

CARTA DE POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO DE AQUÍFEROS POR ATIVIDADES ANTRÓPICAS COMO SUBSÍDIO AO ZONEAMENTO (GEO)AMBIENTAL – ESTUDO DE CASO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BONITO

Cláudio Jorge Cançado¹; Reinaldo Lorandi² & Carlos Wilmer Costa²

Resumo – O zoneamento (geo)ambiental se apresenta fundamental para o planejamento de uso e ocupação do solo em bacias hidrográficas, particularmente no que tange à expansão urbana. A produção de uma carta de unidades aquíferas é etapa fundamental neste zoneamento. O presente trabalho teve por objetivo elaborar a carta de unidades aquíferas na bacia hidrográfica do rio Bonito (Brasil), escala 1:50.000. A bacia abrange área de 223 km², em partes dos municípios de Descalvado e Porto Ferreira. A produção da carta englobou a delimitação da bacia a partir das cartas topográficas, vetorização do mapa de formações geológicas superficiais e sua reclassificação em unidades aquíferas. A carta de unidades aquíferas contém três classes de aquíferos: sedimentares (Aluvionar, Santa Rita, Piraçununga, Itaqueri e Guarani); fraturados (Serra Geral e Intrusivas Básicas); e aquícludo (Corumbataí). Tendo em vista a importância da área de estudo como reserva hídrica subterrânea e de recarga direta do Sistema Aquífero Guarani (SAG), também foi elaborada a carta de potencial de contaminação de aquíferos por atividades antrópicas.

Abstract – (Geo)environmental zoning is a crucial data base for land uses planning in watershed basins considering urban expansion. Defining aquifer units is a fundamental step in (geo)environmental zoning. In the present work, we produce an aquifer units chart for Rio Bonito basin (Brazil) at 1:50.000 scale. This water basin encompasses 223 km² area, in Porto Ferreira and Descalvado municipalities. Aquifer units chart production involves delineation of Rio Bonito watershed from topographic maps, vectorization of geological formation map of the basin, surface geological units reclassify for generating aquifer units. The resulting 1:50.000-scale aquifer unit chart exhibit three groups of aquifers: sedimentary (Aluvionar, Santa Rita, Piraçununga, Itaqueri and Guarani aquifers); fractured (Serra Geral e Basic Intrusive Rocks); and aquícludo (Corumbataí). In view of the importance of the study area as surface water reserves and direct recharge of the Guarani Aquifer System (SAG), was made the letter of the potential for contamination of aquifers by anthropogenic activities.

Palavras-Chave – Bacia Hidrográfica, Unidades Aquíferas e Potencial de Contaminação.

1 – INTRODUÇÃO

Ao longo da história humana, a disponibilidade de água tem sido fator fundamental para a sobrevivência dos homens, principalmente na escolha dos locais de fixação de suas comunidades.

¹ Instituto de Geoinformação e Tecnologia – IGTEC / Faculdade de Engenharia de Minas Gerais (FEAMIG), Rua José Sérgio de Paula, 172/201 – Fernão Dias – Belo Horizonte – Minas Gerais – CEP: 31910-270, fone: 31-3915-5321, e-mail:claudiocancado@gmail.com.

² Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (UFSCar), Rodovia Washington Luís, Km 235 – CEP:13.560-905 – São Carlos – São Paulo, fone: 16-3351-9656, e-mail:lorandi@ufscar.br

Desde o início das civilizações, a ocupação das áreas de fundos de vale era feita devido à existência de fonte de água potável, por ser um local de fornecimento de alimentos (peixes ou cultivos agrícolas pela irrigação), transporte às embarcações e de recreação. Entretanto, com o crescimento cada vez maior das áreas urbanas, a demanda por água foi aumentando, tornando-se um produto escasso devido à alta densidade populacional, à verticalização das cidades e à forma com que estas áreas foram ocupadas, observando-se um conflito de usos com o espaço natural e, em particular, com a conservação das águas.

Desta maneira, ao longo dos anos, observou-se que os problemas de conflitos de uso do solo e da água, levaram ao aumento da poluição em geral, sendo necessária a definição de uma unidade de planejamento que levasse em conta o sistema ecológico ligado à água, no caso a bacia hidrográfica, a qual abrange todos os organismos que funcionam em conjunto numa dada área, visando entender como os recursos naturais e os homens podem estar interligados e dependentes.

Logo, em função do uso e ocupação do solo, as bacias hidrográficas encontram-se submetidas a um grande número de impactos ambientais diversificados, como, por exemplo, incidência de processos erosivos (sulcos, ravinas e voçorocas), assoreamento de canais de drenagem, disposição inadequada de resíduos sólidos diversificados, poluição e contaminação de corpos d'água continentais (rios, lagos, represas e reservatórios), exposição do solo e remobilização de materiais inconsolidados, remoção de matas ciliares e de áreas de várzea, os quais, em muitos casos, se mostram decorrentes do crescimento desordenado das cidades e da falta de planejamento das mesmas.

Assim, em virtude dos impactos decorrentes das intervenções humanas, tem-se utilizado um instrumento que, nos últimos anos, tem subsidiado o planejamento ambiental de bacias e microbacias hidrográficas, sobretudo no que diz respeito à expansão urbana. Este instrumento é o zoneamento (geo)ambiental, o qual corresponde à compartimentação do território em zonas, com base na avaliação dos atributos do meio físico mais relevantes e de suas dinâmicas em função das realidades observadas.

Trabalhos como o de Faleiros (2012), Moraes & Lorandi (2004), Maia & Lage (2007), Zuquette (1987) apud Cançado e Lorandi (2004), entre outros, preconizam que o zoneamento ambiental ou (geo)ambiental se apresenta como uma ferramenta de fundamental importância para a ordenação sustentável do território, sendo um instrumento técnico do processo de planejamento e gestão das ações a serem executadas em um determinado espaço. Além disso, o zoneamento ambiental ou (geo)ambiental possibilita a avaliação da aptidão do território, no que tange à implantação de atividades socioeconômicas diversificadas (núcleos urbanos, industriais, atividades agroindustriais, aterros, cemitérios, entre outros).

Por outro lado, questões transfronteiriças, como no caso do Aquífero Guarani, devem ser monitoradas com cautela, pois, segundo Guimarães (2007), as normas de Direito Internacional carecem de eficácia quando é necessário tentar forçar um país a cumprir as determinações acordadas em fóruns específicos.

Logo, quando se pretende elaborar um documento cartográfico de zoneamento (geo)ambiental, no intuito de auxiliar a tomada de decisão de gestores e planejadores nos processos planejamento e gestão do espaço, um dos atributos do meio físico que deve ser considerado são as unidades aquíferas, cujas características estão relacionadas principalmente com as formações geológicas existentes ao longo do espaço estudado.

As unidades aquíferas se mostram de fundamental importância para a sociedade, visto a sua posição estratégica como grandes mananciais subterrâneos de água doce, os quais podem ser utilizados para fins diversificados. Desta maneira, a definição destas unidades são cruciais no contexto da elaboração de um zoneamento (geo)ambiental.

No que tange ao Brasil, a grande quantidade de água subterrânea existente ao longo de toda a extensão do território do país se mostra distribuída, de maneira simplificada, em dois grandes grupos de aquíferos: aquíferos de rochas e materiais sedimentares, e aquíferos de rochas fraturadas.

Segundo Hirata et al (2010), os aquíferos de rochas e materiais sedimentares são associados aos terrenos sedimentares, os quais ocupam cerca de 4,13 milhões de km², ou seja, 48,5% do país. Bacias sedimentares relacionadas a esses terrenos são as bacias do Proterozóico/Paleozóico, Proterozóico/Mesozóico e Paleozóico e as bacias menores do Mesozóico e Cenozóico. Nesses terrenos encontram-se 27 sistemas aquíferos de porosidade granular e, subordinadamente, cársticos e fraturados, com área de afloramento ou recarga de 2,76 milhões de km² (aproximadamente 32% do país). Por outro lado, ainda sob o ponto de vista dos autores op.cit., os aquíferos de rochas fraturadas são associados aos terrenos cristalinos pré-cambrianos, os quais ocupam área de cerca de 4,38 milhões de km² (aproximadamente 51,5% do território brasileiro) e se comportam como aquíferos fraturados típicos. Esses terrenos coincidem, em grande parte, com o Cráton do Amazonas e os cinturões de dobramento do Neoproterozóico, englobando parte do Cráton do São Francisco.

2 – OBJETIVO

O trabalho teve como objetivo a elaboração das cartas de unidades aquíferas e de potencial de contaminação de aquíferos por atividades antrópicas para a bacia hidrográfica do rio Bonito (Brasil, São Paulo, Descalvado e Porto Ferreira), na escala de 1:50.000. Tais cartas poderão auxiliar trabalhos futuros no que tange ao planejamento ambiental, relacionados à elaboração de uma carta de zoneamento (geo)ambiental da bacia em questão.

3 – CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DA ÁREA DE ESTUDO

Segundo informações emitidas por FEHIDRO (2011), o território brasileiro se mostra definido em Regiões Hidrográficas estabelecidas pela Resolução no 32 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos de 15 de outubro de 2003, a qual definiu a divisão hidrográfica nacional. Na caracterização em nível federal, a bacia hidrográfica do rio Mogi Guaçu pertence à Região Hidrográfica do Paraná, a qual é constituída pela bacia hidrográfica do rio Paraná.

A bacia hidrográfica do rio Mogi Guaçu, denominada Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos 09 - UGRHI 09 no Estado de São Paulo, está inserida na bacia hidrográfica do rio Grande (BHRG).

No Estado de São Paulo, a bacia hidrográfica do rio Mogi Guaçu (UGRHI-09) localiza-se na região nordeste do Estado. Essa UGRHI apresenta limites com as UGRHI's: Piracicaba/Capivari/Jundiá; Tietê/Jacaré; Tietê/Batalha; Turvo/Grande; Baixo Pardo/Grande e Pardo.

A Bacia Hidrográfica do Rio Mogi Guaçu foi subdividida, em 1995, em compartimentos econômico-ecológicos no "Macrozoneamento das Bacias dos Rios Mogi Guaçu, Pardo e Médio-Grande" (São Paulo-SMA, 1995), sendo, em 2008, readequados, objetivando facilitar o planejamento e as ações dentro destes compartimentos. Desse modo foram realizados ajustes dos limites do compartimento Alto Mogi para que represente o trecho crítico da bacia, no qual é desenvolvido o Projeto Estiagem, coordenado pela CETESB (Regional Pirassununga). E também foram alterados os limites entre o compartimento Médio Mogi (antigo Médio Mogi Superior) e o Baixo Mogi (Antigo Médio Mogi Inferior) para que o seus limites coincidisse com os divisores de água dos principais afluentes do rio Mogi Guaçu daquelas áreas.

Uma das sub-bacias dessa UGRHI é a do Rio Bonito (Figura 1), que está toda inserida no compartimento Médio Mogi Superior e está classificado como um curso d'água classe 2. Com base em cartogramas na escala 1:2.500.000 (Feitosa, 2008), essa bacia hidrográfica encontra-se localizada na Província Hidrogeológica da Bacia do Paraná,

caracterizada por apresentar valores de capacidade específica acima de 10 m³/h.m-1 e no subdomínio Bacia do Paraná (2Pr), caracterizado por apresentar muita alta a média favorabilidade hidrogeológica (incluem as principais unidades aquíferas da bacia sedimentar, representadas pelas formações Botucatu, Pirambóia, Guará, Caiuá, Bauru, Furnas, etc).

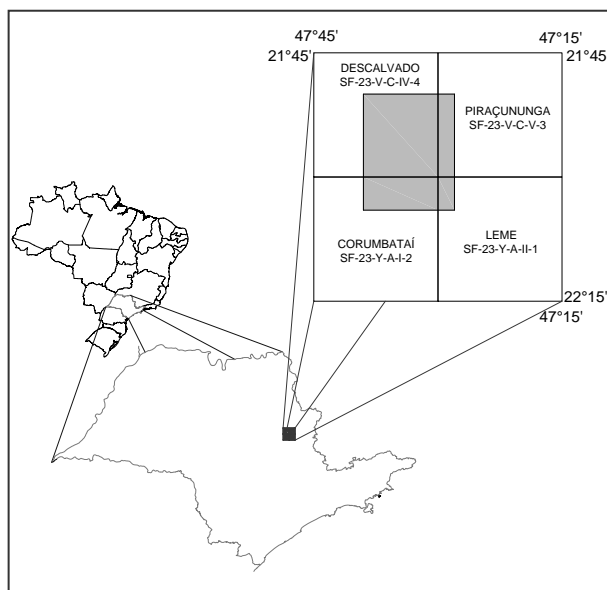


Figura 1. Localização geográfica da bacia hidrográfica do rio Bonito (SP).

Numa versão mais detalhada da distribuição das águas subterrâneas no Estado de São Paulo (escala 1:1.000.000), nota-se, num estudo publicado por São Paulo (DAEE-IG-IPT-CPRM, 2005), que a bacia hidrográfica objeto de estudo encontra-se territorialmente envolvida pelos aquíferos Guarani (aflorante) e Serra Geral Intrusivas.

O clima da região estudada é classificado, de acordo com o sistema de Köppen, como sendo do tipo Cwa, isto é, mesotérmico úmido subtropical de inverno seco, em que a temperatura média do mês mais frio é inferior a 18° C e a do mês mais quente ultrapassa 22°C. Do ponto de vista de balanço hídrico, há uma nítida distinção entre a estação seca (maio à setembro), com conseqüente deficiência hídrica e, a chuvosa (outubro à abril).

Através da interpretação de imagens de satélite feita por OLIVEIRA (1995) e por trabalhos de campo realizados por TOREZAN (2000), identificou-se e classificaram-se as formações vegetais remanescentes na área da proposta de APA de Descalvado sugerida pelo mesmo autor. Desta forma, possibilitaram-se a identificação das principais formações como cerrado (cerradão e cerrado “senso estrito”), a mata mesófila (floresta estacional semidecidual) e a mata ciliar. Esses remanescentes se encontram dispersos em manchas relativamente isoladas no meio da matriz de ocupação agrícola, onde a maior reserva atinge cerca de 1000 hectares.

Segundo a divisão geomorfológica do Estado de São Paulo (São Paulo - FFLCH/USP-IPT-FAPESP, 1997), a área de estudo localiza- Unidade Morfoestrutural Bacia Sedimentar do Paraná, com a maior parte de sua área situada na Unidade Morfoescultural do Planalto Ocidental Paulista e uma menor porção abrangendo a Unidade Morfoescultural da Depressão Periférica Paulista.

Tal morfoescultura, segundo ROSS & MOROZ (1997), se mostra representada na área pela unidade morfológica denominada Planalto Residual de São Carlos, tendo uma pequena porção inserida sobre a unidade morfoescultural denominada Patamares Estruturais de Ribeirão Preto, as quais podem ser assim descritas: Dentro do Planalto Ocidental Paulista tem-se o Panalto Residual de São Carlos cujo modelado constitui-se basicamente por colinas de topos convexos (Dc) e tabulares (Dt), apresentando formas de dissecação média, com vales entalhados e densidade de drenagem média a alta, o que implica, portanto em um nível de fragilidade potencial médio a baixo, para os terrenos

poucos dissecados e alto a muito alto para os terrenos muito dissecados; e os Patamares Estruturais de Ribeirão Preto cujo modelado constitui-se basicamente por colinas amplas e baixas com topos tabulares (Dt), tendo os vales entalhamento médio com menos de 20m e a dimensão interfluvial varia de 750 m até mais de 3750 m, apresentando formas de relevo pouco dissecado com vales pouco entalhados, com vertentes de declividades baixas e solos argilosos e baixa densidade de drenagem esta unidade apresenta fragilidade potencial muito baixa, ou seja, com baixo potencial erosivo.

Na área correspondente à subunidade Depressão Periférica Paulista, a bacia do Rio Bonito situa-se sobre a unidade morfológica denominada Depressão de Moji-Guaçu. Nesta unidade predominam formas de relevo denudacionais cujo modelado constitui-se basicamente por colinas de topos tabulares amplos, onde os vales são entalhados até 20 m e a dimensão interfluvial oscila entre 1750 a 3750 m. A drenagem apresenta um padrão dendrítico com algum condicionamento estrutural. Por apresentar padrão de dissecção baixo com vales pouco entalhados e com densidade de drenagem baixa, esta unidade apresenta, em geral, um nível de fragilidade potencial muito baixo, com baixo potencial erosivo.

As cotas encontradas na área de estudo situam-se entre 540 e 1.040 m, com um desnível total de 500 m tendo como ponto mais alto o topo do Morro do Quadrão, com 1.042 m de altitude. Assim, os locais com altitudes mais elevadas localizam-se na porção sudoeste da área de estudo, regredindo em direção nordeste até atingir áreas de menores altitudes (540 m) na várzea do Rio Mogi-Guaçu. Observa-se, na área de estudo, segundo Cançado (2003), a predominância (aproximadamente 43% da área da bacia) de declividades suaves (0 a 5%). A classe de declividade mais acentuada (maior que 30%) limitou-se a aproximadamente 2,5 % da área da bacia e está localizada predominantemente nas nascentes do Rio Bonito (Serra Grande, Serrote de Descalvado).

Segundo São Paulo-IG (1981a, 1981b, e 1984), Melo (1985) e Torezan (2000), a área estudada situa-se na Bacia Sedimentar do Paraná e apresenta as seguintes formações geológicas (Figura 2):

a) Formação Corumbataí (Permiano) – 3% da área de estudo: essa formação é constituída, na sua seção inferior, de um pacote de argilitos, folhelhos e siltitos, com fraturas concoidais e concreções calcíferas e ainda um conjunto de argilitos e folhelhos cinza escuros, de aspecto rítmico, com ocasionais leitos de calcário silicificado, oolítico, além de níveis coquinóides. Na seção superior da formação, ocorre uma sequência de argilitos e arenitos finos, argilosos, regular a bem classificados, esverdeados, arroxeados e avermelhados. Apresenta uma espessura de cerca de 180m nas proximidades da cidade de Charqueada e distribui-se espacialmente numa direção aproximadamente norte-nordeste, que se prolonga desde o sudeste de Laras até nordeste de Santa Rosa do Viterbo.

b) Formação Pirambóia (Triássico) – 5% da área de estudo: constitui-se de arenitos esbranquiçados, amarelados, avermelhados e róseos, médios a muito finos, ocasionalmente grosseiros, regularmente classificados, síltico-argilosos, quartzosos, com grãos subarredondados e intercalações de siltitos e argilitos. Mais raramente, observam-se ainda arenitos conglomeráticos, com seixos de quartzo e também de argila, com matriz areno-argilosa. Na seção inferior os arenitos tornam-se finos, predominando uma fácies bastante argilosa. Apresentam acamamento plano-paralelo e estratificação cruzada do tipo planar, menos comumente acanalada, de pequeno e médio porte. Essa formação atinge uma espessura máxima de 260m próximo à cidade de São Pedro, tendendo a diminuir em direção ao norte e, apresenta amplo domínio distributivo na área do projeto.

c) Formação Botucatu (Jura-Cretáceo) – 2% da área de estudo: é constituída por arenitos róseos, avermelhados e esbranquiçados, finos a médios; e também muito finos, regularmente a bem classificados, friáveis a bem silicificados, com grãos arredondados e foscas, apresentando na base corpos de arenitos conglomeráticos e conglomerados. Apresenta espessura bastante variável, mas raramente ultrapassa os 150m, sendo o valor médio da ordem de 50 a 70m.

d) Formação Serra Geral e Intrusivas Básicas (Jura-Cretáceo) – 13% da área: essa formação compreende o conjunto de derrames de lavas basálticas, toleíticas, de textura afanítica e de cor cinza escura a preta e intrusivas associadas (diques e soleiras), contendo intercalações de lentes e camadas arenosas de textura fina a média com estratificação cruzada. A espessura máxima dos derrames inferiores é de aproximadamente 100m medida a oeste de Descalvado, mas com um valor médio de 40m e um máximo de 400m na serra de Botucatu.

e) Formação Itaqueri (Cretáceo/Terciário) – 1% da área: essa formação, definida por ALMEIDA & BARBOSA (1953) apud SÃO PAULO-IPT (1981), ocorre em mancha irregular no reverso da cuesta basáltica, isolada de outras coberturas pós-trapianas, representando suas partes mais elevadas testemunhos da antiga extensão do Planalto Ocidental. Sua espessura máxima observada é de 125 metros e é litologicamente constituída por membros alternados de arenitos com cimento argiloso, folhelhos e conglomerados ferríferos ou não. Ocorre predominância dos arenitos, sendo que os demais depósitos de extensão limitada, geralmente na forma lenticular alongada.

f) Formação Santa Rita do Passa-Quatro (Terciário) – 55% da área: Massoli (1981), descreve essa formação como Capeamentos Terciários, pouco espessos, mas com ampla distribuição horizontal. Constituem-se de areias em matriz argilosa, sem estruturas sedimentares com cascalheira basal de seixos predominantemente de quartzo. Na área estes sedimentos têm coloração marrom, são muito friáveis e apresentam grânulos de quartzo dispersos em toda a espessura, que é da ordem de 5 a 15 m.

g) Formação Piraçununga (Terciário) – 17% da área: essa Formação (Freitas et al, 1979) ocupa boa parte da área, principalmente do lado da margem esquerda do rio Mogi Guaçu recobrando o alto dos interflúvios, desde o córrego do Barreiro até o córrego da Pedra de Amolar. É composta por sedimentos areno-argilosos de cor castanhos claros sem estruturas sedimentares muito pobremente selecionados. Na base geralmente apresenta linha de seixos ou cascalheira, com seixos de quartzo e quartzito e fragmentos de limonita, sobrepostos de forma discordante sobre a Formação Corumbataí. Localmente ocorrem camadas centimétricas de argilas e areias de cores amareladas e acinzentadas, respectivamente. Sua espessura é bastante variável, atingindo até 15 m em sondagens. O relevo constituído por essa Formação é bastante característico, apresentando uma área quase plana com vales pouco profundos e encostas suaves, com cotas entre 550 e 650 m.

h) Depósitos recentes (Quaternário) – 4% da área: composta de planícies aluvionares bem desenvolvidas e que ocorrem ao longo dos rios Moji-Guaçu, Claro e em parte dos cursos d'água de menor expressão das quadrículas de Descalvado, Santa Rita do Passa-Quatro e Pirassununga (SP). Esses depósitos, de várzeas e terraços, são constituídos de areias, argilas e cascalhos.

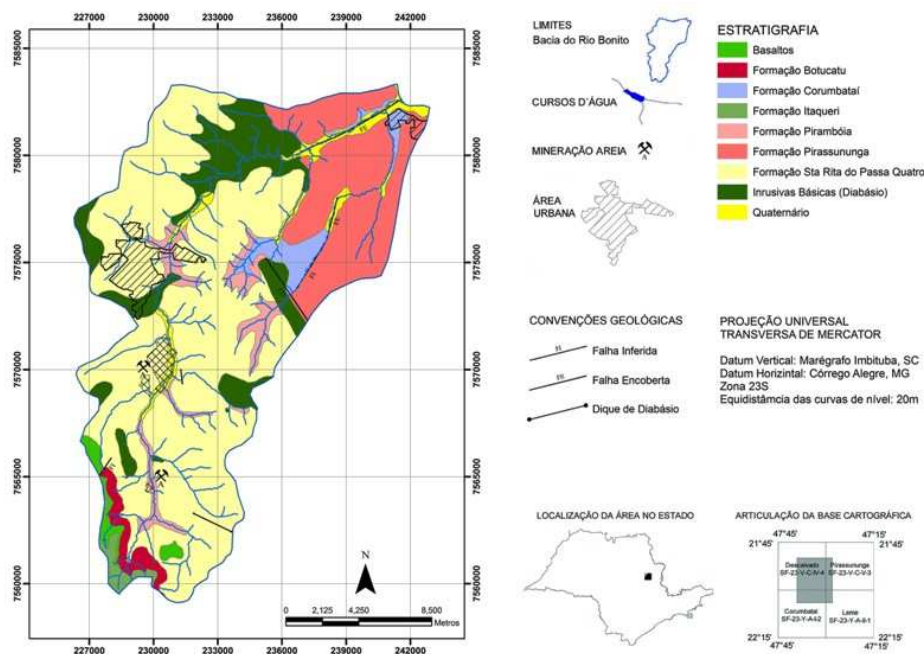


Figura 2. Mapa de Formações Geológicas de Superfície da bacia hidrográfica do rio Bonito (SP)

Fonte: São Paulo – IG (1984a, b)

4 – METODOLOGIA APLICADA

4.1 – Elaboração da Carta de Unidades Aquíferas e da Carta de Potencial de Contaminação de Aquíferos por Atividades

A Carta de Unidades Aquíferas foi gerada a partir da análise dos perfis geológicos dos poços profundos perfurados na área de estudo e também do Mapa de Formações Geológicas de Superfície da bacia hidrográfica na escala de 1:50.000 (São Paulo, 1981a, 1981b, 1984b).

A delimitação da bacia do rio Bonito (Descalvado e Porto Ferreira, SP), limitada pelas coordenadas UTM, zona 23: xmin=226200; xmax=244000; ymin=7558000; e, ymax=7584000 foi feita articulação das Folhas Descalvado (BRASIL-IBGE, 1971a), Pirassununga (BRASIL-IBGE, 1971b), Corumbataí (BRASIL-IBGE, 1971c) e Leme (BRASIL-IBGE, 1971d), na escala 1:50.000. As cartas foram georreferenciadas no software Idrisi® 32 (ESRI, 1997), utilizando-se a referência espacial “Córrego Alegre, UTM, Zona 23”. Após a articulação das cartas topográficas no citado software, realizou-se a delimitação da bacia do rio Bonito, partindo-se da foz do manancial, seguindo-se perpendicularmente às curvas de nível e passando-se pelos pontos cotados. Na sequência, realizou-se a vetorização da rede hidrográfica.

Durante a etapa final da elaboração da Carta de Unidades Aquíferas, efetuou-se a reclassificação do Mapa de Formações Geológicas de Superfície, atribuindo a cada formação sua respectiva unidade aquífera ou aquíclode. No caso dos aquíferos fraturados, fatores como a alta ruptibilidade das rochas, a abertura de fissuras e a interconectividade, foram levados em consideração para classificar esse tipo de aquífero, com ou sem silicificação dos espaços planares e a plasticidade das rochas.

Para a confecção da carta de potencial de contaminação de aquíferos por atividades antrópicas, utilizou-se o mapa de uso e ocupação do solo e o mapa de unidades aquíferas, através da combinação destas informações por análise de tabulação cruzada, a partir de uma matriz de decisão elaborada para este fim e por uma escala de potencial de contaminação – alto, médio e baixo (Figura 3).

Unidades Aquíferas	Solo Exposto	Cana	Laranja	Pastagem	Mineração	Mata e Cerrado	Reflorestamento	Outras Culturas	Área Urbana
AQUÍFERO POROSO									
Fm Sta Rita	3	3	3	2	3	1	3	2	3
Fm Pirassununga	3	3	3	2	3	1	3	2	3
Fm Itaqueri	3	2	3	2	3	1	3	2	3
Aquífero Guarani	3	3	3	2	3	1	3	2	3
Aluvionar	3	3	3	2	3	1	3	2	3
AQUÍFERO FRATURADO									
Serra Geral	3	3	3	2	3	1	2	2	2
Intrusivas Básicas	3	3	3	2	3	1	2	2	2
AQUICLUDO									
Fm Corumbataí	2	1	1	1	2	1	1	1	2

Legenda:

- Potencial Baixo: 1;
- Potencial Médio: 2;
- Potencial Alto: 3.

Figura 3. Matriz de decisão para o cruzamento das Cartas de Unidades Aquíferas e de Uso e Cobertura do Solo (2014) da bacia hidrográfica do rio Bonito (SP).

Para a confecção do mapa de uso e cobertura do solo do ano de 2014, utilizou-se o mapa de uso e cobertura do solo do ano de 2002 (base de referência), uma imagem do satélite IKONOS de 23/02/2010 com resolução espacial de 1 metro (ESRI, 2014) e uma imagem do satélite LANDSAT 8 (composição colorida das bandas 4, 5 e 6 com fusão com a banda pancromática 8 de 15 metros (USGS, 2014). Com isso, conseguiu-se a atualização do mapa de uso e cobertura do solo para o ano de 2014 (Figura 4).

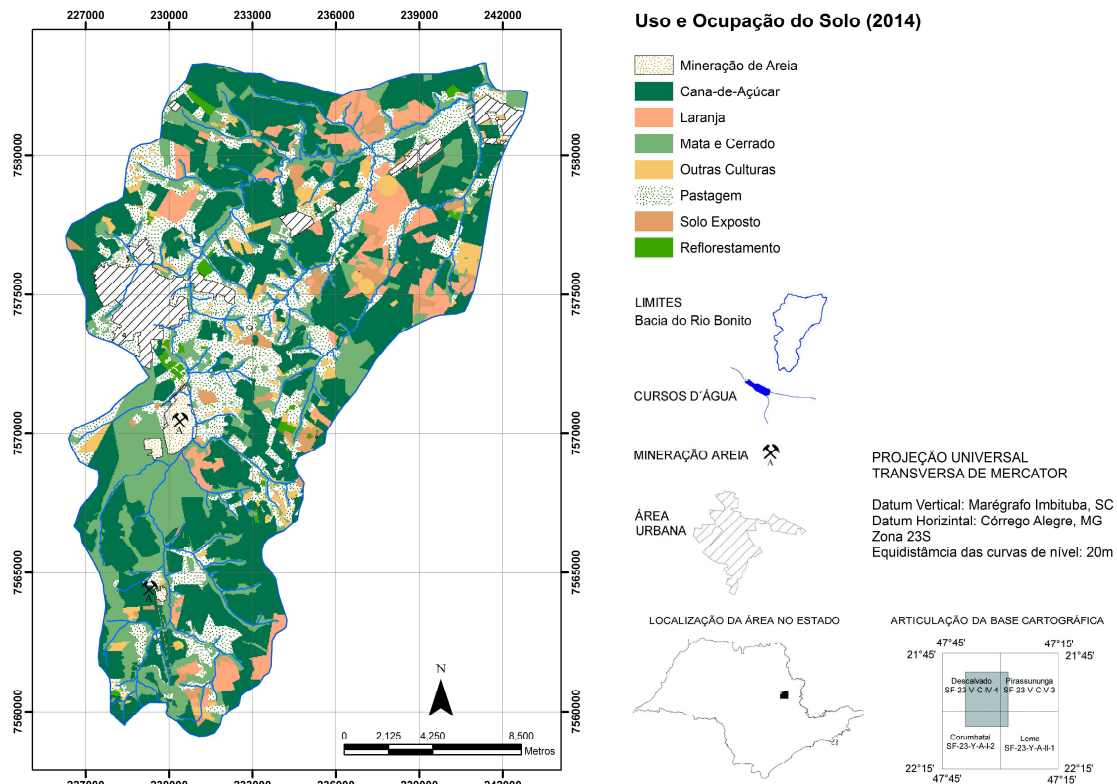


Figura 4. Mapa de Uso e Cobertura do Solo (2014) da bacia hidrográfica do rio Bonito (SP).

As percentagens referentes a cada uma das classes de uso e cobertura do solo (2014) em relação à área total da bacia hidrográfica do rio Bonito são: Solo exposto (2,5%), Cana-de-Açúcar (38,6%), Laranja (7%), Pastagem (19,3%), Mineração (1,1%), Mata e Cerrado (21,5%), Reflorestamento (0,9%), Outras Culturas (3,8%) e Área Urbana (5,2%). A Figura 5 apresenta a distribuição percentual de cada tipo de formação e aquífero existentes na bacia do Rio Bonito.

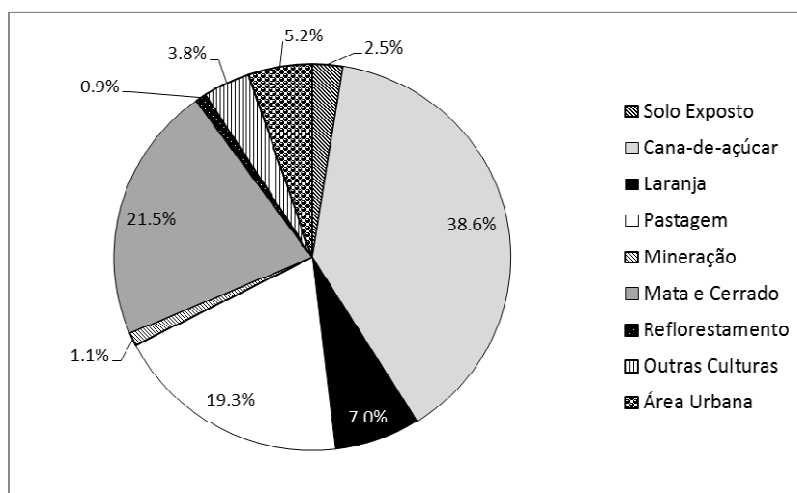


Figura 5. Composição das classes de uso e cobertura do solo (2014) da bacia hidrográfica do rio Bonito em percentual (Descalvado e Porto Ferreira, SP).

5 – RESULTADOS OBTIDOS

Como um dos resultados do trabalho, obteve-se a carta de unidades aquíferas da bacia hidrográfica do rio do Bonito, na escala de 1:50.000 (Figura 6). Esta carta reúne dois grupos de aquíferos, aquíferos sedimentares (apresentam porosidade intergranular) e aquíferos fraturados (apresentam porosidade de fraturas), e um aquífero cluído.

Os aquíferos sedimentares são representados pelos aquíferos Guarani, Santa Rita do Passa Quatro, Itaqueri, Piraçununga e aluvionar, enquanto que os aquíferos fraturados da bacia são representados pelo Aquífero Serra Geral e Intrusivas Básicas.

O Aquífero Guarani é relativo às formações geológicas Botucatu e Pirambóia e se caracteriza por ser sedimentar, poroso, livre e confinado, sendo caracterizado, por Iritani e Ezaki, (2008), como sendo constituído, principalmente, por arenitos de granulação média a fina, depositados pela ação eólica em ambiente desértico há cerca de 130 milhões de anos. Pelo fato de estes arenitos apresentarem certa homogeneidade, os mesmos possuem grandes quantidades de poros interconectados que possibilita o armazenamento de grandes quantidades de água subterrânea.

Os aquíferos Santa Rita do Passa Quatro, Piraçununga e Itaqueri são de origem sedimentar, geologicamente recentes porosos, livres e permeáveis, constituindo-se, na região, como aqueles que podem receber uma grande carga de pesticidas e herbicidas, decorrentes da ampla distribuição de plantios de cana-de-açúcar, conforme já observado por Cançado et al (2008) e Tavanti et al (2009). Segundo São Paulo-IG-DAEE-CETESB (1997), essas formações geológicas fazem parte do aquífero das Coberturas Cenozóicas Indiferenciadas caracterizadas por apresentar espessura de 30m, vazão entre 1 a 30 m³/h e capacidade específica de 0,1 a 5,0 m³.h.m⁻¹.

O Aquífero Aluvionar é relativo aos Depósitos Recentes do Quaternário e se caracteriza por ser sedimentar, poroso e livre. Este tipo de aquífero ocorre em fundos de vale, nos quais há depósitos de materiais sedimentares e de matéria orgânica pelas cheias dos rios.

Por outro lado, os aquíferos fraturados que ocorrem nessa bacia são representados pelo Aquífero Serra Geral é constituído por rochas, sobretudo basaltos, originadas dos derrames basálticos (derrames de lava vulcânica) da Formação Serra Geral e por intrusões diabásicas. Nos basaltos (rochas compactas, duras e de coloração escura), as

aberturas favoráveis ao armazenamento e ao fluxo de água subterrânea são fraturas originadas durante o resfriamento dos derrames de lava vulcânica e também posteriormente à consolidação das rochas como resultado dos esforços tectônicos decorrentes da movimentação da crosta terrestre. Entre os derrames de lava vulcânica também podem aparecer outras feições geológicas favoráveis à circulação de água, as quais são representadas por camadas arenosas restritas e níveis de amígdalas e vesículas (bolhas aprisionadas durante o resfriamento da lava vulcânica, gerando estruturas em forma de pequenas cavidades ocas ou preenchidas por minerais) (Iritani & Ezaki, 2008).

O Aquíclodo Passa-Dois está representado na área pelas rochas sedimentares da Formação Curumbataí. Formado entre 250 e 230 milhões de anos atrás, é constituído por sedimentos predominantemente finos, como folhelhos, siltitos, argilitos, calcários e dolomitos, depositados em ambiente marinho. Sua capacidade em fornecer água é bastante baixa e com produtividade insuficiente para o abastecimento de comunidades e, por esta razão, é classificado regionalmente como aquíclodo. Localmente, pode apresentar certa produtividade relacionada a fraturas na rocha, passando a ser denominado de aquítarde. Por ser pouco explorada, é uma unidade pouco estudada.

As percentagens referentes a cada uma das unidades aquíferas em relação à área total da bacia hidrográfica do rio Bonito são: Aquíferos Sedimentares (Livres porosos – 83, 9%); Aquíferos fraturados (13,2%) e um aquíclodo sedimentar (2,9%). A Figura 7 apresenta a distribuição percentual de cada tipo de formação e aquífero existentes na bacia do Rio Bonito.

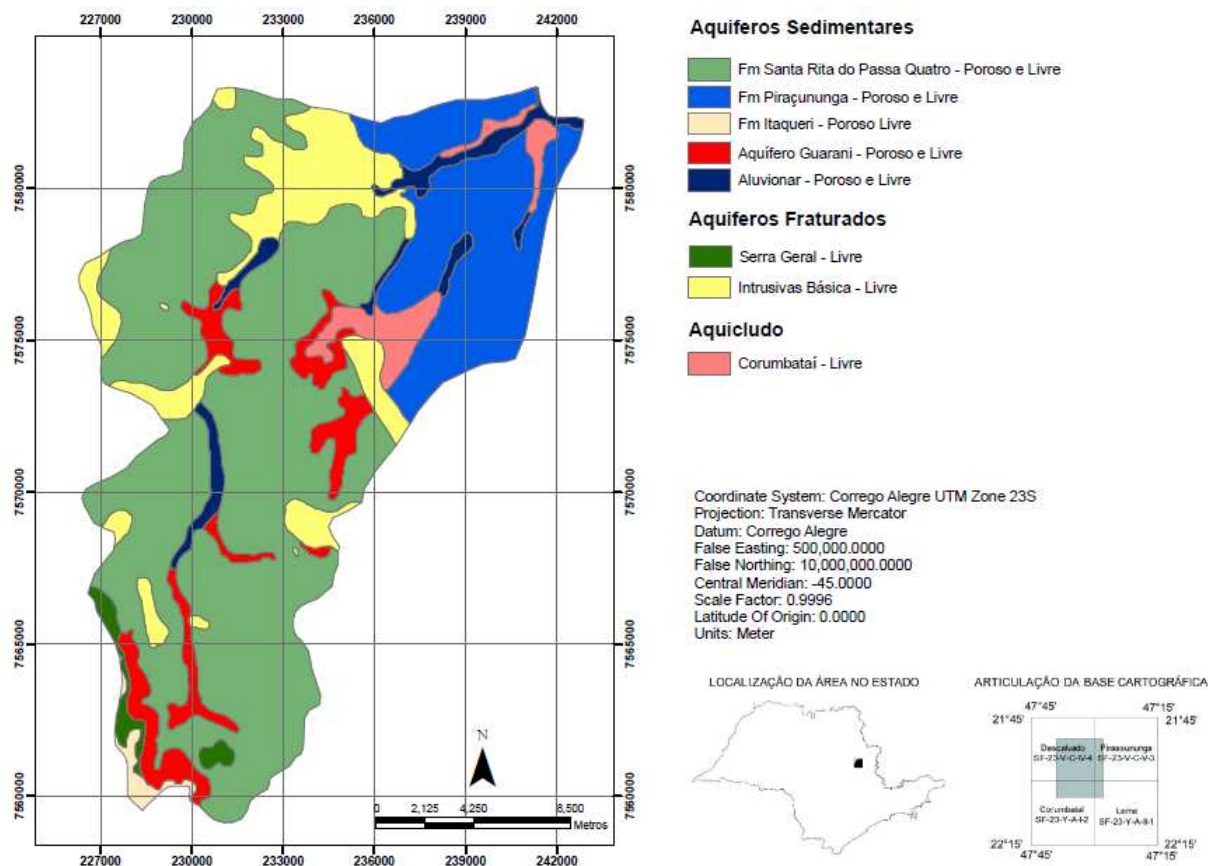


Figura 6. Carta de unidades aquíferas da bacia hidrográfica do rio do Bonito (Descalvado e Porto Ferreira, SP).

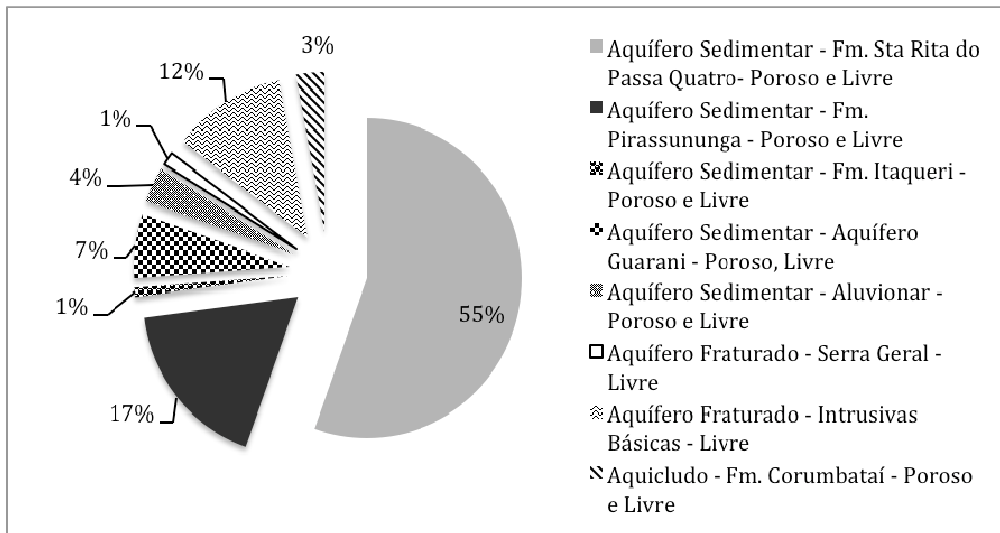


Figura 7. Composição das unidades aquíferas da bacia hidrográfica do rio Bonito em percentual (Descalvado e Porto Ferreira, SP).

Como segundo resultado do trabalho, obteve-se a carta de potencial de contaminação de aquíferos por atividades antrópicas da bacia hidrográfica do rio do Bonito, na escala de 1:50.000 (Figura 8). Esta carta reúne três classes (alto, médio e baixo potencial) definidas entre o cruzamento da carta de unidades aquíferas e do mapa de uso e cobertura do solo (2014) da bacia hidrográfica do rio Bonito.

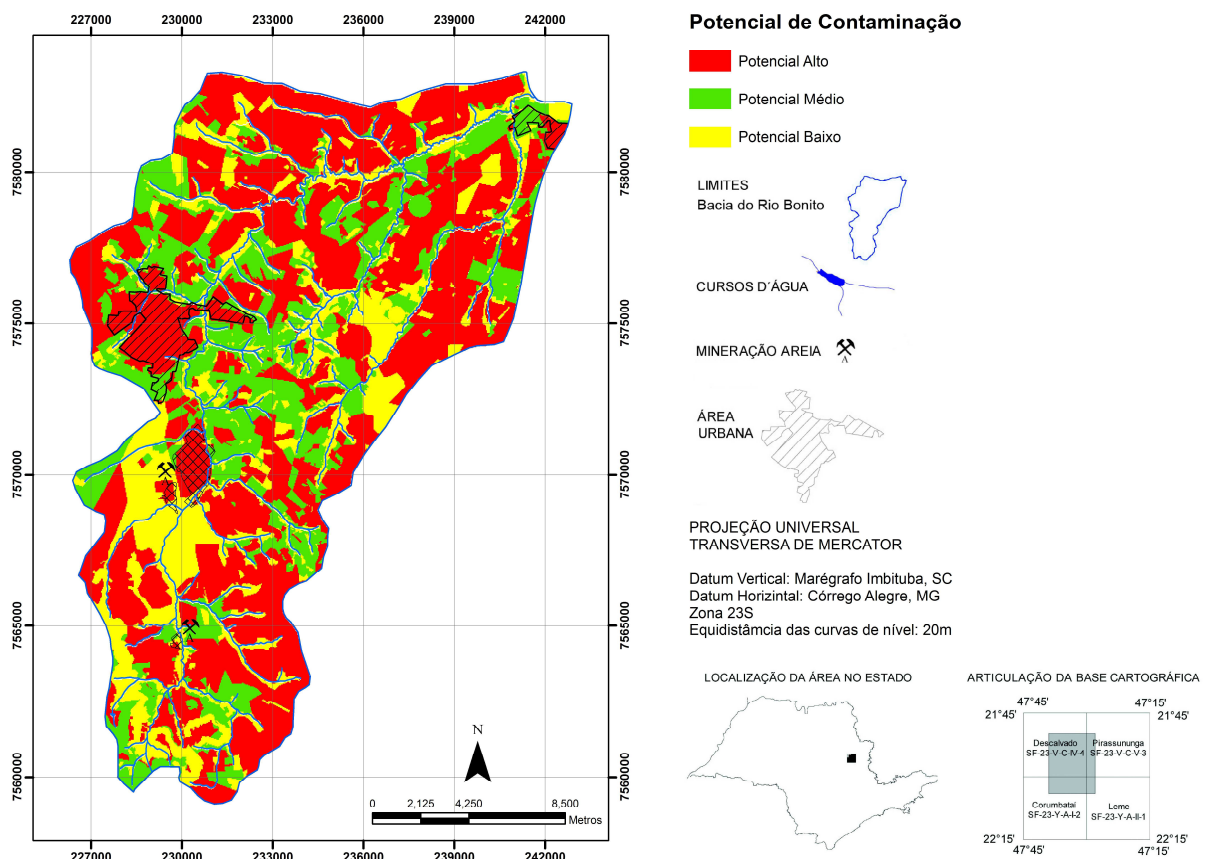


Figura 8. Carta de Potencial de Contaminação de Aquíferos por Atividades Antrópicas da bacia hidrográfica do rio Bonito (SP).

As percentagens referentes a cada uma das classes de potencial de contaminação em relação à área total da bacia hidrográfica do rio Bonito são: baixo potencial (22,3%), médio potencial (24,3%) e alto potencial (53,4%). A Figura 9 apresenta a distribuição percentual de cada tipo de formação e aquífero existentes na bacia do Rio Bonito.

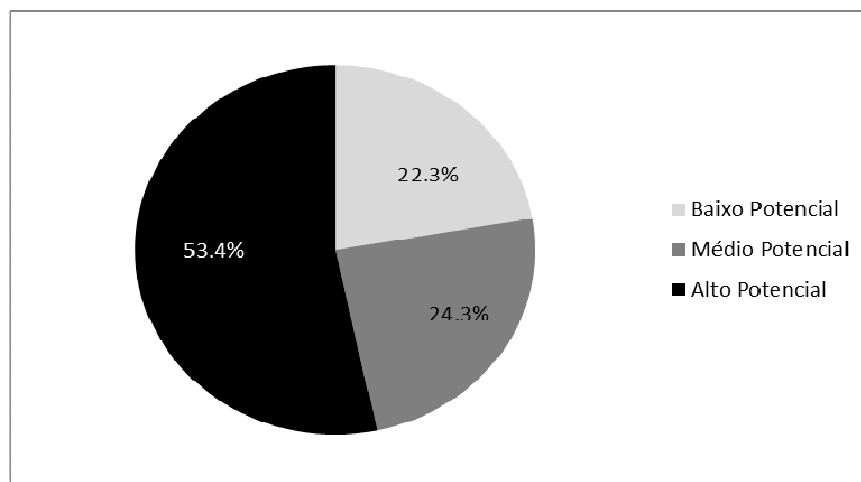


Figura 9. Composição do potencial de contaminação de aquíferos por Atividades Antrópicas da bacia hidrográfica do rio Bonito em percentual (Descalvado e Porto Ferreira, SP).

Observa-se que as áreas referentes aos aquíferos da Formação Santa Rita do Passa Quatro e Piraçununga, os quais são de origem sedimentar, geologicamente recentes porosos, livres e permeáveis, representam 43,7% da área total da bacia e são áreas de alto potencial de contaminação (30,7% - Formação Santa Rita do Passa Quatro e 13% - Formação Piraçunuga), fazendo parte do aquífero das Coberturas Cenozóicas Indiferenciadas.

Analisando-se o uso e cobertura do solo referente às áreas de alto potencial de contaminação dos aquíferos da Formação Santa Rita do Passa Quatro, observa-se que 72,4% são áreas de cultivo de cana-de-açúcar, 7,4% de áreas de cultivo de laranja e 11,9% de áreas urbanas. Já o uso e cobertura do solo referente às áreas de alto potencial de contaminação dos aquíferos da Formação Piraçununga, observa-se que 61% são áreas de cultivo de cana-de-açúcar, 26,7% de áreas de cultivo de laranja, 5,5 % de áreas de solo exposto e 5,7 de áreas urbanas.

Assim, vê-se que estas áreas de maior potencial de contaminação possuem uso e cobertura do solo propícias à contaminação, principalmente por pesticidas e herbicidas, caso as mesmas não tenham um maior controle por parte do Poder Público, tanto do ponto de vista de planejamento, como do ponto de vista de fiscalização e controle.

6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

A definição das unidades aquíferas no contexto da elaboração de um zoneamento (geo)ambiental para uma bacia hidrográfica, visando servir de referência para a tomada de decisão de gestores públicos no que tange à expansão urbana, se apresenta fundamental para se restringir a ocupação das áreas da bacia que se localizam sobre áreas de recarga (Lossardo e Lorandi, 2010; Moraes et al, 2011; Campanelli e Lorandi, 2012; Lorandi et al, 2014; Inêz et al, 2014).

Cabe ressaltar que a bacia hidrográfica do rio Bonito possui áreas que correspondem a áreas de recarga dos aquíferos que fazem parte da bacia, destacando-se as áreas de recarga do Aquífero Guarani, as quais, historicamente, apresentam problemas relacionados à falta de planejamento e gestão de seu uso e ocupação do solo, observando-se, em muitos casos, ocupações inadequadas.

Como se pode observar na carta potencial de contaminação de aquíferos por atividades antrópicas, vê-se claramente que o uso e cobertura do solo presente na bacia do rio Bonito possui grande potencial de contaminação, visto que as áreas com uso e cobertura do solo com maior potencial (solo exposto, cana-de-açúcar, laranja, mineração e área urbana) correspondem a 54,4% da área da bacia. Cabe ressaltar que 21,5% da área da bacia está coberta por Mata e Cerrado, o que revela ainda possíveis áreas nativas ainda conservadas. Entretanto, segundo Cançado e Lorandi (2004), a bacia hidrográfica do rio Bonito vem perdendo, ao longo dos anos, muitas áreas com cobertura nativa para usos potencialmente mais contaminantes (aquíferos), tais como cana-de-açúcar, laranja, mineração e área urbana.

Várias informações advindas de estudos diversos vêm alertando que os aquíferos vêm sofrendo um processo difuso de contaminação por diversas fontes (poluição industrial, poluição por hidrocarbonetos, poluição por aterramento, entre outros) em suas áreas de afloramento, culminando em alterações significativas na qualidade da água reservada. Trabalhos como o de Barbosa et al. (2011), relatam que o Aquífero Guarani vem sofrendo um processo difuso de contaminação em sua área de afloramento no Estado de São Paulo, em função, principalmente, do avanço do uso da terra para as atividades agrícolas que utilizam agroquímicos (fertilizantes, pesticidas, herbicidas, fungicidas, nematicidas, acaricidas e formicidas – compostos que apresentam grande mobilidade na água subterrânea), como, por exemplo, cana de açúcar, café, cítricos e milho, enfatizando a sua vulnerabilidade à contaminação, a qual varia de média a alta, o que acarreta na necessidade de monitoramento e controle contínuo do uso e da ocupação do solo.

Logo, estudos como o presente trabalho, os quais buscam apresentar instrumentos de auxílio ao controle do uso e ocupação do solo visando a preservação das áreas de recargas dos aquíferos, devem ser cada vez mais incentivados, além de medidas capazes de assegurar a não progressão dos processos difusos de contaminação e a consequente inservibilidade das águas subterrâneas, provenientes das diferentes unidades aquíferas para fins humanos diversificados, dentre as quais se destacam: caracterização detalhada do perigo de contaminação dos aquíferos; instrumentos de planejamento do uso e ocupação do solo que regulem o uso do espaço e salvaguardem as áreas de recarga; implantação e manutenção de áreas de vegetação no entorno e ao longo de áreas de recarga, as quais atuam como um filtro natural na retenção de poluentes e contaminantes; e, por fim, mapeamentos sistemáticos que visem fornecer informações técnicas para a tomada de decisão acerca do planejamento de políticas públicas em bacias hidrográficas.

7 – AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pela concessão de recursos financeiros, aportados ao Processo nº 2007/05293-5, os quais possibilitaram a geração de resultados laboratoriais essenciais na elaboração deste trabalho.

8 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARBOSA, M. C.; CARVALHO, A. M. de; IKEMATSU, P.; FILHO, J. L. A. & CAVANI, A. C. M, 2011. Avaliação do perigo de contaminação do Sistema Aquífero Guarani em sua área de afloramento do Estado de São Paulo decorrente das atividades agrícolas. *Águas Subterrâneas*, v. 25, n.1, p.1-14.
- BRASIL – IBGE, 1971a. Descalvado. Carta do Brasil – Escala 1:50.000. Folha SF – 23-V-C-IV-4. 1a edição. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Departamento de Cartografia.
- BRASIL – IBGE, 1971b. Piraçununga. Carta do Brasil – Escala 1:50.000. Folha SF-23-V-C-V-3. 1a edição. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Departamento de Cartografia.

BRASIL – IBGE, 1971d. Corumbataí. (1971d). Carta do Brasil – Escala 1:50.000. Folha SF-23-Y-A-I-2. 1a edição. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Departamento de Cartografia, 1971c.

BRASIL – IBGE. Leme. Carta do Brasil – Escala 1:50.000. Folha SF-23-Y-A-II-1. 1a edição. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Departamento de Cartografia.

CAMPANELLI, L.C. & LORANDI, R.,2012. Importância da carta de unidades aquíferas para a elaboração de zoneamento (geo)ambiental - estudo de caso na bacia hidrográfica do rio do Monjolinho (Brasil, Sao Paulo, São Carlos). *Revista de Geologia Aplicada a la Ingenieria y al Ambiente*, no 29, pp. 83 – 90.

CANÇADO, C. J. & LORANDI, R., 2004. Zoneamento conceitual da expansão das atividades antrópicas relacionado à inundação – estudo de caso: bacia do rio Bonito (SP). In: SANTOS, J. E.; CAVALHEIRO, F; PRIRES, J. S. R.; OLIVEIRA, C. H. PIRES, A. M. Z. C. R. *Faces da polissemia da paisagem: ecologia, planejamento e percepção*. São Carlos: Rd. Rima.

CANÇADO, C. J.; LORANDI, R.; MENDES, R. M.; MORAES, M. E. B., 2008. Estudo da vulnerabilidade de contaminação de aquíferos por pesticidas no município de Descalvado (Brasil). *Anais do 11º. Congresso Nacional de Geotecnica*, vol.4, p.277-284. Coimbra (Portugal).

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: 23/04/2014.

EASTMAN, J. R., 1997. *Idrisi for Windows. Tutorial Exercises – Version 2.0*. Clark Labs for Cartographic Tecnology and Geographic Analysis. Clark University.

FALEIROS, C. De A. R. J., 2012. Zoneamento geoambiental da bacia do rio Fartura: abrangendo os municípios de São José do Rio Pardo – SP, São Sebastião da Grama – SP, Vargem Grande do Sul – SP e Águas da Prata – SP, na escala 1:50.000. Tese (Doutorado – Engenharia Urbana) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

FEHIDRO, 2011. Plano da Bacia Hidrográfica: 2008-2011. COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MOGI GUAÇU, CETESB - SÃO PAULO. 170p.

FEITOSA, F.A.C., 2008. *Hidrogeologia: conceitos e aplicações*. Organização e coordenação científica: Fernando A.C. Feitosa et al. 3ª. Ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro: CPRM: LABHID, 812p.

FREITAS, R.O.; MEZZALIRA, S.; ODA; G.H.; VIEIRA, P.C.; TORRES, C.C.; HASHIRO, J.; TOMINAGA, L.K.; DEHIRA, L.K.; MASSOLI, M.; AZEVEDO, A.A.B.; PRESSINOTI, M.N.N.,1979. Projeto de levantamento geológico de formações superficiais. *Anais do 2º. Simpósio Regional de Geologia*, vol.2, p.263-277. Rio Claro (SP, Brasil).

GUIMARÃES, L.R., 2007. *Desafios jurídicos na proteção do Sistema Aquífero Guarani*. São Paulo: LTr. 109p. ISBN 978-85-361-1013-4.

HIRATA, R.; ZOBY, J. L. G. & OLIVEIRA, F. R., 2010. Água subterrânea: reserva estratégica ou emergencial. In: BICUDO, C. E. de M.; TUNDISI, J. G. & Scheuenstuhl, M. C. B. *Águas do Brasil: análises estratégicas*. São Paulo: Instituto de Botânica.

INÊZ, E.B.; LORANDI, R.; LOLLO, J.A., 2014. Carta de unidades aquíferas para a elaboração de um zoneamento (Geo)Ambiental da microbacia do córrego do Rosário (Descalvado, Brasil). *Anais do 7º Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia*, vol.1, p. 1-10. Inhambane (Moçambique). Anais (CD).

IRITANI, M. A. & EZAKI, S. (2008). *As águas subterrâneas do Estado de São Paulo*. São Paulo. Secretaria do Meio Ambiente – SMA.

- LORANDI, R.; LOLLO, J.A.; GUERRERO, J.V.R., 2014. Carta de unidades aquíferas aplicada ao zoneamento (geo)ambiental – estudo de caso na bacia hidrográfica do rio Claro. Anais do 14º Congresso Nacional de Geotecnia, vol1. P. 1-10. Covilhã (Portugal). Anais (CD).
- LOSSARDO, L.F.; LORANDI, R., 2010. Caracterização das potencialidades e fragilidades ambientais do meio físico de parte do município de Santa Rita do Passa Quatro (SP). Geociências, vol.. 29, p. 389-399. Rio Claro (SP, Brasil).
- MAIA, M. R.; LAGE, C. S., 2007. Contribuições do zoneamento geoambiental ao planejamento municipal: O caso de Vitória da Conquista – BA. Revista Geonordeste, Ano XVIII, no 1, pp. 69 – 91.
- MASSOLI, M., 1981. Geologia do Município de Santa Rita do Passa Quatro, SP. Revista do Instituto Geológico, São Paulo, vol. 2, no. 2,:35-45.
- MELO, M.S., 1995. A Formação Rio Claro e depósitos associados: sedimentação neocenozóica na Depressão Periférica Paulista. São Paulo. 144p. (Tese de Doutorado, IG-USP).
- MORAES, M. E. B.; SCHIAVETTI, A.; LORANDI, R; MOREIRA, M. A. A., 2011. Conservation Of Groundwater Recharge: A Methodological Proposal. In: BILIBIO, Carolina; HENSEL, Oliver; SELBACH, Jeferson. (Org.). Sustainable water management in the tropics and subtropics - and case studies in Brazil. 1ed.Bagé (RS): Fundação Universidade Federal do Pampa, v. 1, p. 659-680.
- MORAES, M. E. B. de & LORANDI, R.,2004. Aplicação da abordagem sintética para o zoneamento ambiental da bacia hidrográfica do rio Bonito, Descalvado (SP). In: SANTOS, J. E.; CAVALHEIRO, F; PRIRES, J. S. R.; OLIVEIRA, C. H. PIRES, A. M. Z. C. R. Faces da polissemia da paisagem: ecologia, planejamento e percepção. São Carlos: Rd. Rima.
- SÃO PAULO, 1984a. Secretaria de Agricultura e Abastecimento. CPRN. Instituto Geológico. Formações geológicas de superfície – Folha Geológica de Descalvado (Folha SF-23-V-C-IV-4). Escala 1:50.000. Rio de Janeiro: Aerofoto Cruzeiro.
- SÃO PAULO, 1984b. Secretaria de Agricultura e Abastecimento. CPRN. Instituto Geológico. Formações geológicas de superfície – Folha Geológica de Corumbataí (Folha SF-23-Y-A-1-2). Escala 1:50.000. Rio de Janeiro: Aerofoto Cruzeiro.
- SÃO PAULO, 1980. Secretaria de Agricultura e Abastecimento. CPRN. São Paulo: Instituto Geológico. Formações geológicas de superfície – Folha Geológica de Leme (Folha SF-23-Y-A-II-1). Escala 1:50.000.
- SÃO PAULO (Estado), 1995. Secretaria do Meio Ambiente, Secretaria da Agricultura e Abastecimento e Secretaria de Economia e Planejamento. Macrozoneamento das Bacias dos Rios Mogi Guaçu, Pardo e Médio Grande: Questões sócio ambientais e regionais. 2v. São Paulo.
- SÃO PAULO-FFLCH/USP-IPT-FAPESP, 1997. Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo. Por: Jurandyr Luciano Sanches Ross e Isabel Cristina Moroz (Coords). 64p. + Mapa color. 1:500.000.
- São Paulo-IG-DAEE-CETESB, 1997. Mapeamento da vulnerabilidade e risco de poluição das águas subterrâneas no Estado de São Paulo. São Paulo : DAEE-Departamento de Águas e Energia Elétrica: IG-Instituto Geológico: CETESB- Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Coordenado por Ricardo Cesar Aoki Hirata, Carai Ribeiro de Assis Bastos, Gerônimo Albuquerque Rocha. 2v. 144p. Mapa escala 1:1.000.000.
- SÃO PAULO-DAEE-IG-IPT-CPRM, 2005. Mapa de águas subterrâneas do Estado de São Paulo : escala 1:1.000.000 : nota explicativa / [coordenação geral Gerônimo Rocha]. - São Paulo : DAEE-Departamento de Águas e Energia Elétrica : IG-Instituto Geológico : IPT-Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo : CPRM-Serviço Geológico do Brasil. 3v. 119p. Mapa escala 1:1.000.000.

TOREZAN, F.E., 2000. Análise Ambiental da Bacia do Rio Bonito (Descalvado,SP) com ênfase nas atividades de exploração mineral de areia. Dissertação de Mestrado. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 2000.

TAVANTI, D.R.; MOURA, S.; AZEVEDO, F.Z.; MEDVEDCHIKOFF, T.G.; DEUS, L.R.; MOREIRA, M.A.A.; LORANDI, R.; CANÇADO, C.J.; MARTINS, M.M.R.,2009. Estudo da Vulnerabilidade de Contaminação de Aquífero por Agrotóxicos, na Região de Descalvado e Analândia (SP). Revista Brasileira de Recursos Hídricos, vol. 14, no.1, p. 53-61.

UNITED STATES. United States Geological Survey. USGS. LANDSAT_8. Cena: LC82200752014078LGN00.

Disponível em: <<http://earthexplorer.usgs.gov/>> Acesso em: 23/04/2014.