtos perigosos acima de 100 kg/dia ou 100 l/dia	Fabricação de produtos de metal com $W \leq 2,5$		
	Engenharia Mecânica	Fabricação de máquinas, equipamentos e acessórios em geral; Fabricação e montagem de veículos; Construção e reparação de embarcações e aeronaves, incluindo peças e acessórios			
	Produtos Elétricos e Eletrônicos	Fabricação de materiais, equipamentos e acessórios elétricos e eletrônicos			
	Produtos de Madeira		Produção de madeira reconstituída ou tratada com agentes de conservação e imunização	Madeireira e fabricação de artefatos de madeira	Marcenaria e Fabricação de peças e artefatos de madeira com área ≤ 250 m^2
	Celulose e Papel		Fabricação de celulose e papel ($W \geq 4$)	Fabricação de embalagens de papel e papelão	Fabricação de artefatos de papel ($W \leq 2$)
	Borracha		Beneficiamento de borracha natural e Fabricação de artefatos de borracha ($W \leq 3,0$)		
	Couro	Curtimento e outras preparações de couro ($W = 5$)	Fabricação de artefatos de couro ($W \leq 3,5$)		
	Química	Fabricação de produtos químicos, petroquímicos, agroquímicos e desinfetantes domossanitários. Recuperação de solventes e óleos	Produção de fertilizantes		

TABELA 5 – Sistema de classificação POSH-IG para fontes pontuais de contaminação (continuação).

Grupo de atividade	*Tipo de atividade*	*Classe da carga potencial contaminante*			
		Elevada	*Moderada*	*Reduzida*	*Muito reduzida*
Indústria de transformação	*Farmacêutica*	Fabricação de medicamentos farmacêuticos e veterinários			
	Sabões e Detergentes		Fabricação de sabões, detergentes e produtos de perfumaria e cosmética		
	Têxtil		Fabricação e acabamento de fios e tecidos, com W > 2,0		Fabricação de artefatos têxteis com W ≤ 2 e Confecção de artigos de vestuário
	Alimentos e Bebidas			Abate de animais e Manufatura de alimentos e bebidas com W ≥ 3,5	Manufatura de alimentos e bebidas (W ≤ 3,0)
	Plástico	Fabricação de plásticos (monômeros, polímeros e resinas) (W = 5)		Fabricação de artefatos plásticos (W ≤ 2,5)	
Resíduo e Efluente	*Destino final*	Aterro industrial; disposição inadequada ou com resíduos de origem desconhecida (inclui lixão, bota-fora, queima ao ar livre, aterro controlado)	Aterro sanitário com resíduo urbano, inerte ou agroindustrial		
	Reciclagem e recuperação	Reciclagem e/ou recuperação de óleos, solventes ou resíduos contendo produto químico ou perigoso (W =5)	Reciclagem e/ou recuperação de sucata metálica e não metálica com W ≤ 3	Compostagem	
	Tratamento		Lagoa de tratamento de efluentes com área > 5 ha	Lagoa de tratamento de efluentes com área ≤ 5 ha e estação de tratamento de água	
Comércio e Serviço	*Cemitério*			Cemitério horizontal	Cemitério vertical
	Energia e gás		Produção e distribuição de energia elétrica e distribuição de gás		
	Comércio e armazenamento de combustíveis, produtos químicos ou perigosos	Depósito e comércio atacadista de combustíveis, produtos químicos, petroquímicos e farmacêuticos com W ≥ 2,5	Depósito e comércio atacadista ou varejista de combustíveis, produtos químicos, petroquímicos e farmacêuticos com W ≤ 2		
	Garagens e oficinas de manutenção		Garagens de veículos de transporte; oficinas de mecânicas e funilarias		
	Lavanderia		Lavanderia		
	Gráfica			Serviços de impressão em geral, excetuando serviços de computação gráfica	
Atividade agro-silvo-pastoril	*Criação confinada de animais*		Criação comercial confinada com lagoas de efluentes ou área de confinamento > 1 ha	Criação comercial confinada com lagoas de efluentes ou área de confinamento ≤ 1 ha	

3.2 Fontes difusas

Para o levantamento e a classificação das fontes difusas de contaminação, foram elaborados: Mapa de Uso e Cobertura da Terra, Mapa de Uso e Ocupação do Solo Urbano, com definição do padrão da ocupação urbana, e o Mapa das Áreas de Expansão Urbana.

3.2.1 Mapeamento do Uso e Cobertura da Terra

O mapeamento de Uso e Cobertura da Terra, em escala 1:100.000, foi elaborado por meio da utilização de técnicas de processamento digital de imagens Landsat-TM (órbita 220 e ponto76, de 04/06/2007), cedidas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, e complementadas por informações obtidas em trabalhos de campo e em ortofotos.

O mapa temático final foi elaborado por meio da classificação orientada a objetos utilizando-se o software Spring (INPE-DPI 1996). Nesta técnica realiza-se uma análise sobre os segmentos de uma imagem ou de objetos construídos por meio de segmentação. Foi utilizado o método *battacharya*, onde os objetos são construídos com base na técnica de crescimento de regiões. Nesse processo os objetos são fundidos ou não de acordo com critérios de decisão como homogeneidade e parâmetro de escala. Em função da escala de mapeamento e das características de uso e cobertura da terra da área de estudo, foram agrupados em sete classes temáticas discriminadas na tabela 6.

TABELA 6 – Classes de Uso e Cobertura da Terra

Classe Temática	*Descrição*
Área Urbana ou Edificada	Áreas de arruamento definido, com edificações destinadas ao uso residencial, comercial e serviços, industrial, chácaras de lazer ou residenciais. Incluem ocupações consolidadas (com infraestrutura) ou em fase de consolidação, podendo-se apresentar de forma contígua ou esparsa em relação à mancha urbana principal.
Mata	Áreas cobertas com vegetação natural, homogênea, constituída por árvores de médio a grande porte, caracterizada por alta densidade de copas.
Pasto	Áreas cobertas com vegetação rasteira, constituída predominantemente por gramíneas, podendo apresentar árvores ou arbustos isolados.
Canavicultura	Áreas cobertas predominantemente pelo cultivo de cana-de-açúcar.
Outras Culturas	Áreas cobertas com culturas temporárias e/ou permanentes (batata, uva, figo, milho, tomate, trigo, laranja).
Solo Exposto	Inclui terra arada para cultivos diversos; áreas desprovidas de vegetação devido à ação de processos erosivos ou destinadas à futura ocupação urbana (terraplanagem).
Corpos d´água	Superfícies cobertas com água (rios, córregos, açudes, lagos, tanques de piscicultura).

3.2.2 Mapeamento do Uso e Ocupação do Solo Urbano

A classificação detalhada das áreas urbanizadas (KURKDJIAN 1986) teve como base os polígonos da Classe de Uso "Área Urbana ou Edificada", identificados no Mapa de Uso e Cobertura da Terra, e foi realizada a partir da interpretação visual de imagens SPOT de 2007-2008, com resolução espacial de 2,5 metros. As áreas urbanizadas foram então caracterizadas quanto à tipologia e padrão da ocupação, sendo diferenciadas as áreas com ocupação predominantemente do tipo *Residencial/Comercial/Serviços*, *Loteamento* e *Grande Equipamento*, de acordo com as classes de atributo apresentadas na tabela 7.

A classe de Uso Urbano do tipo *Residencial/Comercial/Serviços* foi setorizada e caracterizada com base no atributo densidade de ocupação, conforme metodologia proposta em ROSSINI-PENTEADO *et al*. (2005 e 2007). Esse atributo expressa o padrão da ocupação e está diretamente relacionado com a intensidade do uso do solo. Representa a relação entre o número ou tamanho dos lotes por unidade de área, sendo identificadas 3 grandes classes (Tabela 8).

3.2.3 Mapeamento da expansão urbana

O mapeamento e análise da expansão urbana dos municípios foram realizados a partir dos

TABELA 7 – Descrição das classes de atributo do uso "Área Urbana ou Edificada".

Atributos da Classe "Área Urbana ou Edificada"	*Descrição*
Comercial/Residencial/Serviços	Inclui áreas destinadas ao uso residencial, comercial e de serviços, loteamentos parcialmente ocupados, além de chácaras residências e de lazer, diferenciadas quanto à densidade de ocupação.
Loteamento	Inclui loteamento destinado à edificação de qualquer natureza, em fase de implantação (até 30% dos lotes ocupados), com traçado do arruamento definido e situado dentro do perímetro urbano.
Grande Equipamento	Esta categoria de uso foi diferenciada quanto ao tipo de atividade desenvolvida, incluindo: distritos e complexos industriais e/ou de serviços; indústrias isoladas; equipamentos urbanos do tipo Estações de Tratamento de Esgoto (ETE); Estações de Tratamento de Água (ETA); aterros sanitários; cemitérios, mineração, clubes e áreas institucionais.
Área Desocupada	Inclui áreas de solo exposto situadas dentro do perímetro urbano e destinadas à futura ocupação urbana.

TABELA 8 – Atributo Densidade de Ocupação.

Classes do Atributo Densidade de Ocupação	*Descrição*
Alta densidade	Inclui áreas com predomínio de lotes de até 200 m^2
Média densidade	Inclui áreas com predomínio de lotes entre 200 e 450 m^2
Baixa densidade	Inclui áreas com predomínio de lotes maiores de 450 m^2

limites das áreas urbanas gerados pela classificação digital de 2007 e com base nas composições coloridas (R4G5B3) das imagens LANDSAT-TM de anos anteriores. Foram efetuadas interpretações visuais de modo a se reconstituir as aglomerações urbanas principais e núcleos dispersos para os anos de 1987, 1997 e 2007, conforme metodologias de OLIVEIRA *et al.* (1984) e PEREIRA *et al.* (1989).

3.2.4 Sistema de classificação da carga potencial de contaminação

Os parâmetros e intervalos propostos por FOSTER *et al.* (2002) no método POSH para determinação da carga potencial de contaminação proveniente dos sistemas de saneamento na área urbana e da atividade agrícola na área rural foram adaptados considerando as informações disponíveis na área de estudo.

- Sistema de Saneamento - Área urbana

Um contaminante que vem sendo detectado nas águas em decorrência da ocupação urbana é o nitrato, um composto persistente e muito móvel, proveniente dos efluentes domésticos. Na área rural, o saneamento *in situ* não foi considerado como uma fonte difusa de poluição devido à distância entre as residências.

O método POSH considera a porcentagem de atendimento por rede coletora de esgoto e densidade de população para determinar a carga potencial de contaminação proveniente dos sistemas de saneamento.

Estudos realizados no Sistema Aquífero Bauru por CAGNON & HIRATA (2004), VARNIER *et al.* (2010a, b) e PROCEL (2011) demostraram que as concentrações de nitrato estão relacionadas também com a evolução da urbanização, havendo relações positivas entre teores de nitrato e as porções edificadas mais antigas, que geralmente apresentam maior adensamento urbano.

No Estado de São Paulo, as cidades tiveram um intenso processo de urbanização a partir da década de 1950 e, nessa época, o uso de fossas era prática comum (VARNIER *et al.* 2010b). A partir da década de 70, com a instituição do Plano Nacional de Saneamento (PLANASA), foram iniciados os investimentos em instalação de redes coletoras de esgoto.

No método POSH-IG, a idade da mancha urbana foi considerada como um parâmetro para avaliação, assumindo-se que nas áreas mais antigas, o uso de fossas foi mais intenso, aumentando a carga potencial de contaminação. Para a área de estudo,

considerou-se como mancha urbana mais antiga as áreas mapeadas até o ano de 1987.

O adensamento urbano também influencia a carga potencial de contaminação, como observado por CAGNON & HIRATA (2004), VARNIER *et al.* (2010a, b) e PROCEL (2011). No método POSH (FOSTER *et al.* 2002) a densidade populacional de 100 pessoas por hectare é classificada como sendo de carga elevada de contaminação. Assumindo uma média de 4 pessoas por domicílio, essa densidade corresponderia a 25 lotes, que distribuídos em 1 hectare, por sua vez, representariam lotes de 400 m^2. No cenário estudado, esse tamanho de lote corresponde a residências de médio a alto padrão.

PROCEL (2011), na região de Presidente Prudente, verificou que as áreas de alta densidade de ocupação tinham, em média, 40 residências por hectare, que corresponde a lotes de 250 m^2. Considerando 4 pessoas por domicílio, resultaria em uma densidade populacional de 160 pessoas por hectare.

A *densidade de ocupação*, mapeada conforme método apresentado no item 3.2.2, foi utilizada como parâmetro, uma vez que reflete a carga potencial de contaminação a que o local considerado está ou estará sujeito.

No presente estudo foram consideradas como de alta densidade de ocupação as áreas onde predominam lotes de até 200 m^2 que, fazendo uma correlação inversa com a densidade populacional, corresponderia a 50 lotes (cerca de 200 pessoas por hectare).

Além da densidade de ocupação das áreas edificadas e de loteamentos, considerou-se como atributos a mancha urbana de 1987, por delimitar as áreas mais antigas que sofreram influência de carga contaminante potencial por um período mais prolongado, e a cobertura de rede coletora de esgoto, conforme critérios mostrados na tabela 9.

TABELA 9 – Classificação das fontes difusas de contaminação relacionadas a sistemas de saneamento em área urbana conforme o Sistema POSH-IG.

<table>
<tr><td>Área edificada e loteamento</td><td colspan="2">Alta densidade</td><td colspan="2">Média densidade</td><td colspan="2">Baixa densidade</td><td rowspan="2">Classificação da carga potencial de contaminação</td></tr>
<tr><td>Mancha urbana</td><td>Antes 1987</td><td>Após 1987</td><td>Antes 1987</td><td>Após 1987</td><td>Antes 1987</td><td>Após 1987</td></tr>
<tr><td rowspan="5">Cobertura de rede coletora de esgoto</td><td>Até 25%</td><td>Até 25%</td><td>Até 25%</td><td>Até 25%</td><td>Até 25%</td><td>Até 25%</td><td rowspan="3">elevado</td></tr>
<tr><td>Entre 25 e 75%</td><td>Entre 25 e 75%</td><td>Entre 25 e 75%</td><td colspan="3" rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>Acima de 75%</td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2"></td><td>Acima de 75%</td><td>Acima de 75%</td><td>Entre 25 e 75%</td><td>Entre 25 e 75%</td><td>Entre 25 e 75%</td><td>moderado</td></tr>
<tr><td colspan="3"></td><td>Acima de 75%</td><td>Acima de 75%</td><td>Acima de 75%</td><td>reduzido</td></tr>
</table>

• Atividade Agropastoril - Área rural

Para a área rural, o sistema de classificação tomou como base o método POSH, utilizando as classes definidas no mapeamento de uso e cobertura da terra. A tabela 10 apresenta o critério de classificação das atividades agropastoris.

TABELA 10 – Sistema de classificação das fontes difusas de contaminação na área rural, com base nas classes de uso e cobertura da terra.

Classificação	*Unidade de uso do solo*
Elevado	Cana-de-açúcar
Moderado	Outras culturas
Reduzido	Pasto

4 RESULTADOS

4.1 Classificação das fontes pontuais de contaminação

Os empreendimentos cadastrados distribuem-se principalmente ao longo das rodovias e nas áreas urbanas associadas a distritos industriais bem consolidados (Figura 3).

O maior número de registros, 1520 empreendimentos, corresponde ao grupo das *Indústrias de Transformação*, concentradas principalmente em Indaiatuba e Salto (Tabela 11), refletindo o perfil econômico dessas cidades, que fazem parte do eixo de industrialização entre Sorocaba e Campinas.

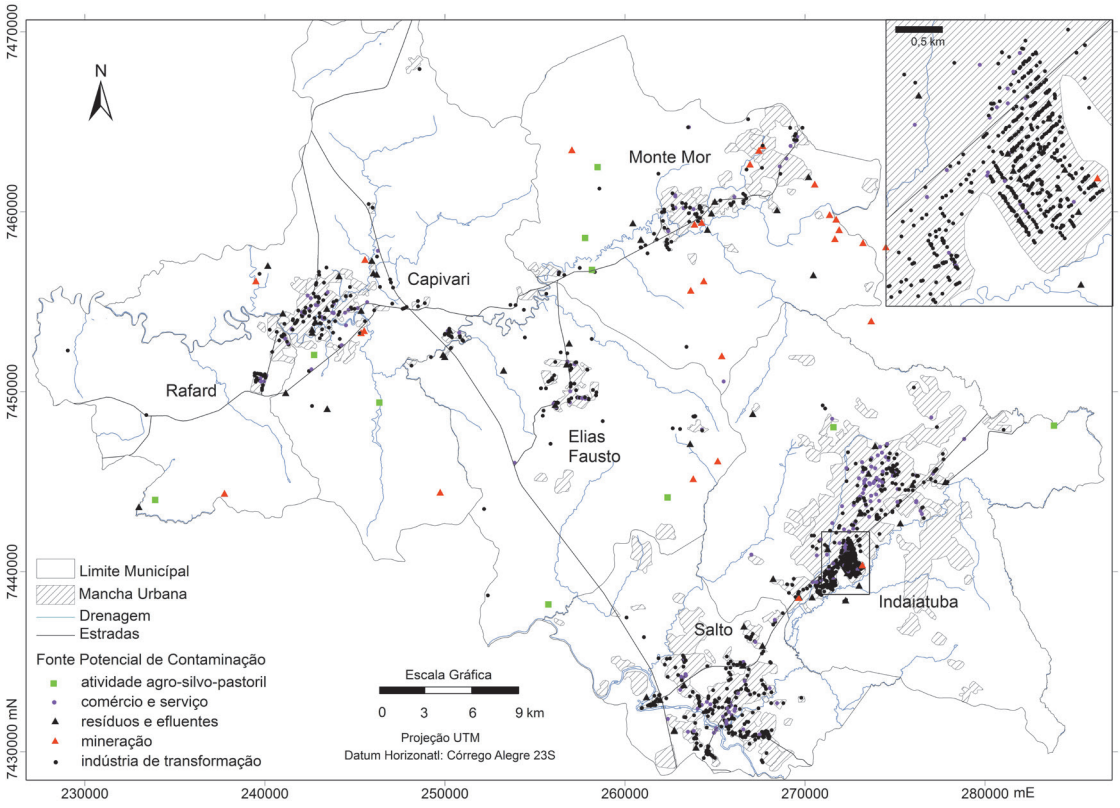

FIGURA 3 – Localização dos empreendimentos cadastrados. No canto superior direito, detalhe do distrito industrial de Indaiatuba.

Neste grupo de atividade destaca-se a grande quantidade de empreendimentos relacionados à fabricação de produtos de metal (28%) e de engenharia mecânica (18%).

O segundo grupo de atividades é o de *Comércio e Serviço*, com 210 registros, com destaque para Indaiatuba, o município mais populoso, apresentando 99 empreendimentos comerciais com potencial de contaminação da água subterrânea (Tabela 11). Em decorrência das exigências da CETESB e do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA em relação ao licenciamento e à avaliação do passivo ambiental, os postos de serviço somam 52% das atividades de comércio e serviço.

No grupo *Resíduos e Efluentes*, Rafard apresenta o menor número de empreendimentos (Tabela 11).

Dos 1918 empreendimentos cadastrados, foram classificados 1835 (Tabela 12), dos quais 1573 (85,7%) possuem coordenadas geográficas.

Os demais 46 empreendimentos cadastrados constavam da Relação de Áreas Contaminadas e Reabilitadas no Estado de São Paulo (CETESB 2011). A maior parte desses empreendimentos classificados como "Área Contaminada" é do tipo *Comércio varejista de combustíveis* (postos de serviço) localizados em Indaiatuba, Salto e Capivari.

Alguns empreendimentos do tipo *Beneficiamento de Sementes, Laboratórios e Serviços de Saú-*

TABELA 11 – Número de empreendimentos por grupo de atividade e por município.

Grupo de atividade	*Capivari*	*Elias Fausto*	*Indaiatuba*	*Monte Mor*	*Rafard*	*Salto*
Indústria de transformação	112	74	865	90	37	342
Comércio e serviço	29	13	99	19	8	42
Resíduos e efluentes	15	12	28	13	4	14
Mineração	6	11	19	23	1	10
Atividade agropastoril	3	3	17	6	1	2

TABELA 12 – Empreendimentos classificados pelo potencial de contaminação da água subterrânea.

Grupo de atividade	*Elevada*	*Moderada*	*Reduzida*	*Muito reduzida*
Indústria de transformação	743	334	225	200
Comércio e serviço	28	125	10	
Resíduos e efluentes	12	39	25	
Mineração			69	
Atividade agropastoril			25	
Total	783	498	354	200

de que constavam da listagem original da CETESB não foram classificados, mas as suas informações foram mantidas no cadastro final. O mesmo pode ser observado com outros registros relacionados aos armazéns de produtos embalados ou escritórios.

Os empreendimentos com maior potencial de contaminação da água subterrânea estão relacionados às indústrias químicas, de metalurgia, fabricação de produtos de metal, eletroeletrônicos e de engenharia mecânica, ao comércio de produtos perigosos e à disposição inadequada de resíduos. Eles estão concentrados principalmente nos distritos industriais de Indaiatuba e Salto (Figura 4).

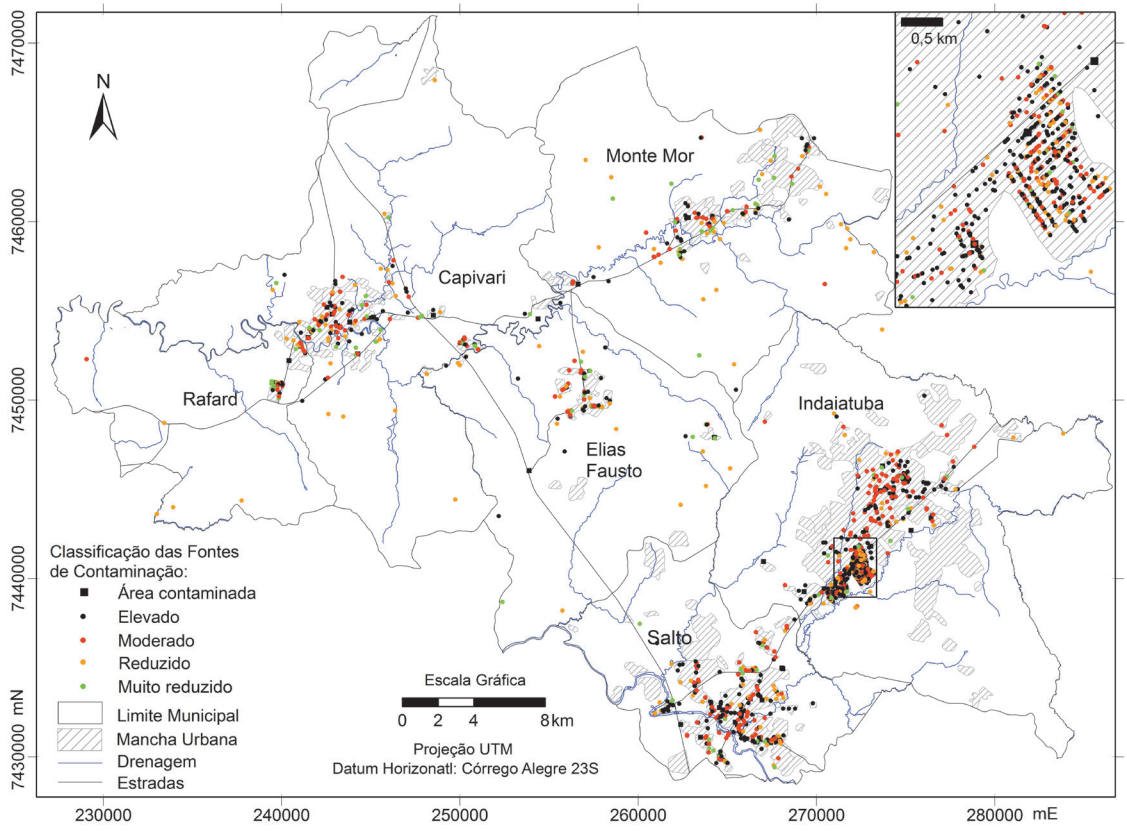

FIGURA 4 – Mapa de potenciais fontes pontuais de contaminação. No canto superior direito, detalhe do distrito industrial de Indaiatuba.

4.2 Uso e Cobertura da Terra

A figura 5 apresenta o Mapa de Uso e Cobertura da Terra dos 6 municípios, baseado em dados de 2007, com a distribuição espacial das classes.

Na área rural, a atividade agrícola foi considerada como fonte potencial de contaminação, pois a prática de aplicação de insumos agrícolas no solo pode determinar a infiltração de nutrientes e o aumento de concentrações de substâncias na água subterrânea, especialmente nitrato e compostos orgânicos provenientes dos defensivos agrícolas (BENSON *et al*. 2006, XU *et al.* 2007, RUPERT 2008).

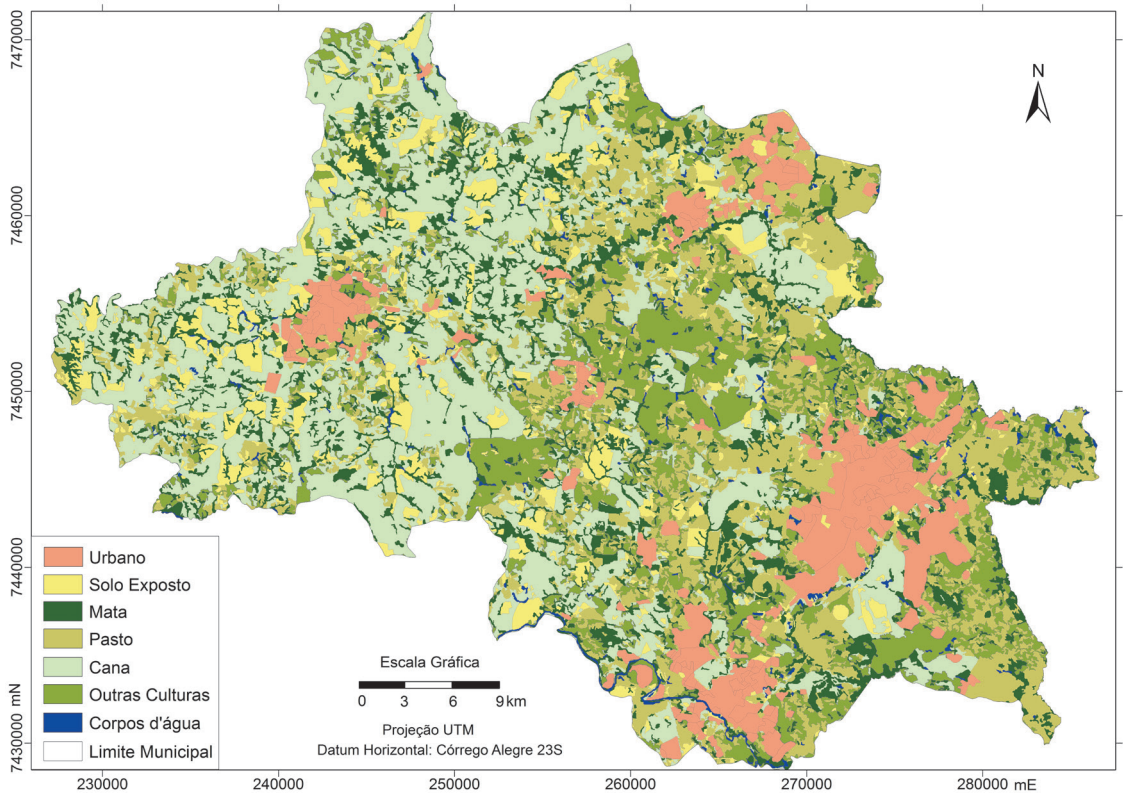

FIGURA 5 – Mapa de Uso e Cobertura da Terra (base de dados de 2007).

Segundo CETESB (2010b), o Estado de São Paulo é o maior consumidor brasileiro de agrotóxicos e, em termos de valor comercializado em 2006, os herbicidas usados principalmente nas culturas de cana-de-açúcar, soja e milho foram os defensivos mais vendidos.

A cana-de-açúcar é uma cultura predominante, especialmente na porção oeste da região (municípios de Capivari e Rafard) e, por esse motivo, foi diferenciada das demais culturas.

As culturas perenes, semiperenes e anuais foram agrupadas na classe *Outras Culturas*, uma vez que não foi possível diferenciá-las em função da escala de trabalho e dos produtos de sensoriamento remoto utilizados. Essas culturas são cultivadas em pequenas propriedades, em todos os municípios, mas com maior ocorrência na porção centro-leste da área.

As áreas de vegetação rasteira foram associadas à classe de uso Pasto.

4.3 Uso e Ocupação do Solo Urbano

A classe *Área Urbana ou Edificada*, apresentada no Mapa de Uso e Cobertura da Terra (Figura 5), foi caracterizada em maior detalhe quanto à tipologia e padrão da ocupação. A figura 6 apresenta a distribuição das tipologias de uso urbano e densidades de ocupação obtidas para os Usos *Comercial/Residencial/Serviços* e *Loteamentos*.

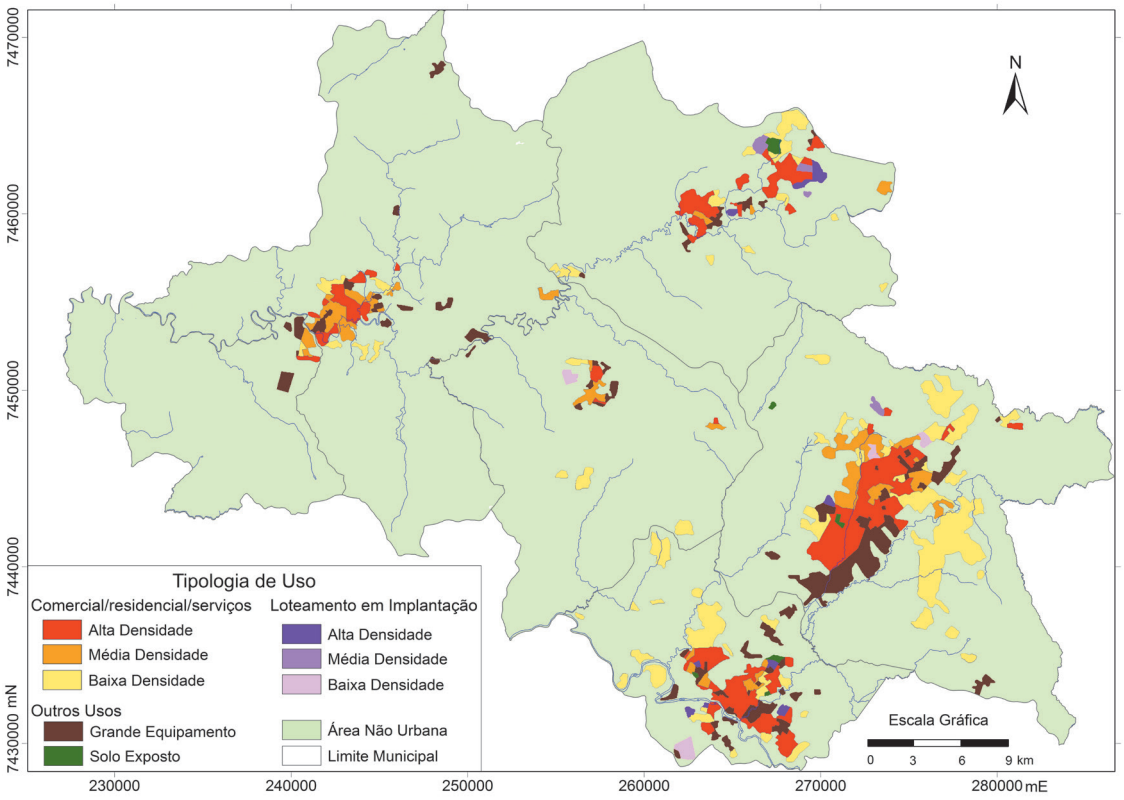

FIGURA 6 – Mapa de Uso e Ocupação do Solo Urbano da região entre os municípios de Capivari, Elias Fausto, Indaiatuba, Monte Mor, Rafard e Salto (SP) (base de dados de 2007).

As densidades de ocupação classificadas como alta e moderada estão associadas aos centros das manchas urbanas, enquanto as densidades baixas estão localizadas nas bordas das manchas ou desassociadas a elas.

Dentre as classes de atributos também merece destaque a categoria *Grande Equipamento*, uma vez que representa as áreas com concentração industrial e, portanto, de fontes potenciais de contaminação do solo e das águas.

Os distritos industriais são equipamentos urbanos relativamente recentes, estabelecidos a partir da década de 1970, que se caracterizam por estarem localizados nos limites externos das manchas urbanas principais ou mesmo afastados delas. Nos municípios de Indaiatuba, Monte Mor, Salto e Capivari eles se desenvolvem predominantemente às margens das rodovias.

Por outro lado, em Salto, Capivari, Elias Fausto e Rafard, os núcleos industriais também são observados no centro urbano ou como focos isolados no município que, provavelmente, correspondem a estabelecimentos mais antigos que aqueles dos distritos industriais.

4.4 Expansão urbana

A análise da expansão urbana em três datas de referência – 1987, 1997 e 2007 (Figura 7) – mostra que o crescimento das cidades ocorre principalmente ao longo das rodovias e que o processo de expansão urbana foi mais intenso nos municípios de Indaiatuba e Salto.

A partir dessa informação assume-se que na área mais antiga dos municípios (mancha urbana de 1987) o uso de fossas foi mais intenso no passado e a rede coletora de esgoto é mais antiga e tem maior possibilidade de vazamentos, o que aumenta a carga potencial de contaminação.

Atualmente, o atendimento por rede coletora de esgoto é acima de 90% (Tabela 1) nos municípios estudados, com exceção de Monte Mor, que tem apenas 44%.

4.5 Classificação das Fontes Difusas de Contaminação

As fontes difusas de contaminação associadas às áreas urbana e rural foram classificadas quanto a potencial carga de contaminação.

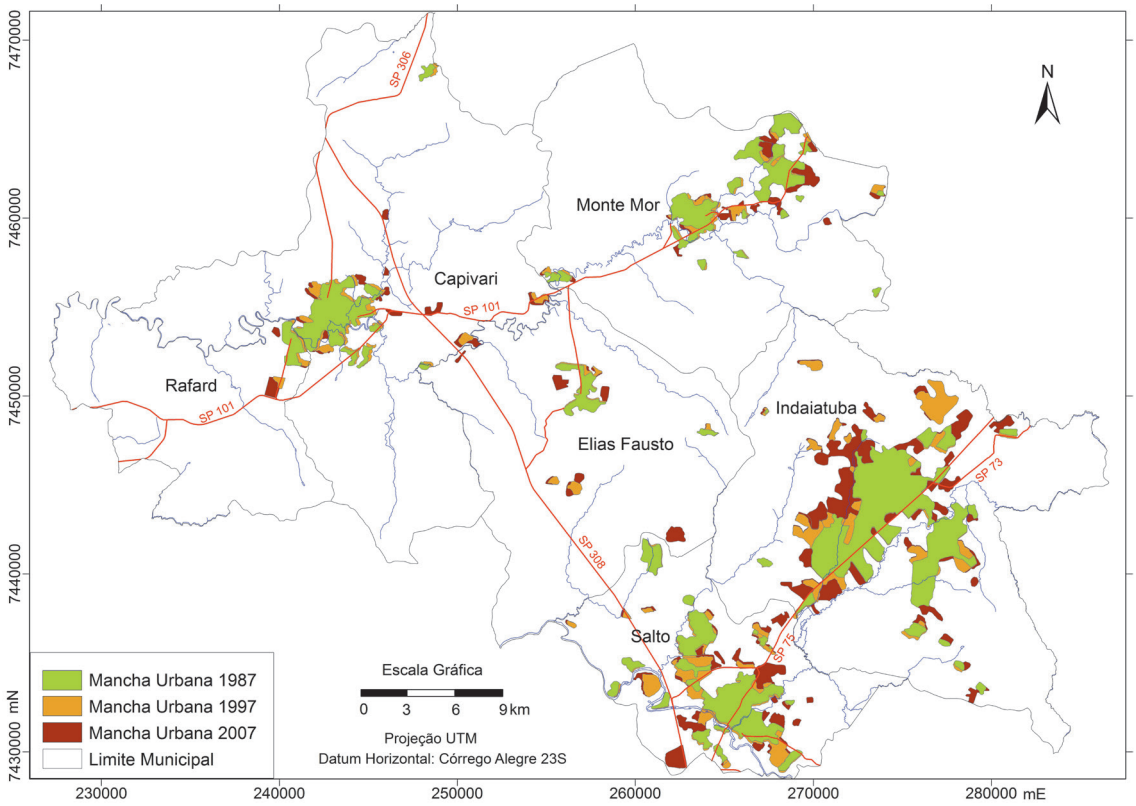

FIGURA 7 – Mapa de expansão urbana da região entre os municípios de Capivari, Elias Fausto, Indaiatuba, Monte Mor, Rafard e Salto (SP) – 1987 a 2007.

4.5.1 Sistema de Saneamento - Área Urbana

As áreas com carga potencial de contaminação mais elevada concentram-se nas porções mais antigas das cidades, onde também se encontram as áreas mais densamente ocupadas (Figura 8). Em Monte Mor todas as áreas edificadas e os loteamentos foram classificados como de carga potencial média a alta, uma vez que a cobertura da rede de esgoto da cidade é inferior a 50%, o que indica um uso ainda intensivo de fossas.

Análises químicas das águas de poços obtidas por EZAKI *et al.* (no prelo) e também junto ao órgão gestor dos recursos hídricos (DAEE – Departamento de Água e Energia Elétrica), indicam concentrações de nitrato acima de 3 mg dm^{-3} $N\text{-}NO_3^-$ em algumas porções mais antigas das cidades de Capivari e Indaiatuba e confirmam a classificação de áreas com alta a moderada carga potencial de contaminação (Figura 8).

4.5.2 Atividade Agropastoril

A monocultura de cana-de-açúcar, considerada com elevada carga potencial de contaminação da água subterrânea, domina uma área de 406 km^2 e cobre especialmente os municípios de Capivari e Rafard, ocupando cerca de 50% dos territórios municipais (Figura 9).

As demais culturas e as áreas de pasto com carga potencial moderada e reduzida concentram-se na porção leste da área de estudo (Figura 9).

A escala e metodologia empregadas no mapeamento do Uso e Cobertura da Terra não permitiram diferenciar a classe *Outras culturas*. Sugere-se que, em trabalhos futuros, esta categoria seja diferenciada quanto ao tipo de culturas perene ou semiperene.

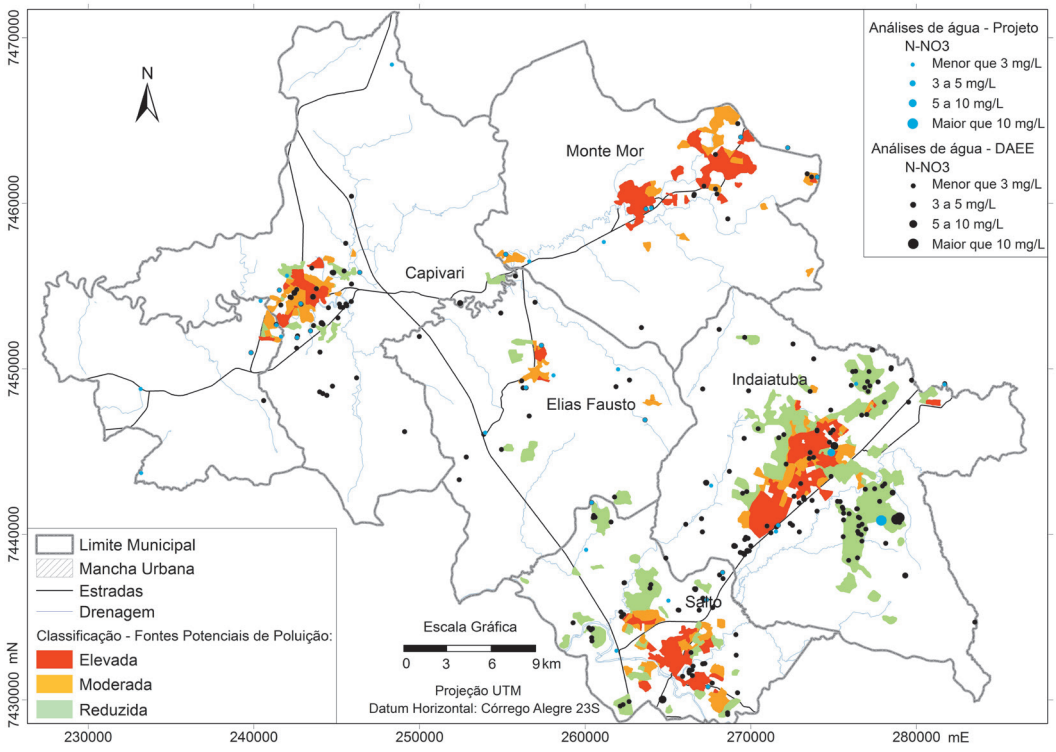

FIGURA 8 – Mapa de classificação das potenciais fontes difusas de contaminação da água subterrânea proveniente dos sistemas de saneamento.

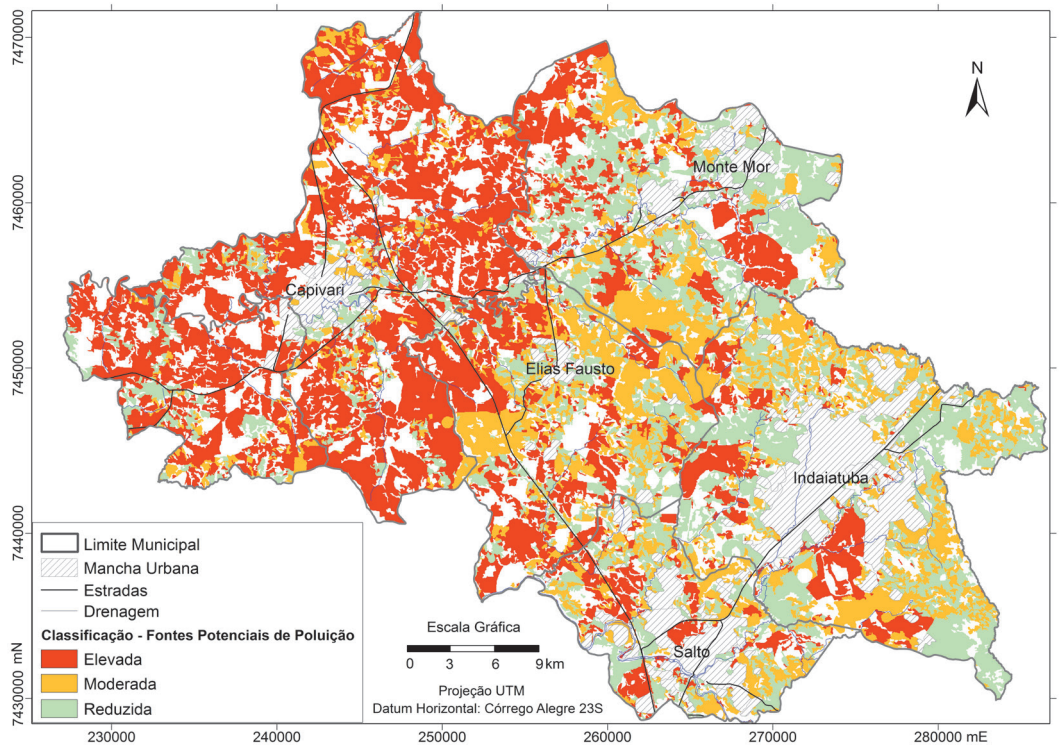

FIGURA 9 – Mapa de classificação das potenciais fontes difusas de contaminação da água subterrânea proveniente da prática agropastoril.

5 CONCLUSÕES

Neste trabalho apresentou-se uma metodologia sistematizada para classificar as fontes potenciais de poluição (pontuais e difusas), denominada POSH-IG, com o objetivo de identificar áreas com maior perigo de contaminação da água subterrânea. O método foi aplicado em uma região que abrange seis municípios, entre Indaiatuba e Capivari (SP). Esta metodologia propõe adaptações no método POSH (FOSTER *et al.* 2002), que se caracteriza por ser de ampla aplicação, com a inserção de parâmetros disponíveis no Sistema de Licenciamento Ambiental do Estado de São Paulo, além de considerar o cenário de uso e ocupação do solo da região.

A agregação de parâmetros disponíveis no sistema de licenciamento ambiental à metodologia de classificação das fontes pontuais, como o Fator de Complexidade e o porte do empreendimento, mostrou-se aplicável para diferenciar as cargas potenciais de contaminação associadas aos tipos de atividades inseridos dentro de um mesmo grupo de atividade.

Na metodologia proposta para a classificação de fontes difusas quanto à carga de contaminação potencial, destaca-se o uso de técnicas de sensoriamento remoto e de geoprocessamento, associadas a controle de campo, como importantes ferramentas para o mapeamento do Uso e Cobertura da Terra e do Uso e Ocupação do Solo Urbano, utilizados como base para a espacialização destas fontes.

O levantamento das fontes pontuais de contaminação evidenciou uma diversidade das atividades existentes. Dentre os empreendimentos cadastrados, verifica-se que 82% correspondem a atividades da indústria de transformação, concentrados basicamente nos municípios de Salto e Indaiatuba. Os empreendimentos com maior potencial de contaminação da água subterrânea estão relacionados, principalmente, às indústrias químicas, de metalurgia, fabricação de produtos de metal e eletroeletrônicos e engenharia mecânica, ao comércio de produtos perigosos e à disposição inadequada de resíduos.

Na área rural, as fontes difusas com maior carga potencial de contaminação da água subterrânea concentram-se na porção oeste da área estudada, principalmente nos municípios de Capivari e Rafard, onde se concentra a cultura de cana-de-açúcar. As classes de uso "Outras Culturas" e "Pasto" foram classificadas como moderado e reduzido potencial de contaminação, respectivamente, e estão distribuídas principalmente na porção leste da área.

A avaliação das áreas de expansão urbana permitiu refinamento na determinação das áreas com maior carga potencial de contaminação, assim como a análise da densidade de ocupação, utilizada como indicador indireto da densidade populacional, para estimar a concentração de nitrato que pode atingir a água subterrânea. A densidade de ocupação foi classificada como alta nas áreas com predomínio de lotes até 200 m^2, o que, indiretamente, reflete uma densidade populacional aproximada de 200 habitantes por hectare, duas vezes maior que a adotada no método POSH.

A maior carga potencial de contaminação da água subterrânea localiza-se na parte mais antiga das cidades, com maior expressão em área nos municípios de Indaiatuba e Salto, e em Monte Mor, onde menos de 45% da cidade apresenta cobertura de rede coletora de esgoto. Recomenda-se que seja ampliado e aprimorado o sistema de saneamento para proteger a água subterrânea, recurso fundamental na complementação do sistema de abastecimento de água da cidade.

A identificação das áreas com maior carga potencial de poluição buscou subsidiar as ações de proteção dos recursos hídricos, mais especificamente para a delimitação de áreas potenciais de restrição e controle de uso da água subterrânea.

6 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Fundo Estadual de Recursos Hídricos - FEHIDRO pelo auxílio financeiro concedido (Contrato FEHIDRO 450/2006), a Mauro Kazuo Sato (CETESB) pelo fornecimento de informações, ao Prof. Dr. Ricardo Hirata (Universidade de São Paulo) pelas explicações fornecidas referentes ao método POSH, e a Renan Penasso Pacheco, Angela Yatsugafu e Johann Constantino Lima (estagiários do Instituto Geológico) pela confecção de figuras e organização de dados.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTONAKOS, A.K.; LAMBRAKIS, N.J. 2007. Development and testing of three hybrid methods for the assessment of aquifer vulnerability to nitrates, based on the drastic model, an example from NE Korinthia, Greece. *Journal of Hydrology*, 333: 288-304.

BENSON, V.S.; VANLEEUWEN, J.A.; SANCHEZ, J.; DOHOO, I.R.; SOMERS, G.H. 2006. Spatial analysis of land use impact on ground water nitrate concentrations. *Journal of Environmental Quality*, 35(2): 421-432.

BRASIL. 2000. Lei Federal nº 10.165, de 27 de Dezembro de 2000. Altera a Lei nº 6.938, de 31/08/1981, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L10165.htm. Acessado em 20 nov. 2013.

CAGNON, F.; HIRATA, R. 2004. Source of nitrate in the groundwater of Adamantina Aquifer in Urania, SP – Brazil. *In*: IAH, INTERNATIONAL ASSOCIATION OF HYDROGEOLOGIST CONGRESS, 33, Zacatecas, *Atas*, 7 p.

CARVALHO, A.M.; CONICELLI, B.P.; HIRATA, R.; L'APICCIRELLA, E.S.; SIMONATO, M.D.; CAMPOS, J.E.; ROCHA, G.; SURITA, C.; PILLON, A.M.; ABREU, M.C.; BERTOLO, R.; WENDLAND, E. 2009. Estão os aquíferos da região de Jurubatuba (São Paulo) sob risco? *In*: ABAS, CONGRESSO INTERNACIONAL DE MEIO AMBIENTE SUBTERRÂNEO, 1, São Paulo, *Anais*, 10 p.

CCME – CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT. 2008. National classification system for contaminated sites: guidance document. Winnipeg, Canadian Council of Ministers of the Environment, 15 p.

CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. 2001. Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas. São Paulo, CETESB/GTZ, 2ª ed., 389 p.

CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. 2010a. Critérios para classificação de empreendimentos de baixo potencial poluidor. Versão 1.5, de 08/01/2010. São Paulo, CETESB, 58 p. Disponível em http://silis.cetesb.sp.gov.br/index.php. Acessado em 22 ago. 2013.

CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. 2010b. Proposta para derivação de critérios para contaminantes ambientais da agricultura. Relatório Final. Projeto Identificação de Compostos Prioritários e Avaliação de Toxicidade. Acordo de Cooperação SENAC-CETESB 08/2007. São Paulo, CETESB, 50 p. Disponível em http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/aguas-superficiais/35-publicacoes-/-relatorios. Acessado em 24 set. 2012.

CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. 2011. Relação de áreas contaminadas e reabilitadas no Estado de São Paulo. São Paulo, CETESB, 4131 p. Disponível em http://www.cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/relacoes-de-areas-contaminadas/15-publicacoes. Acessado em 10 mai. 2012.

CRH – CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS. 2005. Deliberação CRH nº 052, de 15 de Abril de 2005. Institui no âmbito do Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos - SIGRH diretrizes e procedimentos para a definição de áreas de restrição e controle da captação e uso das águas subterrâneas.

CUTRIM, A.O.; CAMPOS, J.E.G. 2010. Avaliação da vulnerabilidade e perigo à contaminação do Aquífero Furnas na cidade de Rondonópolis (MT) com aplicação dos métodos GOD e POSH. *Geociências*, 29(3): 401-411.

DAEE – DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA /UNESP – UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA. 1980. Mapeamento faciológico do Subgrupo Tubarão. Convênio DAEE-UNESP, Escala 1:50.000.

DE KETELAERE, D.; HOTZL, H.; NEUKUM, C.; CIVITA, M.; SAPPA, G. 2004. Hazard analysis and mapping. *In*: François Zwahlen (ed.) COST Action 620. Vulnerability and risk mapping for the protection of carbonate (karst) aquifers. Final report. Luxemburgo, Office for Official Publications of the European Communities, p. 86-105.

EZAKI, S. 2011. Hidrogeoquímica dos Aquíferos Tubarão e Cristalino na Região de Salto (SP). Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de Doutorado, 180 p.

EZAKI, S.; HYPOLITO, R.; PÉREZ-AGUILAR, A.; MOSCHINI, F.A.; MOURA, C.L.; PUGAS, M.S. 2009. Avaliação da ocorrência de íon fluoreto nas águas subterrâneas dos Aquíferos Tubarão e Cristalino, região de Salto (SP). *In*: ABAS, CONGRESSO INTERNACIONAL DE MEIO AMBIENTE SUBTERRÂNEO, 1, São Paulo, Anais, 14 p.

EZAKI, S.; ODA, G. H.; IRITANI, M.A.; VEIGA, C.; STRADIOTO, M.R. Hidroquímica dos Aquíferos Tubarão e Cristalino na Região de Indaiatuba-Rafard (SP). *Pesquisas em Geociências*, 41(1): 65-79 (no prelo).

FOSTER, S.; HIRATA, R. 1991. Determinación del riesgo de contaminación de aguas subterráneas. Una metodologia basada en datos existentes. CEPIS/OPAS, Lima, Peru. 2ª ed (revisada). 81 p.

FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. 2002. Groundwater quality protection. A guide for water utilities, municipal authorities, and environment agencies. GW-Mate, World Bank, Washington, 103 p.

GALEMBECK, T.M.B. 1997. O Complexo Múltiplo, centrado e plurisserial Itu – SP. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, Tese de Doutorado, 1v., 2 mapas, 374 p.

GEMITZI, A.; PETALAS, C.; TSIHRINTZIS, V.; PISINARAS, V. 2006. Assessment of groundwater vulnerability to pollution: a combination of GIS, fuzzy logic and decision making techniques. *Environmental Geology*, 49: 653-673.

HASUI, Y.; DANTAS, A.S.L.; CARNEIRO, C.D.R.; BISTRICHI, C.A. 1981. O embasamento Pré-Cambriano e Eopaleozóico em São Paulo. *In:* F.F.M. de Almeida, Y.Hasui, W.L Ponçano, A.S.L Dantas,.C.D.R. Carneiro, M.S. de Melo, C.A Bistrichi (ed.). Mapa Geológico do Estado de São Paulo, escala 1: 500.000. São Paulo, IPT, p. 12-45.

HIRATA, R.; FERREIRA, L. M. R. 2001. Os aquíferos da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê: disponibilidade hídrica e vulnerabilidade à poluição. *Revista Brasileira de Geociências*, 31(1): 43-50.

HYPOLITO, R.; EZAKI, S.; PÉREZ-AGUILAR, A. 2010. Fluoreto nas águas subterrâneas dos aquíferos Tubarão e Cristalino, região de Salto-Indaiatuba (SP). *REM: Revista Escola de Minas*, 63(4): 715-726.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2006. Perfil Municipal. Disponível em http://www.ibge.com.br . Acessado em 26 out. 2012.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2007. Classificação nacional de atividades econômicas. Versão 2.0. Subclasses para uso da administração pública. Comissão Nacional de Classificação – CONCLA, IBGE, Rio de Janeiro, 616 p.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2010. Cidades@ São Paulo. Disponível em http://www.ibge.com.br/cidadesat/. Acessado em 26 out. 2012.

IG – INSTITUTO GEOLÓGICO. 2012. Identificação de Áreas Potenciais de Restrição e Controle de captação e uso das águas subterrâneas na porção sul da UGRHI 05 – Projeto ARC-TUB1. IG/SMA, São Paulo, 2v. (Relatório Técnico).

INPE-DPI – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - DIVISÃO DE PROCESSAMENTO DE IMAGENS. 1996. SPRING: Manual do usuário. São José dos Campos. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/classific.html. Acessado em 19 mai. 2011.

IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS / CPLA – COORDENADORIA DE PLANEJAMENTO AMBIENTAL. 2011. Subsídios ao Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental da área de afloramento do Sistema Aquífero Guarani no Estado de São Paulo. (José Luiz ALBUQUERQUE, coord.), Cadernos do Projeto Ambiental Estratégico Aquíferos, 5, 102 p.

JOHANSSON, P. ; HIRATA, R. 2004. Rating of groundwater contamination sources. *In*: A. Zaporozec (ed.) Groundwater contamination inventory. A methodological guide. IHP-VI, Series on Groundwater, Paris, UNESCO, 2, p. 63-74.

KURKDJIAN, M.L.N.O. 1986. Um método para identificação e análise de setores residenciais urbanos homogêneos, através de dados de Sensoriamento Remoto com vistas ao planejamento urbano. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de Doutorado (INPE 6358-TAE/026).

LAKE, I.R.; LOVETT, A.A.; HIDCOCK, K.M.; BETSON, M.; FOLEY, A.; SÜNNENBERG, G.; EVERS, S.; FLETCHER, S. 2003. Evaluating factors influencing groundwater vulnerability to nitrate pollution: developing the potential of GIS. *Journal of Environmental Management*, 68(3): 315-328.

MILHOME, M.A.L.; SOUSA, D.O. B.; LIMA, F.A.F.; NASCIMENTO. R.F. 2009. Avaliação do potencial de contaminação de águas superficiais e subterrâneas por pesticidas aplicados na agricultura do Baixo Jaguaribe, CE. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 14(3): 363-372.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. 2011. Portaria MS nº 2914, de 12/12/2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União (Publicado em 14/12/2011).

NEVES, M.A. 2005. Análise integrada aplicada à exploração de água subterrânea na bacia do rio Jundiaí (SP). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, Tese de Doutorado, 200 p.

NONNER, J. C. 2004. Sources of groundwater contamination. *In*: A. Zaporozec (ed.) Groundwater contamination inventory. A methodological guide. IHP-VI, Series on Groundwater, Paris, UNESCO, 2, p. 23-38.

ODA, G.H.; TAKEUCHI, D.M.; EZAKI, S.; IRITANI, M.A.; VARNIER, C.; PENTEADO, D.R.; LIMA, C.V.F.; SILVA, A.H.; ZUCA, N.L.; PACHECO, R.P. 2012. Geometria do Aquífero Tubarão entre os municípios de Indaiatuba e Capivari (SP). *Revista do Instituto Geológico,* 33(1): 23-40.

OLIVEIRA, M.L.N.; FORESTI, C.; NIERO, M.; PARREIRAS, E.M.M.F. 1984. Aplicações de dados dos satélites LANDSAT no estudo da evolução urbana de Brasília. São José dos Campos, INPE, 26 p. (INPE-3063-PRE/480).

PEREIRA, M.N.; KURKDJIAN, M.L.; FORESTI, C. 1989. Cobertura e uso da terra através de sensoriamento remoto. São José dos Campos: INPE, 118 p. (INPE – 5032-MD/042).

PETRI, S.; PIRES, F.A. 1992. O Subgrupo Itararé (Permocarbonífero) na região do Médio Tietê, Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Geociências*, 22(3): 301-310.

PETRI, S.; VIEIRA, P.C.; ODA, G.H.; FERNANDES, P.B. 1996. O Subgrupo Itararé, Permocarbonífero da Região do Médio Tietê, Estado de São Paulo, estudos de subsuperfície. *Revista do Instituto Geológico*, 17(1/2): 63-78.

PROCEL, S. 2011. Contaminação por nitrato e sua relação com o crescimento urbano no Sistema Aquífero Bauru em Presidente Prudente (SP). Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Dissertação de Mestrado, 132 p.

ROSSINI-PENTEADO, D.; HAMBÚRGUER, D.S.; SOUZA, C.R.G.; RODRIGUES, C.L.; HOLL, M.C. 2005. Mapa de uso e ocupação do solo aplicado a prognósticos ambientais no âmbito do Projeto SIIGAL. *In*: DG-USP, AGB, UGB, ABClima, SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 11, São Paulo, *Boletim de Resumos,* 236-237.

ROSSINI-PENTEADO, D.; FERREIRA, C.J.; GIBERTI, P.P.C. 2007. Quantificação da vulnerabilidade e dano aplicados ao mapeamento e análise de risco, escala 1:10.000, Ubatuba-SP. *In*: ABGE, SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS E TECNOLÓGICOS, 2, Santos, Anais.

RUPERT, M.G. 2008. Decadal-scale changes of nitrate in ground water of the United States, 1988-2004. *Journal of Environmental Quality,* Supplement, 37: S240-S248.

SÃO PAULO. 1976a. Decreto nº 8.468, de 8 de Setembro de 1976. Aprova o Regulamento da Lei n° 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a Prevenção e o controle da Poluição do Meio Ambiente.

SÃO PAULO. 1976b. Lei nº 997, de 31 de Março de 1976. Dispõe sobre o Controle da Poluição do Meio Ambiente.

SÃO PAULO. 2002. Decreto nº 47.397, de 4 de Dezembro de 2002. Dá nova redação ao Título V e ao Anexo 5 e acrescenta os Anexos 9 e 10, ao Regulamento da Lei n° 997, de 31 de maio de 1976, aprovado pelo Decreto n°

8.468, de 8 de setembro de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente. Diário Oficial do Estado (Publicado em 07/12/2002).

SMA– SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE / SERHS – SECRETARIA DE ENERGIA, RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO / SES – SECRETARIA DA SAÚDE. 2006. Resolução Conjunta SMA/SERHS/SES nº 3, de 21 de Junho de 2006. Dispõe sobre procedimentos integrados para controle e vigilância de soluções alternativas coletivas de abastecimento de água para consumo humano proveniente de mananciais subterrâneos.

SMA – SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE/ SSE – SECRETARIA DE SANEAMENTO E ENERGIA. 2009. Projeto Jurubatuba: restrição e controle de uso de água subterrânea. Cadernos do Projeto Estratégico Aquíferos, 1, 109 p.

STIGTER,T.Y.; RIBEIRO, L.; CARVALHO DILL, A.M.M. 2006. Evaluation of an intrinsic and a specific vulnerability assessment method in comparison with groundwater salinization and nitrate contamination levels in two agricultural regions in the South of Portugal. *Hydrogeology Journal*, 14: 79-99.

VARNIER, C.L.; GUERRA, S.P.; HIRATA, R.C.A.; VEIGA, C.; VIOTTI, M. 2010a. Contaminação das águas subterrâneas por nitrato e a expansão urbana em Presidente Prudente (SP). *In*: ABAS, CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 16, São Luís, *Anais*, 13 p.

VARNIER, C.L.; IRITANI, M.A.; VIOTTI, M.; ODA, G.H.; FERREIRA, L.M.R. 2010b. Nitrato nas águas subterrâneas do Sistema Aquífero Bauru, área urbana do município de Marília (SP). *Revista do Instituto Geológico*, 31(1/2): 1-21.

XU, Y.; BAKER, L.A.; JOHNSON, P.C. 2007. Trends in ground water nitrate contamination in the Phoenix, Arizona Region. *Groundwater Monitoring and Remediation*, 27(2): 49-56.

Endereço dos autores:

Mara Akie Iritani, Denise Rossini-Penteado, Sibele Ezaki, Geraldo Hideo Oda – Instituto Geológico, Secretaria de Estado do Meio Ambiente/SP, Rua Joaquim Távora, 822, Vila Mariana, CEP: 04015-001, São Paulo, SP. *E-mails*: mara.iritani@igeologico.sp.gov.br, drossinisp@gmail.com, sibezaki@gmail.com, ghoda1947@gmail.com

Artigo submetido em 5 de maio de 2014, aceito em 24 de junho de 2014.