

Revista Brasileira de Cartografia (2016), N^o 68/2, Edição Especial Aplicações dos SIG: 373-389
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

SUSCETIBILIDADE A PROCESSOS GEODINÂMICOS E APTIDÃO À URBANIZAÇÃO NA BACIA DO RIO MARACUJÁ, OURO PRETO, MG

Susceptibility to Geodynamic Processes and Suitability for Urbanization in the Maracujá River Basin, Ouro Preto, MG

Tatiane Robaina Rangel de Carvalho & Frederico Garcia Sobreira

Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP
Programa de Pós-Graduação em Geotecnia - Núcleo de Geotecnia – NUGEO
Campus Universitário Morro do Cruzeiro, S/N, Ouro Preto/MG - Cep 35400-000, Brasil
tatianerrcarvalho@gmail.com, sobreira@degeo.ufop.br

Recebido em 30 de Julho, 2015/ Aceito em 7 de Novembro, 2015
Received on July 30, 2015/ Accepted on November 7, 2015

RESUMO

O trabalho está inserido no contexto de um programa do governo federal criado em 2012, intitulado Gestão de Riscos e Resposta a Desastres Naturais, como instrumento para o enfrentamento dos desastres naturais ocorridos no Brasil nos últimos anos, como aquele na Região Serrana do Rio de Janeiro, em janeiro de 2011, que levou à morte mais de 900 pessoas. A pesquisa teve como tema central o mapeamento geotécnico voltado para o planejamento urbano, em escala 1:25.000. O objetivo principal do trabalho consistiu no desenvolvimento de método para a elaboração de carta geotécnica de aptidão urbana, com a finalidade de fornecer à gestão pública diretrizes de mapeamento para a expansão urbana dos municípios, de forma a prevenir os desastres naturais. O estudo foi desenvolvido na bacia hidrográfica do rio Maracujá, em uma área de 120 km², no município de Ouro Preto, Minas Gerais. O método baseou-se na análise de suscetibilidade do meio físico aos processos geodinâmicos e no comportamento geotécnico do terreno, e propõe o critério de exclusão para a definição das unidades geotécnicas, que leva em consideração aspectos geológicos, geomorfológicos, ambientais, legais e geotécnicos. O resultado principal foi o zoneamento da área em três unidades: alta aptidão à urbanização; média aptidão à urbanização; e baixa aptidão à urbanização. O método apresentou como principais vantagens o fato de ser direto, portanto, passível de replicação, sem a necessidade de procedimentos mais complexos; a execução de todo o procedimento em tempo relativamente curto; e a facilidade de obtenção das principais informações para a elaboração da carta geotécnica.

Palavras-chaves: Planejamento Urbano, Aptidão Urbana, Critério De Exclusão.

ABSTRACT

The work is in the context of the federal program created in 2012, entitled Management Risk and Natural Disaster Response, as a tool to dealing with natural disasters occurred in Brazil in recent years, like the one in the mountainous region of Rio de Janeiro, in January 2011, which led to death more than 900 people. The research aimed to geotechnical mapping focused to urban planning, at 1:25,000 scale. The main objective was to develop a method for preparation of geotechnical map of urban suitability, with the purpose of providing public management guidelines for mapping urban expansion of cities to prevent natural disasters. The study was developed in the region of the Maracujá River basin, in an area of 120 km², in Ouro Preto, Minas Gerais state. The method was based on the susceptibility analysis

of the environment to geodynamic processes and geotechnical behavior of the land, and proposes the exclusion criterion for the definition of geotechnical units, which takes into account the geological, geomorphological, geotechnical, environmental and law aspects. The main result was the zoning of the area into three units: areas of high suitability for urbanization; areas of intermediate suitability for urbanization; and areas of low suitability for urbanization. The method has as main advantages the fact of being direct, therefore, with possibility of replication without the needing for more complex procedures; implementation the entire procedure in a relatively short time; and the ease of obtaining the main information for the preparation of geotechnical map.

Keywords: Urban Planning, Suitability for Urbanization, Exclusion Criterion.

1. INTRODUÇÃO

Os problemas decorrentes do uso e ocupação inadequados do solo, as perspectivas de expansão na ocupação do território e as potencialidades de desenvolvimento do Brasil exigem uma política de planejamento da ocupação do meio físico que considere suas limitações e potencialidades, destacando-se a Cartografia Geotécnica como ferramenta essencial ao planejamento regional e urbano (PACHECO & OLIVEIRA, 1998).

O acelerado processo de expansão urbana verificado nas cidades brasileiras, sem considerar de forma adequada o meio físico, conduzido quase que completamente pela especulação imobiliária, leva à ocupação de áreas impróprias, como locais sujeitos a escorregamentos, erosões aceleradas, inundações, subsidências, assoreamento, etc.

A ocupação de áreas suscetíveis a tais processos, aliada a fatores socioeconômicos e à falta de uma intervenção adequada, colocam em risco uma expressiva parcela da população, com sérios prejuízos econômicos ao poder público, podendo levar, inclusive, ao desencadeamento de desastres naturais, como, por exemplo, o ocorrido em 2011 na Região Serrana do Rio de Janeiro, que, apesar das grandes perdas humanas (mais de 900 mortos), sociais e econômicas, contribuiu para despertar a sociedade e o poder público para a necessidade do devido enfrentamento desse tema no país. Uma das ferramentas criadas pelo governo federal nesse sentido foi o Plano Nacional de Gestão de Riscos e Respostas a Desastres Naturais (PPA 2012 – 2015), que abrange questões relacionadas ao mapeamento, prevenção, monitoramento, alerta e resposta.

Nesse contexto, o trabalho em questão é parte do projeto “Elaboração de cartas geotécnicas de aptidão à urbanização frente aos desastres naturais no Município de Ouro

Preto, MG”, que envolve a elaboração de carta geotécnica em escala de planejamento (1:25.000).

O projeto foi desenvolvido em parceria com o Ministério das Cidades, com o intuito de estabelecer conceitos e métodos para a elaboração de cartas geotécnicas voltadas à aptidão urbana, de forma a prevenir os desastres naturais, principalmente àqueles relacionados a deslizamentos de encostas, corridas de massa, enxurradas, inundações bruscas e graduais, além de processos hidrológicos e geológicos correlatos. Particularmente, este estudo foi desenvolvido na bacia do rio Maracujá, situada no município de Ouro Preto, cujo objetivo foi a elaboração de carta geotécnica de aptidão, na escala de planejamento urbano (1:25.000), tendo como base a análise de suscetibilidade do meio físico aos processos geodinâmicos, em decorrência da ocupação urbana atual ou futura.

A relevância deste estudo está na possibilidade de testar e colocar em discussão procedimentos para a elaboração de carta geotécnica de aptidão urbana. No Brasil, embora diferentes propostas metodológicas de cartografia geotécnica tenham sido apresentadas (algumas inclusive já consolidadas) é recente a discussão de metodologias para o planejamento urbano voltadas para a prevenção de desastres naturais no país. Assim, a pesquisa visou fornecer diretrizes ao poder público municipal para o planejamento da expansão urbana.

2. ÁREA DE ESTUDO

O trabalho foi desenvolvido na bacia hidrográfica do rio Maracujá, localizada no município de Ouro Preto – MG (Figura 1).

Essa região foi escolhida por englobar distritos importantes, onde o processo de expansão já está em andamento, com destaque para Cachoeira do Campo, Amarantina e Santo Antônio do Leite, fazendo-se necessários estudos

para o planejamento da ocupação urbana. Além disso, a bacia é cortada transversalmente pela BR-356, principal acesso do município à capital do estado, Belo Horizonte, e tem suas principais vias de acesso em boas condições.

Outro fator relevante para a escolha da bacia consistiu nos aspectos do meio físico, uma vez que a maior parte da área é formada

por relevo de mar-de-morros esculpido sobre rochas do embasamento cristalino, a partir do qual se desenvolve espesso manto de alteração. Estas características são a realidade de grande parte do sudeste brasileiro, o que permite que os procedimentos desenvolvidos neste estudo possam ser replicados em outras áreas semelhantes.

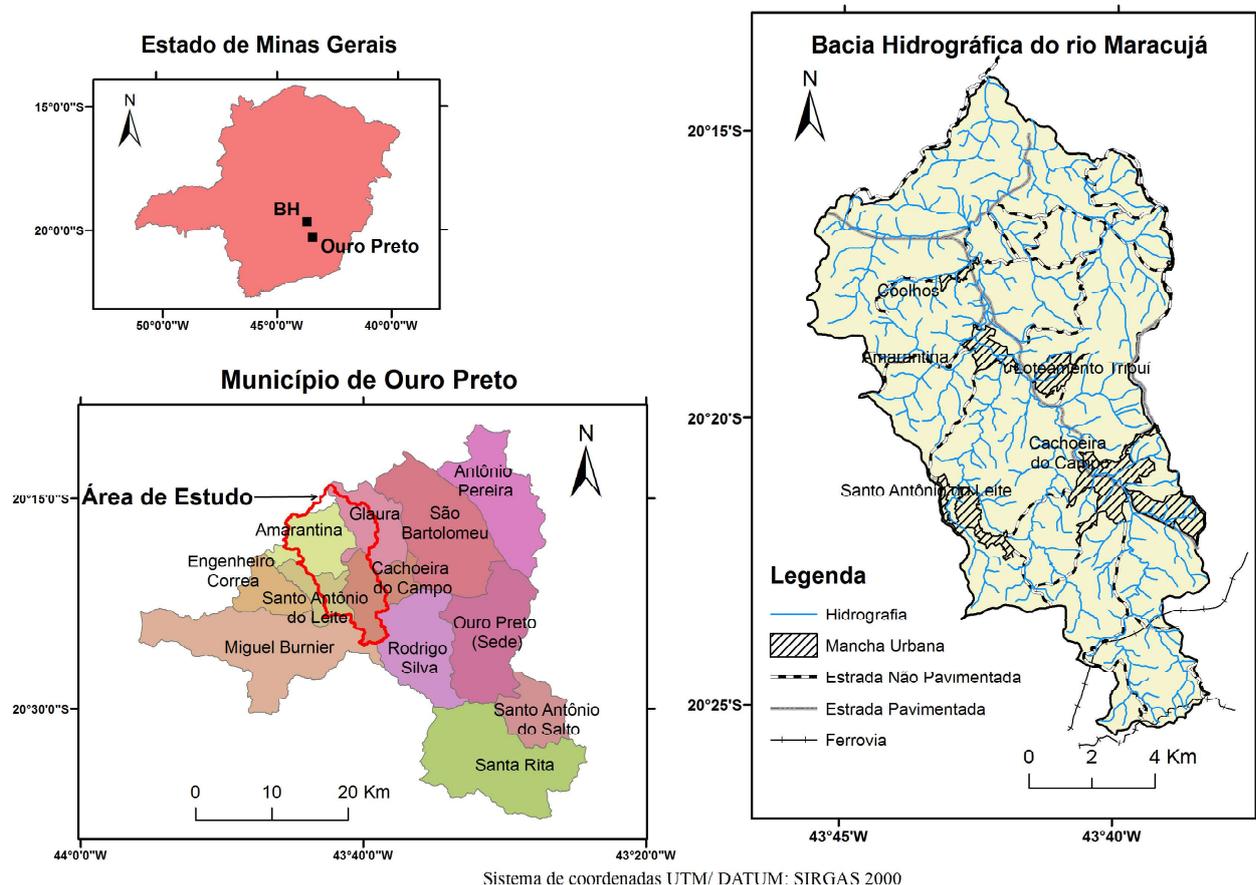


Fig. 1 – Localização da área de estudo – Bacia hidrográfica do rio Maracujá.

2.1 Hidrografia

O rio Maracujá é tributário do rio das Velhas, que por sua vez é afluente do rio São Francisco. As cabeceiras dos principais córregos que formam a bacia hidrográfica localizam-se na parte sul, na Serra do Catete. O padrão geral da drenagem é dendrítico, desenvolvido, principalmente, no médio e baixo curso sobre as rochas do embasamento cristalino, com formação de planícies de inundação nos principais cursos com canais meandantes (SOBREIRA, 1998). O rio Maracujá drena a região na direção norte-noroeste.

2.2 Geologia

Inserida no centro-sul do Quadrilátero Ferrífero, que possui importantes jazidas de ferro

e ouro do Brasil, a área de estudo é formada por quatro unidades geológicas (Figura 2): embasamento cristalino (Complexo do Bação), Supergrupos Rio das Velhas e Minas e Sedimentos Quaternários.

O Complexo Bação consiste de rochas gnássico-migmatíticas de idade arqueana, com composição tonalítico-trondjemítica a granodiorítica, estruturadas em forma de um domo, circundado por rochas metassedimentares dos Supergrupos Rio das Velhas e Minas (GOMES, 1986). Também ocorrem intrusões de granitóides de composição granodiorítica e granítica (ENDO, 1997). O bandamento gnássico é a principal estrutura planar das rochas do embasamento cristalino, com espessura

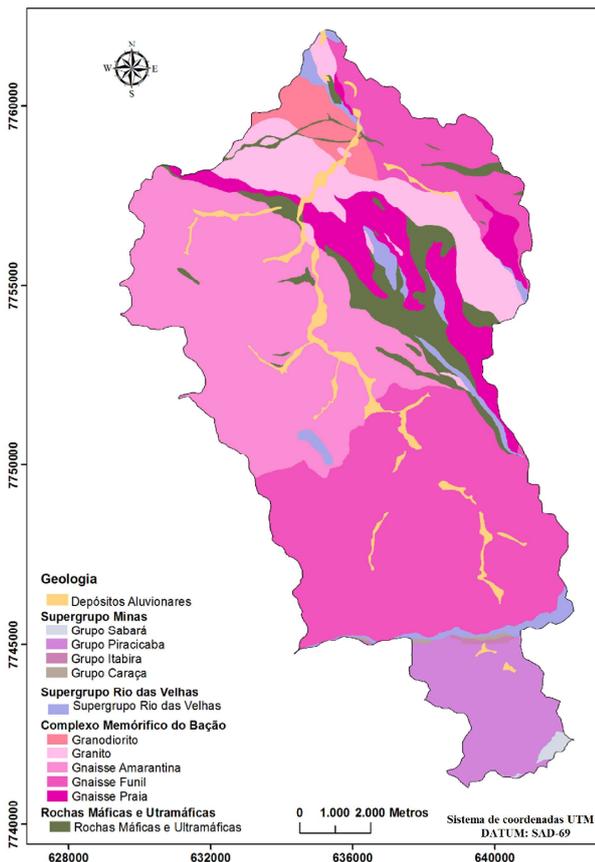


Fig. 2 - Mapa geológico da área de estudo. Fonte: Mapeamento geológico do Bação (1:10.000), adaptado de Campos (2006).

milimétrica a centimétrica, formado por bandas félsicas, constituídas por quartzo e feldspato, e bandas máficas, compostas basicamente por biotita (BACELLAR, 2000).

As rochas aflorantes do Supergrupo Rio das Velhas, de idade arqueana, correspondem a xistos, rochas máficas e ultramáficas (ENDO, 1997), que ocorrem em uma faixa de direção, interior. As rochas que compõem o Supergrupo Minas (Paleoproterozoico), na região são, principalmente, xistos e, subordinadamente, formações ferríferas bandadas, quartzitos e quartzitos ferruginosos (DORR, 1969), que ocorrem no alto curso da bacia. A principal estrutura planar das rochas metassedimentares desses grupos é a xistosidade. E, por fim, coberturas coluviais e sedimentos aluviais formam os depósitos quaternários da região.

2.3 Geomorfologia, solos e aspectos geotécnicos

Na parte sul da bacia hidrográfica, sobre as rochas metassedimentares dos Supergrupos Rio das Velhas e Minas, os afloramentos rochosos

são recorrentes e a cobertura de solo pouco espessa, predominando neossolos litólicos e, secundariamente, cambissolos. As altitudes variam de 1100 a 1400 m, e as declividades são acentuadas (Figura 3). Já no médio e baixo curso da bacia, correspondente à grande parte da área de estudo, sobre as rochas do embasamento cristalino (Complexo do Bação), desenvolvem-se espessos pacotes de solo, principalmente latossolos e argissolos nas vertentes, com exceção de alguns locais restritos, onde afloram granitóides, sobre os quais é comum a ocorrência de cambissolos e neossolos litólicos. O relevo de mar-de-morros é predominante com altitudes abaixo de 1150 m e declividades mais suaves.

Um perfil típico de solo desenvolve-se sobre as rochas do Complexo do Bação, formado por solos lateríticos, com espessuras de até 6 m (horizonte B), e saprolíticos (horizonte C) bastante espessos, frequentemente ultrapassando 15 m (SOBREIRA, 1998). A passagem do horizonte B para o C é perceptível pela mudança de cor (tende a ser alaranjada no horizonte B e róseo no C), pela diferença de erodibilidade (o saprólito é visivelmente mais erodível que o laterítico, sendo intensamente recortado por sulcos) e pela textura (mais argilosa no horizonte B) (PARZANESE, 1991).

Valores correspondentes ao índice de resistência à penetração do SPT (*Standard Penetration Test*), obtidos por Bacellar (2000) permitem avaliar os solos derivados do gnaíse Funil e Amarantina (pertencentes ao Complexo do Bação) como de boa capacidade de carga. Os ensaios de estabilidade de agregados (PARZANESE, 1991; BACELLAR, 2000; SANTOS, 2001; MORAIS, 2003), inderbitizen (SANTOS, 2001), de penetração saturada ao cone (MORAIS, 2003; BACELLAR, 2000), de desagregação de blocos (BACELLAR, 2000; SILVA, 2000) e de furo de agulha (SILVA, 2000) demonstraram que os solos lateríticos são pouco erodíveis, estáveis e resistentes à erosão laminar e por *piping*.

Em contrapartida, os solos saprolíticos foram classificados como medianamente a pouco agregados e suscetíveis à erosão por *piping*, a partir de ensaios de estabilidade de agregados (BACELLAR, 2000; PARZANESE, 1991) e de furo de agulha (SILVA, 2000; MORAIS, 2003).



Fig. 3 - A e B representam o setor sul da área, com relevo mais declivoso e solos pouco espessos. C e D representam o baixo e médio curso da bacia, com relevo de mar-de-morros e solos bastante espessos.

2.4 Processos geológicos e questões ambientais

Na bacia do rio Maracujá, sobretudo na porção sudoeste, chama a atenção à concentração de processos erosivos acelerados sobre o espesso manto de alteração do Complexo Bação, estando a paisagem intensamente recortada por ravinas e voçorocas, como também por antigas formas erosivas (anfiteatros). Entretanto, em estudos realizados por Sobreira (1998, 2000), das 109 feições erosivas cadastradas na região, apenas 14 foram consideradas ativas, onde a ação das águas subterrâneas era expressiva, estando grande parte estabilizada ou caminhando para a estabilização.

Os principais processos que ocorrem no interior das voçorocas são resultantes da ação conjunta das águas superficiais e subterrâneas, sendo eles (SOBREIRA, 1998; 2000): caneluras e sulcos; escorregamentos; erosão interna; solapamento; queda dos taludes; rastejo, que se desenvolve sobre o material escorregado e transportado para o interior das feições, o qual frequentemente encontra-se saturado devido ao afloramento do nível freático; e assoreamento dos canais de drenagem próximos às erosões ativas, em virtude da geração de carga sedimentar considerável.

As erosões desenvolvem-se preferencialmente em anfiteatros (que representam cicatrizes erosivas) reafeiçoados por rampas de colúvio e preenchidos por depósitos de argila com matéria orgânica em sua porção central (BACELLAR *et al.*, 2005). Esses anfiteatros são locais de vulnerabilidade e devem ser considerados no planejamento territorial, uma vez que podem ocorrer fluxos de lama e reativação do voçorocamento, como demonstram estudos realizados por Bacellar e Sobreira (1999).

Movimentos de massa em encostas não são comuns na região da bacia, não sendo observadas muitas cicatrizes de escorregamento. De forma semelhante, afloramentos rochosos não são frequentes na área, exceto na parte sul, onde podem desencadear movimentação de blocos e, quando da cobertura de solo pouco espessa, escorregamentos do tipo planar.

O processo hidrológico mais frequente é a enxurrada, que ocorre em alguns canais fluviais, caracterizada pela rápida elevação e restabelecimento do nível das águas. Isto ocorre porque as planícies e os terraços fluviais não são muito extensos, haja vista que a bacia situa-se no alto rio das Velhas, onde as declividades dos

canais são acentuadas.

Locais de degradação ambiental são encontrados no sul da área de estudo, resultado de atividades de mineração antiga de extração de topázio, cuja topografia alterada torna o terreno suscetível ao desenvolvimento de processos geodinâmicos de origem antrópica (erosões, movimentos de massa, geração de sedimentos e assoreamento).

2.5 Uso e ocupação do solo

Na área da bacia, os usos do solo estão relacionados a atividades agrícolas em pequenas propriedades, destinadas ao comércio local; à agropecuária, de maneira mais restrita; e à mineração, constando, atualmente, de uma mineradora em atividade e

um garimpo desativado. Porém, o uso do solo que mais se destaca é a ocupação urbana, sendo perceptível o adensamento nos núcleos urbanos de alguns distritos, como Cachoeira do Campo, Amarantina e Santo Antônio do Leite, no sentido de absorver a demanda por áreas residenciais, escassa na sede do município.

A prestação de serviços e comércio nas áreas urbanas dos distritos é uma atividade econômica forte, com destaque para Cachoeira do Campo.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a elaboração do Mapa de Aptidão à Urbanização, inicialmente foram levantados os mapas e imagens orbitais já existentes da área de estudo e realizado um reconhecimento de campo preliminar, o que possibilitou a identificação dos principais processos geodinâmicos que representam problemas para fins de ocupação urbana, na escala de planejamento urbano (1:25.000), bem como a definição da logística dos trabalhos de campo.

Após essa fase inicial, foi realizada a preparação da base cartográfica e geração dos produtos cartográficos, com base nos condicionantes dos processos geológicos identificados na bacia hidrográfica.

A Figura 4 apresenta um fluxograma com as etapas desenvolvidas no estudo.

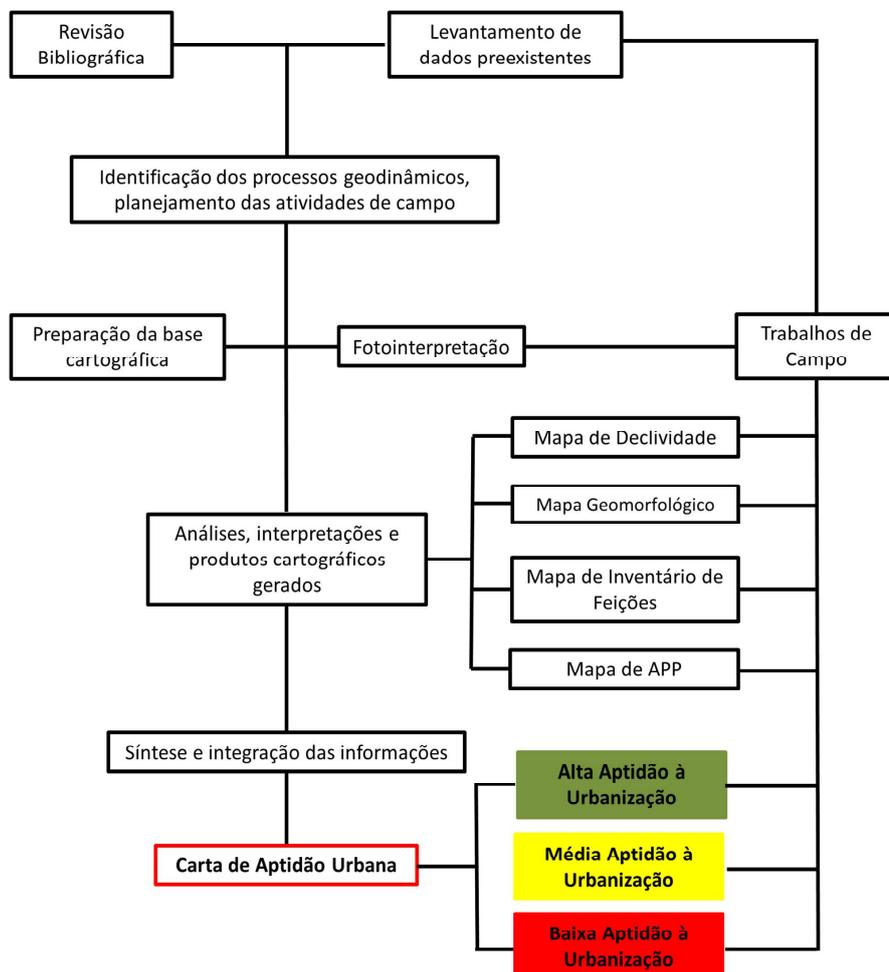


Fig. 4 - Esquema metodológico para elaboração da Carta de Aptidão à Urbanização.

3.1 Preparação da base cartográfica e produtos cartográficos produzidos

A base cartográfica foi preparada em ambiente SIG, na plataforma *ArcGis 9.3*, por meio da digitalização de quatro folhas topográficas que recobrem a área de estudo, todas em escala 1:25.000: SF23-X-A-III-3-NE – Itabirito, SF-23-X-A-III-4-NO – Cachoeira do Campo, SF-23-X-A-III-4-SO – Dom Bosco, executadas pela Diretoria do Serviço Geográfico do Exército (DSG); e SF23-E-I-2-SO – Rio de Pedras, do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM). A digitalização abrangeu as curvas de nível, pontos cotados, curso d'água e estradas.

Foram incluídas na plataforma imagens orbitais IKONOS, de 2006, com resolução espacial pancromática de 1 m e multiespectral de 4 m, e resolução radiométrica de 11 bits (2048 níveis de cinza), cedidas pela Prefeitura Municipal de Ouro Preto. Também foram utilizadas imagens Google Earth.

Ainda agregou-se ao sistema o mapa geológico, em escala 1:10.000, adaptado de Campos (2006), acrescido das planícies de inundação, interpretadas e delimitadas a partir de fotografias aéreas e validação de campo.

Simultaneamente à preparação da base cartográfica foram realizados os trabalhos de fotointerpretação, a partir de fotografias aéreas em escalas 1:30.000 (1986), cedidas pela CEMIG, e 1:25.000 (1949), cedidas pelo Laboratório de Sensoriamento Remoto da UFOP/DEGEO. Estas imagens possibilitaram uma análise temporal da ocupação da área e a observação de locais hoje ocupados ou modificados pela ação do homem. A fotointerpretação teve como objetivo final estabelecer o zoneamento da área por meio da técnica de avaliação do terreno, baseada no reconhecimento, interpretação e análise das formas de relevo (landforms) (MAURO & LOLLO, 2004).

Elaborou-se um inventário de processos, obtido a partir do reconhecimento de campo, dos trabalhos de fotointerpretação aliado a análises de imagens orbitais e informações da Defesa Civil. Como as erosões lineares aceleradas e os processos hidrológicos (inundação e enxurrada) são os principais fenômenos presentes na área, o

cadastro se restringiu à delimitação das feições erosivas atuais e passadas, e das planícies de inundação. As cicatrizes de escorregamento não foram consideradas devido à falta de registros de ocorrências, assim como de imagens que possibilitassem uma análise temporal e pela própria dificuldade de se identificar cicatrizes antigas em campo.

Com a base cartográfica montada, outros documentos foram gerados, tendo em vista os condicionantes dos processos geológicos ocorrentes, mapeáveis na escala 1:25.000. Assim, foram elaborados: mapa de declividade; mapa geomorfológico; mapa de inventário de feições; e mapa de Áreas de Preservação Permanente (APP).

Não foi gerado um mapa de materiais inconsolidados, haja vista o prazo relativamente curto para a execução do projeto; entretanto, tal limitação foi parcialmente suprida com dados de pesquisas realizadas anteriormente na Bacia do Maracujá, como também por observações feitas em campo. Todavia, ressalta-se que, se houver meios, é importante sua realização para a obtenção de um produto cartográfico mais preciso.

3.2 Trabalhos de campo

Os trabalhos de campo foram realizados basicamente em três etapas. A primeira objetivou o reconhecimento da área, a identificação dos processos geodinâmicos atuantes na bacia, e definição dos procedimentos a serem seguidos para a elaboração da Carta de Aptidão Urbana.

Em uma segunda fase, os trabalhos de campo foram intensificados, com o intuito de coletar informações e validar os produtos cartográficos intermediários produzidos (mapas de declividade, geomorfológico e de inventário de feições). Ao todo foram investigados 72 pontos, nos quais se analisaram aspectos relativos à geomorfologia, geologia, materiais inconsolidados e processos geodinâmicos, a partir de uma abordagem sintética.

Com a elaboração do Mapa de Aptidão Urbana preliminar, retomaram-se os trabalhos de campo, em uma terceira etapa, que teve o objetivo de ajustá-lo com a verificação dos limites das unidades estabelecidas em relação à realidade da bacia hidrográfica.

3.3 Elaboração do Mapa de Aptidão à Urbanização

Os dados obtidos a partir dos mapas básicos e intermediários, bem como de trabalhos de campo, foram integrados em único documento cartográfico preliminar e as unidades de aptidão foram estabelecidas segundo o critério de exclusão, que consiste em desconsiderar, para fins de ocupação urbana, áreas que apresentam graves restrições em relação a aspectos geológicos, geomorfológicos, ambientais e legais. Mediante investigações de campo, os limites das unidades foram ajustados, sendo gerado o mapa final.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A carta de Aptidão à Urbanização teve como base a análise de suscetibilidade da área aos processos geológicos e o comportamento geotécnico do terreno segundo sua aptidão em sediar empreendimentos urbanos. Na avaliação, foram considerados fatores do meio físico que exercem influência sobre tais processos, tomando como base os seguintes aspectos: litológicos, cuja análise foi realizada, principalmente, a partir do mapa geológico (extraído de CAMPOS, 2006); geomorfológicos, sendo considerados os mapas de declividade e geomorfológico; ambientais; legais, levando-se em consideração restrições estabelecidas por leis e recomendações técnicas; geotécnicos; e pedológicos.

4.1 Litologia

Com base na técnica de avaliação do terreno (MAURO & LOLLO, 2004), foram identificados dois setores distintos quanto aos aspectos geomorfológicos, geológicos e pedológicos. O primeiro corresponde ao alto curso da bacia hidrográfica, setor sul, e o segundo, ao médio e baixo curso.

O setor sul é fortemente controlado pela estruturação das rochas metassedimentares dos Supergrupo Rio das Velhas e Minas, que condicionam um relevo bastante acidentado, com solos pouco espessos e afloramentos rochosos recorrentes. Os filitos, xistos, quartzitos e itabiritos que ocorrem nesta área têm como estrutura planar predominante a xistosidade.

Tal estruturação predispõe o terreno a escorregamentos planares, caso haja episódios chuvosos de maior magnitude, e à movimentação

de blocos rochosos (quedas, rolamentos e tombamentos), oferecendo, assim, empecilhos para a ocupação urbana.

Dessa forma, a geologia teve papel preponderante na análise de suscetibilidade aos processos geológicos e do comportamento geotécnico dessa porção da área de estudo (setor sul), enquanto que, no médio e baixo curso da bacia, os solos e os aspectos geomorfológicos tiveram uma influência maior na avaliação do terreno para a urbanização.

4.2 Aspectos geotécnicos e solos

Para a avaliação das características dos solos e aspectos geotécnicos do terreno considerou-se dados de ensaios e sondagens realizadas em trabalhos anteriores e também observações feitas em campo.

Verificou-se, de forma geral, que os solos desenvolvidos sobre as rochas do Complexo do Bação apresentam boas características geotécnicas em relação ao suporte de carga e erodibilidade. Todavia, no processo de ocupação urbana deve-se evitar a remoção do solo laterítico (horizonte B), em virtude de sua maior resistência à erosão em relação ao saprolítico (horizonte C).

É fundamental que as antigas formas erosivas (anfiteatros) sejam levadas em consideração no estudo da ocupação do meio físico, para evitar futuros acidentes, uma vez que estes locais podem conter depósitos de argila com matéria orgânica, e, conseqüentemente, desencadear corridas de lama.

Os neossolos flúvicos, por apresentarem variações texturais (intercalações de camadas argilosas, arenosas e, por vezes, cascalhosas), têm características geotécnicas heterogêneas, além da baixa profundidade do nível freático, apresentando problemas potenciais para fundações e, assim, à estabilidade dos cortes. Portanto, são locais não indicados para a ocupação urbana.

4.3 Geomorfologia

A declividade foi um dos fatores preponderantes para a avaliação dos terrenos à aptidão urbana. Os setores com declividades acima de 25° (aproximadamente 45%) estão sujeitos à ocorrência de escorregamentos planares, quedas, rolamentos, tombamentos de blocos, com maior suscetibilidade a processos

erosivos, principalmente quando da intervenção antrópica inadequada. Dessa forma, declividades acima deste limite impõem sérios empecilhos à ocupação urbana.

Terrenos com declividades de até 15° são pouco propensos a desenvolverem movimentos de massa; assim, este limite foi considerado como máximo para a ocupação de encostas, sendo inclusive conservador em relação à Lei Federal Nº 6766/1979, também conhecida como Lei Lehmann (BRASIL, 1979), que estabelece 17° como limite máximo. Dentro do intervalo de declividade considerado (0-15°), a exceção se faz às planícies de inundação e aos locais de ocorrência das grandes feições erosivas. As planícies de inundação, por estarem sujeitas aos processos hidrológicos de inundação e enxurrada na área de estudo (por ocasião de eventos pluviométricos intensos), oferecem problemas à expansão urbana.

Os locais com declividades entre 15° e 25° podem desencadear movimentos de massa nas encostas, portanto, devem ser ocupados com apoio de projetos especiais, conforme a Lei Federal 6766/1979 (BRASIL, 1979).

4.4 Produtos cartográficos produzidos

Para o desenvolvimento das análises foram gerados os seguintes produtos cartográficos: mapa de declividades, mapa geomorfológico, inventário das feições erosivas, mapa de áreas de preservação permanente. A integração e análise destes temas proporcionaram a elaboração da carta de aptidão à urbanização.

4.4.1 Mapa de Declividade

Os critérios utilizados na definição das classes de declividade foram fundamentados na legislação, Lei Federal 6766/1979 (BRASIL, 1979) e Código Florestal (BRASIL, 2012), bem como em trabalhos como Cunha (1991) e Marsh (1978), tendo-se em vista a ocupação urbana:

- 0° – 5°. Áreas mais planas que podem sofrer influência direta dos corpos d'água (terraços fluviais e planícies de inundação), além de topos de morros aplainados;

- 5° – 15°. Áreas onde a inclinação das encostas não significa grande empecilho à ocupação. O limite superior de 17° (aproximadamente 30%) representa uma restrição legal definida pela Lei Federal 6766/1979 (BRASIL, 1979);

- 15° – 25°. Áreas mais inclinadas, cuja ocupação é condicionada a execução de estudos geológico-geotécnicos, conforme a Lei Federal 6766/1979 (BRASIL, 1979). A declividade máxima de 25° representa o limite técnico recomendável à ocupação, a partir do qual são necessárias infraestruturas que incidem custos extremamente elevados aos projetos de expansão urbana (CUNHA, 1991). Marsh (1978) considera o valor de 25° o limite para intervenções, a partir do qual, se eliminada a cobertura vegetal, os terrenos passam a apresentar maior suscetibilidade ao desenvolvimento de processos erosivos e movimentação de massas;

- 25° – 45°. Áreas muito inclinadas, desaconselháveis à ocupação com base no princípio da precaução. O Código Florestal (BRASIL, 2012) considera áreas entre 25° e 45° como de uso restrito, permitindo o manejo florestal sustentável e o exercício de atividades agrossilvipastoris, bem como a manutenção da infraestrutura física associada ao desenvolvimento das atividades, observadas boas práticas agrônômicas, sendo vedada a conversão de novas áreas, excetuadas as hipóteses de utilidade pública e interesse social;

- > 45°. Áreas altamente inclinadas, com potencialidade em sediar diferentes eventos geodinâmicos de grande magnitude. O limite de 45° ou 100% de declividade representa uma restrição legal definida pelo Código Florestal como Área de Preservação Permanente (APP) (BRASIL, 2012).

Na Figura 5 é apresentado o mapa de declividade, com as respectivas classes consideradas no estudo.

4.4.2 Mapa Geomorfológico

O mapa geomorfológico (Figura 6) foi elaborado a partir do sistema de classificação de Ponçano (1979). Este sistema apresenta cinco unidades de relevo, tendo como base o cruzamento de amplitudes, com valores referenciais de 100 e 300 m, e declividades, abaixo e acima de 15°.

Embora tenha se adotado o sistema de classificação de relevo de Ponçano (1979) para a geração do mapa geomorfológico, no Mapa de Aptidão Urbana foi utilizada a nomenclatura de Florenzano (2008), por se considerar de mais fácil entendimento por parte de não

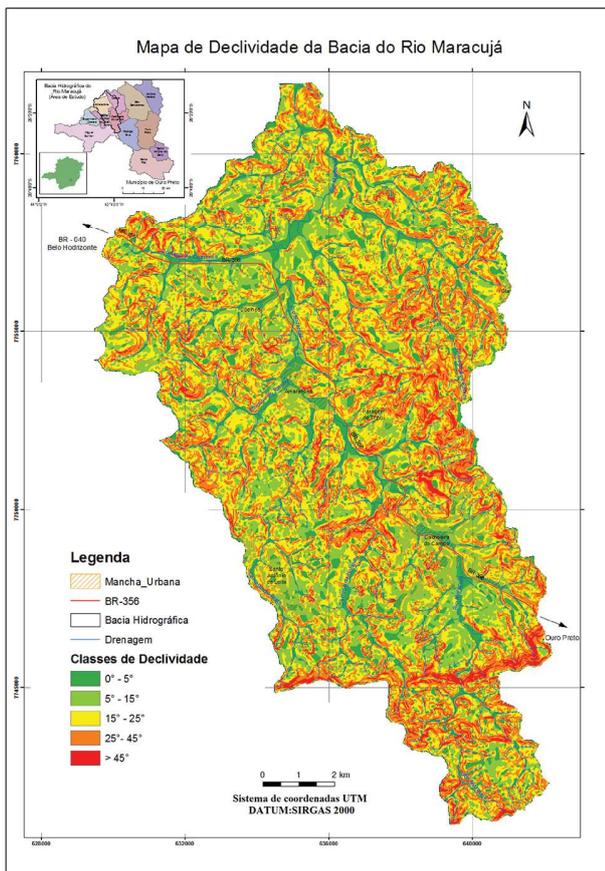


Fig. 5 - Mapa de declividade da área de estudo.

especialistas, já que os principais usuários para os quais este produto é indicado são os gestores públicos. Assim, as classes de relevo empregadas foram: relevo plano (planícies e terraços); suave ondulado (colinoso); ondulado (morros e morrotes); fortemente ondulado (morros e serras); montanhoso (montanhas e serras).

A partir da análise do mapa geomorfológico, juntamente com o mapa de inventário de feições, percebeu-se que as feições erosivas atuais e formas antigas (anfiteatros) concentram-se na classe de relevo de morrotes, a qual apresenta declividade superiores a 15° e amplitudes menores que 100 m. Utilizou-se esta classe como geoindicador da suscetibilidade do terreno à erosão e corrida de lama, já que, conforme Bacellar (2000), a base dos anfiteatros podem conter depósitos de argila com matéria orgânica. Dessa forma, os locais onde ocorrem a classe de relevo de morrotes, por estarem sujeitos a desenvolverem processos erosivos acelerados e corridas de lama, apresentam empecilhos à instalação de empreendimentos urbanos.

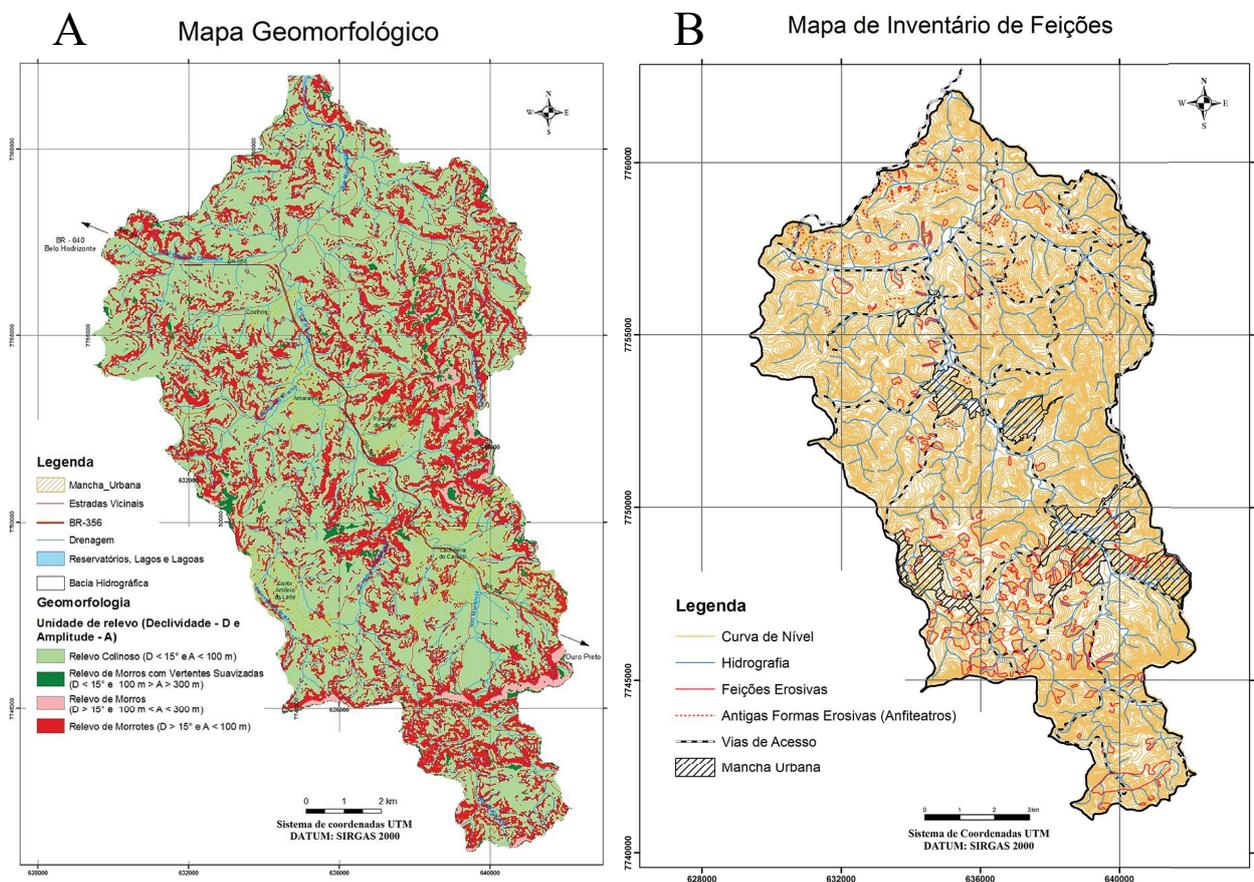


Fig. 6 - A = Mapa geomorfológico; e B = mapa de inventário de feições erosivas da área de estudo.

4.4.3 Mapa de Inventário de Feições

No mapa de inventário de feições (Figura 6) constam voçorocas e anfiteatros, predominantes na área de estudo. Assim, devido à instabilidade dos terrenos onde ocorrem as feições erosivas, sujeitos aos movimentos de massa, e à possibilidade de desencadeamento de corrida de lama nos anfiteatros, estes locais apresentam graves restrições à ocupação urbana.

4.4.4 Mapa de Áreas de Preservação Permanente

As Áreas de Preservação Permanente (APP) foram definidas a partir do Código Florestal, Lei Federal 12.651 (BRASIL, 2012), entretanto, somente a APP de topo de morro foi inserida na carta de aptidão urbana.

As Áreas de Preservação Permanente relativas aos cursos d'água e nascentes não foram representadas na carta, já que na escala de trabalho (1:25.000) não acrescentariam muito em termos de informação visual (2,8 mm para as APPs de drenagem e 1,3 mm para nascentes). Destaca-se que embora os cursos d'água não estejam delimitados como APP na carta final, estes foram considerados como áreas de baixa aptidão à urbanização, sendo incluídos na análise das áreas suscetíveis a inundações.

A APP de declividade também não está delimitada na carta de aptidão, uma vez que foi incorporada na análise de áreas passíveis a movimentos de massa, as quais apresentam declividades superiores a 25° e amplitudes acima de 100 m, sujeitas, principalmente, a escorregamentos, quedas, tombamentos e rolamentos de material rochoso, consideradas como áreas de baixa aptidão à ocupação urbana.

Assim, na carta final, constam somente as Áreas de Preservação Permanente de topos de morros, montes, montanhas e serras.

As APPs de topo de morro, geralmente, apresentam boas condições geotécnicas e de estabilidade para a ocupação urbana. Como pelo Código Florestal (Brasil, 2012) estas áreas podem ser suprimidas nos casos de utilidade pública ou de interesse social, os topos não foram considerados como excludentes nas

análises de aptidão à urbanização, sendo, porém, representados na carta final como informação orientadora.

4.4.5 Carta de Aptidão à Urbanização (1:25.000)

A partir das avaliações que tiveram como base os fatores litológicos, geomorfológicos, ambientais e legais, foram definidas as unidades de aptidão, utilizando-se o critério de exclusão, sendo desconsideradas para fins de ocupação urbana áreas que apresentaram graves restrições:

- setores de ocorrência ou suscetíveis aos processos geodinâmicos (erosões aceleradas, inundações e enxurradas);
- terrenos com declividades acima de 25° (45%);
- áreas degradadas por mineração atual e passada.

Assim, os locais que apresentaram pelo menos uma dessas restrições foram desconsiderados, devido ao seu baixo potencial para receber empreendimentos urbanos, sendo classificados como unidades de baixa aptidão à urbanização. Xavier e Bastos (2010) propõem para otimização de estudos geotécnicos em regiões costeiras, a exclusão de áreas com restrições para ocupação urbana, direcionando análises geotécnicas para aquelas que apresentam potencialidade, evitando-se assim, análises desnecessárias em locais com baixo potencial à urbanização.

Nessa mesma linha, Ullah e Mansourian (2016) analisaram a aptidão do terreno (em Daca, Bangladesh) para o planejamento da ocupação urbana, apontando áreas onde poderia ser permitido o desenvolvimento da urbanização e, portanto, deveria ser alvo de estudos geotécnicos de detalhe, e locais onde o desenvolvimento deveria ser restrito.

Por outro lado, foram definidas como áreas de alta aptidão à urbanização àquelas que não apresentaram restrições quanto aos processos geodinâmicos (passíveis de serem mapeáveis na escala considerada), à declividade e à degradação ambiental, mas possuíam, necessariamente, declividades inferiores a 17° (30%) – limite estabelecido pela Lei 6766/1979 (BRASIL, 1979).

Os terrenos com características intermediárias entre essas duas unidades (baixa e alta aptidão) foram classificados como de média aptidão à urbanização. Consistem de áreas fora das zonas de ocorrência dos processos erosivos, de inundação e enxurrada, mas que devido à declividade, entre 17° a 25° (30% a 45%), podem sediar movimentos de massa nas encostas. Dessa forma, são terrenos que podem ser ocupados, porém com restrições, devendo ser submetidos a estudos geotécnicos de detalhe.

Após a elaboração do Mapa de Aptidão à Urbanização preliminar, realizaram-se trabalhos de campo para sua validação e ajuste, resultando no Mapa de Aptidão à Urbanização com suas respectivas unidades.

4.5 Unidades de aptidão urbana

As classes de aptidão urbana estabelecidas, considerando loteamentos e implantação de bairros com todos os equipamentos públicos necessários ao seu funcionamento, foram: áreas com alta aptidão à urbanização; áreas com média aptidão à urbanização; e áreas com baixa aptidão à urbanização.

4.5.1 Áreas com Baixa Aptidão à Urbanização

As áreas com baixa aptidão à urbanização foram definidas com base em critérios distintos, a saber: geomorfologia, ocorrência de processos erosivos, suscetibilidade a movimentos de massa e atividades de mineração atuais e passadas. A análise de tais critérios originou quatro subclasses, descritas a seguir.

4.5.1.1 Planícies de Inundação

São constituídas por solos aluvionares, saturados, formados pela intercalação de níveis argilosos, arenosos e cascalhosos, com grande variedade textural, mineralógica e de espessura (PASTORE e FONTES, 1998). Tais características conferem ao terreno heterogeneidades geotécnicas, com problemas potenciais para fundação e corte. Essas áreas, com baixas declividades, inferiores a 5%, e nível freático raso, estão sujeitas a solapamento das margens dos canais, enxurradas e enchentes,

quando da ocorrência de eventos pluviométricos intensos (fato comprovado pelas ocorrências registradas pela Defesa Civil de Ouro Preto, como por exemplo, nos anos de 2012 e início de 2013, no distrito de Amarantina). São locais com vocação para o desenvolvimento de atividades agrícolas.

4.5.1.2 Feições erosivas e anfiteatros

Representada pelas ravinas, voçorocas e anfiteatros. Grande parte encontra-se entre os distritos de Cachoeira do Campo e Santo Antônio do Leite, na porção sudoeste da área. As erosões e anfiteatros desenvolvem-se em solos espessos, predominantemente latossolos, em relevo suave a suave ondulado, com amplitudes baixas (inferiores a 100 m) e declividades variáveis (maiores que 25% nos taludes, suavizando em direção às zonas de deposição, onde o nível freático é raso).

No interior das feições ocorrem movimentos de massa, tais como: escorregamentos; rastejos; solapamento das bordas; erosão superficial; e sedimentação a jusante. Os anfiteatros são antigas formas erosivas reafeiçoadas, cujo interior, frequentemente, apresenta argilas com matéria orgânica (BACELLAR, 2000). A presença de argila e matéria orgânica torna o terreno suscetível a problemas de fundação e recalques.

Apesar de apresentarem baixa aptidão a empreendimentos urbanos, possuem vocação para ocupação esparsa, como chácaras, residências isoladas, etc., desde que resguardada uma distância segura dos taludes erodíveis (maior que 60 m).

4.5.1.3 Áreas propensas à ocorrência de movimentos de massa

São locais onde predominam solos rasos (cambissolos e neossolos litólicos) e, por vezes, afloramentos rochosos. O relevo é ondulado a fortemente ondulado, com declividades e amplitudes, respectivamente, acima de 45% (25°) e 100 m. Possuem nível freático profundo.

Segundo Carvalho e Galvão (2006), amplitudes e declividades elevadas associadas a esse tipo de solo são as principais condições

do relevo que propiciam o desenvolvimento de escorregamentos planares nas encostas serranas do Brasil. Portanto, este é o principal processo geodinâmico que pode ser desencadeado, por ocasião de precipitações pluviométricas intensas e/ou prolongadas nesses setores da bacia. Além disso, podem ocorrer quedas, rolamentos e tombamentos de blocos nas áreas de afloramentos rochosos. Apresentam potencial para conservação e preservação.

4.5.1.4 Áreas degradadas pela mineração

São terrenos no entorno de zonas minerárias ou degradadas por atividades passadas. Foram identificadas duas áreas: uma situada no extremo sul da bacia, onde se verificam erosões deflagradas por atividades de extração de topázio – atualmente paralisadas; e uma segunda área, com extração de material rochoso para construção civil (pedreira), localizada nas margens da BR- 356, na chegada do distrito de Amarantina, atualmente em atividade.

São locais com topografia alterada pelas atividades extrativas, sujeitos ao desenvolvimento de processos geodinâmicos de origem antrópica (erosões, movimentos de massa, geração de sedimentos e assoreamento). Essas áreas apresentam vocação para mineração, onde são desejáveis ações visando à reabilitação ambiental.

4.5.2 Áreas com Alta Aptidão à Urbanização

As áreas com maior potencial foram aquelas com solos espessos, principalmente, latossolos e argissolos. Com características geotécnicas favoráveis para fundações e estabilidade de taludes, sem ocorrência de afloramentos rochosos e com nível freático profundo (maior que 10 m). O relevo é suave a suave ondulado, com amplitudes inferiores a 100 m e declividades menores que 30% (17°). Esses setores estão fora das áreas de concentração das grandes feições erosivas ou formas destas resultantes (anfiteatros), com baixo potencial para o desenvolvimento de processos geodinâmicos.

O limite de 30% para declividade é determinado pela Lei Federal Nº 6.766/79 (BRASIL, 1979), que não permite o parcelamento do solo em declividades iguais ou superiores a esta porcentagem, salvo se tiver o atendimento a exigências específicas de autoridades competentes.

4.5.3 Áreas com Média Aptidão à Urbanização

As áreas com características intermediárias entre as duas unidades anteriores foram classificadas como áreas com média aptidão. São terrenos com predomínio de solos espessos, principalmente argissolos e, subordinadamente, cambissolos, com características geotécnicas favoráveis para fundação e estabilidade de taludes, porém com afloramentos rochosos isolados. Apresentam relevo predominantemente suave ondulado, com amplitudes menores que 100 m, declividades entre 30 a 45% (17 a 25°) e nível freático profundo (maior que 10 m). São áreas fora da concentração dos grandes processos erosivos. Para a ocupação desses terrenos se fazem necessários estudos geotécnicos mais detalhados, para a definição de medidas estruturais e não estruturais, preventivas e corretivas a serem aplicadas.

As Figuras 7 e 8 apresentam, respectivamente, o Mapa de Aptidão à Urbanização (1:25.000) e o seu quadro-legenda com as unidades geotécnicas.

5. CONCLUSÕES

A carta de aptidão à urbanização mostrou-se de fato ser um documento claro e objetivo, passível de ser adotado pela gestão pública para a prevenção de desastres naturais no processo de planejamento da expansão urbana de Ouro Preto. Porém, a carta constitui-se em um instrumento de planejamento, ou seja, não aponta soluções para problemas localizados, que devem ser objeto de estudos de maior detalhamento.

Os procedimentos adotados neste trabalho para apontar áreas aptas à ocupação urbana mostraram-se adequados para regiões caracterizadas por rochas cristalinas com cobertura de solos espessos, relevo suave a suave

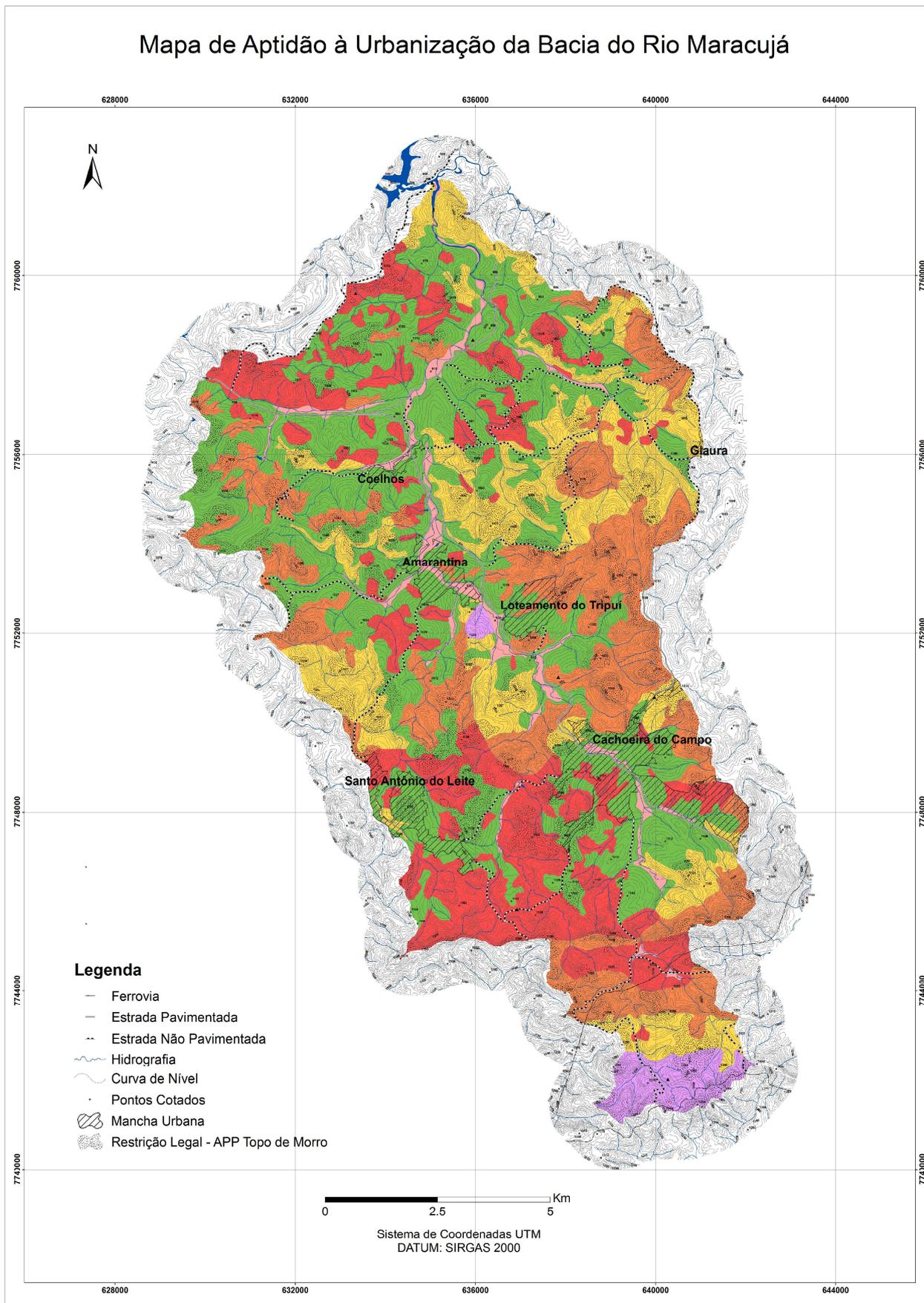


Fig. 7 - Mapa de Aptidão à Urbanização (escala 1:25.000). Ver quadro-legenda na Figura 8.

Aptidão à Urbanização	
Grau de Aptidão	Descrição
Alta Aptidão à urbanização	Terrenos com solos espessos (latossolos e argissolos), com características geotécnicas favoráveis (fundações e estabilidade de taludes), sem afloramentos rochosos. Relevo suave a suave ondulado, amplitudes menores que 100 m e declividades inferiores a 30% (1,7°). Nível freático profundo (maior que 10 m). Áreas sem vestígio de processos erosivos e/ou movimentos de massa.
Média Aptidão à Urbanização	Terrenos com predomínio de solos espessos (preponderância de argissolos e, secundariamente, cambissolos), com características geotécnicas favoráveis (fundações e estabilidade de taludes) e afloramentos rochosos isolados. Relevo suave ondulado, amplitudes menores que 100 m e declividades predominantemente entre 30 a 45% (aproximadamente 17 a 25°). Nível freático profundo (maior que 10 m). Áreas sem vestígio de processos erosivos e/ou movimentos de massa.
Baixa Aptidão à Urbanização	Planícies aluvionares com solos de grandes variações texturais (intercalação de camadas argilosas, arenosas e cascalhosas), com características geotécnicas heterogêneas (problemas potenciais para fundação e instabilidade a cortes). Baixas declividades, menores que 5°. Nível freático raso. Áreas com solapamento nas margens dos canais e ocorrência de enxurradas e enchentes, por ocasião de eventos pluviométricos intensos. Terrenos com vocação para atividades agrícolas.
Baixa Aptidão à Urbanização	Terrenos com grande concentração de processos erosivos (ravinas e voçorocas com diferentes estágios de evolução) e anfiteatros (antigas formas erosivas reafeiçoadas). Solos espessos (predomínio de latossolos). Relevo suave a suave ondulado, com baixas amplitudes (menor que 100 m) e declividades variáveis (maiores que 25% nos taludes, suavizando em direção as zonas de deposição, onde o nível freático é raso). Ocorrência de vários processos no interior das feições erosivas (solapamentos, escorregamentos, rastejos e crosão superficial). Presença frequente de argilas orgânicas nas antigas formas erosivas, em profundidades variáveis. São áreas mais adequadas para ocupação esparsa, como chácaras, residências isoladas, etc., resguardando uma distância segura (maior que 60 m) dos taludes erodíveis.
Baixa Aptidão à Urbanização	Terrenos com predomínio de solos rasos (litólicos) e afloramentos rochosos. Relevo ondulado a fortemente ondulado, amplitudes maiores que 100 m e declividades superiores a 45% (25°). Nível freático profundo. Zonas de recarga. Áreas sujeitas a escorregamentos planares, quedas, rolamentos e tombamentos de blocos. Locais com vocação para preservação e conservação, ocupação esparsa mediante projeto geotécnico.
Baixa Aptidão à Urbanização	Terrenos comprometidos ambientalmente devido às atividades de mineração recentes e passadas. Desenvolvimento de processos geodinâmicos de origem antrópica (erosões, movimentos de massa, geração de sedimentos e assoreamento). Relevo alterado. Áreas com vocação para mineração, onde são desejáveis ações visando à reabilitação ambiental.

Fig. 8 – Quadro-legenda.

ondulado (mar-de-morros). Tais características são típicas de terrenos de grande parte do sudeste brasileiro, portanto, passíveis de replicação em áreas semelhantes às da área de estudo.

O critério de exclusão de áreas com baixa aptidão à urbanização segundo suas características geológicas, geomorfológicas e geotécnicas, desenvolvido na pesquisa, mostrou-se eficiente pelas seguintes características: é direto e de fácil replicação, sem a necessidade de procedimentos mais complexos e com possibilidade de execução em tempo razoavelmente curto.

Um aspecto a ser destacado foi a facilidade de obtenção das principais informações que deram suporte aos estudos (interpretação dos mapas básicos, geração de mapas temáticos, inventário de processos), sem prejuízo da qualidade final do produto cartográfico, as quais foram extraídas do mapa topográfico e de imagens de satélite. Esta facilidade de obtenção das informações básicas corrobora a

replicabilidade do método.

A ausência de um mapa de materiais inconsolidados representou uma limitação no trabalho. Todavia, esta foi, de certa forma, suprida com dados de pesquisas realizadas anteriormente na Bacia do Maracujá, como também por meio de observações realizadas em campo. A elaboração do mapa de materiais inconsolidados mostrou-se inviável, haja vista o tempo relativamente curto para a realização das atividades do projeto. Entretanto, ressalta-se que, se houver meios, é importante sua elaboração para a obtenção de um produto cartográfico mais preciso.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Capes e ao CNPq pela concessão de bolsas de estudo e pesquisa, e ao Ministério das Cidades pelo financiamento do projeto de pesquisa “Elaboração de Cartas Geotécnicas de Aptidão à Urbanização Frente

aos Desastres Naturais no Município de Ouro Preto, MG”.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BACELLAR, L. A. P. **Condicionantes geológicos, geomorfológicos e geotécnicos dos mecanismos de voçorocamento na Bacia do Rio Maracujá, Ouro Preto, MG.** 2000. 226 f. Tese (Doutorado) – Coordenação dos Programas de Pós-graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2000.

BACELLAR, L. A. P.; COELHO NETO, A. L.; LACERDA, W. A. Controlling factors of gulling in the Maracujá Cachment, Southeastern Brazil. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 30, p. 1369-1385, 2005.

BACELLAR, L. A. P.; SOBREIRA, F. G. Depósitos subsuperficiais de argila orgânica em anfiteatros – suscetibilidade a corridas de lama. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 9., 1999, São Pedro. **Anais...** São Pedro: ABGE, 1999. CD ROM, não paginado.

BRASIL, DF, Brasília, Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166- 67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF. 2012. 34 p.

BRASIL, DF, Brasília, Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979. Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras Providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF. 1979. 11 p.

CAMPOS, M. I. B. **Caracterização da deformação frágil e sua relação com os processos de voçorocamento na porção sudeste do Complexo Metamórfico Bação – Quadrilátero Ferrífero, MG.** 2006. 153 f. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Geologia da Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. 2006.

CARVALHO, C. S.; GALVÃO, T. (Org.). **Prevenção de riscos de deslizamentos em**

encostas: guia para elaboração de políticas municipais. Brasília: Ministério das Cidades, 2006. 111 p.

CUNHA, M. A. (Ed.). **Ocupação de Encostas.** São Paulo: IPT, 1991. 216 p.

DORR, J. N. Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. **United States Geological Survey Professional Paper**, Washington, v. 641 – A. 1969. 110p.

ENDO, I. **Regimes tectônicos do Arqueano e Proterozóico do interior da Placa Sul-Africana: Quadrilátero Ferrífero e áreas adjacentes, MG.** 1997. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997. 221p.

FLORENZANO, T. G. Introdução à geomorfologia. In: FLORENZANO, T. G. (Org.). **Geomorfologia conceitos e técnicas atuais.** São Paulo: Oficina de Textos, 2008. p. 11-30.

GOMES, N. S. Determinações geotermométricas e geobarométricas em paragênese de alto grau metamórfico no Complexo do Bação, Quadrilátero Ferrífero, MG. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 34., 1986, Goiânia. **Anais...** Goiânia: SBG, 1986. V. 4, p. 1424-1436.

MARSH, W. **Environmental analysis for land use and site planning.** New York: McGraw-Hill, 1978. 292p.

MAURO, J. R.; LOLLO, J. A. Uso da técnica de avaliação do terreno para a elaboração de carta de suscetibilidade à erosão na Bacia do Prosa – Campo Grande, MS. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 9, n. 3, p. 23-28, 2004.

MORAIS, F. **Estudo dos processos erosivos subsuperficiais na bacia do rio Maracujá, MG.** 2003. 98 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2003.

PACHECO, S. M. F. M.; OLIVEIRA, R. Cartografia geotécnica: aplicação no planejamento urbano e gestão ambiental voltados às necessidades brasileiras. In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica, 3., 1998, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, 1998. CD ROM, não paginado.

- PARZANESE, G. A. C. **Gênese e desenvolvimento das voçorocas em solos originados de rochas granitóides da região de Cachoeira do Campo, Minas Gerais.** 1991. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1991. 117p.
- PASTORE, E. L.; FONTES, R. M. Caracterização e classificação de solos. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. (Ed). **Geologia de engenharia.** São Paulo: ABGE, 1998. p. 131-152.
- PONÇANO, W. L., CARNEIRO, C. D. R., ALMEIDA, M. A., PIRES NETO, A. G.; ALMEIDA, F. F. M. O conceito de sistemas de relevo aplicado ao mapeamento geomorfológico do estado de São Paulo. In: Simpósio Regional de Geologia, 2., 1979, Rio Claro. **Anais...** Rio Claro: SBG, 1979, v. 2, p. 253-262.
- SANTOS, C. A. **Comportamento hidrológico superficial, subsuperficial e a erodibilidade dos solos da região de Santo Antônio do Leite, distrito de Ouro Preto – MG.** 2001. 108 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2001.
- SILVA, T. R. M. **Caracterização e erodibilidade dos solos de uma voçoroca na região de Ouro Preto – MG.** 2000. 106 f. Dissertação (Mestrado). Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2000.
- SOBREIRA, F. G. **Estudo das erosões de Cachoeira do Campo – Ouro Preto, MG.** Relatório Final. Ouro Preto: FAPEMIG, 1998. 130p.
- SOBREIRA, F. G. Processos erosivos acelerados (voçorocas): O exemplo de Cachoeira do Campo, Ouro Preto, MG. **Solos e Rochas**, v. 23, n. 3, p. 217-233. 2000.
- ULLAH, K. M; MANSOURIAN, A. Evaluation of Land Suitability for Urban Land-Use Planning: Case Study Dhaka City. **Transactions in GIS**, v. 20, n. 1, p. 20-37. 2016.
- XAVIER, S. C.; BASTOS, C. A. B. Estudo do crescimento urbano aplicado ao mapeamento geotécnico: uma metodologia de análise. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 62/04, p. 583-593. 2010.