



Importância do mapa de unidades básicas de compartimentação (UBCs) na elaboração de zoneamento (geo)ambiental analítico - Estudo de caso na bacia hidrográfica do rio do Monjolinho (São Carlos, SP-Brazil)

Importance of partitioned basic units (PBUs) map to prepare analytical (geo)environmental zoning - Case study in the basin of the Monjolinho river (São Sarlos, SP-Brazil)

Contri Campanelli, Leandro ¹ ✉ - Lorandi, Reinaldo ²

Recibido: 05 de mayo de 2013 • Aceptado: 28 de febrero de 2014

Resumen

Actualmente existe una tendencia de los planificadores consideraren la cuenca hidrográfica como unidad de planificación y gestión. Una herramienta que ha sido utilizada para apoyar la planificación de las cuencas hidrográficas es la zonificación geoambiental. Para la elaboración de la zonificación geoambiental, un documento cartográfico que se puede utilizar es el Mapa de Unidades Básicas de Compartimentación (UBCs), que subdivide la cuenca hidrográfica en unidades homogéneas - partes de la cuenca con características y propiedades geológico-geomorfológicas similares. En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo la elaboración del Mapa de UBCs para la cuenca hidrográfica del río do Monjolinho, en escala 1:50.000. Esta cuenca se extiende por aproximadamente 275 km², con la mayor parte de su área en el municipio de São Carlos y una pequeña área en el municipio vecino de Ibaté. Como resultado del estudio se obtuvo el Mapa de Unidades Básicas de Compartimentación (UBCs) de la cuenca hidrográfica del río do Monjolinho, en escala 1:50.000. En este mapa se encuentran representadas 20 unidades homogéneas, donde la unidad predominante es CS,FAD,P 1 a 2, que se caracteriza por la formación geológica de superficie Formación Adamantina, con relieve del tipo planicie, declives de 0 a 5%, perfiles de pendientes convexo-cóncavo y cóncavo y acuífero Bauru. Las unidades homogéneas representadas en el Mapa de UBCs obtenido pueden ser evaluadas a partir de componentes geotécnicos y los resultados de esta evaluación permiten la zonificación geoambiental de la cuenca en cuestión.

1. Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) /
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana

✉ leandrocontricampanelli@yahoo.com.br

Palabras clave: Cuenca hidrográfica; Zonificación geoambiental; Unidades Básicas de Compartimentación.

Resumo

Nos dias atuais verifica-se uma tendência de os planejadores considerarem a bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão. Um instrumento que tem sido empregado para subsidiar o planejamento de bacias hidrográficas é o zoneamento (geo)ambiental. Para a elaboração do zoneamento (geo)ambiental, um documento cartográfico que pode ser utilizado é o Mapa de Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs), o qual compartimenta a bacia hidrográfica em unidades homogêneas – porções da bacia com características e propriedades geológico-geomorfológicas semelhantes. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo a elaboração do Mapa de UBCs para a bacia hidrográfica do rio do Monjolinho, na escala de 1:50.000. Esta bacia apresenta área de 275 km², tendo a maior parte de sua área contida no município de São Carlos (SP) e uma pequena parcela no município de Ibaté (SP). Como resultado do trabalho obteve-se o Mapa de UBCs da bacia hidrográfica do rio do Monjolinho, na escala de 1:50.000. Neste mapa encontram-se representadas 20 unidades homogêneas, sendo que a unidade predominante é a CS,FAD,P 1 a 2, a qual caracteriza-se pela formação geológica de superfície Formação Adamantina, forma de relevo do tipo planície, declividades de 0 a 5%, perfis de encostas convexo-côncavo e côncavo e aquífero Bauru. As unidades homogêneas representadas no Mapa de UBCs obtido podem ser avaliadas a partir de componentes geotécnicos e os resultados desta avaliação permitem o zoneamento (geo)ambiental analítico da bacia em questão.

Palavras-chave: Bacia Hidrográfica; Zoneamento (Geo)ambiental; Unidades Básicas de Compartimentação.

Abstract

There is currently a tendency for planners to consider basins as a planning and management unit. An instrument that has been used to assist in the planning of basins is (geo)environmental zoning. For the preparation of (geo)environmental zoning, a cartographic document that can be used are Partitioned Basic Units (PBUs) Maps, which compartmentalizes the basin into homogeneous units – portions of the basin with similar geological-geomorphological characteristics and properties. Within this context, the objective of the present work is preparing the PBUs map for the basin of the Monjolinho River, in the scale of 1:50,000. The area of the basin covers 275 km², with most of its area contained in the municipality of São Carlos (SP-Brazil), and a small portion in the municipality of Ibaté (SP). The study provided the PBUs map of the Monjolinho River basin in the scale of 1:50,000. In this map there are 20 homogeneous units, and the predominant unit is the CS,FAD,P 1 to 2, which is characterized by the geological surface formation Adamantina Formation, flat ground relief form, slopes from 0 to 5%, convex-concave and concave slope profiles and Bauru aquifer. The homogeneous units represented in the PBUs Map can be evaluated by geotechnical components and the results of this evaluation enable analytical (geo)environmental zoning of the basin in question.

Keywords: Basin; (Geo)environmental Zoning; Partitioned Basic Units.

INTRODUÇÃO

Atualmente verifica-se uma tendência de os planejadores e gestores adotarem a bacia hidrográfica como unidade de estudo, planejamento e gestão.

“A bacia hidrográfica corresponde a uma unidade física e bio-geofisiográfica com fronteiras delimitadas e que pode estender-se por várias escalas espaciais - desde pequenas bacias hidrográficas de 10, 20, 200 km² até grandes bacias hidrográficas, como, por exemplo, a bacia do rio da Prata, com 3.000.000 km²” (IIEGA, 2009).

De maneira geral, as bacias hidrográficas estão submetidas a uma grande variedade de impactos ambientais, como, por exemplo, incidência de processos erosivos (sulcos, ravinas e voçorocas), assoreamento de canais de drenagem, disposição final inadequada de resíduos sólidos diversificados, poluição e contaminação de corpos d'água continentais (rios, lagos, represas e reservatórios) e de aquíferos, exposição do solo e remobilização de materiais inconsolidados, remoção de matas ciliares, de áreas alagadas e de várzeas, os quais, muitas vezes, são decorrentes do crescimento desordenado das cidades, principalmente em áreas periféricas.

Um instrumento que tem sido empregado para subsidiar o planejamento ambiental de bacias e microbacias hidrográficas, principalmente no que diz respeito à ocupação urbana, é o zoneamento (geo)ambiental.

Esse instrumento corresponde à compartimentação do território em zonas, com base na avaliação dos atributos do meio físico mais relevantes e de suas dinâmicas.

Quando se pretende elaborar o zoneamento (geo)ambiental de uma bacia hidrográfica, com o intuito de auxiliar a atuação de gestores e planejadores nos processos de produção do espaço, um documento cartográfico que pode ser utilizado é o Mapa de Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs).

O Mapa de Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs) é produto da sobreposição e da análise integrada, utilizando *software* de Sistema de Informação Geográfica (SIG), de informações diversificadas referentes ao meio físico da bacia hidrográfica – ex.: formações geológicas de superfície, unidades aquíferas, declividades, formas de relevo e perfis de encostas. Este documento cartográfico divide o território da bacia em unidades homogêneas, ou seja, porções da bacia com características e propriedades geológico-geomorfológicas semelhantes.

No zoneamento (geo)ambiental de uma bacia hidrográfica, com foco na aptidão ao processo de ocupação urbana, as unidades homogêneas representadas no Mapa de Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs) podem ser avaliadas com relação à sua aptidão para o processo de ocupação urbana e considerando-se alguns componentes geotécnicos e características dos terrenos que constituem fatores básicos para a análise e seleção das UBCs. Os resultados desta avaliação das UBCs permitem, portanto, compartimentar a área da bacia hidrográfica em porções favoráveis, propícias, pouco favoráveis e impróprias ao processo de ocupação urbana.

OBJETIVO

O trabalho teve como objetivo a elaboração do Mapa de Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs) para a bacia hidrográfica do rio do Monjolinho (Brasil, São Paulo, São Carlos), o qual poderá auxiliar outros trabalhos da área de planejamento ambiental e do meio físico, como o de *Campanelli (2012)*, relacionados à elaboração da Carta de Zoneamento (Geo)ambiental Analítico da bacia em questão.

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

“A bacia hidrográfica do rio do Monjolinho estende-se por área de aproximadamente 275 km², tendo a maior parte de sua área contida no município de São Carlos e uma pequena parcela correspondendo ao município vizinho de Ibaté, no Estado de São Paulo” (*Espindola, 2000*). Figura 1.

Essa bacia hidrográfica tem como principal característica o desenvolvimento urbano de São Carlos e todos os impactos socioambientais decorrentes deste processo, muitos dos quais com reflexos diretos sobre o meio físico (ex.: incidência de processos erosivos, desestabilização de taludes laterais, assoreamento de canais de drenagem, etc.) e sobre a qualidade da água dos ecossistemas aquáticos pertencentes à bacia (ex.: degradação da qualidade da água, em função da lixiviação de poluentes e de contaminantes).

A sub-bacia hidrográfica do rio do Monjolinho integra a bacia hidrográfica do rio Jacaré-Guaçu, sendo este um dos afluentes da margem direita do rio Tietê, o qual recebe este afluente no reservatório de Ibitinga (um dos sistemas que pertence ao complexo de reservatórios construídos em cascata no rio Tietê).

Levando-se em consideração a divisão do Estado de São Paulo em Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHs), com base nas principais bacias hidrográficas do Estado, a bacia hidrográfica do rio do Monjolinho está inserida na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos 13 (UGRHI 13), a qual corresponde à bacia hidrográfica do Tietê-Jacaré.

“O rio do Monjolinho, principal córrego da bacia em questão, possui extensão de aproximadamente 43,25 km e nasce no Planalto de São Carlos, a leste do município, na cota de 900 metros, percorrendo o sentido leste-oeste, dando origem a uma ampla planície de inundação” (*Espindola, 2000*). Ao longo do perímetro urbano de São Carlos, o rio do Monjolinho apresenta trechos

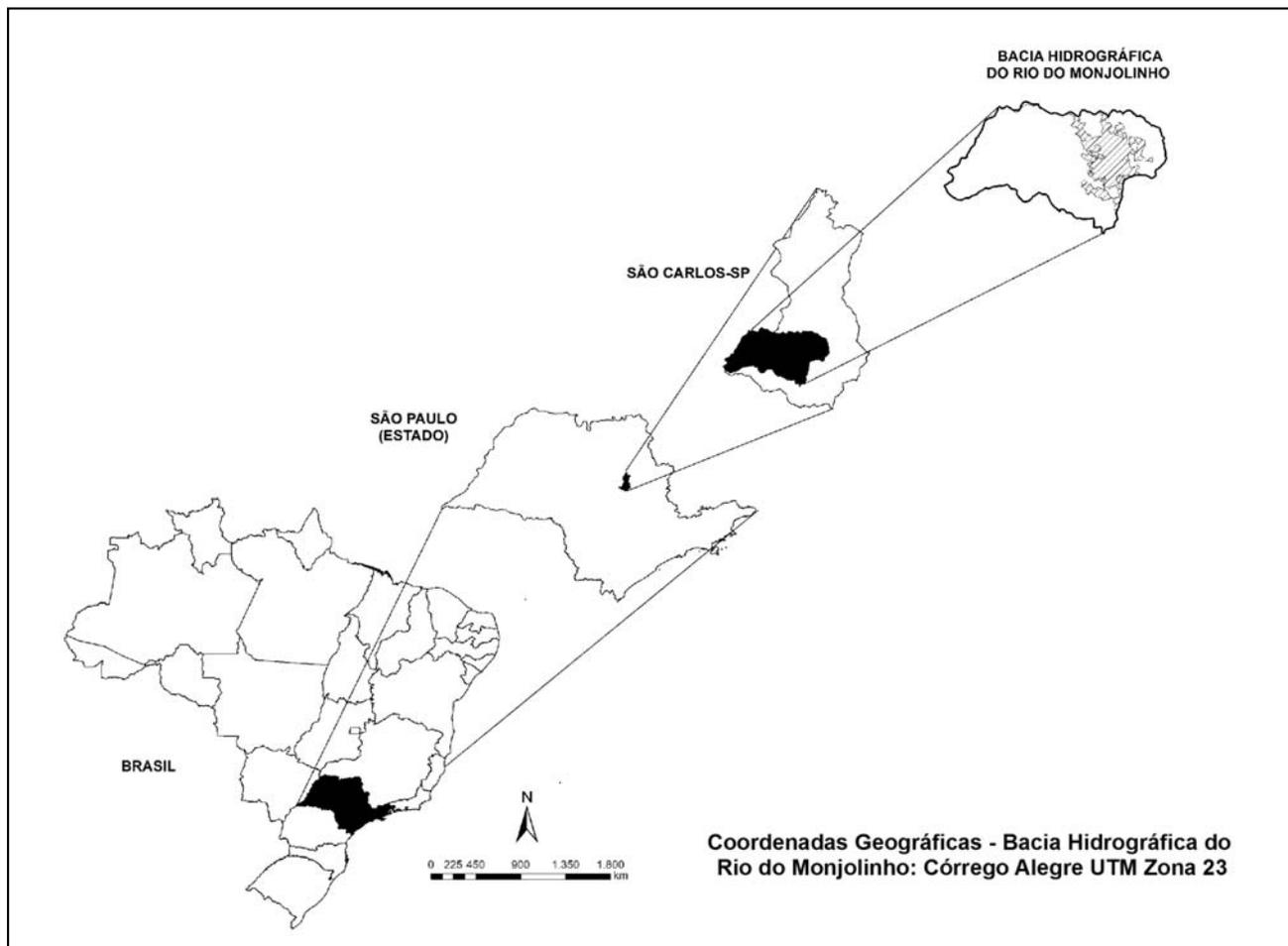


Figura 1. Localização da bacia hidrográfica do rio do Monjolinho. Fonte: Campanelli (2012).

canalizados e recebe contribuições de diversos tributários, como os córregos Santa Maria Madalena, Tijuco Preto, do Mineirinho e do Gregório e também de águas residuárias – esgotos domésticos e efluentes provenientes de atividades industriais. Fora do perímetro urbano de São Carlos, o rio do Monjolinho recebe contribuições de outros tributários, como os córregos da Água Quente, da Água Fria, do Cancã, da Serra e do Palmital.

“No que diz respeito às características climáticas da bacia hidrográfica do rio do Monjolinho, o clima regional classifica-se, segundo sistemática de Köppen, como Cwb, com duas estações climáticas bem definidas: uma seca (de abril a setembro) e outra chuvosa (de dezembro a fevereiro). As médias anuais de precipitação variam entre 1200 e 1500 mm e os ventos frequentes são os de noroeste (30% do ano) e sudoeste (20% do ano), com velocidade média entre 3,5 e 4 m/s” (Espíndola, 2000).

“Em relação ao relevo, a bacia hidrográfica do rio do Monjolinho caracteriza-se por uma variedade de formas. As formas de relevo características da bacia em questão são: Relevo Colinoso e Relevo Escarpado. Formas de relevo menos expressivas e que também são verificadas na bacia são: Planícies Aluviais e Testemunhos” (Sé, 1992 apud Maciel, 2000).

Com relação à geologia, pode-se afirmar que as formações geológicas de superfície predominantes ao longo da bacia hidrográfica em questão são: Formação Serra Geral e Formação Botucatu, pertencentes ao Grupo São Bento, Formação Adamantina, relativa ao Grupo Bauru, e Formação Pirambóia. Nesta bacia hidrográfica também há ocorrência de Suítes Básicas e de Depósitos Recentes do Quaternário.

“Em relação às unidades aquíferas, os tipos de aquíferos fraturados que podem ser encontrados na bacia são: Aquífero Serra Geral e Aquífero Fraturado, os quais caracterizam-se por apresentarem porosidade de fraturas. Os tipos de aquíferos sedimentares que, por sua vez, também podem ser encontrados são: Aquífero Bauru, Aquífero Aluvionar e Aquífero Guarani, os quais caracterizam-se por apresentarem porosidade intergranular” (Campanelli y Lorandi, 2012).

“Os tipos de solos presentes ao longo da bacia hidrográfica do rio do Monjolinho são: Latossolos, com destaque para o Latossolo Vermelho-Amarelo, Latossolo Vermelho-Escuro e Latossolo Roxo; Areias Quartzosas Profundas; Solos Litólicos; Solos Hidromórficos; Terra Roxa Estruturada” (Souza, Santos y Palhares, 2000).

“As formações vegetacionais de ocorrência na bacia hidrográfica do rio do Monjolinho são: Floresta Estacional Semidecidual Submontana (mata); Floresta Estacional Semidecidual Aluvial (mata ciliar); Savana Florestada (Cerradão); Savana Arborizada (Cerrado); Capoeiras (áreas em processo de sucessão ecológica e que se caracterizam por vegetação secundária composta por gramíneas e arbustos esparsos)” (Silva, Abdon y Paranaçuá, 2000).

Ao longo da bacia hidrográfica do rio do Monjolinho também pode-se verificar alguns fragmentos reflorestados com espécies exóticas de Pinus e Eucalyptus e extensas áreas de pastagem e de cultivo de cana de açúcar que reduziram significativamente as áreas de vegetação nativa.

MATERIAIS E MÉTODOS - ELABORAÇÃO DO MAPA DE UBCs

A delimitação da bacia hidrográfica do rio do Monjolinho e a vetorização da rede hidrográfica (rio do Monjolinho e todos os seus tributários), das curvas de nível e dos pontos cotados foram efetuadas a partir da articulação de quatro cartas topográficas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

(IBGE) na escala de 1:50.000 - folhas de São Carlos (SF-23-Y-A-I-1), Ibaté (SF-23-V-C-IV-3), Araraquara (SF-22-X-D-VI-4) e Ribeirão Bonito (SF-22-Z-B-III-2) (Brasil - IBGE, 1971) - no software de Sistema de Informação Geográfica (SIG) ArcGis 9.3 e considerando-se o sistema de coordenadas geográficas “Córrego Alegre UTM Zona 23”.

A vetorização da área urbana do município de São Carlos (SP) e de parte do município de Ibaté (SP) foi efetuada a partir de imagem de satélite atualizada (data: 18/08/2011) proveniente do satélite Landsat 5 do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Para a geração do Mapa de Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs) da bacia hidrográfica do rio do Monjolinho foi necessário, inicialmente, a geração de três documentos cartográficos básicos, utilizando-se o software de Sistema de Informação Geográfica (SIG) ArcGis 9.3. São eles: Carta de Declividades, Mapa de Formações Geológicas de Superfície e Mapa de Unidades Aquíferas.

A Carta de Declividades (Figura 2) foi gerada a partir dos vetores das curvas de nível, da rede hidrográfica (rio do Monjolinho e todos os seus tributários) e dos pontos cotados pertencentes à bacia. Foram necessários também os valores das cotas topográficas associados às curvas de nível e aos pontos cotados.

O Mapa de Formações Geológicas de Superfície (Figura 3) foi elaborado a partir dos seguintes mapeamentos geológico-geotécnicos que englobam a área de estudo: Mapa de Substrato Rochoso desenvolvido por Muro (2000) para o município de São Carlos; Mapa Geológico da Região de São Carlos elaborado por Zuquette (1981); Mapeamento Geológico-geotécnico da Folha de Ribeirão Bonito (Zuquette, sem/data); Mapa Fotogeológico da Região de São Carlos elaborado por Fiori, Gama Jr. y Caetano (1976), na escala de 1:100.000.

O Mapa de Unidades Aquíferas (Figura 4) foi, por sua vez, elaborado a partir da reclassificação do Mapa de Formações Geológicas de Superfície, atribuindo-se a cada uma das formações geológicas de superfície de ocorrência na bacia, sua unidade aquífera específica. Esta reclassificação foi efetuada utilizando-se o software de Sistema de Informação Geográfica (SIG) ArcGis 9.3.

Dando sequência na elaboração do Mapa de Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs) e tendo sido produzidos as cartas e os mapas básicos citados anteriormente, faz-se necessário ressaltar que este documento cartográfico fundamenta-se na compartimentação do território da bacia hidrográfica em unidades homogêneas, ou seja, porções da bacia com características e propriedades geológico-geomorfológicas semelhantes.

A obtenção das unidades homogêneas ocorre com base na abordagem fisiográfica, seguindo-se os conceitos relacionados à avaliação integrada dos elementos morfoambientais.

Na abordagem fisiográfica, também chamada de abordagem de paisagem, os elementos que integram o terreno são identificados e analisados de maneira integrada, geralmente a partir de Sistemas de Classificação de Terrenos.

Diante disso, os níveis taxonômicos utilizados para a elaboração desse documento cartográfico para a bacia hidrográfica do rio do Monjolinho e as respectivas condições morfoambientais foram:

- Províncias - referem-se às diferenças fisiográficas de natureza tectônica em nível regional.
- Zonas - correspondem às variações litoestruturais.

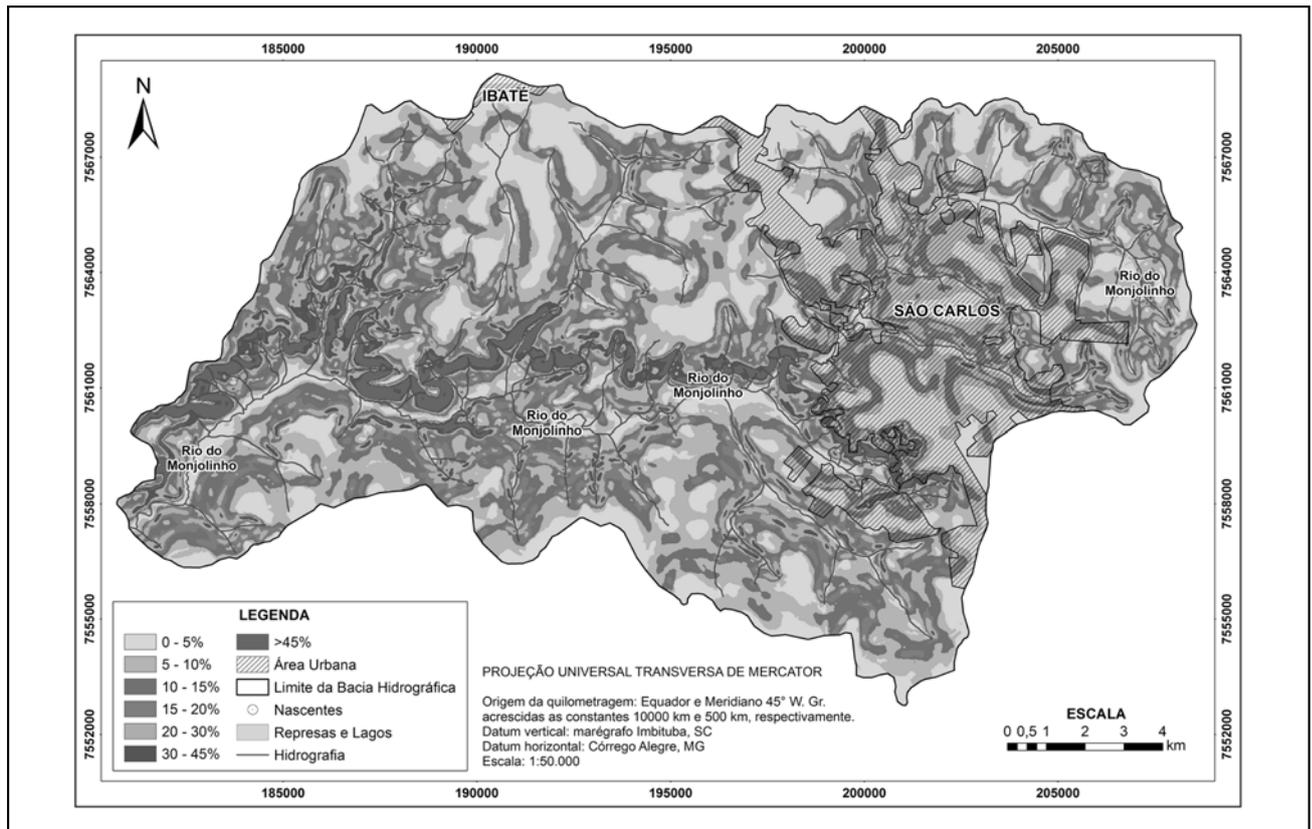


Figura 2. Carta de Declividades da bacia hidrográfica do rio do Monjolinho [Brasil, São Paulo, São Carlos], na escala de 1:50.000. Fonte: Campanelli y Lorandi (2012).

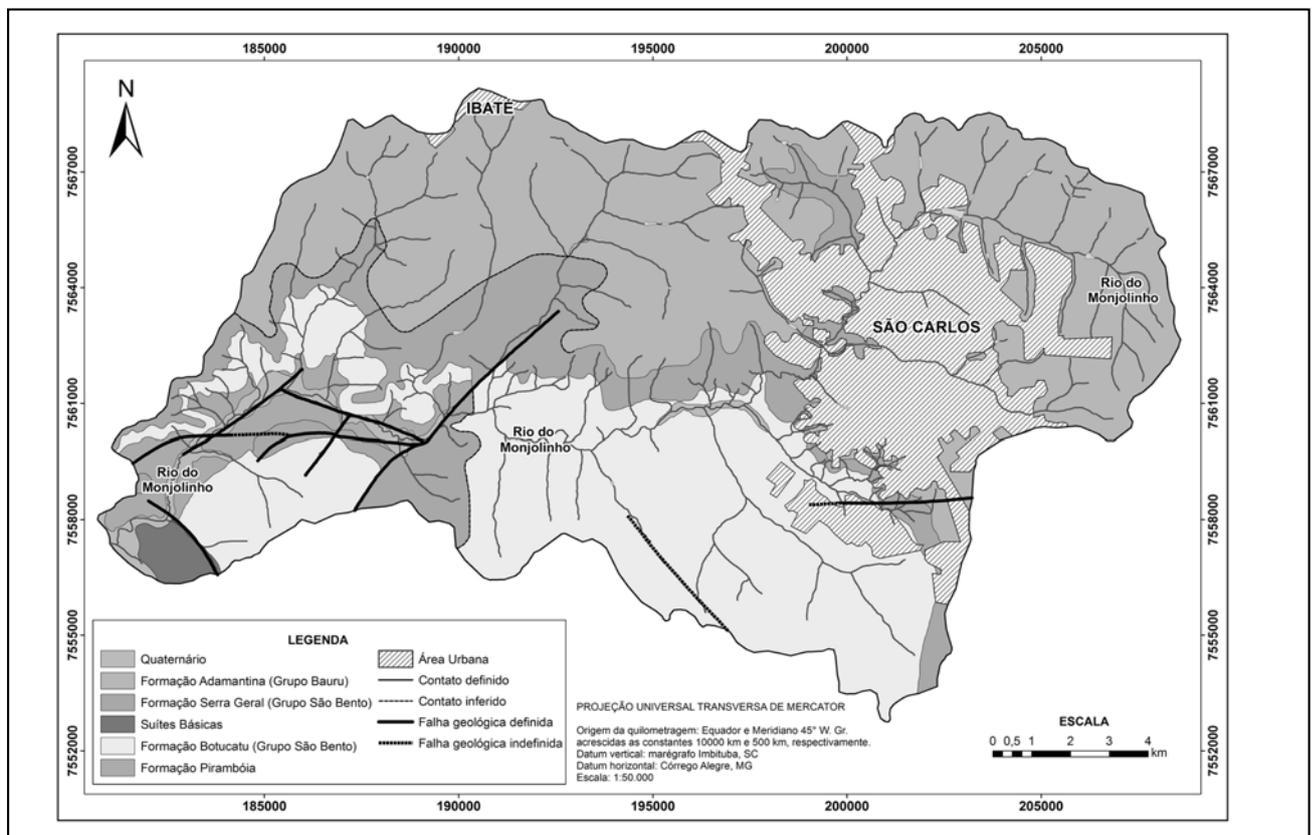


Figura 3. Mapa de Formações Geológicas de Superfície da bacia hidrográfica do rio do Monjolinho [Brasil, São Paulo, São Carlos], na escala de 1:50.000. Fonte: Campanelli y Lorandi (2012).

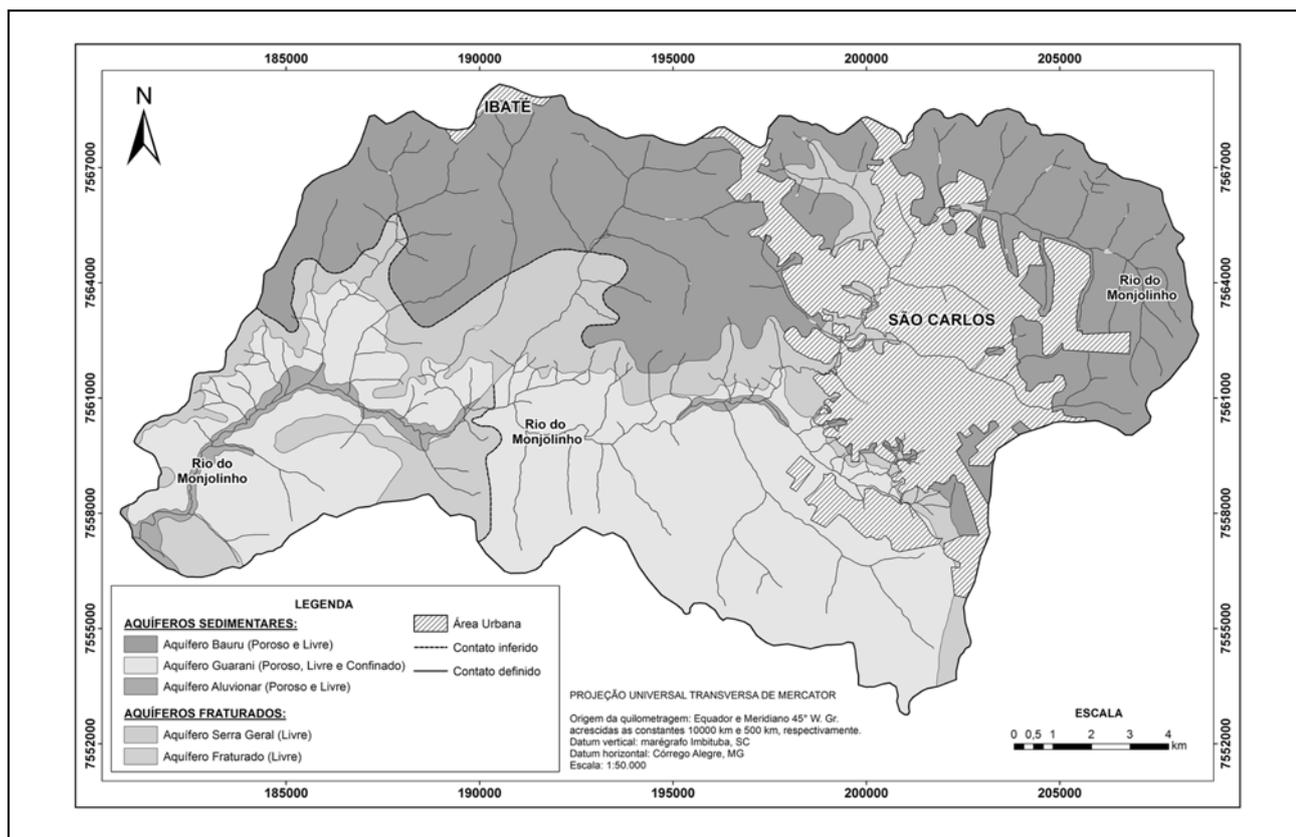


Figura 4. Mapa de Unidades Aquíferas da bacia hidrográfica do rio do Monjolinho (Brasil, São Paulo, São Carlos), na escala de 1:50.000. Fonte: Campanelli y Lorandi (2012).

- Sub-zonas - consideram as diferenças em termos de formas de relevo.
- Unidades - consideram as variações relativas a associações específicas de rochas, aquíferos e formas ou elementos de relevo.

Para a elaboração do Mapa de Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs) também se fez necessário a geração do modelo tridimensional da bacia hidrográfica do rio do Monjolinho, o qual auxiliou a etapa posterior de determinação dos perfis de encostas presentes ao longo da bacia. Este modelo tridimensional foi elaborado utilizando-se o *software* ArcScene, o Modelo Numérico do Terreno (MNT), as curvas de nível e respectivas cotas topográficas, a rede hidrográfica da bacia e a imagem de satélite (data: 18/08/2011) proveniente do satélite Landsat 5 do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Após a geração do modelo tridimensional da bacia hidrográfica do rio do Monjolinho, efetuou-se a reclassificação da Carta de Declividades, utilizando-se o *software* ArcGIS 9.3. Esta reclassificação deu origem à Carta de Formas de Relevo e foi elaborada conforme as principais feições geomorfológicas descritas em propostas metodológicas do IBGE (1995).

Sendo assim, a bacia hidrográfica do rio do Monjolinho foi compartimentada nas seguintes formas de relevo:

- Planícies - caracterizam-se pela predominância de amplitudes entre 40 e 60 metros e declividades inferiores a 5%.

- Colinas - caracterizam-se pela predominância de amplitudes da ordem de 40 metros, que podem atingir 80 metros, e faixa de declividades de 5 a 20%.
- Morrotes - caracterizam-se por amplitudes que variam entre 60 e 120 metros e por declividades que variam entre 20 e 30%.
- Morros Altos - caracterizam-se por amplitudes que podem chegar a 200 metros e faixa de declividades de 30 a 45%.
- Cuestas - possuem amplitudes que variam entre 200 e 300 metros e declividades maiores que 45%.

A próxima etapa desenvolvida visando a elaboração do Mapa de Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs) consistiu na realização de duas saídas de campo, com o intuito de se verificar os perfis de encostas existentes ao longo de toda a extensão da bacia hidrográfica do rio do Monjolinho. Esta verificação dos perfis de encostas foi efetuada com base na classificação proposta por Vedovello (2000): convexo, convexo-côncavo, côncavo e convexo-retilíneo-côncavo.

As informações coletadas em campo, a observação do comportamento das curvas de nível pertencentes à bacia e a análise do modelo tridimensional elaborado anteriormente possibilitaram a reprodução no *software* ArcGIS 9.3, por meio de polígonos e classificação utilizando tabela de atributos, dos perfis de encostas que são verificados ao longo da bacia em questão.

Por último, com o intuito de efetuar a compartimentação da bacia hidrográfica do rio do Monjolinho em unidades homogêneas, as informações contidas na Carta de Declividades,

Mapa de Formações Geológicas de Superfície e Mapa de Unidades Aquíferas, juntamente com as informações referentes às formas de relevo e perfis de encostas, também reproduzidas na forma de documentos cartográficos básicos, foram agrupadas no *software* de Sistema de Informação Geográfica (SIG) ArcGis 9.3 em um único *layer* e tabela de atributos.

A integração de todas essas informações em uma única tabela de atributos e a posterior intersecção das mesmas deu origem às unidades homogêneas e ao Mapa de Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs) da bacia hidrográfica do rio do Monjolinho.

RESULTADOS

Como resultado do trabalho obteve-se o Mapa de Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs) da bacia hidrográfica do rio do Monjolinho, na escala de 1:50.000 (Figura 5). Este documento cartográfico corresponde a uma representação em superfície plana do processo de compartimentação da bacia em questão em unidades homogêneas, ou seja, porções da bacia com características e propriedades geológico-geomorfológicas semelhantes.

Foram obtidas 20 unidades básicas de compartimentação (UBCs), as quais encontram-se dispostas na Tabela 1. Cada UBC se apresenta como o conjunto de características que se refere à Província, Zona e Sub-zona, que finalmente dá origem à

sigla da UBC, acompanhada por um número relacionado às características dos perfis de encostas que podem ser encontrados nestas unidades.

A análise do Mapa de Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs) permitiu constatar que a unidade homogênea predominante na área de estudo é a CS,FAD,P 1 a 2. Esta unidade é composta pela formação geológica de superfície Formação Adamantina (Grupo Bauru), forma de relevo do tipo planície, declividades de 0 a 5%, perfis de encostas convexo-côncavo e côncavo e aquífero Bauru (sedimentar, poroso e livre).

A segunda unidade homogênea predominante na área de estudo é a J,FBOT,C 1 a 3. Esta unidade é composta pela formação geológica de superfície Formação Botucatu (Grupo São Bento), forma de relevo do tipo colina, declividades de 5 a 20%, perfis de encostas convexo-côncavo, côncavo e convexo-retilíneo-côncavo e aquífero Guarani (sedimentar, poroso, livre e confinado).

A terceira unidade homogênea predominante na área de estudo é a J,FBOT,P 1 a 3. Esta unidade é composta pela formação geológica de superfície Formação Botucatu (Grupo São Bento), forma de relevo do tipo planície, declividades de 0 a 5%, perfis de encostas convexo-côncavo, côncavo e convexo-retilíneo-côncavo e aquífero Guarani (sedimentar, poroso, livre e confinado).

Tabela 1. Síntese dos compartimentos obtidos (UBCs) para a bacia hidrográfica do rio do Monjolinho. Fonte: Campanelli (2012).

PROVÍNCIA	ZONA	SUB-ZONA	UBC	PERFIL DE ENCOSTA
Quaternário (Q)	Depósitos Recentes do Quaternário (QUAT)	Planície (P)	Q,QUAT,P	Convexo-côncavo
Cretáceo Superior (CS) Grupo Bauru (FAD)	Formação Adamantina -	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	Convexo-côncavo (1); Côncavo (2); Convexo-retilíneo-côncavo (3)
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	Convexo-côncavo (1); Côncavo (2); Convexo-retilíneo-côncavo (3); Convexo (4)
	Suítes Básicas (SB)	Planície (P) Colina (C)	JCR,SB,P JCR,SB,C	Convexo-côncavo
Jurássico (J)	Formação Botucatu - Grupo São Bento (FBOT)	Planície (P) Colina (C) Morrote (M)	J,FBOT,P 1 a 3 J,FBOT,C 1 a 3 J,FBOT,M 1 a 3	Convexo-côncavo (1); Côncavo (2); Convexo-retilíneo-côncavo (3)
		Morro Alto (MA)	J,FBOT,MA 1 a 2	Côncavo-côncavo (1); Convexo-retilíneo-côncavo (2)
		Cuesta (CT)	J,FBOT,CT	Convexo-retilíneo-côncavo
Jurássico (J)	Formação Botucatu - Grupo São Bento (FBOT)	Planície (P)	TJ,FPIR,P 1 a 2	Convexo-côncavo (1); Convexo-retilíneo-côncavo (2)
		Colina (C) Morrote (M)	TJ,FPIR,C 1 a 3 TJ,FPIR,M 1 a 3	Convexo-côncavo (1); Convexo-retilíneo-côncavo (2);
		Morro Alto (MA)	TJ,FPIR,MA 1 a 2	Convexo (3)

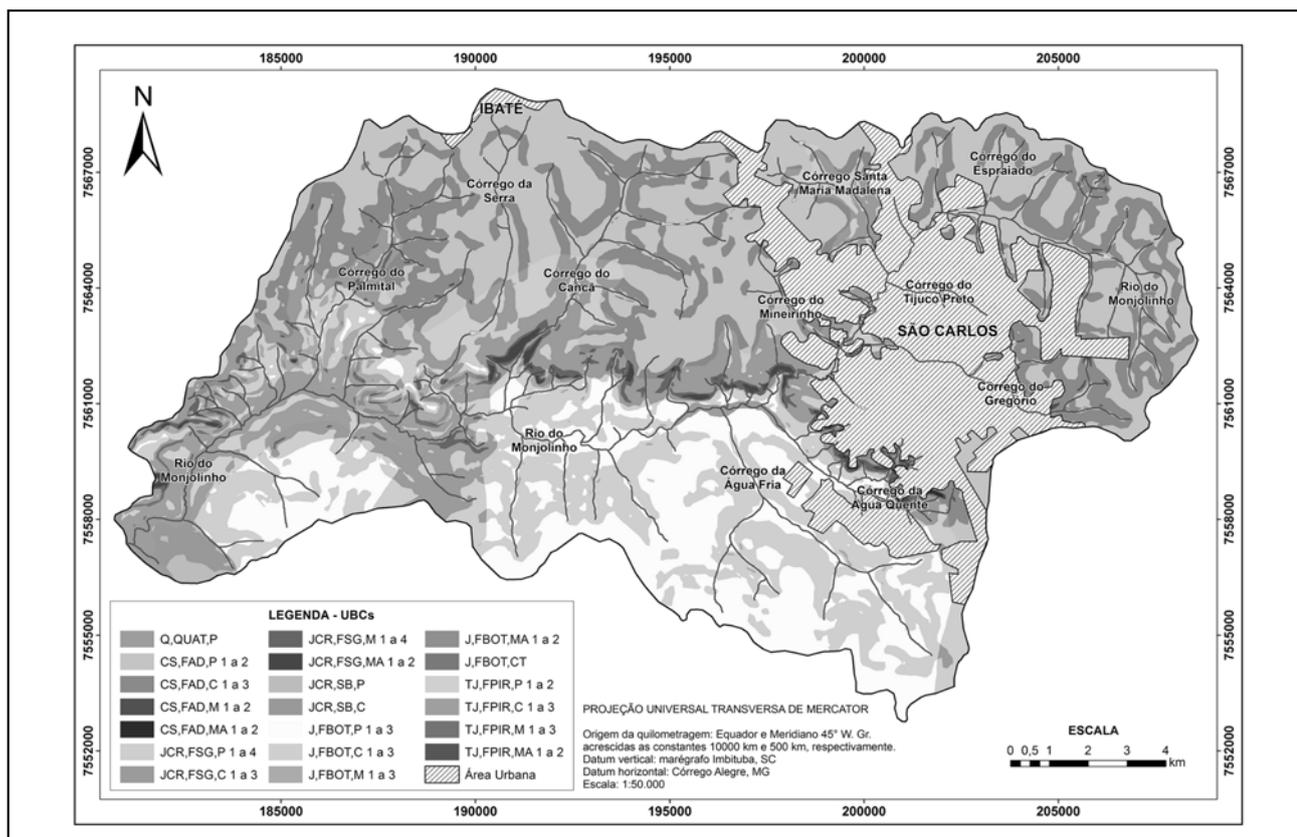


Figura 5. Mapa de Unidades Básicas de Compartimentação da bacia hidrográfica do rio do Monjolinho (Brasil, São Paulo, São Carlos), na escala de 1:50.000. Fonte: Campanelli y Lorandi (2012).

A quarta unidade homogênea predominante na área de estudo é a CS,FAD,C 1 a 3. Esta unidade homogênea é, por sua vez, composta pela formação geológica de superfície Formação Adamantina (Grupo Bauru), forma de relevo do tipo colina, declividades de 5 a 20%, perfis de encostas convexo-côncavo, côncavo e convexo-retilíneo-côncavo e aquífero Bauru (sedimentar, poroso e livre).

A análise do Mapa de Unidades Básicas de Compartimentação também permitiu visualizar que as três unidades homogêneas menos predominantes na bacia hidrográfica do rio do Monjolinho são: TJ,FPIR,MA 1 a 2; CS,FAD,MA 1 a 2; J,FBOT,CT.

A unidade homogênea TJ,FPIR,MA 1 a 2 é composta pela formação geológica de superfície Formação Pirambóia, forma de relevo do tipo morro alto, declividades de 30 a 45%, perfis de encostas convexo-côncavo e convexo-retilíneo-côncavo e aquífero Guarani (sedimentar, poroso, livre e confinado).

A unidade homogênea CS,FAD,MA 1 a 2 é composta pela formação geológica de superfície Formação Adamantina (Grupo Bauru), forma de relevo do tipo morro alto, declividades de 30 a 45%, perfis de encostas convexo-côncavo e côncavo e aquífero Bauru (sedimentar, poroso e livre).

A unidade homogênea J,FBOT,CT é, por sua vez, composta pela formação geológica de superfície 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).

DISCUSSÃO

O Mapa de Unidades Básicas de Compartimentação da bacia hidrográfica do rio do Monjolinho é produto da sobreposição e da análise integrada das seguintes informações geológico-geomorfológicas da bacia: declividades, formações geológicas de superfície, unidades aquíferas, formas de relevo e perfis de encostas.

Deve-se ressaltar que nessa sobreposição e análise integrada, não foi utilizado o Mapa de Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo, pois a escala deste documento cartográfico é diferente da escala utilizada neste trabalho e também pelo fato de que a análise realizada fundamentou-se, principalmente, na geologia de superfície.

A inclusão da avaliação de componentes geotécnicos para cada uma das 20 unidades básicas de compartimentação (UBCs) obtidas permite o zoneamento (geo)ambiental analítico da bacia em questão. Um trabalho de zoneamento (geo)ambiental que incluiu esta avaliação geotécnica das UBCs para a bacia hidrográfica do rio do Monjolinho foi o de Campanelli (2012).

A Carta de Zoneamento (Geo)ambiental Analítico elaborada por Campanelli (2012), utilizando o Mapa de Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs), teve como propósito indicar as potencialidades da bacia, do ponto de vista geológico-geotécnico (considerando aspectos inerentes ao meio físico), no que diz respeito ao processo de ocupação urbana, com destaque para a implantação de infraestrutura urbana (ex.: edificações, arruamento, rede de abastecimento de água potável, rede coletora de esgotos sanitários, sistema de drenagem de águas

pluviais, etc.), minimizando impactos ambientais e riscos geotécnicos.

Nesse contexto, as unidades homogêneas representadas no Mapa de Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs) da bacia do Monjolinho foram avaliadas individualmente com relação à sua aptidão para o processo de ocupação urbana e considerando alguns critérios geotécnicos.

A proposta metodológica de *Vedovello (2000)* leva em consideração cinco componentes geotécnicos e características dos terrenos que constituem fatores básicos para a avaliação das unidades básicas de compartimentação (UBCs) e, consequentemente, para a produção da Carta de Zoneamento (Geo)ambiental Analítico. São eles:

- Alterabilidade.
- Declividade.
- Espessura do manto de alteração.
- Permeabilidade.
- Tipo de material do manto de alteração.

Os resultados obtidos da avaliação das unidades básicas de compartimentação (UBCs) a partir dos componentes geotécnicos e características dos terrenos citados anteriormente permitiram enquadrar as unidades homogêneas da bacia do Monjolinho nas seguintes classes de aptidão ao processo de ocupação urbana:

- Áreas favoráveis.
- Áreas propícias.
- Áreas pouco favoráveis.
- Áreas impróprias.

Nesse trabalho desenvolvido por *Campanelli (2012)*, o enquadramento das unidades homogêneas nas quatro classes citadas de aptidão ao processo de ocupação urbana deu origem, por fim, à Carta de Zoneamento (Geo)ambiental Analítico da bacia hidrográfica do rio do Monjolinho.

Levando-se em consideração os resultados do zoneamento (geo)ambiental, pode-se afirmar que “na bacia hidrográfica do rio do Monjolinho não foram identificadas áreas favoráveis ao processo de ocupação urbana e as porcentagens referentes às outras 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%)” (*Campanelli, 2012*). Figura 6.

Portanto, a Carta de Zoneamento (Geo)ambiental Analítico da bacia do Monjolinho, produzida a partir do Mapa de UBCs, poderá ser utilizado por gestores e planejadores, em consonância com outras ferramentas e instrumentos do planejamento (ex.: planos diretores municipais, etc.), no planejamento da ocupação urbana na bacia, minimizando impactos ambientais.

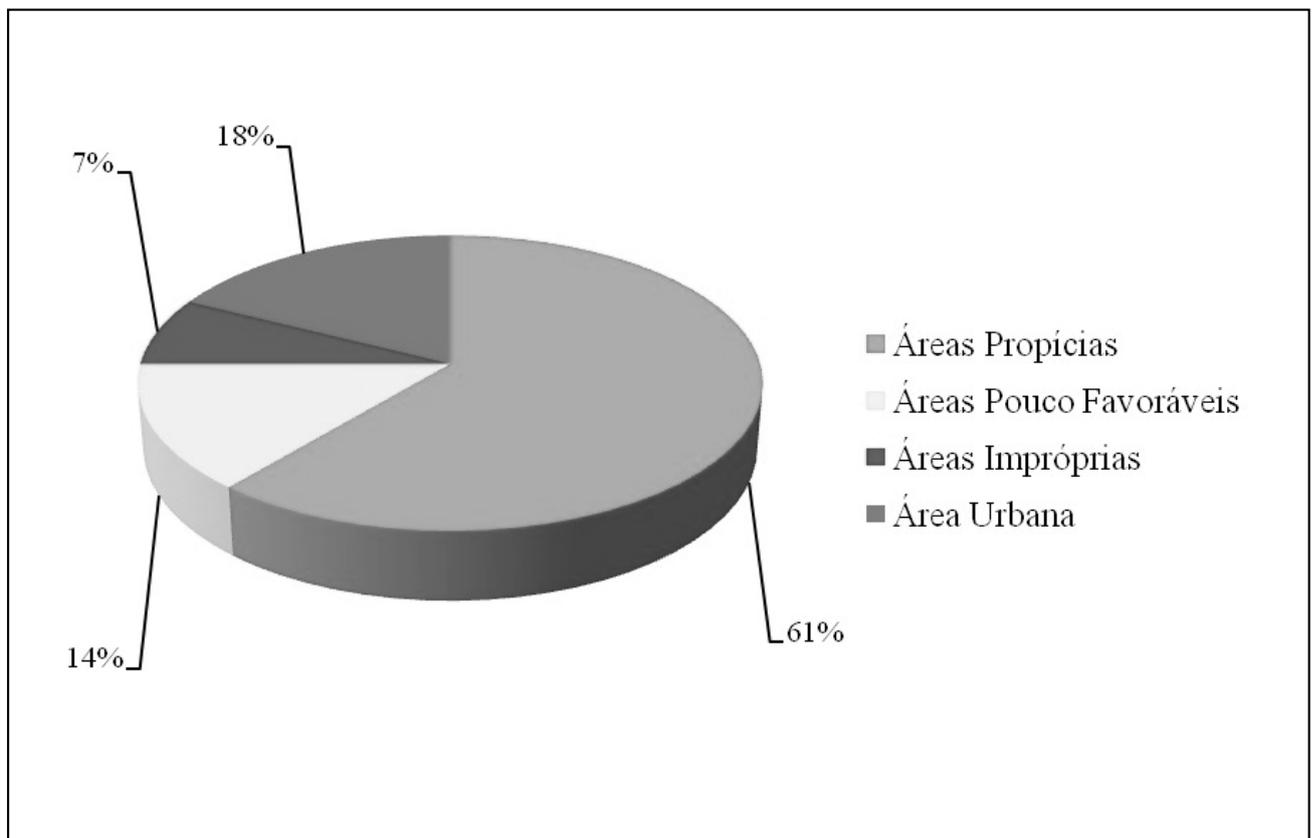


Figura 6. Gráfico representativo das porcentagens referentes a cada uma das classes de aptidão ao processo de ocupação urbana que são verificadas ao longo de toda a extensão da bacia hidrográfica do rio do Monjolinho a partir do zoneamento (geo)ambiental analítico. Fonte: *Campanelli (2012)*.

TRABAJOS CITADOS NO TEXTO

- BRASIL. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 1971.
Cartas topográficas.
Folhas SF-23-Y-A-I-1, SF-23-V-C-IV-3, SF-22-X-D-VI-4 e SF-22-Z-B-III-2. 1ª edição. Escala: 1.50.000.
- CAMPANELLI, L. C., 2012.
Zoneamento (geo)ambiental analítico da bacia hidrográfica do rio do Monjolinho - São Carlos (SP).
Dissertação (Mestrado - Engenharia Urbana) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.
- CAMPANELLI, L. C. Y 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, São Paulo, São Carlos).
In: Revista de Geologia Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente, n. 29, p. 83-90.
- ESPÍNDOLA, E. L. G.
O rio do Monjolinho: um estudo de caso.
In: ESPÍNDOLA, E. L. G.; SILVA, J. S. V.; MARINELLI, C. E. y ABDON, M. M., 2000. A bacia hidrográfica do rio do Monjolinho. São Carlos: Ed. Rima.
- FIORI, A. P.; GAMA JR., E. Y CAETANO, M. R., 1976.
Mapa fotogeológico da região de São Carlos.
Escala 1:100.000.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 1995.
Manual técnico de geomorfologia.
Rio de Janeiro: IBGE.
- INSTITUTO INTERNACIONAL DE ECOLOGIA E GERENCIAMENTO AMBIENTAL - IIEGA, 2009.
Manual de gerenciamento de bacias hidrográficas.
São Carlos: Ed. Cubo.
- MURO, M. D., 2000.
Carta de zoneamento para seleção de áreas frente à instalação de aterros sanitários no município de São Carlos - SP.
Dissertação (Mestrado-Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- MACIEL, G. DE C.
Geologia e geomorfologia.
In: ESPÍNDOLA, E. L. G.; SILVA, J. S. V.; MARINELLI, C. E. y ABDON, M. M., 2000. A bacia hidrográfica do rio do Monjolinho. São Carlos: Ed. Rima.
- SILVA, J. DOS S. V. DA; ABDON, M. DE M. Y PARANAGUÁ, P. A.
Remanescentes de vegetação.
In: ESPÍNDOLA, E. L. G.; SILVA, J. S. V.; MARINELLI, C. E. y ABDON, M. M., 2000. A bacia hidrográfica do rio do Monjolinho. São Carlos: Ed. Rima.
- SOUZA, P. A. P.; SANTOS, M. B. DOS Y PALHARES, J. C.
Pedologia.
In: ESPÍNDOLA, E. L. G.; SILVA, J. S. V.; MARINELLI, C. E. y ABDON, M. M., 2000. A bacia hidrográfica do rio do Monjolinho. São Carlos: Ed. Rima.
- VEDOVELLO, R., 2000.
Zoneamentos geotécnicos aplicados à gestão ambiental, a partir de unidades básicas de compartimentação – UBCs.
Tese (Doutorado - Geociências) - Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.
- ZUQUETTE, L. V., 1981.
Mapeamento geotécnico preliminar da região de São Carlos.
Dissertação (Mestrado - Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.