

Revista Brasileira de Cartografia (2015) N^o 67/1 141-156
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

PROCEDIMENTOS PARA ELABORAÇÃO DE CARTAS GEOTÉCNICAS NO PLANEJAMENTO URBANO

Procedures for the Elaboration of Geotechnical Maps Applied to Urban Planning

Leonardo Andrade de Souza¹ & Frederico Garcia Sobreira²

¹Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP

Programa de Pós-Graduação em Geotecnia

Campus Universitário do Morro do Cruzeiro, Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil

leonardo@zemlya.com.br

²Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP

Escola de Minas

Campus Universitário do Morro do Cruzeiro, Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil

sobreira@degeo.ufop.br

Recebido em 26 de Julho, 2014/ Aceito em 11 de Novembro, 2014

Received on July 26, 2014/ Accepted on November 11, 2014

RESUMO

As cartas geotécnicas de aptidão à urbanização são um importante instrumento de planejamento urbano, uma vez que visam fornecer base para que projetos de parcelamento do solo incorporem diretrizes voltadas para a prevenção dos desastres naturais e situações de risco geológico, especialmente aqueles associados a movimentos em encostas (deslizamentos, queda de blocos, rastejos, etc.), corridas de massa e processos hidrológicos (enxurradas e inundações). As características geológicas e geomorfológicas do distrito sede de Ouro Preto (MG) favorecem o desenvolvimento de processos geodinâmicos e restringem o espaço disponível para a expansão urbana, sendo um local ideal para a sistematização de procedimentos a serem adotados em regiões semelhantes e que adaptados, podem ser base para estudos em outros contextos. Assim, foi selecionada uma sub-bacia na periferia da cidade para a execução de projeto piloto de cartografia geotécnica para o planejamento urbano. O procedimento aqui proposto adota o conceito de mapeamento progressivo, com nível de detalhamento crescente em duas fases e estabelece nove etapas distintas de trabalho, que foram desenvolvidas sequencialmente. A partir de análise preliminar se suscetibilidades a processos geodinâmicos foi gerada para uma área mais restrita uma carta geotécnica com três classes principais (aptidão alta, média e baixa a inexistente), subdivididas conforme as restrições e qualidades dos terrenos, perfazendo um total de oito unidades. Nestas são descritas as características geotécnicas, os processos geodinâmicos predisponentes e as recomendações para a ocupação, permitindo uma leitura direta pelos gestores e técnicos municipais. O projeto tem como um dos seus objetivos propor uma maior padronização dos procedimentos de cartografia geotécnica adotados nos diversos níveis (regional, local e de detalhe), o estabelecimento de bases mínimas para os mapeamentos e, principalmente, que tipo de produto se pretende ter e quem será o usuário direto. O estudo foi desenvolvido no âmbito do Termo de Cooperação UFOP/Ministério das Cidades, cujo principal objetivo foi o desenvolvimento de conceitos, metodologia e procedimentos para a elaboração de cartas geotécnicas aplicadas ao planejamento urbano.

Palavras Chave: Cartografia Geotécnica, Planejamento Urbano, Ouro Preto.

ABSTRACT

Geotechnical maps are an important tool for urban planning, since they aim to provide the basis for land subdivision projects to incorporate guidelines aimed at the prevention of natural disasters and situations of geological risk, especially those associated with slopes (landslides, falling blocks, trailing, etc), debris flows and hydrological processes (torrents and floods). The city of Ouro Preto (MG) has geological and geomorphological characteristics that favor the development of geodynamic processes and restrict the space available for urban expansion, and is an ideal place for the development of procedures to be adopted in similar regions that once adapted, can support studies in other contexts. Thus, a sub-basin on the outskirts of the city was selected for the performance of a pilot project of geological mapping for urban planning. The proposed procedure adopts the concept of progressive mapping, with increasing level of detail in two phases and provides nine distinct stages of work, which were sequentially developed. From preliminary analysis of susceptibility to geodynamic processes, a geotechnical map was generated for a more restricted area with three main classes (high, intermediate and low to nonexistent fitness), subdivided according to the geotechnical properties and restrictions, for a total of eight units and presenting the geotechnical characteristics, occurring processes and recommendations for the occupation in each unit, allowing a direct reading by municipal managers and technicians. One of the main aims of the project is to propose standardization of geological mapping adopted at different levels (regional, local and detail) and the establishment of minimum bases for mappings and especially what type of product one wants to obtain and who will be its direct user. The study was conducted under the UFOP/Ministry of Cities Cooperation Term, which main objective was the development of concepts, methodologies and procedures for the elaboration of geotechnical maps applied to urban planning.

Keywords: Geotechnical Mapping, Urban Planning, Ouro Preto.

1. INTRODUÇÃO

Diante da constatação do aumento do porte e da frequência de eventos relacionados a deslizamentos, inundações, enxurradas e erosões em cidades brasileiras nos últimos anos, verificou-se a necessidade de adequação da legislação federal e a implantação de programas federais de apoio aos Estados e Municípios, de modo a tornar efetiva a implantação de instrumentos de planejamento e de gestão municipal voltadas para a prevenção de desastres.

As principais iniciativas governamentais foram a promulgação da Lei nº 12.608/2012, que instituiu a *Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNPDEC* e o Plano Nacional de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres Naturais, lançado em 08/08/2012, que engloba um conjunto de ações, compostas por quatro eixos de atuação: Prevenção, Mapeamento, Resposta e Sistema de Monitoramento e Alerta.

No eixo Mapeamento, o Ministério das Cidades é responsável pelo apoio aos municípios para a elaboração de cartas de aptidão à urbanização frente aos desastres naturais, instrumento de planejamento urbano que visa fornecer subsídios para que os novos projetos de parcelamento do solo incorporem diretrizes voltadas para a prevenção dos desastres, especialmente aqueles associados a

deslizamentos de encostas, enxurradas, corridas de massa, inundações e processos hidrológicos e geológicos correlatos.

O trabalho aqui apresentado foi desenvolvido no âmbito do Termo de Cooperação UFOP/Ministério das Cidades “Elaboração de Cartas Geotécnicas de Aptidão à Urbanização Frente aos Desastres Naturais no Município de Ouro Preto, MG” (MINISTÉRIO DAS CIDADES/UFOP, 2013). O principal objetivo foi o desenvolvimento de conceitos, metodologia e procedimentos para a elaboração de cartas geotécnicas de aptidão à urbanização nas condições geológicas prevalecentes na região do Quadrilátero Ferrífero no Estado de Minas Gerais, visando o fornecimento de subsídios para que o Plano Diretor Municipal e os novos projetos de parcelamento do solo incorporem diretrizes voltadas para a prevenção dos desastres naturais, especialmente aqueles associados a deslizamentos de encostas.

O Município de Ouro Preto, embora com grande extensão territorial (1.245,8 km²), tem sua população concentrada no distrito sede. A área urbana e sua periferia têm características geológicas (rochas metassedimentares foliadas e deformadas) e geomorfológicas (altas declividades) que favorecem o desenvolvimento de processos de movimentos de massa em

encostas, além de processos erosivos. A isto se soma a ocupação desordenada, que acaba por gerar situações de perigo e risco, principalmente por ocasião dos períodos chuvosos. As características do relevo também restringem o espaço disponível para a expansão urbana, sendo este um dos grandes problemas da cidade.

Neste contexto, a sub-bacia do Córrego do Funil, nas cabeceiras do Ribeirão do Carmo (bacia hidrográfica do Rio Doce) é uma das poucas áreas com potencial para o uso urbano na periferia da cidade que ainda não foi ocupada. Pela sua localização, facilidade de acesso e estágio de ocupação atual, esta região é de grande importância para a cidade, no que se refere ao seu crescimento futuro.

Desta forma, os resultados do estudo, além de possibilitarem o desenvolvimento e definição de procedimentos para aptidão à ocupação urbana, apontaram soluções para as pressões mais imediatas relacionadas à expansão da área urbana da sede do município.

2. CONCEITUAÇÃO

O termo cartografia geotécnica é empregado de uma forma genérica para aqueles produtos cartográficos que expressam a prática do conhecimento geológico aplicado para enfrentar os problemas gerados pelo uso e ocupação do solo (PRANDINI *ET AL.*, 1995) ou que busquem avaliar e retratar as características dos componentes e o comportamento do meio físico frente aos diferentes tipos de ocupação, avaliando suas limitações e seus potenciais (ZUQUETTE, 1993).

Cerri (1990) classifica as cartas geotécnicas como cartas geotécnicas clássicas, cartas de suscetibilidade e cartas de risco. Bittar *et al.* (1992) defendem a subdivisão em cartas geotécnicas dirigidas, cartas geotécnicas convencionais, cartas de suscetibilidade e cartas de risco geológico. Prandini *et al.* (1995) classificam estas cartas em cartas geotécnicas (propriamente ditas), cartas de riscos geológicos, cartas de suscetibilidade e cartas de atributos ou parâmetros. Por outro lado, segundo Zaine (2000), “embora haja uma diversidade de termos empregados para denominar os diferentes tipos de cartas e/ou mapas geotécnicos, parece haver uma certa similaridade entre os tipos de documentos produzidos”.

Cerri *et al.* (1996) propuseram o método do detalhamento progressivo no mapeamento geológico-geotécnico com três grandes etapas ou fases sucessivas, cada uma determinando os temas técnicos e o nível de aprofundamento necessário ao desenvolvimento da fase subsequente. Sobreira e Souza (2012) propõem que o modelo do detalhamento progressivo seja seguido também em práticas de planejamento e ordenamento urbano, com os níveis hierárquicos representados pela suscetibilidade (geral), aptidão à urbanização (semidetalhe ou intermediário) e risco (detalhe).

Segundo os autores (op. Cit.), para cartografia de suscetibilidades a processos geológicos e hidrológicos, considera-se que escalas menores que 1:25.000 não possuam precisão gráfica para elaboração de modelos (digitais ou numéricos) e trazem um grau de incerteza maior quanto à delimitação das unidades e representação de processos pontuais. As análises de aptidão à urbanização são muito mais precisas quando representadas na escala 1:10.000 e maiores. Neste nível, deve ser grande o rigor na representação dos limites das unidades e dos processos potenciais ou ocorrentes. No nível de detalhe, na análise de riscos, a menor escala admissível é de 1:2.000, pois neste caso o estudo abrange pequenas áreas e deve-se trabalhar buscando soluções para as situações de risco num nível de projeto conceitual, dando suporte a medidas de mitigação ou erradicação. O Quadro 1 sintetiza os níveis de detalhamento das cartas geotécnicas com a aplicação no planejamento urbano.

Cartas de suscetibilidade apontam áreas adequadas e com restrições à ocupação e são úteis no planejamento regional, servindo não só para fins de ocupação urbana, mas também para outros usos, pelo menos em uma análise preliminar. Devem englobar maiores regiões e são úteis em abordagens mais gerais. Como têm caráter orientador em decorrência da sua escala, as cartas de suscetibilidade podem subsidiar importantes instrumentos de planejamento.

Cartas de aptidão à urbanização têm detalhamento suficiente para embasar instrumentos como leis de uso e ocupação do solo ou mesmo planos diretores, em seus aspectos mais detalhados, mas, principalmente, devem dar suporte aos projetos de urbanização

e consolidação urbana dos municípios, levando em consideração os processos geodinâmicos locais e as características geomorfológicas e geotécnicas dos terrenos. As cartas geotécnicas de aptidão devem ser entendidas como uma parte fundamental de uma abordagem integrada dos diagnósticos dos eixos físico-ambiental, jurídico-legal e socioeconômico-organizativo das áreas destinadas à expansão urbana, onde as análises para se alcançar os objetivos principais devem ser executadas em escala de detalhe e com suporte de dados quantitativos sempre que possível.

As cartas de risco buscam a mitigação ou erradicação das situações de risco em curto prazo e a elas devem também estar associadas soluções de engenharia (intervenções estruturais ou não estruturais) subsidiando instrumentos de planejamento e gestão de risco, tais como, planos municipais de redução de risco geológico, planos de contingência, planos preventivos de defesa civil e sistemas de alerta/alarme.

Uma análise de suscetibilidade estabelece a indicação de áreas mais adequadas para a ocupação e outras com determinadas restrições, mas a escala de análise não permite o detalhamento que se deve ter na orientação da ocupação urbana e as diretrizes técnicas necessárias. Em uma análise em maior detalhe, nem toda extensão de uma área considerada de menor suscetibilidade a processos geodinâmicos está isenta de problemas de ordem geotécnica, assim como nem toda extensão de uma área com maiores suscetibilidades a processos é totalmente

crítica.

Além dos aspectos legais, as características locais de declividade, drenagem ou tipo de material inconsolidado e/ou substrato podem trazer restrições à ocupação, devendo ser analisados em escala compatível para a tomada de decisão em nível local ou pontual. Por outro lado, áreas consideradas inadequadas em uma análise mais ampla podem já estar ocupadas, o que requer avaliações de risco, assim como áreas adequadas na análise de suscetibilidade podem estar consolidadas ou em processo de consolidação, o que as isenta de riscos geológicos.

3. PROCEDIMENTOS PARA ELABORAÇÃO DAS CARTAS DE APTIDÃO A URBANIZAÇÃO

O procedimento aqui proposto para o mapeamento da aptidão à urbanização estabelece nove etapas distintas de trabalho, que foram desenvolvidas sequencialmente, uma vez que o desenvolvimento de uma etapa depende quase sempre das anteriores (Fig. 1).

3.1 Modelo Inicial Orientador

Para se ter um produto compatível com a realidade deve-se ter segurança sobre os dados de entrada, e que estes necessariamente estejam em escalas compatíveis. Ressalta-se aqui a importância de um reconhecimento preliminar da área de trabalho, através da realização de trabalhos de campo, para que se possa construir um modelo inicial orientador do estudo, de

Quadro 1: Níveis de cartas geotécnicas no planejamento urbano, escalas e processos mapeáveis.

Produto	Escalas de Mapeamento	Processos Geodinâmicos passíveis de identificação
Cartas de Suscetibilidade	1:25.000 ou maiores	Movimentos gravitacionais de massa, inundações/enchentes, corridas, erosões, assoreamento, processos costeiros, sismos induzidos.
Carta de Aptidão à Urbanização	1:10.000, 1:5.000 ou maiores	Movimentos gravitacionais de massa translacionais, inundações/enchentes/alagamentos, corridas, erosões lineares de grande porte (ravinas), assoreamento, subsidências e colapsos, queda e rolamento de blocos rochosos, processos costeiros.
Cartas de Riscos Geológicos	1:2.000 ou maiores	Movimentos gravitacionais de massa – translacionais, rotacionais, em cunha, inundações/enchentes/alagamentos, corridas de lama e detritos, rastejos, erosões lineares (sulcos, ravinas e voçorocas), solapamentos de margem, assoreamento, subsidências e colapsos, expansão de terrenos, queda e rolamento de blocos rochosos, processos costeiros.

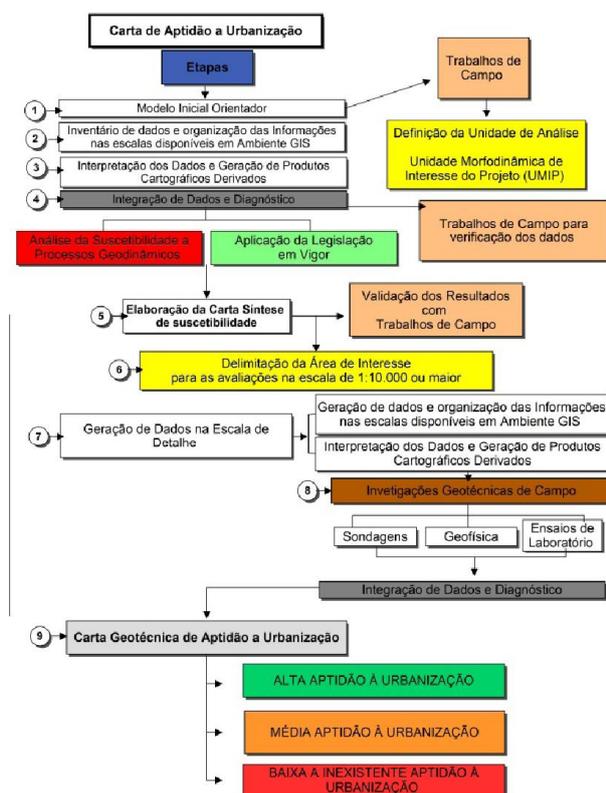


Fig. 1 - Procedimentos para o mapeamento da aptidão à urbanização.

forma a subsidiar tanto a logística das etapas posteriores, quanto a definição dos processos geodinâmicos a serem estudados/cartografados e suas respectivas metodologias de abordagem.

Nesta etapa ocorreu a definição da área de interesse do trabalho, que expressa a unidade do território que delimita uma região que apresenta um comportamento independente das unidades adjacentes (divisores de águas, linhas de drenagem ou expressões geomorfológicas), aqui denominada Unidade Morfodinâmica de Interesse do Projeto (UMIP) (Fig. 2).

3.2 Inventário de Dados e Organização das Informações em Ambiente GIS

Definida a área de trabalho, o segundo passo foi o inventário dos dados existentes sobre a região, que foram organizados a partir de uma conformação em camadas funcionais para sistemas de gerência de bancos de dados, complementados por subsistemas especializados, sendo para tal utilizado o programa ArcGis 9.3. Nesta etapa, foram inventariados, compilados e gerados, as seguintes informações básicas mínimas de entrada:

- Fotografias aéreas, ortofotos e imagens

orbitais com resolução compatível com as escalas de trabalho.

- Base topográfica na escala 1:25.000.

- Mapa geológico estrutural para identificação das unidades ocorrentes e os principais lineamentos e estruturas (principais famílias de descontinuidade) visando a geração de modelos cinemáticos gerais de estabilidade e/ou fluxos superficiais condicionados.

- Representação das bacias de contribuição, que são as unidades de análise do sistema de drenagem, de forma a permitir avaliar como a configuração do espaço ocupado influencia as condições de drenagem pluvial.

- Vias de acessos principais e secundários.

- Mapa geomorfológico da área.

- Inventário de cicatrizes de deslizamentos, identificadas a partir da interpretação de imagens e trabalhos de campo.

3.3 Interpretação dos Dados e Geração de Produtos Cartográficos Derivados

A partir das bases topográficas e imagens inventariadas, foram geradas outras informações cartográficas de importância para as análises. A carta topográfica na escala 1:25.000 foi a informação básica disponível que possibilitou a elaboração do modelo digital do terreno, além de análises morfométricas importantes (declives, concentração de fluxo, curvatura das encostas, hipsometria, etc.). A delimitação de padrões de relevo, a partir da geração de perfis topográficos também possibilitou a análise da predisposição a ocorrência de processos geodinâmicos locais.

A informação geológica gerada foi importante na identificação dos principais lineamentos e estruturas que podem condicionar movimentos de massa em encostas, fluxos superficiais e corridas de detritos/solo passíveis de ocorrência nesta escala. Com o levantamento estrutural disponível tornou-se possível, também, avançar na avaliação da estabilidade geral das encostas, valendo-se de técnicas de análise cinemática (conjugação estruturas e inclinação/direção das vertentes).

A geomorfologia e o inventário de antigos eventos deram suporte para as análises da probabilidade de ocorrência de eventos futuros e sua magnitude

3.4 Integração dos Dados e Diagnóstico do Meio Físico

A análise dos processos geodinâmicos ocorreu predominantemente através da correlação entre a geologia local (estruturas e depósitos de cobertura), as formas do relevo (declividades e orientação das vertentes) e por trabalhos de campo, com o reconhecimento de feições indicativas de movimentos de massa e eventos destrutivos de natureza geológica e hidrológica que já ocorreram na área, sempre considerando a tipologia dos processos, o estado de atividade, bem como, quando possível, a distância de atingimento e velocidade dos deslocamentos.

As seguintes informações temáticas básicas foram consideradas no processo de produção das análises de suscetibilidade:

- Identificação dos agentes/feições potencializadoras de processos: variação da inclinação ao longo da área, cortes verticais e/ou subverticais em solo e em rocha, sistema de famílias de descontinuidades (falhas, superfície de estratificação, foliação, diáclases, clivagem de fratura, xistosidade), lançamentos concentrados e contínuos de água, aterros lançados, cobertura vegetal, etc.,

- Identificação de indícios de movimentação do terreno: cicatrizes de escorregamento, feições

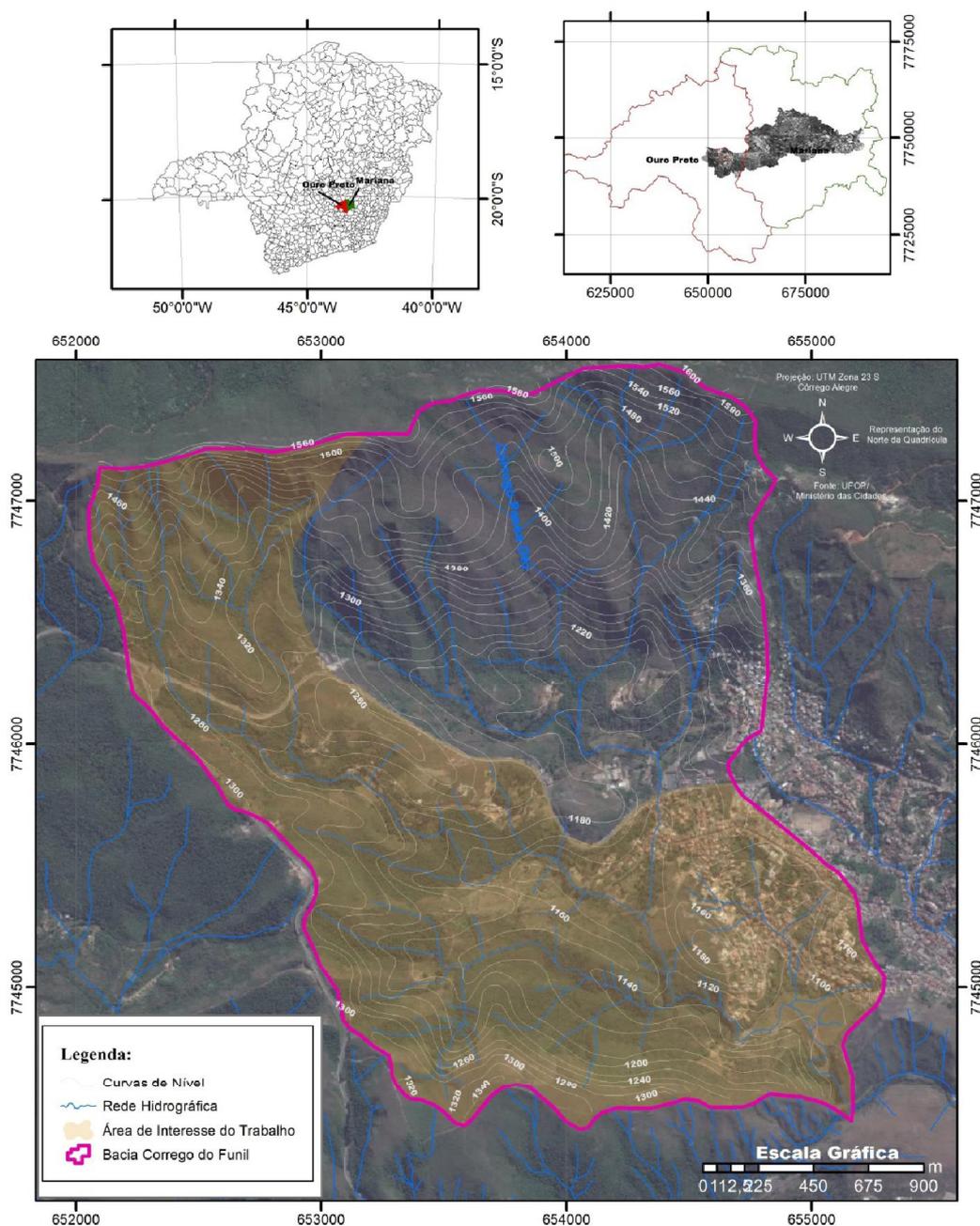


Fig. 2 - Unidade morfodinâmica escolhida para o desenvolvimento do estudo.

erosivas lineares, feições erosivas e de escavação nas margens dos cursos d'água, trincas no terreno, degraus de abatimento, inclinação anormal de árvores, postes, cercas e outras estruturas,

- Análise dos eventos destrutivos potenciais: deslizamentos (de solo residual e transportado, rocha, de aterro), erosão, solapamento, queda / rolamento de blocos rochosos.

Em relação às redes de drenagem, foram importantes a avaliação do regime de escoamento superficial da área, de possíveis pontos de estrangulamento dos cursos, de zonas que poderiam ficar temporariamente saturadas, de processos de solapamento das margens, tomando-se como base principalmente a geomorfologia e a rede de drenagem. Os processos hidrológicos, no entanto, não são frequentes na área estudada.

3.5 Elaboração da Carta Síntese de Suscetibilidade

A análise de suscetibilidade na escala inicial para a unidade morfodinâmica de interesse abrangeu os processos geodinâmicos de forma integrada em um produto cartográfico de síntese. Para cada processo geodinâmico, os elementos de análise podem ser distintos ou ter pesos diferentes conforme sua tipologia. Para deslizamentos translacionais a estruturação do substrato prevalece, seguida do tipo de material (solo ou rocha) e a declividade. No caso de quedas e tombamento de blocos, a estruturação do maciço e o declive preponderam sobre o tipo de material. Para fenômenos de natureza hidrológica (inundações e enxurradas), o principal nível de informação é a geomorfologia, inclusive valendo-se de vários parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica e da calha do rio, podendo o tipo de material ter maior importância ou não (textura dos sedimentos da planície, substrato aflorante provocando estreitamento da seção da calha do rio, etc.).

Para este trabalho, a proposta foi a adoção de três classes de suscetibilidade (Alta, Média e Baixa). Os procedimentos seguidos nesta análise estão ilustrados na Figura 3.

A análise de suscetibilidades a processos geológicos e hidrológicos gerou um conjunto de informações que permitiram a geração de uma carta sintetizando todos os processos e suas suscetibilidades de ocorrência em um único

documento (Fig.4).

3.6 Determinação de Área de Interesse para a Escala de Detalhe

A determinação da área de interesse para o estudo de detalhe na escala 1:5.000 considerou a proposta de mapeamento progressivo citada anteriormente, onde as áreas identificadas como de suscetibilidade alta a algum processo na escala 1:25.000 foram excluídas, ficando como objeto de análise as demais unidades.

Foi então determinada uma área de cerca de 80 hectares para a execução da elaboração da carta geotécnica de aptidão a urbanização propriamente dita (Fig. 4). A base cartográfica foi obtida por levantamento topográfico na escala 1:5.000.

3.7 Geração de Dados na Escala de Detalhe

Esta etapa constou da análise, coleta e sistematização das informações existentes, como mapas, fotos e legislação municipal relacionada ao planejamento urbano e licenciamento de novos parcelamentos do solo, a pesquisa, análise e sistematização do histórico de ocorrências de movimentos de massa e processos de inundação.

A partir da carta topográfica gerada

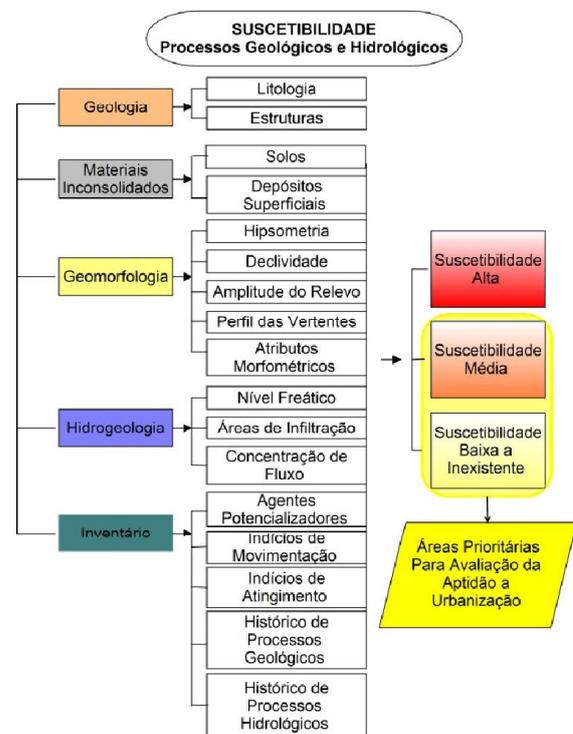


Fig. 3 - Proposta simplificada de etapas para elaboração análise da suscetibilidade a eventos de natureza geológica e hidrológica.

e das imagens disponíveis, vários outros produtos cartográficos foram derivados por geoprocessamento, fato possibilitado pelas técnicas e procedimentos de análise espacial na plataforma SIG. Os produtos derivados e interpretativos gerados estão elencados a seguir:

- Modelo digital do terreno – TIN (visualização 3D);
- Mapa de Declividade (inclinação das vertentes);
- Mapa de aspecto (orientação de vertentes);
- Mapa de concentração de fluxo (dinâmica fluvial);
- Mapa litológico e de depósitos de cobertura;
- Mapa de Áreas de Preservação Permanente e de Faixas de Domínio.

3.7.1 Modelo Digital do Terreno

O modelo digital de terreno foi desenvolvido pela construção de uma malha TIN (*Triangulated Irregular Network*) a partir dos vetores das curvas de nível devidamente cotados. Esse modelo foi a base para a definição dos diferentes padrões hipsométricos (altitude

absoluta) e geomorfológicos (declividade, aspecto e concentração de fluxo).

3.7.2 Mapa de Declividade

O mapa de declividade foi derivado em estrutura raster com células de 0,3m x 0,3m. Escolheu-se esta resolução espacial por ser compatível com a escala de trabalho (1:5.000). As classes de declividade foram hierarquizadas em cinco unidades, definidas com base nos critérios apresentados a seguir:

0° a 5° → Áreas mais planas que podem sofrer influência direta dos corpos d'água, podendo englobar terraços fluviais e planícies de inundação (DANTAS, 2010) e áreas em topos de morro aplainados.

5° a 15° → Áreas onde a inclinação das encostas não significa grande empecilho à ocupação.

15° a 30° → Áreas mais inclinadas, passíveis de ocupação, porém condicionadas à execução de estudos geológico-geotécnicos (BRASIL, 1979). Marsh (1978) e Cunha (1991) indicam a declividade máxima de 25° como limite técnico recomendável à ocupação, a

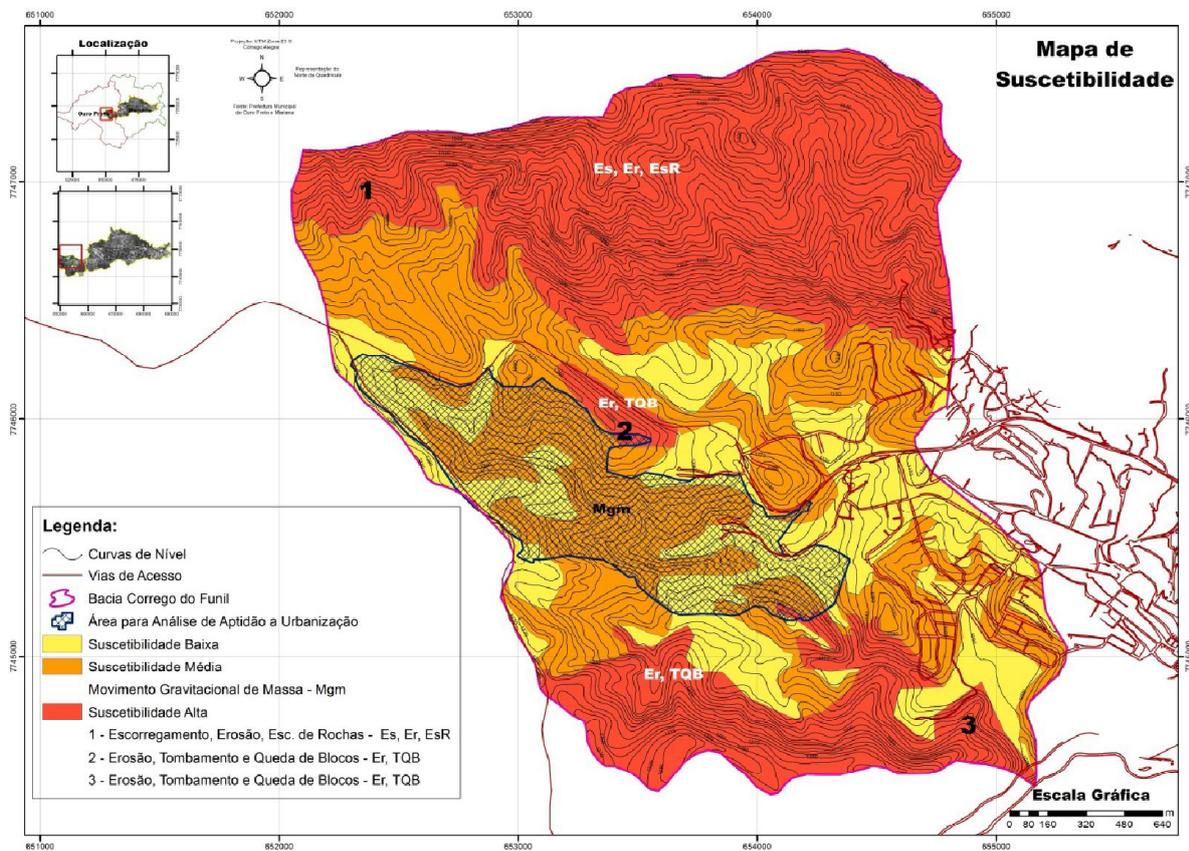


Fig. 4 - Carta de suscetibilidade a processos geodinâmicos na UMIP, com a demarcação da área de interesse a ser detalhada.

partir do qual são necessárias infraestruturas que incidem custos extremamente elevados aos projetos de expansão urbana.

30° a 45° → Áreas muito inclinadas, consideradas de uso restrito pelo Código Florestal (Brasil, 2012). São áreas com maior propensão ao desenvolvimento de processos geodinâmicos diversos.

> 45° → Áreas altamente inclinadas, inviáveis para a ocupação urbana devido a sua potencialidade em sediar diferentes eventos geodinâmicos de grande magnitude. Ainda, o limite de 45° ou 100% representa uma restrição legal definida pelo código florestal como área de preservação permanente (BRASIL, 2012).

3.7.3 Mapa de Aspecto das Vertentes

Este mapa mostra a orientação das vertentes e tem grande utilidade na análise de movimentos de massa quando conjugado com os declives e a estruturação geral do substrato, principalmente escorregamentos planares e tombamento de blocos. Também possibilitam a estimativa de áreas de atingimento no caso de ocorrência destes processos.

3.7.4 Mapa de Concentração de Fluxo

É importante na análise da dinâmica hidrológica das vertentes e mostram zonas de saturação por ocasião de eventos chuvosos, fatores condicionantes tanto de processos em encostas (erosão e movimentos de massa) como dos processos de natureza hidrológica (enxurradas e inundações).

3.7.5 Mapa Litológico e de Depósitos de Cobertura

Foi executado o mapeamento litoestrutural de detalhe correlacionando as unidades com aquelas regionalmente consagradas e citadas na bibliografia (DORR *et al*, 1957, 1969; ALKMIM E MARSHAK, 1998). As unidades reconhecidas e mapeadas foram agrupadas em afloramentos rochosos e depósitos de cobertura. Os litotipos que compõem a unidade afloramentos rochosos foram descritos da base para o topo considerando o empilhamento litoestratigráfico para o Quadrilátero Ferrífero (ALKMIM E MARSHAK, 1998). Já os depósitos de cobertura, referem-se aos terrenos compostos por depósitos aluviais, coluviais, crosta laterítica (canga) e aterros.

As unidades geológicas mapeadas (Fig. 5) são descritas brevemente a seguir:

Formação Cauê - É composta itabiritos (formação ferrífera bandada) e ocorre somente em subsuperfície no setor noroeste da área.

Grupo Piracicaba - É composto por metassedimentos clásticos. Na área de estudo ocorrem as formações Cercadinho, Fecho do Funil e Barreiro. A Formação Cercadinho é composta por bandas métricas de filitos cinza-prateados intercalados em pacotes de quartzitos sericíticos e quartzitos ferruginosos, ocorrendo na porção norte da área, numa faixa que se estende de leste a oeste. A Formação Fecho do Funil é representada por filitos, ocorrendo em uma pequena faixa na porção noroeste da área. A unidade Barreiro é constituída por filitos carbonosos e grafitosos de coloração variando de cinza escuro a negra, ocorrendo em uma estreita faixa na porção sudeste da área.

Grupo Sabará - Este domínio litológico é constituído por quartzitos, quartzo-sericita xistos e xistos granatíferos de coloração vermelho acastanhado, amarelo avermelhado a cinza prateado e ocorre em toda porção centro-sul da área mapeada.

Depósitos Aluviais - São os depósitos recentes às margens da drenagem principal, na porção sudeste da área, formando pequenas planícies de inundação. São sedimentos arenosos com fragmentos rochosos diversos de pequenas dimensões, acumulados a partir de processos fluviais e por atividades antrópicas.

Colúvio - São resultado do acúmulo de agregados heterogêneos de rochas transportados por ação da gravidade e contribuição da água de escoamento superficial. Esta unidade possui uma pequena distribuição na área recobrando os xistos do Grupo Sabará.

Crosta laterítica (canga) - Recobre as rochas das formações Cauê e Cercadinho no setor noroeste da área.

Aterros - são representados por três manchas nos setores noroeste e sudeste da área e são compostos por materiais heterogêneos de desaterro e entulho de obras.

3.7.6 Mapa de Áreas de Preservação Permanente e de Faixas de Domínio

As áreas de preservação permanente (BRASIL, 2012) foram excluídas para a

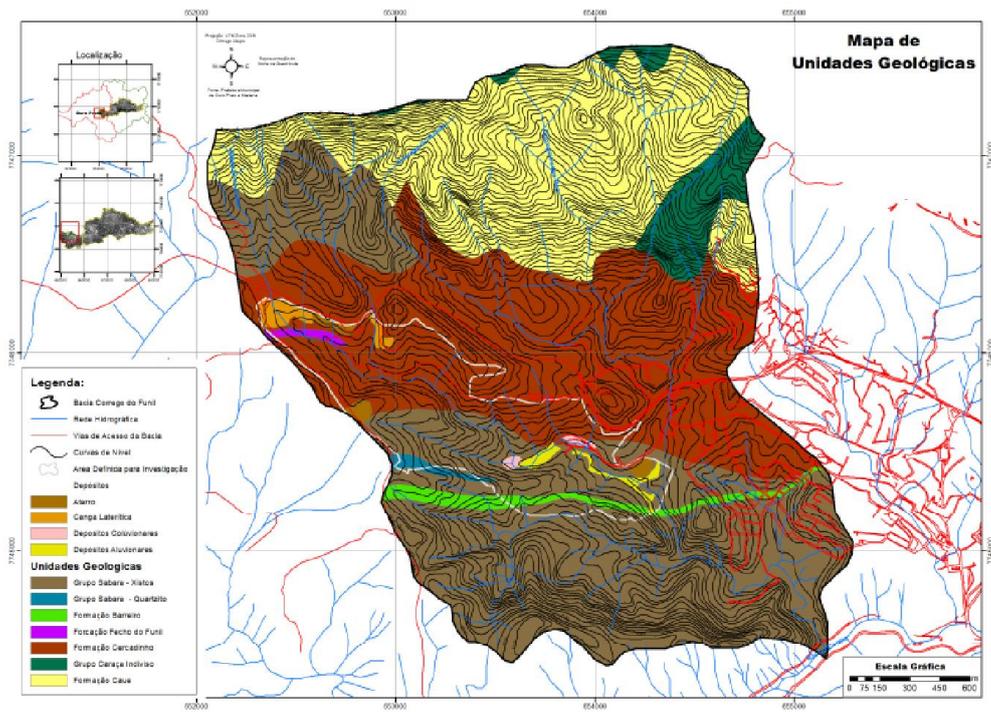


Fig. 5 - Mapa geológico da área de estudo

ocupação e são representadas apenas pelas margens das drenagens, nas faixas marginais dos cursos d'água naturais, numa largura de 30 metros e por pequenas áreas com declividades acima de 45° .

Foram representadas ainda as faixas de domínio da Rodovia dos Inconfidentes e da estrada de acesso principal a Ouro Preto (BR 356).

3.8 Investigações geotécnicas de campo

As investigações geotécnicas de campo buscaram um melhor entendimento dos aspectos geológicos, hidrogeológicos e geotécnicos dos terrenos. Foram executados levantamentos indiretos pelo Método Eletromagnético (GPR ou Georadar) e sondagens à percussão (Sondagem SPT) como método de investigação direto.

Foram executados 13 perfis geofísicos (total de 1250 m), importantes na delimitação de depósitos superficiais e do substrato, determinação da extensão e profundidade de horizontes de solo e condições da superfície freática, cobrindo a baixo custo áreas extensas. Estas informações foram confirmadas por dados de sondagens diretas, com a elaboração de perfis geotécnicos que auxiliaram na definição da extensão, profundidade e espessura dos horizontes de solo, além de uma caracterização dos materiais para avaliação do seu comportamento mecânico

e hidráulico. A Fig. 6 mostra um exemplo dos radargramas gerados e sua interpretação.

As sondagens e ensaios SPT foram executados com base nos procedimentos encontrados na NBR 6484/2001 – Solo – Sondagens de Simple Reconhecimento com SPT – Método de Ensaio. Foram executados 10 furos distribuídos pela área, totalizando 54,40 m de perfuração. A profundidade máxima atingida foi de 10,45 m, porém a maioria dos furos (8) atingiram o impenetrável em torno de 5 m, indicando uma boa capacidade de suporte para fundações dos terrenos. A Fig. 7 mostra um dos perfis de sondagem.

Deve-se entender, entretanto, que estas investigações geotécnicas têm caráter de reconhecimento, cujo objetivo é subsidiar a caracterização das unidades geotécnicas e a determinação de diretrizes técnicas para o uso do solo para fins urbanos, pois ainda não se conhece nesta etapa o projeto urbanístico a ser executado, bem como as estruturas necessárias para a sua implantação.

4. CARTA GEOTÉCNICA DE APTIDÃO À URBANIZAÇÃO

Segundo Cerri (1990), as cartas geotécnicas devem mostrar a distribuição dos diferentes tipos de rochas e solos e suas propriedades geológico-geotécnicas, as formas de relevo e a dinâmica

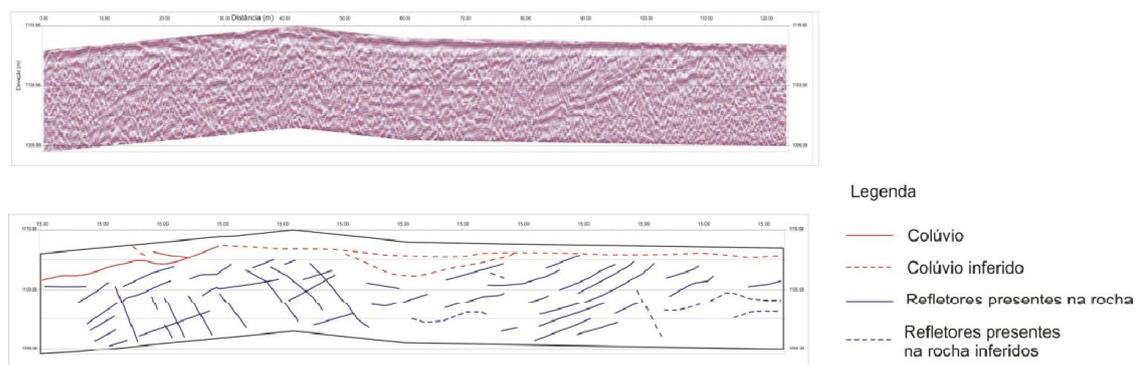


Fig. 6 - Exemplo de radargrama e modelo interpretado.

dos principais processos atuantes e o reflexo destes (naturais e induzidos) nas formas do uso e ocupação.

Nessa perspectiva, as unidades geotécnicas foram delimitadas considerando a basicamente a geologia local (substrato e depósitos superficiais), a morfologia (declividades, orientação das vertentes e concentração de fluxo), a caracterização geotécnica dos materiais e a probabilidade de ocorrência de processos geodinâmicos (Fig. 8).

A nomenclatura e classificação das unidades foram ajustadas gerando uma carta de aptidão à urbanização final de forma a permitir uma leitura direta pelos gestores e técnicos municipais, através da representação de três classes principais (aptidão alta, média e baixa a inexistente), subdivididas conforme as restrições e qualidades dos terrenos, perfazendo um total de oito unidades.

As descrições das classes e subclasses (tipos), sua caracterização geotécnica, os processos geodinâmicos ocorrentes e as indicações para a ocupação que compõem a legenda encontram-se a seguir.

4.1 Caracterização Geotécnica

As unidades geotécnicas descritas a seguir foram definidas a partir da caracterização dos terrenos tomando-se como base as coberturas de solos e depósitos, substrato rochoso e sua estruturação com relação às vertentes (confinamento ou não), as declividades e as investigações de campo diretas e indiretas.

4.1.1 Baixa a Inexistente Aptidão à Urbanização

(Ia) - Exposições rochosas alteradas e solo

residual com espessuras variáveis (Filito preto dolomítico). Engloba uma porção específica da área referente a uma faixa adjacente a crista de um talude verticalizado com altura superior a 30 m e extensão de 800,0m.

(Ib) - Sedimentos quaternários. Engloba um depósito de várzea com espessuras de até 5,0m e nível d'água próximo a superfície que recebe as contribuições de toda a Bacia do Córrego Passa Dez. A alteração nas capacidades de vazão nesta drenagem, seja em decorrência do assoreamento pelas atividades de mineração e garimpo nos séculos passados, seja pela diminuição das planícies de inundação por motivos de ocupação e execução de aterros, podem tornar mais frequentes as inundações, mesmo para níveis de precipitação menores.

(II) Exposições rochosas com solo residual alterado com espessuras variáveis, declividades acima de 30° e estruturas desconfinadas.

(III) Exposições rochosas com solo residual alterado com espessuras variáveis declividades acima de 30° e estruturas confinadas.

4.1.2 Média Aptidão à Urbanização

(IV) Exposições rochosas com solo residual alterado com estruturas desconfinadas (foliação dos filitos e quartzitos é a família de descontinuidade principal), espessuras inferiores a 2,0m e declividades entre 20° e 30°.

(V) Depósito de várzea (areia argilosa fofa) com espessura até 5,0m e nível d'água próximo à superfície.

(VI) Exposições rochosas com solo residual alterado com espessuras inferiores a 2,0m, estruturas confinadas e declividades entre 20° e 30°.

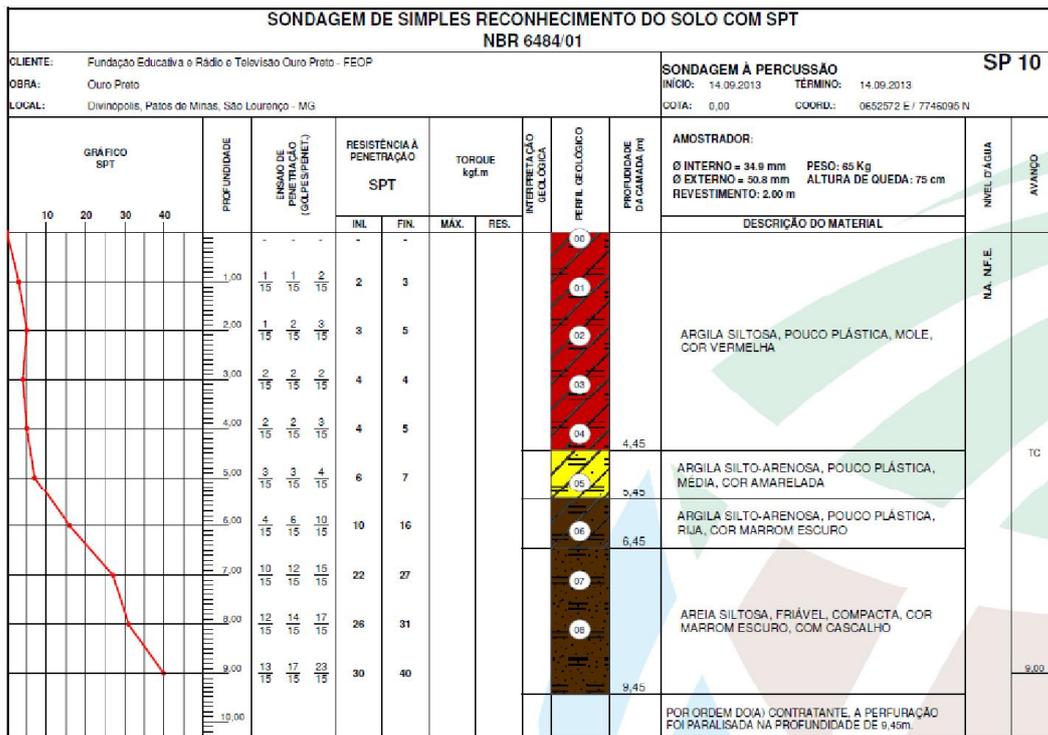


Fig. 7 – Exemplo de perfil de sondagem e sua interpretação.

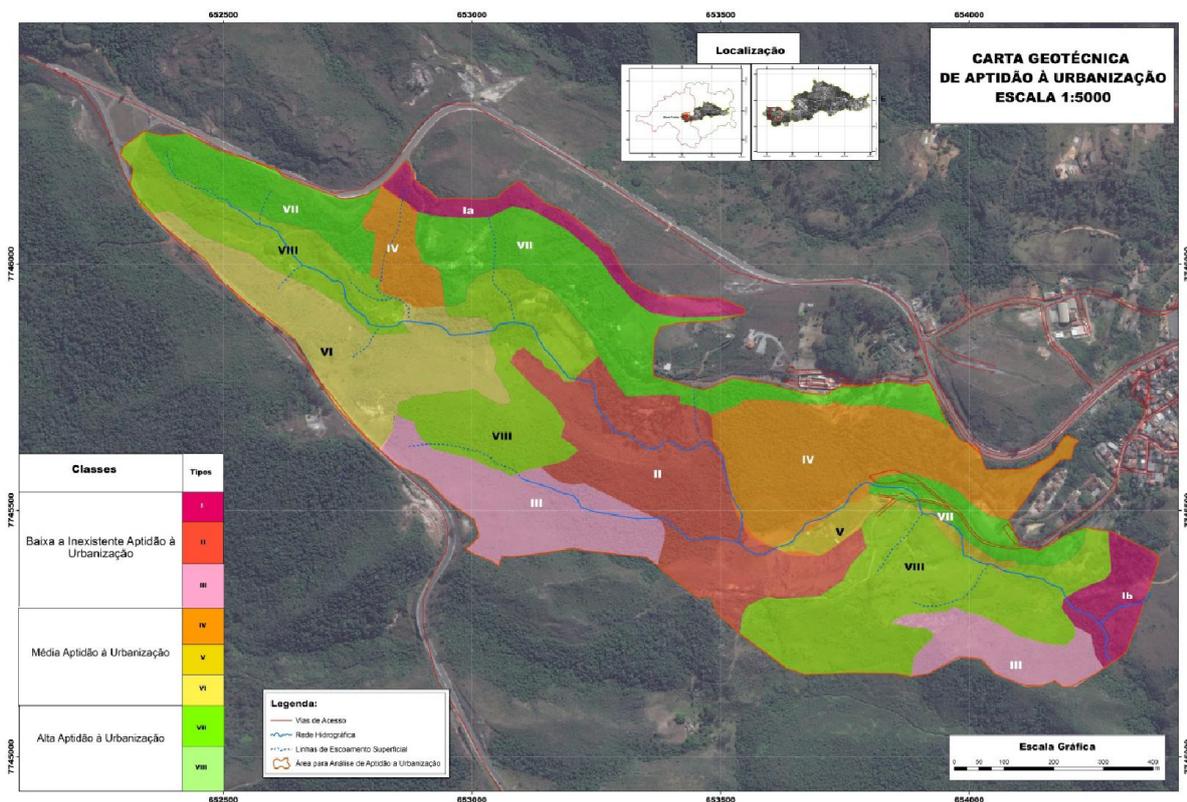


Fig. 8 – Carta de aptidão à urbanização

4.1.3 Alta Aptidão à Urbanização

(VII) Exposições rochosas com solo residual alterado com espessuras inferiores a 2,0m e declividades inferiores a 20°. Maciços desconfiados (foliação dos filitos e itabiritos é a família de descontinuidade principal) com diferenças de permeabilidade no contato entre as unidades geológicas.

(VI) Exposições rochosas com solo residual alterado com espessuras inferiores a 2,0m, estruturas confinadas e declividades entre 20° a 30°. Exposições rochosas com solo residual alterado com espessuras inferiores a 2,0m, estruturas confinadas e declividades inferiores a 20°. Maciços confinados e semiconfinados.

4.2 Suscetibilidade a Processos Geodinâmicos

Com base nas características geotécnicas, na morfologia das encostas e sua relação com a estruturação do substrato e os depósitos relacionados aos processos atuantes (depósitos em encostas e nos cursos d'água) foi definida a suscetibilidade a ocorrência de processos geodinâmicos em cada unidade da Carta de Aptidão à Urbanização.

4.2.1 Baixa a Inexistente Aptidão à Urbanização

(I) Possibilidade de ocorrência de movimentos gravitacionais de massa naturais (Tombamentos de solo e rocha) e processos erosivos nas vertentes (Ia) e processos de enxurradas e inundação na área de várzea (Ib).

(II) Possibilidade de ocorrência de movimentos gravitacionais de massa naturais e induzidos de grande porte (processos erosivos nas vertentes, tombamentos de solo, deslizamentos planares e em cunha).

(III) Possibilidade de ocorrência de movimentos gravitacionais de massa naturais e induzidos (processos erosivos nas vertentes, tombamentos de solo e deslizamentos em cunha).

4.2.2 Média Aptidão à Urbanização

(IV) Possibilidade de ocorrência de movimentos gravitacionais de massa naturais e induzidos devido ao desconfinamento do maciço (processos erosivos nas vertentes, deslizamentos planares e em cunha)

(V) Possibilidade de ocorrência de

processos de Inundação localizados. Depósito de várzea (areia argilosa fofa) com espessura até 5 m e nível d'água próximo à superfície. Trata-se de um trecho na porção central da Bacia do Ribeirão do Funil com pequena área de contribuição a montante.

(VI) Possibilidade de ocorrência de movimentos gravitacionais de massa naturais e induzidos (processos erosivos nas vertentes, tombamentos de solo e deslizamentos em cunha).

4.2.3 Alta Aptidão à Urbanização

(VII) Possibilidade de ocorrência de movimentos gravitacionais de massa naturais e induzidos devido ao desconfinamento do maciço (processos erosivos nas vertentes, deslizamentos planares e em cunha).

(VIII) Baixa possibilidade de ocorrência de movimentos gravitacionais de massa naturais (processos erosivos nas vertentes e tombamento de solo e rocha).

4.3 Recomendações para Uso Urbano

A partir das análises e avaliações anteriores com relação ao comportamento geotécnico e a possibilidade de ocorrência de processos geodinâmicos, foram estabelecidas orientações para ocupação em cada unidade da Carta de Aptidão à Urbanização.

(I) e (II) Não devem ser aprovados lotes para ocupação permanente nestas áreas.

(III) Pavimentação e sistema de drenagem de águas pluviais devem ser executados até no máximo 30 dias após a abertura da via.

- O solo superficial e a cobertura vegetal dos lotes só podem ser retirados no início da construção das edificações.

- Há necessidade de apresentar estudo de estabilidade global dos taludes na área do loteamento, com base em investigações geológico-geotécnicas, de maneira a indicar as condições de segurança e a eventual necessidade de implantação de obras de estabilização.

- Há necessidade de apresentar estudo geotécnico para simples reconhecimento dos terrenos (sondagem a percussão).

- Haverá expedição do alvará de construção condicionada à apresentação de projeto de estabilidade de taludes da edificação projetada, apoiado em sondagens do subsolo e em análises de estabilidade.

- As obras de contenção ou estabilização de taludes devem ser iniciadas no prazo máximo de 30 dias após a execução dos cortes ou aterros.

(IV) Pavimentação e sistema de drenagem de águas pluviais devem ser executados até no máximo 30 dias após a abertura da via.

- O solo superficial e a cobertura vegetal dos lotes só podem ser retirados no início da construção das edificações.

- Haverá expedição do alvará de construção condicionada à apresentação de projeto de estabilidade de taludes da edificação projetada, apoiado em sondagens de simples reconhecimento do subsolo e em análises de estabilidade, sempre que houver a previsão de cortes ou aterros com altura superior a 1,5m.

(V) Para loteamento necessidade de apresentar estudo geotécnico para simples reconhecimento dos terrenos (sondagem a percussão) e elaboração de recomendações para o projeto geotécnico das edificações (fundações).

- Deverá ser exigido estudo hidráulico com definição das cotas de inundação para período de retorno mínimo de 25 anos e áreas sujeitas a erosão fluvial.

- O projeto de loteamento deve prever que a cota mínima de implantação dos lotes esteja acima dos níveis máximos de inundação (Tempo de Recorrência > 25 anos).

(VI) Pavimentação e sistema de drenagem de águas pluviais devem ser executados até no máximo 30 dias após a abertura da via.

- O solo superficial e a cobertura vegetal dos lotes só podem ser retirados no início da construção das edificações.

- A expedição do alvará de construção estará condicionada à apresentação de projeto de estabilidade de taludes da edificação projetada, apoiado em sondagens de simples reconhecimento do subsolo e em análises de estabilidade, sempre que houver a previsão de cortes ou aterros com altura superior a 3,0m.

(VII) Pavimentação e sistema de drenagem de águas pluviais devem ser executados até no máximo 30 dias após a abertura da via.

- O solo superficial e a cobertura vegetal dos lotes só podem ser retirados no início da construção das edificações.

- A expedição do alvará de construção estará condicionada à apresentação de projeto de estabilidade de taludes da edificação

projetada, apoiado em sondagens de simples reconhecimento do subsolo e em análises de estabilidade, sempre que houver a previsão de cortes ou aterros com altura superior a 2,0m.

(VIII) Não há restrições de ordem geotécnica para a aprovação de lotes para ocupação permanente nestas áreas.

- Haverá expedição do alvará de construção condicionada à apresentação de projeto de estabilidade de taludes da edificação projetada, apoiado em sondagens de simples reconhecimento do subsolo e em análises de estabilidade, sempre que houver a previsão de cortes ou aterros com altura superior a 3,0m.

5. CONCLUSÕES

A cartografia geotécnica no Brasil já atingiu um nível de excelência no domínio das técnicas e procedimentos de mapeamento, gerando produtos finais dos mais diversos, tanto por questões metodológicas, como por particularidades locais do meio físico, foco do estudo e até de materiais e recursos disponíveis. Entretanto, a diversidade de territórios, substratos geológicos, geomorfológicos, e características geotécnicas traz algumas dificuldades quando se quer realizar uma análise mais geral ou se comparar situações em diferentes partes do país. Desta forma, este trabalho teve por um dos seus objetivos propor uma maior padronização dos procedimentos adotados nos diversos níveis (regional, local e de detalhe), o estabelecimento de bases mínimas para os mapeamentos e, principalmente, que tipo de produto se pretende ter e quem será o usuário direto.

O conceito de mapeamento com detalhamento progressivo foi adotado, considerando a disponibilidade de dados, recursos e escalas mínimas de trabalho propostas, em relação as práticas de cartografia geotécnica que podem ser aplicadas no planejamento urbano, determinando estudos mais gerais e regionais (cartas geotécnicas de suscetibilidades), estudos locais e orientadores para o uso e ocupação do solo urbano (cartas geotécnicas de aptidão à urbanização). Como não há ocupação na área, os riscos são inexistentes.

Ressalta-se a necessidade de bases mínimas de informação (imagens, cartas temáticas, cadastros de ocorrência de eventos, etc.) para o desenvolvimento dos mapeamentos e neste

aspecto a maior carência é a ausência de bases topográficas de detalhe suficiente para cada nível hierárquico, o que levou neste trabalho a necessidade de geração da base topográfica na escala 1:5.000 de uma área de 80 hectares.

As proposições aqui apresentadas buscaram abranger uma maior gama de situações, sem considerar as diferenças regionais ou locais referentes aos aspectos do meio físico ou aos processos geodinâmicos ocorrentes, portanto não podem adquirir um caráter de rigidez ou de norma regulamentadora. Desta forma, por vezes o nível de informação básica, as peculiaridades de cada estudo e os próprios recursos técnicos e financeiros disponíveis poderão levar à eliminação de algum passo, a junção de etapas ou a adaptação destas. O mais importante é que se tenha uma linha de atuação na qual, a partir das informações iniciais, se possam desenvolver análises geotécnicas e de suscetibilidades aos processos geodinâmicos, de forma a se chegar a um produto cartográfico de fácil entendimento e aplicação.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Ministério das Cidades pelo suporte financeiro ao estudo, à Universidade Federal de Ouro Preto pela infraestrutura disponibilizada e ao CNPq pelo suporte por meio de bolsa de pesquisa de um dos autores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALKMIM, F.F. & MARSHAK, S. Transamazonian Orogeny in the southern São Francisco Craton region, Minas Gerais, Brazil: evidence for Paleoproterozoic collision and collapse in the Quadrilátero Ferrífero. **Precambrian Research**, 90: 29-58,1998.

BITAR, O. Y.; CERRI, L. E. S.; NAKAZAWA, V. A. Carta de risco geológico e carta geotécnica: uma diferenciação a partir de casos em áreas urbanas no Brasil. In: Simpósio Latino Americano Sobre Risco Geológico Urbano, 2, 1992, Pereira. **Atas...** Pereira, v. 1, 1992, p. 35-41.

BRASIL Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965. Institui o Novo Código Florestal. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 1965, 18 p.

BRASIL 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.

BRASIL Lei 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 2012, 34 p.

CERRI, L.E.S. (1990). Carta geotécnica: contribuições para uma concepção voltada as necessidades brasileiras. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 6, 1990, ABGE, Salvador, **Anais...**, Bahia: ABGE, 1990, 309-317.

CERRI, L. E. S.; AKIOSSI, A.; AUGUSTO FILHO, O.; ZAINE, J. E. Cartas e mapas geotécnicos de áreas urbanas: reflexões sobre as escalas de trabalho e proposta de elaboração com o emprego do método de detalhamento progressivo. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 8, 1996, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABGE, 1996, v.2, p. 537-548.

CUNHA, M.A. (ed.) **Ocupação de Encostas**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo, SP, 1991. 216 p.

DANTAS, M.E. **Biblioteca de relevo do território brasileiro**. Geodiversidade do Estado de Minas Gerais, M.F. Machado & S.F. Silva, CPRM, Belo Horizonte, MG, Apêndice II. 2010. 136 p.

DORR, J. N. **Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil**. Washington: DNPM/ USGS, 1969. (Prof. Paper, 641 – A). 109 p.

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

MINISTÉRIO DAS CIDADES/UFOP **Elaboração de cartas geotécnicas de aptidão à urbanização frente aos desastres naturais no município de Ouro Preto, MG**. Termo de Cooperação Ministério das Cidades/UFOP (Coordenação: Sobreira, F. G.), Ouro Preto, MG. Relatório Final, 3 v. 2013.

PRANDINI, F.L., NAKAZAWA, V.A.,

- FREITAS, C.G.L. & DINIZ, N.C. **Cartografia Geotécnica nos planos diretores regionais e municipais**. Curso de Geologia Aplicada ao Meio Ambiente, O.Y. Bitar (coord.), ABGE/IPT, São Paulo, SP, pp. 187-1995.
- SOBREIRA, F. G.; SOUZA, L. A. Cartografia geotécnica aplicada ao planejamento urbano. **Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental**, São Paulo, n. 2, p. 79-97. 2012.
- XAVIER, S. C.; BASTOS, C. A. B. Estudo do crescimento urbano aplicado ao mapeamento geotécnico: uma metodologia de análise. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, n. 62/04, p. 583-593. 2010.
- ZAINE, J.E. **Mapeamento geológico-geotécnico por meio do método do detalhamento progressivo: ensaio de aplicação na área urbana do município de Rio Claro (SP)**, 2000. 149 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.
- ZUQUETTE, L. V. **Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio físico: fundamentos e guia para elaboração**, 1993. Tese (Livre Docência) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2 v., 1993. 369 p.