
**Potencial de Contaminação de Aquíferos por Atividades Antrópicas da Bacia do Ribeirão do Meio –
Município de Leme – SP*****Study of the contamination potential of aquifers by human activities in the Ribeirão do Meio creek watershed
(Leme, SP, Brazil)*****Carlos Wilmer Costa¹, Mayra Cristina Prado de Moraes², Cláudio Jorge Cançado³, João Vitor Roque Guerrero⁴,
Frederico Marangon⁵, Reinaldo Lorandi⁶, José Augusto de Lollo⁷ e Luiz Eduardo Moschini⁸**

^{1,2} Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais/UFSCar. – São Carlos – S.P.
carloswilmercosta@gmail.com; na_moraesrp@hotmail.com

³ Pesquisador do Instituto de Geoinformação e Tecnologia. – Belo Horizonte – MG.
claudiocancado@gmail.com

⁴ Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana/UFSCar. – São Carlos – S.P.
joaovitorguerrero@yahoo.com.br

⁵ Mestrando do Programa de Pós Graduação em Ecologia e Tecnologia Ambiental - Universidade Federal de Alfenas - Unifal-MG - Alfenas/MG
fredmarangon@hotmail.com

^{6,8} Docente do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais/UFSCar. – São Carlos – S.P.
lorandi@ufscar.br; lemoschini@ufscar.br

⁷ Docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana/UFSCar. – São Carlos – S.P.
lolloja@dec.feis.unesp.br

Recebido: 28/05/14 - Revisado: 24/07/14 - Aceito: 12/08/14

RESUMO

A compreensão do processo de expansão das atividades antrópicas, em bacias hidrográficas, se mostra fundamental nos dias atuais. No que tange ao problema da contaminação das águas subterrâneas, a análise do uso e cobertura do solo existente e das variáveis do meio físico podem auxiliar na compreensão e gestão desta problemática. O presente trabalho teve por objetivo elaborar a carta de potencial de contaminação de aquíferos por atividades humanas na bacia hidrográfica do Ribeirão do Meio (Leme, SP), abrangendo uma área de 246,81 km² na escala 1:50.000. A produção da carta englobou a análise do mapa de substrato geológico, a elaboração da carta de unidades aquíferas, da carta de declividades e de uso e cobertura do solo. Com o uso do software ArcGIS® e de uma metodologia de análise multicritério, chegou-se a uma classificação do potencial de contaminação envolvendo cinco classes (muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto). No caso específico desta área, verificou-se que as classes de potencial médio (47,71%) e muito baixo (33,68%), foram mais representativas.

Palavras Chave: Bacia hidrográfica. Unidades Aquíferas. Potencial de Contaminação.

ABSTRACT

It is currently essential to understand the expansion of human activities in drainage basins. As for the problem of groundwater contamination, the analysis of existing land usage, ground cover, and environmental variables can be helpful in gaining an understanding of and managing this problem. The purpose of this study was to chart the contamination potential of aquifers by human activities in the watershed of Ribeirão do Meio creek (Leme, SP, Brazil), which encompasses an area of 248km², on a 1:50,000 scale. This chart was produced based on a surface geological map, a chart of aquifer units, and the preparation of a chart of the slopes and of the land use and cover. Using a Geographic Information System and a multi-criteria analysis methodology, the contamination potential of this watershed was classified according to five ratings (Very Low, Low, Intermediate, High and Very High). In that specific area it was found that the Intermediate (47,71%) and Very Low (33,68%) rating were the most representative.

Keywords: Watershed. Aquifer units. Contamination potential

INTRODUÇÃO

O uso intensivo e indiscriminado dos recursos naturais, em especial, dos recursos hídricos, tem ocasionado impactos diversificados na qualidade e quantidade dos mesmos. Esse recurso está cada vez mais escasso devido à essa crescente demanda tanto pela intensificação da urbanização como pelo aumento das atividades econômicas, aumento da descarga de efluentes contaminados, infraestrutura de abastecimento deficiente, mudanças globais com relação aos eventos hidrológicos e a problemas de gestão e governabilidade desses recursos (TUNDISI et al., 2008).

Outro aspecto da contaminação dos recursos hídricos subterrâneos se mostra ligado às atividades agroindustriais. Muitos compostos resultantes destas atividades são transformados em outros materiais e inseridos no ciclo hidrológico por processos naturais e antrópicos que podem acelerar e modificar as características hidrogeoquímicas do sistema.

A preocupação a respeito da poluição das águas subterrâneas é recente e restrita em nosso país, uma vez que o usuário do recurso subterrâneo, particular ou governamental, ainda desconhece sua importância e ignora as graves consequências de sua contaminação (LOURENCETTI; PEREIRA; MARCHI et al., 2007).

Surge, então, a necessidade de elaboração de estudos que busquem compreender possíveis riscos de contaminação dos recursos hídricos por resíduos provenientes de diversas atividades humanas.

Estes estudos, geralmente ligados ao planejamento e gestão de bacias hidrográficas, se mostram essenciais no processo

decisório dos atores envolvidos, sendo baseado na análise de um ou mais critérios.

Neste contexto, o presente trabalho visa caracterizar, com base no cruzamento de dados do meio físico e com o uso do geoprocessamento, as áreas com maior ou menor potencial de contaminação dos aquíferos existentes na bacia do Ribeirão do Meio (Brasil, São Paulo, Leme) por atividades humanas, na escala de 1:50.000.

CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO

A bacia hidrográfica do Ribeirão do Meio está localizada na região centro-leste do Estado de São Paulo e faz parte da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos – UGRH do Rio Mogi Guaçu e compreende uma área de drenagem de 246,81km², tendo como coordenadas UTM extremas: nascente – W246.754m e S7.545.578m, foz – W267.125m e S7.555.696m.

Suas nascentes localizam-se a oeste do município de Leme – SP e sua foz no Rio Mogi Guaçu, no mesmo município. Cabe ressaltar também a bacia abrange parte dos municípios de Pirassununga e Araras contidos em duas cartas topográficas: Leme e Araras.

São Paulo - SMA/CRH (2009) considera que nessa UGRH já são utilizados mais de 60% da disponibilidade hídrica superficial e subterrânea. Somente no município de Leme, de acordo com o Departamento de Águas e Energia Elétrica (SÃO PAULO – DAEE, 2014), existem 29 poços em operação distribuídos nos aquíferos Tubarão (Formação Tatu), Serra Geral e freático. Os usos predominantes são para o setor industrial, agrícola e abastecimento urbano.

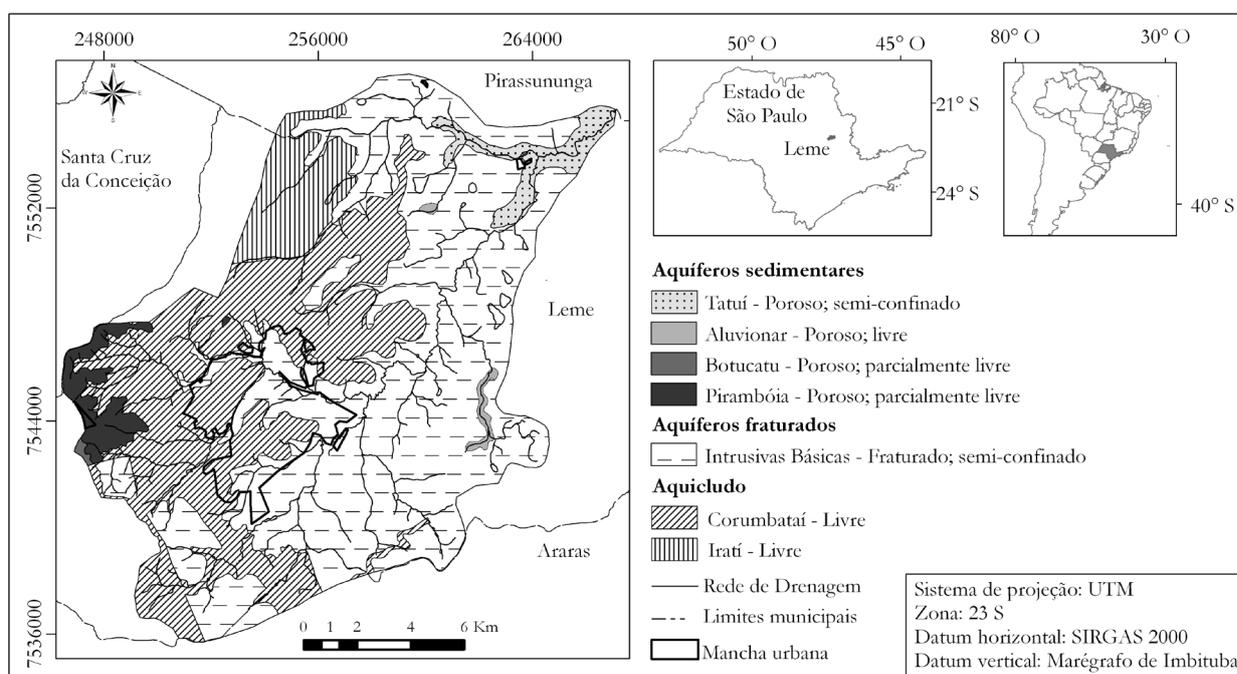


Figura 1 - Carta de Unidades Aquíferas da bacia hidrográfica do Ribeirão do Meio – Leme (SP)

A população de Leme em 2013 era de 91.755 habitantes enquanto a de Pirassununga era de 73.656 habitantes com densidade demográfica de 227,75 hab./ km² e 96,38 hab./ km² respectivamente (BRASIL – IBGE, 2013).

Quanto à geologia, a bacia localiza-se na Bacia Sedimentar do Paraná apresentando arenitos da Formação Botucatu, folhelhos variegados da Formação Corumbataí, folhelhos carbonosos e calcários da Formação Irati, arenitos fluviais da Formação Pirambóia, siltitos arenosos da Formação Tatuí, Rochas Intrusivas Básicas e depósitos recentes do Quaternário.

Ocorrem na área de estudo, três unidades aquíferas: Aquíferos Sedimentares (compostos pelas formações Botucatu, Pirambóia, Tatuí e depósitos do Quaternário), Aquíferos fraturados (representados pelas rochas Intrusivas Básicas) e Aquícludos (formações Corumbataí e Irati) (Figura 1).

A formação florestal predominante na área é a Floresta Estacional Semidecidual (FES), com elementos da formação vegetacional Cerrado. Ressalta-se que o processo de ocupação do interior paulista, com o avanço da fronteira agrícola, foi responsável pela diminuição da área florestada (MIRANDA, 2010; RUDORFF et al., 2010).

Atualmente, as áreas outrora florestadas e com vegetação nativa deram lugar a diferentes cultivos como cana-de-açúcar, citricultura, café, e silvicultura. A região ainda apresenta mineração, piscicultura, instalações rurais e solo exposto.

De acordo com Mendonça e Danni-Oliveira (2007) o clima da região é o tropical úmido-seco, também conhecido como tropical do Brasil central sem seca. Este tipo climático apresenta chuva em todos os meses do ano, com maior concentração no verão e redução no inverno. Há grande influência dos sistemas atmosféricos oceânicos tropicais e polares, o que justifica a grande pluviosidade e as variações térmicas ao longo do ano.

Nos mapas elaborados por Ross e Moroz (1997) na escala 1:500.000 para o Estado de São Paulo é possível identificar que a bacia do Ribeirão do Meio está situada na Unidade Morfoestrutural da Bacia Sedimentar do Paraná. Quanto à Unidade Morfoescultural, a bacia encontra-se na Depressão Periférica Paulista, Depressão Moji Guaçu. As formas do relevo são resultado de processo denudacional. Os modelados dominantes são formados por colinas com topos amplos e tabulares. Quanto aos índices de dissecação do relevo apresenta dimensão interfluvial grande (1750 à 3750m) e o grau de entalhamento dos vales é classificado como muito fraco (< 20m) com vales pouco entalhados.

A pedologia do local é caracterizada por apresentar as seguintes classes de solos classificadas por Oliveira et al. (1982) e atualizadas com base em BRASIL – EMBRAPA (1999): LATOSSOLOS VERMELHOS Eutróféricos e Distroféricos (LATOSSOLO ROXO eutrófico e distrófico e LATOSSOLO VERMELHO ESCURO de textura argilosa e média), LATOSSOLOS VERMELHOS-AMARELOS Distróficos cámbicos, Distróficos argissólicos e Distróficos típicos (textura média, textura argilosa e textura indiscriminada), ARGISSOLOS VERMELHOS-AMARELOS Distróficos típicos (textura média a muito argilosa), NEOSSOLOS LITÓLICOS Eutróficos (SOLOS LITÓLICOS Distróficos de textura média e eutróficos/distróficos de textura indiscriminada) e GLEISSOLOS

HÁPLICOS Tb Distróficos/Eutróficos (Gley pouco húmico e/ou Gley húmico com ou sem solo orgânico).

MATERIAIS E MÉTODOS

Os planos de informação georreferenciados utilizados no trabalho foram elaborados utilizando o *software* ArcGIS® 10.2. Para a montagem do banco de dados foram utilizadas as cartas topográficas das cidades de Leme (SF-23-Y-A-II-1) e Araras (SF-23-Y-A-II-3) (BRASIL – IBGE, 1971), o mapa do substrato geológico de Lollo (1991), a carta pedológica da quadrícula de Araras (SF-23-Y-A-II) (SÃO PAULO – IAC, 1981) todas na escala 1:50.000. Também foram utilizadas imagens do satélite LANDSAT 8 de 19/03/2014 (composição colorida RGB das bandas 4, 5 e 6 com fusão com a banda pancromática 8 de 15 metros) (UNITED STATES – USGS, 2014) e imagens do satélite IKONOS de 23/02/2010 com resolução espacial de 1 metro (ESRI, 2014).

Para atingir o objetivo proposto, utilizou-se uma estratégia de análise multicritério baseada em matrizes de decisão e na avaliação dos critérios por equipe multidisciplinar.

A análise multicritério é caracterizada pelo cruzamento de atributos do meio físico e antrópicos em ambiente SIG. Tal método de investigação se mostra efetivo quando aplicado na gestão e planejamento do espaço dentro de um determinado contexto, como por exemplo, a determinação de áreas com potencial de contaminação em aquíferos.

Deste processo, chegou-se a análise dos vários critérios e cenários descritos pela realidade analisada sobre a área de estudo, levando-se em conta a avaliação integrada e criteriosa dos mesmos por parte de uma equipe multidisciplinar. Este processo, ilustrado na (Figura 2 e Tabelas 1 e 2), descreve a metodologia utilizada usando como exemplo os dois primeiros cruzamentos (substrato geológico x pedológico e resultado do cruzamento – cruzamento 1 x declividade) realizados.

Cabe ressaltar que as áreas de vegetação de preservação permanente e corpos d'água existentes foram excluídas das análises realizadas, devido às mesmas possuírem restrições legais de uso (protegidas) ou representarem áreas reconhecidas sem potencial de contaminação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Diante da metodologia proposta, na qual se analisou quatro cruzamentos, determinou-se 5 classes com potencial de contaminação de aquíferos por atividades antrópicas: Muito Baixo, Baixo, Médio, Alto e Muito Alto, a partir da análise de cinco atributos do meio físico (Uso e Cobertura do Solo, Geologia, Pedologia, Declividade, Unidades Aquíferas).

A relação entre o uso e cobertura do solo e os demais atributos é essencial para compreensão do potencial de contaminação das águas subterrâneas e na bacia hidrográfica do Ribeirão do Meio, esta ocorre da seguinte forma (Figura 3):

a) a classe de uso urbano (9,11% da área) situa-se sobre a Formação Corumbataí e nas Intrusivas Básicas. No que tange

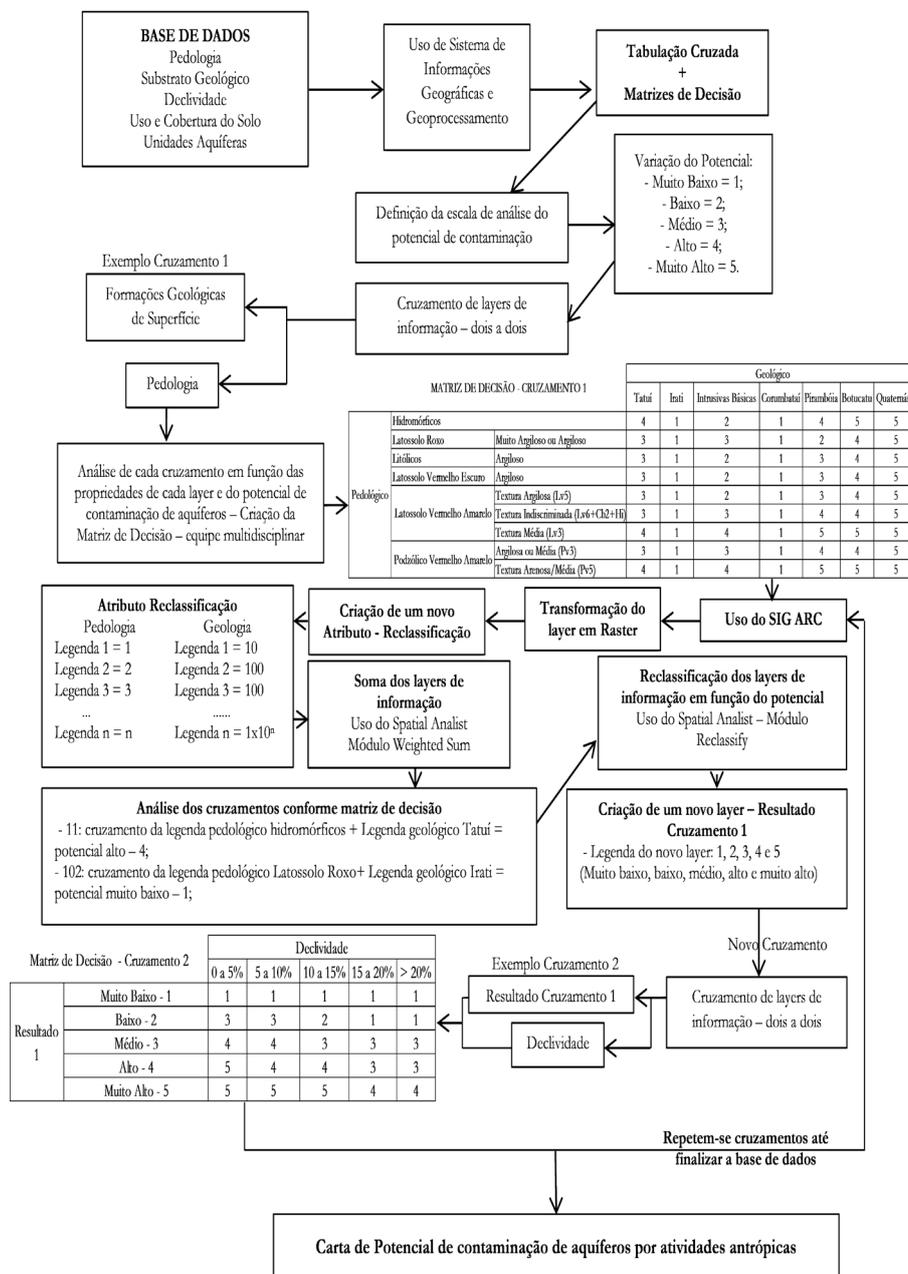


Figura 2 - Fluxograma do processo de análise multicritério

Tabela 1 - Matriz de Decisão do Cruzamento 3 – Resultado 2 x Uso e cobertura do Solo

		Uso e Cobertura do Solo								
		Cana	Solo Exposto	Área Urbana	Vegetação	Reflorestamento	Piscicultura	Mineração	Instalações Rurais	Outras Culturais
Resultado 2	Muito Baixo - 1	3	3	2	1	2	1	5	2	2
	Baixo - 2	4	5	3	2	3	2	5	3	3
	Médio - 3	5	5	4	3	3	3	5	4	3
	Alto - 4	5	5	5	4	4	4	5	5	4
	Muito Alto - 5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

à pedologia, situa-se sobre os LATOSSOLOS VERMELHOS Eutroféricos e Distroféricos de textura argilosa a média e LATOSSOLOS VERMELHOS-AMARELOS Distroféricos Cambicos, Argissolos e Típicos. Neste uso, predominam declividades baixas e médias (0 a 10%), sendo observadas as unidades aquíferas Intrusivas Básicas e Formação Corumbataí.

Pelo primeiro cruzamento, verifica-se um predomínio dos potenciais de contaminação muito baixo e baixo em decorrência dos minerais de granulometria fina presentes no substrato rochoso e nos tipos de solos provenientes do intemperismo de rochas básicas.

No entanto, nota-se que no cruzamento dois, a presença de áreas com baixa declividade, por facilitar a infiltração da água e de possíveis contaminantes, elevou o índice para o limiar alto.

No cruzamento quatro, a presença de unidades aquíferas

Intrusivas Básicas, com baixa permeabilidade, e aquíclodos, nos quais a presença de siltitos e folhelhos limita a capacidade de receber e transmitir água contribuiu para que a mancha urbana da cidade de Leme ocupasse principalmente as classes de potencial de contaminação médio e muito baixo (Figura 4 e Tabela 3).

b) a classe de uso cana-de-açúcar representa 58,82% da área de estudo, recobrando todas as formações geológicas, pedológicas, unidades aquíferas e está presente em declividades baixas, médias e altas.

No que tange ao potencial de contaminação de aquíferos, verificou-se que a presença de cana-de-açúcar em solos de textura argilosa derivados do intemperismo de rochas básicas, está associada ao resultado predominante do índice de potencial de contaminação entre médio e muito baixo. Este resultado deve-se as propriedades físicas do solo (micro-porosidade e

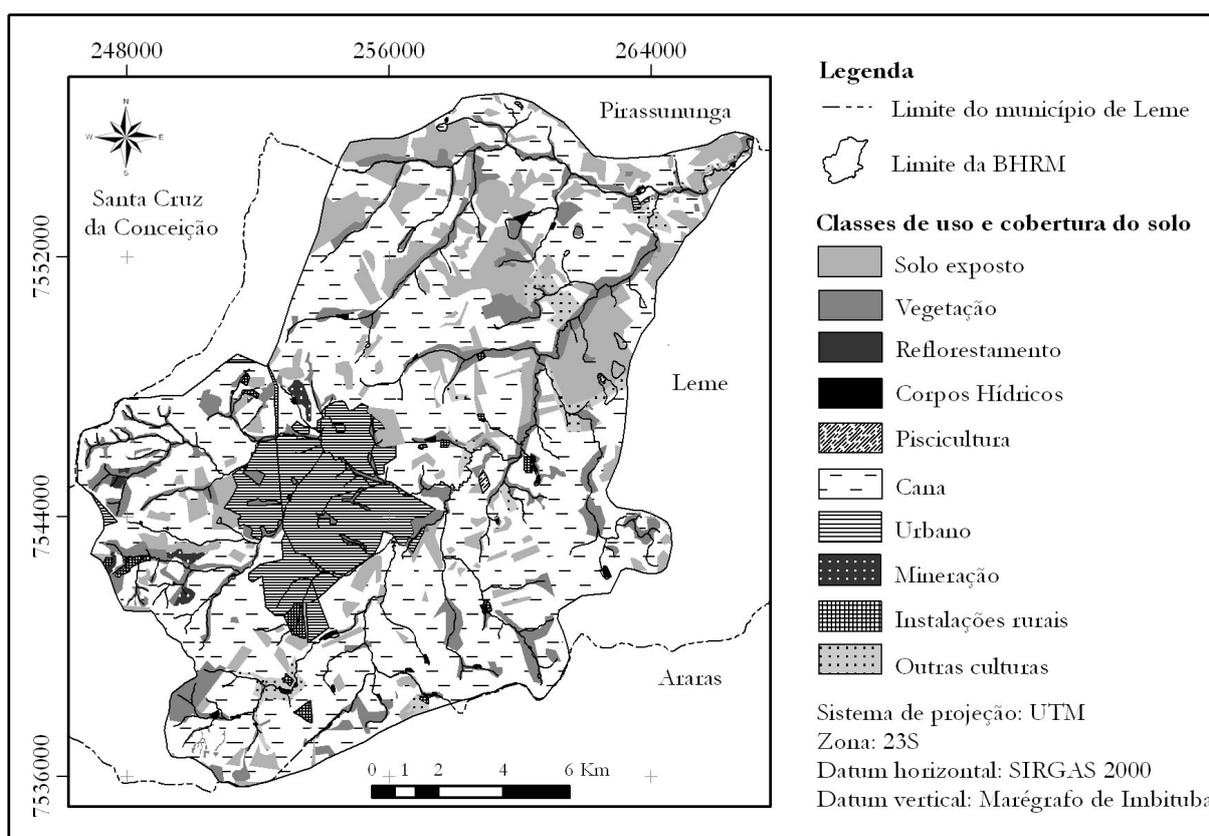


Figura 3 - Carta de Uso e Cobertura do Solo da bacia hidrográfica do Ribeirão do Meio – Leme (SP)

Tabela 2 - Matriz de Decisão do Cruzamento 4 – Resultado 3 x Unidades Aquíferas

		Unidades Aquíferas						
		Sedimentar Aluvionar	Sedimentar Botucatu	Sedimentar Pirambóia	Sedimentar Tatuí	Fraturado Intrusivas Básicas	Aquíclodo Corumbataí	Aquíclodo Irati
Resultado 3	Muito Baixo - 1	4	4	3	3	1	1	1
	Baixo - 2	4	4	4	3	1	1	1
	Médio - 3	5	5	4	4	2	1	1
	Alto - 4	5	5	5	5	3	1	1
	Muito Alto - 5	5	5	5	5	3	1	1

média permeabilidade) descritas por Lollo (1991) que atuam como barreira natural.

Entretanto, verifica-se que esse tipo de cultura está presente em 74,6% das áreas com índice de contaminação muito alto, onde predominam unidades aquíferas Tatuí (poroso, semi-confinado), Pirambóia (poroso, parcialmente livre) e Aluvionar (poroso, livre).

De um modo geral, estes aquíferos são constituídos predominantemente por arenitos de granulação fina a média com grande quantidade de poros interconectados com grande capacidade de armazenar e transmitir água (LOLLO, 1991).

c) Foram identificados outros tipos de culturas (classe de uso “outras culturas” – 2,29% da área) ao longo da bacia hidrográfica, sendo que estas se encontram geologicamente na formação Corumbataí, Intrusivas Básicas e Tatuí. Quanto à distribuição das unidades pedológicas, observam-se os LATOSSOLOS VERMELHOS Eutroféricos e Distroféricos,

LATOSSOLOS VERMELHOS-AMARELOS e ARGISSOLOS VERMELHOS-AMARELOS, sendo encontradas em declividades altas, médias e baixas. No que se refere às unidades aquíferas, tem-se: Corumbataí, Intrusivas Básicas e Tatuí.

Pelo primeiro cruzamento, nota-se que, independente dos variados tipos de solo sobrejacentes à Formação Corumbataí, o potencial de contaminação se manteve em muito baixo. A combinação de solos argilosos com rochas Intrusivas Básicas fez com que o potencial de contaminação fosse classificado como baixo. Por outro lado, solos argilosos cruzados com a Formação Tatuí elevaram o potencial de contaminação para médio e os solos arenosos para alto.

O resultado do cruzamento dois elevou o potencial de contaminação da classe “outras culturas”, pois grande parte dessas áreas situa-se em declividades de 0 a 10%, condição que possibilita maior infiltração de água e de possíveis contaminantes.

Com relação às unidades aquíferas (cruzamento quatro),

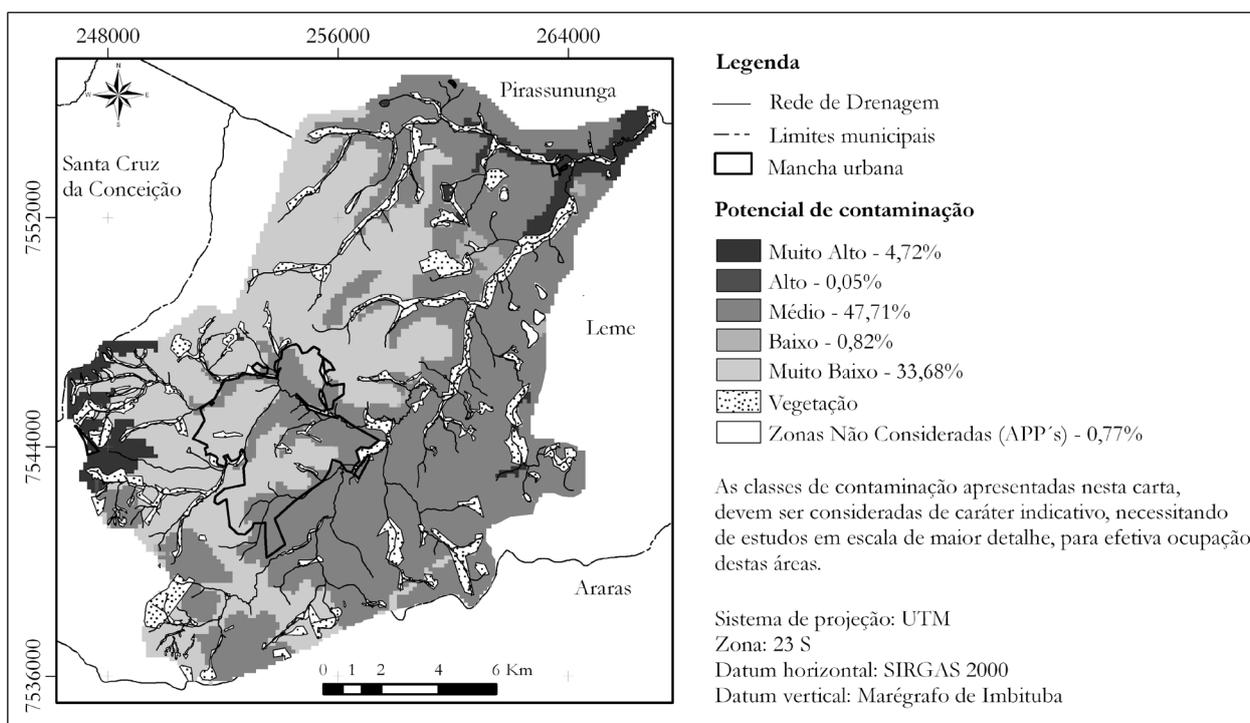


Figura 4 - Carta de Potencial de Contaminação de Aquíferos por Atividades Antrópicas da bacia hidrográfica do Ribeirão do Meio – Leme (SP)

Tabela 3 - Distribuição dos usos e coberturas do solo em função do Potencial de Contaminação de Aquíferos

Tipos de Uso	Potencial de Contaminação									
	Muito Alto	%	Alto	%	Médio	%	Baixo	%	Muito Baixo	%
Solo Exposto	2.07	17.73	-	-	22.91	19.46	-	-	13.73	16.52
Área Urbana	0.17	1.44	-	-	10.97	9.32	-	-	11.34	13.65
Cana	8.70	74.60	-	-	80.86	68.66	0.09	4.59	55.51	66.79
Instalações Rurais	0.06	0.48	-	-	0.88	0.74	-	-	0.32	0.38
Outras Culturas	0.61	5.27	-	-	1.90	1.61	1.94	95.41	1.21	1.46
Mineração	-	-	-	-	0.11	0.09	-	-	0.84	1.01
Piscicultura	-	-	-	-	0.13	0.11	-	-	-	-
Reflorestamento	0.06	0.48	0.11	100.00	-	-	-	-	0.17	0.20
Total	11.66	100.00	0.11	100.00	117.76	100.00	2.03	100.00	83.12	100.00
Áreas não consideradas (APP's) e vegetação natural = 32,13 km ²										
Área total da Bacia = 246,81 km ²										

verifica-se que, sobre o aquífero Corumbataí, o potencial de contaminação mantém-se muito baixo, já sobre a unidade aquífera Intrusivas Básicas há uma redução do potencial de contaminação devido à baixa permeabilidade. Porém, sobre a unidade aquífera Tatuí houve um aumento no potencial de contaminação devido, principalmente, as características relacionadas à porosidade e a condição de semi-confinamento. Ao final, foi apurado que a classe “outras culturas” representa 95,41% do potencial de contaminação baixo, estando associada às áreas de rochas Intrusivas Básicas e unidade aquífera correspondente. Porém, essa classe representa 5,27% do potencial de contaminação muito alto quando situada sobre o aquífero Tatuí.

d) a classe de uso “piscicultura” (0,05% da área) se consolida sobre as rochas e na unidade aquífera Intrusivas Básicas. Quanto à pedologia, têm-se os LATOSSOLOS VERMELHOS Eutroféricos e Distroféricos, sendo predominantemente observados em baixa declividade.

No cruzamento um, verifica-se que o potencial de contaminação obtido foi médio devido à preponderância dos minerais de granulação fina presentes nas formações geológicas e tipos de solos. Por outro lado, no cruzamento dois, o potencial é elevado à alto devido à baixa declividade. No cruzamento quatro, o potencial de contaminação volta a ser médio devido à elevada coesão e baixa permeabilidade litológica das rochas Intrusivas Básicas que condicionam o aquífero derivado.

A classe de uso e cobertura do solo “piscicultura” está presente em 0,11% da área de potencial de contaminação médio.

e) quanto ao uso do território pela mineração (0,38% da área), predomina a exploração de rochas da Formação Corumbataí (siltitos) e das rochas Intrusivas Básicas (diabásio) em locais de solos NEOSSOLOS LITÓLICOS Eutróficos e ARGISSOLOS VERMELHOS-AMARELOS. As atividades de mineração ocorrem em áreas com declividades variando entre médias e altas, e sob as unidades aquíferas Corumbataí e Intrusivas Básicas.

Constata-se, no cruzamento um, que o potencial de contaminação dos NEOSSOLOS LITÓLICOS Eutróficos e ARGISSOLOS VERMELHOS-AMARELOS sobrejacentes à Formação Corumbataí foram classificados como muito baixo. Sobre a Formação Intrusivas Básicas, os NEOSSOLOS LITÓLICOS com características argilosas foram classificados com potencial baixo, já os ARGISSOLOS VERMELHOS-AMARELOS variaram do potencial de contaminação médio a alto de acordo com a presença de argila e areia.

Com relação à declividade (cruzamento dois), nota-se que houve um aumento gradativo no potencial de contaminação (baixo, médio e alto) das regiões com declividade de até 15% para as áreas consideradas planas (de 0 a 5%), alcançando o limiar de muito alto.

No quarto cruzamento, o potencial de contaminação apurado foi de médio nas áreas de mineração sobre a unidade aquífera Intrusivas Básicas em virtude da baixa permeabilidade, e muito baixo para o aquífero Corumbataí devido à deficiência deste em armazenar e transmitir água.

As atividades minerárias estão dispostas sobre 0,09% da área abrangida pelo potencial de contaminação médio e 1,01% da área sobre o potencial de contaminação muito baixo

(Figura 4 e Tabela 3).

f) quanto aos reflorestamentos da área estudada (0,14% da área), estes se situam nas Formações e nas unidades aquíferas Corumbataí, Botucatu e Pirambóia, sobre os ARGISSOLOS VERMELHOS-AMARELOS Distróficos Típicos de textura média a muito argilosa. Tais usos ocorrem em declividades predominantemente altas.

Os ARGISSOLOS VERMELHOS-AMARELOS Distróficos Típicos de textura média a muito argilosa quando cruzados com litologia da Formação Corumbataí resultam em potencial de contaminação muito baixo (cruzamento um). Porém, verifica-se que o potencial de contaminação eleva-se para alto e muito alto quando esses tipos de solos são cruzados com os arenitos das Formações Botucatu e Pirambóia. O motivo desse aumento está relacionado à combinação da textura argilosa ou arenosa dos tipos de solos com as características de tais formações geológicas, como a boa permeabilidade e porosidade.

Com relação à declividade, representada no cruzamento dois, nota-se que o potencial muito baixo se mantém, enquanto que as baixas declividades fazem com que o potencial de contaminação seja elevado para o limiar muito alto.

No cruzamento quatro, o potencial de contaminação da classe reflorestamentos se mantém em muito baixo com relação ao aquífero Corumbataí, porém alcança nível muito alto quando essa classe situa-se sobre as unidades aquíferas Botucatu e Pirambóia que comportam-se como aquíferos porosos e parcialmente livres. Tal uso representou 0,48% do potencial de contaminação muito alto e a totalidade do potencial “alto”.

g) foram identificadas também pequenas instalações rurais (0,51% da área), como por exemplo, granjas. Estas ocorrem sob as Formações geológicas Pirambóia, Corumbataí, Botucatu e sob Rochas Intrusivas Básicas. Os solos ligados a este uso são LATOSSOLOS VERMELHOS Eutroféricos e Distroféricos e LATOSSOLOS VERMELHOS-AMARELOS, caracterizados por declividades de baixa a alta. As unidades aquíferas presentes são Intrusivas Básicas, Pirambóia e Botucatu. A maior parte desse tipo de uso esteve presente na classe de contaminação médio.

h) nas áreas identificadas como solos expostos (15,68% de área), foram notadas todas as formações geológicas presentes na área, assim como todos os tipos de solos, declividades e unidades aquíferas, sendo os mesmos provavelmente associados ao plantio de cana-de-açúcar. Tal tipo de uso, eleva o potencial de contaminação de aquíferos predominando sobre as classes muito alto e médio.

i) a vegetação presente na paisagem (12,25% da área) está fragmentada ao longo da bacia, a ponto de ser especializadas sob todas as formações geológicas, pedológicas, de declividades e unidades aquíferas.

CONCLUSÕES

A Análise Multicritério foi adequada como ferramenta de integração dos critérios, respeitando as inter-relações e os potenciais decorrentes das características do meio físico e do uso e cobertura do solo.

Em geral, a área não apresenta elevado potencial de

contaminação de aquíferos (47,71% da área foi classificada como potencial médio, 0,82% como baixo e 33,68% como muito baixo, somando 82,21%). As áreas que apresentam menores potenciais estão situadas sobre o aquífero Intrusivas Básicas e aquíferos Corumbataí e Irati, com litologias que limitam a capacidade de armazenar e transmitir água, associadas à presença de solos argilosos sobrejacentes, que retardam a percolação.

No entanto, existem áreas com potencial de contaminação muito alto (4,72%) e alto (0,05%), onde os aquíferos sedimentares porosos e livres das Formações Botucatu, Pirambóia, Tatuí e os Aluvionar estão associados aos solos arenosos em terrenos com baixa declividade, condições que potencializam o fluxo vertical de água e contribuem para a percolação de possíveis contaminantes.

Nas áreas onde as condições do meio físico implicam maior potencial de contaminação, o cultivo de cana-de-açúcar eleva tais riscos.

A presença de fragmentos de vegetação (12,25%) pode atuar atenuando o potencial de contaminação muito alto, protegendo os mananciais subterrâneos.

Tendo em conta os condicionantes naturais e decorrentes do uso e cobertura do solo, a inclusão de cadastro e avaliação de fontes potenciais de contaminação, pontual ou difusa associada às avaliações de riscos relacionados ao transporte de cargas, em particular pela rodovia SP 330, é ação complementar necessária para a proposição de medidas de ordenamento.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). *Cartas topográficas*. Folhas Topográficas de Leme (SF-23-Y-A-II-1) e Araras (SF-23-Y-A-II-3). Escala 1:50.000, 1971.
- BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). *Cidades IBGE*. Disponível em <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php?lang=>>> Acesso em: 29 abr. 2013.
- BRASIL. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). Centro Nacional de Pesquisas de Solos (Rio de Janeiro, RJ). *Sistema brasileiro de classificações de solos*. Brasília: Embrapa, 1999.
- ESRI. ArcGIS® 10.0 *Tutorial. Environmental Systems*. Research Institute. v. 13, 2010.
- ESRI. World Imagery - Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, i-cubed, USDA, USGS, AEX, Getmapping, Aerogrid, IGN, IGP, swisstopo, and the GIS User Community. Copyright:© 2014 Esri, DeLorme, HERE, TomTom. Disponível em <http://goto.arcgisonline.com/maps/World_Imagery> Acesso em: 23 Apr. 2014.
- LOLLO, J. A. *Mapeamento Geotécnico da Folha de Leme – SP*. 1991. 86f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 1991.
- LOURENCETTI, C.; RIBEIRO, M. L.; PEREIRA, S. Y.; MARCHI, M. R. S. Contaminação de águas subterrâneas por pesticidas: avaliação preliminar. *Revista Química Nova*. V. 30, n.3, p. 688-694, 2007.
- MENDONÇA, F; DANNI-OLIVEIRA, I. M. *Climatologia: noções básicas e climas do Brasil*. Oficina de textos. São Paulo, 2007. 206p.
- MIRANDA, E. E. Questões ambientais (impactos locais e globais) e energéticas: a expansão da cana-de-açúcar e a ocupação das terras no Estado de São Paulo. In: CORTEZ, L. A. B. (Coord.). *Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para produtividade e sustentabilidade*, 2010. p.41-51.
- OLIVEIRA, J. B; MENK, J. R. F; BARBIERI, J.L; RÖTTA, C.L; TREMOCOLDI, W. 1982. *Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo: Quadrícula de Araras*. Campinas: Instituto Agrônomo, 1982. 180p. Boletim Técnico, 71.
- ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. *Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo*. São Paulo: FFLCH-USP/IPT/FAPESP, 1997.
- RUDORFF, B. F. T.; AGUIAR, D. A.; SILVA, W. F.; SUGAWARA, L. M.; ADAMI, M.; MOREIRA, M. A. Studies on the Rapid Expansion of Sugarcane for Ethanol Production on São Paulo State (Brazil) Using Landsat Data. *Remote Sensing*, v.2, n.4, p.1057-1076, 2010.
- SÃO PAULO - DAAE. Departamento de Águas e Energia Elétrica. *Pesquisa de Dados dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo: usos por município*. Disponível em: <<http://www.aplicacoes.dae.sp.gov.br/usuarios/daeusuariosDpo.asp>> Acesso em: 30 abr. 2014.
- SÃO PAULO (Estado). Instituto Agrônomo de Campinas (IAC). *Folha pedológica da quadrícula de Araras (SF-23-Y-A-II-3)*. Escala 1:100.000, 1982.
- SÃO PAULO. *Situação dos recursos hídricos no Estado de São Paulo: ano base 2007*. Secretaria do Meio Ambiente; Coordenadoria de Recursos Hídricos. São Paulo: SMA/CRH, 2009.
- TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; MATSUMURA-TUNDISI, J. E. Conservação e uso sustentável de recursos hídricos. In: BARBOSA, F.A. *Ângulos da água: desafios da integração*. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2008. p. 83-157.
- UNITED STATES. United States Geological Survey (USGS). *LANDSAT_8. Cena: LC82200752014078LGN00*. Disponível em: <<http://earthexplorer.usgs.gov/>> Acesso em: 23 Apr. 2014.