

Capítulo 12

Cartografia geoambiental da bacia do rio do Monjolinho (São Paulo)

Leandro Contri Campanelli
Reinaldo Lorandi
José Augusto de Lollo

SciELO Books / SciELO Livros / SciELO Libros

CAMPANELLI, LC., LORANDI, R., and LOLLO, JÁ. Cartografia geoambiental da bacia do rio do Monjolinho (São Paulo). In: MORAES, MEB., and LORANDI, R., orgs. *Métodos e técnicas de pesquisa em bacias hidrográficas* [online]. Ilhéus, BA: Editus, 2016, pp. 241-263. ISBN 978-85-7455-443-3. Available from SciELO Books <<http://books.scielo.org>>.



All the contents of this work, except where otherwise noted, is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International license](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Todo o conteúdo deste trabalho, exceto quando houver ressalva, é publicado sob a licença [Creative Commons Atribuição 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Todo el contenido de esta obra, excepto donde se indique lo contrario, está bajo licencia de la licencia [Creative Commons Reconocimiento 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

CAPÍTULO 12

Cartografia geoambiental da bacia do rio do Monjolinho (São Paulo)

Leandro Contri Campanelli

Reinaldo Lorandi

José Augusto de Lollo

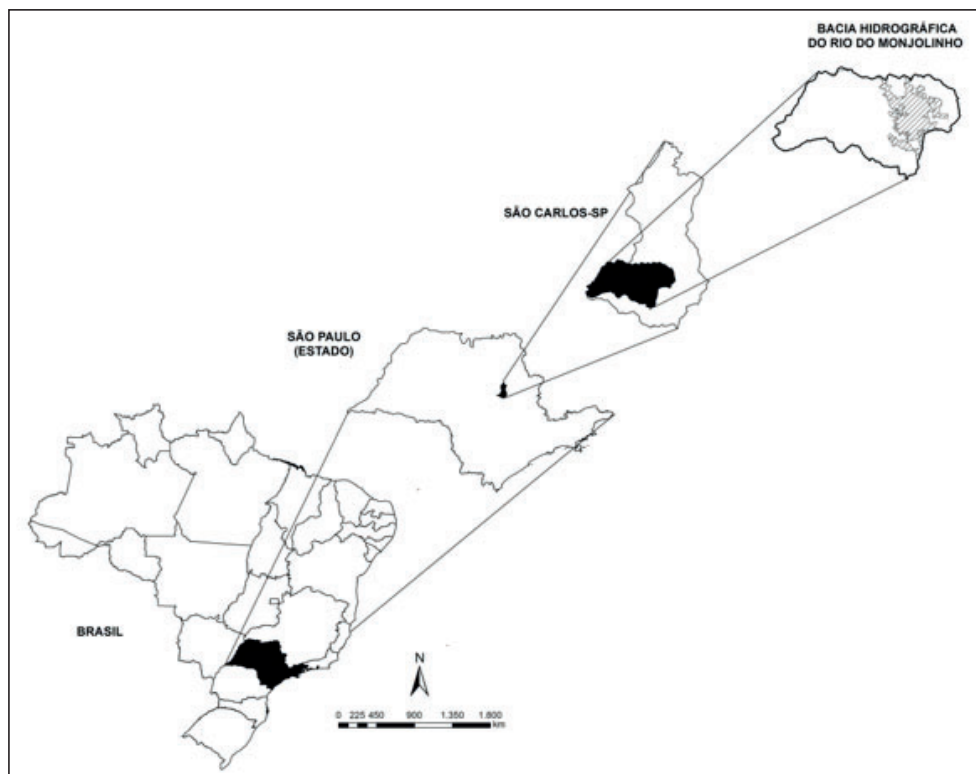
Introdução

A Bacia Hidrográfica do Rio do Monjolinho (BHRM) possui cerca de 275 km² (ESPÍNDOLA, 2000) e está localizada nos municípios de São Carlos (maior parte) e Ibaté, no estado de São Paulo (Figura 1). Essa bacia, segundo a proposta de Strahler (1952), pode ser classificada como de quarta ordem.

O município de São Carlos tem aproximadamente 1/3 de sua área na bacia do Tietê-Jacaré; e 2/3, na bacia do Mogi-Guaçu. A área urbana do município está quase toda inserida na BHRM, uma sub-bacia da bacia do Tietê-Jacaré. O município apresenta área de 1.137,303 km² e população de 221.950 habitantes, com 96% da população na área urbana (IBGE, 2010).

As cabeceiras do rio do Monjolinho fornecem água para o abastecimento público de 15% da cidade, enquanto a sub-bacia do ribeirão do Feijão contribui com 35%, sendo o restante obtido de poços no Aquífero Guarani (SÃO CARLOS, 2007). Barbosa et al. (2011) ressaltam que o Aquífero Guarani vem sofrendo um processo difuso de contaminação em sua área de afloramento no estado de São Paulo em terrenos naturalmente vulneráveis à infiltração de contaminantes. Segundo os autores, o avanço do uso da terra para as atividades agrícolas que utilizam agroquímicos, como cana-de-açúcar, café, cítricos e milho, configura o principal fator gerador de contaminação sobre as águas subterrâneas deste aquífero.

FIGURA 1 – Localização da Bacia Hidrográfica do Rio do Monjolinho no município de São Carlos, São Paulo, Brasil



Fonte: Campanelli (2012).

A Estação de Tratamento de Esgotos (ETE Monjolinho) realiza o tratamento de 85% do esgoto sanitário gerado. Parte dos esgotos sanitários provenientes da região do bairro Cidade Aracy ainda é lançada nas sub-bacias dos córregos da Água Quente e da Água Fria, contribuindo para a degradação dos seus recursos hídricos.

O município de Ibaté apresenta área de 290,663 km² e população de 30.734 habitantes (IBGE, 2010), e a base de sua economia é a produção sucroalcooleira. O abastecimento público de água potável em Ibaté é integralmente realizado a partir de poços (ANA, 2010).

O rio do Monjolinho possui extensão de aproximadamente 43,25 km, nascendo no Planalto de São Carlos, a leste do município de São Carlos, na cota de 900 m, percorrendo o sentido leste-oeste, dando origem a uma ampla planície de inundação (ESPÍNDOLA, 2000).

Campanelli e Amorim (2009) levantaram as condições ambientais da BHRM com o objetivo de registrar os principais impactos ambientais decorrentes de atividades antrópicas e as intervenções do poder público para minimizá-los. Nesse estudo, o curso do rio foi dividido em três setores (Setor 1 - região da nascente; Setor 2 - setor urbano de São Carlos; Setor 3 - fora do perímetro urbano).

No Setor 1, registrou-se a disposição final de resíduos sólidos domésticos e ausência de vegetação ciliar; no Setor 2, disposição de resíduos sólidos domésticos e de resíduos de construção e demolição, ausência de vegetação ciliar, obras viárias em fundo de vale, processos erosivos nas margens, pontos de assoreamento, pontos de inundação, iniciativas de recomposição de vegetação ciliar, obras de contenção de margens e construção de canal sob o leito dos córregos (macro-drenagem); no Setor 3, registrou-se ausência de vegetação ciliar e acúmulo de resíduos sólidos domésticos e áreas de solo exposto decorrentes de atividades mineárias. No Setor 3, estão instaladas a UHE do Monjolinho e a ETE Monjolinho.

A Lei Municipal nº 13.944, de 2006, dispõe sobre a criação das Áreas de Proteção e Recuperação dos Mananciais do Município (APREM), com o intuito de promover o pleno desenvolvimento da função social de abastecimento da população por meio da proteção e recuperação da qualidade e da quantidade das águas superficiais (SÃO CARLOS. Lei 13.944/2006). Parte da BHRM, especificamente a montante da estação de captação de água do Espriado, encontra-se enquadrada nesta lei, que proíbe a armazenagem de efluentes industriais nas áreas de mananciais por ela delimitadas, bem como a disposição final de resíduos sólidos.

Um estudo de Lorandi et al. (2001) sobre a caracterização do meio físico na porção superior da BHRM (porção enquadrada na Lei Municipal nº 13.944, de 2006) apresenta uma carta de potencial à erosão laminar desta porção da bacia na escala de 1:10.000. Tal documento cartográfico mostra que 53% da área apresenta baixo potencial à erosão laminar (áreas ocupadas por pastagens) e 47% apresenta potencial moderado, requerendo a adoção de medidas para evitar os processos erosivos.

Sé (1992) apresenta um levantamento de informações da BHRM (clima, formações geológicas, geomorfologia, pedologia, cobertura vegetal, recursos hídricos, uso e ocupação do solo) e parâmetros físicos, químicos e biológicos, indicativos de qualidade de água. As informações permitiram relacionar a influência de processos ocorrentes ao longo da superfície da bacia sobre os ambientes lóticos.

Com o objetivo de avaliar a percepção da população urbana e rural residente na BHRM quanto aos problemas ambientais ali existentes, Dornelles (2006) aplicou questionários cujos resultados mostram que o poder público foi considerado um dos principais responsáveis (76,9%) pelos problemas ambientais existentes. De acordo com esse mesmo autor, as sub-bacias pertencentes à BHRM apresentam diferentes características com distintos graus de urbanização.

Caracterização da bacia do rio do Monjolinho

O clima na região onde se localiza a BHRM é classificado como Cwb, segundo sistemática de Köppen, com uma estação seca (de abril a setembro) e outra chuvosa (de dezembro a fevereiro), com médias anuais de precipitação entre 1.200 mm e 1.500 mm (ESPÍNDOLA, 2000).

Quanto às formas de relevo, há o predomínio de colinas médias e amplas com declividades inferiores a 15%, planícies aluviais e morros testemunhos (SÉ, 1992). Os morros testemunhos caracterizam-se por relevos residuais, cuja origem encontra-se associada a processos de desnudação. As planícies aluviais são terrenos baixos e relativamente planos, sujeitos às inundações periódicas dos rios e localizam-se ao longo do curso do rio do Monjolinho.

As formações geológicas de superfície características da bacia são Formação Serra Geral e Formação Botucatu (Grupo São Bento), Formação Adamantina (Grupo Bauru) e Formação Pirambóia (Grupo São Bento). Também há ocorrência de Suítes Básicas e Depósitos Recentes do Quaternário.

Na BHRM, ocorrem aquíferos fraturados (Aquífero Serra Geral e Aquífero Fraturado) e aquíferos sedimentares (Aquífero Bauru, Aquífero Aluvionar e Aquífero Guarani).

Os materiais inconsolidados que ocorrem na área podem ser divididos em dois grandes grupos: materiais retrabalhados e materiais residuais. Os materiais retrabalhados resultam da decomposição das rochas associada a algum tipo de transporte ou mobilização. Os materiais residuais são aqueles que não sofreram transporte ou retrabalhamento após a decomposição da rocha mãe.

Segundo Zuquette (1981), Aguiar (1989) e Muro (2000), na BHRM ocorrem os seguintes materiais inconsolidados: Cobertura Residual da For-

mação Adamantina; Cobertura Residual da Formação Serra Geral; Residual Intrusivas Básicas; Cobertura dos Sedimentos Arenosos I; Retrabalhado Arenoso I; Retrabalhado Arenoso II; Retrabalhado Coluvionar; Retrabalhado Botucatu; Aluvião; e Afloramento de Rocha Sedimentar.

De acordo com Souza, Santos e Palhares (2000), os tipos de solos presentes ao longo da BHRM são: Latossolo Vermelho-Amarelo, Latossolo Vermelho-Escuro e Latossolo Roxo; Areias Quartzosas Profundas; Solos Litólicos; Solos Hidromórficos; Terra Roxa Estruturada.

Segundo Silva, Abdon e Paranaguá (2000), as formações vegetais originalmente presentes na BHRM são: Floresta Estacional Semidecidual Submontana e Aluvial; Savana Florestada (Cerradão); Savana Arborizada (Cerrado) e Capoeiras, sendo que a Floresta Estacional Semidecidual Submontana corresponde à vegetação das escarpas da bacia, e a Floresta Estacional Semidecidual Aluvial ocorre ao longo dos rios. Na bacia, inúmeras áreas de mata ciliar foram removidas em função do desenvolvimento urbano de São Carlos e da expansão das atividades agrícolas.

A Savana Florestada ocorre restrita às áreas areníticas lixiviadas com solos profundos, e a Savana Arborizada corresponde a um subgrupo de formação natural ou antropizada, sujeito ao fogo anual. As Capoeiras ocorrem em áreas em processo de sucessão ecológica e caracterizam-se por vegetação secundária composta por gramíneas e arbustos esparsos (SILVA; ABDON; PARANAGUÁ, 2000).

Métodos e Técnicas de Pesquisa

O método adotado para o zoneamento geoambiental da BHRM, voltado para a aptidão ao processo de ocupação urbana, fundamentou-se na concepção de zoneamento geoambiental analítico de Zuquette e Gandolfi (2004), considerando os atributos do meio físico e uso e ocupação do solo e a metodologia proposta por Vedovello (2000). As três etapas desenvolvidas foram:

- Elaboração de mapas temáticos básicos do meio físico (Mapa de Uso e Ocupação do Solo, Mapa de Formações Geológicas de Superfície, Mapa de Materiais Inconsolidados, Mapa de Unidades Aquíferas e Carta de Declividades);
- Elaboração do Mapa de Unidades Básicas de Compartimentação

- da Bacia Hidrográfica do Rio do Monjolinho;
- Elaboração da Carta de Zoneamento Geoambiental Analítico da Bacia Hidrográfica do Rio do Monjolinho: Aptidão ao Processo de Ocupação Urbana.

O Mapa de Unidades Básicas de Compartimentação (UBC) é produto da análise integrada das seguintes informações do meio físico: formações geológicas de superfície; unidades aquíferas; declividades do terreno; formas de relevo e perfis de encostas. E a Carta de Zoneamento Geoambiental Analítico é resultado da avaliação das UBC de acordo com cinco componentes geotécnicos: alterabilidade, declividade, espessura do manto de alteração, permeabilidade e tipo de material do manto de alteração; o que possibilitou o enquadramento das unidades nas seguintes classes de aptidão ao processo de ocupação urbana: Propícia, Pouco Favorável e Imprópria.

Caracterização dos atributos físicos e do uso e ocupação do solo

A Carta de Declividades foi gerada com sete classes de declividades: 0% a 5%, 5% a 10%, 10% a 15%, 15% a 20%, 20% a 30%, 30% a 45% e >45%.

As formações geológicas de superfície identificadas na área foram: Formação Serra Geral (14%), Formação Botucatu (28%), Formação Adamantina (34%), Formação Pirambóia (3%), Quaternário (2%) e Suítes Básicas (1%).

A Formação Serra Geral é composta por rochas eruptivas básicas extrusivas, como basalto, e corpos intrusivos (diques e sills), intercalados com arenito eólico. As rochas eruptivas básicas são compactas, de coloração escura, com granulometria que varia de muito fina a menos fina e com a presença de minerais ferromagnesianos. Na BHRM, a Formação Serra Geral aflora predominantemente na porção central da área (MACIEL, 2000). Nessa formação, são comuns paredes verticais como formas de relevo, os quais podem originar espessas coberturas coluvionares nos sopés. Secundariamente, ocorrem morros suavemente abaulados, provavelmente relacionados ao aplainamento dado ao relevo após o derrame basáltico (AGUIAR, 1989).

O material rochoso proveniente da Formação Serra Geral é muito explorado para uso em pavimentação não asfáltica em estradas vicinais, em função de seu elevado grau de fraturamento (ZUQUETTE, 1981).

A Formação Botucatu caracteriza-se por arenitos de coloração esbranquiçada a avermelhada. Os sedimentos apresentam granulometria fina a média, com a presença de grãos quartzosos foscos, arredondados, esféricos e equidimensionais, altamente silicificados e com ausência de matriz argilosa. A porção silicificada dos arenitos permite a extração de blocos e lajes para construção civil (ZUQUETTE, 1981). Segundo Maciel (2000), na BHRM, a Formação Botucatu aparece ao sul e também ao longo do rio do Monjolinho.

A Formação Adamantina é composta de arenitos de granulação fina, coloração que varia de róseo a castanho, estratificação cruzada e espessuras variando entre 2 m e 20 m, alternados com bancos de lamitos, siltitos e arenitos lamíticos de coloração que varia de castanho-avermelhado a cinza-castanho. De acordo com Maciel (2000), na BHRM, a Formação Adamantina é predominante ao longo de toda a porção norte.

A Formação Pirambóia, por sua vez, caracteriza-se por arenitos de granulometria que varia de fina a média, de coloração amarelada e com predominância de finos (ZUQUETTE, 1981). Geralmente, tal formação encontra-se recoberta por solos arenosos e com grau de intemperismo muito semelhante ao da Formação Botucatu.

A faixa intemperizada da Formação Pirambóia é pouco espessa, apresentando espessura em torno de um metro e aumentando, possivelmente, em áreas nas quais o arenito apresenta-se fraturado e, portanto, sujeito a maior percolação de água. O grau de fraturamento não é tão intenso quanto o da Formação Botucatu. O solo proveniente da Formação Pirambóia é utilizado para fins agrícolas, sendo que no mesmo desenvolve-se tanto pastagens como cultivos agrícolas anuais (ZUQUETTE, 1981). Na BHRM, a Formação Pirambóia ocorre na porção Sudoeste.

As Suítes Básicas são observadas nas proximidades da foz do rio do Monjolinho e caracterizam-se por rochas intrusivas magmáticas básicas que afloram em decorrência de processos erosivos das rochas sobrejacentes. Com relação aos Depósitos Recentes do Quaternário, estes caracterizam-se por materiais sedimentares de granulação fina e argilas e matéria orgânica depositados nas planícies aluviais.

As áreas recobertas pelas unidades de materiais inconsolidados são: Cobertura dos Sedimentos Arenosos I (30%), Cobertura Residual da Formação Adamantina (4%), Cobertura Residual da Formação Serra Geral (10,1%), Residual Intrusivas Básicas (1%), Retrabalhado Arenoso I

(27,5%), Retrabalhado Arenoso II (1,6%), Retrabalhado Botucatu (3%), Retrabalhado Coluvionar (0,5%), Aluvião (1,9%) e Afloramento de Rocha Sedimentar (2,8%).

A Cobertura Residual da Formação Adamantina ocorre nos vales dos córregos em altitudes menores que 800 m. Tais materiais apresentam coloração avermelhada, possuem espessura maior que 1 m e apresentam altos valores de plasticidade (ZUQUETTE, 1981). A areia fina é o principal constituinte (em torno de 60%), seguido da areia média (de 2% a 20%), silte (de 5% a 28%) e argila (de 10% a 63,5%).

Os materiais da Cobertura Residual da Formação Serra Geral podem ser encontrados nas encostas de inclinação acentuada, onde possuem pequena espessura e apresentam-se com fragmentos da rocha mãe em quantidades apreciáveis; e em áreas planas, com espessuras mais acentuadas e sem fragmentos. Predominam grãos menores que 0,074 mm (ZUQUETTE, 1981). As proporções das frações granulométricas que compõem estes materiais são: areia fina, entre 10% e 35%; silte, entre 20% e 45%; e argila, entre 25% e 60%.

As Coberturas dos Sedimentos Arenosos I são encontradas em quase toda a porção Norte da área de estudo e possuem a areia fina como a fração granulométrica predominante. A coloração destes materiais varia entre amarelado e avermelhado e a espessura entre 50 cm e 5 m. Tais materiais recobrem parte das formações geológicas Botucatu, Serra Geral e Bauru. Pode-se verificar a ocorrência de uma camada de seixos entre tais formações e a própria cobertura de material inconsolidado (ZUQUETTE, 1981). Aguiar (1989) classificou tais materiais como Material Retrabalhado Arenoso III.

Os materiais inconsolidados do tipo Retrabalhado Arenoso I recobrem os materiais residuais da Formação Botucatu e possuem contribuição das unidades Serra Geral e Bauru, sendo predominantemente arenosos. Apresentam certa homogeneidade ao longo do perfil e ocorrência de voçorocas. A coloração varia de amarelada a avermelhada e a fração granulométrica predominante é a areia fina (60% a 80%), com areia média em torno de 5% a 25% e argila chegando a 10%.

Os materiais inconsolidados Retrabalhado Arenoso II estão associados aos magmatitos básicos. Apresentam maiores teores de finos (fração argila varia de 15% a 40%), com expressiva quantidade de areia proveniente dos arenitos da Formação Botucatu e coloração avermelhada a amarelada.

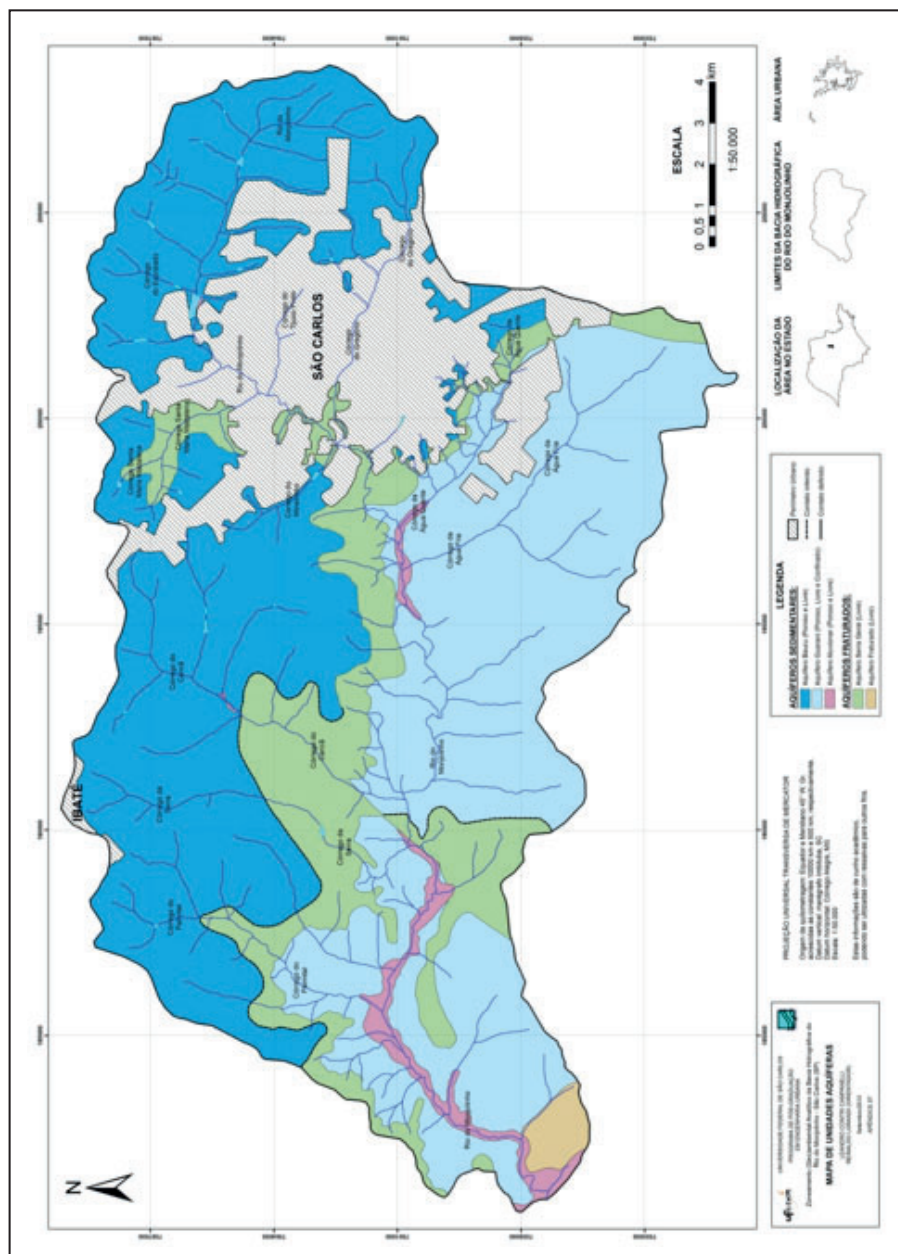
Do ponto de vista mineralógico, a fração areia contém quartzo, magnetita e ilmenita; a fração argila é composta por caulinita, gibbsita e óxidos de ferro (MURO, 2000).

Os materiais inconsolidados do tipo Retrabalhado Coluvionar são provenientes das encostas do basalto, onde ocorre a mistura com areias do Botucatu. Apresentam coloração avermelhada e espessura que varia entre 10 m e 20 m. As áreas de ocorrência deste tipo de material inconsolidado caracterizam-se por grande instabilidade, ocasionada por fatores como a ação antrópica (MURO, 2000).

Os materiais inconsolidados do tipo Aluvionares ocupam os fundos de vales e são materiais depositados pela ação dos rios e por enxurradas, que possuem grandes quantidades de matéria orgânica e coloração escura. Materiais sedimentares de granulação fina e argila também fazem parte da composição destes materiais inconsolidados. E os materiais inconsolidados do tipo Retrabalhado Botucatu são originados a partir dos materiais arenosos provenientes da Formação Botucatu, cujas rochas sofreram algum tipo de transporte ou mobilização. São materiais fortemente retrabalhados por abrasão seletiva em clima semiárido e árido de ambiente desértico.

De acordo com a Figura 2, as unidades aquíferas da BHRM são: Aquífero Bauru (34%), Aquífero Guarani (31%), Aquífero Aluvionar (2%), Aquífero Serra Geral (14%) e Aquífero Fraturado (1%).

FIGURA 2 – Mapa de Unidades Aquíferas da Bacia Hidrográfica do Rio do Monjolinho



Fonte: Campanelli e Lorandi (2012).

O Aquífero Serra Geral, que se caracteriza por ser fraturado e livre, foi formado entre 138 e 127 milhões de anos atrás, sendo constituído por basaltos originados dos derrames da Formação Serra Geral e intrusões de diabásio. Nos basaltos, os vazios favoráveis ao armazenamento e ao fluxo de água subterrânea são fraturas de resfriamento dos derrames e, devido a esforços tectônicos posteriores, decorrentes da movimentação da crosta

terrestre (IRITANI; EZAKI, 2008). O Aquífero Serra Geral caracteriza-se por apresentar água de excelente qualidade para usos diversificados, incluindo abastecimento público.

O aquífero associado às Suítes Básicas é denominado Aquífero Fraturado, caracterizado como aquífero livre.

O Aquífero Bauru é poroso e livre, sendo formado por rochas sedimentares arenosas, areno-argilosas e siltosas pertencentes ao Grupo Bauru e depositadas em ambiente desértico e fluvial, sob clima árido e semiárido, há mais de 65 milhões de anos (IRITANI; EZAKI, 2008).

Na porção superior, os arenitos são intercalados por camadas de sedimentos de granulometria fina ou possuem cimentação carbonática, o que reduz a capacidade de armazenamento e a transmissividade do aquífero. Na porção basal, predominam arenitos com baixo teor de finos, conferindo maior produtividade aos poços perfurados.

O aquífero associado aos Depósitos Recentes do Quaternário é chamado Aquífero Aluvionar, que se caracteriza por ser sedimentar, poroso e livre. Este aquífero ocorre em fundos de vale, em depósitos aluviais sedimentares e de matéria orgânica.

O Aquífero Guarani é associado às Formações Botucatu e Pirambóia e caracteriza-se por ser sedimentar, poroso, livre ou confinado. É constituído por arenitos de granulação média a fina, depositados por ação eólica em ambiente desértico há cerca de 130 milhões de anos. Pelo fato de apresentarem grande quantidade de poros interconectados, possibilitam o armazenamento de grandes volumes de água (IRITANI; EZAKI, 2008).

O Mapa de Uso e Ocupação do Solo foi elaborado a partir de imagem de satélite atualizada e com o apoio de três campanhas de campo para verificação. As classes identificadas foram: perímetro urbano (18%), cana-de-açúcar (42%), pastagem (12%), reflorestamento (2%), capoeira (4%), vegetação nativa (21%) e solo exposto (1%).

Apresentação das unidades básicas de compartimentação

O Quadro 1 sintetiza as Unidades Básicas de Compartimentação (UBC) obtidas ao longo de toda a extensão da bacia e na sequência tem-se uma descrição de cada uma dessas unidades.

QUADRO 1 – Síntese das Unidades Básicas de Compartimentação (UBC) identificadas para a Bacia Hidrográfica do Rio do Monjolino.

DOMÍNIO REGIONAL – BACIA SEDIMENTAR DO PARANÁ			
PROVÍNCIA	ZONA	SUB-ZONA	UBC
Quaternário (Q)	Depósitos Recentes do Quaternário (QUAT)	Planície (P)	Q,QUAT,P
Cretáceo Superior (CS)	Formação Adamantina – Grupo Bauru (FAD)	Planície (P) Colina (C) Morrote (M) Morro Alto (MA)	CS,FAD,P 1 a 2 CS,FAD,C 1 a 3 CS,FAD,M 1 a 2 CS,FAD,MA 1 a 2
Juro-Cretáceo (JCR)	Formação Serra Geral – Grupo São Bento (FSG)	Planície (P) Colina (C) Morrote (M) Morro Alto (MA)	JCR,FSG,P 1 a 4 JCR,FSG,C 1 a 3 JCR,FSG,M 1 a 4 JCR,FSG,MA 1 a 2
	Suítes Básicas (SB)	Planície (P) Colina (C)	JCR,SB,P JCR,SB,C
Jurássico (J)	Formação Botucatu – Grupo São Bento (FBOT)	Planície (P) Colina (C) Morrote (M) Morro Alto (MA) Cuesta (CT)	J,FBOT,P 1 a 3 J,FBOT,C 1 a 3 J,FBOT,M 1 a 3 J,FBOT,MA 1 a 2 J,FBOT,CT
Triássico-Jurássico (TJ)	Formação Piramboia (FPIR)	Planície (P) Colina (C) Morrote (M) Morro Alto (MA)	TJ,FPIR,P 1 a 2 TJ,FPIR,C 1 a 3 TJ,FPIR,M 1 a 3 TJ,FPIR,MA 1 a 2

Fonte: Campanelli (2012).

Descrição das UBC obtidas ao longo de toda a extensão da BHRM:

- Q,QUAT,P – Depósitos recentes do Quaternário em planície aluvionar, declividades de 0% a 5%, perfil de encosta convexo-côncavo e Aquífero Aluvionar (sedimentar, poroso e livre).
- CS,FAD,P 1 – Formação Adamantina (Grupo Bauru), forma de relevo do tipo planície, declividades de 0% a 5%, perfil de encosta convexo-côncavo e Aquífero Bauru (sedimentar, poroso e livre).
- CS,FAD,P 2 – Formação Adamantina (Grupo Bauru), forma de relevo do tipo planície, declividades de 0% a 5%, perfil de encosta côncavo e Aquífero Bauru (sedimentar, poroso e livre).
- CS,FAD,C 1 – Formação Adamantina (Grupo Bauru), forma de relevo do tipo colina, declividades de 5% a 20%, perfil de encosta convexo-côncavo e Aquífero Bauru (sedimentar, poroso e livre).

- CS,FAD,C 2 – Formação Adamantina (Grupo Bauru), forma de relevo do tipo colina, declividades de 5% a 20%, perfil de encosta côncavo e Aquífero Bauru (sedimentar, poroso e livre).
- CS,FAD,C 3 – Formação Adamantina (Grupo Bauru), forma de relevo do tipo colina, declividades de 5% a 20%, perfil de encosta convexo-retilíneo-côncavo e Aquífero Bauru (sedimentar, poroso e livre).
- CS,FAD,M 1 – Formação Adamantina (Grupo Bauru), forma de relevo do tipo morrote, declividades de 20% a 30%, perfil de encosta convexo-côncavo e Aquífero Bauru (sedimentar, poroso e livre).
- CS,FAD,M 2 – Formação Adamantina (Grupo Bauru), forma de relevo do tipo morrote, declividades de 20% a 30%, perfil de encosta côncavo e Aquífero Bauru (sedimentar, poroso e livre).
- CS,FAD,MA 1 – Formação Adamantina (Grupo Bauru), forma de relevo do tipo morro alto, declividades de 30% a 45%, perfil de encosta convexo-côncavo e Aquífero Bauru (sedimentar, poroso e livre).
- CS,FAD,MA 2 – Formação Adamantina (Grupo Bauru), forma de relevo do tipo morro alto, declividades de 30% a 45%, perfil de encosta côncavo e Aquífero Bauru (sedimentar, poroso e livre).
- JCR,FSG,P 1 – Formação Serra Geral (Grupo São Bento), forma de relevo do tipo planície, declividades de 0% a 5%, perfil de encosta convexo-côncavo e Aquífero Serra Geral (fraturado e livre).
- JCR,FSG,P 2 – Formação Serra Geral (Grupo São Bento), forma de relevo do tipo planície, declividades de 0% a 5%, perfil de encosta côncavo e Aquífero Serra Geral (fraturado e livre).
- JCR,FSG,P 3 – Formação Serra Geral (Grupo São Bento), forma de relevo do tipo planície, declividades de 0% a 5%, perfil de encosta convexo-retilíneo-côncavo e Aquífero Serra Geral (fraturado e livre).
- JCR,FSG,P 4 – Formação Serra Geral (Grupo São Bento), forma de relevo do tipo planície, declividades de 0% a 5%, perfil de encosta convexo e Aquífero Serra Geral (fraturado e livre).
- JCR,FSG,C 1 – Formação Serra Geral (Grupo São Bento), forma de relevo do tipo colina, declividades de 5% a 20%, perfil de encosta convexo-côncavo e Aquífero Serra Geral (fraturado e livre).
- JCR,FSG,C 2 – Formação Serra Geral (Grupo São Bento), forma de relevo do tipo colina, declividades de 5% a 20%, perfil de encosta côncavo e Aquífero Serra Geral (fraturado e livre).
- JCR,FSG,C 3 – Formação Serra Geral (Grupo São Bento), forma

de relevo do tipo colina, declividades de 5% a 20%, perfil de encosta convexo-retilíneo-côncavo e Aquífero Serra Geral (fraturado e livre).

- JCR,FSG,M 1 – Formação Serra Geral (Grupo São Bento), forma de relevo do tipo morrote, declividades de 20% a 30%, perfil de encosta convexo-côncavo e Aquífero Serra Geral (fraturado e livre).

- JCR,FSG,M 2 – Formação Serra Geral (Grupo São Bento), forma de relevo do tipo morrote, declividades de 20% a 30%, perfil de encosta côncavo e Aquífero Serra Geral (fraturado e livre).

- JCR,FSG,M 3 – Formação Serra Geral (Grupo São Bento), forma de relevo do tipo morrote, declividades de 20% a 30%, perfil de encosta convexo-retilíneo-côncavo e Aquífero Serra Geral (fraturado e livre).

- JCR,FSG,M 4 – Formação Serra Geral (Grupo São Bento), forma de relevo do tipo morrote, declividades de 20% a 30%, perfil de encosta convexo e Aquífero Serra Geral (fraturado e livre).

- JCR,FSG,MA 1 – Formação Serra Geral (Grupo São Bento), forma de relevo do tipo morro alto, declividades de 30% a 45%, perfil de encosta convexo-côncavo e Aquífero Serra Geral (fraturado e livre).

- JCR,FSG,MA 2 – Formação Serra Geral (Grupo São Bento), forma de relevo do tipo morro alto, declividades de 30% a 45%, perfil de encosta côncavo e Aquífero Serra Geral (fraturado e livre).

- JCR,SB,P – Suítes Básicas, forma de relevo do tipo planície, declividades de 0% a 5%, perfil de encosta convexo-côncavo e Aquífero Fraturado (livre).

- JCR,SB,C – Suítes Básicas, forma de relevo do tipo colina, declividades de 5% a 20%, perfil de encosta convexo-côncavo e Aquífero Fraturado (livre).

- J,FBOT,P 1 – Formação Botucatu (Grupo São Bento), forma de relevo do tipo planície, declividades de 0% a 5%, perfil de encosta convexo-côncavo e Aquífero Guarani (sedimentar, poroso, livre e confinado).

- J,FBOT,P 2 – Formação Botucatu (Grupo São Bento), forma de relevo do tipo planície, declividades de 0% a 5%, perfil de encosta côncavo e Aquífero Guarani (sedimentar, poroso, livre e confinado).

- J,FBOT,P 3 – Formação Botucatu (Grupo São Bento), forma de relevo do tipo planície, declividades de 0% a 5%, perfil de encosta convexo-retilíneo-côncavo e Aquífero Guarani (sedimentar, poroso, livre e confinado).

- J,FBOT,C 1 – Formação Botucatu (Grupo São Bento), forma de relevo do tipo colina, declividades de 5% a 20%, perfil de encosta convexo-côncavo e Aquífero Guarani (sedimentar, poroso, livre e confinado).

- J,FBOT,C 2 – Formação Botucatu (Grupo São Bento), forma de relevo do tipo colina, declividades de 5% a 20%, perfil de encosta côncavo e Aquífero Guarani (sedimentar, poroso, livre e confinado).

- J,FBOT,C 3 – Formação Botucatu (Grupo São Bento), forma de relevo do tipo colina, declividades de 5% a 20%, perfil de encosta convexo-retilíneo-côncavo e Aquífero Guarani (sedimentar, poroso, livre e confinado).

- J,FBOT,M 1 – Formação Botucatu (Grupo São Bento), forma de relevo do tipo morrote, declividades de 20% a 30%, perfil de encosta convexo-côncavo e Aquífero Guarani (sedimentar, poroso, livre e confinado).

- J,FBOT,M 2 – Formação Botucatu (Grupo São Bento), forma de relevo do tipo morrote, declividades de 20% a 30%, perfil de encosta côncavo e Aquífero Guarani (sedimentar, poroso, livre e confinado).

- J,FBOT,M 3 – Formação Botucatu (Grupo São Bento), forma de relevo do tipo morrote, declividades de 20% a 30%, perfil de encosta convexo-retilíneo-côncavo e Aquífero Guarani (sedimentar, poroso, livre e confinado).

- J,FBOT,MA 1 – Formação Botucatu (Grupo São Bento), forma de relevo do tipo morro alto, declividades de 30% a 45%, perfil de encosta convexo-côncavo e Aquífero Guarani (sedimentar, poroso, livre e confinado).

- J,FBOT,MA 2 – Formação Botucatu (Grupo São Bento), forma de relevo do tipo morro alto, declividades de 30% a 45%, perfil de encosta convexo-retilíneo-côncavo e Aquífero Guarani (sedimentar, poroso, livre e confinado).

- J,FBOT,CT – Formação Botucatu (Grupo São Bento), forma de relevo do tipo cuesta, declividade maior que 45%, perfil de encosta convexo-retilíneo-côncavo e Aquífero Guarani (sedimentar, poroso, livre e confinado).

- TJ,FPIR,P 1 – Formação Pirambóia, forma de relevo do tipo planície, declividades de 0% a 5%, perfil de encosta convexo-côncavo e Aquífero Guarani (sedimentar, poroso, livre e confinado).

- TJ,FPIR,P 2 – Formação Pirambóia, forma de relevo do tipo planície, declividades de 0% a 5%, perfil de encosta convexo-retilíneo-côncavo e Aquífero Guarani (sedimentar, poroso, livre e confinado).

- TJ,FPIR,C 1 – Formação Pirambóia, forma de relevo do tipo colina, declividades de 5% a 20%, perfil de encosta convexo-côncavo e Aquífero Guarani (sedimentar, poroso, livre e confinado).

- TJ,FPIR,C 2 – Formação Pirambóia, forma de relevo do tipo colina, declividades de 5% a 20%, perfil de encosta convexo-retilíneo-côncavo e Aquífero Guarani (sedimentar, poroso, livre e confinado).

- TJ,FPIR,C 3 – Formação Pirambóia, forma de relevo do tipo colina, declividades de 5% a 20%, perfil de encosta convexo e Aquífero Guarani (sedimentar, poroso, livre e confinado).

- TJ,FPIR,M 1 – Formação Pirambóia, forma de relevo do tipo morrote, declividades de 20% a 30%, perfil de encosta convexo-côncavo e Aquífero Guarani (sedimentar, poroso, livre e confinado).

- TJ,FPIR,M 2 – Formação Pirambóia, forma de relevo do tipo morrote, declividades de 20% a 30%, perfil de encosta convexo-retilíneo-côncavo e Aquífero Guarani (sedimentar, poroso, livre e confinado).

- TJ,FPIR,M 3 – Formação Pirambóia, forma de relevo do tipo morrote, declividades de 20% a 30%, perfil de encosta convexo e Aquífero Guarani (sedimentar, poroso, livre e confinado).

- TJ,FPIR,MA 1 – Formação Pirambóia, forma de relevo do tipo morro alto, declividades de 30% a 45%, perfil de encosta convexo-côncavo e Aquífero Guarani (sedimentar, poroso, livre e confinado).

- TJ,FPIR,MA 2 – Formação Pirambóia, forma de relevo do tipo morro alto, declividades de 30% a 45%, perfil de encosta convexo-retilíneo-côncavo e Aquífero Guarani (sedimentar, poroso, livre e confinado).

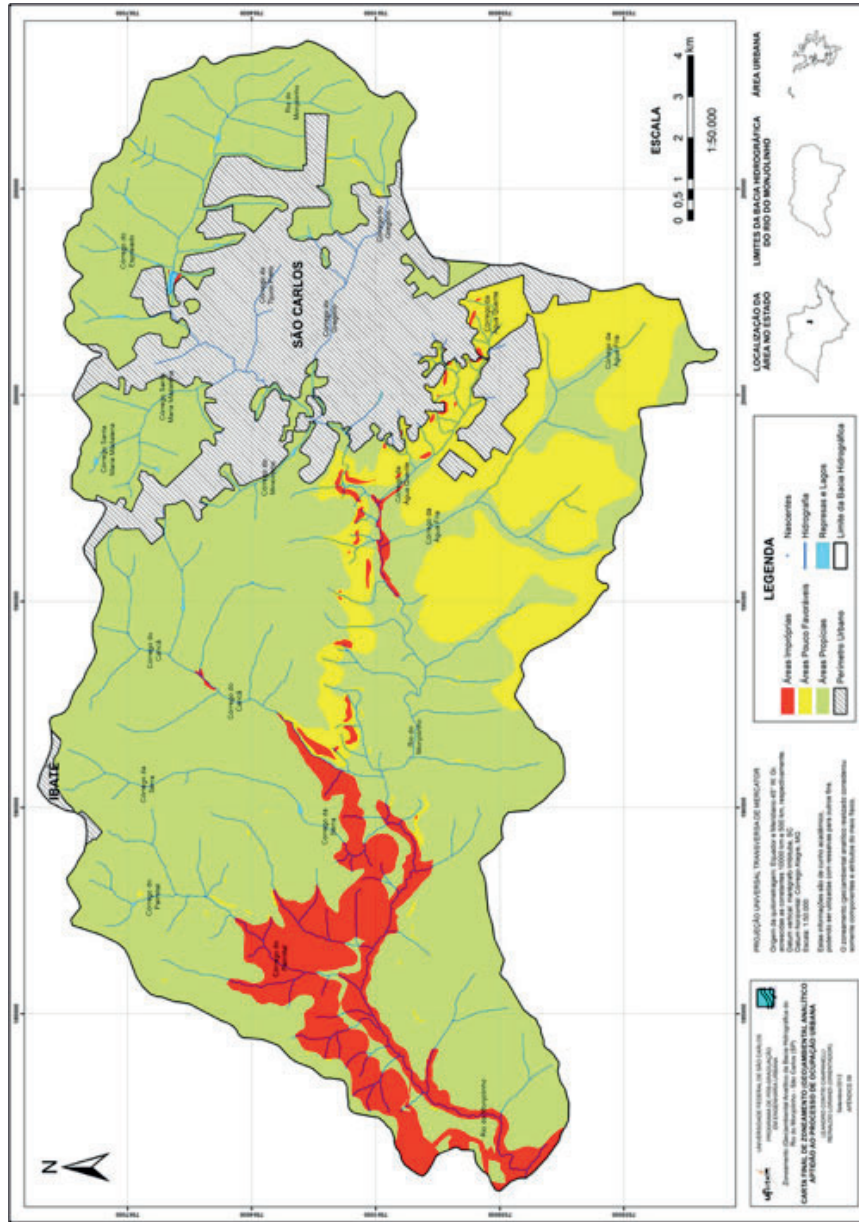
Apresentação do zoneamento geoambiental analítico

A Carta de Zoneamento Geoambiental Analítico da Bacia Hidrográfica do Rio do Monjolinho: Aptidão ao Processo de Ocupação Urbana (Figura 3) foi elaborada em escala 1:50.000. Este documento é produto da integração de informações geológico-geotécnicas diversificadas, e compartimentou a área da bacia nas seguintes classes de aptidão ao processo de ocupação urbana: Áreas Propícias, Pouco Favoráveis e Impróprias.

As porcentagens referentes a cada uma das classes de aptidão ao processo de ocupação urbana em relação à área total da bacia são: Áreas Propícias (61%), Áreas Pouco Favoráveis (14%) e Áreas Impróprias (7%).

As Áreas Propícias correspondem àquelas que podem ser ocupadas mediante a execução de procedimentos técnicos específicos para a implantação das obras visando a estabilização de cortes no terreno (VEDOVELLO, 2000).

FIGURA 3 – Carta de Zoneamento Geoambiental Analítico da Bacia Hidrográfica do Rio do Monjolinho: Aptidão ao Processo de Ocupação Urbana



Fonte: Campanelli (2012).

As Áreas Propícias ao processo de ocupação urbana na BHRM (61%) ocorrem nas porções Norte e Sudoeste, onde predominam as formações geológicas de superfície Adamantina e Botucatu. As unidades aquíferas predominantes são Aquífero Bauru e Aquífero Guarani. Os materiais inconsolidados são: Cobertura dos Sedimentos Arenosos I, Cobertura Residual da Formação Adamantina e Retrabalhado Arenoso I; materiais arenosos com permeabilidade alta a média. As declividades estão entre 0%

e 20%, o perfil de encosta predominante é o convexo-côncavo associado ao relevo suave ondulado. Predominam os Latossolos, e secundariamente ocorre Terra Roxa Estruturada. Todas essas características geológico-geotécnicas integradas propiciam a implantação de infraestrutura urbana sem altos investimentos.

As Áreas Pouco Favoráveis correspondem àquelas que podem ser ocupadas a partir da elaboração de projetos técnicos que demandam elevados investimentos e que possuem o respaldo de infraestruturas adequadas (VEDOVELLO, 2000).

Na BHRM, tais áreas correspondem a 14% da bacia e estão localizadas na sua porção Central, onde predominam a Formação Serra Geral e o Aquífero Serra Geral. Os tipos de materiais inconsolidados predominantes são Retrabalhado Arenoso II e Cobertura Residual da Formação Serra Geral. Ambos se caracterizam por média permeabilidade. As declividades predominantes variam de 20% a >45%, e o perfil de encosta predominante é o côncavo em relevo forte ondulado. O tipo pedológico predominante é a Terra Roxa Estruturada, solo espesso e bem drenado.

Apesar dos materiais inconsolidados de textura argilosa e do tipo de solo possibilitarem a ocupação urbana, as declividades que variam de 20% a >45% e o perfil de encosta do tipo côncavo impõem certas restrições ao processo, fazendo com que as áreas em questão sejam consideradas pouco favoráveis à ocupação urbana. A ocupação urbana nessas áreas pode necessitar de projetos técnicos específicos e altos investimentos em infraestrutura.

A porção Sudeste da bacia também foi classificada como Pouco Favorável à ocupação urbana. Nessa área há ocorrência de Areias Quartzosas Profundas. Trata-se de área de recarga do aquífero Guarani e que já apresenta histórico de ocupação urbana irregular e ocorrência de processos erosivos de grande porte.

E as Áreas Impróprias correspondem àquelas que apresentam restrições geotécnicas, mesmo diante da elaboração de projetos técnicos específicos. Os riscos geotécnicos aos quais as obras implantadas nestas áreas encontram-se submetidas são: incidência de processos erosivos severos, escorregamentos, movimentos gravitacionais de massa, queda de blocos, entre outros (VEDOVELLO, 2000).

Nas Áreas Impróprias ao processo de ocupação urbana (7%), porção Centro-Oeste da BHRM, predominam as formações Pirambóia, Botucatu

e Depósitos Recentes do Quaternário. As unidades aquíferas predominantes são Aquífero Aluvionar e Aquífero Guarani. Os materiais inconsolidados predominantes são Retrabalhado Botucatu, Afloramento de Rocha Sedimentar e Aluvião (Retrabalhado Aluvionar). As declividades variam de 20% a >45%, e o perfil de encosta predominante é do tipo convexo-retilíneo-côncavo, os quais dão origem a um relevo que varia de forte ondulado a escarpado. Há ocorrência de solos Litólicos, imaturos e rasos.

Considerações Finais

O Mapa de Uso e Ocupação do Solo mostra que o uso predominante é o cultivo de cana-de-açúcar (42%), atividade responsável por significativas alterações na paisagem e pela redução de remanescentes de vegetação nativa.

A Formação Adamantina é a formação geológica de superfície predominante (34%), e a unidade de material inconsolidado predominante é Cobertura de Sedimentos Arenosos I (30%).

Duas unidades aquíferas são expressivas na bacia, o Aquífero Bauru (34%) e o Aquífero Guarani (31%). Ambos são aquíferos sedimentares com permeabilidade intergranular, são grandes mananciais de água subterrânea para diferentes usos e possuem áreas de recarga ao longo da bacia. O processo de ocupação da bacia deve considerar a fragilidade das áreas de recarga dos aquíferos em termos de processos difusos de contaminação das águas subterrâneas.

A Unidade Básica de Compartimentação predominante na bacia é CS,FAD,P 1 a 2 (21,34%), composta pela Formação Adamantina, forma de relevo do tipo planície, perfis de encostas convexo-côncavo e côncavo e Aquífero Bauru.

A integração de informações geológico-geotécnicas permitiu gerar a Carta de Zoneamento Geoambiental Analítico, que compartimentou a área da bacia nas seguintes classes de aptidão ao processo de ocupação urbana: Áreas Propícias, Pouco Favoráveis e Impróprias.

As informações geológico-geotécnicas integradas, com destaque para as altas declividades que variam de 20% a >45%, perfil de encosta do tipo convexo-retilíneo-côncavo, relevo que varia de forte ondulado a escarpado, solos imaturos e com pequeno desenvolvimento de perfil e presença de afloramentos rochosos, dificultam grandemente o processo de ocupação

urbana, com destaque para a implantação de infraestruturas urbanas, e tornam essas áreas susceptíveis a riscos geotécnicos, fazendo com que as mesmas sejam classificadas como Impróprias à ocupação urbana.

A presença de Depósitos Recentes do Quaternário em planícies aluvionares é outra característica que impede a ocupação urbana e isso ocorre em quatro pontos específicos da bacia: a) trecho do rio do Monjolinho, situado entre o córrego do Cancã e a foz do próprio rio do Monjolinho; b) pequeno trecho do córrego do Cancã; c) trecho do rio do Monjolinho situado nas proximidades dos córregos da Água Quente e da Água Fria; d) trecho do rio do Monjolinho nas proximidades do córrego do Espriado. Não foram identificadas Áreas Favoráveis ao processo de ocupação urbana na bacia.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS – ANA. **Atlas de abastecimento urbano de água**. Apresenta informações sobre o abastecimento urbano de água nos municípios brasileiros. 2010. Disponível em: <<http://atlas.ana.gov.br/Atlas/forms/Home.aspx>>. Acesso em: 18 jul. 2015.

AGUIAR, R. L. **Mapeamento geotécnico preliminar da área de expansão urbana de São Carlos – SP**: contribuição ao planejamento. 1989. 127 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 1989.

BARBOSA, M. C. et al. 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, 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Censo Demográfico de 2010**. Apresenta informações sobre os municípios brasileiros. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/default.shtm>>. Acesso em: 18 jul. 2015.

CAMPANELLI, L. C.; AMORIM, S. V. de. Levantamento de condições ambientais – estudo de caso: córrego do Monjolinho. In: JORNADA CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS, 8., 2009, São Carlos, SP. **Anais...** São Carlos, SP: Universidade Federal de São Carlos, 2009.

CAMPANELLI, L. C. **Zoneamento (geo)ambiental analítico da bacia hidrográfica do rio do Monjolinho – São Carlos (SP)**. 2012. 136 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, 2012.

CAMPANELLI, L. C.; LORANDI, R. Importância da carta de unidades aquíferas para a elaboração de zoneamento (geo)ambiental – estudo de caso na bacia hidrográfica do rio do Monjolinho (Brasil, São Paulo, São Carlos). **Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente**, v. 29, p. 83-90, 2012.

DORNELLES, C. T. A. **Percepção ambiental: uma análise na bacia hidrográfica do rio do Monjolinho**, São Carlos, SP, 2006. 176 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2006.

ESPÍNDOLA, E. L. G. O rio do Monjolinho: um estudo de caso. In: ESPÍNDOLA, E. L. G.; SILVA, J. S. V.; MARINELLI, C. E.; ABDON, M. M. **A bacia hidrográfica do rio do Monjolinho**. São Carlos, SP: Rima, 2000. p. 36-40.

IRITANI, M. A.; EZAKI, S. **As águas subterrâneas do Estado de São Paulo**. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente, 2008.

LORANDI, R. et al. Carta de potencial à erosão laminar da parte superior da bacia do córrego do Monjolinho (São Carlos, SP). **Revista Brasileira de Cartografia**, São Paulo, v. 53, p. 111-117, 2001.

MACIEL, G. de C. Geologia e geomorfologia. In: ESPÍNDOLA, E. L. G.; SILVA, J. S. V.; MARINELLI, C. E.; ABDON, M. M. **A bacia hidrográfica do rio do Monjolinho**. São Carlos, SP: Rima, 2000. p. 41-48.

MURO, M. D. **Carta de zoneamento para seleção de áreas frente à instalação de aterros sanitários no município de São Carlos – SP**. 2000. 172 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2000.

SÃO CARLOS. **Cartas ambientais do município de São Carlos**. Edição Comemorativa do Sesquicentenário – 150º aniversário. São Carlos, SP: Prefeitura Municipal, 2007.

SÃO CARLOS. **Lei 13.944, de 12 de dezembro de 2006**. Dispõe sobre a criação das Áreas de Proteção e Recuperação dos Mananciais do Município de São Carlos – APREM. Disponível em: <http://www.saocarlos.sp.gov.br/images/stories/concursos2009/lei%2013944_06%20-%20texto.pdf>. Acesso em: 18 jul. 2015.

SÉ, J. A. S. **O rio do Monjolinho e sua bacia hidrográfica como integradores de sistemas ecológicos: um conjunto de informações para o início de um processo de pesquisas ecológicas, de educação, planejamento e gerenciamento ambientais a longo prazo**. 1992. 381 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 1992.

SILVA, J. dos S. V. da; ABDON, M. de M.; PARANAGUÁ, P. A. Remanescentes de vegetação. In: ESPÍNDOLA, E. L. G.; SILVA, J. S. V.; MARINELLI, C. E.; ABDON, M. M. **A bacia hidrográfica do rio do Monjolino**. São Carlos, SP: Rima, 2000. p. 77-87.

SOUZA, P. A. P.; SANTOS, M. B. dos; PALHARES, J. C. Pedologia. In: ESPÍNDOLA, E. L. G.; SILVA, J. S. V.; MARINELLI, C. E.; ABDON, M. M. **A bacia hidrográfica do rio do Monjolino**. São Carlos, SP: Rima, 2000. p. 49-59.

STRAHLER, A. N. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. **Bulletin Geological Society of America**, v. 63, n. 10, p. 1117-1142, 1952.

VEDOVELLO, R. **Zoneamentos geotécnicos aplicados à gestão ambiental, a partir de unidades básicas de compartimentação – UBCs**. 2000. 154 f. Tese (Doutorado em Geologia) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP, 2000.

ZUQUETTE, L. V. **Mapeamento geotécnico preliminar da região de São Carlos**. 1981. 86 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 1981.

ZUQUETTE, L. V.; GANDOLFI, N. **Cartografia geotécnica**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.